

**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 765**  
**09-2024**



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

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

**Giấy phép xuất bản**

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

**Tòa soạn**

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

**Chế bản và In tại:**

**Công ty 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 765 - 9/2024**

**MỤC LỤC**

**Bài báo khoa học**

- 1** **Đỗ Thị Phương Thảo, Trần Thị Thu Trang, Vũ Hữu Tuấn, Lê Chí Thành:** Dự báo biến động lớp phủ mặt đất khu vực Kiến Thụy - Đồ Sơn (Hải Phòng) bằng mô hình CLUMondo
- 15** **Trần Trung Thành, Trương Thị Thanh Thủy, Vũ Văn Thắng:** Nghiên cứu phân tích các đặc trưng của gián đoạn mưa gió mùa hè trên khu vực Tây Nguyên
- 27** **Lương Thanh Long, Nguyễn Trọng Nhân:** Ứng dụng ảnh radar Sentinel-1 giám sát tình hình sạt lở và bồi tụ tại tỉnh Cà Mau giai đoạn 2015-2024 trên nền tảng Google Earth Engine
- 39** **Nguyễn Gia Trọng, Bùi Ngọc Quý:** Phân tích chuỗi dữ liệu nghiệm triều sử dụng mạng nơ ron hồi tiếp với nút có cổng (GRU)
- 47** **Trần Thị Hồng Ngọc, La Tài Linh, Nguyễn Đức Thắng, Cao Thị Kim Phượng, Phan Trường Khanh:** Ước tính nhu cầu nước cho cây đậu nành rau được trồng trên đất xám bạc màu ở Tri Tôn, An Giang
- 60** **Trần Thị Minh Hằng, Trần Thị Huyền Nga, Vũ Đình Tuấn, Hoàng Minh Trang, Nguyễn Mạnh Khải:** Đánh giá thực trạng và khả năng tái sử dụng nước làm nước cấp cho sinh hoạt của một số nguồn thải trên địa bàn tỉnh An Giang
- 75** **Hồ Minh Dũng, Khổng Doãn An Khang:** Dự báo chất lượng không khí bằng mô hình LSTM-MA trường hợp sử dụng dữ liệu tại trạm quan trắc tự động ngã tư Giếng Nước, tỉnh Bà Rịa - Vũng Tàu
- 90** **Nguyễn Thị Liễu, Đào Ngọc Hùng, Hà Thị Phương Mai, Trần Thị Tâm, Tạ Thị Ngọc Hà:** Nghiên cứu phân vùng phát triển chè hữu cơ tại tỉnh Phú Thọ



Bài báo khoa học

## Dự báo biến động lớp phủ mặt đất khu vực Kiến Thụy - Đồ Sơn (Hải Phòng) bằng mô hình CLUMondo

Đỗ Thị Phương Thảo<sup>1,2\*</sup>, Trần Thị Thu Trang<sup>1</sup>, Vũ Hữu Tuấn<sup>3</sup>, Lê Chí Thành<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Trường Địa học Mỏ - Địa chất; dothiphuongthao@humg.edu.vn;  
tranthithutrang@humg.edu.vn

<sup>2</sup> NNC Nghiên cứu phát triển công nghệ quản lý và phân tích dữ liệu không gian địa lý

<sup>3</sup> Công ty ESRI Việt Nam; tuanhvesrivn@gmail.com

<sup>4</sup> Sở TNMT tỉnh Cà Mau; lc thanh.cic@gmail.com

\*Tác giả liên hệ: dothiphuongthao@humg.edu.vn; Tel.: +84-982688385

Ban Biên tập nhận bài: 17/3/2024; Ngày phản biện xong: 25/4/2024; Ngày đăng bài: 25/9/2024

**Tóm tắt:** Tại Hải Phòng, khu vực Kiến Thụy - Đồ Sơn là nơi hội tụ nhiều điểm du lịch hấp dẫn, là khu vực có tốc độ công nghiệp hóa, đô thị hóa diễn ra mạnh mẽ. Mặt khác, dưới sự tác động ngày càng khắc nghiệt của các yếu tố tự nhiên, biến đổi khí hậu, nước biển dâng cũng đã làm suy giảm diện tích đất ở vùng thấp và khu vực ven bờ dẫn đến quá trình chuyển đổi sử dụng đất diễn ra nhanh chóng trên toàn khu vực. Mục tiêu của nghiên cứu này là sử dụng mô hình CLUMondo (phiên bản mới nhất của mô hình CLUE: Conversion of Land Use and its Effect) và các dữ liệu về lớp phủ bề mặt cũng như các yếu tố tác động đến sự thay đổi của nó để dự báo quá trình thay đổi lớp phủ đất trong tương lai. Kết quả mô phỏng của mô hình CLUMondo đến năm 2030 dự báo: đất trồng lúa, đất làm muối, đất trồng cây hàng năm có xu hướng giảm so với thời điểm hiện tại. Bên cạnh đó, đất ở đô thị, đất ở nông thôn, đất phi nông nghiệp khác, đất rừng phòng hộ ven biển, đất nuôi trồng thủy sản, đất mặt nước có xu hướng tăng lên. Dự báo này giúp điều chỉnh các tác động tiêu cực từ thiên nhiên và xã hội nhằm phân phối lại sức ép phát triển của khu vực về sử dụng đất hợp lý tại quy mô nghiên cứu.

**Từ khóa:** CLUMondo; Dự báo biến động; Kiến Thụy; Đồ Sơn.

### 1. Đặt vấn đề

Sự thay đổi về sử dụng đất và độ che phủ được xác định là một trong những yếu tố chính quyết định sự thay đổi toàn cầu với những tác động lớn đến hệ sinh thái, biến đổi khí hậu và tính dễ bị tổn thương của con người [1]. Cho đến những năm 1990, sự thay đổi về sử dụng đất và lớp phủ đất chủ yếu được nghiên cứu từ góc độ chuyên ngành. Gần đây, nhu cầu về các phương pháp tiếp cận liên ngành để hiểu đầy đủ các tương tác trong hệ thống đất đai đã dẫn đến sự xuất hiện của lĩnh vực liên ngành mới về khoa học biến đổi đất đai [2, 3]. Những tiến bộ trong kỹ thuật viễn thám với các cảm biến mới và kỹ thuật kiểm kê đất đai cho phép các nhà khoa học đất đai đánh giá tài nguyên đất đai hiện tại, xác định các quá trình thay đổi độ che phủ đất và xác định các điểm nóng thay đổi [4, 5]. Những nghiên cứu về biến động sử dụng đất và lớp phủ gắn với sự thay đổi nhân khẩu học và mô hình hóa sự thay đổi sử dụng đất và lớp phủ cũng được đề cập trong một số nghiên cứu [6-9]. Các nghiên cứu tiêu biểu theo hướng ứng dụng công nghệ mới trong mô phỏng sự thay đổi lớp phủ có thể kể đến như: Mô phỏng, dự đoán thay đổi sử dụng đất/phủ đất bằng cách sử dụng GIS, viễn thám và mô hình CA-Markov [10]; Mô phỏng kịch bản và dự báo thay đổi sử dụng đất/phủ đất tại

Bắc Kinh, Trung Quốc [11]; Phân tích và mô phỏng thay đổi phủ đất và ảnh hưởng của chúng đến nhiệt độ bề mặt đất ở một khu vực địa hình thấp của Himalaya [12]; Mô phỏng không gian của các kịch bản thay đổi sử dụng đất/phủ đất ở phía đông bắc Thái Lan [13]; Mô phỏng thay đổi lớp phủ bề mặt và sử dụng đất với quy mô toàn cầu [14],...

Tại Việt Nam, quá trình đô thị hóa mạnh mẽ cùng với sự gia tăng dân số đã dẫn tới sự thay đổi lớn trong hiện trạng lớp phủ mặt đất ở hầu hết các địa phương, đặc biệt là tại các thành phố lớn, các trung tâm văn hóa, chính trị, kinh tế, xã hội của cả nước. Việc nghiên cứu biến động trên diện rộng và thời gian dài từ hiện tại đến tương lai là vấn đề cần thiết cho các cơ quan quản lý hành chính các cấp, nhất là ở các vùng ven đô vì đó là cầu nối giữa các vùng nông thôn, các thành phố vệ tinh với thành phố trung tâm [15].

Có nhiều phương pháp khác nhau để nghiên cứu biến động lớp phủ mặt đất từ nhiều nguồn tài liệu khác nhau như: các số liệu thống kê hàng năm, số liệu kiểm kê, hay từ các cuộc điều tra đo đạc [16]. Các phương pháp này thường tốn nhiều thời gian, kinh phí và không thể hiện được sự thay đổi từ loại hình này sang loại hình khác của lớp phủ mặt đất và vị trí không gian của sự thay đổi đó [17]. Sử dụng tư liệu viễn thám đã khắc phục được những nhược điểm trên. Ứng dụng viễn thám trong theo dõi biến động lớp phủ mặt đất thực chất là nghiên cứu biến động của các loại hình lớp phủ mặt đất như: đất nông nghiệp, đất ở, đất rừng, mặt nước,... để từ đó đưa ra xu thế biến động về mặt không gian của một khu vực nào đó [18]. Tuy nhiên, tư liệu viễn thám mới chỉ đáp ứng được yêu cầu giám sát biến động lớp phủ mặt đất trong quá khứ mà chưa trả lời được câu hỏi là trong tương lai xu thế biến động lớp phủ mặt đất sẽ như thế nào [19]. Để trả lời được câu hỏi này, cần phải có các công cụ mô hình hóa và dự báo biến động lớp phủ mặt đất. Mô hình là một công cụ mô phỏng để hiểu rõ hơn các quá trình xác định những thay đổi trong sử dụng đất theo không gian và khám phá những thay đổi có thể xảy ra trong tương lai đối với việc sử dụng đất ở quy mô khu vực. Các mô hình có thể làm hiểu được các yếu tố thúc đẩy sự thay đổi sử dụng đất/lớp phủ mặt đất và khu vực nào có khả năng chịu áp lực lớn nhất, cũng có thể được sử dụng để dự báo điều gì có thể xảy ra trong tương lai dựa trên các kịch bản [15, 20–21].

Trên thế giới có rất nhiều kiểu mô hình được sử dụng để dự báo biến động sử dụng đất đó là các mô hình toán học, mô hình thống kê, các mô hình sử dụng chuỗi Markov như: LCM, CA–Markov,... và nhóm mô hình CLUE gồm: CLUE–S, CLUMondo [20]. Mô hình sử dụng chuỗi Markov và CLUE đều cho thấy sự hiệu quả trong việc dự đoán biến động sử dụng đất vì chúng kết hợp được với GIS trong phân tích dữ liệu, mô phỏng các xác suất của sự thay đổi và nâng cao độ tin cậy kết quả dự báo [17]. Tuy nhiên, mô hình sử dụng chuỗi Markov được nhận thấy là có thể mạnh trong đánh giá những ảnh hưởng của các yếu tố tự nhiên đến biến động sử dụng đất và các dữ liệu đưa vào dưới dạng dữ liệu không gian nhưng việc đưa các biến số liên quan đến yếu tố kinh tế - xã hội vào trong mô hình khá là khó khăn [3]. Ngược lại, nhóm mô hình CLUE có ưu điểm là đánh giá được ảnh hưởng của cả 02 nhóm yếu tố tự nhiên và kinh tế - xã hội mà trên thực tế biến động sử dụng đất bị tác động bởi yếu tố kinh tế chính trị hơn là yếu tố tự nhiên [19–21].

Do vậy, bài báo sử dụng mô hình CLUMondo là phiên bản mới nhất của mô hình CLUE để dự báo biến động lớp phủ đất khu vực khu vực Kiến Thụy - Đồ Sơn, Hải Phòng đến năm 2030.

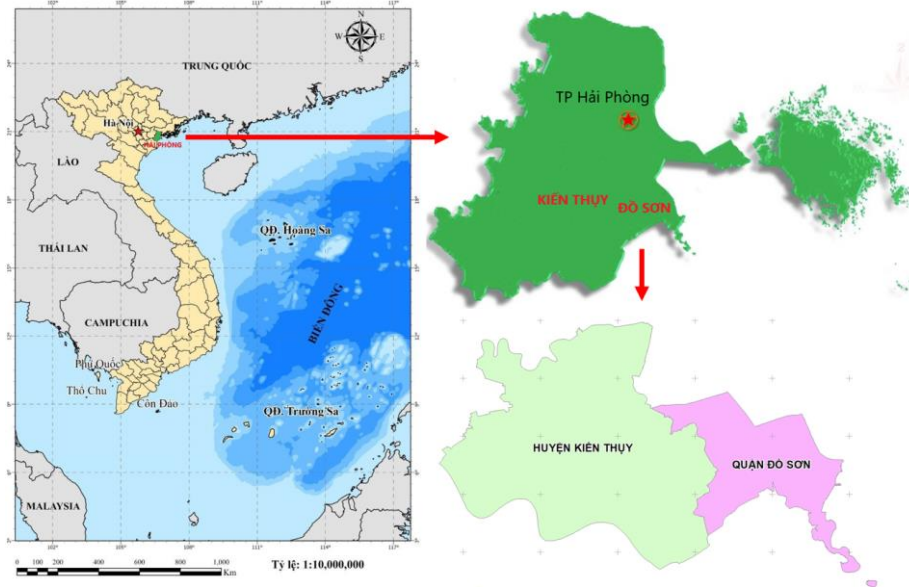
## 2. Dữ liệu và phương pháp

### 2.1. Khu vực nghiên cứu

Kiến Thụy - Đồ Sơn là 2 vùng nằm ở phía Đông Nam thành phố Hải Phòng (Hình 1). Kiến Thụy cách thành phố Hải Phòng 16 km, là huyện có diện tích tự nhiên 102,56 km<sup>2</sup>, với dân số hơn 15 vạn người. Huyện có đường cao tốc Hà Nội - Hải Phòng dài hơn 10 km và có Đường cao tốc Ninh Bình - Hải Phòng - Quảng Ninh đi qua nên tình hình kinh tế phát triển thay đổi từng ngày. Đồ Sơn là một quận nghỉ mát nổi tiếng của Hải Phòng gồm nhiều bãi



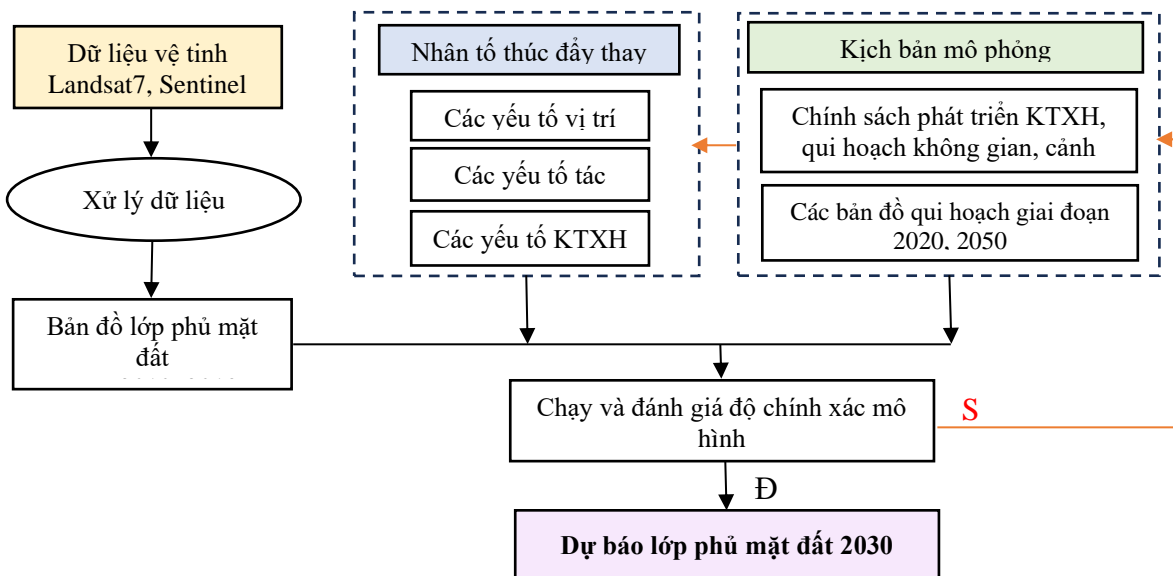
biển có phong cảnh đẹp ở miền bắc Việt Nam, cách trung tâm thành phố 20 km về hướng đông nam. Đồ Sơn hình thành từ một bán đảo nhỏ của dãy núi Rồng chạy dài ra biển khoảng 5 km, với nhiều mỏm đồi cao từ 25 đến 130 m. Khu vực nghiên cứu là vùng có cơ cấu kinh tế đan xen giữa nông và ngư nghiệp với cây trồng chủ yếu là trồng lúa và nuôi trồng thủy sản, đồng thời đây cũng là khu vực phát triển mạnh mẽ về du lịch biển. Ngoài ra, cơ cấu kinh tế của khu vực còn có các ngành nghề như trồng các cây nông nghiệp ngắn ngày, làm muối. Hiện nay, cùng với xu hướng trong thời kỳ công nghiệp hóa, hiện đại hóa những nhà máy, xí nghiệp, những ngôi nhà cao tầng mọc lên sẽ có sự chuyển biến mạnh mẽ về cơ cấu sử dụng đất tại khu vực Kiến Thụy - Đồ Sơn [22].



Hình 1. Khu vực nghiên cứu.

## 2.2. Phương pháp nghiên cứu

CLUMondo là mô hình chuyển đổi mục đích sử dụng đất, phiên bản mới nhất của mô hình CLUE (*Conversion of Land Use and its Effect*), là một trong những mô hình được sử dụng rộng rãi trong dự án các biến động sử dụng đất nhiều nước trên thế giới và được ứng dụng nhiều qui mô khác nhau, từ cấp tỉnh đến cấp quốc gia và cấp vùng [19–21].



Hình 2. Quy trình hoạt động của mô hình CLUMondo trong dự báo thay đổi lớp phủ mặt đất.

Mô hình CLUMondo hoạt động dựa trên định lượng thực tế mối quan hệ giữa hiện trạng và các nhân tố liên quan đến sự thay đổi sử dụng đất (Hình 2). Mô hình được thiết kế với các chương trình tổng hợp thông tin về giới hạn không gian, mục đích, nhu cầu chuyển đổi và sự thích hợp cục bộ để đưa ra dự báo phân bổ sử dụng đất trong tương lai [19–21].

### 2.3. Dữ liệu sử dụng

Các dữ liệu sử dụng bao gồm:

- (1) Bản đồ ranh giới khu vực nghiên cứu nhằm xác định ranh giới phạm vi mô phỏng.
- (2) Các thông số của mô hình: năm bắt đầu mô phỏng 2010 là điểm khởi đầu giai đoạn 2010-2020 thành phố tập trung cao độ triển khai thực hiện “xây dựng và phát triển thành phố Hải Phòng trong thời kỳ công nghiệp hóa, hiện đại hóa đất nước”, và các nhu cầu sử dụng đất như nhu cầu nhà ở, sản lượng lúa,...theo bản quy hoạch sử dụng đất đến năm 2020, 2050 của khu vực nghiên cứu để xác định kịch bản mô hình.
- (3) Bản đồ phân bố lớp phủ mặt đất: Trong nghiên cứu này bản đồ lớp phủ mặt đất được thành lập dựa trên kết quả giải đoán ảnh vệ tinh. Các ảnh vệ tinh được thu thập tại địa chỉ của cục địa chất Hoa Kỳ là <https://earthexplorer.usgs.gov> (Bảng 1). Vị trí ảnh thu thập Path/Row: 126/46 và đều nằm trong hệ tọa độ WGS 84, múi 48N. Ảnh thu được đều có độ che phủ của mây dưới 20% và được hiệu chỉnh hình học, khí quyển.

**Bảng 1.** Các cảnh ảnh vệ tinh sử dụng trong nghiên cứu.

Thời gian	Cảnh	Độ phân giải	Loại ảnh
27/12/2010	LE71260462010361EDC00	30 x 30 m	Landsat 7
28/09/2019	L1C_T48QXH_A022280_20190928T031650	10 x 10 m	Sentinel-2A

- (4) Dữ liệu vị trí và bản đồ các yếu tố tác động: có ảnh hưởng đến biến động lớp phủ đất, sử dụng làm yếu tố quyết định cho việc phân bổ các loại hình phủ mặt đất khác nhau (Bảng 2). Trong đó, ký hiệu “Cat” mô tả các biến phân loại (ví dụ sự hiện diện hoặc không hiện diện của các loại), và “Num” chỉ các biến số.

**Bảng 2.** Danh mục các bản đồ các yếu tố đầu vào sử dụng trong mô hình Clumondo

STT	Tên lớp	Loại dữ liệu*	Nguồn dữ liệu
1	Bản đồ phân bố lượng mưa	Num	Phân tích từ dữ liệu trạm mưa (Tổng cục Thống kê)
2	Bản đồ phân bố nhiệt độ	Num	Phân tích từ dữ liệu trạm đo nhiệt (Tổng cục Thống kê)
3	Bản đồ tiếp cận giao thông	Num	Bản đồ địa hình tỉ lệ 1: 2000 (Bộ Tài Nguyên và Môi trường)
4	Bản đồ mật độ dân số	Num	Tổng cục thống kê
5	Bản đồ khả năng tiếp cận thị trường trong nước (đến các tỉnh huyện)	Num	Bản đồ địa hình tỉ lệ 1: 2000 (Bộ Tài Nguyên và Môi trường)
6	Bản đồ độ cao	Num	DEM 5M
7	Bản đồ độ dốc	Num	DEM 5M
8	Bản đồ khu vực bảo vệ	Cat	Bản đồ phân bố lớp phủ mặt đất giải đoán từ ảnh viễn thám
9	Bản đồ tiếp cận nước mặt < 50m	Cat	Bản đồ địa hình tỉ lệ 1: 2000 (Bộ Tài Nguyên và Môi trường)
10	Bản đồ tiếp cận nước mặt > 50m	Cat	Bản đồ địa hình tỉ lệ 1: 2000 (Bộ Tài Nguyên và Môi trường)

- (5) Dữ liệu chính sách không gian: Khu vực nghiên cứu có đất rừng phòng hộ ven biển và đất rừng là vùng có chính sách hạn chế về không gian theo Quyết định số 454/QĐ-UBND ngày 02/3/2017 của Ủy ban nhân dân thành phố Hải Phòng.

- (6) Dữ liệu về chính sách phát triển kinh tế xã hội khu vực: Sự chuyển dịch cơ cấu nền kinh tế sẽ kéo theo chuyển dịch về sử dụng đất. Trong khu vực nghiên cứu, chịu tác động của các chính sách như sau: Kế hoạch phát triển kinh tế xã hội giai đoạn 5 năm (2021-2025) của



huyện Kiến Thụy và Quy hoạch không gian, kiến trúc, cảnh quan quận Đồ Sơn theo từng giai đoạn cụ thể đến năm 2025 tầm nhìn 2050.

(7) Các tham số mô hình: bao gồm tham số hồi quy; thứ tự chuyển đổi; kháng chuyển đổi; ma trận chuyển đổi; các vùng lân cận; các tham số kích bản... lấy từ kết quả phân tích biến động lớp phủ đất giai đoạn 2010-2019 trong đó kháng chuyển đổi là không cho phép chuyển đổi giữa các loại hình lớp phủ bề mặt đất, được tổng hợp dựa trên quy hoạch và quy định về sử dụng đất của huyện Kiến Thụy và quận Đồ Sơn.

(8) Các hệ số tương quan hồi quy giữa các yếu tố vị trí và các loại hình phân bố lớp phủ đất: được xác định bằng công cụ địa thống kê tích hợp sẵn trong mô hình CLUMondo. Để xác định và định lượng các mối quan hệ giữa vị trí của các loại hình sử dụng đất cụ thể và một tập hợp các yếu tố tác động  $\beta$  được ước lượng thông qua hàm hồi quy logarit sử dụng biến phụ thuộc là sự chuyển đổi sử dụng đất (giữa 2010-2019) và các biến độc lập là 10 yếu tố vị trí ở trên. Hàm logarit nhị thức biểu thị xác suất tìm thấy việc sử dụng đất ở một vị trí thay vì không tìm thấy loại hình sử dụng đất này ở vị trí đó và được ước tính cụ thể cho từng loại hình sử dụng đất riêng biệt theo công thức (1).

$$\text{Log}(P_i/1-P_i) = \beta_0 + \beta_1 X_{1i} + \beta_2 X_{2i} + \dots + \beta_n X_{ni} \quad (1)$$

Trong đó:  $P_i$  = xác suất tìm thấy việc sử dụng đất cụ thể trong ô lưới  $i$ ;  $X_{ni}$  = giá trị của một yếu tố lý sinh hoặc kinh tế xã hội cụ thể ở vị trí  $i$ ;  $\beta_1$  = các hệ số ước tính cho biết tầm quan trọng tương đối của một yếu tố lý sinh hoặc kinh tế xã hội cụ thể.

#### 2.4. Thiết lập mô hình CLUMondo

Sau khi nhập tất cả dữ liệu đầu vào, mô hình chủ yếu sẽ tính toán về vấn đề thay đổi mục đích sử dụng đất thông qua các bước thời gian rời rạc. Đầu tiên sẽ xác định phạm vi của tất cả khu vực được phép thay đổi, các khu vực đất được bảo vệ, bảo tồn hoặc không được phép thay đổi sẽ không đưa vào tính toán. Tiếp theo, tính toán tiềm năng chuyển đổi cho mỗi vị trí và mỗi loại hình lớp phủ đất dựa vào đặc trưng vị trí. Tại mỗi vị trí ở thời gian  $t$ , tiềm năng chuyển đổi sang một loại hình phủ đất  $k$  ( $P_{tran_{t,i,k}}$ ) sẽ là:

$$P_{tran_{t,i,k}} = P_{loc_{t,i,k}} + Pres_k + P_{comp_{t,k}} \quad (2)$$

Trong đó  $P_{loc_{t,i,k}}$  đại diện cho tính phù hợp của vị trí  $i$  với loại hình phủ đất  $k$  tại thời điểm  $t$  (đặc trưng vị trí);  $Pres_k$  là tính ổn định của loại hình phủ đất  $k$  (đặc tính các loại sử dụng đất);  $P_{comp_{t,k}}$  là biến lặp cụ thể cho loại hình phủ đất  $k$  tại thời điểm  $t$  và đại diện cho mức độ cạnh tranh giữa các loại hình phủ đất, được tính toán dựa trên khả năng đáp ứng các “nhu cầu sử dụng đất” của mọi loại hình. Ví dụ: tổng diện tích lúa còn thiếu thì loại hình đất trồng lúa sẽ được ưu tiên hơn. Ở lần chạy đầu tiên, biến lặp ( $P_{comp_{t,k}}$ ) cho tất cả loại hình phủ đất sẽ được mặc định là bằng nhau.

Tiếp theo, phân bổ các loại hình phủ đất cho từng vị trí dựa trên loại hình sử dụng đất có tiềm năng lớn nhất tại mỗi vị trí đó và theo các quy định của ma trận chuyển đổi. Sau đó, mô hình sẽ so sánh tổng khả năng đáp ứng của các loại hình phủ đất với nhu cầu sử dụng đất đưa ra. Nếu phân bổ các loại hình phủ đất vẫn chưa đáp ứng được nhu cầu thì tính toán lại mức độ cạnh tranh của các loại hình sử dụng đất. Nếu tổng khả năng đáp ứng đã thỏa mãn nhu cầu thì ghi lại bản đồ và chuyển sang năm tiếp theo. Vòng lặp dừng lại khi tổng khả năng đáp ứng của năm  $t$  sau khi phân bổ thỏa mãn được nhu cầu, và  $t + 1 > n$  với  $n$  là số năm tiến hành mô phỏng.

Kiểm chứng mô hình được thực hiện cho bộ hệ số tương quan hồi quy ( $\beta$ ) và kết quả dự báo các loại hình phủ đất từ mô hình. Độ tin cậy của mô hình hồi quy logarit được xác định thông qua thống kê ROC. Công cụ thống kê này sử dụng hệ số diện tích dưới đường cong AUC để thể hiện cho độ nhạy của các yếu tố đưa vào mô hình hồi quy. Nếu hệ số AUC dưới 0,5 thì kết quả tính toán không tốt hơn việc đưa ra các giá trị ngẫu nhiên. Giá trị càng gần 1,0 thì mô hình càng có độ tin cậy cao.

Kết quả dự báo thay đổi loại hình phủ đất được kiểm chứng bằng cách so sánh kết quả chạy mô hình CLUMondo với bản đồ phủ đất tham chiếu, phép so sánh được thực hiện trên

từng pixel ảnh (*pixel by pixel comparison*). Sự so sánh được định lượng thông qua chỉ số Kappa (nằm trong khoảng từ -1 đến 1), giá trị càng gần +1 thể hiện độ chính xác càng cao.

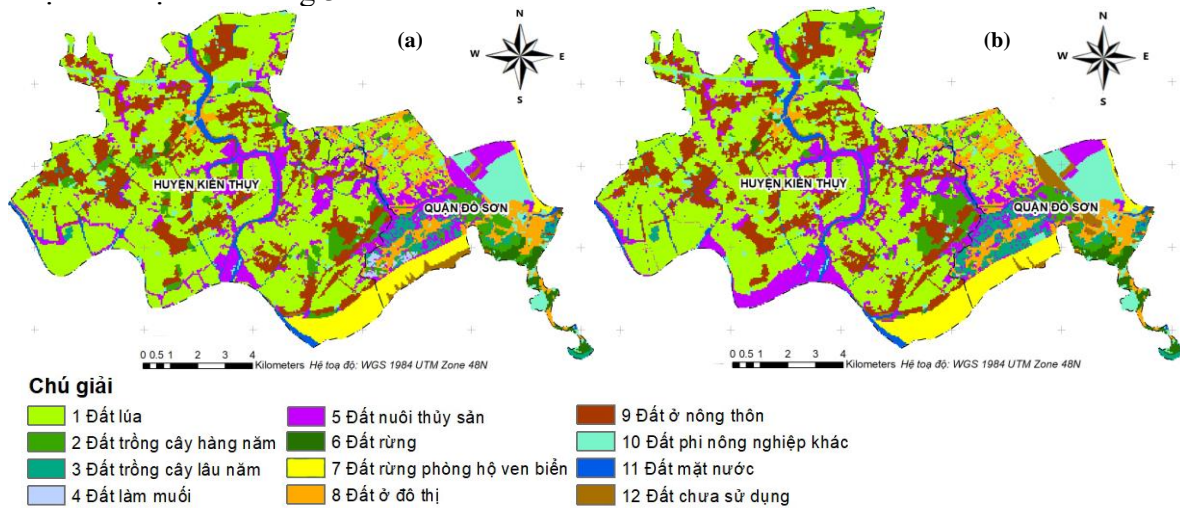
### 3. Kết quả

#### 3.1. Biến động lớp phủ mặt đất khu vực nghiên cứu giai đoạn 2010-2019

Phủ bề mặt khu vực Kiến Thụy - Đồ Sơn được phân loại từ ảnh vệ tinh Landsat và Sentinel 2 theo các lớp như trong Bảng 3. Năm 2010 và 2019 là 2 thời điểm tổng kiểm kê đất đai của Việt Nam (dễ dàng đối chiếu với bản đồ hiện trạng sử dụng đất). Bản đồ phân bố lớp phủ mặt đất năm 2019 còn dùng để kiểm chứng kết quả mô phỏng bản đồ lớp phủ mặt đất đến năm 2019 được chạy từ mô hình CLUMondo.

Kết quả giải đoán ảnh vệ tinh năm 2010, 2019 cho thấy đất lúa chiếm phần lớn diện tích lớp phủ của khu vực nghiên cứu với diện tích trên 41% trong cơ cấu lớp phủ của toàn khu vực. Chiếm hơn 13 % là đất nuôi trồng thủy sản phân bố chủ yếu ở dọc theo các con sông thuộc huyện Kiến Thụy và phân bố tập trung ở 2 phường Bằng La và Ngọc Hải thuộc quận Đồ Sơn. Tiếp theo là đất ở nông thôn với hơn 12 % trong cơ cấu lớp phủ mặt đất.

So với thời điểm năm 2010 đất trồng lúa có xu hướng giảm (-247.2 ha), hai loại hình khác cũng bị giảm là đất mặt nước (-41,5 ha) và đất làm muối (-41,5 ha). Ngược lại, trong giai đoạn này đất ở đô thị và đất phi nông nghiệp khác lại có xu hướng biến đổi tăng trong 9 năm. Đặc biệt là đất phi nông nghiệp khác tăng 86,7 ha. Phần diện tích đất lúa bị giảm chủ yếu chuyển đổi sang đất phi nông nghiệp và đất trồng cây hàng năm. Phần đất mặt nước chuyển sang đất nuôi trồng thủy sản và trồng rừng phòng hộ ven biển. Sự chuyển đổi diễn ra rải rác trên toàn vùng nghiên cứu nhưng có xu thế xảy ra nhiều hơn ở những khu vực ven biển (Hình 3). Nguyên nhân của sự chuyển đổi trên chủ yếu là do chính sách mở rộng vùng dân cư, xây dựng cơ sở hạ tầng, thực hiện dự án phục hồi phát triển rừng phòng hộ ven biển và quy hoạch vùng sản xuất thủy sản tập trung. Chi tiết biến động diện tích từng loại lớp phủ được thể hiện như Bảng 3.



Hình 3. Bản đồ lớp phủ mặt đất năm 2010 (a) và năm 2019 (b).

Bảng 3. Phân loại lớp phủ mặt đất khu vực Kiến Thụy - Đồ Sơn.

Phân loại lớp phủ	Diện tích 2010 (ha)	Diện tích 2019 (ha)	Biến động (ha)	Tỉ lệ %
Đất lúa (LUC)	6171,3	5924,1	-247,2	-4,01
Đất trồng cây lâu năm (CLN)	382,5	393,6	11,1	2,90
Đất trồng cây hàng năm (BHK)	661,8	666,4	4,6	0,70
Đất làm muối (LMU)	43,6	2,1	-41,5	-95,18
Đất dân cư nông thôn (ONT)	1849,4	1885,8	36,4	1,97
Đất dân cư đô thị (ODT)	670,6	755,4	84,8	12,65


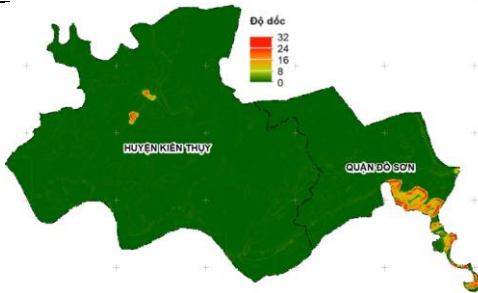



Phân loại lớp phủ	Diện tích 2010 (ha)	Diện tích 2019 (ha)	Biến động (ha)	Tỉ lệ %
Đất phi nông nghiệp khác (PNK)	979,2	1065,9	86,7	8,85
Đất rừng (RST)	188,0	235,4	47,4	25,21
Đất rừng phòng hộ ven biển (RPH)	680,2	729,2	49,0	7,20
Đất chưa sử dụng (BCS)	284,2	324,3	40,1	14,11
Đất mặt nước (MNC)	1034,4	930,6	-103,8	-10,03
Đất nuôi thủy sản (NTS)	1985,2	2017,6	32,4	1,63

3.2. Mô phỏng sử dụng đất bằng mô hình CLUMondo

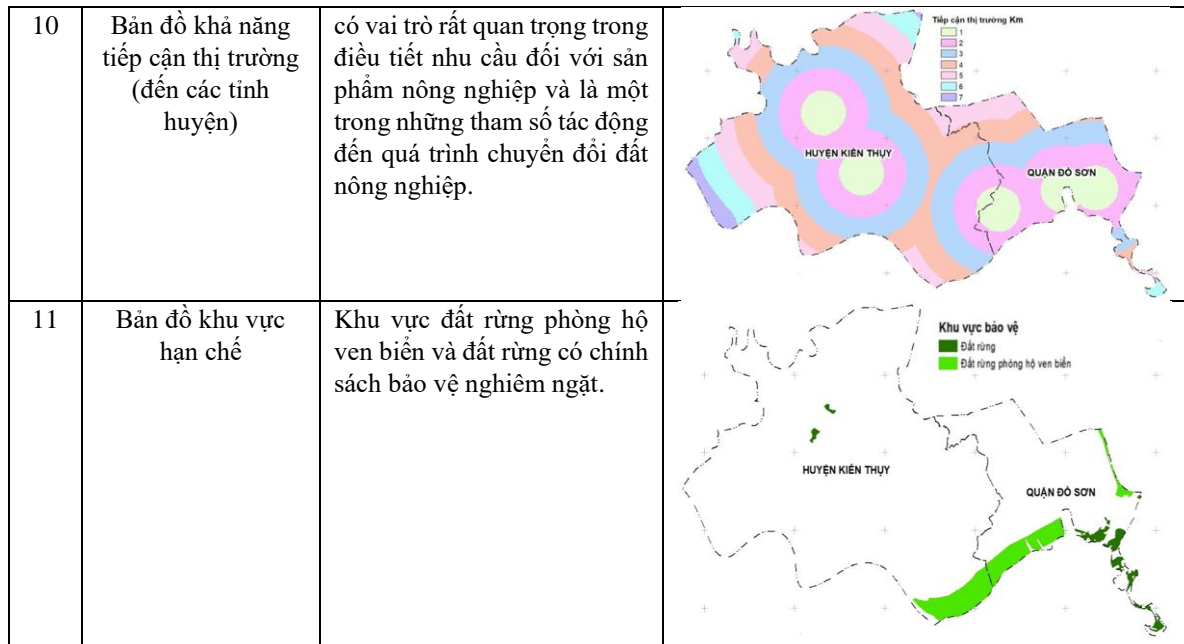
Để mô phỏng sự thay đổi lớp phủ mặt đất đất, mô hình CLUMondo yêu cầu vận hành theo 2 giai đoạn: giai đoạn 1 là để hiệu chỉnh và đánh giá mô hình (dựa vào dữ liệu sẵn có, thời gian từ năm 2010-2019); giai đoạn 2 là để dự báo theo kịch bản với khoảng thời gian đủ dài (khoảng 10 năm), vì vậy pha 2 được xác định từ năm 2019 đến năm 2030. Ngoài ra, để chạy mô hình còn phải có một số bản đồ thể hiện các yếu tố phù hợp về vị trí (Hình 4) và các yếu tố tác động. Các bản đồ này chính là các yếu tố quyết định đến sự phân bố không gian của các loại hình sử dụng đất trên địa bàn nghiên cứu.

Kịch bản thay đổi sử dụng đất là diện tích các loại hình phủ đất (trồng lúa, đất trồng cây lâu năm, đất làm muối, đất nuôi trồng thủy hải sản, diện tích đất ở đô thị và diện tích đất ở nông thôn - số liệu lấy từ bản đồ phân bố lớp phủ năm 2010 và 2019), chính sách phát triển KTXH, qui hoạch không gian, cảnh quan; số liệu quy hoạch sử dụng đất đến năm 2020 của huyện Kiến Thụy và quận Đồ Sơn. Mỗi pixel ảnh có kích thước 50m×50m, tương ứng diện tích mỗi pixel sẽ là 0,25 ha. Khu vực đất trồng rừng và đất phòng hộ ven biển là khu vực bảo vệ, không được chuyển đổi.

TT	Tên bản đồ	Mô tả	Hình ảnh minh họa
1	Bản đồ ranh giới	Bản đồ ranh giới được thành lập nhằm giới hạn không gian mô hình hóa biến động lớp phủ mặt đất trong mô hình CLUMondo.	
2	Bản đồ độ dốc	Độ dốc trên toàn khu vực giao động từ 0-32 độ. độ dốc cơ bản khu vực chỉ vào khoảng từ 0-9 độ; khu vực có độ dốc lớn rất ít, chủ yếu ở khu vực đảo Hòn Dấu và khu vực ven biển, liên quan đến khả năng thích nghi đối với cây trồng.	
3	Bản đồ độ cao	Độ cao của khu vực giao động từ 0-124 m so với mực nước biển, trong đó nền độ cao cơ bản của khu vực là khoảng 25 m, liên quan đến khả năng thích nghi đối với cây trồng.	

<p>4</p>	<p>Bản đồ nhiệt độ</p>	<p>Nền nhiệt của khu vực nghiên cứu có mức nhiệt độ trung bình dao động trong khoảng 23-24°C, nóng ở phía tây và lạnh dần về phía biên ở hướng đông, liên quan đến khả năng thích nghi đối với cây trồng.</p>	
<p>5</p>	<p>Bản đồ lượng mưa</p>	<p>Lượng mưa trung bình năm dao động từ 1.618 mm tới 1.678 mm, cao nhất ở khu vực ven biển giảm dần vào khu vực đất liền, liên quan đến khả năng thích nghi đối với cây trồng.</p>	
<p>6</p>	<p>Bản đồ mật độ dân số</p>	<p>Dân cư tập trung đông tại các khu vực thị trấn và gần đường giao thông, liên quan đến nhu cầu về tiêu thụ sản phẩm nông nghiệp.</p>	
<p>7</p>	<p>Bản đồ khoảng cách đến mặt nước lớn hơn 50m (khoảng cách đến mặt nước lớn hơn 50m sẽ nhận giá trị 1 Còn lại sẽ nhận giá trị 0).</p>	<p>Liên quan đến yếu tố thủy lợi phục vụ canh tác nông nghiệp trồng lúa và có vai trò quan trọng đối với sự biến động lớp phủ đất trồng lúa của khu vực.</p>	
<p>8</p>	<p>Bản đồ khoảng cách đến mặt nước nhỏ hơn 50m (khoảng cách đến mặt nước nhỏ hơn 50m sẽ nhận giá trị 0. Còn lại sẽ nhận giá trị 1)</p>	<p>Liên quan đến yếu tố thủy lợi phục vụ canh tác nông nghiệp trồng lúa và có vai trò quan trọng đối với sự biến động lớp phủ đất trồng lúa của khu vực.</p>	
<p>9</p>	<p>Bản đồ tiếp cận giao thông</p>	<p>giao thông trong khu vực phân bố dày đặc và rộng khắp, khu vực xa đường giao thông nhất khoảng 1000m tập trung ở các vùng ven biển.</p>	





Hình 4. Bản đồ các yếu tố vị trí khu vực nghiên cứu.

Kết quả phân tích hồi quy do mô hình đưa ra sẽ cho biết được giá trị tương quan βn của từng loại lớp phủ với mỗi yếu tố tác động và kết quả kiểm nghiệm phân loại nhị biến AUC của hàm hồi quy đó. Chi tiết từng loại lớp phủ được phân tích hồi quy với yếu tố nào, loại tương quan gì và kết quả kiểm nghiệm AUC được đưa mô tả (Bảng 4). Trên cơ sở đó, đánh giá một lớp phủ đủ điều kiện đưa vào mô hình thì phải liên quan đáng kể với loại sử dụng đất được chọn. Kết quả kiểm nghiệm được biểu thị bằng giá trị AUC. Giá trị này biểu thị độ chính xác của tính toán hồi quy và được mô tả là giá trị từ 0 đến 1. Giá trị trên 0,9 thể hiện độ chính xác tuyệt vời, các giá trị từ 0,8 đến 0,9 và các giá trị từ 0,7 đến 0,8 thể hiện độ chính xác hợp lý.

Bảng 4. Phân tích hồi quy các loại lớp phủ mặt đất và các yếu tố tác động.

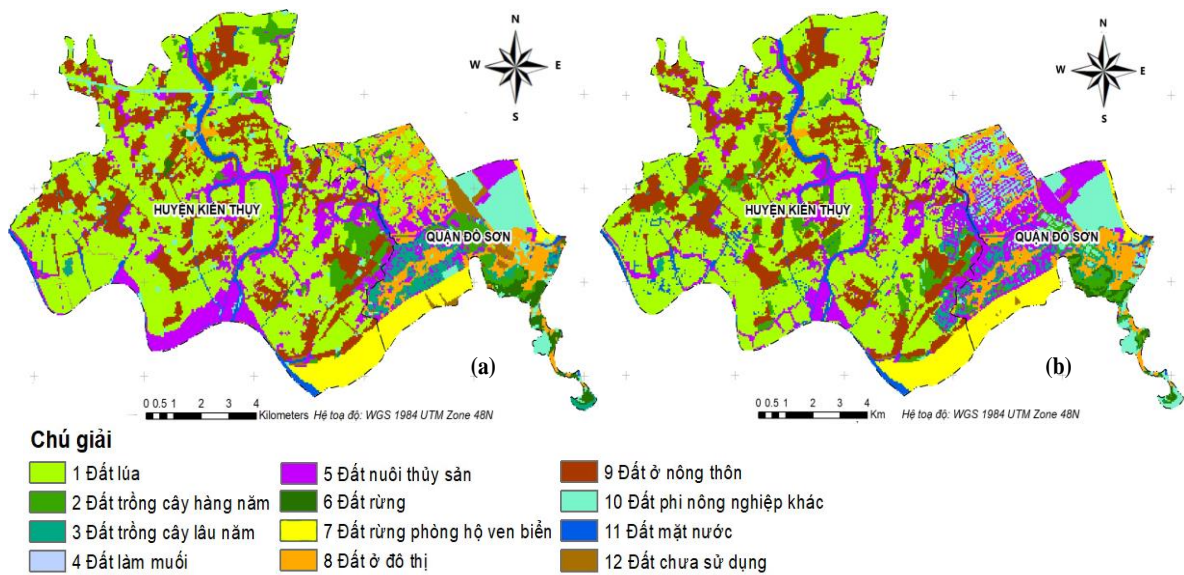
STT	Loại lớp phủ	Yếu tố phụ thuộc (- tỷ lệ nghịch/ + tỷ lệ thuận)	AUC
1	Đất trồng lúa	Độ cao (-), độ dốc (-), khoảng cách tiếp cận giao thông (+), lượng mưa (+), nhiệt độ (-), khả năng tiếp cận mặt nước nhỏ hơn 50m (+), khả năng tiếp cận mặt nước lớn hơn 50m (+)	0,824
2	Đất trồng cây lâu năm	Độ cao (+), độ dốc (-), khoảng cách tiếp cận giao thông (-), lượng mưa (-), nhiệt độ (+), khả năng tiếp cận mặt nước nhỏ hơn 50m (+), khả năng tiếp cận mặt nước lớn hơn 50m (-)	0,890
3	Đất làm muối	Độ cao (-), độ dốc (-)	0,752
4	Đất nuôi thủy sản	Độ dốc (-), khoảng cách tiếp cận giao thông (-), lượng mưa (+), nhiệt độ (+), khả năng tiếp cận mặt nước nhỏ hơn 50m (+), khả năng tiếp cận mặt nước lớn hơn 50m (-)	0,810
5	Đất rừng	Độ cao (+), độ dốc (+), khoảng cách tiếp cận giao thông (-), lượng mưa (-), nhiệt độ (-),	0,860
6	Đất dân cư	Không phân tích hồi quy	

Bảng 4 cũng chỉ ra mỗi loại đất sẽ có những hàm tương quan đặc trưng riêng. Đất trồng lúa tương quan thuận với khoảng cách tới mặt nước và tương quan nghịch với độ cao, độ dốc, nhiệt độ. Đất trồng cây lâu năm thì lại tương quan thuận với độ cao, nhiệt độ tương quan nghịch với khoảng cách tiếp cận giao thông và khả năng tiếp cận mặt nước lớn hơn 50 m. Đặc biệt, đất nuôi thủy sản, làm muối đều tương quan nghịch với độ dốc.

**Bảng 5.** Ma trận chuyển đổi.

Loại đất	LUC	BHK	CLN	LMU	NTS	RST	RPH	ODT	ONT	PNK	MNC	BCS
LUC	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1
BHK	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
CLN	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0
LMU	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
NTS	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	1	1
RST	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0
RPH	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
ODT	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0
ONT	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0
PNK	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
MNC	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
BCS	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	1

Bảng 5 thể hiện ma trận chuyển đổi của khu vực nghiên cứu sau khi được thiết lập trong mô hình CLUMondo. Bảng ma trận chuyển đổi cho thấy: đất rừng phòng hộ ven biển, đất làm muối không có khả năng chuyển đổi sang các loại hình đất khác; đất ở đô thị và đất ở nông thôn không có khả năng chuyển đổi sang đất trồng lúa,... điều này khá hợp lý và phù hợp với quy luật của điều kiện tự nhiên. Tuy nhiên nhóm đất này cũng có khả năng chuyển đổi sang đất trồng cây lâu năm, đất trồng cây hàng năm và đất chưa sử dụng. Nhóm các loại đất còn lại đều có khả năng chuyển đổi qua lại với nhau trong tương lai. Kết quả mô hình sử dụng đất được thể hiện trong Hình 5.



**Hình 5.** Bản đồ lớp phủ đất năm 2019 từ ảnh vệ tinh (a) và từ ảnh mô hình (b).

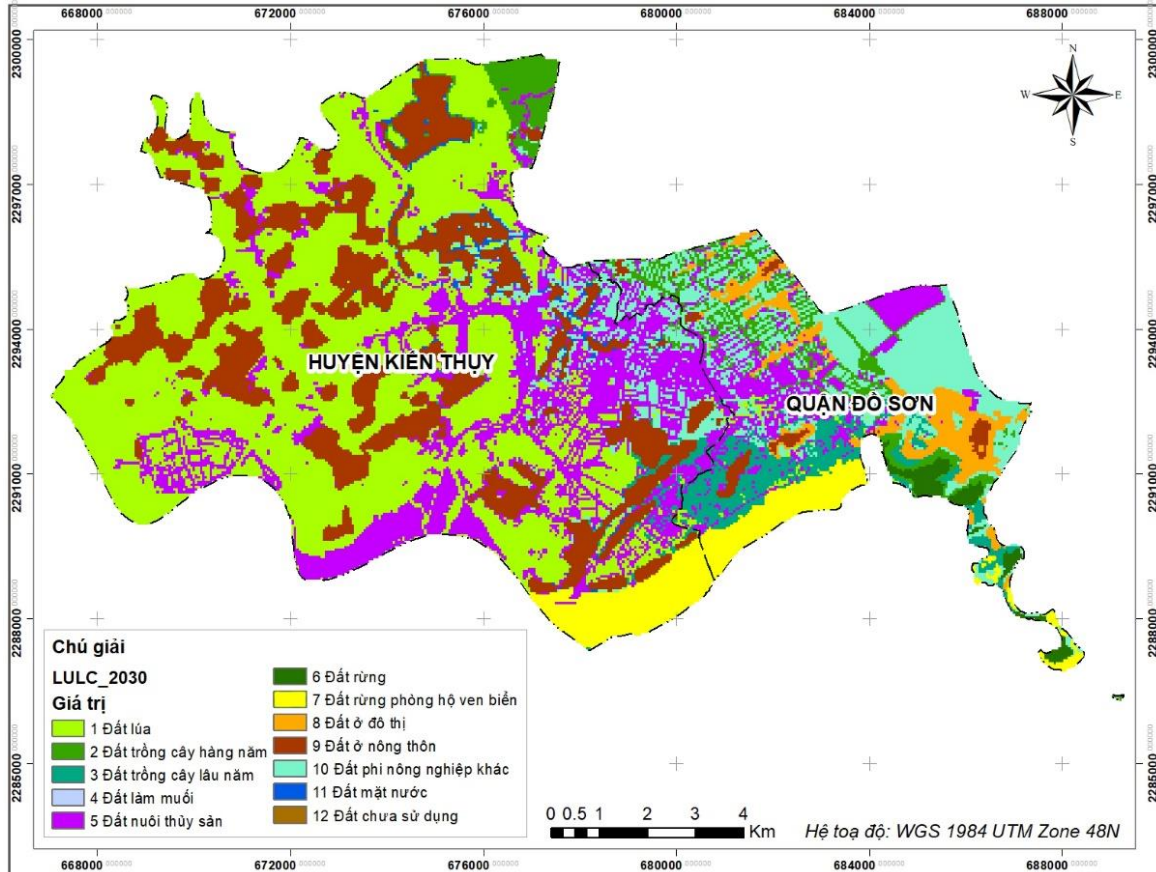
### 3.3. Đánh giá độ chính xác mô hình

Mô phỏng sử dụng đất của mô hình CLUMondo đối với khu vực nghiên cứu (huyện Kiến Thụy và quận Đồ Sơn) vào năm 2019 được phân tích và đánh giá độ chính xác và tính ổn định của mô hình. Bản đồ này được so sánh với bản đồ tham chiếu (giải đoán từ ảnh vệ tinh) trong cùng năm 2019 (Hình 5) cho thấy mối tương quan cao với  $R^2 = 0,952$ . Giá trị sai số trung bình bình phương là 45.947,2 (ha) tương ứng với sai số 0,04% giá trị trung bình toàn bộ diện tích lớp phủ mặt đất (214,4 ha). Điều này cho thấy không có sự chênh lệch nhiều giữa các loại lớp phủ ở cả hai phương pháp.



### 3.4. Dự báo xu hướng biến đổi lớp phủ mặt đất đến năm 2030

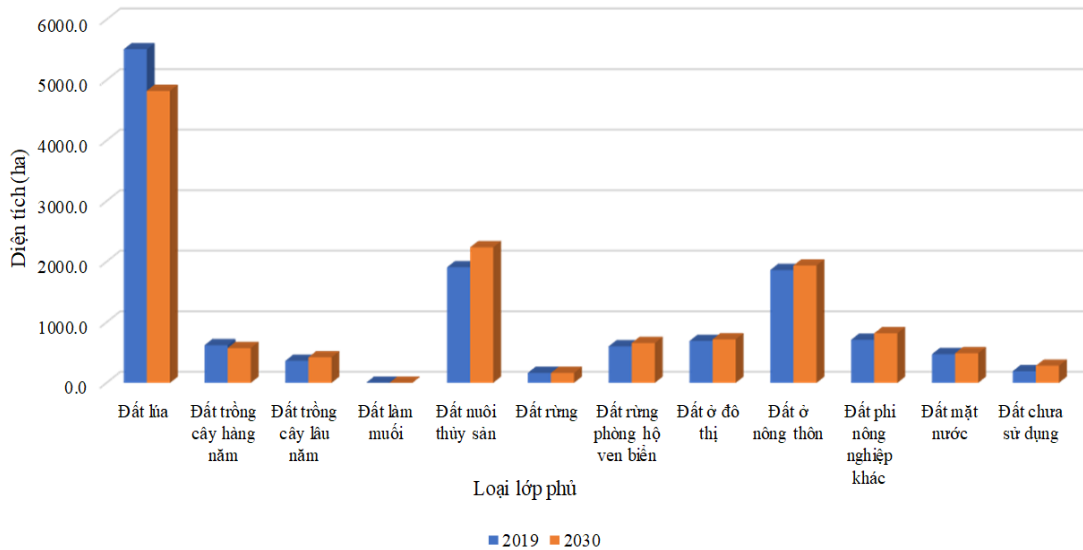
Dựa trên các nhu cầu về sử dụng đất, mô hình CLUMondo được áp dụng để mô phỏng cho thay đổi lớp phủ mặt đất khu vực Kiên Thủy - Đồ Sơn. Bản đồ dự báo phân bố lớp phủ mặt đất được thể hiện như Hình 6. Theo đó, có thể thấy được xu hướng sự thay đổi về các loại phủ mặt đất giữa năm 2019 với năm 2030.



**Hình 6.** Bản đồ dự báo lớp phủ đất đến năm 2030 khu vực Kiên Thủy - Đồ Sơn.

Dự báo lớp phủ mặt đất đến 2030 có xu hướng biến đổi giảm diện tích đất trồng lúa, đất trồng cây hàng năm và đất làm muối. Diện tích đất trồng lúa dự kiến đến năm 2030 giảm xuống còn 4.822,6 ha, giảm 1.101,5 ha so với năm 2019, dự báo tốc độ giảm trung bình 100,14 ha/năm. Diện tích đất lúa giảm tập trung chủ yếu ở phường Hợp Đức và Minh Đức thuộc quận Đồ Sơn. Đất trồng cây hàng năm đến năm 2030 cũng dự báo có xu hướng giảm nhẹ, giảm 45,8 ha so với năm 2019 (Hình 7).

Trái ngược với đất trồng lúa, ở thời điểm năm 2030 diện tích đất nuôi trồng thủy sản dự kiến tăng mạnh (xấp xỉ 2.240,0 ha), dự báo tốc độ tăng trung bình 30,1 ha/năm. Điều này phù hợp với xu hướng phát triển kinh tế - xã hội tại khu vực theo xu hướng chú trọng đầu tư phát triển ngành nuôi trồng thủy sản, công nghiệp, du lịch và dịch vụ. Cùng với quá trình công nghiệp hóa - hiện đại hóa tính đến thời điểm năm 2030 diện tích đất ở được dự báo có xu hướng tăng trong đó đất ở nông thôn dự kiến năm 2030 là 1.928,0 ha, đất ở đô thị dự kiến là 719,3 ha. Bên cạnh đó, đất phi nông nghiệp khác cũng tăng dự kiến là 818,8 ha, với tốc độ dự báo tăng 8,9 ha/năm. Diện tích đất rừng bảo toàn diện tích so với thời điểm hiện tại, đất rừng phòng hộ ven biển cũng có xu hướng tăng nhẹ với diện tích dự kiến năm 2030 là 659,4 ha. Xu hướng tăng về đất rừng phòng hộ phù hợp với chủ trương của thành phố trong công tác đẩy mạnh trồng rừng ngập mặn để phòng chống bão lũ và xói mòn ven biển.



Hình 7. Biểu đồ dự báo xu hướng biến động lớp phủ giữa năm 2019 và 2030.

#### 4. Kết luận

Kết quả mô phỏng của mô hình CluMondo tại khu vực Kiến Thụy - Đồ Sơn với hướng tiếp cận có sự tham gia của cả yếu tố tự nhiên và kinh tế - xã hội có vai trò quan trọng trong việc dự báo những thay đổi về mặt sử dụng đất/lớp phủ mặt đất trong tương lai. Các yếu tố đầu vào được lựa chọn để mô phỏng cho mô hình bao gồm: lượng mưa, nhiệt độ, độ cao, độ dốc, khả năng tiếp cận giao thông, khả năng tiếp cận thị trường trong nước (đến các tỉnh huyện), khả năng tiếp cận nước mặt < 50 m, khả năng tiếp cận nước mặt > 50 m, mật độ dân số.

Thông qua sử dụng mô hình CLUMondo dự báo biến động lớp phủ mặt đất ở khu vực Kiến Thụy - Đồ Sơn cho kết quả có độ chính xác cao (tương quan  $R^2 = 0,952$ ) tương xứng với các kết quả giải đoán từ dữ liệu viễn thám trước đó, cho thấy khả năng dự báo lớp phủ của mô hình CLUMondo có độ tin cậy được.

Theo kết quả mô phỏng của mô hình CLUMondo đối với khu vực Kiến Thụy - Đồ Sơn đến năm 2030 dự báo đất trồng lúa, đất làm muối, đất trồng cây hàng năm có xu hướng giảm so với thời điểm năm 2019. Bên cạnh đó, đất ở đô thị, đất ở nông thôn, đất nuôi trồng thủy sản, đất phi nông nghiệp khác, đất rừng phòng hộ ven biển, dự báo có xu hướng tăng lên. Xu hướng biến đổi theo dự báo này phù hợp với mục tiêu phát triển kinh tế - xã hội của thành phố Hải Phòng.

**Lời cảm ơn:** Các tác giả xin chân thành cảm ơn sự hợp tác của nhóm “Nghiên cứu phát triển công nghệ quản lý và phân tích dữ liệu không gian địa lý - GMA” đã giúp đỡ để thực hiện bài báo này.

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

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

#### Tài liệu tham khảo

1. Foley, W. Tradition and change in urban indigenous food practices. *Postcolonial Stud.* **2005**, 8(1), 25–44.
2. Rindfuss, R.R.; Walsh, S.J.; Turner II, B.L.; Fox, J.; Mishra, V. Developing a science of land change: challenges and methodological issues. *Proc. Natl. Acad. Sci.* **2004**, 101(39), 13976–13981.

3. Turner, B.L.; Lambin, E.F.; Reenberg, A. The emergence of land change science for global environmental change and sustainability. *Proc. Natl. Acad. Sci.* **2007**, *104*(52), 20666–20671.
4. Achard, F.; et al. Improved estimates of net carbon emissions from land cover change in the tropics for the 1990s. *Global Biogeochemical Cycles*, **2004**, *18*(2).
5. Herold, M.; Latham, J.S.; di Gregorio, A.; Schmullius, C.C. Evolving standards in land cover characterization. *J. Land Use Sci.* **2006**, *1*(2–4), 157–168.
6. Geist, H.; McConnell, W.; Lambin, E.F.; Moran, E.; Alves, D.; Rudel, T. Causes and trajectories of land-use/cover change. Proceeding of the Lambin, E.F., Geist, H. (eds) Land-Use and Land-Cover Change. Global Change - The IGBP Series. Springer, Berlin, Heidelberg. 2006, pp. 41–70.
7. Rudel, T.K.; Coomes, O.T.; Moran, E.; Achard, F.; Angelsen, A.; Xu, J.; Lambin, E. Forest transitions: towards a global understanding of land use change. *Global Environ. Change* **2005**, *15*(1), 23–31.
8. Parker, D.C.; et al. Multi-agent systems for the simulation of land-use and land-cover change: a review. *Ann. Assoc. Am. Geogr.* **2003**, *93*(2), 314–337.
9. Verburg, P.H. Simulating feedbacks in land use and land cover change models. *Landscape Ecol.* **2006**, *21*, 1171–1183.
10. Khawaldah, H.; Farhan, I.; Alzboun, N. Simulation and prediction of land use and land cover change using GIS, remote sensing and CA-Markov model. *Global J. Environ. Sci. Manage.* **2020**, *6*(2), 215–232.
11. Han, H.; Yang, C.; Song, J. Scenario simulation and the prediction of land use and land cover change in Beijing, China. *Sustainability* **2015**, *7*(4), 4260–4279.
12. Ullah, S.; et al. Analysis and simulation of land cover changes and their impacts on land surface temperature in a lower Himalayan region. *J. Environ. Manage.* **2019**, *245*, 348–357.
13. Walsh, S.J.; Entwisle, B.; Rindfuss, R.R.; Page, P.H. Spatial simulation modelling of land use/land cover change scenarios in northeastern Thailand: A cellular automata approach. *J. Land Use Sci.* **2006**, *1*(1), 5–28.
14. Van Asselen, S.; Verburg, P.H. Land cover change or land-use intensification: simulating land system change with a global-scale land change model. *Global Change Biol.* **2013**, *19*(12), 3648–3667.
15. Core Environmental Program (CEP). Applying CLUMondo to Support a Strategic Environmental Assessment of Viet Nam’s 5-year Land Use Plan (2010 - 2020) Revision, Greater Mekong Subregion, Asian Development Bank, 2016.
16. Van Asselen, S.; Verburg, P.H. Land cover change or land-use intensification: simulating land system change with a global-scale land change model. *Global Change Biol.* **2019**, *19*(12), 3648–3667.
17. Thảo, Đ.T.P.; Sỹ, M.V.; Quý, B.N.; Huyền, N.T. Lập bản đồ dự báo sử dụng đất tỉnh Bình Dương đến năm 2030 bằng mô hình Land changer Model (LCM) kết hợp dữ liệu ảnh vệ tinh Landsat. *Tap chí Khoa học Đo đạc và Bản đồ* **2017**, *31*, 44–51.
18. Khánh, N.Q.; Sơn, L.H.; Phong, V.V. Nghiên cứu xác định dữ liệu ảnh vệ tinh viễn thám phù hợp với mô hình phân tích CLUE với hai phiên bản là CLUE-s và CLUMondo trong việc giám sát và dự báo biến động lớp phủ mặt đất. Thuộc đề tài nghiên cứu khoa học và công nghệ cấp Bộ “Nghiên cứu ứng dụng dữ liệu viễn thám đa thời gian và lựa chọn mô hình trong việc giám sát và dự báo biến động sử dụng đất dưới tác động của điều kiện tự nhiên và kinh tế - xã hội, thử nghiệm tại thành phố Hải Phòng”. Trung tâm Kiểm định chất lượng sản phẩm viễn thám - Cục viễn thám quốc gia. Mã số: TNMT.2018.08.05. 2019.



19. Hoa, N.T.P. Nghiên cứu biến động sử dụng đất nông nghiệp vùng ven biển tỉnh Nam Định bằng mô hình CLUMONDO. Luận án Tiến sĩ, Học viện Nông nghiệp Việt Nam. 2023.
20. ADB. Ứng dụng mô hình Dự báo thay đổi sử dụng đất CLUMondo trong Đánh giá Môi trường Chiến lược cho điều chỉnh quy hoạch sử dụng đất toàn quốc (giai đoạn 2015 - 2020). Revision, Greater Mekong Subregion, Asian Development Bank, 2016.
21. Vliet, J.V.; Verburg, P.H. A short presentation of CLUMondo, Chapter 34 in Geomatic Approaches for Modeling Land Change Scenarios book. 2018. Doi: 10.1007/978-3-319-60801-3-34.
22. Trực tuyến: <https://haiphong.gov.vn/>

## **Forecasting land cover changes in Kien Thuy - Do Son (Hai Phong) by the year 2030 using CLUMondo model**

**Do Thi Phuong Thao<sup>1,2</sup>, Tran Thi Thu Trang<sup>1</sup>, Vu Huu Tuan<sup>3</sup>, Le Chi Thanh<sup>4</sup>**

<sup>1</sup> Hanoi University of mining and geology; dothiphuongthao@humg.edu.vn;  
tranthithutrang@humg.edu.vn

<sup>2</sup> Research and Development of Geospatial Data Management and Analysis Techniques

<sup>3</sup> ESRI Vietnam Company; tuanvhesrivn@gmail.com

<sup>4</sup> Ca Mau Department of Natural Resources and Environment; lcthanh.cic@gmail.com

**Abstract:** In Hai Phong, Kien Thuy - Do Son area is a convergence of many attractive tourist destinations, also an area with a strong industrialization and urbanization. On the other hand, under the increasingly harsh impact of natural factors, climate change, sea level rise has reduced the land area in lowland and coastal areas leading to change land use/ landcover rapidly throughout the region. The objective of this study is to use the CLUMondo model (the latest version of the CLUE model - Conversion of Land Use and its Effect) with a few factors affecting the change on land cover to predict them in future. The simulation results up to 2030 predict that the land for rice cultivation, salt production land and annual cropland will tend to decrease compared to the present time. In addition, urban, rural land, other non-agricultural land, coastal protection forest, land aquaculture land and water surface are forecast to increase. This is help adjust for negative impacts from nature and society to redistribute regional development pressure.

**Keywords:** CLUMondo; Forecasting land use/land cover changes; Kien Thuy, Do Son.

Bài báo khoa học

## Nghiên cứu phân tích các đặc trưng của gián đoạn mưa gió mùa mùa hè trên khu vực Tây Nguyên

Trần Trung Thành<sup>1</sup>, Trương Thị Thanh Thủy<sup>2</sup>, Vũ Văn Thăng<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup> Đài Khí tượng Thủy văn khu vực Tây Nguyên; thanh06kontum@yahoo.com.vn

<sup>2</sup> Viện Khoa học Khí tượng Thủy văn và Biến đổi khí hậu; vvthang26@gmail.com

\*Tác giả liên hệ: vvthang26@gmail.com; Tel.: +84-986464599

Ban Biên tập nhận bài: 18/3/2024; Ngày phản biện xong: 26/4/2024; Ngày đăng bài: 25/9/2024

**Tóm tắt:** Trong nghiên cứu này, thời điểm bắt đầu, kết thúc và các đặc trưng của gián đoạn mưa gió mùa mùa hè trên khu vực Tây Nguyên đã được phân tích dựa trên số liệu mưa tại 12 trạm quan trắc và số liệu tái phân tích của National Centers for Environmental Prediction (NCEP/NCAR) trong thời kỳ 1980-2020. Các giai đoạn gián đoạn mưa được xác định dựa trên so sánh giá trị mưa dị thường và độ lệch chuẩn của chuỗi số liệu mưa tại từng trạm. Biểu đồ phân bố tần suất của số ngày gián đoạn được sử dụng để phân tích các đặc trưng của giai đoạn gián đoạn. Phương pháp phân tích tổng hợp (composite technique) cũng được áp dụng để xác định các đặc trưng quy mô lớn liên quan đến các giai đoạn gián đoạn. Kết quả phân tích cho thấy, các giai đoạn kéo dài chủ yếu từ 5-7 ngày, và số đợt gián đoạn kéo dài trên 7 ngày gần như không đáng kể. Số ngày gián đoạn tăng dần từ đầu mùa mưa, đạt cực đại vào khoảng giữa mùa mưa đối với các trạm ở phía tây của khu vực Tây Nguyên và lệch về cuối mùa mưa tại các trạm ở phía đông của khu vực này. Giai đoạn gián đoạn mùa mưa ở Tây Nguyên liên quan đến sự xuất hiện của dị thường xoáy nghịch mực thấp và sự suy giảm của đôi lưu ở khu vực Tây Nguyên và Nam Bộ.

**Từ khóa:** Tây Nguyên; Gián đoạn gió mùa; Gián đoạn mưa; Dị thường xoáy nghịch.

### 1. Giới thiệu

Tây Nguyên nằm trong khu vực ảnh hưởng của gió mùa mùa hè Châu Á, do đó chế độ mưa ở Tây Nguyên có những chu kỳ biến đổi rõ rệt liên quan đến sự hoạt động và gián đoạn của hệ thống gió mùa này. Một giai đoạn gián đoạn gió mùa được đặc trưng bởi sự suy yếu của gió mực thấp và sự giảm mạnh của lượng mưa. Những giai đoạn gián đoạn kéo dài thường dẫn đến tình trạng khô hạn, đặc biệt là hạn hán trong mùa mưa ở Tây Nguyên có ảnh hưởng rất nhiều tới các hoạt động kinh tế - xã hội của khu vực. Nghiên cứu các đặc trưng của gián đoạn mưa gió mùa trên khu vực Tây Nguyên có vai trò quan trọng, giúp giảm nhẹ các tác động mà hiện tượng này có thể gây ra.

Trên thế giới, các nghiên cứu trước đây sử dụng rất nhiều các chỉ số khác nhau để định nghĩa một giai đoạn gián đoạn mưa gió mùa. Một số nghiên cứu sử dụng đơn thuần bức xạ phát xạ sóng dài (OLR) hoặc lượng mưa, trong khi đó một số nghiên cứu khác dựa trên sự thay đổi của các hình thái synop, ví dụ như hoạt động của front và rãnh gió mùa. Nghiên cứu [1] sử dụng giá trị mưa chuẩn hóa để xác định một giai đoạn gián đoạn, với điều kiện giá trị mưa chuẩn hóa nhỏ hơn giá trị độ lệch chuẩn của mưa trong vòng ít nhất 3 ngày liên tiếp. Nghiên cứu [2] định nghĩa giai đoạn gián đoạn mưa tại Philippine khi giá trị mưa trung bình tại 6 trạm ở bờ phía tây của đảo Luzon giảm xuống dưới 5 mm/ngày và kéo dài ít nhất 3 ngày liên tiếp. Nghiên cứu [3] xác định giai đoạn gián đoạn mưa tại Tây Thái Bình Dương khi giá

trị OLR vượt quá  $230 \text{ W/m}^2$  trong ít nhất 3 ngày. Trong khi đó, các nhà khí tượng Ấn Độ xác định giai đoạn gián đoạn mưa khi rãnh gió mùa di chuyển xa lên phía bắc tới chân của dãy núi Himalaya [4–5]. Nghiên cứu [6] định nghĩa gián đoạn mưa gió mùa trên khu vực Đông Á khi front ở khu vực này suy yếu và lượng mưa quan trắc giảm xuống dưới  $5 \text{ mm/ngày}$ .

Một số nghiên cứu khác cho thấy có mối liên hệ chặt chẽ giữa sự xuất hiện của các giai đoạn gián đoạn mưa và pha gián đoạn của dao động nội mùa. Mối liên hệ này được đề cập trong rất nhiều các nghiên cứu tại các khu vực Ấn Độ, Biển Đông và Tây Thái Bình Dương [2, 7–10]. Nghiên cứu [8] cho thấy sự thay đổi của gió vĩ hướng liên quan đến hoạt động của áp cao cận nhiệt đới Thái Bình Dương có chu kỳ 10-25 ngày và làm giảm sự hoạt động của đối lưu ở khu vực Tây Thái Bình Dương. Nghiên cứu [11] chỉ ra rằng, các dao động chu kỳ 10-20 ngày và 30-60 ngày gây ra các giai đoạn gián đoạn mưa trên khu vực Tây Thái Bình Dương, với các dao động 30-60 ngày gây ra các giai đoạn gián đoạn dài hơn so với 10-20 ngày. Các nghiên cứu tại Philippine cũng cho thấy, các giai đoạn gián đoạn mưa ở quốc gia này được gây ra bởi dao động nội mùa [2, 12, 13]. Việc chỉ ra mối liên hệ giữa giai đoạn gián đoạn gió mùa và dao động nội mùa có ý nghĩa quan trọng, do các dao động nội mùa có tính chu kỳ, nên có khả năng dự báo ở hạn dự báo xa hơn. Trên cơ sở đó, một số nghiên cứu định nghĩa một giai đoạn gián đoạn là giai đoạn lượng mưa giảm so với trung bình nhiều năm và kéo dài trong một số ngày nhất định. Tương ứng, giá trị mưa dị thường được sử dụng để xác định giai đoạn gián đoạn, thay vì sử dụng giá trị mưa trung bình [14–15].

Ở Việt Nam, các nghiên cứu về gián đoạn gió mùa chủ yếu dựa trên gió vĩ hướng mực 850 hPa (U850 hPa), do sự thay đổi của đới gió này vừa phản ánh được đặc trưng của hoàn lưu quy mô lớn, vừa có tương quan rất tốt với trường mưa. Nghiên cứu [16] sử dụng chỉ số gió mùa VSMI dựa trên U850 hPa trung bình khu vực ( $5^{\circ}\text{N} - 15^{\circ}\text{N}$ ;  $100^{\circ}\text{E} - 110^{\circ}\text{E}$ ) để phân tích các hoạt động của gió mùa trên khu vực Việt Nam. Đợt gián đoạn gió mùa mùa hè được định nghĩa là thời kỳ chỉ số VSMI mang dấu “âm” và tồn tại trong một pentad (trung bình năm ngày) hoặc duy trì liên tục trong nhiều pentad. Giá trị “âm” thể hiện gió đông thay thế gió tây. Kết quả cho thấy, số đợt gián đoạn gió mùa mùa hè ở Việt Nam biến động mạnh; các mùa hè La Niña và trung tính-pha lạnh có số đợt gián đoạn nhiều hơn và thời gian tồn tại dài hơn so với các mùa hè El Niño và trung tính-pha nóng. Nghiên cứu [17] cũng sử dụng chỉ tiêu U850 hPa trung bình miền ( $5^{\circ}\text{N} - 15^{\circ}\text{N}$ ,  $100^{\circ}\text{E} - 115^{\circ}\text{E}$ ) đổi từ dấu dương sang dấu âm và duy trì ít nhất 3 ngày liên tiếp để phân tích sự biến đổi của gián đoạn gió mùa mùa hè trên khu vực Nam Bộ. Kết quả chỉ ra các đợt gián đoạn chủ yếu kéo dài từ 3-5 ngày, hiếm khi vượt quá 10 ngày, gián đoạn xảy ra nhiều nhất vào tháng 9 thứ đến tháng 5, giảm dần vào các tháng 6 đến 8 khi gió mùa đã bước vào giai đoạn hoạt động ổn định. Kết quả cũng chỉ ra gián đoạn gió mùa trên khu vực Nam Bộ liên quan đến sự lấn về phía Tây của áp cao cận nhiệt đới Thái Bình Dương trên mực 850 hPa. Nghiên cứu [18] xác định gián đoạn mùa mưa trên khu vực Tây Nguyên và hình thể thời tiết liên quan dựa trên lượng mưa ngày tại 12 trạm khí tượng và số liệu tái phân tích của NCAR/NCEP. Kết quả cho thấy, trong những ngày lượng mưa giảm, gió Tây yếu hơn ở các mực thấp, đồng thời gió Đông ở mực giữa tầng đối lưu không được quan sát thấy như trong những ngày có mưa.

Nghiên cứu [19–21] sử dụng số liệu mưa được lọc trong dải 10-20/ngày và 20-60/ngày để xác định các giai đoạn hoạt động và gián đoạn của dao động nội mùa của mưa trên khu vực Việt Nam. Kết quả nghiên cứu chỉ ra, sự biến động của mưa trong chu kỳ 10-20/ngày liên quan đến sự tương tác của của sóng Rossby ngoại nhiệt đới và nhiễu động nhiệt đới ở khu vực Việt Nam. Trong khi đó, sự biến đổi của mưa trong chu kỳ 20-60/ngày liên quan đến sự phát triển của dao động mùa hè bắc bán cầu. Nghiên cứu [22] cho thấy, dao động Madden Jullian và các sóng xích đạo cũng tác động lớn tới sự biến động của mưa ở Việt Nam, đặc biệt ở các khu vực Tây Nguyên và Nam Bộ.

Trong bài báo này, các đặc trưng về tần suất xuất hiện và số ngày gián đoạn mưa mùa hè trên khu vực Tây Nguyên được nghiên cứu dựa trên số liệu mưa quan trắc tại 12 trạm trong khu vực, số liệu tái phân tích của NCEP/NCAR thuộc NOAA được sử dụng để phân



tích đặc trưng hoàn lưu quy mô lớn liên quan đến sự xuất hiện của giai đoạn gián đoạn mưa trong gió mùa mùa hè. Phần số liệu và phương pháp nghiên cứu được trình bày trong mục 2, Kết quả và thảo luận được trình bày trong mục 3 và kết luận được trình bày trong mục 4.

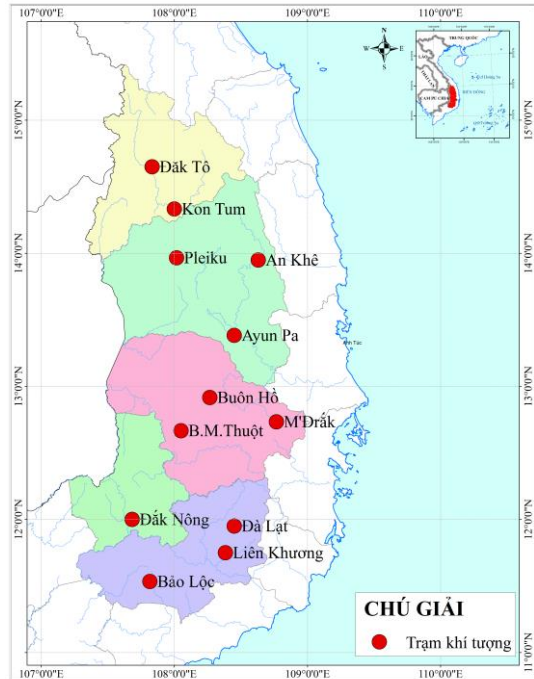
## 2. Số liệu và phương pháp

### 2.1. Số liệu

**Số liệu quan trắc:** Để phục vụ cho quá trình tính toán và phân tích các đặc trưng gián đoạn mưa gió mùa mùa hè khu vực Tây Nguyên, số liệu lượng mưa ngày trong tháng 4 đến tháng 11 tại 12 trạm quan trắc khí tượng đại diện cho khu vực Tây Nguyên thời kỳ 1980-2020 được sử dụng (Hình 1).

**Số liệu tái phân tích:** Số liệu tái phân tích của trung tâm NCEP/NCAR (*National Centers for Environmental Prediction/National Center for Atmospheric Research*), bao gồm các trường: Gió vĩ hướng  $u$  (m/s) và gió kinh hướng  $v$  (m/s) mực 850 hPa, OLR với độ phân giải  $2,5 \times 2,5$  (73 điểm kinh hướng, 144 điểm vĩ hướng).

**Chỉ số El Nino đại dương (ONI):** ONI là trung bình trượt 3 tháng của chuẩn sai nhiệt độ mặt nước biển trên vùng Nino 3.4. Đợt El Niño là một chuỗi ít nhất 5 tháng liên tục trị số ONI không dưới  $0,5^{\circ}\text{C}$  được xác định dựa trên tiêu chí của NOAA [23].



**Hình 1.** Vị trí các trạm quan trắc khí tượng Tây Nguyên được lựa chọn.

### 2.2. Phương pháp nghiên cứu

Thời điểm bắt đầu và kết thúc gió mùa mùa hè trên khu vực Tây Nguyên, được xác định dựa trên chỉ số của nghiên cứu [24].

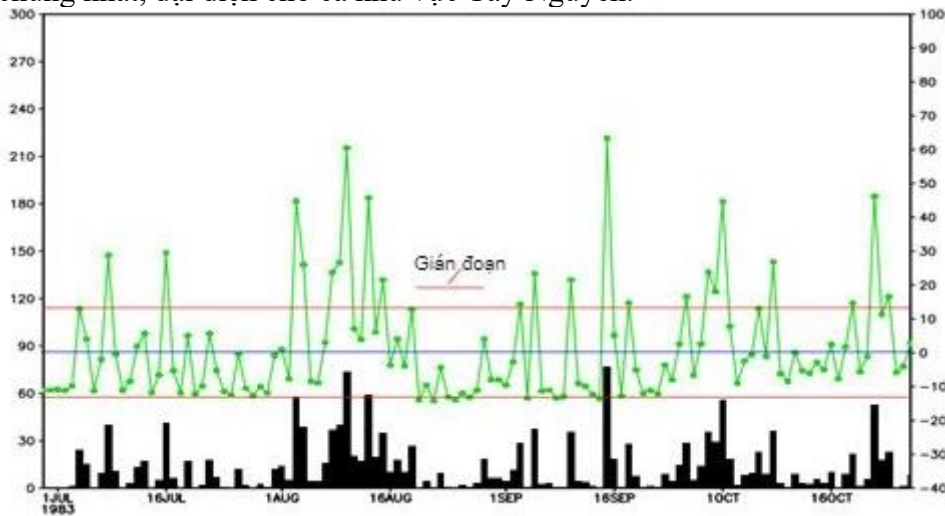
#### a) Thời điểm bắt đầu, kết thúc gió mùa mùa hè

Thời điểm bắt đầu gió mùa mùa hè là pentad (trung bình năm ngày) đầu tiên trong 3 pentad liên tiếp có lượng mưa trung bình vượt quá lượng mưa trung bình năm và trong ít nhất 3 pentad tiếp theo, lượng mưa vẫn duy trì lớn hơn so với trung bình năm. Để giảm các nhiễu có thể xuất hiện, số liệu mưa trạm được làm trơn bằng phương pháp lọc 1-2-1 [24]. Tương tự, thời điểm kết thúc gió mùa mùa hè được xác định là pentad đầu tiên lượng mưa nhỏ hơn trung bình năm, và lượng mưa nhỏ hơn trung bình năm này phải kéo dài ít nhất 3 pentad sau đó. Việc yêu cầu lượng mưa phải kéo dài ít nhất 3 pentad để tránh việc xác định nhầm mưa gây ra bởi các hiện tượng quy mô địa phương như gió đất biển hoặc các nhiễu động nhiệt đới.

#### b) Giai đoạn gián đoạn mùa mưa gió mùa mùa hè

Giai đoạn gián đoạn của gió mùa được định nghĩa là giai đoạn mà gió mùa hoạt động yếu hơn so với trung bình nhiều năm. Giai đoạn này nằm giữa thời điểm bắt đầu gió mùa và kết thúc gió mùa, có thể kéo dài vài ngày, thậm chí vài tuần và liên quan chặt chẽ đến các dao động nội mùa trong khí quyển. Trong một pha gián đoạn, mưa vẫn có thể xuất hiện nhưng lượng mưa nhỏ hơn so với trung bình. Do đó, để nhận diện các giai đoạn gián đoạn, đầu tiên phải tách được các dao động dài và chỉ giữ lại các dao động có quy mô nhỏ hơn mùa. Các pha gián đoạn sẽ được xác định dựa trên số liệu mưa dị thường (*rainfall anomalies*). Số liệu dị thường mưa được tính toán từ chuỗi số liệu sau khi đã loại bỏ 3 phổ dao động đầu tiên (120 ngày, 180 ngày và 360 ngày) của giá trị mưa quan trắc.

Sau khi trừ đi 3 phổ dao động đầu tiên, giá trị mưa dị thường sẽ bao gồm các giá trị âm và giá trị dương. Các giá trị dương biểu diễn lượng mưa lớn hơn trung bình nhiều năm, do đó sẽ tương ứng với pha hoạt động (pha ẩm) còn giá trị âm sẽ biểu diễn các pha gián đoạn (pha khô) của gió mùa. Nhưng để tập trung vào những pha gián đoạn có tác động lớn tới kinh tế xã hội, chỉ những pha nào kéo dài từ 5 ngày trở lên và có ít nhất 1 giá trị mưa dị thường nhỏ hơn so với giá trị độ lệch chuẩn của toàn chuỗi sẽ được xác định là pha gián đoạn. Điều này giúp loại bỏ những đợt giảm mưa kéo dài ngắn ngày, thường liên quan đến tính chất nhiễu loạn của các hệ thống quy mô lớn, thay vì các dao động của chúng. Việc xác định pha gián đoạn được biểu diễn chi tiết hơn trong Hình 2. Đối với phương pháp này có thể áp dụng riêng rẽ để xác định giai đoạn gián đoạn mưa trên từng trạm. Tuy nhiên, cũng có thể áp dụng lên trung bình mưa tại các trạm ở Tây Nguyên, hoặc thành phần chính của mưa để tìm ra các đặc trưng chung nhất, đại diện cho cả khu vực Tây Nguyên.



**Hình 2.** Giá trị mưa quan trắc tại trạm Đăk Nông năm 1983 (hình cột, phía dưới) và giá trị mưa dị thường sau khi loại bỏ 3 phổ dao động đầu tiên (đường màu xanh). Giá trị độ lệch chuẩn được biểu diễn bởi đường màu đỏ.

### 3. Kết quả và thảo luận

#### 3.1. Ngày bắt đầu và kết thúc mùa mưa

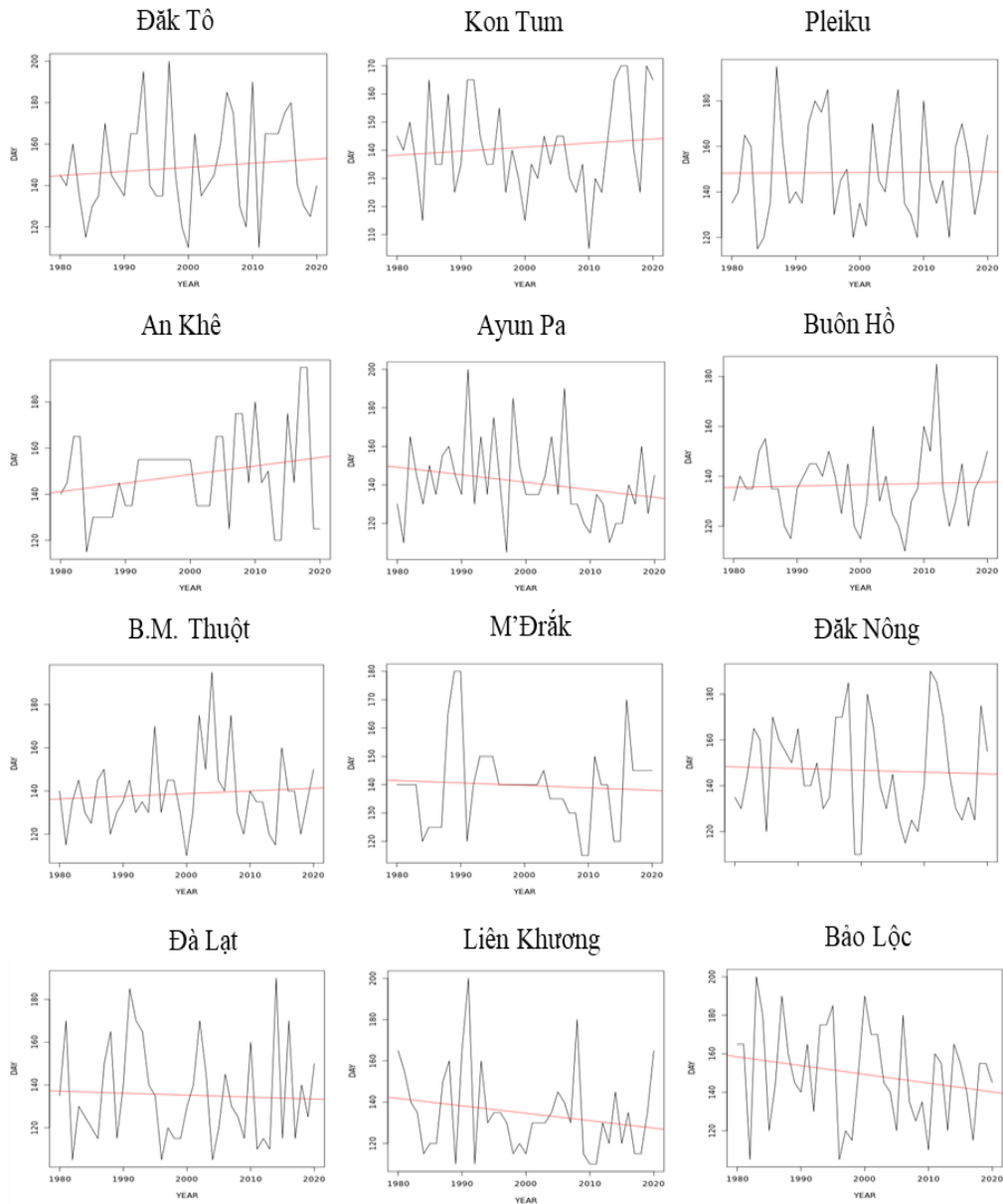
Thời điểm bắt đầu mùa mưa trên khu vực Tây Nguyên vào khoảng ngày 135 đến ngày 149, nghĩa là khoảng giữa tháng Tư đến đầu tháng Năm và kết thúc vào khoảng ngày 295 tới ngày 314, nghĩa là cuối tháng Chính đến giữa tháng Mười (Bảng 1). Tuy nhiên giữa các trạm vẫn có sự chênh lệch rất lớn giữa thời điểm bắt đầu và kết thúc. Các trạm có mùa mưa bắt đầu tương đối sớm như Buôn Hồ (137), Đà Lạt (136), Liên Khương (135), trong khi đó có các trạm bắt đầu tương đối muộn như Đăk Tô (149), Pleiku (149), An Khê (149), và Bảo Lộc (150). Tương tự, thời điểm kết thúc mùa mưa cũng có sự chênh lệch đáng kể, mùa mưa ở một số trạm có xu hướng kết thúc sớm như Đăk Tô (296), Kon Tum (298), Pleiku (301), M’Đrăk (300) và các trạm có mùa mưa kết thúc muộn như An Khê (313), Ayun Pa (315), Bảo Lộc (315).

**Bảng 1.** Ngày bắt đầu và kết thúc mùa mưa tại các trạm trên khu vực Tây Nguyên (ngày trong năm), tính trung bình nhiều năm trong giai đoạn 1980-2020.

STT	Trạm	Ngày Bắt đầu	Ngày Kết thúc
1	Đăk Tô	149	296
2	Kon Tum	141	298
3	Pleiku	149	301
4	An Khê	149	313

STT	Trạm	Ngày Bắt đầu	Ngày Kết thúc
5	Ayun Pa	142	314
6	Buôn Hồ	137	302
7	B. M. Thuật	139	304
8	M'Đrăk	140	300
9	Đăk Nông	147	298
10	Đà Lạt	136	310
11	Liên Khương	135	309
12	Bảo Lộc	150	315

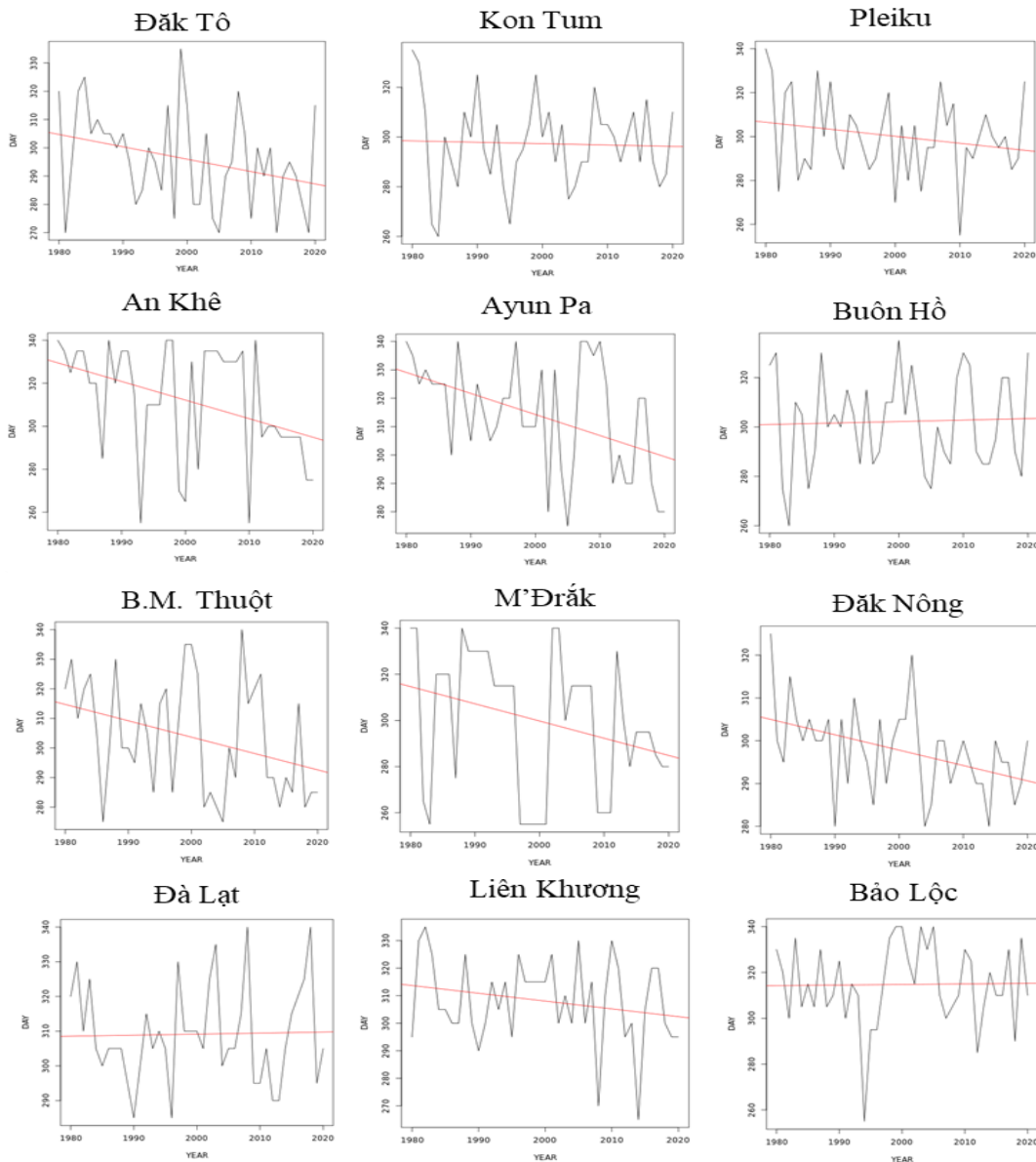
Thời điểm bắt đầu mùa mưa tại các trạm trên khu vực Tây Nguyên cũng có sự biến đổi rất mạnh giữa các năm. Sự chênh lệch giữa những năm mùa mưa đến sớm và những năm mùa mưa đến muộn có thể lên đến hơn 30 ngày. Trong những năm El Niño 1983, 1987, 1992, 1995, 2010, 2015, 2016, 2019, mùa mưa có xu hướng đến muộn trong khi đó vào các năm La Niña xuất hiện từ tháng Một đến tháng Ba, ví dụ như 1985, 1989, 1999, 2000, 2006, 2011, 2018, mùa mưa có xu hướng đến sớm hơn. Tất nhiên mối liên hệ này không hoàn toàn đúng với tất cả các trạm (Hình 3).



**Hình 3.** Thời điểm bắt đầu mùa mưa tại các trạm Tây Nguyên. Đường màu đen thể hiện ngày bắt đầu mùa mưa còn đường màu đỏ thể hiện xu thế tuyến tính của giá trị này.



Bên cạnh sự biến đổi giữa các năm, xu thế của ngày bắt đầu mùa mưa cũng có sự khác biệt giữa các trạm. Trong khi một số trạm, mùa mưa có xu hướng đến muộn hơn trong các thập kỉ gần đây, ví dụ như Đăk Tô, Kon Tum, An Khê, Buôn Ma Thuột, Đà Lạt, một số trạm khác, mùa mưa lại có xu hướng đến sớm hơn, ví dụ như Ayun Pa, Liên Khương, Bảo Lộc. Kết quả này cho thấy, mặc dù cùng trong một vùng khí hậu, sự biến đổi mùa mưa vẫn thể hiện các đặc trưng địa phương rất rõ. Nếu chỉ sử dụng chỉ số gió tây nam (chỉ số gió quy mô lớn) để tính toán thời điểm bắt đầu gió mùa, sẽ không thể hiện được các đặc trưng quy mô địa phương này (Hình 3). Do đó, chỉ số mưa có nhiều ưu điểm hơn trong việc xác định thời điểm bắt đầu và kết thúc của gió mùa mùa hè.



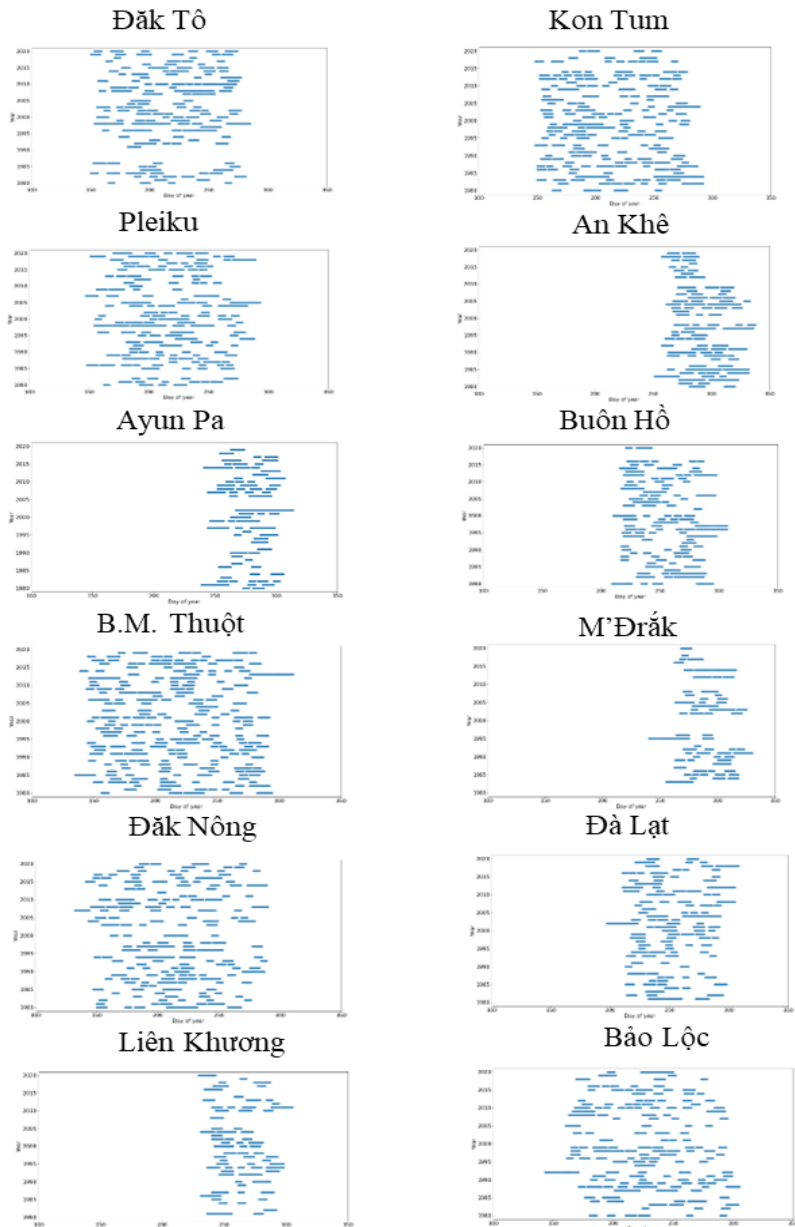
**Hình 4.** Thời điểm kết thúc mùa mưa tại trạm Tây Nguyên. Đường màu đen thể hiện ngày bắt đầu mùa mưa còn đường màu đỏ thể hiện xu thế tuyến tính của giá trị này.

Thời điểm kết thúc mùa mưa tại các trạm trên khu vực Tây Nguyên cũng có sự biến đổi rất mạnh giữa các năm (Hình 4). Sự chênh lệch giữa những năm mùa mưa kết thúc sớm và những năm mùa mưa kết thúc muộn có thể lên đến hơn 50 ngày. Dựa trên số liệu thống kê có thể thấy, những năm El Niño, ví dụ 1982, 1987, 1991, 1997, 2002, 2009, 2015 mùa mưa có xu hướng kết thúc sớm trong khi đó vào các năm La Niña, như 1985, 1988, 1998, 1999, 2000, 2007, 2011, mùa mưa có xu hướng kết thúc muộn hơn. Tất nhiên mỗi liên hệ này không hoàn toàn đúng với tất cả các trạm.

Bên cạnh sự biến đổi giữa các năm, xu thế của ngày kết thúc mùa mưa cũng có sự khác biệt giữa các trạm. Trong khi ở hầu hết các trạm, mùa mưa có xu hướng kết thúc sớm hơn trong các thập kỉ gần đây (biểu diễn bởi xu thế giảm của đường tuyến tính), thì ở một số trạm như Buôn Hồ, Đà Lạt, Bảo Lộc, mùa mưa lại có xu hướng kết thúc muộn hơn hoặc không rõ ràng. Kết quả này cho thấy, mặc dù cùng trong một vùng khí hậu, tuy nhiên sự biến đổi mùa mưa vẫn thể hiện các đặc trưng địa phương rất rõ. Do đó, nếu chỉ sử dụng chỉ số gió tây nam (chỉ số gió quy mô lớn để tính toán thời điểm bắt đầu gió mùa, sẽ không thể hiện được các đặc trưng quy mô địa phương này.

### 3.2. Giám đoạn mùa mưa gió mùa mùa hè

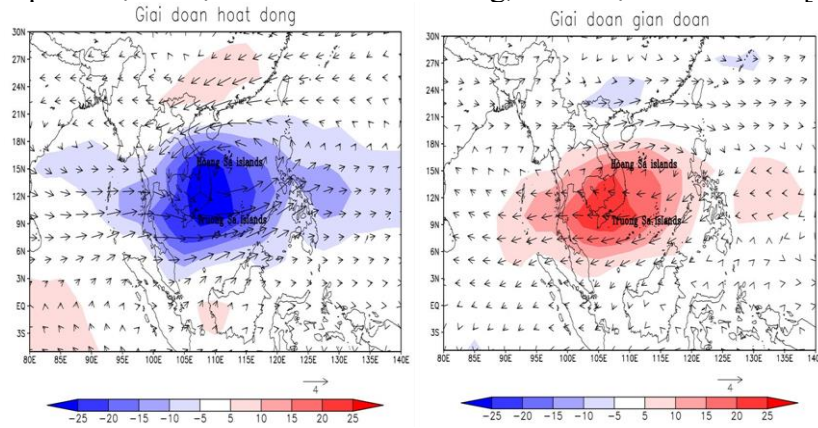
Hình 5 thể hiện những ngày thuộc pha gián đoạn mùa mưa tại các trạm trên khu vực Tây Nguyên. Mỗi một ngày gián đoạn được thể hiện bởi 1 chấm màu xanh. Nhiều ngày gián đoạn liên tiếp sẽ được thể hiện bằng đường liền. Nhìn chung, mặc dù cùng thuộc một vùng khí hậu nhưng sự phân bố các giai đoạn gián đoạn giữa các trạm là tương đối khác nhau. Ở một số trạm như An Khê, Ayn Pa, Buôn Hồ, B.M. Thuật, M’Đrắk, Đà Lạt, Liên Khương, giai đoạn gián đoạn mùa mưa có xu hướng xuất hiện ở giữa và cuối mùa mưa, trong khi đó, ở các trạm còn lại, giai đoạn gián đoạn phân bố đều trong toàn bộ mùa mưa. Các giai đoạn gián đoạn cũng có thời gian kéo dài khác nhau ở từng trạm. Trong một số năm, các giai đoạn gián đoạn có thể ít hơn nhưng kéo dài hơn so với các năm còn lại.



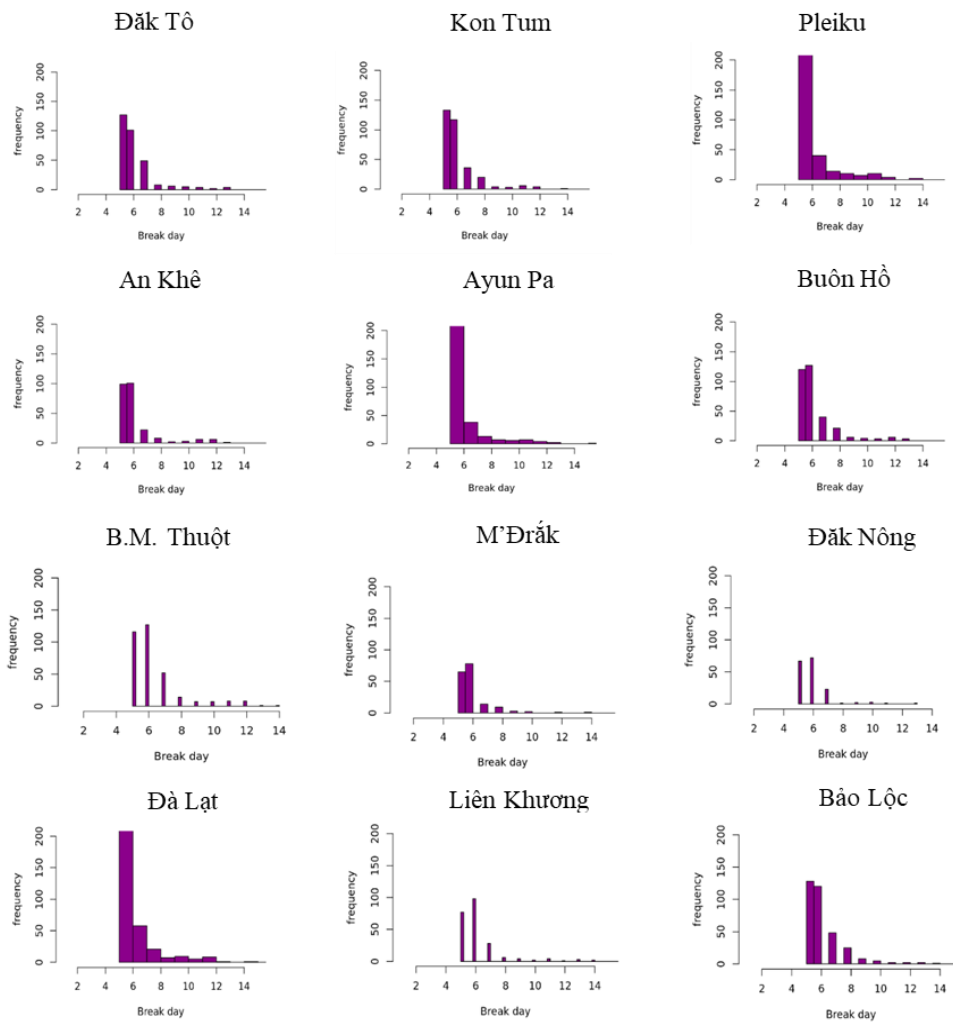
**Hình 5.** Các ngày xuất hiện giai đoạn gián đoạn mưa tại các trạm trên khu vực Tây Nguyên.

Hoàn lưu quy mô lớn liên quan đến sự xuất hiện của các giai đoạn gián đoạn được biểu diễn trong Hình 6. Có thể thấy giai đoạn gián đoạn mùa mưa ở Tây Nguyên liên quan đến sự xuất hiện của hoàn lưu dị thường xoáy nghịch và sự tăng của bức xạ sóng dài. Sự hiện diện của dị thường xoáy nghịch mức thấp ngăn cản quá trình hội tụ ẩm dẫn đến sự suy giảm của đối lưu sâu. Ngược lại, trong giai đoạn hoạt động,

hoàn lưu dị thường xoáy thuận và sự giảm của bức xạ sóng dài được quan sát. Điều này cũng phù hợp với các nghiên cứu trước đây [19] cho thấy, sự tăng giảm mưa ở khu vực Tây Nguyên liên quan đến sự xuất hiện của các dị thường xoáy thuận và xoáy nghịch di từ Biển Đông vào đất liền. Về bản chất, các dị thường này là một phần của sóng dạng nhiễu động nhiệt đới (*TD-type depression*) xuất hiện thường xuyên ở khu vực Tây Thái Bình Dương. Kết quả này cũng cho thấy, sự tăng và giảm lượng mưa ở khu vực Tây Nguyên không hoàn toàn gây ra bởi sự hoạt động của áp cao cận nhiệt đới Thái Bình Dương, như được đề xuất bởi [16, 17].



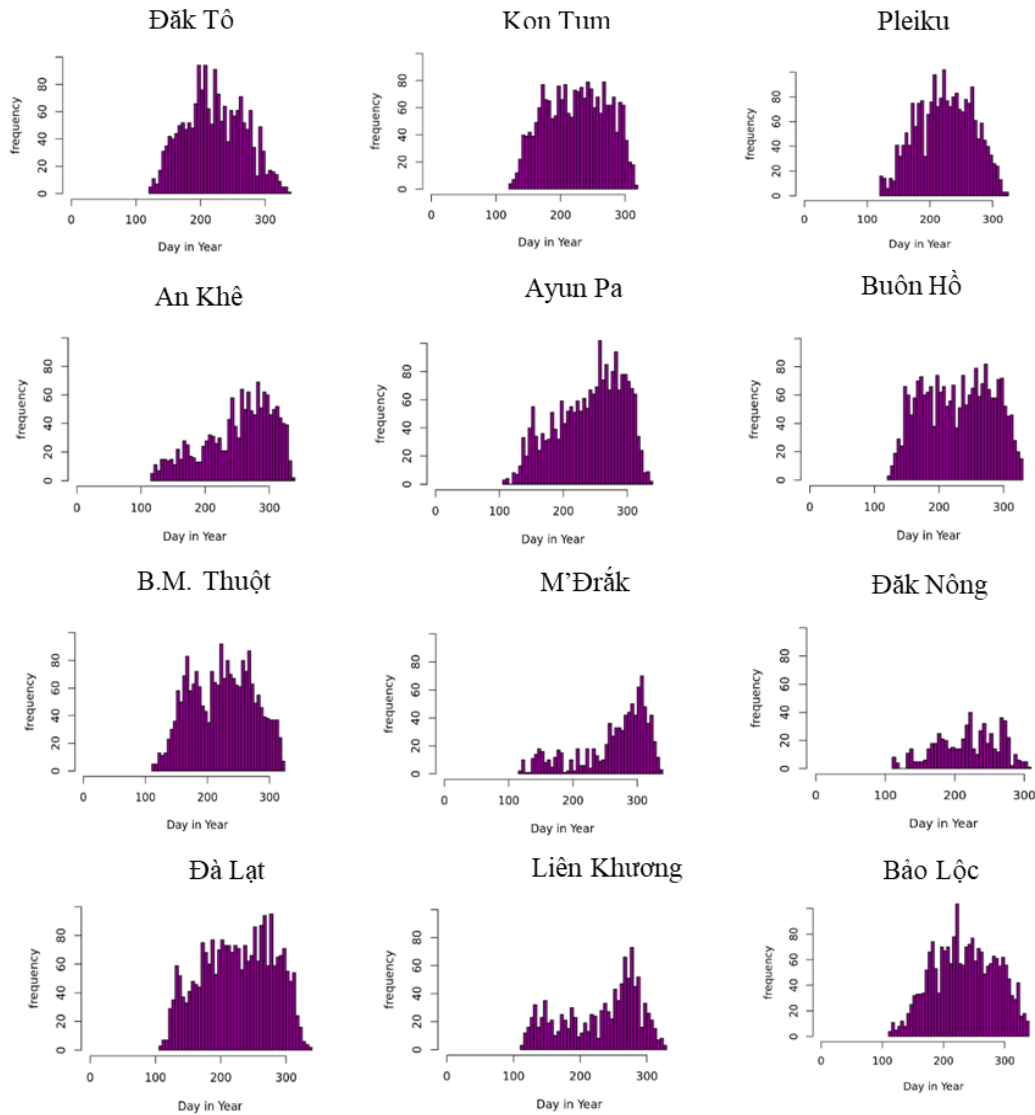
**Hình 6.** Hoàn lưu gió mực 850 hPa và OLR ( $W/m^2$ ) liên quan đến các giai đoạn hoạt động và gián đoạn của mùa mưa tại Tây Nguyên.



**Hình 7.** Phân bố tần suất (trục tung) số ngày gián đoạn (trục hoành) dựa trên số ngày kéo dài của hiện tượng gián đoạn tại các trạm trên khu vực Tây Nguyên.



Hình 7 biểu diễn phân bố tần suất số ngày gián đoạn dựa trên số ngày kéo dài của hiện tượng gián đoạn. Số ngày kéo dài của giai đoạn gián đoạn có tần suất lớn nhất trong khoảng 4 đến 6 ngày ở toàn bộ các trạm. Điều này cũng phù hợp với chu kỳ dao động của sóng khí quyển trong khoảng 14 ngày, trong đó có 7 ngày âm ướt và 7 ngày khô hạn. Số ngày kéo dài gián đoạn giảm rất nhanh ở các tần suất tiếp theo, chỉ tương đương với 10-15% của tần suất lớn nhất. Nhìn chung, các đợt gián đoạn kéo dài 10 ngày trở lên là không đáng kể, tuy nhiên trong một số năm, giai đoạn gián đoạn có thể kéo dài rất lâu, lên tới trên 15 ngày. Tần suất lớn nhất của các giai đoạn gián đoạn cũng chênh lệch lớn giữa các trạm. Một số trạm như Pleiku, Ayun Pa, Đà Lạt có số lượng ngày khô hạn kéo dài 5-6 ngày vào khoảng 200 lần trong toàn giai đoạn 1980-2020. Trong khi đó, giá trị này ở các trạm khác chỉ khoảng 100-150 lần; thấp nhất tại trạm M’Đrăk, có số lượng vào khoảng 80 lần trong toàn bộ giai đoạn.



**Hình 8.** Phân bố tần suất (trục tung) số ngày gián đoạn (trục hoành) dựa trên số lần xuất hiện của hiện tượng gián đoạn theo các ngày trong năm tại các trạm trên khu vực Tây Nguyên.

Phân bố giai đoạn gián đoạn cũng có sự biến đổi tương đối mạnh theo chu kỳ năm và có sự chênh lệch lớn giữa các trạm khác nhau (Hình 8). Nhìn chung, số ngày gián đoạn bắt đầu xuất hiện vào ngày thứ 120 (đầu tháng 5) và tăng dần trong các tháng sau đó. Thời điểm kết thúc không thực sự rõ ràng như thời điểm bắt đầu. Các trạm có số lượng ngày gián đoạn lớn như Đăk Tô, Kon Tum, Pleiku, Buôn Ma Thuật, Đà Lạt, Bảo Lộc, trong khi đó các trạm An Khê, M’Đrăk, Đăk Nông, Liên Khương, có ngày gián đoạn tương đối nhỏ hơn. Có thể thấy,

ở một số trạm, số ngày gián đoạn có phân bố một cực đại vào khoảng ngày 200-250 (tháng Bảy và tháng Tám), ví dụ như trạm Đắk Tô, Kon Tum, Pleiku, Bảo Lộc, thì ở một số trạm khác, số ngày gián đoạn lệch về phía mùa thu, ví dụ Ayun Pa, M'Đrắk, Đà Lạt, Liên Khương. Điều này cho thấy sự khác nhau về hình thế mưa giữa các trạm này. Nhìn chung, các trạm có số ngày gián đoạn cực đại lệch về mùa thu thường có tổng số ngày gián đoạn ít hơn so với các trạm có số ngày gián đoạn cực đại vào tháng Bảy và tháng Tám, ngoại trừ Ayun Pa (Hình 8).

#### 4. Kết luận

Thời điểm bắt đầu, kết thúc và các đặc trưng của gián đoạn mùa mưa trên khu vực Tây Nguyên được tính toán dựa trên số liệu mưa dị thường tại từng trạm. Kết quả thu được như sau:

*Đối với ngày bắt đầu và kết thúc:* Thời điểm bắt đầu và kết thúc mùa mưa thường bắt đầu từ giữa tháng 4 đến đầu tháng 5 và kết thúc từ giữa tháng 10 đến đầu tháng 11. Thời điểm bắt đầu và kết thúc có sự biến thiên mạnh giữa các năm, do chịu tác động của ENSO. Trong những năm El Niño, mùa mưa đến muộn và kết thúc sớm hơn. Ngược lại, trong những năm La Niña, mùa mưa đến sớm và kết thúc muộn hơn

*Đối với các đặc trưng gián đoạn:* Các đợt gián đoạn của mưa quan trắc trên khu vực Tây Nguyên chủ yếu kéo dài từ 4-6 ngày, và các đợt gián đoạn kéo dài trên 7 ngày là không đáng kể. Số đợt gián đoạn xuất hiện nhiều nhất tại các trạm Đắk Tô, Kon Tum, Pleiku, Buôn Ma Thuột, Đà Lạt, Bảo Lộc và ít nhất tại các trạm An Khê, M'Đrắk, Đắk Nông, Liên Khương. Số ngày gián đoạn mưa trong mùa mưa tăng dần từ tháng Năm, đạt cực đại vào giữa mùa mưa đối với các trạm ở phía tây như Đắk Tô, Kon Tum, Pleiku, B.M. Thuột, Đắk Nông, Bảo Lộc, và đạt cực đại vào cuối mùa mưa đối với các trạm phía đông An Khê, Ayun Pa, Buôn Hồ, M'Đrắk, Đà Lạt, Liên Khương. Sự xuất hiện của các đợt gián đoạn mưa trong mùa mưa là có liên quan đến sự phát triển của dị thường hoàn lưu xoáy nghịch và sự tăng lên của OLR tại khu vực Tây Nguyên.

Kết quả nghiên cứu giúp hiểu biết hơn về các đặc trưng của gián đoạn mùa mưa trên khu vực Tây Nguyên và sự biến đổi của hoàn lưu khí quyển liên quan. Kết quả nghiên cứu cũng là cơ sở để xây dựng các phương pháp dự báo các giai đoạn gián đoạn bằng phương pháp thống kê hoặc thống kê -động lực. Các kết quả đánh giá khả năng báo gián đoạn mùa mưa trên khu vực Tây Nguyên bằng mô hình thống kê sẽ được tiếp tục trong các nghiên cứu tiếp theo của nhóm tác giả.

**Đóng góp của tác giả:** Xây dựng ý tưởng nghiên cứu: T.T.T.; Xử lý số liệu và viết bản thảo: T.T.T.T.; Chỉnh sửa bài báo: V.V.T.

**Lời cảm ơn:** Bài báo hoàn thành nhờ vào kết quả của Đề tài: “Nghiên cứu ảnh hưởng gián đoạn gió mùa mùa hè đến thiếu hụt nước trong mùa mưa ở khu vực Tây Nguyên”. Mã số: TNMT.2023.06.06.

**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. Rajeevan, M.; Gadgil, S.; Bhate, J. Active and break spells of the Indian summer monsoon. *J. Earth Syst. Sci.* **2010**, *119*, 229–247.
2. Olaguera, L.M.P.; Matsumoto, J.; Kubota, H.; Cayan, E.O.; Hilarion, F.D. A climatological analysis of the monsoon break following the summer monsoon onset over Luzon Island, Philippines. *Int. J. Climatol.* **2021**, *41*, 2100–2117.
3. Xu, K.; Lu, R. Break events of the western North Pacific summer monsoon during 1979–2018. *J. Clim.* **2022**, *35*, 463–477.

4. Raghavan, K. Break-monsoon over India. *Mon. Weather Rev.* **1973**, 101(1), 33–43.
5. Ramanadham, R.; Rao, P.V.; Patnaik, J.K. Break in the Indian summer monsoon. *Pure Appl. Geophys.* **1973**, 104, 635–647.
6. Chen, T.C.; Wang, S.Y.; Huang, W.R.; Yen, M.C. Variation of the east Asian summer monsoon rainfall. *J. Clim.* **2004**, 17, 744–762.
7. Annamalai, H.; Slingo, J.M. Active/break cycles: Diagnosis of the intraseasonal variability of the Asian summer monsoon. *Clim. Dyn.* **2001**, 18, 85–102.
8. Guan, W.; Ren, X.; Shang, W.; Hu, H. Subseasonal zonal oscillation of the western Pacific subtropical high during early summer. *J. Meteorolog. Res.* **2018**, 32, 768–780.
9. Guan, W.; Hu, H.; Ren, X.; Yang, X.Y. Subseasonal zonal variability of the western Pacific subtropical high in summer: climate impacts and underlying mechanisms. *Clim. Dyn.* **2019**, 53, 3325–3344.
10. Xu, K.; Lu, R. Break of the western North Pacific summer monsoon in early August. *J. Clim.* **2015**, 28(8), 3420–3434.
11. Xu, K.; Lu, R. Decadal change of the western North Pacific summer monsoon break around 2002/03. *J. Clim.* **2018**, 31(1), 177–193.
12. Olaguera, L.M.P.; Manalo, J.A.; Matsumoto, J. Influence of boreal summer intraseasonal oscillation on rainfall extremes in the Philippines. *Int. J. Climatol.* **2022**, 42, 4656–4668.
13. Bagtasa, G. Influence of Madden–Julian oscillation on the intraseasonal variability of summer and winter monsoon rainfall in the Philippines. *J. Clim.* **2020**, 33, 9581–9594.
14. Pai, D.S; Sridhar, L.; and Ramesh Kumar, M.R. Active and break events of Indian summer monsoon during 1901–2014. *Clim. Dyn.* **2016**, 46, 3921–3939.
15. Ferdoushi, Z.; Quadir, D.A.; Hassan, S.Q. Active and break spells of summer monsoon over Bangladesh. *Heliyon* **2023**, 9(10), e20347.
16. Mậu, N.Đ. Nghiên cứu đánh giá và dự tính biến động của các đặc trưng gió mùa mùa hè ở Việt Nam. Luận án tiến sỹ Khoa học Trái đất Viện Khoa học Khí tượng Thủy văn và Biến đổi khí hậu, 2018.
17. Hoa, V.T.M.; Trường, N.M.T. Gián đoạn gió mùa mùa hè trên khu vực Nam Bộ trong các thập kỷ gần đây. *Tap chí Khí tượng Thủy văn* **2022**, 744(1), 44–56.
18. Tiến, P.M.; Chiều, L.T. Nghiên cứu xác định hình thể thời tiết gây gián đoạn mưa trong mùa gió mùa tây nam ở Tây Nguyên. *Tap chí Khí tượng Thủy văn* **2018**, 694, 28–34.
19. Tuan, B.M. Extratropical forcing of submonthly variations of rainfall in Vietnam. *J. Clim.* **2019**, 32(8), 2329–2348.
20. Truong, N.M.; Tuan, B.M. Large-scale patterns and possible mechanisms of 10–20-day intra-seasonal oscillation of the observed rainfall in Vietnam. *Int. J. Climatol.* **2018**, 38(10), 3801–3821.
21. Truong, N.M; Tuan, B.M. Structures and mechanisms of 20–60-day intraseasonal oscillation of the observed rainfall in Vietnam. *J. Clim.* **2019**, 32(16), 5191–5212.
22. Van Der Linden, R.; Fink, A.H.; Pinto, J.G.; Phan-Van, T.; Kiladis, G.N. Modulation of daily rainfall in southern Vietnam by the Madden–Julian oscillation and convectively coupled equatorial waves. *J. Clim.* **2016**, 29(16), 5801–5820.
23. Trục tuyên:  
[https://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis\\_monitoring/ensostuff/ONI\\_v5.php](https://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ONI_v5.php)  
 p.
24. Nguyen-Le, D.; Matsumoto, J.; Ngo-Duc, T. Climatological onset date of summer monsoon in Vietnam. *Int. J. Climatol.* **2014**, 34(11), 3237–3250.

## **Research the characteristic of the rainfall breaks during summer monsoon season in Central Highlands of Vietnam**

**Tran Trung Thanh<sup>1</sup>, Truong Thi Thanh Thuy<sup>2</sup>, Vu Van Thang<sup>2\*</sup>**

<sup>1</sup> Highland region Hydro-Meteorological Center; thanh06kontum@yahoo.com.vn

<sup>2</sup> Vietnam Institute of Meteorology, Hydrology and Climate Change; vvthang26@gmail.com

**Abstract:** In this study, the onset, withdraw, and the breaks of summer monsoon rainfall in the Central region were analyzed based on observed rainfall data from 12 stations and reanalysis data from National Centers for Environmental Prediction (NCEP/NCAR) during the period 1980-2020. The break periods were identified by comparing the anomalous rainfall and its standard deviations at each station. A frequency distribution chart of break days was used to analyze the characteristics of the break periods. The composite technique was also applied to identify large-scale features related to the break periods. The results showed that the break periods mainly lasted from 5 to 7 days, and break periods lasting over 7 days were almost negligible. The number of break days increased gradually from the beginning of the rainy season, peaking around the middle of the rainy season for stations in the western part of the Central Highlands region and in the end of the rainy season for stations in the eastern part. The study results also indicated that the rainy season break periods in the Central Highlands region are associated with the development of anomalous anticyclonic vortexes in the Central Highlands and Southern regions.

**Keywords:** Highland; Summer monsoon breaks; Rain breaks; Rainfall.



Bài báo khoa học

# Ứng dụng ảnh radar Sentinel-1 giám sát tình hình sạt lở và bồi tụ tại tỉnh Cà Mau giai đoạn 2015-2024 trên nền tảng Google Earth Engine

Lương Thanh Long<sup>1\*</sup>, Nguyễn Trọng Nhân<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Đoàn Đo Đạc, Biên Vẽ Hải Đồ Và Nghiên Cứu Biển; luongthanlong1306@gmail.com

<sup>2</sup> Đại Học Tài Nguyên và Môi Trường Thành Phố Hồ Chí Minh; ntnhan@hcmunre.edu.vn

\*Tác giả liên hệ: luongthanlong1306@gmail.com; Tel.: +84-326471170

Ban biên tập nhận bài: 15/3/2024; Ngày phản biện xong: 26/4/2024; Ngày đăng bài: 25/9/2024

**Tóm tắt:** Cà Mau là một trong những tỉnh tại đồng bằng Sông Cửu Long đang phải đối mặt với thách thức sạt lở đường bờ biển tạo ra mối đe dọa lớn đến môi trường sinh thái. Nghiên cứu này sử dụng phương pháp OTSU để xác định tự động giá trị phân ngưỡng đối tượng mặt nước và đất liền giúp phân định đường bờ, dựa vào biểu đồ Histogram theo phân phối nhị thức cho từng thời điểm 2015 và 2024 trên ảnh radar Sentinel-1. Qua phân tích biến động đường bờ giai đoạn 2015-2024 trên nền tảng Google Earth Engine cho thấy đường bờ các vùng ven biển có sự biến động khá lớn như tình trạng sạt lở có xu hướng chiếm ưu thế hơn quá trình bồi tụ. Điển hình, huyện Ngọc Hiển, Đầm Dơi, Năm Căn tại phía bờ biển Đông xảy ra sạt lở nghiêm trọng hơn so với các huyện của bờ biển phía Tây và đồng thời diện tích các bãi bồi cũng được mở rộng do quá trình bồi lắng phù sa tại Đất Mũi huyện Ngọc Hiển và phía Tây huyện Năm Căn. Mặt khác, kết quả nghiên cứu sẽ là tiền đề hỗ trợ cho công tác quản lý giám sát chặt chẽ tình trạng biến động đường bờ tại tỉnh Cà Mau trong bối cảnh biến đổi khí hậu.

**Từ khóa:** Bồi tụ; Đường bờ; OTSU; Radar; Sentinel-1; Sạt lở.

## 1. Đặt vấn đề

Đường bờ là đường biên ngăn cách giữa phần mặt nước và phần đất liền ở một mức thủy triều quy định [1], là một đặc trưng quan trọng của bề mặt Trái Đất góp phần hỗ trợ trong công tác theo dõi tình hình biến động tại các vùng ven biển [2]. Sự biến động đường bờ chủ yếu do tác động của các nhân tố tự nhiên bao gồm sự vận động tự nhiên của địa chất, địa mạo vùng ven biển, khí hậu cực đoan, sự thay đổi cơ chế thủy văn, mực nước biển dâng và sự tác động của sóng, gió hay các hoạt động khai thác của con người [1, 3]. Ảnh hưởng nghiêm trọng đến môi trường sinh thái, sạt lở đất trên diện rộng gây thiệt hại đến tài sản, nhà cửa và tạo mối nguy hiểm tiềm ẩn cho cuộc sống của người dân tại vùng ven bờ [1, 4]. Đây được xem như là một trong những vấn đề cấp bách đáng được quan tâm trong bối cảnh biến đổi khí hậu hiện nay. Do đó, cần có biện pháp giám sát thường xuyên quá trình biến động đường bờ và tình hình sạt lở, bồi tụ trên diện rộng để kịp thời đưa cảnh báo phòng chống trong thời gian lâu dài.

Các phương pháp truyền thống như khảo sát trực tiếp thực địa, đo GPS xác định vị trí sạt lở để đánh giá biến động [4] vẫn còn tồn tại vài hạn chế như tốn nhiều thời gian, tốn kém nhân lực, chi phí nhưng không đem lại hiệu quả trong giám sát đường bờ trên diện rộng. Trong những năm gần đây, công nghệ viễn thám đã phát triển mạnh mẽ và được sử dụng khá hiệu quả trong giám sát tài nguyên thiên nhiên, môi trường và kể cả theo dõi dự báo thiên tai

với dữ liệu ảnh vệ tinh đa phổ, đa tầng, đa thời gian cho phép giám sát liên tục các đối tượng biến động trên bề mặt Trái Đất, điển hình như đối tượng đường bờ. Trên thế giới các nhà nghiên cứu đã sử dụng ảnh viễn thám để giám sát biến động đường bờ bằng nhiều phương pháp khác nhau nhưng đem lại độ tin cậy khá cao cho từng khu vực. Cụ thể dựa vào đặc trưng phản xạ phổ của đối tượng nước bị hấp thụ hoàn toàn trong dải hồng ngoại trên ảnh quang học Landsat cho phép dễ dàng chiết tách phần đất liền và mặt nước thông qua phương pháp xây dựng biểu đồ Histogram trên kênh NIR, trong đó đỉnh thấp có khả năng phản xạ phổ kém tương ứng đối tượng mặt nước và ngược lại đỉnh cao tương ứng đối tượng đất liền. Dù vậy, vùng tiếp giáp giữa 2 đỉnh của biểu đồ là vùng chuyển tiếp giữa đất và nước sẽ gây ra kết quả nhầm lẫn khi xác định giá trị phân ngưỡng [5–7]. Điển hình như nghiên cứu đường bờ thực nghiệm tại khu bảo tồn ở Bhitarkanika (Ấn Độ) đã kết hợp tính toán ảnh tỷ số kênh Green/NIR và Green/SWIR với giá trị phân ngưỡng lớn hơn 1 được xác định là phần mặt nước, cho thấy một phần rộng lớn của đường bờ bị ảnh hưởng bởi xói mòn trong suốt 36 năm giai đoạn 1973-2009 [7]. Một kết quả nghiên cứu khác ứng dụng ảnh tỷ số Green/NIR đã xác định được diện tích mặt nước giảm tại bờ biển Urmia Lake (Iran) vào giai đoạn 1998-2001 [5]. Bên cạnh đó, chỉ số nước khác biệt NDWI (*Normalized difference water index*) được xây dựng dựa trên đặc tính phản xạ của nước trên kênh Green, NIR và SWIR để xây dựng bản đồ vùng nước tại hồ Shiroda (Ấn Độ) giai đoạn 1973-2023 cho thấy xảy ra biến động của đường bờ ven hồ [8] nhưng chỉ số này không thích hợp cho vùng có các công trình xây dựng, do đó chỉ số điều chỉnh khác biệt MNDWI (*Modified Normalized Difference Water Index*) được thay thế và mang lại hiệu quả trong chiết tách mặt nước hỗ trợ công tác giám sát đường bờ [9]. Tuy nhiên, để phân biệt ranh giới mặt nước và phần đất liền trên ảnh vệ tinh, cần sử dụng một kỹ thuật tiên tiến nhằm xác định tự động giá trị ngưỡng đối với mặt nước. Đó là phương pháp OTSU giúp xác định tối ưu giá trị phân ngưỡng (*Threshold*) trên ảnh vệ tinh [10]. Theo nghiên cứu tìm nguyên nhân gây ra sự biến động đường bờ và phân tích diễn biến xu hướng tại bờ biển Jiangsu của China Yellow Sea giai đoạn 1985-2020 đã sử dụng chỉ số MNDWI và kết hợp phương pháp OTSU để trích xuất mặt nước trên ảnh Landsat. Kết quả phát hiện sự bồi lắng phát triển nhanh chóng suốt 35 năm tại ven bờ đã hình thành đường bờ nhân tạo như các bãi bồi. Đồng thời, đường bờ biển tự nhiên giảm dần do xói mòn, sạt lở đất và liên tục bị cắt và kéo thẳng do tác động của con người đến môi trường biển [11]. Cũng tại bờ biển Jiangsu, nghiên cứu khác tận dụng đặc trưng phản xạ phổ của nước trên kênh Blue, Green, SWIR1, SWIR2 của ảnh Landsat giai đoạn 2017-2020 giúp trích xuất mặt nước, đồng thời sử dụng chỉ số nước quang phổ IWI (*Improved Spectral Water Index*) và phương pháp OTSU đã xác định ranh giới mặt nước trong điều kiện thủy triều khác nhau với độ tin cậy khá cao chiếm hơn 81% so với các phương pháp sử dụng chỉ số liên quan đến nước như MNWDI, RMNDWI (*Revised Normalized Different Water Index*), EWI (*Enhanced Water Index*), AFWI (*Automated Water Extraction Index*), NDWI [12].

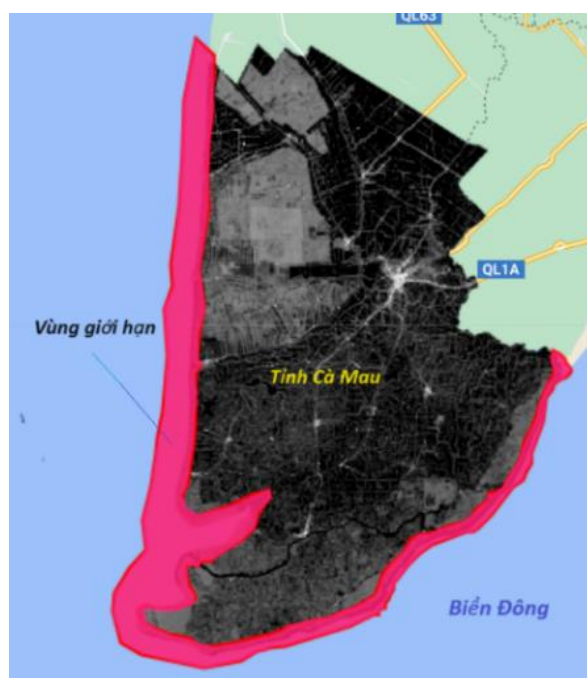
Tại Việt Nam, tình hình biến động xảy ra khá nghiêm trọng tại hầu hết các vùng ven biển và các con sông lớn. Các nhà nghiên cứu cũng sử dụng các phương pháp chiết tách mặt nước để phân ranh giới với vùng đất liền, cụ thể như phân tích biến động đường bờ khu vực bờ biển cửa sông Hậu trên ảnh Landsat với phương pháp cải chỉnh ảnh tỷ số SWIR1/Green kết hợp SWIR2 được công thức  $(SWIR1 + SWIR2)/Green$  bằng kỹ thuật Winarso G giúp chiết tách dễ dàng hơn đối tượng nước và đất liền, đồng thời qua kết quả phân tích thấy được thực trạng xói mòn, sạt lở đất khá nghiêm trọng đến 835,28 ha giai đoạn 1989-2016 [13]. Diễn biến tình hình sạt lở ven bờ sông Tiền và sông Hậu cũng diễn ra khá phức tạp với tổng diện tích xói mòn là 14.685,83 ha bao gồm vùng ven bờ của tỉnh An Giang, Đồng Tháp giai đoạn 1989-2017 được giám sát bằng phương pháp tính toán chỉ số nước NDWI trên ảnh Landsat với độ chính xác trung bình đến vừa thông qua hệ số Kappa từ 0,58 đến 0,71 [14]. Các tỉnh ven biển tại đồng bằng Sông Cửu Long đa số đều bị sạt lở như điển hình như mũi Cà Mau thường xuyên xuất hiện hiện tượng xói lở và bồi tụ trên diện rộng được xác định bằng công cụ DSAS (*Digital Shoreline Analysis System*) với ngưỡng phân tách nước lớn hơn 1 khi sử

dụng ảnh tỷ số Green/SWIR và Green/NIR [15]. Mặt khác, vẫn còn tồn tại khó khăn trong việc chiết tách mặt nước và đất liền trên ảnh vệ tinh bằng các sử dụng ngưỡng toàn cục đã được chứng minh qua thực nghiệm tại nhiều khu vực khác nhau. Do đó, cần sử dụng phương pháp có khả năng tính toán tự động giá trị phân ngưỡng cục bộ tại mỗi thời điểm khác nhau và cho từng khu vực khác nhau về mặt địa lý. Điển hình như sử dụng phương pháp OTSU chiết tách mặt nước hồ Dầu Tiếng trên ảnh radar Sentinel 1 vào thời điểm 2022 cho thấy giá trị phân cực VV nhỏ hơn -17,193 decibel được sử dụng hiệu quả hơn phân cực VH khi phân tách mặt nước và đất liền. Đối với thời điểm 1988, sử dụng phương pháp OTSU trên kênh cận hồng ngoại (NIR) của ảnh quang học Landsat 5 với giá trị phân ngưỡng bằng 38 DN (Digital Number) để tách mặt nước do nước bị hấp thụ hoàn toàn tại vùng hồng ngoại. Qua kết quả phân tích phương pháp OTSU được sử dụng linh hoạt cho từng khu vực, từng loại ảnh và từng thời điểm khác nhau [16]. Tuy nhiên khi sử dụng ảnh quang học còn bị ảnh hưởng bởi tầng khí quyển làm giảm cường độ năng lượng bức xạ của sóng điện từ trước khi tương tác với các đối tượng trên mặt đất. Thay vào đó, ảnh viễn thám radar khẩu độ tổng hợp (SAR-Synthetic Aperture Radar) có nhiều ưu điểm hơn và có thể thay thế ảnh quang học, vì ảnh radar có bước sóng dài có thể thu tín hiệu phản xạ từ bề mặt trái đất dưới mọi điều kiện thời tiết (ngày lẫn đêm) [17, 18]. Dựa trên ưu điểm của phương pháp OTSU giúp xác định tối ưu giá trị phân ngưỡng chiết tách mặt nước và đất liền trên ảnh vệ tinh so với các phương pháp khác và dựa vào đặc tính tán xạ ngược của sóng radar có khả năng hấp thụ mạnh đối với nước (như ao, hồ, sông ...) và đối tượng nước trên các phân cực của ảnh radar thường có màu đen nên có thể dễ dàng nhận dạng và chiết tách với phần đất liền [17]. Đây là cơ sở lý thuyết sẽ được lựa chọn áp dụng trong quá trình chiết tách mặt nước, phân định ranh giới đường bờ với mục tiêu xác định biến động đường bờ và phân tích hiện trạng sạt lở, bồi tụ được thực nghiệm tại khu vực tỉnh Cà Mau trên ảnh radar Sentinel-1 giai đoạn 2015-2024 bằng nền tảng điện toán đám mây Google Earth Engine là một công cụ hữu ích có khả năng xử lý phân tích nhanh chóng dữ liệu lớn, điển hình như ảnh vệ tinh cho phép quan sát bề mặt Trái Đất trên diện rộng với nhiều thuật toán, thư viện được sử dụng miễn phí [19].

## 2. Dữ liệu và phương pháp nghiên cứu

### 2.1. Khu vực nghiên cứu

Hiện nay, tình trạng sạt lở và bồi tụ bờ sông, bờ biển ở nước ta đang diễn biến hết sức phức tạp. Điển hình tại tỉnh Cà Mau đang phải đối mặt với thách thức xói lở và sạt lở đường bờ biển tạo ra mối đe dọa lớn tới môi trường sinh thái và hoạt động sản xuất kinh tế của tỉnh. Cụ thể giai đoạn 1995-2010, đường bờ bị sạt lở khá nghiêm trọng theo hướng bờ biển Đông với diện tích là 6208 ha [1]. Không dừng lại ở đó, sạt lở mũi Cà Mau không có dấu hiệu giảm mà còn có xu hướng tăng qua giai đoạn 2001-2017 [15]. Hơn 10 năm qua, giai đoạn 2011-2021 cho thấy tình trạng biến động đường bờ cũng như quá trình sạt lở ngày càng nguy hiểm và lan trên diện rộng. Bởi một phần bất lợi do vị trí địa lý của Cà Mau là tỉnh cực Nam có 3 mặt Đông - Tây - Nam đều giáp liền với biển như một bán đảo (Hình 1), có diện tích tự nhiên là 5210 km<sup>2</sup>



Hình 1. Vị trí khu vực nghiên cứu.

với đường bờ biển dài 254 km, chiếm 34,5% tổng chiều dài bờ biển vùng đồng bằng sông Cửu Long [1, 15]. Đồng thời, tỉnh còn hứng chịu tác động của 2 chế độ thủy triều: nhật triều ở phía biên Tây và bán nhật triều không đều ở phía biên Đông. Dưới tác động của sóng vỗ cũng gây ra xói mòn ven biển, một phần do tốc độ của gió mạnh thay đổi đáng kể theo mùa trong năm [15]. Theo số liệu thống kê của ngành lâm nghiệp, vào giai đoạn 2011-2021, sạt lở bờ biển đã làm biến mất một phần đất liền và đất rừng phòng hộ với diện tích khoảng 5.250 ha [20]. Tuy nhiên sự biến động bờ biển cũng đem lại lợi ích không nhỏ cho khu vực phía Nam mũi Cà Mau, nằm giữa hai luồng hải lưu của biển Đông và vịnh Rạch Giá như thường xuyên được bồi đắp phù sa và tiến dần ra biển, hình thành các làng xóm mới [15]. Trước tình hình đó, khu vực đường bờ tỉnh Cà Mau cần có biện pháp giám sát chặt chẽ thường xuyên quá trình sạt lở đường bờ trên diện rộng để kịp thời đưa ra cảnh báo phòng chống sạt lở trong bối cảnh biến đổi khí hậu toàn cầu.

2.2. Dữ liệu thực hiện

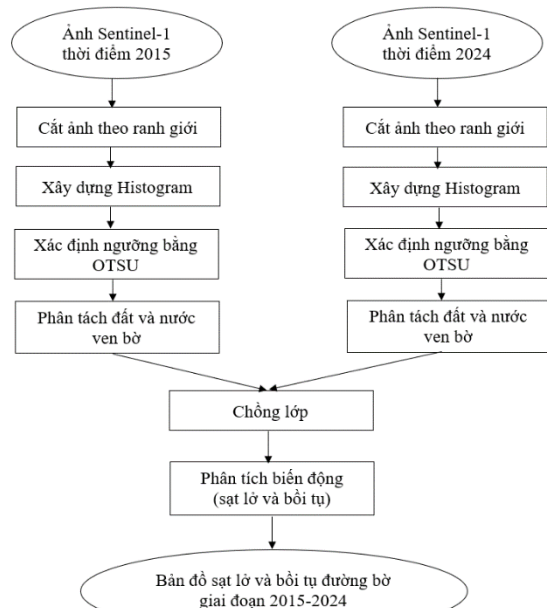
Để giám sát biến động đường bờ tỉnh Cà Mau giai đoạn 2015-2024 mang lại hiệu quả, bài báo đã sử dụng ảnh viễn thám radar khẩu độ tổng hợp (SAR-Synthetic Aperture Radar) Sentinel-1 có độ phân giải không gian 10 m với bước sóng 3,75-7,5 cm (band C) và chế độ giao thoa IW (Interferometric Wide Swath Mode) được thu thập vào mùa khô tháng 3 năm 2015 và 2024 và được lấy vào thời điểm triều cường lên để đánh giá tính ổn định của đường bờ theo đường mép nước cực đại của mặt nước trong mùa khô [21] tại khu vực nghiên cứu (bảng 1). Mặt khác do ảnh có độ phân giải khá cao nên có thể quan sát được vùng nước khi thủy triều lên trên ảnh có màu tối đen so với phần đất liền do nước bị hấp thụ mạnh bởi tán xạ ngược của sóng radar [16] và không xuất hiện các vùng đốm trắng của bãi bồi có địa hình thấp so với phần đất liền. Đồng thời, ảnh radar Sentinel-1 đã được tiền xử lý các sai sót khi bộ cảm biến ghi nhận sóng radar bằng hộp công cụ Sentinel-1 Toolbox bao gồm 3 quá trình: loại bỏ nhiễu, hiệu chỉnh tán xạ và hiệu chỉnh hình học bằng mô hình số độ cao STRM (Shuttle Radar Topography Mission) 30 m hoặc Aster DEM (Digital Surface Model) trên nền tảng điện toán đám mây Google Earth Engine [18].

Bảng 1. Thông tin thu thập ảnh vệ tinh.

Thời gian	ID ảnh
23/3/2015	COPERNICUS/S1_GRD
12/3/2024	COPERNICUS/S1_GRD

2.3. Phương pháp thực hiện

Một trong những kỹ thuật được sử dụng để phân tách đối tượng trên ảnh vệ tinh là phân ngưỡng Threshold vì thực hiện đơn giản và đem lại hiệu quả trong phân tích dữ liệu raster [22]. Trong nghiên cứu này, bề mặt mặt nước ven biển và phần đất liền tại khu vực Cà Mau được phân tách bằng phương pháp OTSU trên ảnh radar Sentinel-1 với phân cực VV tại 2 thời điểm 2015 và 2024 (Hình 2). Bởi vì, sẽ xảy ra hiện tượng muối tiêu [12] như các vùng có diện tích rất bé xuất hiện trên phần đất liền hoặc bề mặt nước biển trên cả 2 phân cực VV và VH sẽ gây khó khăn trong việc phân định đường bờ biển. Cụ thể, phân cực VH xuất hiện nhiều hơn phân cực VV với các đốm li ti và mặt khác



Hình 2. Quy trình thực hiện.



khi xây dựng biểu đồ histogram trên phân cực VH có 2 đỉnh chóp gần bằng nhau, không có sự khác biệt lớn giữa 2 lớp đối tượng là mặt nước và đất liền sẽ gây nhầm lẫn trong việc chiết tách mặt nước hơn phân cực VV [16]. Để giảm thiểu hiện tượng muối tiêu, nghiên cứu giới hạn phạm vi khu vực thực hiện bằng cách sử dụng công cụ Geometry dạng vùng đa giác để vẽ một vùng bao quanh đường bờ trải dài theo ven biển của tỉnh Cà Mau (Hình 1) trên nền tảng Google Earth Engine nhưng vẫn đảm bảo được những vị trí xảy ra biến động. Mặt khác, giá trị cấp độ xám của các đối tượng nước trên đất liền (như ao, hồ, kênh, ...) sẽ được loại bỏ, tránh gây nhiễu khi xác định giá trị ngưỡng phân tách mặt nước và đất liền trên ảnh vệ tinh.

Bản chất của phương pháp OTSU là có khả năng xác định tự động giá trị phân ngưỡng trên ảnh vệ tinh, được thực hiện dựa trên ý tưởng xây dựng biểu đồ cấp độ xám Histogram của đối tượng cần chiết tách và đối tượng làm nền theo phân phối nhị thức (*binomial distribution*) hoặc phân phối đa thức (*multinomial distribution*). Tuy nhiên, phương pháp này không hiệu quả khi các giá trị decibel của đối tượng cần chiết tách và đối tượng làm nền trên ảnh có phương sai khác biệt quá lớn [10]. Theo phương pháp OTSU, để phương sai đạt giá trị cực đại khi và chỉ khi giá trị phân ngưỡng  $k^*$  được xác định sao cho 2 lớp (B1 và B2) trên ảnh có sự khác biệt lớn [7, 10, 16, 23] thể hiện qua công thức (1).

$$k^* = \arg \max_{0 \leq k \leq L-1} \{ \omega_1(k) \mu_1^2(k) + \omega_2(k) \mu_2^2(k) \} \quad (1)$$

Trong đó B1 là lớp chứa các giá trị cấp độ xám nằm trong khoảng  $[0, \dots, k]$ ; B2 là lớp chứa các giá trị cấp độ xám nằm trong khoảng  $[k+1, \dots, L-1]$ ;  $\omega_1, \omega_2$  là xác suất của 2 lớp trên ảnh được tính theo công thức (2).

$$\omega_1(k) = \sum_{i=0}^k p_i \quad \text{và} \quad \omega_2(k) = \sum_{i=k+1}^{L-1} p_i \quad (2)$$

$\mu_1, \mu_2$  là giá trị trung bình được tính theo công thức (3)

$$\mu_1(k) = \sum_{i=0}^k \frac{i p_i}{\omega_1(k)} \quad \text{và} \quad \mu_2(k) = \sum_{i=k+1}^{L-1} \frac{i p_i}{\omega_2(k)} \quad (3)$$

Sau khi xác định được giá trị ngưỡng  $k^*$ , tiến hành phân ngưỡng (*Threshold*) để tạo ra ảnh nhị phân  $[0,1]$ . Kết quả nhận được giá trị cấp độ xám lớn hơn ngưỡng  $k^*$  sẽ được gán mã bằng 1 (là đối tượng mặt đất) và ngược lại, giá trị cấp độ xám nhỏ hơn ngưỡng  $k^*$  sẽ được gán mã bằng 0 (là đối tượng mặt nước) [16].

$$g(x, y) = \begin{cases} 1 & f(x, y) > k^* \\ 0 & f(x, y) < k^* \end{cases} \quad (4)$$

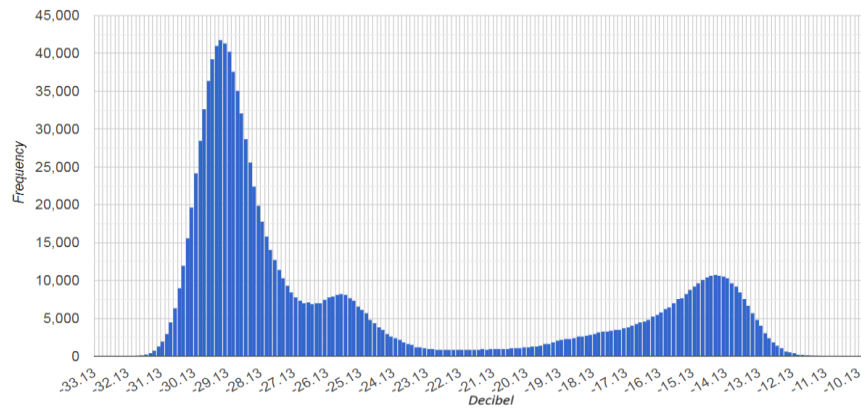
Trong đó  $g(x,y)$ : hàm biểu diễn giá trị độ xám tại điểm  $(x, y)$  trên ảnh đầu ra;  $f(x,y)$ : hàm biểu diễn giá trị độ xám tại điểm  $(x, y)$  trên ảnh đầu vào.

Dựa trên kết quả phân tách mặt nước và đất liền tại 2 thời điểm 2015 và 2024, nghiên cứu tiến hành chồng lớp, phân tích biến động bằng phương pháp hiệu 2 ảnh phân loại năm 2024 với ảnh năm 2015 bằng hàm `image2024.subtract(image2015)`, trong đó ID = 0 là mặt nước, ID = 1 là mặt đất. Kết quả trả về tạo ra ảnh biến động chứa dãy giá trị ID =  $[-1,0,1]$  với ID = -1 là đường bờ bị sạt lở và ID = 1 là đường bờ được bồi tụ.

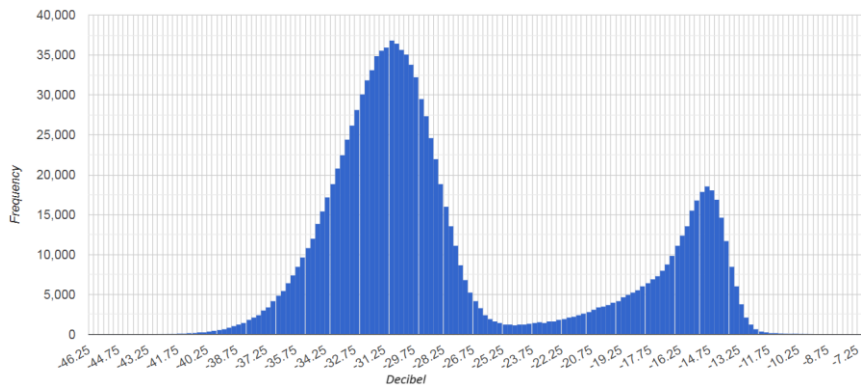
### 3. Kết quả và thảo luận

#### 3.1. Kết quả phân tách đường bờ vào thời điểm 2015 và 2024

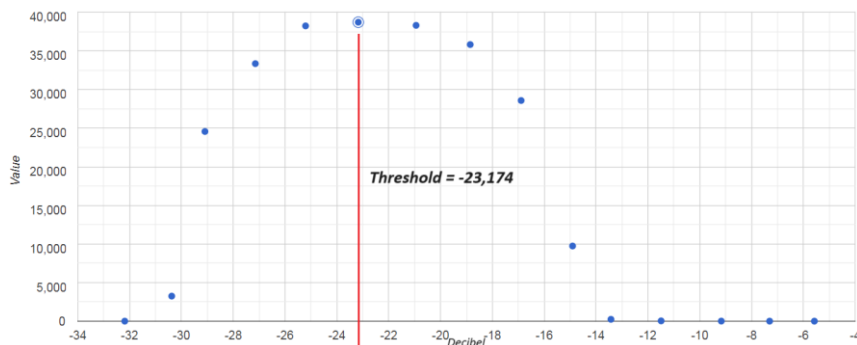
Theo biểu đồ Histogram (Hình 3, 4) được xây dựng trên các giá trị cấp độ xám ứng với thời điểm 2015 và 2024, trục ngang là giá trị decibel và trục đứng là tần suất xuất hiện giá trị pixels trên ảnh Sentinel-1 được cắt theo vùng giới hạn cho thấy đường cong của mỗi đồ thị có 2 đỉnh nhô lên rõ rệt và có sự chênh lệch khá khác biệt về tần suất của giá trị decibel trên ảnh. Qua đó, chứng minh được năng lượng tán xạ ngược rất mạnh từ các đối tượng được bộ cảm biến thu nhận, trong đó đỉnh chóp của đồ thị cao nhất tương ứng với đối tượng mặt nước và đỉnh chóp thấp hơn ứng với phần mặt đất (hoặc đối tượng khác). Mặt khác, giá trị phân ngưỡng giữa bề mặt nước và mặt đất được xác định trong vùng tiếp giáp của 2 đỉnh chóp, tuy nhiên vùng giữa này sẽ gây ra khó khăn và dễ nhầm lẫn khi chọn giá trị ngưỡng phân tách đường bờ [2, 18].



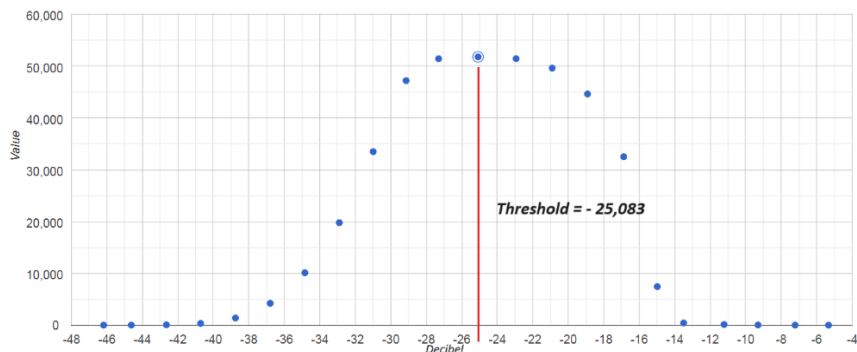
**Hình 3.** Biểu đồ cấp độ xám Histogram tại thời điểm 2015.



**Hình 4.** Biểu đồ cấp độ xám Histogram tại thời điểm 2024.



**Hình 5.** Histogram theo phân phối nhị thức - Binomial Distribution tại thời điểm 2015.

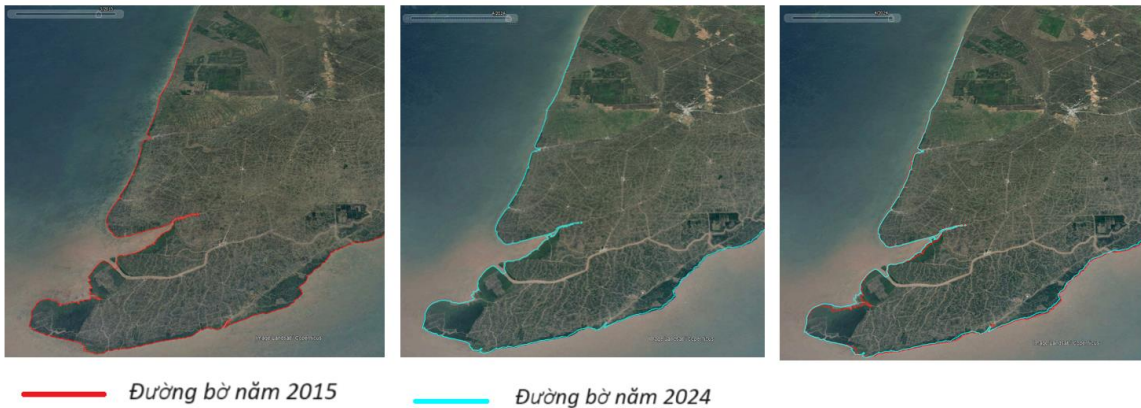


**Hình 6.** Histogram theo phân phối nhị thức - Binomial Distribution tại thời điểm 2024.

Do đó, nghiên cứu đã sử dụng phương pháp OTSU để xác định tự động giá trị phân ngưỡng (*Threshold*) trên ảnh radar Sentinel 1 trong vùng giới hạn. Dựa vào Histogram được xây dựng theo dạng phân phối nhị thức (*Binomial Distribution*) nhằm chọn một ngưỡng duy nhất và chính xác nhất cho mỗi thời điểm khác nhau. Hình 5, 6 cho thấy đồ thị phân phối

chuẩn có duy nhất 1 đỉnh chóp, trong đó điểm chính giữa chóp là giá trị phân ngưỡng. Tại thời điểm 2015 có giá trị ngưỡng Threshold = -23,174 và còn tại thời điểm 2024 giá trị phân ngưỡng Threshold = -25,083. Khi các giá trị decibel trên ảnh nhỏ hơn giá trị ngưỡng Threshold được xác định là đối tượng mặt nước và ngược lại là đối tượng mặt đất.

Dựa vào giá trị phân ngưỡng trên, nghiên cứu này tiến hành chiết tách đối tượng bằng các thuật toán trên nền tảng Google Earth Engine và kết hợp sử dụng phần mềm ArcMap để xử lý xác định ranh giới đường bờ biển tại 2 thời điểm 2015 và 2024. Bên cạnh đó, nghiên cứu còn sử dụng công cụ thanh thời gian của phần mềm Google Earth Pro để kiểm chứng đường bờ được phân tách trên ảnh Sentinel-1 với kết quả khá tương đồng (Hình 7). Mặt khác đường bờ biển vào thời điểm 2024 có sự thay đổi khá rõ rệt so với thời điểm 2015 tại Đất Mũi, bờ biển phía Đông và phía Tây.



Hình 7. Đường bờ tỉnh Cà Mau tại thời điểm 2015 và 2024 trên Google Earth Pro.

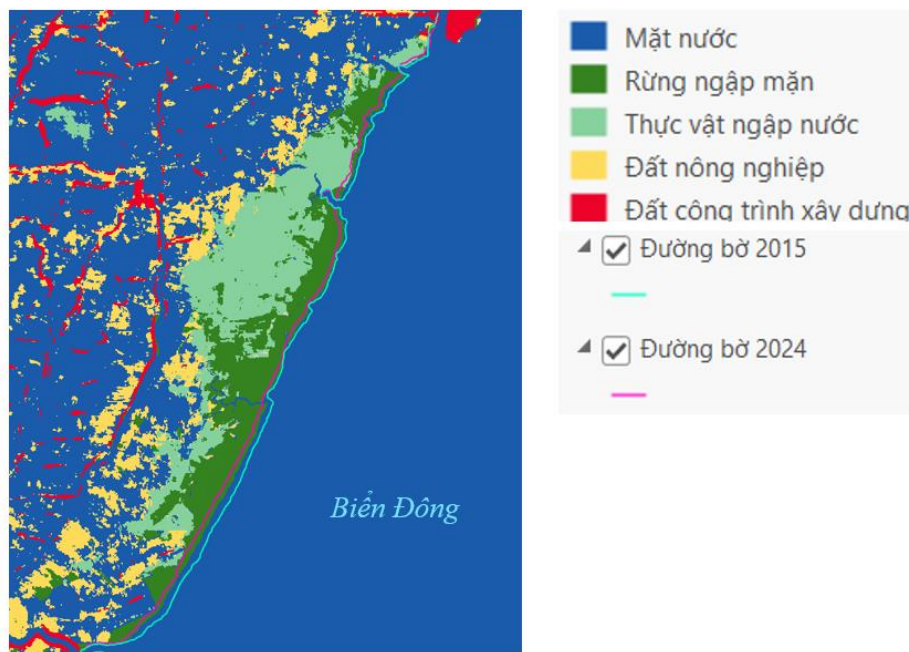
### 3.2. Kết quả phân tích sạt lở và bồi tụ đường bờ tỉnh Cà Mau giai đoạn 2015-2024

Sau khi phân tách đường ranh giới ngăn cách giữa mặt nước và mặt đất trên ảnh Sentinel-1 tại thời điểm 2015 và 2024. Nhìn chung đường bờ tại các huyện ven biển của tỉnh Cà Mau đều có sự thay đổi rõ rệt giữa 2 thời điểm. Tình trạng sạt lở đường bờ xảy ra tại hầu hết các vùng ven biển, trong đó, trải dài theo đường bờ biển phía Đông có diện tích sạt lở chiếm phần lớn so với các huyện ven biển phía Tây được thể hiện qua hình 8.



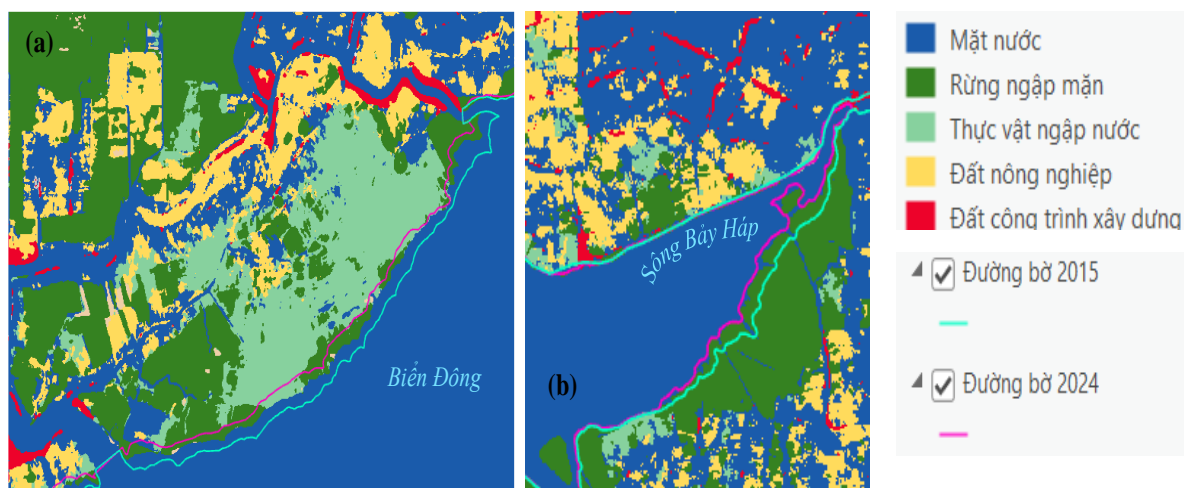
Hình 8. Bản đồ sạt lở và bồi tụ đường bờ tỉnh Cà Mau giai đoạn 2015-2024.

Tại đoạn bờ biển của huyện Đầm Dơi, từ năm 2015 đến 2024 diện tích sạt lở có xu hướng tăng và tăng mạnh so với giai đoạn trước đó. Phần lớn diện tích mất đất là khu vực rừng ngập mặn với diện tích là 720,326 ha (Hình 8, 9). Cụ thể theo nghiên cứu [24] giai đoạn 2001-2009 sạt lở với diện tích là 618,6 ha, thêm vào đó tình trạng sạt lở khoảng thời điểm 2008-2015 tốc độ trung bình xói lở khoảng 16 m/năm [25] nhưng đến năm 2016-2018 sạt lở đáng báo động kéo dài từ xã Tân Thuận kéo dài gần đến mũi Cà Mau [24].



**Hình 9.** Biến động đường bờ huyện Đầm Dơi (sạt lở).

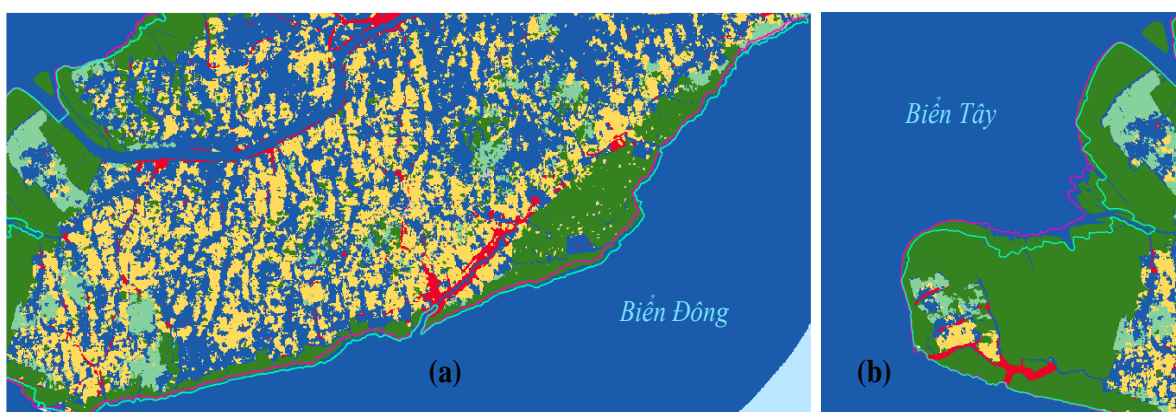
Vào giai đoạn 2000-2005 mức độ sạt lở và bồi tụ của huyện Năm Căn giảm cho đến giai đoạn 2005-2010 quá trình bồi tụ có xu hướng tăng là 415 ha [1]. Tuy nhiên, sang giai đoạn 2015-2024 tại đoạn bờ của huyện Năm Căn phía Đông có xu hướng sạt lở lớn với 602,444 ha diện tích rừng ngập mặn (Hình 8,10a) và xen kẽ là hiện tượng bồi tụ bãi bồi được mở rộng tại bờ biển phía Tây với diện tích là 411,818 ha (Hình 8,10b). Do khu vực này có nhiều cửa sông lớn như điển hình sông Bảy Háp của bờ biển Tây, Vịnh Thái Lan nhận được lượng lớn phù sa bồi đắp. Đồng thời do quá trình sạt lở ở Mũi Cà Mau đã phần nào tích lũy đất xói mòn theo dòng chảy với hướng gió mùa Tây Nam vào khu vực của sông Bảy Háp làm cho diện tích bồi lắng các bãi bồi tại rừng ngập mặn tăng lên [1].



**Hình 10.** (a) Biến động đường bờ huyện Năm Căn (sạt lở phía biển Đông); (b) Biến động đường bờ huyện Năm Căn (bồi tụ phía biển Tây).



Qua nghiên cứu [24] cho thấy diện tích sạt lở tại huyện Ngọc Hiến là 354,78 ha trong giai đoạn 2001-2009. Nhưng đến giai đoạn 2008-2015, xói lở có xu hướng chiếm ưu thế hơn với trung bình xói lở đạt khoảng 14 m/năm trải dài từ đoạn bờ xã Tân An đến mũi Cà Mau và giai đoạn 2015-2017 đạt khoảng 16 m/năm [25]. Vào giai đoạn 2015-2024, đoạn bờ trải dài biển Đông xảy ra tình hình sạt lở đáng báo động (Hình 8, 11a) với diện tích tăng 1435,431 ha và gấp 2 lần huyện Đầm Dơi, Năm Căn và gấp 7 lần huyện Phú Tân, U Minh (Bảng 2). Nguyên nhân chủ yếu gây ra sạt lở như công tác thi công bờ kè chưa đảm bảo chắc chắn và ảnh hưởng của gió mùa Đông Bắc và Tây Nam hoạt động liên tục làm cho dòng chảy xiết hơn khi thủy triều lên xuống và mức độ sóng biển tác động vào bờ mạnh hơn [1, 24]. Ngoài ra do hoạt động khai rừng phòng hộ nhằm mục đích xây dựng nhà ở hay kết hợp nuôi trồng thủy hải sản [24]. Tuy nhiên, huyện Ngọc Hiến là khu vực có quá trình sạt lở và bồi tụ diễn biến khá phức tạp so với huyện Năm Căn, cụ thể giai đoạn 2010-2015 đường bờ có xu hướng mở rộng bãi bồi [1] và bồi tụ đạt trung bình khoảng 3 m/năm [25]. Quá trình bồi tụ phù sa vẫn tiếp tục diễn ra theo xu hướng tích cực và tăng với diện tích là 872,303 ha trong giai đoạn 2015-2024 (Hình 8, 11b). Các bãi bồi tại Mũi Cà Mau là vùng tiếp giáp giữa 2 vùng biển Đông và biển Tây có chế độ thủy triều khác nhau: nhật triều ở phía biển Tây và bán nhật triều không đều ở phía biển Đông làm xuất hiện dòng xoáy nghịch góp phần lắng đọng và bồi tụ phù sa [15].



**Hình 11.** (a) Biểu đồ đường bờ huyện Ngọc Hiến (sạt lở phía biển Đông); (b) Biểu đồ đường bờ huyện Ngọc Hiến (bồi tụ phía biển Tây).

Mặt khác, đoạn đường bờ phía Tây từ huyện Phú Tân đến huyện U Minh ít bị biến động hơn so với bờ biển phía Đông. Tuy nhiên quá trình sạt lở và bồi tụ xen lẫn nhau qua từng giai đoạn 2001-2004, 2004-2008, 2008-2010, 2010-2015 với mức độ dao động trung bình khoảng từ 2 đến 8 m/năm nhưng sang giai đoạn 2015-2017 chỉ xảy ra hiện tượng sạt lở giữa 2 đường bờ khoảng 38 m/năm [25]. Tiếp diễn đó, giai đoạn 2015-2024 kết quả nghiên cứu qua hình 8 cho thấy hầu hết xảy ra hiện tượng sạt lở tại bờ biển phía Tây, cụ thể đường bờ của huyện Trần Văn Thời có diện tích sạt lở là 369,779 ha và cao hơn 2 huyện còn lại là huyện Phú Tân và U Minh (Bảng 2). Do ảnh hưởng dòng chảy của con sông Đốc tại huyện Trần Văn Thời và tình trạng xâm phạm công trình bờ bê để khai thác hải sản từ lâu đã góp phần làm cho quá trình sạt lở kéo dài. Theo nghiên cứu [1] cũng tại khu vực này, diện tích sạt lở xảy ra vào giai đoạn 2005-2010 đồng thời tăng so với giai đoạn 2000-2005.

**Bảng 2.** Thống kê diện tích biến động (sạt lở và bồi tụ) tại các huyện ven biển (đơn vị: ha).

Huyện	Sạt lở	Bồi tụ
Đầm Dơi	720,326	-
Năm Căn	602,444	411,818
Ngọc Hiến	1435,431	872,303
Phú Tân	233,276	2,579
Trần Văn Thời	369,779	-
U Minh	233,515	-

#### 4. Kết luận

Nghiên cứu đã sử dụng phương pháp OTSU để xác định tự động giá trị phân ngưỡng cục bộ giúp phân định ranh giới đường bờ giữa phần mặt nước và đất liền dựa vào biểu đồ Histogram theo phân phối nhị thức cho 2 thời điểm khác nhau trên ảnh vệ tinh Sentinel-1. Qua phân tích biến động đường bờ giai đoạn 2015-2024 cho thấy đường bờ Cà Mau trải dài dọc theo biển Đông tại khu vực ven biển của huyện Đầm Dơi, Năm Căn, Ngọc Hiển đã xảy ra tình trạng sạt lở khá nghiêm trọng hơn so với đường bờ các huyện ở biển phía Tây. Trong đó, đường bờ huyện Ngọc Hiển biến đổi khá phức tạp với hoạt động sạt lở chiếm ưu thế và đáng báo động nhất, nhưng hiện tượng bồi tụ phù sa hình thành các bãi bồi tại Mũi Cà Mau có xu hướng bồi lắng nhanh chóng góp phần kéo dài phần đất liền cho tỉnh Cà Mau nói riêng và cho lãnh thổ Việt Nam nói chung.

Tuy nghiên cứu này vẫn còn tồn tại hạn chế về mặt dữ liệu thực địa để đối chứng, kiểm tra kết quả phân tích biến động đường bờ với quá trình sạt lở và bồi tụ từ tư liệu ảnh vệ tinh, nhưng qua việc ứng công nghệ viễn thám đã hỗ trợ khá hiệu quả trong công tác giám sát đường bờ trên ảnh radar Sentinel-1 giúp tiết kiệm thời gian, chi phí và nguồn lực. Do đó, để đảm bảo độ tin cậy cho công trình nghiên cứu cần kết hợp linh hoạt công nghệ viễn thám - GIS với dữ liệu khảo sát thực địa tại các khu vực thường xuyên xảy ra sạt lở hay bồi tụ để theo dõi xu hướng biến động và quan trọng là kịp thời đưa ra cảnh báo, biện pháp phòng chống cho địa phương tỉnh Cà Mau trong bối cảnh biến đổi khí hậu và nước biển dâng.

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

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

#### Tài liệu tham khảo

1. Diễm, P.K.; Minh, V.Q.; Điệp, N.T.H.; Đen, Đ.V. Đánh giá tình hình sạt lở, bồi tụ khu vực ven biển tỉnh Cà Mau và Bạc Liêu từ 1995-2010 sử dụng viễn thám và công nghệ GIS. *Tạp chí Khoa học Trường Đại học Cần Thơ* **2013**, 26, 35–43.
2. Trung, N.V.; Khanh, N.V. Quan trắc sự biến động đường bờ sử dụng dữ liệu vệ tinh LANDSAT đa thời gian ở khu vực Cửa Đại, Sông Thu Bồn, Quảng Nam. *Tạp chí Khoa học Kỹ thuật Mỏ - Địa chất* **2016**, 57, 81–89.
3. Phái, V.V. Nghiên cứu, đánh giá biến động đường bờ biển các tỉnh Nam Bộ dưới tác động của biến đổi khí hậu và mực nước biển dâng. Đề tài NCKH cấp quốc gia. 2012.
4. Huan, V.D.; Dinh, P.T. Evaluation of coastal erosion by using Landsat data in Ca Mau Cape, Ngoc Hien District, Ca Mau Province. *IOP Conf. Series: Earth Environ. Sci.* **2023**, 1247, 1–12.
5. Alesheikh, A.A.; Ghorbanali, A.; Nouri, N. Coastline change detection using remote sensing. *Int. J. Environ. Sci. Technol.* **2007**, 4, 61–66.
6. Kelley, G.W.; Hobgood, J.S.; Bedford, K.W.; Schwab D.J. Generation of three-dimensional lake model forecasts for Lake Erie. *J. Weat. For.* **1998**, 13, 305–315.
7. Pritam, C.; Prasenjit, A. Shoreline change and sea level rise along coast of Bhitarkanika wildlife sanctuary, Orissa: An analytical approach of remote sensing and statistical techniques. *Int. J. Geomatics. Geosci.* **2010**, 1(3), 436–455.
8. Sapkale, J.B.; Mane, M.M.; Susware, N.K.; Sapkale, S.J. Dynamic changes in coastal geomorphology of Shiroda Coasts, using remote sensing and GIS: An approach to climate change and coastal disaster risk. *Disaster Adv.* **2023**, 16, 20–32.
9. XU, H. Modification of normalised difference water index (NDWI) to enhance open water features in remotely sensed imagery. *Int. J. Remote Sens.* **2007**, 27, 3025–3033.
10. OTSU, N. A threshold selection method from gray-level histogram. *IEEE Trans. Sys. Man Cybern.* **1979**, 1, 62–66.

11. Huang, L.; Zhao, C.; Jiao, C.; Zheng, G.; Zhu, J. Quantitative analysis of rapid siltation and erosion caused coastline evolution in the coastal mudflat areas of Jiangsu. *Water* **2023**, *15*, 2–23.
12. Tang, W.; Zhao, C.; Lin, J.; Jiao, C.; Zheng, G.; Zhu, J.; Pan, X.; Han, X. Improved spectral water index combined with otsu algorithm to extract muddy coastline data. *Water* **2022**, *14*, 855.
13. Tiến, N.N.; Cường, Đ.H.; Ưu, Đ.V.; Sáo, N.T.; Tuấn, T.A.; Nam, L.Đ. Phân tích biến động đường bờ khu vực bờ biển cửa sông Hậu bằng tư liệu viễn thám. *Tạp chí Khoa học và Công nghệ Biển* **2017**, *4*, 386–392.
14. Điệp, N.T.H.; Minh, V.Q.; Trường, P.N.; Thành, L.K.; Vinh, L.T.Q. Diễn biến tình hình sạt lở ven bờ sông Tiền và sông Hậu tại đồng bằng Sông Cửu Long. *Tạp chí khoa học Trường Đại Học Cần Thơ* **2019**, *2*, 125–133.
15. Tình, T.V.; Phong, D.H. Sử dụng ảnh viễn thám và GIS nghiên cứu biến động đường bờ khu vực mũi Cà Mau. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* **2017**, *12*, 35–40.
16. Nhân, N.T.; Bảo, L.T. Ứng dụng phương pháp OTSU chiết tách mặt nước trong giám sát biến động ranh giới Hồ Dầu Tiếng trên nền tảng Google Earth Engine. *Tạp chí Khoa Học Đất* **2022**, *69*, 7–11.
17. Luân, N.T.; Hùng, N.T.; Cương, V.Đ.; Huyền, N.T. Nghiên cứu thành lập bản đồ ngập lụt từ ảnh viễn thám radar áp dụng cho hạ du lưu vực sông Trà Khúc, Sông Vệ, tỉnh Quảng Ngãi. *Tạp chí Khoa học và Công nghệ Thủy lợi* **2017**, *39*, 1–8.
18. Bảo, L.T.; Nhân, N.T. Ứng dụng Google Earth Engine giám sát biến động mặt nước Hồ Dầu Tiếng giai đoạn 1990–2022. Kỷ yếu hội thảo ứng dụng GIS toàn quốc, 2022, tr. 18–25.
19. Nhân, N.T.; Cường, V.X. Sử dụng Google Earth Engine trong giám sát biến động diện tích rừng tỉnh Lâm đồng giai đoạn 2010-2016, 2018. Kỷ yếu Khoa Học Công Nghệ lần 4, 2019, tr. 254–265.
20. Châu, V.; Nghĩa, T. Báo động sạt lở bờ sông, bờ biển ở Cà Mau. Báo điện tử Đại Biểu Nhân Dân. 2024. Trục tuyến: <https://daibieunhandan.vn/doi-song/bao-dong-sat-lo-bo-song-bo-bien-o-ca-mau-i363964/> (Truy cập ngày 3/4/2024).
21. Long, V.H.; Giang, N.V.; Hoàn, T.P.; Hoà, P.V. Ứng dụng công nghệ xử lý ảnh viễn thám trên nền tảng điện toán đám mây (GEE) trong theo dõi biến động đường bờ sông - Thí điểm tại sông Cửu Long. *Tạp chí Khoa học - Trường đại học Sư Phạm TP HCM* **2019**, *16(S6)*, 38–49.
22. Hui, F.N.; Cheng, W.K.; Jim, M.L. A Weighting scheme for improving OTSU method for threshold selection. *J. Comput.* **2016**, *27*, 12–21.
23. Truong, M.T.N.; Kim, S. Automatic image thresholding using OTSU's method and entropy weighting scheme for surface defect detection. *Soft Comput.* **2018**, *22*, 4197–4203.
24. Hậu, N.Q.; Tuấn, P.V.; Dương, P.H.; Điệp, N.T.H. Ứng dụng công nghệ viễn thám thành lập bản đồ đường bờ biển theo dõi sạt lở khu vực đồng bằng Sông Cửu Long. *Tạp chí Khoa học và Công nghệ - Trường Đại học Xây dựng miền Tây* **2022**, *1*, 68–76.
25. Thành, N.T. Phân tích và đánh giá quá trình xói lở và bồi tụ ở khu vực Cà Mau bằng ảnh viễn thám và GIS. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* **2021**, *721*, 66–79.

## **Sentinel-1 radar image application monitors landslides and sedimentation in Ca Mau province for the period 2015-2024 on the Google Earth Engine platform**

**Luong Thanh Long<sup>1\*</sup>, Nguyen Trong Nhan<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Vietnam's Naval Hydrographic and Oceanographic Department;  
luongthanhlong1306@gmail.com

<sup>2</sup> Ho Chi Minh University of Natural Resources and Environment;  
ntnhan@hcmunre.edu.vn

**Abstract:** Ca Mau is one of the provinces in the Mekong Delta that is facing the challenge of coastal erosion, creating a major threat to the ecological environment. This study uses the OTSU method to automatically determine the threshold value for land and water surface objects to help delineate the shoreline, based on the Histogram chart according to the binomial distribution for each period 2015 and 2024 on radar Sentinel-1 images. Through analysis of shoreline changes in the period 2015-2024 on the google earth engine platform, it shows that the shoreline of coastal areas has quite large fluctuations, such that landslides tend to dominate over the sedimentation process. Typically, Ngoc Hien, Dam Doi, Nam Can districts on the east coast have more serious landslides than districts on the west coast and at the same time the area of alluvial grounds is also expanding due to the sedimentation process. alluvium in Dat Mui, Ngoc Hien district and the west of Nam Can district. On the other hand, the research results will be a premise to support the management and strict monitoring of shoreline fluctuations in Ca Mau province in the context of climate change.

**Keywords:** Sedimentation; Shoreline; OTSU; Radar; Sentinel-1; Landslide.



Bài báo khoa học

# Phân tích chuỗi dữ liệu nghiệm triều sử dụng mạng nơ ron hồi tiếp với nút có cổng (GRU)

Nguyễn Gia Trọng<sup>1,2\*</sup>, Bùi Ngọc Quý<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Trường Đại học Mở - Địa chất; nguyengiatrong@humg.edu.vn

<sup>2</sup> Nhóm nghiên cứu Trắc địa cao cấp - môi trường

<sup>3</sup> Viện Tài nguyên và Môi trường, Đại học Quốc gia Hà Nội; quybncre@vnu.edu.vn

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

Ban Biên tập nhận bài: 15/3/2024; Ngày phản biện xong: 27/4/2024; Ngày đăng bài: 25/9/2024

**Tóm tắt:** Nghiên cứu này đã ứng dụng mô hình GRU (*Gated Recurrent Unit*) thuộc nhóm mạng nơ ron hồi quy (*RNN - Recurrent Neural Network*) để phân tích dữ liệu nghiệm triều thu nhận được tại trạm nghiệm triều Vũng Tàu trong thời gian từ 01/01/1999 đến 31/12/2022. Kết quả thực nghiệm cho thấy, các đặc trưng thống kê về hiệu suất của mô hình đạt kết quả rất tốt: RMSE = 2,2 mm; MAE = 0,5 mm; Kappa = 0,98 và F-Score = 0,96. Bên cạnh đó, để khẳng định liệu mô hình có thực sự hiệu quả hay không đã phân chia bộ dữ liệu thành tập dữ liệu huấn luyện, tập dữ liệu kiểm tra và tập dữ liệu dự báo. Kết quả thống kê cho thấy mô hình GRU có thể dự đoán một cách tin cậy giá trị triều thông qua các đặc trưng thống kê của tập dữ liệu dự báo như RMSE = 0,06 mm, MAE = 0,05 mm. Nghiên cứu cũng chỉ ra rằng, cần thiết phải thực thi phát hiện và loại trừ ngoại lai đối với tập hợp dữ liệu đầu vào để có thể thu được kết quả dự báo đạt độ chính xác cao.

**Từ khóa:** RNN; GRU; Dữ liệu nghiệm triều; Chuỗi dữ liệu theo thời gian; AI.

## 1. Mở đầu

Hiện tượng ấm lên toàn cầu là yếu tố chính gây ra sự dâng cao của mực nước biển, được thúc đẩy bởi việc thải ra lượng khí nhà kính ngày càng tăng từ các hoạt động của con người như đốt nhiên liệu hóa thạch và phá rừng. Hiện tượng này làm cho các phân tử nước biển mở rộng khi chúng hấp thụ nhiệt độ khí quyển, đóng góp đáng kể vào việc nâng cao mực nước biển. Đồng thời, sự tan chảy của băng và tuyết, đặc biệt là tại các vùng cực như Greenland và Nam Cực, tiếp tục gia tăng, giải phóng ra lượng lớn nước ngọt vào biển và đại dương. Ngoài ra, sự mất mát của lớp băng trong đất, bao gồm các tầng băng và băng chài, cũng tăng do nhiệt độ tăng lên, làm tăng thêm sự nâng cao của mực nước biển. Hơn nữa, các thay đổi trong sử dụng đất, như khai thác nước dưới đất và xây dựng đập, gây ra sự sụt giảm đất đai, làm gia tăng hiện tượng sụt lún ven biển và làm tăng sự xâm nhập của biển [1].

Sự dâng lên của mực nước biển đe dọa các vùng ven biển có địa hình thấp và các hòn đảo gây ra thiệt hại tài sản nghiêm trọng, mất mát môi trường sống và di dời cộng đồng. cũng đặt ra mối đe dọa lớn khi mực nước biển tăng cao xâm nhập vào các nguồn nước ngọt, đe dọa cung cấp nước sạch và tổ chức cấu trúc sinh thái. Làm thay đổi môi trường ven biển, bao gồm các đầm lầy, rừng ngập mặn và rạn san hô, đe dọa đa dạng sinh học biển và các hệ sinh thái quan trọng ... [2]. Bên cạnh ý nghĩa trong nghiên cứu tại biển thiên tai, xác định được giá trị tăng lên của mực nước biển cũng góp phần cập nhật các bề mặt động lực đặc trưng trên biển. Do đó, quan trắc mực nước biển, bao gồm sự thay đổi của mực nước biển là công việc được tiến hành thường xuyên và liên tục. Có nhiều công nghệ khác nhau được sử dụng để quan trắc sự thay đổi của mực nước biển bao gồm sử dụng trạm nghiệm triều, dữ liệu đo

cao vệ tinh, GNSS phản xạ,...[3]. Từ năm 2003, máy đo thủy triều kỹ thuật số với nhiều sensor khác nhau đã được áp dụng để nâng cao độ chính xác và độ tin cậy của kết quả quan trắc. Chất lượng của bộ dữ liệu và tính sẵn có trực tuyến của nó mang lại khả năng mở rộng nghiên cứu sang các lĩnh vực nghiên cứu khác, chẳng hạn như xác định thời gian thực về nước dâng do bão và sóng thần. Chuỗi thời gian hoàn chỉnh, bao gồm cả dữ liệu tương tự và dữ liệu số, đã được tích hợp, xử lý và phân tích và đã thu được kết quả sơ bộ mới [4]. Bằng cách kết hợp chuỗi dữ liệu nghiệm triều, dữ liệu thu được từ máy đo độ cao SIRAL trên vệ tinh CryoSat-2 đã góp phần nâng cao độ chính xác đo độ cao mực nước ven biển tại Vương Quốc Anh lên mức 4 cm [5]. Các trạm nghiệm triều sử dụng trong nghiên cứu sự dâng lên của mực nước biển thường là các trạm quan trắc liên tục trong rất nhiều năm, có trạm lên tới hàng trăm năm. Do đó, dữ liệu nghiệm triều ở đây là dữ liệu theo chuỗi thời gian [6].

Để phân tích chuỗi dữ liệu nghiệm triều, các công cụ phân tích truyền thông và hiện đại (như trí tuệ nhân tạo) đã được sử dụng. Nghiên cứu [6] đã phân tích sự thay đổi của mực nước biển theo tháng, theo mùa và theo năm trên cơ sở đó đã xác định được sự thay đổi tương đối của mực nước biển tại khu vực Manila giai đoạn 1902-1962 là 1,6 mm/năm và tương ứng là 15,6 mm/năm cho giai đoạn 1963-1993. Các phương pháp phân tích giá trị đơn (SVD), ứng dụng phép lọc Kalman, kỹ thuật hàm điều hòa cũng đã được áp dụng để phân tích dữ liệu nghiệm triều [7].

Đã có nhiều mô hình trí tuệ nhân tạo khác nhau được ứng dụng để phân tích dữ liệu nghiệm triều. Nghiên cứu [8] đã phát triển mô hình dự báo triều ngắn hạn dựa trên sự kết hợp giữa mô hình trí tuệ nhân tạo ANN với mô hình thủy động lực học để dự báo ngắn hạn mực nước biển nhằm giảm thiểu ảnh hưởng của tai biến thiên tai ven biển.

Với các vùng đất thấp ven biển hoặc mục tiêu quản lý vùng ven biển thì cảnh báo mực nước hàng giờ là công việc rất quan trọng. Nghiên cứu [9] đã ứng dụng hai mô hình là ELM (*Extreme Learning Machine*) và RVM (*Relevance Vector Machine*) để dự đoán sự thay đổi của mực nước biển với sai số trung phương tối thiểu là 34,73 mm và  $R^2 = 0,93$ .

Với phương pháp tiếp cận khác, nghiên cứu [10] đã sử dụng dữ liệu đầu vào là hệ số điều hòa triều và điều kiện khí tượng thu nhận được bởi hơn 600 trạm nghiệm triều trên thế giới để dự đoán tổng mực nước biển. Kết quả cho thấy kỹ năng cao nhất quán trên toàn cầu của mạng lưới thần kinh (NN) trong việc nắm bắt sự biến đổi của biển tại các máy đo trên toàn cầu. Trong khi động lực chính do khí quyển điều khiển có thể được nắm bắt bằng các hồi quy tuyến tính đa biến, thì sự tăng cường do khí quyển, nước dâng và phi tuyến tính của thủy triều trong môi trường ven biển phức tạp chỉ được dự đoán bằng NN [10].

Mô hình LSTM đã được ứng dụng để phân tích dữ liệu nghiệm triều trong 21 năm tại 17 bến cảng của Đài Loan. Để đánh giá hiệu quả của mô hình sử dụng các đại lượng sai số phần trăm tuyệt đối trung bình (MAPE) và sai số bình phương trung bình gốc (RMSE) của kết quả dự báo. Kết quả cho thấy giá trị đạt được lần lượt là 6,97% và 0,049 m cho thấy mô hình có thể giảm thiểu một cách hiệu quả các vấn đề chông chéo do phương pháp học máy gây ra trong dự báo liên tục [11]. Nghiên cứu [12] đã khảo sát hiệu quả của việc đưa thêm dữ liệu khí tượng khi sử dụng các mô hình MRL, ANFIS trong dự đoán mực nước. Kết quả thực nghiệm cho thấy, khi đưa thêm các yếu tố khí tượng làm tham số đầu vào sẽ tăng độ chính xác hiệu suất của mô hình MLR lên tới 33% để dự đoán mực nước biển ngắn hạn.

Áp dụng phương pháp Phân tích chế độ theo kinh nghiệm của Ensemble (EEMD) kết hợp với mô hình học máy LSTM cho kết quả dự đoán mực nước vượt trội so với sử dụng độc lập mô hình LSTM [13]. Nghiên cứu [14] đã chỉ ra rằng, sử dụng mô hình mạng thần kinh tự liên kết (AANN) cho phép phát hiện các hiện tượng cực đoan trên biển dựa trên việc quan trắc mực nước biển.

Việt Nam là quốc gia chịu ảnh hưởng trầm trọng do hiện tượng nước biển dâng do đó có nhiều nghiên cứu liên quan đã được triển khai. Nghiên cứu [15] đã phân tích mối tương quan giữa các điều kiện khí tượng với mực nước biển phục vụ đánh giá ảnh hưởng của biến đổi khí hậu tại khu vực. Nghiên cứu [16] trên cơ sở phân tích chuỗi dữ liệu vệ tinh từ năm 1993

đến năm 2010 thu nhận bởi Trung tâm dự báo môi trường quốc gia Hoa Kỳ đã làm sáng tỏ được phần nào mối tương quan giữa nhiệt độ và sự dâng lên của mực nước tại biển Đông. Nghiên cứu [17] cũng đã phân tích mối tương quan giữa điều kiện khí tượng với hiện tượng triều cường làm cơ sở để dự báo dị thường mực nước biển.

Trên cơ sở dữ liệu đo thủy triều trong 47 năm, ứng dụng phép lọc Kalman các tác giả [18] đã xác định được giá trị tăng của mực nước biển tại Hạ Long giai đoạn 1974-2020 là 3,14 mm/năm và tương ứng là 5,83 mm/năm cho giai đoạn từ năm 2002 đến năm 2020. Nghiên cứu [19] đã ứng dụng phiên bản cải tiến của mạng nơ ron hồi quy để dự báo độ cao sóng với hệ số tương quan lớn nhất là  $R^2 = 0,582$ .

Có thể thấy rằng, trí tuệ nhân tạo chưa được ứng dụng rộng rãi trong phân tích chuỗi dữ liệu nghiệm triều tại Việt Nam. Nghiên cứu này nghiên cứu ứng dụng mô hình mạng nơ ron hồi quy cải tiến (GRU) để phân tích dữ liệu nghiệm triều tại Việt Nam.

## 2. Dữ liệu và phương pháp nghiên cứu

### 2.1. Dữ liệu nghiên cứu

Dữ liệu dùng trong nghiên cứu này được cung cấp bởi Đài Khí tượng thủy văn Nam Bộ thành phố Hồ Chí Minh thu nhận được bởi trạm nghiệm triều tại Vũng Tàu (hình 1). Từ dữ liệu gốc ban đầu, được thu thập với giãn các 2 giờ 1 lần được tính toán quy chuyên về giá trị triều trung bình theo ngày. Cấu trúc dữ liệu lúc này được cho dưới dạng ngày, tháng, năm và giá trị độ cao mực nước. Để có thể phân tích sử dụng mô hình trí tuệ nhân tạo, cần chuyển các yếu tố thời gian về dạng ngày ở dạng số thực.

### 2.2 Phương pháp nghiên cứu

Quy trình tính toán trong nghiên cứu này được cho như trong hình 2.

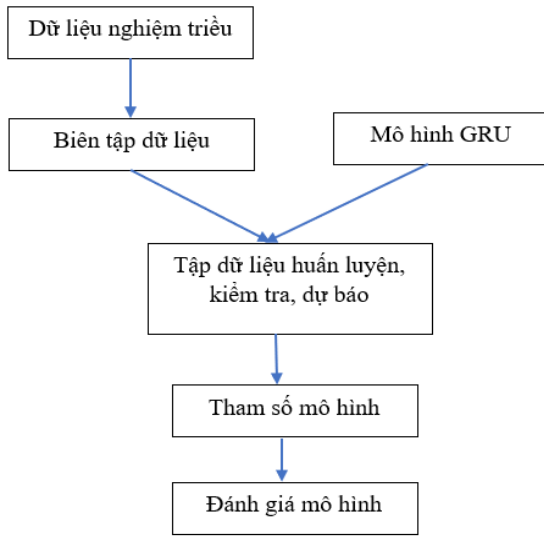
Mạng nơ-ron hồi quy (RNN) là một loại mạng nơ-ron nhân tạo có khả năng xử lý dữ liệu tuần tự, phổ biến trong lĩnh vực xử lý ngôn ngữ tự nhiên và dữ liệu chuỗi thời gian. RNN có khả năng lưu trữ thông tin trong các chuỗi dữ liệu thông qua các kết nối nơ-ron tái phát. Mỗi nút trong RNN nhận đầu vào từ nút trước đó và trạng thái ẩn của nút đó, cho phép mạng học và dự đoán dựa trên ngữ cảnh trước đó. Tuy nhiên, RNN thường gặp vấn đề đối với các chuỗi dài do hiện tượng triệt tiêu gradient.

Mô hình GRU là một biến thể của mạng nơ-ron hồi quy (RNN) được giới thiệu để giải quyết vấn đề đối mặt với hiện tượng triệt tiêu gradient trong việc huấn luyện mạng nơ-ron. GRU sử dụng các cổng (gate) để điều chỉnh luồng thông tin trong quá trình lan truyền ngược, giúp mô hình nhớ thông tin quan trọng và loại bỏ thông tin không quan trọng. Mỗi đơn vị GRU bao gồm cổng cập nhật (update gate) và cổng đặc quyền (reset gate), điều này cho phép mô hình tự động học cách lựa chọn thông tin cần giữ lại và quên đi. Điều này làm giảm được vấn đề vanishing gradient và cải thiện khả năng mô hình học các phụ thuộc dài hạn trong dữ liệu chuỗi. GRU đã chứng minh được hiệu suất trong nhiều ứng dụng như xử lý ngôn ngữ tự nhiên, dịch máy, và dự đoán chuỗi thời gian [20]. Với ưu điểm như trên, nghiên cứu này sử

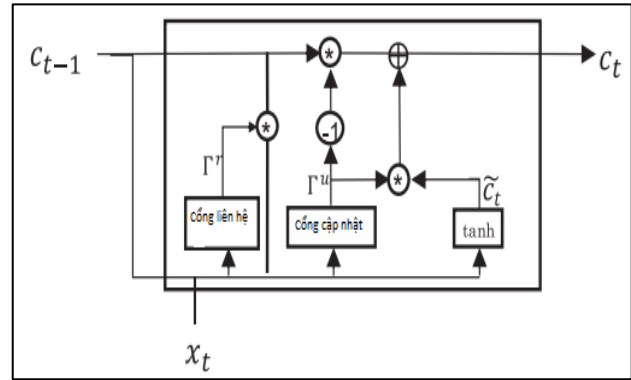


Hình 1. Vị trí Trạm nghiệm triều Vũng Tàu.

dụng mô hình GRU để dự đoán giá trị triều theo chuỗi thời gian. Hiệu quả của mô hình được đánh giá thông qua các đặc trưng thống kê như RMSE, MAE, F-Score, Kappa, NSE và R2 [19, 21]. Mô hình được thực thi theo sơ đồ được biểu diễn như ở hình 3.



Hình 2. Phương pháp nghiên cứu.



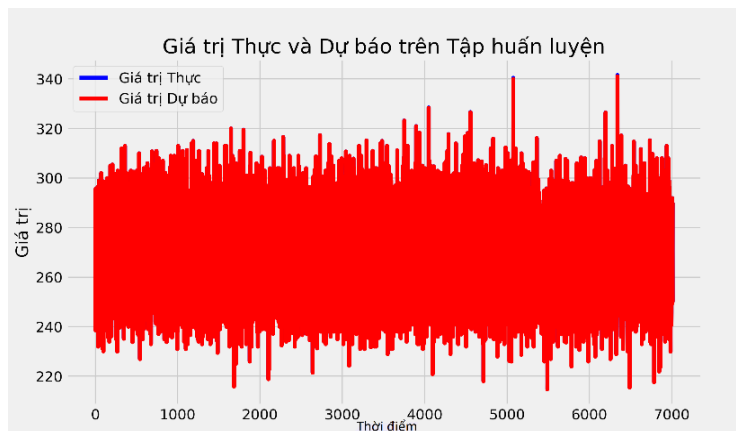
Hình 3. Nguyên lý hoạt động của mô hình GRU.

Trong hình 3,  $C$  là tế bào bộ nhớ (hoặc cell state [19]) và  $x$  là đầu vào hiện tại ở trạng thái ẩn.

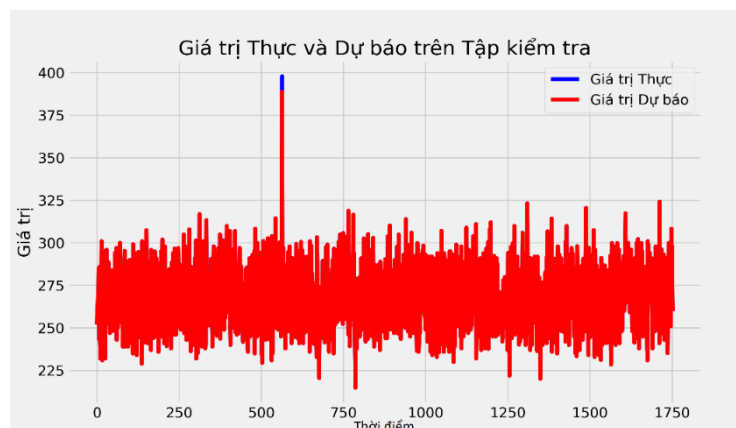
### 3. Kết quả và thảo luận

Ứng dụng quy trình nghiên cứu như đã mô tả trong phần trên, nghiên cứu này dự báo giá trị triều trong 2 trường hợp trên cơ sở chương trình đã được xây dựng sử dụng ngôn ngữ Python [19]. Các hàm thư viện được sử dụng bao gồm pandas [20], numpy [21], matplotlib [22],... Trường hợp thứ nhất, chia dữ liệu thành tập dữ liệu huấn luyện và tập dữ liệu kiểm tra với tỷ lệ 80% - 20%. Trường hợp thứ 2, chia bộ dữ liệu thành tập dữ liệu huấn luyện, dữ liệu kiểm tra và dữ liệu dự báo với tỷ lệ 60% - 30% - 10%. Trong quá trình huấn luyện mô hình, lựa chọn các thông số bao gồm số epoch = 200; batch-size = 16; trình tối ưu mô hình sử dụng thuật toán Adam. Trong trường hợp thứ nhất, kết quả dự báo với tập dữ liệu huấn luyện được cho như trong hình 4.

Từ hình 4 có thể thấy, mặc dù dữ liệu đầu vào biến thiên khá lớn (có thời điểm từ 310 lên 340 - xấp xỉ cỡ 10% giá trị) nhưng kết quả dự



Hình 4. Kết quả dự báo với tập dữ liệu huấn luyện.



Hình 5. Kết quả dự báo với tập dữ liệu kiểm tra trong trường hợp 1.



báo vẫn khá tốt thể hiện qua sự trùng khớp của đường biểu diễn giá trị thực với đường biểu diễn giá trị dự báo. Tương tự, giá trị dự báo với tập dữ liệu kiểm tra và hàm mất mát trong trường hợp này được cho lần lượt trong hình 5 và hình 6.

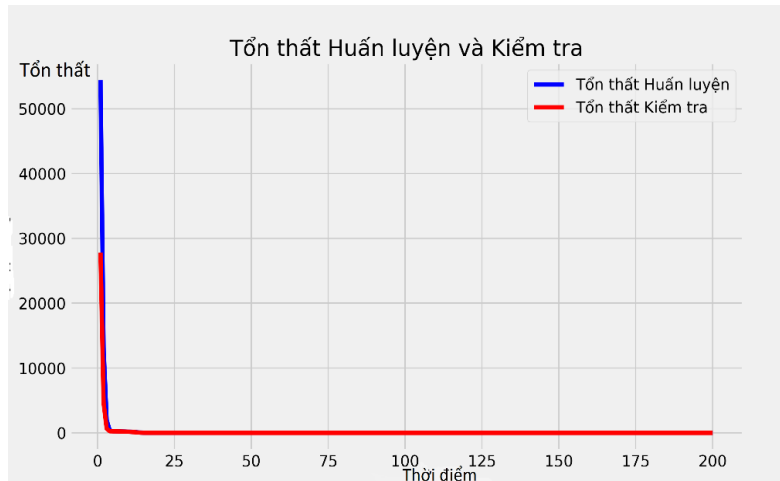
Hình 5 cho thấy, mặc dù có trị đo biến thiên lớn (hoặc là trị đo ngoại lai, thể hiện qua giá trị của trị đo đó đột biến hơn so với các trị đo lân cận) nhưng kết quả dự báo vẫn bám sát so với giá trị thực

chứng tỏ hiệu quả của mô hình GRU trong trường hợp thực nghiệm cụ thể này. Cũng từ hình 5 có thể thấy, trong giá trị dữ liệu của tập dữ liệu đầu vào có giá trị ngoại lai chưa được loại bỏ. Để có được giá trị độ cao mực nước cũng như giá trị tăng lên của mực nước biển một cách chính xác cần thiết phải thực hiện quá trình phát hiện và loại bỏ dữ liệu ngoại lai.

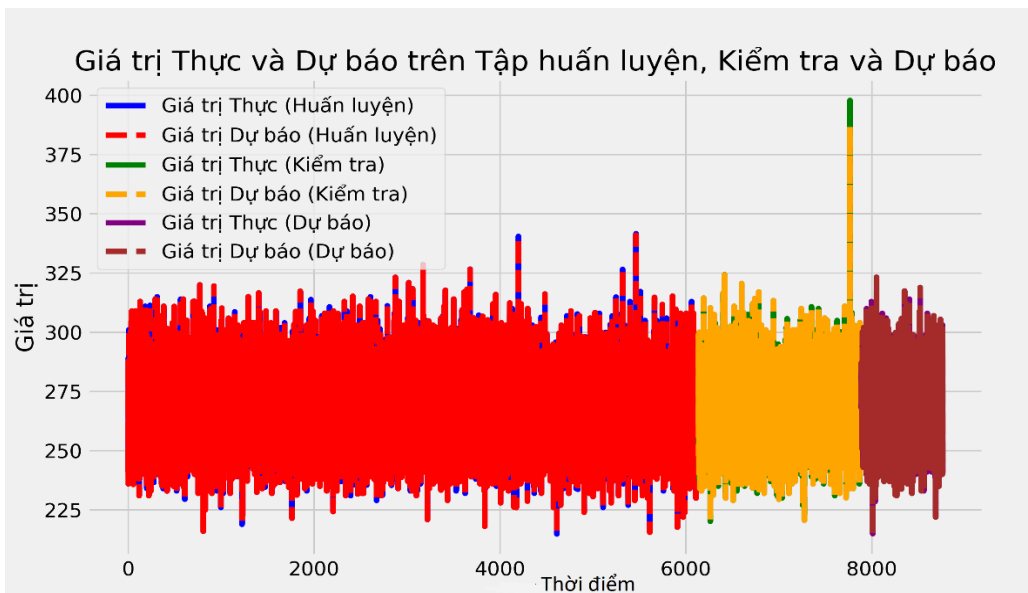
Hình 6 cho thấy, tổn thất khi ước lượng với mô hình GRU gần như bằng không chỉ sau một vài thời điểm (Epoch). Trong quá trình tính này, tại mỗi epoch, chương trình tính lặp 439 lần. Quá trình kiểm tra với tập huấn luyện và tập dữ liệu kiểm tra được tính lặp tương ứng là 220 và 55 lần. Giá trị mất mát trên tập dữ liệu huấn luyện là 0,00072 và trên tập kiểm tra là 0,0496.

Bên cạnh việc thống kê giá trị dự báo, đã tiến hành xác định các tham số thống kê đặc trưng cho mô hình với giá trị RMSE = 2,2 mm; MAE = 0,5 mm; Kappa = 0,98 và F-Score = 0,96. Với kết quả trên cho thấy, hiệu suất dự báo với mô hình GRU rất cao.

Để khẳng định liệu mô hình GRU có thực sự hiệu quả khi ứng dụng trong dự báo dữ liệu nghiệm triều hay không, tiến hành tính thực nghiệm bổ sung với trường hợp thứ 2. Trong trường hợp này, tập dữ liệu dự báo được tạo ra và sử dụng để kiểm chứng mức độ hiệu quả của mô hình. Giá trị thực tế và giá trị dự báo đối với tập dữ liệu, tập dữ liệu kiểm tra và tập dữ liệu dự báo tính toán được với trường hợp 2 cho trong hình 7.

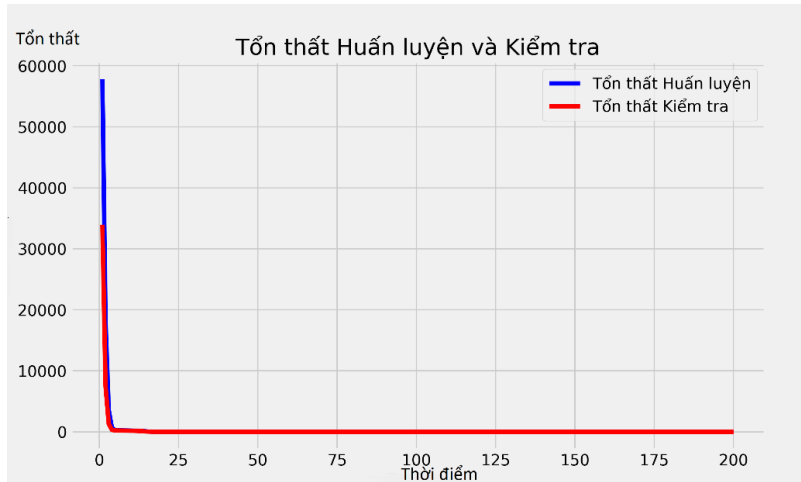


**Hình 6.** Đường cong mất mát đối với tập dữ liệu huấn luyện và tập dữ liệu kiểm tra.



**Hình 7.** Đồ thị biểu diễn giá trị thực, giá trị dự báo đối với tập dữ liệu huấn luyện, tập dữ liệu kiểm tra và tập dữ liệu dự báo.

Giá trị hàm mất mát trong trường hợp này được biểu diễn trong hình 8. Quá trình huấn luyện mô hình sử dụng ít lần lặp hơn với 384 lần lặp; Quá trình kiểm tra đối với tập dữ liệu huấn luyện, kiểm tra và dự báo lần lượt là 192, 55 và 28. Giá trị mất mát đối với tập huấn luyện là  $9,2318e-04$  và tập dữ liệu kiểm tra tương ứng là 0,0697.



**Hình 8.** Hàm tổn thất đối với tập dữ liệu huấn luyện và tập dữ liệu kiểm tra trong trường hợp 1.

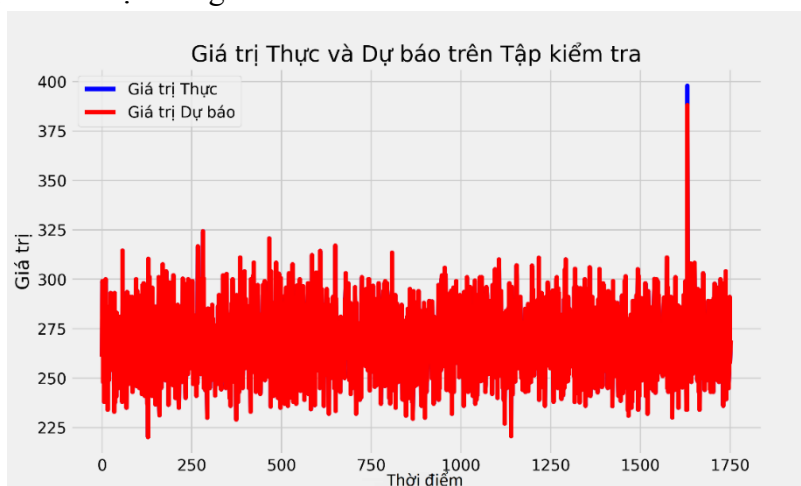
Từ hình 7 có thể thấy, mặc dù bộ dữ liệu huấn luyện đã được thu nhỏ lại (thu nhỏ đi 20% so với trường hợp 1) nhưng hiệu quả dự báo vẫn không hề thay đổi. Thống kê hiệu suất của mô hình trong trường hợp này được thống kê trong bảng 1.

**Bảng 1.** Thống kê hiệu suất của mô hình.

	RMSE (mm)	MAE (mm)	Kappa	F-Score
Tập dữ liệu huấn luyện	0,17	0,1	0,99	0,948
Tập dữ liệu kiểm tra	2,6	0,11	0,991	0,968
Tập dữ liệu dự báo	0,06	0,05	0,993	0,995

Lý do giá trị RMSE đối với tập dữ liệu kiểm tra còn lớn do còn tồn tại giá trị ngoại lai trong tập dữ liệu này như được minh họa trong hình 9.

Từ hình 9 một lần nữa cho thấy, cần phải loại bỏ dữ liệu ngoại lai trong tập hợp dữ liệu nghiệm triều đầu vào. Bên cạnh việc thống kê các giá trị như trong bảng 1, nghiên cứu này cũng xác định thêm các tham số NSE,  $R^2$  theo như nghiên cứu [19]. Kết quả đã thu được các giá trị NSE và  $R^2$  đều tiệm cận đến 1 chứng tỏ hiệu suất rất cao của mô hình GRU đã lựa chọn.



**Hình 9.** Giá trị thực và giá trị dự báo đối với tập dữ liệu kiểm tra trong trường hợp 2.

#### 4. Kết luận

Trong nghiên cứu này, chúng tôi đã tập trung vào phân tích và dự đoán giá trị của mực nước biển sử dụng các mô hình trí tuệ nhân tạo. Kết quả nghiên cứu cho thấy mô hình GRU cho hiệu suất dự báo rất cao thông qua các đặc trưng thống kê của mô hình bao gồm RMSE = 2,2 mm; MAE = 0,5 mm; Kappa = 0,98 và F-Score = 0,96.

Hiệu quả dự báo của mô hình đã được chứng minh thông qua các đặc trưng thống kê của tập dữ liệu dự báo (chiếm 10% tổng số dữ liệu) đều rất cao: RMSE = 0,06 mm; MAE = 0,05 mm; Kappa = 0,993 và F-Score = 0,995. Qua các dữ liệu thống kê trên cho thấy, nhóm nghiên

cứ đã ứng dụng thành công mô hình GRU trong phân tích, dự báo dữ liệu nghiệm triều tại Việt Nam.

Hạn chế của nghiên cứu này đó là chưa tích hợp phát hiện và loại trừ dữ liệu ngoại lai để nâng cao độ chính xác của quá trình dự báo; cũng như chưa xác định được giá trị dâng lên theo chu kỳ (năm) và xu hướng tăng của mực nước biển.

Tuy nhiên, với độ chính xác dự báo như đã đạt được ở trên, hoàn toàn có thể xem xét ứng dụng mô hình GRU trong phân tích dữ liệu nghiệm triều phục vụ các nội dung công việc khác nhau tại Việt Nam với việc sử dụng nhiều bộ dữ liệu nghiệm triều khác để tính toán thực nghiệm.

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

**Lời cảm ơn:** Tập thể tác giả xin gửi lời cảm ơn tới đề tài cấp Bộ Tài nguyên và Môi trường mã số TNMT.2024.02.07 đã cung cấp kinh phí; Đài Khí tượng thủy văn Nam Bộ thành phố Hồ Chí Minh đã cung cấp dữ liệu cho nghiên cứu này.

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

#### Tài liệu tham khảo

1. Frederikse, T.; Landerer, F.; Caron, L.; Adhikari, S.; Parkes, D.; Humphrey, V.W.; Dangendorf, S.; Hogarth, P.; Zanna, L.; Cheng, L.; Wu, Y.H. The causes of sea-level rise since 1900. *Nature* **2020**, *584*, 393–397.
2. Darwin, R.F.; Tol, R.S.J. Estimates of the economic effects of sea level rise. *Environ. Resour. Econ.* **2001**, *19*, 113–129.
3. Hamlington, B.D.; Leben, R.R.; Kim, K.Y. Improving sea level reconstructions using non-sea level measurements. *J. Geophys. Res.: Oceans* **2012**, *117*(10), 1–14.
4. Antunes, C.; Taborda, R. Sea level at Cascais tide gauge: data, analysis and results. *J. Coastal Res.* **2009**, pp. 218–222.
5. Cipollini, P.; Calafat, F.M.; Jevrejeva, S.; et al. Monitoring sea level in the coastal zone with satellite altimetry and tide gauges. *Surv. Geophys.* **2017**, *38*, 33–57.
6. Douglas, B.C. Sea level change in the era of the recording tide gauge. *Int. Geophys.* **2001**, 37–64.
7. Abubakar, A.G.; et al. A Review of modelling approaches on tidal analysis and prediction. *ISPRS Ann. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.* **2019**, *XLII-4/W16*, 23–34.
8. French, J.; et al. Combining machine learning with computational hydrodynamics for prediction of tidal surge inundation at estuarine ports. *Procedia IUTAM* **2017**, *25*, 28–35.
9. Imani, M.; et al. Daily sea level prediction at Chiayi coast, Taiwan using extreme learning machine and relevance vector machine. *Global Planet. Change* **2018**, *161*, 211–221.
10. Bruneau, N.; Polton, J.; Williams, J.; Holt, J. Estimation of global coastal sea level extremes using neural networks. *Environ. Res. Lett.* **2020**, *15*(7), 074030.
11. Yang, C.H.; Wu, C.H.; Hsieh, C.M. Long short-term memory recurrent neural network for tidal level forecasting. *IEEE Access* **2020**, *8*, 159389–159401.
12. Tur, R.; et al. Sea level prediction using machine learning. *Water* **2021**, *13*(24), 3566.
13. Yang, Y.; et al. Multiscale analysis and prediction of sea level in the northern south china sea based on tide gauge and satellite data. *J. Mar. Sci. Eng.* **2023**, *11*(6), 1203.

14. Wahle, K.; et al. Detecting anomalous sea-level states in North Sea tide gauge data using an autoassociative neural network. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.* **2023**, 23(2), 415–428.
15. Tín, N.V.; Thịnh, N.N. Nghiên cứu xu thế biến đổi các yếu tố khí hậu, mực nước tại Bà Rịa-Vũng Tàu. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* **2012**, 622, 13–16.
16. Trần, V.C.; Long, B.H. Ảnh hưởng của trường nhiệt độ và biến đổi bất thường của mực nước trong Biển Đông liên quan đến biến đổi khí hậu. *Tạp chí Khoa học và Công nghệ biển* **2016**, 16(3), 255–266.
17. Thủy, N.B.; Tiên, T.Q. Bước đầu nghiên cứu mối liên hệ giữa mực nước biển dâng dị thường tại Tuy Hòa-Phú Yên với hình thế thời tiết. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* **2017**, 687, 15–22.
18. Hai, N.M.; Vinh, V.D. How climate change affected on water level in Ha Long coastal area in the period 1974–2020: results from the mann-kendall test and sen's slope estimate. *VN J. Mar. Sci. Technol.* **2022**, 22(3), 257–269.
19. Thái, T.H.; Khiêm, M.V.; Thủy, N.B.; Hà, B.M.; Ngọc, P.K. Xây dựng mô hình mạng nơ-ron hồi quy dự báo độ cao sóng có nghĩa tại trạm Cồn Cỏ, Quảng Trị, Việt Nam. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* **2022**, EME4, 73–84.
20. Torres, J.F.; Hadjout D.; Sebaa A.; Martínez-Álvarez F.; Troncoso A. Deep learning for time series forecasting: A survey. *Big Data* **2020**, 9(1), 3–21.
21. Phong, D.V.; Trọng, N.G.; Chiên, N.V.; Thành, N.H.; Hà, L.L.; Quân, N.V.; Quang, P.N. Phân tích chuyên dịch thẳng đứng vô Trái đất sử dụng hàm ANN từ kết quả xử lý chuỗi dữ liệu GNSS theo thời gian. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* **2023**, 752, 41–50.
22. Trực tuyến: <https://www.python.org/>.
23. Trực tuyến: <https://anaconda.org/anaconda/pandas>.
24. Trực tuyến: <https://anaconda.org/anaconda/numpy>.
25. Trực tuyến: <https://anaconda.org/conda-forge/matplotlib>.

## Analyzing tidal data sequences using Gated Recurrent Unit (GRU)

Nguyen Gia Trong<sup>1,2\*</sup>, Bui Ngoc Quy<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Hanoi University of Mining and Geology, nguyengiatrong@humg.edu.vn

<sup>2</sup> Geodesy and Environment research group, Hanoi University of Mining and Geology

<sup>3</sup> VNU - Central Institute for Natural Resources and Environmental Studies (VNU-CRES); quybncres@vnu.edu.vn

**Abstract:** This study applied the GRU (Gated Recurrent Unit) model, a type of Recurrent Neural Network (RNN), to analyze tidal data collected at the Vung Tau tide gauge station from January 1, 1999, to December 31, 2022. Experimental results show that the statistical performance of the model is very promising: RMSE = 2.2 mm; MAE = 0.5 mm; Kappa = 0.98, and F-Score = 0.96. Additionally, to verify the effectiveness of the model, the dataset was divided into training, testing, and prediction datasets. Statistical results indicate that the GRU model can reliably predict tidal values using statistical features of the prediction dataset, such as RMSE = 0.06mm, MAE = 0.05 mm. The study also highlights the necessity of implementing outlier detection and elimination for the input dataset to achieve high prediction accuracy.

**Keywords:** RNN; GRU; Tidal gauges data; Data time series; AI.



Bài báo khoa học

## Ước tính nhu cầu nước cho cây đậu nành rau được trồng trên đất xám bạc màu ở Tri Tôn, An Giang

Trần Thị Hồng Ngọc<sup>1</sup>, La Tài Linh<sup>1</sup>, Nguyễn Đức Thắng<sup>1</sup>, Cao Thị Kim Phượng<sup>1</sup>, Phan Trường Khanh<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> Khoa Kỹ thuật Công nghệ Môi trường, Trường Đại học An Giang - ĐHQG-HCM;  
tthngocagu@gmail.com; latailinh5839@gmail.com; akthang98@gmail.com;  
kimphuongcao134@gmail.com

\*Tác giả liên hệ: ptkhanhagu@gmail.com; Tel: +84-918440275

Ban Biên tập nhận bài: 20/3/2024; Ngày phản biện xong: 28/4/2024; Ngày đăng bài: 25/9/2024

**Tóm tắt:** Đậu nành rau đang là lựa chọn hấp dẫn cho nhiều vùng chuyên canh rau, nhưng biến đổi khí hậu và nắng nóng mùa khô đang làm cho tình trạng thiếu nước tưới ngày càng trầm trọng, đặc biệt tại Tri Tôn, An Giang. Nghiên cứu này khám phá các biện pháp tiết kiệm nước, tập trung vào việc trồng đậu nành rau trên đất xám bạc màu, với hai nghiệm thức: phủ rơm và không phủ rơm. Dựa trên phương trình cân bằng nước và đo lường mực nước hàng ngày trong các thùng có đáy và không đáy đặt tại ruộng thí nghiệm để ước tính lượng bốc thoát hơi nước và thấm của đất. Kết quả cho thấy nghiệm thức không phủ rơm nhu cầu nước cho cây trồng (ET) là 12.250m<sup>3</sup>/ha và nhu cầu nước tưới tiêu là 19.720 m<sup>3</sup>/ha, trong khi nghiệm thức phủ rơm tiết kiệm được khoảng 1.040 m<sup>3</sup>/ha, giảm đáng kể so với không phủ rơm. Năng suất đậu nành rau đạt từ 5,1 đến 6,5 tấn/ha. Ngoài việc tiết kiệm nước, phủ rơm còn thúc đẩy sự phát triển cây, tăng chiều cao, số lá và tỷ lệ hạt chắc. Những phát hiện này nhấn mạnh tầm quan trọng của việc phủ rơm trong việc tiết kiệm nước và tăng năng suất, đặc biệt hữu ích cho những khu vực đối mặt với khan hiếm nước và biến đổi khí hậu giống như Tri Tôn.

**Từ khóa:** Đậu nành rau; Nhu cầu nước; Đất xám bạc màu; Tri Tôn.

### 1. Mở đầu

Đậu nành rau (*Glycine max* (L.) Merrill) là loại cây họ đậu (*Fabaceae*) là loài bản địa của Đông Á. Mặc dù có nguồn gốc ở Trung Quốc, nhưng hiện nay đậu tương rau đã được trồng ở nhiều nước và vùng lãnh thổ như Nhật Bản, Hàn Quốc, Ấn Độ, Thái Lan, Đài Loan. Năm 2021, sản lượng đậu tương toàn cầu đạt mức ấn tượng 38,81 triệu tấn [1]. Ở Việt Nam, đậu nành rau đang là cây trồng mới mang lại hiệu quả kinh tế và ổn định cho nhiều vùng trồng rau [2]. Ngoài ra, trong cây đậu nành còn có tác dụng cải tạo đất, tăng năng suất các cây trồng khác. Điều này có được là do hoạt động cố định N<sub>2</sub> của loài vi khuẩn *Rhizobium* cộng sinh trên rễ cây họ đậu [3]. Tuy nhiên, khó thống kê một cách chính xác diện tích cây đậu nành rau ở nước ta [4] vì từ lâu loại cây này vẫn được xem là một cây trồng phụ được xếp chung với các loại đậu đỗ khác trong Niên giám thống kê hàng năm. Hiện nay, nhu cầu chế biến từ cây trồng này thành các thực phẩm dầu, nước tương, bánh, sữa,... rất lớn. Diện tích ước đoán hàng năm nước ta có khoảng 60-80 ngàn ha, năng suất trung bình từ 6-8 tấn/ha. Ở tỉnh An Giang hiện tại diện tích đậu nành rau khoảng 1000 ha, năng suất có nơi đạt 12-13 tấn [5], sản lượng đậu nành rau không đủ để đáp ứng nhu cầu tiêu thụ trong nước mà phải nhập khẩu từ Trung Quốc và Campuchia.

Nước là yếu tố quan trọng đối với sự phát triển và sinh trưởng của cây trồng và đậu nành không phải là ngoại lệ. Nhiều nghiên cứu đã tập trung vào việc xác định lượng nước cần thiết cho cây đậu nành trong các điều kiện khác nhau của đất đai, khí hậu và môi trường trồng chúng. Các nghiên cứu này thường đi sâu vào các khía cạnh như tối ưu hóa lượng nước cho cây để đạt được sản lượng cao nhất, tối ưu hóa sự sử dụng nước để giảm thiểu lãng phí và cách thức ứng phó với các vấn đề như thiếu nước và stress nước trong quá trình trồng trọt. Đối với một nông dân hoặc người quản lý đất đai, hiểu rõ nhu cầu nước của cây trồng có thể giúp họ quản lý tài nguyên nước một cách hiệu quả.

Việc tưới tiêu đúng cách và đúng lúc là chìa khóa để tăng năng suất. Tưới tiêu hoặc lượng mưa lớn xảy ra trong giai đoạn sinh trưởng của cây đậu cũng có thể không làm tăng năng suất trừ khi hàm lượng nước trong đất cực kỳ thấp. Ở nhiều loại đất có kết cấu từ trung bình đến mịn, việc tưới tiêu thực sự có thể kích thích tăng trưởng mà không làm tăng năng suất đậu nành [6]. Với lượng nước có sẵn trong đất cát rất ít, có thể phải tưới nước vào đầu mùa để hạt nảy mầm và khuyến khích tăng trưởng. Đối với đậu nành, căng thẳng về nước giai đoạn ra hoa, kết quả có thể làm giảm năng suất rất nhiều. Tưới nước trong thời gian này thường làm tăng số lượng hạt trên mỗi cây và năng suất [7]. Thiếu nước trong quá trình ra hoa và tạo quả sẽ khiến hoa và quả bị rụng. Stress trong quá trình phát triển quả và gieo hạt sẽ làm giảm số lượng hạt trên mỗi quả. Điều kiện khô hạn trong quá trình gieo hạt cũng làm giảm kích thước hạt và do đó làm giảm năng suất cuối cùng. Thông thường, thời kỳ cần nhiều nước nhất cho cây đậu là giai đoạn sớm hơn thời kỳ khi ra hoa. Các giống bán lùn (thân hình ngắn) thường cho thấy nhu cầu nước rất quan trọng trong hầu hết các giai đoạn sinh trưởng [8].

Nghiên cứu của [9] về việc sục khí trong nước tưới bề mặt đã chỉ ra rằng áp dụng kỹ thuật này mang lại lợi ích đáng kể về tăng trưởng và năng suất cho đậu tương rau trên đất sét nặng. Trong hai thí nghiệm trong chậu với đậu nành rau tác giả so sánh giữa việc sục khí và không sục khí đã cho thấy rằng việc sục khí bằng máy phun khí Mazzei trong quá trình tưới nước đã tăng năng suất cây trồng lên đến 82-96%. Sự tăng năng suất này được giải thích bởi việc có nhiều quả hơn trên mỗi cây và trọng lượng quả trung bình lớn hơn. Đặc biệt, sục khí đã cải thiện chức năng rễ, giúp cây đậu nành trái nhiều hơn và tăng tỷ lệ quang hợp của lá, đồng thời không ảnh hưởng đến tốc độ thoát hơi nước và độ dẫn khí khổng lỗ trên một đơn vị diện tích lá. Những kết quả này gợi ý rằng việc sục khí có thể là một giải pháp hiệu quả để tối ưu hóa sản xuất cây đậu nành và tăng cường hiệu suất sử dụng nước [9]. Nghiên cứu của [10] tập trung vào ảnh hưởng của thiếu hụt nước đến năng suất và các thành phần năng suất của đậu nành rau trong điều kiện bán khô hạn. Một nghiên cứu được thực hiện tại cánh đồng thực nghiệm nông nghiệp của Đại học Harran Sanliurfa, Thổ Nhĩ Kỳ trong hai năm 2006 và 2007, tác giả sử dụng các phương pháp tưới nước với tỷ lệ khác nhau, từ 33% đến 133% của tổng lượng nước tiêu thụ, các nhà nghiên cứu đã quan sát và đo lường năng suất và thành phần năng suất của cây đậu nành. Kết quả chỉ ra rằng cần cung cấp đủ nước, ít nhất là bằng tỷ lệ 100% của lượng nước bay hơi để đạt được năng suất cao. Sự khác biệt trong năng suất giữa các giống cây trồng khiến việc lựa chọn giống cây trở nên quan trọng, đặc biệt là trong điều kiện bán khô hạn và khô hạn. Điều này nhấn mạnh về sự cần thiết của việc xem xét các đặc tính của giống cây trước khi trồng để đạt được thành công trong việc sản xuất đậu nành [10]. Tùy thuộc vào thời tiết và đất đai, đậu nành rau sử dụng từ 400 đến 700 mm nước từ mưa, tưới tiêu hoặc từ đất để tạo ra một sản lượng 3 tấn/ha. Đậu nành sử dụng từ 1.300 đến 2.300 tấn nước để sản xuất mỗi tấn đậu nành. Tốc độ sử dụng nước thay đổi khi cây phát triển. Cây cần khoảng từ 1,2-2,5 mm nước mỗi ngày trong quá trình mầm mọc và phát triển cây con. Sử dụng nước tăng lên khi tán lá phát triển đến khoảng 2,5-5,0 mm nước mỗi ngày. Các giai đoạn thân cỏ ít nhạy cảm hơn với thiếu nước so với các giai đoạn sinh sản vì cây mất khả năng bù đắp nước cho các giai đoạn căng thẳng nước khi cây phát triển [11]. Nhu cầu nước của đậu nành trong mỗi mùa từ 20 đến 26 inch, phụ thuộc vào thời gian gieo, giai đoạn phát triển, địa điểm và thời tiết. Giai đoạn quan trọng nhất để tránh thiếu nước là khi

cây đậu nành đang sinh sản từ giữa đến cuối giai đoạn này. Bằng cách theo dõi lượng nước mất đi từ đất thông qua bốc thoát hơi nước, chúng ta có thể biết được lượng nước còn lại để cây sử dụng. Khi độ ẩm đất đạt đến mức tối đa cho phép (*maximum allowable depletion-MAD*), cần cung cấp thêm nước. Thông thường, người trồng sử dụng mức MAD là 50% để quyết định khi nào cần tưới nước. Ví dụ, đất sét có khả năng giữ nước là 2,0-inch mỗi feet đất, do đó ở 3 feet đầu tiên của đất, có thể lưu trữ 6,0-inch nước. Nếu MAD là 50%, nghĩa là ba inch nước đã bị tiêu hao, vì vậy cần tưới nước. Thiếu nước trong giai đoạn quan trọng này có thể dẫn đến giảm sản lượng đáng kể cho cây đậu nành [12]. Các thí nghiệm nghiên cứu về sử dụng nước của đậu nành từ năm 1979 đến 1982 tại miền nam Alberta đã nhấn mạnh vào việc xác định cách cây sử dụng nước trong mùa và ảnh hưởng của điều kiện khô hanh và ẩm ướt đến hiệu quả của việc này. Nghiên cứu [13] tính toán nhu cầu nước của đậu nành rau ở miền Trung của Ba Lan lên tới 384 mm, trong đó nhu cầu nước cao nhất xảy ra vào tháng 6 và tháng 7 và hiệu quả sử dụng nước mưa từ tháng 4 đến tháng 8 đối với đậu trung bình lên tới  $6,6 \text{ kg ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$  và thay đổi theo từng năm và từng khu vực. Kết quả chỉ ra sự cần thiết phải phát triển hệ thống tưới bổ sung cho cây đậu nành rau được trồng ở miền trung Ba Lan và các khu vực khác trên thế giới có điều kiện khí hậu tương tự để tối ưu hóa năng suất và sử dụng bền vững tài nguyên nước [13]. Nghiên cứu năng suất đậu nành rau ảnh hưởng bởi các hình thức tưới như tưới qua từng luống (FI), tưới qua luống xen kẽ (AFI) và tưới qua mưa (RF, không tưới) của tác giả [14]. Kết quả cho thấy không có sự khác biệt đáng kể về năng suất hạt đậu nành giữa FI và AFI, nhưng năng suất RF thấp hơn đáng kể so với FI và AFI. Chỉ số diện tích lá ở RF cũng thấp hơn đáng kể so với FI và AFI. Trong ba năm, mức giảm trung bình về năng suất đậu tương ở AFI chỉ là 2%, trong khi ở RF là 24% so với FI. Năng suất hạt trung bình là 4507, 4413 và 3422  $\text{kg ha}^{-1}$ ; ET theo mùa là 549, 562 và 527 mm; và hiệu quả sử dụng nước (WUE) lần lượt là 8; 8 và 7  $\text{kg ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$  ở FI, AFI và RF [14]. Nghiên cứu [15] đã điều tra tác động của các yếu tố khí hậu như nhiệt độ, độ ẩm tương đối, thiếu hụt áp suất hơi (VPD) và nước trong đất đến sinh khối và năng suất hạt của cây đậu tương. Nghiên cứu được bố trí trong môi trường nhà kính với ba điều kiện môi trường chính: E1 (36°C, RH = 55%), E2 (34°C, RH = 57%) và E3 (33°C, RH = 44%). Ngoài ra, còn có ba phương pháp xử lý nước: W<sub>1</sub> (gần bão hòa), W<sub>2</sub> (công suất thực tế giống dân làm) và W<sub>3</sub> (thiếu nước trong đất) và hai giống đậu tương (Afayak và Jenguma). Mỗi nghiệm thức được lặp lại chín lần. Các phát hiện cho thấy nhiệt độ cao (E1) đã thúc đẩy sự phát triển của cây trồng, đặc biệt là trong quá trình ra hoa. Môi trường nóng hơn cũng dẫn đến sự thoát hơi nước tăng lên, điều này làm giảm hoạt động quang hợp của thực vật, góp phần làm giảm sinh khối và năng suất hạt. Sinh khối và năng suất giảm đáng kể khi kết hợp nhiệt độ cao (E1) với hạn hán (W3), so với các điều kiện thuận lợi hơn là nhiệt độ vừa phải (E3) và xử lý tưới nước tốt (W1). Nghiên cứu cảnh báo rằng nhiệt độ tăng và lượng mưa thất thường do biến đổi khí hậu có thể gây ra rủi ro đáng kể cho sản xuất đậu nành ở Ghana [14]. Nghiên cứu [15] ước tính nhu cầu nước của đậu tương bằng phương pháp Penmann-Monteith gần giống với nhu cầu nước trung bình đo theo phương pháp Hargreaves cho huyện Bhopal. Người ta cũng suy ra rằng trong trường hợp không có dữ liệu bức xạ mặt trời, phương pháp Hargreaves có thể được xem xét để dự đoán nhu cầu nước của cây đậu tương. Các giá trị nhu cầu nước này rất hữu ích cho việc lập kế hoạch tưới hiệu quả cho cây đậu tương [15]. Đặc biệt, việc quản lý tưới nước thông minh có thể cải thiện sản xuất cây trồng và tính hiệu quả của việc sử dụng nước trong khu vực [16].

Tri Tôn với địa hình miền núi, mùa khô thường gặp phải tình trạng kênh, rạch xuống thấp kèm theo nắng nóng, khiến nguồn nước từ các giếng, suối, nguồn nước dự trữ không đảm bảo sử dụng, nên nhiều khu vực ở Tri Tôn thiếu nước sinh hoạt cục bộ khoảng 50% hộ dân và ảnh hưởng sản xuất nông nghiệp ở các xã Lương An Trà, Ô Lâm, Tân Tuyên, Cô Tô, Vĩnh Phước, Vĩnh Gia [17]. Nguồn nước hạn chế, dân ở đây chỉ trồng một vụ lúa và một vụ màu mỗi năm. Năng suất cây trồng và hiệu quả sản xuất nông nghiệp trong vùng thấp. Đất ở đây là đất xám bạc màu với thành phần chủ yếu là cát trên 60%, 28% đất thịt và 2-3% là sét



chiếm phần lớn ở Tri Tôn [18], khả năng giữ nước và phân bón của đất kém khi mưa lớn [19]. Trong điều kiện khô hạn, tưới nước là cần thiết và việc tiết kiệm nước trở nên quan trọng hơn. Do đó, để khai thác và sử dụng hiệu quả nguồn nước cho đất xám bạc màu góp phần tăng năng suất cây đậu nành, nâng cao thu nhập cho người dân địa phương thì việc “Ước tính nhu cầu nước cho cây đậu nành rau được trồng trên đất xám bạc màu” ở vùng khan hiếm nước xã Châu Lăng, huyện Tri Tôn, tỉnh An Giang là rất cần thiết.

Để tính toán nhu cầu nước cho cây trồng (ET), người ta thường sử dụng các phương pháp như Penman-Monteith, Hargreaves, hoặc Blaney-Criddle. ET là lượng nước mất đi từ cả quá trình bay hơi và thoát hơi nước được tính toán bằng cách sử dụng dữ liệu thời tiết qua các thông số nhiệt độ, gió, độ ẩm tương đối, bức xạ và thông tin về cây trồng [20, 21]. Một cây đậu nành được tưới nước tốt có thể thoát ra tới 0,5-inch nước vào một ngày nóng và nhiều gió [22]. Nhu cầu nước cho cây đậu tương có thể thay đổi từ 20 đến 26-inch nước trong mùa sinh trưởng. Khoảng 65% tổng lượng nước sử dụng xảy ra trong giai đoạn sinh sản. Trung bình cho một vụ, tốc độ sử dụng nước sẽ đạt mức cao nhất khoảng 0,32-inch mỗi ngày trong giai đoạn ra hoa và giai đoạn sớm hình thành quả, nhưng trong giai đoạn sinh sản từ giữa đến cuối vụ, lượng nước này có thể trung bình là 0,25-inch trên ngày [22].

Có thể thấy những phương pháp tính ET đòi hỏi dữ liệu khí tượng chính xác. Nếu dữ liệu không được thu thập đúng cách hoặc không đủ chi tiết, kết quả tính toán không chính xác. Thêm vào đó, những phương pháp này khá phức tạp, yêu cầu kiến thức chuyên môn để hiểu và áp dụng đúng cách. Điều này gây khó khăn cho nông dân hoặc các nhà quản lý không có nền tảng kỹ thuật. Hơn nữa, chúng thường dựa trên các hệ số tham chiếu chung và không luôn tính đến các yếu tố địa phương như loại đất, địa hình và điều kiện trồng trọt cụ thể, dẫn đến việc tính toán nhu cầu nước của cây trồng có thể không phản ánh chính xác thực tế. Do những lý do đó, việc sử dụng phương pháp đo bằng thùng, hay còn gọi là phương pháp lysimeter, là một cách tiếp cận thực tế và đáng tin cậy để đo lường nhu cầu nước của cây trồng (ET) cũng như lượng nước thất thoát do thấm. Kỹ thuật này giúp kiểm soát các biến số môi trường và cung cấp dữ liệu chính xác hơn về lượng nước cần thiết cho cây trồng. Điều này cho phép tối ưu hóa việc sử dụng nước và thiết lập các phương pháp tưới hiệu quả hơn, đặc biệt trong các vùng khô hạn như Tri Tôn.

## 2. Phương pháp nghiên cứu

### 2.1. Mẫu nghiên cứu

Đất xám bạc màu ở Xã Châu Lăng, huyện Tri Tôn được chọn để trồng thử nghiệm cây đậu nành rau. Thành phần của đất là đất thịt pha cát và hàm lượng hữu cơ thấp. Giống đậu nành rau Thái Lan được chọn để trồng ở vụ Đông Xuân. Nhu cầu nước được xác định qua kỹ thuật tưới rãnh truyền thống trong điều kiện đất che phủ và không che phủ rơm (Hình 1a).



Hình 1. (a) Phủ rơm cho đậu, (b) Đo độ ẩm trong đất.



Thường xuyên theo dõi độ ẩm trong đất để tưới cho phù hợp. Độ ẩm được đo trực tiếp trong đất bằng ẩm kế như Hình 1b.

## 2.2. Bố trí thí nghiệm

### 2.2.1. Thiết kế nghiên cứu

Lô thí nghiệm có địa hình bằng phẳng, diện tích là 60 m<sup>2</sup>, đậu có chu kỳ sống là 75 ngày, được trồng với mật độ là 25 cây/1m<sup>2</sup>. Nguồn nước cấp cho lô thí nghiệm là nước ao. Yêu cầu vận hành như sau:

- + Tưới một lần hết diện tích của các ô thí nghiệm cho cùng một lưu lượng.
- + Nghiệm thức có và không phủ rơm cho đất đều tưới ngập rãnh 3 cm.
- + Mỗi nghiệm thức có diện tích 10m<sup>2</sup> và được lặp lại 3 lần.
- + Chu kỳ tưới qua 3 giai đoạn: Giai đoạn làm đất, giai đoạn tưới khi đậu còn non và giai đoạn tưới khi đậu sinh trưởng.

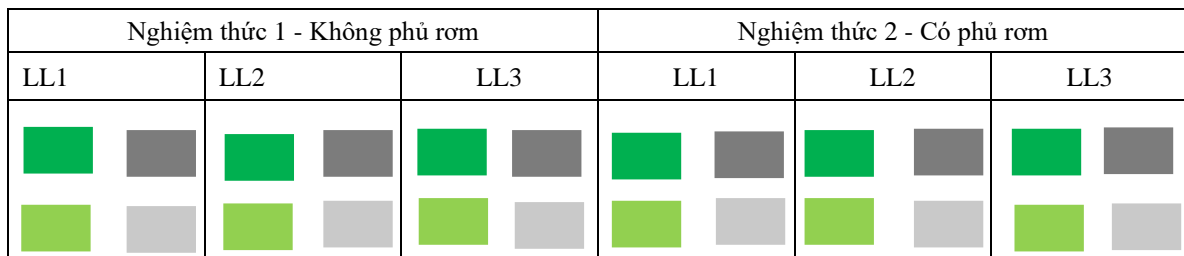
Giai đoạn làm đất: Có 2 lần bơm nước vào ruộng ở mực nước 10 cm mục đích làm cho đất tơi xốp chuẩn bị cho việc cấy ải.

Giai đoạn tưới khi đậu còn non: Sau quá trình làm đất, hạt được gieo trong điều kiện độ ẩm 75%. Cây bắt đầu nảy mầm và phát triển thành cây con. Sau 10 ngày, đất đã khô, nước được bơm vào cả hai ô có và không phủ rơm với lượng nước đủ ướt và làm 01 lần trong chu kỳ phát triển của cây con. Lượng nước được cung cấp đảm bảo đạt đến mức độ ẩm 75%, không để bị ngập tràn.

Giai đoạn tưới khi đậu tăng trưởng: Sau giai đoạn cây con, cả hai nghiệm thức tiếp tục được tưới tràn mặt đất 3 cm. Quá trình này diễn ra cho đến khi trái chắc hạt, sau đó dừng việc bơm nước trong vòng 15 ngày kể từ khi thu hoạch. Đối với nghiệm thức không phủ rơm có 6 lần tưới, trong khi đó với nghiệm thức phủ rơm chỉ có 4 lần tưới. Công việc làm cỏ, bón phân, và phun xịt thuốc trừ sâu được thực hiện theo phương pháp canh tác truyền thống của địa phương cho cả hai nghiệm thức bất kể có sử dụng rơm phủ hay không.





### 2.2.2. Đo thấm và bốc hơi

Mỗi ô thí nghiệm được đặt 2 thùng có đáy và 2 thùng không đáy với kích thước 35 cm × 40 cm được bố trí như Hình 2 để xác định lượng nước thấm và bốc hơi. Mực nước trong thùng được đo vào lúc 9h30 và theo dõi độ ẩm trực tiếp trong thùng và ngoài ruộng mỗi ngày bằng ẩm kế.



Hình 2. Sơ đồ bố trí thí nghiệm.

Chú thích: Nghiệm thức 1: Không phủ rơm; Nghiệm thức 2: Có phủ rơm; LL1, LL2, LL3: Lặp lại 1, lặp lại 2, lặp lại 3.

-  Thùng có đáy, trồng đậu
-  Thùng có đáy, không trồng đậu
-  Thùng không đáy, trồng đậu
-  Thùng không đáy, không trồng đậu

### 2.2.3. Quan trắc các thông số sinh trưởng và năng suất của cây

Các chỉ tiêu sinh trưởng được thu thập tại thời điểm cây đâm tia làm quả (Hình 3a) và thu hoạch (Hình 3b) theo 5 đường chéo góc, tại mỗi góc lấy 5 cây để đo đếm các thông số: chiều cao, số lá, số quả chắc, khối lượng trung bình của các quả trên cây, từ đó tính năng suất (tấn/ha).



Hình 3. (a) Cây đậu nành rau tại ô có phủ rơm, (b) Đậu sau khi thu hoạch.

### 2.2.4. Phương pháp tính toán nhu cầu nước tưới cho cây đậu nành rau

Đậu nành rau là cây trồng cạn, phát triển trên môi trường đất ẩm, nhu cầu nước tưới cho cây trồng cạn nói chung được xác định dựa trên phương trình cân bằng nước viết cho tầng đất ẩm nuôi cây, phương trình cân bằng nước có dạng:

$$IWR_i = \Delta D_{ri} + ET_{ci} + W_s + W_p - Pe_i - CR_i \quad (1)$$

Trong đó  $IWR_i$  là lượng nước yêu cầu tưới trong thời đoạn thứ  $i$  (mm);  $\Delta D_{ri}$  là sự thay đổi lượng nước chứa trong tầng đất trong thời đoạn thứ  $i$  (mm);  $ET_{ci}$  là lượng bốc thoát hơi nước cây trồng trong thời đoạn thứ  $i$  (mm);  $W_s$  là xác định lượng nước cần thiết cho giai đoạn làm đất;  $W_p$  là xác định lượng nước tổn thất do thấm;  $Pe_i$  là lượng mưa hữu hiệu trong thời đoạn thứ  $i$  (mm);  $CR_i$  là lượng nước mao dẫn từ mặt nước ngầm trong thời đoạn thứ  $i$  (mm).

Ta đã biết  $CR_i$  là lượng nước mao dẫn từ mặt nước ngầm = 0 vì đây là đất thuộc vùng cao, mạch nước ngầm rất sâu. Nhưng cây đậu rau có bộ rễ nông, cây trưởng thành có bộ rễ ăn sâu khoảng 20-25 cm. Theo tổ chức lương thực và nông nghiệp liên hiệp quốc (FAO) khi mực nước ngầm nằm dưới đáy tầng rễ cây trên 1,0 m thì có thể coi  $CR \approx 0$ . Do độ ẩm của đất được tưới trong một thời đoạn thay đổi không đáng kể nên có thể bỏ qua sự thay đổi này, tức  $\Delta D_{ri} \approx 0$ . Vì vậy, phương trình (1) xác định nhu cầu nước tưới cho cây đậu nành rau được đơn giản hóa thành:

$$IWR_i = ET_{ci} + W_s + W_p - Pe_i \quad (2)$$

a) Tính lượng nước trong giai đoạn làm đất ( $W_s$ )

Trong giai đoạn làm đất có 2 lần bơm nước vào ruộng: Lần 1: Lượng nước đưa vào ruộng 10 cm mực đích làm cho đất tơi xốp chuẩn bị cho việc cấy ải. Sau 7 ngày tiếp tục bơm nước lần 2 ở mực nước 10cm để đất tơi xốp hơn.

$$W_s = (H_1 \times S) + (H_2 \times S) \quad (3)$$

Trong đó  $H_1, H_2$  là chiều cao mực nước lần 1 và lần 2;  $S$  là diện tích mặt ruộng.

b) Xác định lượng nước thấm

$$W_{p \text{ thấm}} = W_{kd}(\text{đất, không đậu}) - W_{cd}(\text{đất, không đậu}) \quad (4)$$

Trong đó  $W_{p \text{ thấm}}$  là lượng nước thấm;  $W_{kd}$  là lượng nước còn lại ở thùng không đáy (có đất, không trồng đậu);  $W_{cd}$  là lượng nước còn lại ở thùng có đáy (có đất, không trồng đậu).

c) Xác định lượng mưa hữu hiệu

Lượng mưa hiệu quả được xác định theo phương pháp hệ số, tức là lượng mưa hiệu quả bằng lượng mưa rơi xuống nhân với hệ số sử dụng nước mưa:

$$Pe = \alpha \times P \tag{5}$$

Trong đó P là lượng mưa rơi xuống ứng với tần suất thiết kế (mm);  $\alpha$  là hệ số sử dụng nước mưa, tính theo tài liệu kinh nghiệm của Trung Quốc: Khi lượng mưa  $P < 5$  mm,  $\alpha = 0$ ; Khi  $5 \text{ mm} \leq P \leq 50$  mm,  $\alpha = 1,0$ ; Khi  $P > 50$  mm,  $\alpha = 0,8$ .

d) Xác định lượng bốc thoát hơi nước  $ET_{ci}$  chính là nhu cầu nước của đậu nành rau

Lượng bốc thoát hơi nước của cây trồng  $ET_c$  được xác định theo phương pháp hệ số cây trồng bằng cách nhân  $ET_o$  với hệ số  $K_c$ .

$$ET_{ci} = K_c \times ET_o \tag{6}$$

Trong đó  $K_c$  là hệ số cây trồng;  $ET_o$  là lượng bốc thoát hơi nước cây trồng tham khảo.

e) Xác định  $ET_o$

$ET_o$  là lượng thoát hơi nước tham chiếu, mm/d được tính bằng đo thực tế:

$$ET_o = W_{cd, \text{đậu}} - W_{cd, \text{đất}} \tag{7}$$

f) Xác định hệ số cây trồng  $K_c$

Với cây đậu nành, tra bảng theo “Hướng dẫn tính toán nhu cầu nước của cây trồng - FAO 56” xác định được các giá trị hệ số cây trồng của cây đậu nành trong các giai đoạn sinh trưởng như sau: Hệ số cây trồng giai đoạn giữa vụ  $K_{c \text{ mid}} = 1,15$  và hệ số cây trồng giai đoạn cuối vụ  $K_{c \text{ end}} = 0,60$ . Hệ số cây trồng của giai đoạn phát triển ( $K_{c \text{ dev}}$ ) được tính bằng trung bình của hệ số cây trồng giai đoạn giữa vụ và hệ số cây trồng giai đoạn đầu vụ.

Do điều kiện khí hậu khu vực nghiên cứu khác với điều kiện khí hậu tiêu chuẩn nên các giá trị hệ số  $K_c$  được tra từ bảng nêu trên cần được điều chỉnh theo các công thức dưới đây. Căn cứ các tài liệu về khí hậu và đất đai khu vực nghiên cứu, áp dụng các công thức tính hệ số cây trồng  $K_c$  như sau:

Hệ số cây trồng giai đoạn giữa vụ  $K_{c \text{ mid}}$ :

$$K_{c \text{ mid}} = K_{c \text{ mid (tab)}} + [0,04 \times (u_2 - 2) - 0,004 (RH_{\text{min}} - 45)] \times (h/3)^{0,3} \tag{8}$$

Trong đó  $K_{c \text{ mid (tab)}}$  là giá trị  $K_{c \text{ mid}}$  tra từ bảng của FAO;  $u_2$  là tốc độ gió trung bình ngày trong giai đoạn giữa vụ ở độ cao 2 m (m/s);  $RH_{\text{min}}$  là độ ẩm tương đối thấp nhất hàng ngày trong giai đoạn giữa vụ (%); h là chiều cao trung bình của cây trồng trong giai đoạn giữa vụ (m).

Hệ số cây trồng giai đoạn cuối vụ  $K_{c \text{ end}}$ :

$$K_{c \text{ end}} = K_{c \text{ end (tab)}} + [0,04 \times (u_2 - 2) - 0,004 (RH_{\text{min}} - 45)] \times (h/3)^{0,3} \tag{9}$$

Trong đó  $K_{c \text{ end (tab)}}$  là giá trị  $K_{c \text{ end}}$  tra từ bảng của FAO;  $u_2$  là tốc độ gió trung bình ngày trong giai đoạn cuối vụ ở độ cao 2 m (m/s);  $RH_{\text{min}}$  là độ ẩm tương đối thấp nhất hàng ngày trong giai đoạn cuối vụ (%); h là chiều cao trung bình của cây trồng trong giai đoạn cuối vụ (m).

g) Tổng nhu cầu nước tưới tiêu cho cây đậu nành rau

$$T_c = \sum_0^i IWR_i \tag{10}$$

Trong đó  $T_c$  là tổng nhu cầu nước tưới tiêu cho cây đậu nành rau;  $IWR_i$  là lượng nước yêu cầu tưới trong thời đoạn thứ i (mm); i là số lần vô nước (thời đoạn).

### 3. Kết quả thảo luận

#### 3.1. Nhu cầu nước tưới cho cây đậu nành rau

a) Nhu cầu nước cho làm đất

**Bảng 1.** Nhu cầu nước giai đoạn làm đất.

Nghiệm thức	Mức nước $H_1$ (m)	$W_{mưa}$ ( $P_{ei}$ ) ( $m^3$ )	Tổng lượng nước cho chuẩn bị đất ( $W_s, m^3/10m^2$ )	Tổng lượng nước cho chuẩn bị đất ( $W_s, m^3/ha$ )
Có rơm	0,1 × 2 lần	0	2	2000
Không rơm	0,1 × 2 lần	0	2	2000

Trong giai đoạn chuẩn bị đất, các ô nghiệm thức được tưới nước hai lần, mỗi lần với mực nước sâu khoảng 10 cm, nhằm làm đất trở nên tơi xốp và dễ xử lý hơn để chuẩn bị cho việc lên luống. Khoảng cách giữa hai lần tưới là 7 ngày, đảm bảo đất có thời gian ngấm đủ nước và đạt độ ẩm cần thiết. Tổng lượng nước được cung cấp cho mỗi ô rộng 10m<sup>2</sup> là 2 m<sup>3</sup>, do đó đối với một hecta đất, lượng nước cần thiết cho giai đoạn chuẩn bị là 2.000 m<sup>3</sup>.

b) Nước cho giai đoạn cây con (20 ngày)

Bơm nước vừa đủ độ ẩm của đất 75% và tiến hành gieo hạt, theo dõi bốc hơi, thấm và mưa trong 20 ngày đầu, chỉ vô nước 01 lần để giữ ẩm cho đất 75% và tưới không ngập.

**Bảng 2.** Nhu cầu nước giai đoạn cây con (20 ngày).

Nghiệm thức	W <sub>1</sub> (lượng nước lấy vào ô TN m <sup>3</sup> )	W <sub>p</sub> (m <sup>3</sup> )	W <sub>ET</sub> (m <sup>3</sup> )	W <sub>mưa</sub> (P <sub>ei</sub> , m <sup>3</sup> )	Tổng lượng nước giai đoạn cây con (m <sup>3</sup> /10m <sup>2</sup> )	Tổng lượng nước giai đoạn cây con (m <sup>3</sup> /ha)
Có rom	0,13	0,85	2,63	0	3,61	3.610
Không rom	0,13	0,80	2,80	0	3,73	3.730

Ở giai đoạn cây con lượng bốc thoát hơi nước và thấm không khác biệt lớn ở hai nghiệm thức có và không có phủ rom. Tổng lượng nước cấp cho mỗi ô rộng 10 m<sup>2</sup> dao động từ 3,61-3,73 m<sup>3</sup>. Do đó, đối với một hecta đất lượng nước cần thiết cho giai đoạn cây con là 3.610 m<sup>3</sup> cho nghiệm thức có rom và 3.730 m<sup>3</sup> cho nghiệm thức không phủ rom.

c) Giai đoạn sinh trưởng và phát triển của cây (40 ngày)

**Bảng 3.** Nhu cầu nước giai đoạn sinh trưởng và phát triển của cây (40 ngày).

Nghiệm thức	W <sub>1</sub> (lượng nước lấy vào ô TN m <sup>3</sup> )	W <sub>p</sub> (m <sup>3</sup> )	W <sub>ET</sub> (m <sup>3</sup> )	W <sub>mưa</sub> (m <sup>3</sup> )	Tổng lượng nước (m <sup>3</sup> /10m <sup>2</sup> )	Tổng lượng nước (m <sup>3</sup> /ha)
Có rom	0,3 × 4 lần	3,20	9,20	0,53	13,07	13.070
Không rom	0,3 × 6 lần	3,27	9,45	0,53	13,99	13.990

Trong giai đoạn này, mặc dù có mưa, nhưng lượng mưa chỉ đạt 0,53 m<sup>3</sup>, không đủ để làm thay đổi đáng kể lượng bốc thoát hơi nước và thấm trong hai nghiệm thức, dù có rom phủ hay không. Tuy nhiên, do cần bơm nước nhiều lần, tổng nhu cầu nước cho cây đậu trong hai nghiệm thức có sự chênh lệch đáng kể. Sự khác biệt này lên tới khoảng 900 m<sup>3</sup> nước cho mỗi hecta.

d) Nhu cầu nước cây trồng và nhu cầu nước tưới tiêu

Nhu cầu nước cây trồng là lượng nước cần thiết cho cây trồng để sinh trưởng và phát triển trong suốt một mùa vụ. Nó bao gồm lượng nước cây hấp thụ từ đất và thoát ra qua quá trình bốc hơi và thoát hơi nước. Như vậy nhu cầu nước cho cây đậu nành rau (ET) sẽ bằng tổng giá trị ET của giai đoạn cây còn non và giai đoạn cây sinh trưởng. Kết quả tính toán cho thấy nhu cầu nước cho cây đậu nành rau ở nghiệm thức có rom 11.830 m<sup>3</sup>/ha trong khi ở nghiệm thức không có rom là 12.250 m<sup>3</sup>/ha. Nhu cầu nước tưới tiêu thường cao hơn nhu cầu nước cây trồng do phải tính đến các yếu tố ngoài nhu cầu trực tiếp của cây chẳng hạn như hiệu suất tưới tiêu, làm đất, thấm, lượng mưa. Kết quả cho thấy ở Bảng 4, tổng nhu cầu nước tưới tiêu cho 1 hecta đất canh tác đậu nành rau theo phương pháp truyền thống, sử dụng tưới rãnh tràn trên đất cát ở vùng Tri Tôn, là khoảng 19.720 m<sup>3</sup>. Tuy nhiên, nếu áp dụng kỹ thuật tủ rom, lượng nước cần thiết có thể giảm đáng kể. Cụ thể, việc tủ rom có thể giúp tiết kiệm đến 1.040 m<sup>3</sup> nước trên mỗi hecta đất canh tác. Tủ rom là phương pháp đơn giản nhưng hiệu quả, sử dụng vật liệu hữu cơ như rom để che phủ bề mặt đất. Nó giúp hạn chế sự bốc hơi của nước, giữ độ ẩm cho đất, và tạo ra môi trường phát triển tốt hơn cho cây trồng. Đồng thời, việc tủ rom cũng có thể cải thiện chất lượng đất, giảm xói mòn, và ngăn chặn sự phát triển của cỏ dại. Như vậy, tủ rom không chỉ giúp giảm nhu cầu nước tổng thể, mà còn mang lại nhiều lợi ích khác cho cây trồng và đất canh tác. Với mức tiết kiệm 1.040 m<sup>3</sup> nước trên mỗi hecta, phương pháp này có tiềm năng lớn trong việc cải thiện hiệu quả sử dụng nước trong nông nghiệp, đặc biệt trong bối cảnh biến đổi khí hậu và nguồn nước ngày càng khan hiếm.



Điều này càng quan trọng hơn đối với vùng khô hạn như Tri Tôn, nơi việc tiết kiệm nước là yếu tố quyết định sự thành công trong canh tác nông nghiệp.

**Bảng 4.** Tổng nhu cầu nước tưới tiêu cho vụ đậu nành rau.

STT	Nghiệm thức	Nhu cầu nước cây đậu nành rau (ET m <sup>3</sup> /ha)	Nhu cầu nước tưới tiêu (m <sup>3</sup> /ha)
1	Có rom	11.830	18.680
2	Không rom	12.250	19.720

3.2. Chỉ tiêu sinh trưởng của cây

Từ lúc nảy mầm đến khi thu hoạch đậu là khoảng 75 ngày. Trong suốt vòng đời, cây đậu nành rau có thể cao từ 18 đến 26,7 cm, với 6 đến 9 cành. Mỗi cây trung bình cho từ 6 đến 11 quả. Lá của nó lớn và có hình bầu dục, hoa màu trắng, với ít lông mao màu xám. Màu sắc tổng thể của cây là xanh thẫm ngọc bích. Quả của cây đậu nành rau thường mềm, với phần lớn là quả có 2 hạt, chiếm 65% tổng số, còn lại 35% là những quả chỉ có 1 hạt. Cấu trúc này cho thấy cây có sự đa dạng về số lượng hạt, nhưng phần lớn là quả 2 hạt. Sự khác biệt này góp phần vào đặc tính độc đáo của đậu nành rau, khiến nó trở thành loại cây trồng được ưa chuộng trong nhiều điều kiện canh tác khác nhau.

a) Chiều cao cây

**Bảng 5.** Chiều cao trung bình cây giai đoạn đâm tia làm quả và giai đoạn thu hoạch.

STT	Nghiệm thức	Trung bình chiều cao cây giai đoạn đâm tia làm quả	Trung bình chiều cao cây giai đoạn thu hoạch	Ý nghĩa
1	Có rom	19,77 ± 3,00	25,28 ± 4,57	0,00*
2	Không rom	19,2 ± 1,92	22,11 ± 2,51	0,00*
	Mức ý nghĩa	0,00*	0,00*	

Kết quả trong Bảng 5 cho thấy, chiều cao trung bình của cây đậu nành rau trên ruộng thí nghiệm-đất thịt pha cát-đao động từ 19 đến 25 cm, thấp hơn đáng kể so với cây trồng trên đất phù sa tại huyện Châu Phú, nơi chiều cao trung bình có thể từ 45 đến 60 cm. Trong nghiệm thức có rom phủ, chiều cao của cây tăng nhẹ so với nghiệm thức không phủ rom, cả ở giai đoạn cây đâm tia và giai đoạn thu hoạch. Sự khác biệt này có ý nghĩa thống kê với mức độ tin cậy 95%. Điều này cho thấy rằng việc phủ rom có tác dụng tích cực đối với sự phát triển chiều cao của cây, mặc dù không thể đạt đến mức chiều cao như trên đất phù sa. Sự khác biệt này gợi ý rằng điều kiện đất có ảnh hưởng lớn đến sự phát triển của cây đậu nành rau và kỹ thuật canh tác như phủ rom có thể cải thiện sự phát triển trong môi trường đất thịt pha cát. Điều này đặc biệt quan trọng trong bối cảnh cần tối ưu hóa năng suất và hiệu quả canh tác trên các loại đất khác nhau.

b) Tổng số lá trên cây

**Bảng 6.** Trung bình lá/cây giai đoạn đâm tia làm quả và giai đoạn thu hoạch.

STT	Nghiệm thức	Trung bình lá/cây giai đoạn đâm tia làm quả	Trung bình lá/cây giai đoạn thu hoạch	Ý nghĩa
1	Có rom	127,33 ± 9,88	97,33 ± 13,79	0,00*
2	Không rom	108 ± 6,71	94,67 ± 4,96	0,00*
	Mức ý nghĩa	0,00*	0,00*	

Kết quả ở Bảng 6 cho thấy số lá trung bình trên một cây ở giai đoạn ra hoa và kết quả ở nghiệm thức phủ rom cao hơn so với nghiệm thức không phủ rom. Tuy nhiên, vào giai đoạn thu hoạch, số lá ở cả hai nghiệm thức giảm đáng kể so với giai đoạn trước, và sự chênh lệch giữa hai nghiệm thức vẫn có ý nghĩa thống kê. Sự giảm này là do cây bắt đầu rụng lá khi đến kỳ thu hoạch. Kết quả này cho thấy rằng việc phủ rom không chỉ giúp cây giữ được độ ẩm cần thiết trong giai đoạn sinh trưởng mà còn mang lại sự khác biệt đáng kể về số lượng lá trong các giai đoạn khác nhau của quá trình phát triển.

c) Số lá xanh còn trên thân chính khi thu hoạch

**Bảng 7.** Trung bình tổng số lá xanh còn trên thân chính khi thu hoạch.

STT	Nghiệm thức	Trung bình lá xanh/cây khi thu hoạch
1	Có rom	106,67 ± 18,67
2	Không rom	77,33 ± 21,07
	Mức ý nghĩa	0,00*

Bảng 7 cho thấy số lá xanh còn lại trên cây tại thời điểm thu hoạch ở nghiệm thức phủ rom cao hơn đáng kể so với nghiệm thức không phủ rom, với sự khác biệt có ý nghĩa thống kê ở mức độ tin cậy 95%. Điều này cho thấy rằng cây trong nghiệm thức phủ rom có số lượng lá xanh nhiều hơn và ít rụng hơn khi bước vào giai đoạn thu hoạch so với nghiệm thức không phủ rom.

d) Tổng số quả trên cây khi thu hoạch

**Bảng 9.** Trung bình tổng số quả/cây giai đoạn thu hoạch.

STT	Nghiệm thức	Trung bình số quả/cây	Trung bình số quả chắc/cây	Ý nghĩa
1	Có rom	8,7 ± 0,09	5,2 ± 0,10	0,00*
2	Không rom	6,3 ± 0,16	4,5 ± 0,26	0,00*
	Mức ý nghĩa	0,00*	0,00*	

Trung bình, nghiệm thức phủ rom có nhiều hơn 2-3 quả so với nghiệm thức không phủ rom, và số lượng quả chắc cũng cao hơn. Sự khác biệt này có ý nghĩa thống kê giữa hai nghiệm thức cũng như giữa hai giai đoạn khảo sát với mức độ tin cậy 95%. Điều này cho thấy rằng việc phủ rom không chỉ giúp cây ra nhiều quả hơn mà còn tăng số lượng quả chắc. Điều này khẳng định hiệu quả của phương pháp phủ rom trong việc cải thiện năng suất.

e) Khối lượng quả

**Bảng 10.** Trung bình khối lượng quả (g).

STT	Nghiệm thức	Trung bình khối lượng quả (g)	Trung bình khối lượng quả chắc (g)
1	Có rom	26 ± 0,59	20,6 ± 50,9
2	Không rom	20,5 ± 1,26	15 ± 36,8
	Mức ý nghĩa	0,00*	0,00*

Khối lượng quả trên mỗi cây dao động từ 20 đến 26 gram. Trung bình, nghiệm thức có rom có khối lượng quả 26 gram, cao hơn rõ rệt so với nghiệm thức không rom, chỉ đạt 20,5 gram. Trọng lượng trung bình của quả chắc ở nghiệm thức có rom cũng vượt trội so với nghiệm thức không rom. Sự chênh lệch này có ý nghĩa thống kê với mức độ tin cậy 95%, cho thấy rằng việc phủ rom không chỉ góp phần tăng khối lượng tổng thể của quả mà còn ảnh hưởng tích cực đến chất lượng của chúng.

f) Năng suất

**Bảng 11.** Năng suất.

STT	Nghiệm thức	Năng suất (tấn/ha)			Năng suất trung bình (tấn/ha)
		LL1	LL2	LL3	
1	Có rom	6,25	4	9,25	6,5
2	Không rom	4,375	7	4	5,1

Kết quả nghiên cứu cho thấy năng suất trung bình của 1 hecta đậu nành rau được canh tác theo phương pháp truyền thống, với tưới rãnh tràn trên đất cát ở vùng Tri Tôn, dao động từ 5,1 đến 6,5 tấn/ha. Trong đó, nghiệm thức có rom cho năng suất 6,5 tấn/ha, cao hơn đáng kể so với nghiệm thức không rom, chỉ đạt 5,1 tấn/ha. Sự chênh lệch này có ý nghĩa thống kê, cho thấy tác động tích cực của việc phủ rom.

Phủ rơm giúp giữ đất xung quanh cây đậu luôn tơi xốp, duy trì độ ẩm cần thiết, và bổ sung thêm chất dinh dưỡng cho đất, tạo điều kiện thuận lợi cho sự phát triển của cây, từ đó tăng năng suất. Mặc dù vậy, vùng trồng đậu nành rau trên đất phủ sa thường đạt năng suất từ 7 đến 8 tấn/ha, cao hơn từ 2 đến 3 tấn/ha so với vùng đất cát ở Tri Tôn. Điều này gợi ý rằng yếu tố địa chất và điều kiện môi trường cũng đóng vai trò quan trọng trong việc xác định năng suất cây trồng.

#### 4. Kết luận

Qua việc tính toán lượng nước cần thiết cho phương pháp tưới rãnh truyền thống đối với cây đậu nành rau, so sánh giữa hai nghiệm thức: một bên phủ rơm và một bên không phủ rơm. Kết quả cho thấy nhu cầu nước tưới cho cây trồng (ET) đối với nghiệm thức có và không phủ rơm là 11,830 m<sup>3</sup>/ha và 12.250 m<sup>3</sup>/ha tương ứng. Trong khi đó, nhu cầu nước tưới tiêu lên đến 19.720 m<sup>3</sup>/ha, nghiệm thức có phủ rơm sử dụng ít nước hơn, tiết kiệm được khoảng 1.040 m<sup>3</sup>/ha so với nghiệm thức không phủ rơm. Năng suất của đậu nành dao động từ 5,1 đến 6,5 tấn/ha, không có sự khác biệt đáng kể về chiều cao cây, tổng số lá, và tổng số cành trên mỗi cây. Mặc dù vậy, nghiên cứu đã chỉ ra sự khác biệt có ý nghĩa thống kê ở mức độ tin cậy 95% về số lá xanh, tổng số quả và khối lượng quả trên mỗi cây.

Những phát hiện này nhấn mạnh lợi ích của việc phủ rơm trong việc tiết kiệm nước, đồng thời cho thấy rằng yếu tố này không ảnh hưởng tiêu cực đến năng suất cây trồng. Điều này giúp cung cấp thông tin quan trọng cho các nhà quản lý nông nghiệp và người nông dân trong việc áp dụng các kỹ thuật tưới tiêu hiệu quả và bền vững hơn không chỉ ở khu vực nghiên cứu mà còn có thể áp dụng được ở khu vực khác có điều kiện đất đai tương tự như Tri Tôn.

Mặc dù kết quả bước đầu khả quan cho thấy có sự khác biệt về năng suất cũng như một số chỉ tiêu sinh trưởng giữa nghiệm thức có phủ và không phủ rơm. Tuy nhiên, cần nghiên cứu thêm vài vụ nữa để có thể phản ánh chính xác các biến đổi theo mùa hoặc các giai đoạn phát triển khác của cây trồng về nhu cầu nước tương quan đến năng suất.

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

**Lời cảm ơn:** Nhóm nghiên cứu chân thành cảm ơn Ban Giám hiệu; Phòng QLKH&ĐTSĐH Trường Đại học An Giang đã tạo điều kiện thuận lợi và hỗ trợ kinh phí cho đề tài mã số 21.03.CN.

**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. FAOSTAT. FAO statistical yearbook 2021 - World Food and Agriculture. 2021. Available online: <https://reliefweb.int/report/world/fao-statistical-yearbook-2021-world-food-and-agriculture>.
2. Ly, Y. Liên kết sản xuất tiêu thụ đậu nành, tăng hiệu quả kinh tế. 2022. Trực tuyến: <https://baovinhlong.com.vn/kinh-te/nong-nghiep/202205/lien-ket-san-xuat-tieu-thu-dau-nanh-tang-hieu-qua-kinh-te-3114604/>.
3. Sawada, H.; Kuykendall, L.D.; Young, J.M. Changing concepts in the systematics of bacterial nitrogen-fixing legume symbionts. *J. Gen. Appl. Microbiol.* **2003**, *49*(3), 155–179. doi:10.2323/jgam.49.155.
4. Chương, N.V. và cs. Tình hình sản xuất cây đậu xanh ở Việt Nam. 2016. Trực tuyến: <http://camnangcaytrong.com/tinh-hinh-san-xuat-cay-dau-xanh-o-viet-nam-nd12001.html>.

5. Châu, H. Thảng đậm vụ đậu nành rau. Báo An Giang. 2024. Trục tuyền: <https://baoangiang.com.vn/thang-dam-vu-dau-nanh-rau-a393496.html>.
6. Kranz, W.L.; Specht, J.E. Irrigating soybean. NebGuide G1367. 2012. Available online: <http://ianrpubs.unl.edu/eublic/live/g1367/build/g1367.pdf>.
7. Hay, C. Chapter 49: Soybean irrigation. South Dakota Board of Regents, 2019, 49, 423–434. Available online: <https://extension.sdstate.edu/sites/default/files/2020-03/S-0004-49-Soybean.pdf>.
8. Helsen, D.G.; Helsen, Z.R. Irrigating soybeans. University of Missouri-Columbia Extension Division, 1993, 4420, 1-6. Available online: <https://extension.missouri.edu/publications/g4420>.
9. Bhattarai, S.P.; Midmore, D. Oxygenation enhances growth, gas exchange and salt tolerance of vegetable soybean and cotton in a saline vertisol. *J. Intergrative Plant Biol.* **2009**, *51*(7), 675–688. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7909.2009.00837.x>.
10. Comlekcioglu, N.; Simsek, M. Effects of deficit irrigation on yield and yield components of vegetable soybean [*Glycine max* L. (Merr.)] in semi-arid conditions. *African J. Biotechnol.* **2013**, *10*(33), 6227–6234. Doi: 10.5897/AJB10.2237.
11. Rittler, L.; Bykova, O. Water use and irrigation in soybean. 2022. Available online: [https://www.legumehub.eu/is\\_article/water-use-and-irrigation-in-soybean/](https://www.legumehub.eu/is_article/water-use-and-irrigation-in-soybean/).
12. Kranz, W.L.; Specht, J.E. Irrigating soybean. NebGuide G1367. University of Nebraska-Lincoln Extension, 2012. Available online: <https://extensionpubs.unl.edu>.
13. Rolbiecki, S.; Kasperska-Wołowicz, W.; Jagosz, B.; Sadan, H.A.; Rolbiecki, R.; Szczepanek, M.; Kanecka-Geszke, E.; Langowski, A. Water and irrigation requirements of glycine max (L.) Merr. in 1981–2020 in Central Poland, Central Europe. *Agronomy* **2023**, *13*, 2429. <https://doi.org/10.3390/agronomy13092429>.
14. Anapalli, S.S.; Pinnamaneni, S.R.; Reddy, K.N.; Sui, R.; Singh, G. Investigating soybean (*Glycine max* L.) responses to irrigation on a large-scale farm in the humid climate of the Mississippi Delta region. *Agric. Water Manage.* **2022**, *262*, 107432. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2021.107432>.
15. Ogunkanmi, L.; MacCarthy, D.S.; Adiku, S.G.K. Impact of extreme temperature and soil water stress on the growth and yield of soybean (*Glycine max* (L.) Merrill). *Agriculture* **2022**, *12*, 43. <https://doi.org/10.3390/agriculture12010043>.
16. Singh, R.; Singh, K.; Bhandarkar, D.M. Estimation of water requirement for soybean (*Glycine max*) and wheat (*Triticum aestivum*) under vertisols of Madhya Pradesh. *Indian J. Agric. Sci.* **2014**, *84*(2), 190–197.
17. Hosss, E.H.; Muendel, H.H. Water requirements of inigated soybeans in southern Alberta. *Can. J. Plant Sci.* **1983**, *63*, 855–860.
18. Minh, Q. An Giang: Tăng cường phòng chống hạn, xâm nhập mặn. 2021. Trục tuyền: <https://angiang.gov.vn/wps/portal/Home/tin-tuc/chi-tiet/an-giang-tang-cuong-phong-chong-han-xam-nhap-man>.
19. Khanh, P.T.; Pramanik, S.; Ngoc, T.T.H. Soil permeability of sandy loam and clay loam soil in the paddy fields in An Giang Province in Vietnam. *Environ. Challenges* **2024**, *15*, 100907. <https://doi.org/10.1016/j.envc.2024.100907>.
20. Nguyen, L.B.; Lập, T.Q. Cẩm nang hướng dẫn kỹ thuật tưới tiên tiến, tiết kiệm nước. Nhà xuất bản Xây dựng, 2021. ISBN: 978-604-82-6052-1.
21. Irmak, S., Payero, J.O.; Martin, D.L. Using modified atmometers (ETgage®) for irrigation management. G1579. University of Nebraska-Lincoln Extension NebGuide. 2005, G1579. Available online: <https://extensionpubs.unl.edu/publication/g1579/pdf/view/g1579-2012.pdf>.
22. William, L. Irrigating soybean. 2012. Available online: <https://extensionpubs.unl.edu/publication/g1367/html/view>.



## Estimating the water requirement for glycing max cultivated on degraded gray soil in Tri Ton district, An Giang province

Tran Thi Hong Ngoc<sup>1</sup>, La Tai Linh<sup>1</sup>, Nguyen Duc Thang<sup>1</sup>, Cao Thi Kim Phuong<sup>1</sup>, Phan Truong Khanh<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> Faculty of Engineering, Technology - Environment, An Giang University, National University - HCM, Vietnam. tthngocagu@gmail.com; latailinh5839@gmail.com; akthang98@gmail.com; kimphuongcao134@gmail.com

**Abstract:** *Glycine max (L.) Merrill* is becoming an economical and stable choice for many vegetable-specialized regions. However, climate change and intense heatwaves during the dry season are causing severe water shortages, particularly in the Tri Ton area, An Giang. Given this context, finding water-saving measures to ensure agricultural productivity has become an urgent issue. This study focuses on assessing the water needs of edamame grown on degraded gray soil with two approaches: one with straw mulch and one without. Based on the water balance equation and daily water level measurements in tanks with and without bottoms placed at the experimental field to estimate the evapo-transpiration and soil infiltration. The results showed that the non-mulch treatment, ET is 12.250 m<sup>3</sup>/ha and required 19,720 m<sup>3</sup>/ha of irrigation water demand. In contrast, when straw mulch was applied, the water requirement significantly decreased, saving about 1,040 m<sup>3</sup>/ha compared to the non-mulch treatment. The average yield of edamame ranged from 5.1 to 6.5 tons/ha. In addition to water savings, the straw mulch also positively impacted plant growth, including plant height, number of leaves and filled seeds ratio compared to the non-mulch treatment. These findings clearly demonstrate the benefits of applying straw mulch techniques, improving irrigation efficiency while enhancing crop yields. This is especially important for agricultural regions facing water scarcity and climate change, like Tri Ton.

**Keywords:** Glycine max soybeans; Water Requirements; Degraded Gray Soil; Tri Ton.

Bài báo khoa học

## Đánh giá thực trạng và khả năng tái sử dụng nước làm nước cấp cho sinh hoạt của một số nguồn thải trên địa bàn tỉnh An Giang

Trần Thị Minh Hằng<sup>1\*</sup>, Trần Thị Huyền Nga<sup>1</sup>, Vũ Đình Tuấn<sup>1</sup>, Hoàng Minh Trang<sup>1</sup>, Nguyễn Mạnh Khải<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Khoa Môi trường, Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, ĐHQGHN, 334 Nguyễn Trãi, Thanh Xuân, Hà Nội; hangttm@hus.edu.vn; tranthihuyennga@hus.edu.vn; vudinhluan@hus.edu.vn; hoangminhtrang@hus.edu.vn; nguyenmanhkhai@hus.edu.vn

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

Ban Biên tập nhận bài: 20/2/2024; Ngày phản biện xong: 1/5/2024; Ngày đăng bài: 25/9/2024

**Tóm tắt:** Nghiên cứu này bước đầu nhằm đánh giá thực trạng và khả năng tái sử dụng nước của một số nguồn thải trên địa bàn tỉnh An Giang làm nguồn nước cấp cho sinh hoạt. 12 vị trí lấy mẫu được chọn và phân tích với 21 chỉ tiêu chất lượng nước tại mỗi vị trí. Kết quả phân tích về chất lượng nước được so sánh với quy chuẩn Việt Nam về chất lượng nước mặt phục vụ cho mục đích làm nước cấp sinh hoạt. Các thông số nhiệt độ, pH, một số kim loại nặng như As, Cr, Pb, Cu đều nằm trong giới hạn cho phép trong khi TSS, COD, Fe, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> và coliforms đều vượt giới hạn cho phép. Bên cạnh đó, việc xuất hiện của các kháng sinh cũng là nguy cơ gây ảnh hưởng đến chất lượng nguồn nước. Các chỉ tiêu vượt ngưỡng cho phép được phát hiện chủ yếu thuộc nguồn nước thải sinh hoạt và nông nghiệp do chưa được đầu tư xử lý hoặc tiếp nhận nước thải từ các hoạt động sinh hoạt, nước mưa chảy tràn, hoạt động nông nghiệp và thủy sản. Nguồn nước nội đồng tại khu vực nghiên cứu, kết quả tính toán WQI theo 5 nhóm thông số cho thấy WQI dao động từ 52-65 được đánh giá có chất lượng nước trung bình - phù hợp với sử dụng cho mục đích tưới tiêu và các mục đích tương đương khác. Các nhóm công nghệ xử lý nước và chính sách quản lý được đề xuất trong nghiên cứu nhằm loại bỏ các chất ô nhiễm, tái sử dụng nước làm nguồn nước cấp sinh hoạt trong bối cảnh thiếu nước sạch, khan hiếm nước ở Đồng bằng sông Cửu Long.

**Từ khóa:** Tái sử dụng; Ôxi hóa tiên tiến; Nước thải; Nước cấp.

### 1. Đặt vấn đề

Hoạt động phát triển kinh tế - xã hội kèm theo nhu cầu sử dụng nước ngày càng tăng, qua đó lượng nước thải đã qua sử dụng ngày càng lớn. Việt Nam đã từng được coi là quốc gia giàu tài nguyên nước từ các thập kỷ trước. Tuy nhiên, đến nay do đặc điểm phân bố tài nguyên nước, hoạt động quản lý sử dụng và quản lý nguồn thải, áp lực sử dụng nước từ thượng nguồn làm cho nhiều địa phương diễn ra tình trạng khan hiếm nước. Bên cạnh đó nước thải phát sinh từ các nguồn khác nhau đã và đang là vấn đề môi trường đáng quan tâm. Đến nay, hoạt động quản lý và xử lý nước thải đã có những kết quả nhất định nhưng vẫn còn nhiều khó khăn, bất cập trong việc đảm bảo hài hòa giữa phát triển kinh tế - xã hội và bảo vệ tài nguyên môi trường. Báo cáo Hiện trạng môi trường quốc gia năm 2018 chuyên đề Môi trường nước các lưu vực sông cho thấy, nước thải sinh hoạt chiếm 30% tổng lượng thải trực tiếp dẫn ra sông [1]. Đồng bằng sông Hồng và Đông Nam Bộ, đặc biệt tại hai trung tâm kinh tế - văn hóa lớn nhất cả nước là Thủ đô Hà Nội và Thành phố Hồ Chí Minh, có số dân đông đúc với mật độ dân số đứng đầu cả nước (lần lượt là 2.398 người/km<sup>2</sup> và 4.363 người/km<sup>2</sup>) là hai vùng tập trung nhiều nước thải nhất cả nước [2]. Lượng nước thải phát sinh trên 1 đơn

vị diện tích ở khu vực đô thị lớn dẫn đến quá tải các hệ thống thoát nước và tiếp nhận nước thải tại các thành phố. Các nghiên cứu chỉ ra rằng, nguồn nước khu vực nông thôn Việt Nam cũng đang bị ô nhiễm bởi các hoạt động nhân sinh. Ngoài sự tác động của nguồn nước thải do các nhà máy ở lưu vực các con sông, các nguồn thải tác động đáng kể đến chất lượng nước cần phải tính đến là do sản xuất nông nghiệp, làng nghề,... [3–6].

An Giang là một trong những tỉnh đầu nguồn sông Mê Kông từ thượng nguồn vào Việt Nam. Nhu cầu sử dụng nước cho công nghiệp, nông nghiệp của An Giang trong những năm qua gia tăng đáng kể, kèm theo đó là lượng nước thải đã thải vào các kênh mương nội đồng, sông chảy qua địa bàn tỉnh trong những năm qua cũng tăng lên. Chất lượng nước mặt ở các kênh rạch nội đồng tỉnh An Giang trong giai đoạn năm 2009 đến 2016 được chứng minh bị ô nhiễm hữu cơ và vi sinh vật. Với các chỉ tiêu như lượng oxy hòa tan (DO), nhu cầu oxy sinh hóa (BOD), tổng chất rắn lơ lửng (TSS), photphat ( $P-PO_4^{3-}$ ) và coliform vượt ngưỡng cho phép QCVN 08:2015 cột A1, nguồn nước tại các khu vực này không phù hợp cho mục đích cấp nước sinh hoạt và bảo tồn thực vật thủy sinh [7]. Ngoài các hoạt động sản xuất nông nghiệp, nuôi trồng thủy sản là một trong các thế mạnh của các tỉnh thuộc đồng bằng sông Cửu Long nói chung và An Giang nói riêng. Việc phát triển ngành nuôi trồng thủy sản gắn liền với việc môi trường nước bị ô nhiễm bởi các chất hữu cơ cũng như sự có mặt của một số loại kháng sinh khó phân hủy. Trong khi đó, nạn hạn hán, xâm nhập mặn dẫn đến tình trạng thiếu nước sản xuất và sinh hoạt cho người dân [8]. Để giải quyết vấn đề trên, tái sử dụng nước là một biện pháp cần được quan tâm bởi nhiều quốc gia nhằm giảm áp lực trong lĩnh vực cấp nước cho sản xuất và sinh hoạt [8, 9]. Tuy nhiên, việc tái sử dụng nước cho các mục đích khác nhau phụ thuộc rất nhiều vào chất lượng nước, công nghệ xử lý và quản lý hoạt động xả thải. Nghiên cứu này nhằm bước đầu đánh giá thực trạng một số nguồn thải trên địa bàn tỉnh An Giang và khả năng tái sử dụng nước cấp nước cho sinh hoạt thông qua việc phân tích đặc điểm nguồn thải, đặc tính công nghệ từ đó đề xuất tiềm năng tái sử dụng nước thải cho mục đích cấp nước sinh hoạt trên địa bàn tỉnh An Giang.

## 2. Phương pháp nghiên cứu

### 2.1. Lấy mẫu và phân tích mẫu

Các mẫu nước bao gồm nước thải nông nghiệp (NTNN), nước thải sinh hoạt (NTSH), nước thải công nghiệp (NTCN), nước mương nội đồng (NMNĐ) được thu thập trong mùa khô và mùa mưa năm 2021 trên địa bàn tỉnh An Giang. Thông tin chi tiết về mẫu nước, ký hiệu mẫu được mô tả trong Bảng 1 và vị trí lấy mẫu được thể hiện tích hợp trên Hình 10.

**Bảng 1.** Vị trí thu mẫu trên địa bàn tỉnh An Giang.

Ký hiệu vị trí mẫu	Đặc điểm		
	Loại nước	Mùa	Vị trí
AG1	NTSH	Mùa khô, 2021	Nhà máy xử lý nước thải tập trung TP Châu Đốc, TP Châu Đốc, An Giang
		Mùa mưa, 2021	Nhà máy xử lý nước thải tập trung TP Châu Đốc, TP Châu Đốc, An Giang
AG2	NTCN	Mùa khô, 2021	KCN Bình Long, Châu Phúc, Châu Phú, An Giang
		Mùa mưa, 2021	KCN Bình Long, Châu Phúc, Châu Phú, An Giang
AG3	NTCN	Mùa khô, 2021	KCN Bình Hoà, Châu Thành, An Giang
		Mùa mưa, 2021	KCN Bình Hoà, Châu Thành, An Giang
AG4	NTSH	Mùa khô, 2021	Nhà máy xử lý nước thải Long Xuyên - Trạm Bình Đức, TP. Long Xuyên, An Giang
		Mùa mưa, 2021	Nhà máy xử lý nước thải Long Xuyên - Trạm Bình Đức, TP. Long Xuyên, An Giang
AG5	NTCN	Mùa khô, 2021	Nhà máy xử lý nước thải Mỹ Hoà, TP. Long Xuyên, An Giang

Ký hiệu vị trí mẫu	Đặc điểm		
	Loại nước	Mùa	Vị trí
AG6	NTNN	Mùa mưa, 2021	Nhà máy xử lý nước thải Mỹ Hoà, TP. Long Xuyên, An Giang
		Mùa khô, 2021	Bên phà, cuối cồn Mỹ Hoà Hưng (Long Xuyên), TP. Long Xuyên, An Giang
		Mùa mưa, 2021	Bên phà, cuối cồn Mỹ Hoà Hưng (Long Xuyên), TP. Long Xuyên, An Giang
AG7	NTNN	Mùa khô, 2021	Kênh xả từ khu nuôi ao hầm, TP. Long Xuyên, An Giang
AG8	NTNN	Mùa mưa, 2021	Kênh xả từ khu nuôi ao hầm, TP. Long Xuyên, An Giang
		Mùa khô, 2021	Kênh xả ao hầm, TP. Long Xuyên, An Giang
AG9	NTSH	Mùa mưa, 2021	Kênh xả ao hầm, TP. Long Xuyên, An Giang
		Mùa khô, 2021	Khu vực nuôi vèo lòng bè đầu cồn Mỹ Hoà Hưng, TP. Long Xuyên, An Giang
AG10	NMND	Mùa mưa, 2021	Khu vực nuôi vèo lòng bè đầu cồn Mỹ Hoà Hưng, TP. Long Xuyên, An Giang
		Mùa khô, 2021	Nước mương nội đồng, nước đầu vào trạm xử lý
AG11	NMND	Mùa mưa, 2021	Nước mương nội đồng, nước đầu vào trạm xử lý
		Mùa khô, 2021	Nước mương nội đồng, điểm xả của nước nuôi trồng thủy sản
AG12	NMND	Mùa mưa, 2021	Nước mương nội đồng, điểm xả của nước nuôi trồng thủy sản
		Mùa khô, 2021	Nước mương nội đồng, điểm xả của nước lúa
		Mùa mưa, 2021	Nước mương nội đồng, điểm xả của nước lúa

Mẫu nước được thu thập, bảo quản và phân tích trong phòng thí nghiệm để đánh giá các chỉ tiêu theo thống kê trong Bảng 2.

**Bảng 2.** Các chỉ tiêu và phương pháp phân tích.

TT	Chỉ tiêu phân tích	Đơn vị	Phương pháp phân tích
1	Nhiệt độ	°C	SMEWW 2550B:2012
2	pH	-	TCVN 6492:2011
3	Độ cứng	mg/l	TCVN 6224-1996
4	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	mg/l	TCVN 6200: 1996
5	Cl <sup>-</sup>	mg/l	TCVN 6194-1996
6	COD	mg/l	SMEWW5220C:2017
7	Tổng chất rắn lơ lửng (TSS)	mg/l	TCVN 6625:2000
8	Amoni (NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> tính theo N)	mg/l	TCVN 6179-1:1996
9	Photphat (PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> tính theo P)	mg/l	TCVN 6202:2008
10	Tổng phốtpho (tính theo P)	mg/l	TCVN 6202:2008
11	Tổng nitơ	mg/l	TCVN 6638:2000
12	Asen	mg/l	SMEWW 3113B:2017
13	Cadimi	mg/l	SMEWW 3113B:2017
14	Chì	mg/l	SMEWW 3113B:2017
15	Tổng Crom	mg/l	TCVN 6222:2008
16	Đồng	mg/l	TCVN 6193:1996
17	Sắt	mg/L	TCVN 6177:1996
18	Dư lượng kháng sinh (tetracyclin, ciprofloxacin, sulfomethaxozon, enrofloxacin)	mg/L	HPCL

## 2.2. Điều tra khảo sát và thu thập số liệu thứ cấp

Báo cáo hiện trạng môi trường tỉnh An Giang, các số liệu quan trắc môi trường của tỉnh được thu thập trong giai đoạn 2016-2020 là nguồn số liệu thứ cấp phục vụ đánh giá đặc điểm tính chất và kiểm kê các nguồn thải.

### 2.3. Phương pháp kiểm kê nguồn thải

Nguồn thải từ hoạt động nông nghiệp được ước tính trên diện tích sản xuất lúa và cây lương thực chính trên địa bàn tỉnh An Giang và áp dụng hệ số phát thải từ nghiên cứu trước đây [10, 11]. Nguồn thải từ hoạt động chăn nuôi được ước tính trên số liệu thống kê số đầu lợn, bò và sản lượng nuôi trồng thủy sản của tỉnh An Giang. Cụ thể nước thải từ hoạt động giết mổ được tính toán như sau: Phát sinh nước thải trung bình từ hoạt động giết mổ gia súc dao động từ 8,18 m<sup>3</sup>/tấn thịt xẻ (đối với giết mổ trâu, bò, tương ứng 1,227 m<sup>3</sup>/con) và 10,65 m<sup>3</sup>/tấn thịt xẻ (đối với giết mổ lợn, tương ứng 0,746 m<sup>3</sup>/con). Nước thải từ nuôi trồng thủy sản = Sản lượng cá x lượng nước thải (m<sup>3</sup>/tấn cá) + Sản lượng tôm x lượng nước thải (m<sup>3</sup>/tấn tôm) + Sản lượng thủy sản khác x lượng nước thải (m<sup>3</sup>/tấn thủy sản khác).

Đối với lượng nước thải từ hoạt động sinh hoạt, nghiên cứu được tính toán trên số liệu thống kê về dân số thành thị và nông thôn trên cơ sở áp dụng hệ số phát thải trên đầu người [12].

+ Nước thải từ công nghiệp: Được thống kê căn cứ vào báo cáo kiểm toán nước và báo cáo Hiện trạng môi trường các tỉnh An Giang giai đoạn 2016-2020 [13].

### 2.4. Tính chỉ số chất lượng nước nông nghiệp nội đồng theo WQI

Giá trị WQI của nước nông nghiệp nội đồng, được coi là nguồn nước nhiễm nước thải nông nghiệp và nước thải từ hoạt động sinh hoạt, được tính toán từ 5 nhóm chỉ tiêu theo quyết định 1640/QĐ-TCMT ngày 12/11/2019 của Tổng cục Môi trường [14]. Cụ thể các thông số đưa vào tính toán của từng nhóm như sau:

- + Nhóm I: Thông số pH
- + Nhóm II (nhóm thông số thuốc bảo vệ thực vật): Trường hợp nghiên cứu này đã sử dụng thông số Tổng hoá chất bảo vệ thực vật clo hữu cơ để tính toán.
- + Nhóm III (nhóm thông số kim loại nặng): bao gồm các thông số As, Cd, Pb, Cr<sup>6+</sup>, Cu.
- + Nhóm IV (nhóm thông số hữu cơ và dinh dưỡng): bao gồm các thông số COD, N-NH<sub>4</sub>, P-PO<sub>4</sub>
- + Nhóm V (nhóm thông số vi sinh): bao gồm các thông số Coliform, E. coli.

## 3. Kết quả nghiên cứu và thảo luận

### 3.1. Thực trạng một số nguồn thải

Kết quả điều tra khảo sát và thu thập tài liệu thứ cấp, thực trạng một số nguồn thải trên địa bàn tỉnh An Giang được tổng hợp trong Bảng 3. Kết quả cho thấy tổng lượng nước thải của tỉnh khoảng gần 350 triệu m<sup>3</sup>/năm trong đó nguồn nông nghiệp và sinh hoạt chiếm hơn 99% tổng lượng nước từ các nguồn thải.

**Bảng 3.** Lưu lượng nước thải từ các lĩnh vực tại An Giang (triệu m<sup>3</sup>/năm).

TT	Lĩnh vực	Lượng (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> /năm)	Nguồn dữ liệu
1	Nông nghiệp	309,22	Tính toán theo hệ số từ [10, 12, 15]
	- Trồng trọt	307,86	
	- Chăn nuôi	0,83	
	- Hoạt động giết mổ	0,14	
	- Nuôi trồng thủy sản	0,40	
2	Công nghiệp	1,10	Báo cáo hiện trạng môi trường giai đoạn 2016-2020 của Sở Tài nguyên và Môi trường tỉnh An Giang [15]
3	Nước thải sinh hoạt		
	Khu vực đô thị	22,00	Tính toán theo hệ số sử dụng nước 100L/người/ngày
	Khu vực nông thôn	23,80	Tính toán theo hệ số sử dụng nước 50L/người/ngày



**Nguồn thải công nghiệp:** Trên địa bàn tỉnh có 2 khu công nghiệp Bình Hòa và Bình Long. Lượng nước thải công nghiệp từ khu công nghiệp Bình Hòa hiện khoảng 750 m<sup>3</sup>/ngày đêm, khu công nghiệp Bình Long khoảng 2.300 m<sup>3</sup>/ngày đêm. Hai khu công nghiệp này đều có hệ thống xử lý nước thải công nghiệp tập trung giai đoạn 1 với công suất lần lượt 2.000 và 4.000 m<sup>3</sup>/ngày đêm. Nước thải của các nhà máy trong các khu công nghiệp trên đều được đầu nối qua hệ thống xử lý nước thải trước khi thải ra môi trường [13, 16].

**Nước thải từ các cụm công nghiệp:** Toàn tỉnh có 8 cụm công nghiệp đang hoạt động nhưng chưa được đầu tư xây dựng hệ thống thu gom, xử lý nước thải tập trung. Các hoạt động sản xuất trên khu công nghiệp phát sinh nước thải đều được yêu cầu phải tự đầu tư hệ thống xử lý nước thải đảm bảo quy chuẩn cho phép trước khi thải ra môi trường [13].

**Nước thải từ các làng nghề:** An Giang hiện có 29 làng nghề và làng có nghề. Các nghề của các làng tập trung trong 06 nhóm nghề: chế biến thực phẩm, dệt may, mộc và sản xuất đồ mộc gia dụng, gia công kim loại, đan lát và đồ gia dụng khác. Các làng nghề với quy mô sản xuất nhỏ lẻ, theo hộ gia đình và theo tập quán nên chưa có hệ thống xử lý nước thải trước khi thải vào thủy vực tiếp nhận [13].

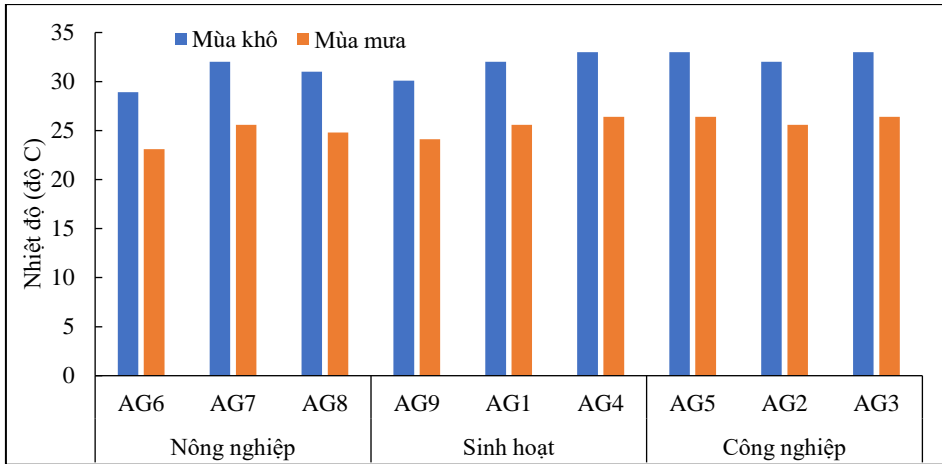
**Nước thải từ hoạt động sinh hoạt:** Tổng lượng nước thải sinh hoạt phát sinh toàn tỉnh ước tính khoảng 176.000 m<sup>3</sup>/ngày.đêm, trong đó khu vực đô thị khoảng 72.000 m<sup>3</sup>/ngày.đêm. Toàn tỉnh có 11 huyện, thị xã, thành phố nhưng chỉ có 02 hệ thống xử lý nước thải, trong đó: hệ thống xử lý nước thải Châu Đốc công suất 5.000 m<sup>3</sup>/ngày.đêm đặt tại phường Vĩnh Mỹ thu gom xử lý cho 03 phường xung quanh thị trấn, đã đi vào vận hành chính thức từ năm 2017; hệ thống xử lý nước thải Long Xuyên công suất 30.000 m<sup>3</sup>/ngày đêm (01 nhà máy công suất 20.000 m<sup>3</sup>/ngày đêm đặt tại phường Mỹ Hòa, 01 nhà máy công suất 10.000 m<sup>3</sup>/ngày đêm đặt tại phường Bình Đức). Trong thời gian tới, tỉnh đang có kế hoạch đầu tư hệ thống xử lý nước thải thị xã Tân Châu công suất 4.000 m<sup>3</sup>/ngày đêm [13, 16].

**Nước thải từ hoạt động sản xuất nông nghiệp:** An Giang có trên 1000 trang trại trồng trọt, chăn nuôi và nuôi trồng thủy sản. Một số trang trại chăn nuôi đã áp dụng công nghệ biogas để xử lý chất thải. Tuy nhiên dịch thải đầu ra vẫn chưa đảm bảo yêu cầu xả thải vào môi trường theo quy định. Các trang trại còn lại hầu hết không áp dụng xử lý triệt để các chất ô nhiễm của các dòng thải trước khi thải vào môi trường. Ô nhiễm môi trường từ hoạt động sản xuất nông nghiệp theo khảo sát còn do việc sử dụng phân bón, hóa chất bảo vệ thực vật (từ lượng dư thừa và bao bì hóa chất). Nước thải từ hoạt động nông nghiệp được đổ thải trực tiếp vào các kênh nội đồng trên địa bàn tỉnh. Ở nhiều nơi, chính các kênh này là nguồn cấp nước cho các trạm cấp nước tập trung tại nhiều huyện của tỉnh [13].

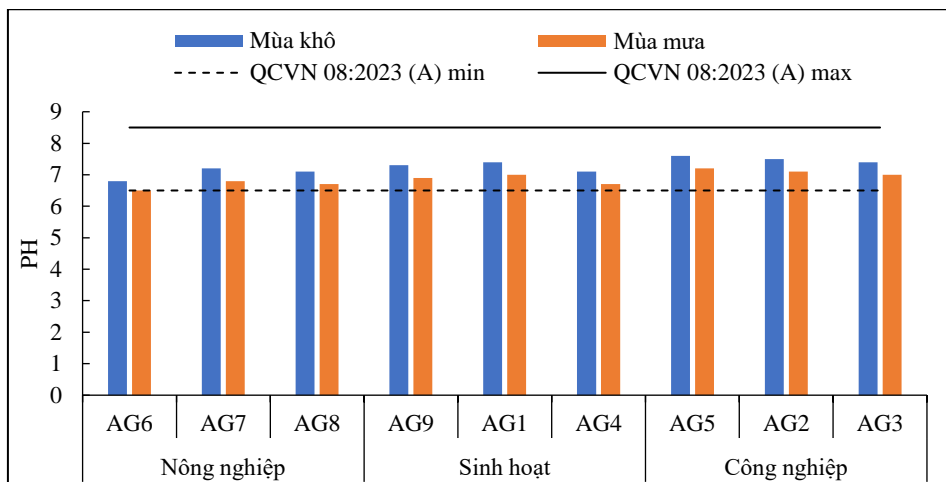
Lượng nước thải lớn từ các hoạt động công nghiệp, sinh hoạt và đặc biệt là nông nghiệp tại An Giang, đã gây áp lực về môi trường. Do đó việc đưa ra giải pháp khắc phục giảm thiểu và tái sử dụng để góp phần phát triển kinh tế xã hội của địa phương và hạn chế ô nhiễm nguồn nước là hết sức cần thiết. Kết quả số liệu tính toán, tổng hợp số liệu tại Bảng 3 cho thấy bức tranh chung là nước thải nông nghiệp vẫn đứng đầu về lượng xả thải. Cụ thể trên toàn tỉnh An Giang năm 2020 với lượng nước thải từ nông nghiệp là 309,22 triệu m<sup>3</sup>/năm. Nước thải công nghiệp là 1,1 triệu m<sup>3</sup>/năm và nước thải sinh hoạt đô thị và nông thôn lần lượt là 22,0 và 23,8 triệu m<sup>3</sup>/năm.

### *3.2. Đặc điểm tính chất một số nguồn thải*

Các thông số hóa lý được đo trực tiếp ở hiện trường. Kết quả quan trắc cho thấy nhiệt độ dao động khoảng 28-31°C (mùa khô) và giá trị này được ghi nhận thấp hơn vào mùa mưa trong khoảng 23-25°C. Nước thải công nghiệp và sinh hoạt có nhiệt độ cao hơn nước thải nông nghiệp trong cả hai mùa. Nhiệt độ trung bình thấp nhất ở nước thải nông nghiệp khu vực Mỹ Hòa Hưng (26°C) và cao nhất ở nước thải công nghiệp khu vực Bình Hòa, Châu Thành.

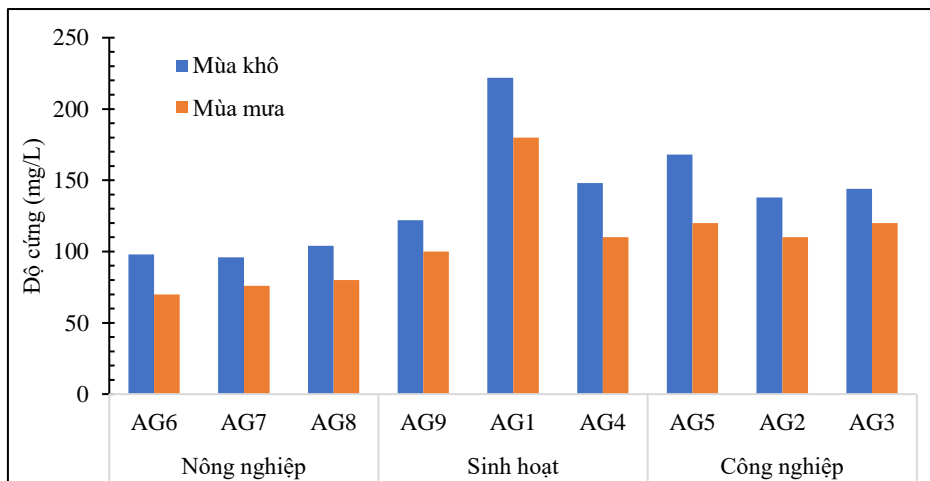


Hình 1. Đồ thị biểu diễn nhiệt độ trong nước thải tại một số điểm nghiên cứu.



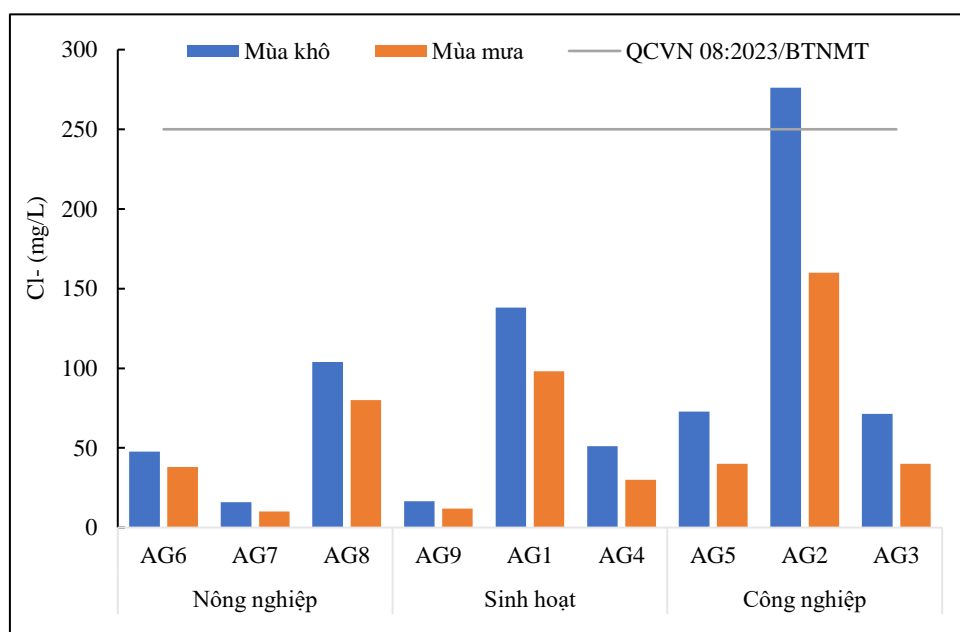
Hình 2. Đồ thị biểu diễn giá trị pH trong nước thải tại một số nguồn.

Giá trị pH trong nước thải mùa khô biến đổi từ 6,8 đến 7,5 với nước thải công nghiệp từ nhà máy xử lý nước thải Mỹ Hòa cho giá trị pH cao nhất là 7,4. Nước thải nông nghiệp từ hoạt động nuôi trồng thủy sản cho giá trị pH thấp nhất trong ba loại nước thải được nghiên cứu trong khoảng từ 6,5-6,7 vào mùa mưa và 6,8-7,1 vào mùa khô. Vào mùa mưa, các giá trị pH tại các điểm nghiên cứu đều được ghi nhận thấp hơn so với mùa khô. Các giá trị quan trắc đều có giá trị nằm trong giá trị cho phép so với QCVN 08-MT:2023/BTNMT mức A áp dụng cho nước mặt sử dụng cho mục đích cấp nước sinh hoạt.

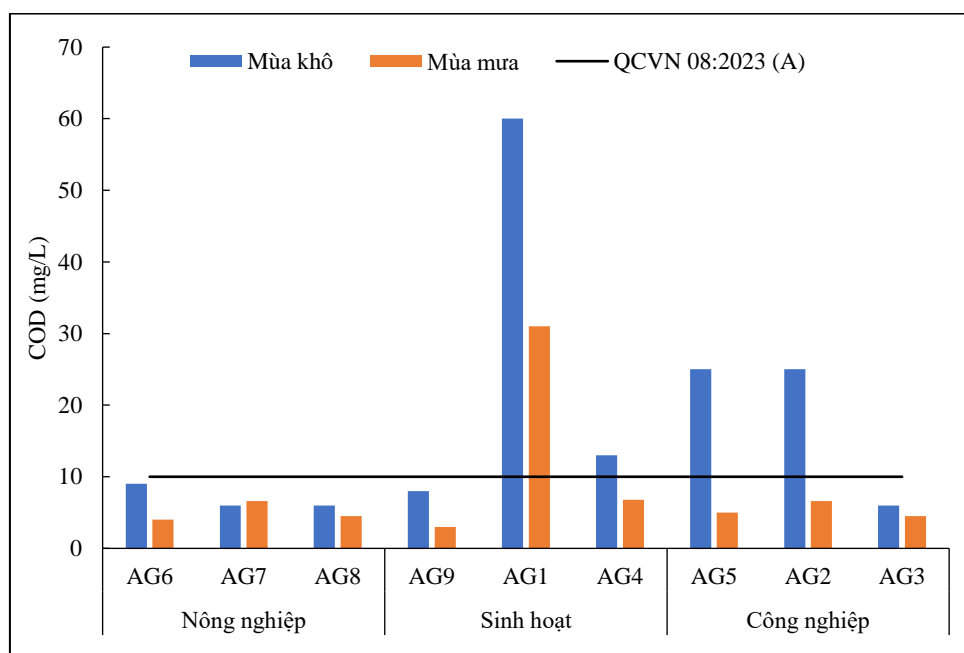


Hình 3. Đồ thị biểu diễn giá trị độ cứng trong nước thải tại một số nguồn.

Clorua có mặt trong nước là do các chất thải sinh hoạt, nước thải công nghiệp mà chủ yếu là công nghiệp chế biến thực phẩm. Kết quả phân tích cho thấy các mẫu nước thải nông nghiệp và sinh hoạt đều có hàm lượng Cl<sup>-</sup> đạt tiêu chuẩn nước dùng cho mục đích cấp nước sinh hoạt. Nước thải từ khu công nghiệp Bình Long có hàm lượng Cl<sup>-</sup> lên đến 276 mg/L.



**Hình 4.** Đồ thị biểu diễn giá trị Clorua trong nước thải tại một số nguồn.



**Hình 5.** Đồ thị biểu diễn hàm lượng COD trong nước thải của một số nguồn.

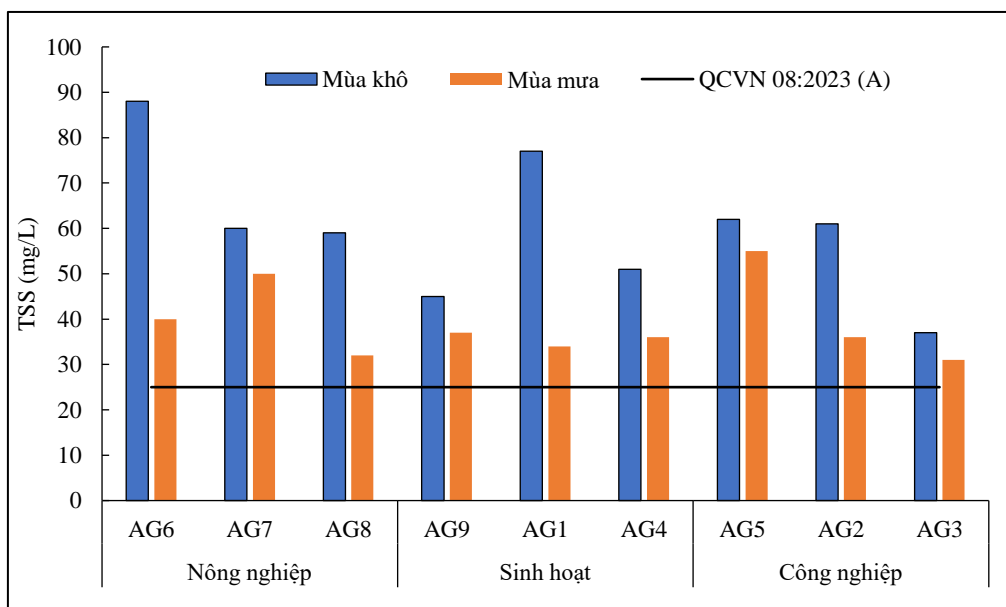
Nhu cầu oxy hóa học là thông số thường dùng để đánh giá mức độ ô nhiễm hữu cơ của nguồn nước. Kết quả ghi nhận hàm lượng COD ở các điểm thu mẫu nước thải nông nghiệp có giá trị trung bình khá thấp, dao động từ 4 đến 9 mg/L và phù hợp với quy chuẩn quy định (A: 10 mg/L) (Hình 5). Trong khi đó, hàm lượng COD thu được ở các điểm xả thải của nhà máy xử lý nước thải sinh hoạt và công nghiệp có giá trị cao gấp từ 3 đến 5 lần so với mức quy chuẩn quy định cho nước sử dụng cho mục đích cấp nước sinh hoạt. Như vậy, đối với những nguồn nước này cần được tiếp tục xử lý bậc cao để đáp ứng yêu cầu nếu sử dụng làm nguồn nước cấp cho mục đích sinh hoạt.

**Bảng 4.** Kết quả phân tích các chỉ tiêu N và P trong nước thải.

Chỉ tiêu	Thời gian	Nguồn nước thải								
		Nông nghiệp			Sinh hoạt			Công nghiệp		
		AG6	AG7	AG8	AG1	AG4	AG9	AG2	AG3	AG5
Tổng photpho (mg/L)	Mùa khô	0,06	0,1	0,13	2,02	0,13	0,06	7,53	0,23	0,84
	Mùa mưa	0,03	0,026	0,06	1,2	0,06	0,016	4,5	0,13	0,5
P-PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> (mg/L)	Mùa khô	0,43	0,87	0,78	1,6	0,78	0,03	6,2	0,13	0,67
	Mùa mưa	0,3	0,7	0,6	1,12	0,6	0,04	4,1	0,09	0,47
Tổng nito (mg/L)	Mùa khô	3	3,25	3	7,35	3	3	8,25	10,2	4,5
	Mùa mưa	2	2,8	2,6	5	2,6	2,4	6	6,6	3,7
N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (mg/L)	Mùa khô	1,3	0,27	0,5	3,55	0,5	0,05	2,93	3,44	1,99
	Mùa mưa	1,04	0,22	0,4	2,2	0,4	0,04	2,1	2,5	1,5

Từ kết quả phân tích của các mẫu nước thải cho thấy giá trị trung bình N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> của nước thải công nghiệp là cao nhất 3,44 mg/L vào mùa khô và 2,5 mg/L vào mùa mưa, dao động từ 1,5-3,44 mg/l (Bảng 4). Nước thải sinh hoạt có giá trị trung bình 1,12 mg/L, dao động từ 0,04-3,55 mg/L. Giá trị trung bình của N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> trong các mẫu nước thải nông nghiệp là thấp nhất trong số ba loại nước thải trên, tương ứng 0,69 mg/L (mùa khô) và 0,55 mg/L (mùa mưa). Mặc dù giá trị trung bình thấp, khi so sánh với giá trị thông số tương ứng với QCVN 08:2015/BTNMT vẫn có một số mẫu vượt quy chuẩn cho phép, đòi hỏi cần phải có biện pháp xử lý bậc cao để đáp ứng yêu cầu nếu sử dụng làm nguồn nước cấp cho mục đích sinh hoạt.

Hàm lượng photphat trong nước có sự biến động ở các điểm thu mẫu. Tương tự như N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, hàm lượng photphat trong nước thải công nghiệp có giá trị cao nhất, dao động trong khoảng 0,09-6,2 mg/L trong khi nước thải nông nghiệp và sinh hoạt có giá trị photphat tương đương nhau trong khoảng từ 0,03 đến 1,6 mg/L. Các kết quả phân tích này đều vượt quy chuẩn photphat trong nước phục vụ sinh hoạt trong khoảng từ 4 đến 16 lần. Vì vậy, khi tái sử dụng nguồn nước cần chú ý đến hàm lượng nito, photphat trong nước và có những biện pháp xử lý cụ thể cho từng mục đích tái sử dụng.

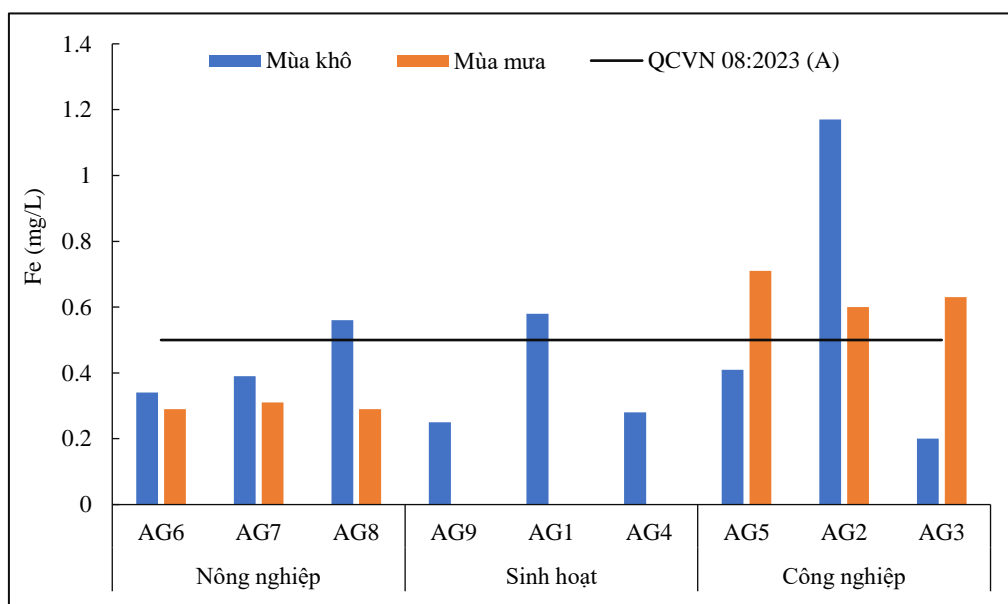


**Hình 6.** Đồ thị biểu diễn hàm lượng tổng chất rắn lơ lửng trong một số nguồn thải.

Hàm lượng tổng chất rắn lơ lửng (TSS) trong nước ở các điểm thu có sự biến động lớn giữa các mùa. Hàm lượng TSS trong nước thành phần chủ yếu là phù sa, do đây là vùng hạ lưu của sông Cửu Long nên hàm lượng phù sa vùng này rất lớn. Nhìn chung, hàm lượng vật chất lơ lửng ở cả ba loại hình nước thải đều vượt ngưỡng quy chuẩn cho phép về chất lượng nước làm nguồn nước cấp cho mục đích sinh hoạt từ 1,5 đến 3 lần, trong đó nước thải nông nghiệp có hàm lượng TSS cao nhất. Đặc biệt vào mùa khô cao hơn so với mùa mưa do hoạt

động xả thải của nước sinh hoạt, hoạt động nông nghiệp thủy sản (cuối vụ mùa) kết hợp với mức thủy triều trong thời gian này thấp nên hàm lượng vật chất lơ lửng trong nước cao hơn các tháng còn lại. Các nghiên cứu trước đây chỉ ra rằng các vùng nước ở đồng bằng sông Cửu Long của Việt Nam đã bị ô nhiễm lâu dài bởi tổng chất rắn lơ lửng. Nồng độ TSS trên sông Hậu dao động từ  $41,2 \pm 33,7$  đến  $89,57 \pm 31,31$  mg/L [17, 18], TSS trong kênh rạch tỉnh An Giang giai đoạn 2009-2016 dao động từ  $25,0 \pm 11,5$  đến  $93,7 \pm 28,3$  mg/L [20]. Tại tỉnh Sóc Trăng, nồng độ TSS trong kênh dao động từ 16 đến 176 mg/L [19, 20]. Nguyên nhân gây TSS cao là do vật chất hữu cơ, xói lở bờ sông, xáo trộn nước dưới thủy vực, phiêu sinh thực vật [20]. Các phát hiện trong nghiên cứu này cho thấy các hoạt động nuôi trồng thủy sản góp phần làm TSS cao trong các vùng nước lân cận.

Các chỉ tiêu kim loại nặng bao gồm  $Pb^{2+}$ ,  $As^{3+}$ ,  $Cd^{2+}$ ,  $Cu^{2+}$ ,  $Fe^{2+}$  và  $Cr^{6+}$  được tiến hành phân tích trong các mẫu nước thải thu thập được. Kết quả phân tích cho thấy, các chỉ tiêu  $Pb^{2+}$ ,  $As^{3+}$ ,  $Cd^{2+}$ ,  $Cu^{2+}$  và  $Cr^{6+}$  đều nằm trong giới hạn cho phép của QCVN 08:2023/BTNMT về tiêu chuẩn nước mặt phục vụ nước cấp (số liệu giá trị chi tiết không cung cấp trong bảng kết quả phân tích). Duy nhất hàm lượng  $Fe^{2+}$  tại một số điểm phân tích có giá trị vượt ngưỡng quy chuẩn QCVN 08:2028 (mức A). Trong nước thải công nghiệp của khu công nghiệp Bình Long, hàm lượng Fe mùa khô cao gấp 2 lần so với mức giới hạn. Tại kênh xả thành phố Long Xuyên và nhà máy xử lý nước thải tập trung Châu Đốc, hàm lượng Fe vào mùa khô dao động trong khoảng từ 0,6 đến 0,7 mg/L.



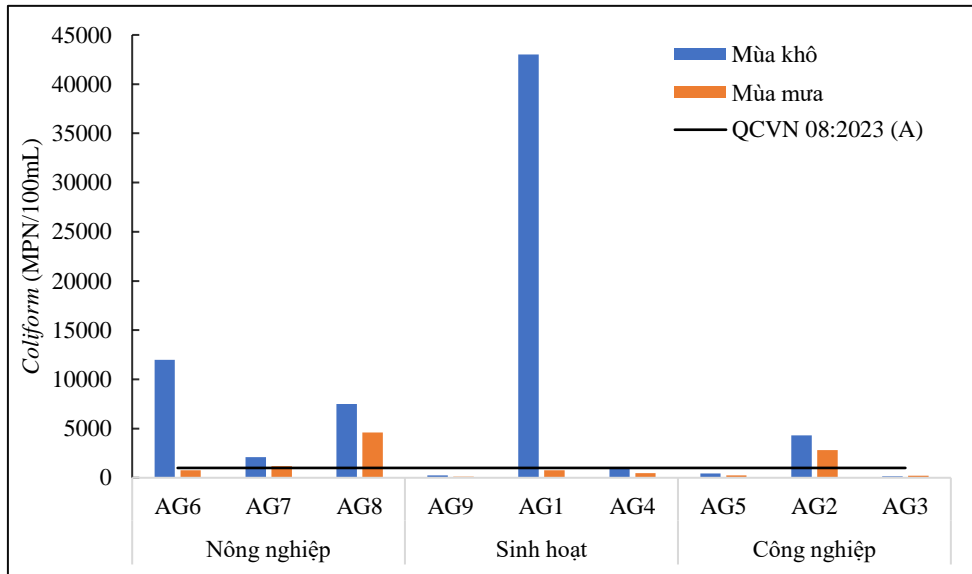
Hình 7. Đồ thị biểu diễn hàm lượng Fe trong nước thải.

Các kháng sinh được tìm thấy trong nước thải nuôi trồng thủy sản và nước thải sinh hoạt của khu vực nghiên cứu bao gồm sulfonamid, cycline và quinolone (Bảng 5). Trong nước thải công nghiệp, kháng sinh không được phát hiện. Quinolone và cycline là những nhóm kháng sinh quan trọng, sử dụng rất nhiều hiện nay trong thực hành lâm sàng và đời sống do vậy hàm lượng ciprofloxacin và tetracycline được phát hiện trong nước kênh nội đồng dao động trong khoảng 0,3-0,6 mg/L. Mẫu nước thải sinh hoạt AG9, khu vực nuôi lồng bè đầu cồn Mỹ Hòa Hưng có hàm lượng tetracycline đạt 1,35 mg/L. Sulfomethaxozon, loại kháng sinh được tiêu thụ tương đối thường xuyên, giá trị phát hiện được trung bình 0,08 mg/L. Enrofloxacin được tìm thấy ở trong nước thải nông nghiệp với nồng độ trong khoảng 0,016-0,049 mg/L cao nhất điểm xả của đường ống nước thải từ kênh xả thành phố Long Xuyên. Việc sử dụng kháng sinh trong nuôi trồng thủy sản không chỉ gây nhiễm bẩn nguồn nước mà còn gây ô nhiễm trầm tích vì kháng sinh tích tụ trong trầm tích cùng với sự lắng đọng của các hạt thức ăn dư thừa [21].

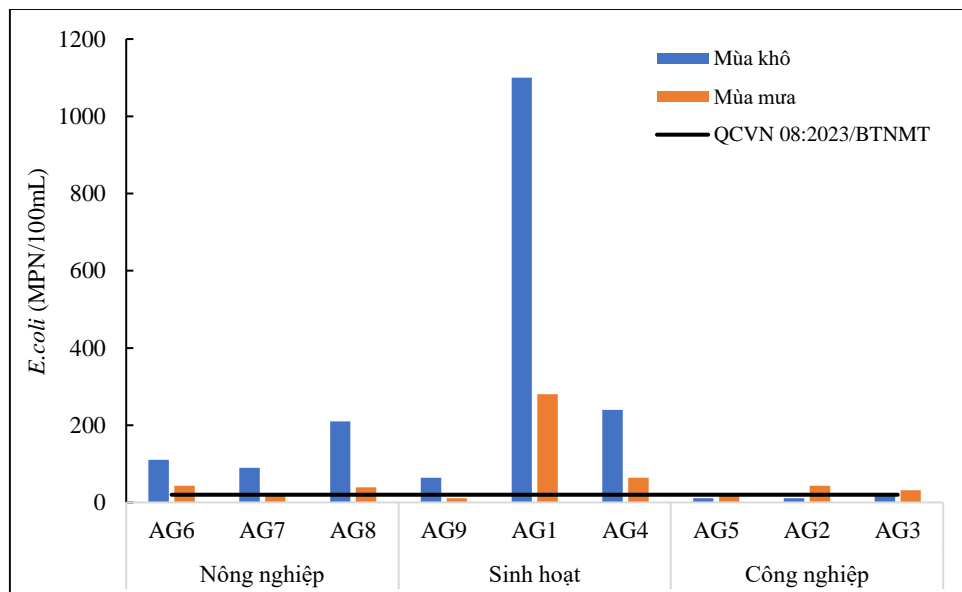


**Bảng 5.** Kết quả phân tích các chỉ tiêu kháng sinh trong điếm thải của một số nguồn nước.

Chỉ tiêu	Thời gian	Nguồn nước thải								
		Nông nghiệp			Sinh hoạt			Công nghiệp		
		AG6	AG7	AG8	AG1	AG4	AG9	AG2	AG3	AG5
Tetracyclin (mg/L)	Mùa khô	0,21	0,468	0,356	0,356	0,605	1,35	-	-	-
	Mùa mưa	0,156	0,325	0,289	0,415	0,523	0,85	-	-	-
Ciprofloxacin (mg/L)	Mùa khô	0,625	0,256	0,321	0,852	0,35	0,365	-	-	-
	Mùa mưa	0,715	0,168	0,256	0,68	0,208	0,253	-	-	-
Sulfomethaxozon (mg/L)	Mùa khô	0,04	0,104	0,104	-	-	-	-	-	-
	Mùa mưa	0,01	0,135	0,135	-	-	-	-	-	-
Enrofloxacin (mg/L)	Mùa khô	0,034	0,016	0,016	-	-	-	-	-	-
	Mùa mưa	0,049	0,024	0,024	-	-	-	-	-	-



**Hình 8.** Biểu đồ mật độ *Coliform* trong nước thải.

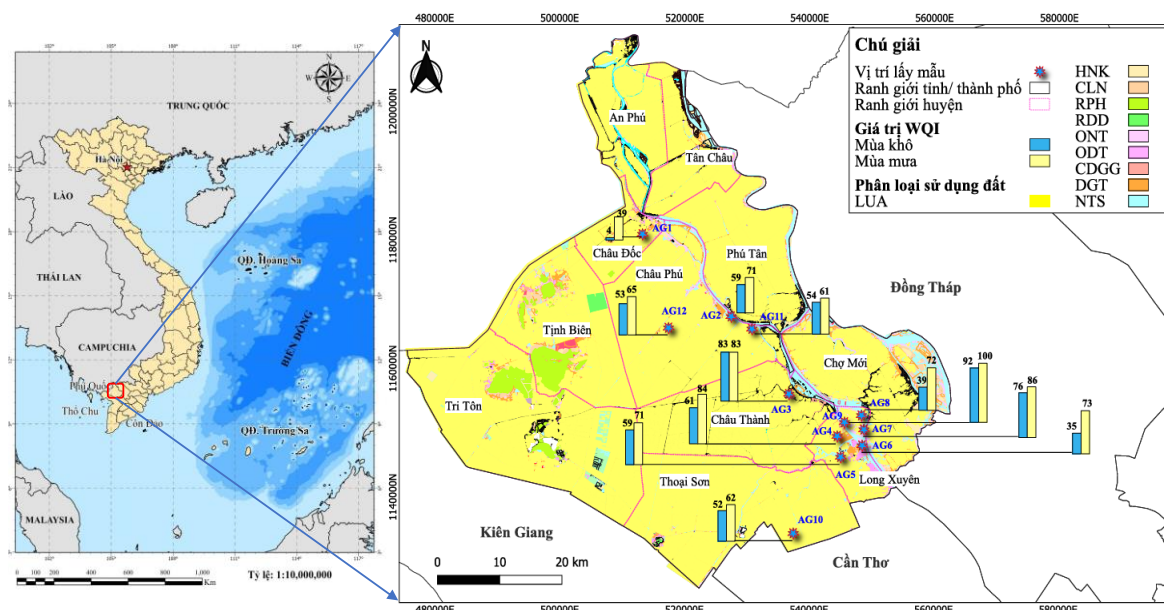


**Hình 9.** Biểu đồ mật độ *E. coli* trong nước thải.

Theo QCVN 08-MT:2023/BTNMT (A), mật độ *Coliforms* ở tầng nước mặt có giá trị giới hạn là 1000 MPN/100 mL và đối với mật độ *E. coli* là 20 MPN/100 mL. Kết quả ghi nhận được mật độ *Coliforms* và *E. coli* trong nước thải sinh hoạt có mật độ cao nhất, đặc biệt vào mùa khô và vượt giá trị giới hạn theo QCVN 08-MT: 2023/BTNMT (A) (Hình 8 và 9).

### 3.2. WQI đối với nước nội đồng

Qua khảo sát cho thấy, nguồn nước nội đồng thường bị nhiễm bởi nguồn nước thải sinh hoạt, nông nghiệp. Tại địa phương, nhiều trạm xử lý nước cấp cho sinh hoạt sử dụng nguồn nước kênh mương nội đồng, có chứa lẫn một trong hoặc nhiều hơn các nguồn thải nêu trên. Kết quả tính toán WQI theo 5 nhóm thông số cho thấy nước nội đồng tại An Giang có WQI dao động từ 52-65 được đánh giá có chất lượng nước trung bình - phù hợp với sử dụng cho mục đích tưới tiêu và các mục đích tương đương khác. Việc tái sử dụng nước thải nông nghiệp, nước kênh nội đồng dùng làm nguồn nước cấp cho sinh hoạt đòi hỏi phải áp dụng các công nghệ bậc cao để xử lý, chất lượng nước cần phải kiểm soát nghiêm ngặt trước khi sử dụng. Ước tính 50% lượng nước mương nội đồng áp dụng các biện pháp tiên xử lý giảm thông số ô nhiễm (giảm *Coliforms*, COD, Bảng 6) qua đó tăng giá trị WQI lên trên 76 thì hàng năm có thể tái sử dụng khoảng 150 triệu m<sup>3</sup> nước.



**Hình 10.** Vị trí lấy mẫu và chỉ số chất lượng nước (WQI) của các mẫu nước tại An Giang vào hai mùa mưa và mùa khô, năm 2021.

**Bảng 6.** Giá trị đề xuất đối với nước nội đồng sau khi xử lý sơ bộ để đảm bảo đầu vào cấp nước cho hệ thống nước sinh hoạt (có WQI ≥ 76).

Nguồn nước	Trước khi xử lý		Sau khi xử lý		WQI	
	<i>Coliforms</i>	<i>E.coli</i>	<i>Coliforms</i>	<i>E.coli</i>	Trước khi xử lý	Sau khi xử lý
AG10, mùa khô	15000	55	1500	55	52	79
AG11, mùa khô*	750	463	750	46	54	78
AG12, mùa khô**	9750	46	975	46	53	76
AG10, mùa mưa	12000	34	1200	34	62	90
AG11, mùa mưa	650	354	650	35	61	82
AG12, mùa mưa	5500	98	550	10	65	83

\*Đề xuất tiên xử lý giảm ½ COD thấp hơn 26mg/l để đảm bảo giá trị WQI của mẫu nước ≥ 76.

\*\*Đề xuất tiên xử lý giảm ½ COD thấp hơn 27mg/l để đảm bảo giá trị WQI của mẫu nước ≥ 76.

### 3.3. Đề xuất giải pháp tái sử dụng nước thải cho mục đích cấp nước cho sinh hoạt

#### a) Giải pháp quản lý

Hiện tại các khu công nghiệp, làng nghề trên địa bàn tỉnh cần được rà soát và yêu cầu bắt buộc phải hoàn thiện hệ thống thu gom và xử lý nước thải tập trung. Các biện pháp thanh tra, kiểm tra, giám sát kết hợp với xử phạt cần được tăng cường tiến tới 100% các hoạt động phát sinh nước thải đều được xử lý đảm bảo quy chuẩn cho phép trước khi thải vào nguồn tiếp nhận.

Các nguồn nước thải từ hoạt động sinh hoạt, nông nghiệp cần được thu gom và tái sử dụng tại nguồn, quản lý tốt các nguồn thải trước khi thải vào thủy vực tiếp nhận, nhất là các kênh mương được lấy nước phục vụ mục đích cấp nước cho sinh hoạt của các cụm dân cư trên địa bàn tỉnh.

Đối với nước thải sinh hoạt: Tăng cường cải thiện hạ tầng đô thị kết hợp với quy hoạch hệ thống thu gom xử lý kết hợp với tái sử dụng cho mục đích nông nghiệp.

b) Khả năng áp dụng các công nghệ xử lý: Dựa vào bảng liệt kê và tham vấn ý kiến các chuyên gia, các loại công nghệ được áp dụng đối với thành phần các chất ô nhiễm trong môi trường nước được liệt kê trong Bảng 7.

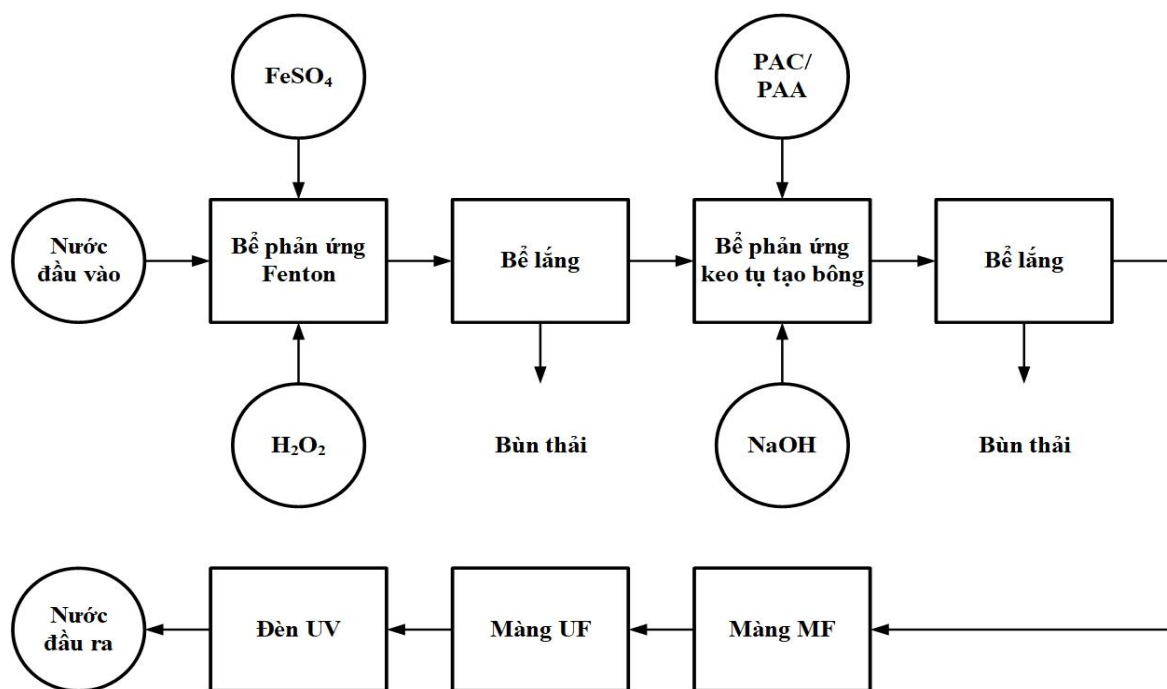
**Bảng 7.** Tác nhân cần xử lý trong nguồn nước và khả năng ứng dụng các phương án công nghệ.

Phương án xử lý	Tác nhân cần xử lý								Ý kiến chuyên gia
	Acid/bazo	Các dạng N	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	TSS	Kim loại nặng	Chất hữu cơ thông thường	Hóa chất bảo vệ thực vật	Vi sinh vật	
Trung hòa	+++				+				
Kết tủa	+		++	+	++				
Keo tụ/tủa bông	+		+	+++	+	+	+		
Hấp phụ	+	+	++	+	++	++	++	+	
Lọc thô				++					
Lọc màng			+	+++	+	+	+	+	Chi phí cao
Thẩm thấu ngược		+	++	+++	++	++	++	++	Chi phí rất cao
Công nghệ đất ngập nước nhân tạo	++	+++	+++	+++	++	+++	++	++	Thời gian lâu, đòi hỏi có diện tích và biện pháp bảo vệ
Ô xi hóa tiên tiến	+	+	+	+	+	+++	+++	++	Chi phí cao
Khử trùng								+++	

Ghi chú: + hiệu quả thấp, ++ hiệu quả trung bình, +++ có hiệu quả cao.

Từ các kết quả trên cho thấy, nhìn chung chất lượng nước sau xử lý từ các hoạt động nông nghiệp, sinh hoạt và công nghiệp chưa đáp ứng yêu cầu chất lượng với mục đích tái sử dụng làm nguồn nước cấp cho mục đích sinh hoạt theo QCVN 08:2023/BTNMT. Các công nghệ tiên tiến, tích hợp đòi hỏi được ứng dụng nếu xử lý các nguồn nước này làm nguồn nước cấp cho sinh hoạt. Đối với nước thải nông nghiệp (nước từ các mương nội đồng) và nước thải sinh hoạt với thành phần TSS cao cùng các hợp chất hữu cơ như kháng sinh, phương pháp xử lý keo tụ tạo bông kết hợp oxy hóa cấp tiến có thể được áp dụng nhằm loại bỏ các chất ô nhiễm mới nổi. Giải pháp xử lý nước thải có chứa nito và photpho bằng công nghệ sinh học kết hợp hóa lý như hệ thống đất ngập nước được đánh giá mang lại hiệu quả cao nhưng đòi hỏi phải có diện tích đất chiếm cần thiết lớn. Việc áp dụng phương pháp này thì nước sau khi xử lý có thể được dự trữ trong các ao lắng để xử lý bậc cao cho mục đích tái sử dụng. Thực vật, hệ thống vi sinh vật và vật liệu lọc làm giá thể cho hệ thống sinh học hoạt động giống như một bộ lọc đa năng kết hợp phân hủy sinh học có chức năng loại bỏ các chất ô nhiễm hữu cơ, dinh dưỡng, kim loại nặng cũng như chất rắn trong nước thải.

Trên cơ sở phân tích hiệu quả của các phương án xử lý, đặc tính chung của nước thải ở phần trên, quy trình công nghệ dưới đây được đề xuất áp dụng xử lý nước thải (nước nuôi trồng thủy sản, nước kênh mương nội đồng, nước thải công nghiệp) đạt chất lượng nước cấp cho mục đích sinh hoạt (Hình 11).



Hình 11. Sơ đồ công nghệ tái sử dụng nước làm mục đích sinh hoạt.

#### 4. Kết luận

Nghiên cứu cho thấy chất lượng nước tại một số nguồn thải tại tỉnh An Giang trong năm 2021 có dấu hiệu ô nhiễm hữu cơ, tổng rắn lơ lửng, amoni, photphat, Fe và vi sinh vật. Các chỉ tiêu này đều vượt ngưỡng quy định trong quy chuẩn kỹ thuật quốc gia QCVN 08-MT:2015/BTNMT về chất lượng nước cho mục đích cấp nước sinh hoạt. Bên cạnh đó, việc xuất hiện của các kháng sinh cũng là nguy cơ gây ảnh hưởng đến chất lượng nguồn nước. Các kháng sinh được tìm thấy trong nước thải nuôi trồng thủy sản và nước thải sinh hoạt của khu vực nghiên cứu bao gồm sulfonamid, cycline và quinolone. Các chỉ tiêu vượt ngưỡng cho phép được phát hiện chủ yếu thuộc nguồn nước thải sinh hoạt và nông nghiệp do chưa được đầu tư xử lý hoặc tiếp nhận nước thải từ các hoạt động sinh hoạt, nước mưa chảy tràn, hoạt động nông nghiệp và thủy sản. Trong khi đó, các thông số nhiệt độ, pH, một số kim loại nặng như As, Cr, Pb, Cu đều nằm trong giới hạn cho phép. Tính toán WQI theo 5 nhóm thông số cho nước nội đồng tại An Giang cho kết quả WQI dao động từ 52-65 được đánh giá có chất lượng nước trung bình - phù hợp với sử dụng cho mục đích tưới tiêu và các mục đích tương đương khác. Với việc ứng dụng các công nghệ xử lý nước phù hợp cùng các biện pháp chính sách quản lý nước nghiêm ngặt, ước tính khoảng 150 triệu m<sup>3</sup>/năm nước nội đồng có khả năng tái sử dụng làm nước cấp cho sinh hoạt. Quy trình công nghệ tích hợp công nghệ tiên tiến như ôxi hóa tiên tiến, đất ngập nước nhân tạo kết hợp với keo tụ/tủa bông và xử lý bậc cao nhằm loại bỏ các chất ô nhiễm... cho thấy tiềm năng cao của tái sử dụng nước làm nguồn nước cấp sinh hoạt trong bối cảnh khan hiếm nước ở Đồng bằng Sông Cửu Long.

**Đóng góp của tác giả:** Xây dựng ý tưởng nghiên cứu: T.T.M.H., N.M.K.; Khảo sát và thu thập số liệu: T.T.M.H., T.T.H.N., H.M.T., V.Đ.T.; Xử lý số liệu: T.T.M.H., H.M.T., V.Đ.T., N.M.K.; Viết bản thảo bài báo: T.T.M.H., H.M.T., V.Đ.T.; Chỉnh sửa bài báo: T.T.M.H., H.M.T., V.Đ.T., N.M.K.

**Lời cảm ơn:** Nghiên cứu này được tài trợ bởi đề tài hợp tác quốc tế “Quản lý tài nguyên nước tổng hợp thông qua đối thoại song phương với sự tham gia của các bên để cung cấp và tái sử dụng nước quy mô nhỏ trong các lưu vực sông Danube và sông Mê Kông”, mã số: NĐT.103.SEA-EU/21 thuộc nhiệm vụ Khoa học và Công nghệ theo Nghị định thư của Bộ Khoa học và Công nghệ Việt Nam. Tập thể tác giả cảm ơn sự tài trợ của đề tài và Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, ĐHQGHN.

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

### Tài liệu tham khảo

1. Bộ Tài nguyên và Môi trường. Báo cáo hiện trạng môi trường quốc gia năm 2018, chuyên đề: Môi trường nước các lưu vực sông. Nhà xuất bản tài nguyên - môi trường và bản đồ Việt Nam. 2019. ISBN: 978-604-952-409-7.
2. Tổng cục thống kê. Kết quả toàn bộ Tổng điều tra dân số và nhà ở năm 2019. Nhà xuất bản thống kê. 2020. ISBN: 978-604-75-1532-5.
3. Khải, N.M.; Trang, N.T.H.; Linh, N.T.; Đào, C.A.; Côn, P.M.; Nga, N.T. Nghiên cứu chất lượng nước sông Nhuệ khu vực Hà Nội. *Tạp chí Khoa học ĐHQGHN, Khoa học Tự nhiên và Công nghệ* **2012**, 28(4S), 111–117.
4. Giao, N.T. Đánh giá chất lượng môi trường nước mặt sông Cái Sắn thuộc ba tỉnh An Giang- Cần Thơ- Kiên Giang. *Tạp chí Khoa học Đất* **2021**, 62, 51–56.
5. Châu, T.N.; Vân, N.T.T.; Hùng, N.T.; Phúc, N.T.B.; Hương, Đ.T.V. Hiện trạng và nguyên nhân ảnh hưởng đến chất lượng nước hồ Búng Bình Thiên, tỉnh An Giang. *Tạp chí Môi trường* **2023**, Chuyên đề 1/2023.
6. Hằng, T.T.M.; Duy, D.Đ.; Khải, N.M. Nghiên cứu chất lượng nước sông Thương đoạn qua địa bàn tỉnh Bắc Giang. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* **2024**, 762, 27–37.
7. Ly, N.; Giao, N. Surface water quality in canals in An Giang province, Viet Nam, from 2009 to 2016. *J. VN Environ.* **2018**, 10, 113–119.
8. Tuan, P.V. Understanding groundwater use and vulnerability of rural communities in the Mekong Delta: The case of Tra Vinh province, Vietnam. *Groundwater Sustainable Dev.* **2024**, 25, 101095
9. Quân, N.V.; Nga, T.T.H.; Thúy, P.T.; Khải, N.M. Xử lý nước thải sinh hoạt và tái sử dụng nước thải sau xử lý tại Việt Nam. *Tạp chí Môi trường* **2021**, Chuyên đề 1, 31–36.
10. CGIAR/CCAFS và Trung tâm Khuyến nông quốc gia. Quản lý nước cho cây lúa. 2021.   
Trực tuyến: <http://www.khuyennongvn.gov.vn/Portals/0/Document/Canhtaclua/4%20QU%E1%BA%A2N%20L%C3%9D%20N%C6%AF%E1%BB%9AC.pdf>.
11. Viện Môi trường Nông nghiệp. Báo cáo công tác bảo vệ môi trường của ngành nông nghiệp. Báo cáo nhiệm vụ môi trường 2019. 2020.
12. Cục thống kê An Giang. Niên giám thống kê tỉnh An Giang 2020. 2021.
13. Trực tuyến: <https://angiang.gov.vn/wps/portal/Home/trang-chu/chi-tiet/sa-hien+trang+moi+truong/cong-bo-hien-trang-moi-truong-tinh-an-giang-giai-doan-2016-2020> (truy cập ngày 30/4/2024).
14. Tổng cục Môi trường. Quyết định số 1460/QĐ-TCMT ngày 12/11/2019 về việc ban hành Hướng dẫn kỹ thuật tính toán và công bố chỉ số chất lượng nước Việt Nam (VN\_WQI) của Tổng cục trưởng Tổng cục môi trường, Bộ Tài nguyên và Môi trường. 2019.
15. Đa, L.N.; Quỳnh, L.T.P.; Hương, P.T.M. Đánh giá chất lượng nước thải canh tác nông nghiệp khu vực Đông Anh, Hà Nội. *Tạp chí Khoa học Công nghệ* **2019**, 53, 68–72.
16. Sở tài nguyên và môi trường tỉnh An Giang. Công bố kết quả quan trắc môi trường tỉnh An Giang năm 2020, 2021. 2024. Trực tuyến: <https://sotainguyenmt.angiang.gov.vn/> (truy cập ngày 30/4/2024).
17. Viện Môi trường Nông nghiệp. Báo cáo công tác bảo vệ môi trường của ngành nông nghiệp. Báo cáo nhiệm vụ môi trường 2019. **2020**.
18. Liên, N.T.K.; Út, V.N.; Phú, T.Q.; Oanh, D.T.H.; Huy, L.Q. Chất lượng nước trên sông chính và sông nhánh thuộc tuyến Sông Hậu. *Tạp chí Khoa học Đại học Cần Thơ* **2016**, 43, 68–79. <https://doi.org/10.22144/ctu.jvn.2016.138>.



19. Giao, N.T. Đánh giá chất lượng môi trường nước mặt sông cái sản thuộc ba tỉnh An Giang - Cần Thơ - Kiên Giang. *Tap chí Khoa học Đất* **2021**, 62, 51–56.
20. Tuấn, Đ.D.A.; Thư, B.A.; Trung, N.H. Đánh giá hiện trạng chất lượng nước mặt phục vụ khai thác cấp nước cho thành phố Sóc Trăng. *Tap chí Khoa học Trường Đại học Cần Thơ*. **2019**, 55(4A), 61–70.
21. Chau, N.D.G.; Sebesvari, Z.; Renaud, F.; Rosendahl, I.; Minh, Q.H.; Amelung, W. Occurrence and dissipation of the antibiotics sulfamethoxazole, sulfadiazine, trimethoprim, and enrofloxacin in the Mekong Delta, Vietnam. *PLoS ONE* **2015**, 10(7), e0131855.

## **Assessing the current situation and potential for reusing wastewater for domestic water supply in An Giang province**

**Tran Thị Minh Hang<sup>1\*</sup>, Tran Thị Huyen Nga<sup>1</sup>, Vu Dinh Tuan<sup>1</sup>, Hoang Minh Trang<sup>1</sup>, Nguyen Manh Khai<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Faculty of Environmental Sciences, University of Science, Vietnam National University, Hanoi, 334 Nguyen Trai Road, Thanh Xuan district, Hanoi, Vietnam;  
hangttm@hus.edu.vn; tranthihuyennga@hus.edu.vn; vudinhtuan@hus.edu.vn;  
hoangminhtrang@hus.edu.vn; nguyenmanhkhai@hus.edu.vn

**Abstract:** This study aimed to assess the current status and potential for reusing wastewater in An Giang province as a source of daily water supply. Twelve sampling locations were selected for the study, and water samples were collected for analysis of 21 water quality indicators. The results of the water quality analysis were then compared against Vietnamese standards for surface water quality intended for domestic water supply purposes. The findings indicate that parameters such as temperature, pH, and certain heavy metals including Arsenic (As), Chromium (Cr), Lead (Pb), and Copper (Cu) are within acceptable limits. However, Total Suspended Solids (TSS), Chemical Oxygen Demand (COD), Iron (Fe), Ammonium (N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>), Phosphate (P-PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>), and coliform levels exceed permissible thresholds. Additionally, the presence of antibiotics poses a risk to water quality. Samples with parameters surpassing acceptable limits mainly originated from domestic and agricultural wastewater sources, possibly due to inadequate investment in wastewater treatment for domestic, rainwater runoff, agricultural, and fisheries activities. Regarding wastewater from agricultural paddy fields, the Water Quality Index (WQI) calculation, utilizing five parameter groups, indicates WQI ranges from 52 to 65, suggesting average water quality suitable for irrigation and similar purposes. The study proposes water treatment technology solutions and management policies to mitigate pollutants and facilitate wastewater reuse for domestic use, particularly crucial in addressing water scarcity concerns in the Mekong Delta region.

**Keywords:** Reusing wastewater; Advanced oxidation; Wastewater; Water supply.

Bài báo khoa học

# Dự báo chất lượng không khí bằng mô hình LSTM-MA trường hợp sử dụng dữ liệu tại trạm quan trắc tự động ngã tư Giếng Nước, tỉnh Bà Rịa - Vũng Tàu

Hồ Minh Dũng<sup>1\*</sup>, Không Đoãn An Khang<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Viện Môi trường và Tài nguyên, ĐHQG-HCM; H\_minhdung@yahoo.com; ankhang28040506@gmail.com

\*Tác giả liên hệ: H\_minhdung@yahoo.com; Tel.: +84-903605245

Ban Biên tập nhận bài: 20/3/2024; Ngày phản biện xong: 2/5/2024; Ngày đăng bài: 25/9/2024

**Tóm tắt:** Ô nhiễm không khí là một trong những nguyên nhân làm tăng nguy cơ mắc các bệnh về hô hấp và tim mạch. Dự báo diễn biến chất lượng không khí giúp cảnh báo cho cộng đồng về mức độ ô nhiễm. Nghiên cứu này ứng dụng trí thông minh nhân tạo cho dự báo chất lượng không khí tại khu vực trạm quan trắc tự động Ngã tư Giếng Nước, tỉnh Bà Rịa - Vũng Tàu. Mô hình bộ nhớ dài ngắn (LSTM) được lựa chọn cho nghiên cứu và để tối ưu khả năng dự báo, bộ lọc trung bình trượt (MA) được sử dụng. Kết quả nghiên cứu cho thấy chất lượng không khí khu vực nghiên cứu tương đối tốt khi nồng độ của CO, NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, PM<sub>10</sub> và PM<sub>2.5</sub> đều dưới ngưỡng cho phép. Ozon là thông số có số lần vượt ngưỡng cho phép cao nhất, cũng là thông số có tác động chính đến chỉ số chất lượng không khí; Mô hình LSTM-MA đã được xây dựng thành công với khả năng dự báo có độ chính xác cao nhất cho thời gian 1 ngày tiếp theo với giá trị căn bậc 2 sai số bình phương trung bình (RMSE) là 3,05; sai số trung bình tuyệt đối (MAE) là 2,17 và sai số phần trăm tuyệt đối trung bình (MAPE) là 3,19%. Khi dự báo trong thời gian dài hơn với 2 tuần tiếp theo, mô hình cho kết quả khả quan khi các chỉ số RMSE, MAE và MAPE lần lượt đạt 22,79; 15,74 và 24,38%.

**Từ khóa:** LSTM-MA; Bà Rịa - Vũng Tàu; Dự báo; Chất lượng không khí.

## 1. Mở đầu

Hiện nay, do quá trình phát triển kinh tế - xã hội, nên tỉnh Bà Rịa - Vũng Tàu đang phải đối mặt với nhiều vấn đề về môi trường, đã xuất hiện một số khu vực có dấu hiệu ô nhiễm môi trường không khí, ảnh hưởng trực tiếp đến sức khỏe người dân. Bên cạnh công tác quan trắc chất lượng không khí thì hoạt động dự báo cũng rất cần thiết. Sử dụng trí tuệ nhân tạo (AI) trong dự báo chất lượng không khí xung quanh là một trong những hướng nghiên cứu mới để giải quyết vấn đề này. Các mô hình dự báo chất lượng không khí hiện nay có thể được phân thành 2 loại là mô hình giải tích và mô hình thống kê [1].

Các mô hình giải tích dựa trên các quá trình vật lý và hóa học trong khí quyển, kết hợp với yếu tố khí tượng và công cụ toán học để mô phỏng chất lượng không khí ở nhiều qui mô khác nhau, có thể kể đến như CMAQ (*Community Multiscale Air Quality*) [2-4], WRF-Chem (*Weather Research and Forecasting Model with Chemistry*) [5,6], AERMOD (*AMS/EPA Regulatory Model*) [7-10] và TAPOM (*Transport and Air Pollution Model*) [11,12],... Các mô hình thống kê lại ít chú ý đến các cơ chế vật lý và hóa học của các chất ô nhiễm mà tập trung chủ yếu vào sự tương quan của dữ liệu đầu vào như các biến về khí tượng và dữ liệu các chất ô nhiễm trong khoảng thời gian trước đó với nồng độ chất ô nhiễm trong tương lai [13]. Các mô hình thống kê để dự báo chất lượng không khí bao gồm: ARMA (*Auto Regression Moving Average*), ARIMA (*Auto Regression Integrated Moving Average*) [14],  
*Tạp chí Khí tượng Thủy văn* **2024**, 765, 75-89; doi:10.36335/VNJHM.2024(765).75-89 <http://tapchikttv.vn/>

GWR (*Geographically Weighted Regression*), MLR (*Multiple Linear Regression*) [15], SVR (*Support Vector Regression*) [16]. Các mô hình này đều là mô hình hồi quy với các hàm mô tả mối quan hệ giữa một hoặc nhiều biến độc lập, biến phản hồi, biến phụ thuộc hoặc biến mục tiêu.

Trên thế giới, các nghiên cứu ứng dụng AI cho việc dự báo chất lượng không khí đã được tiến hành rộng rãi. Các kết quả thu thập được đều cho thấy kết quả khả quan khi kết hợp một hoặc nhiều các mô hình lại với nhau. Mô hình LSTM có khả năng thể hiện tốt các phân bố về diễn biến chất lượng không khí theo thời gian nên thường được các tác giả kết hợp với mô hình diễn biến theo không gian như CNN. Kết quả từ các nghiên cứu đều cho thấy các mô hình đơn LSTM hoặc lai của LSTM đều cho hiệu quả tốt hơn so với các mô hình dự báo truyền thống.

**Bảng 1.** Tổng hợp một số nghiên cứu ứng dụng mô hình LSTM trên thế giới và Việt Nam.

Nghiên cứu	Chất ô nhiễm	Quốc gia	Khoảng thời gian của dữ liệu	Mô hình sử dụng
Yan và cs [17]	AQI	Trung Quốc	2015 - 2016	BPNN, CNN, LSTM CNN-LSTM
Jiao và cs [18]	AQI	Trung Quốc	10/2023 - 9/2018	LSTM
Belavadi và cs [19]	AQI	Ấn Độ	9/3/2019 - 13/4/2019	LSTM
Duan và cs [20]	AQI	Trung Quốc	01/2015 - 03/2022	LSTM, CNN-LSTM DBO-LSTM, CEEMDAN-LSTM
Yammahi và cs [21]	NO <sub>2</sub>	UAE	2019 - 2020	LSTM, NAR-NN ARIMA, SARIMA
Navares và cs [22]	CO, NO <sub>2</sub> , O <sub>3</sub> , PM <sub>10</sub> , và SO <sub>2</sub>	Tây Ban Nha	2001 - 2013	LSTM-RNN
Chang và cs [23]	PM <sub>2.5</sub>	Đài Loan	2013 - 2017	Aggregated -LSTM
Wen và cs [24]	PM <sub>2.5</sub>	Trung Quốc	2016 - 2017	CNN-LSTM
Jung và cs [25]	PM <sub>10</sub>	Hàn Quốc	2009 - 2019	DNN, RNN LSTM
Rakholia và cs [26]	PM <sub>2.5</sub>	Việt Nam	02/2021 - 12/2021	XGBoost, GDRRegressor 1D CNN-LSTM, Prophet
Hung [27]	CO, NO <sub>x</sub> , O <sub>3</sub> , PM <sub>2.5</sub> , PM <sub>10</sub> , SO <sub>2</sub>	Việt Nam	2010 - 2018	CNN-LSTM

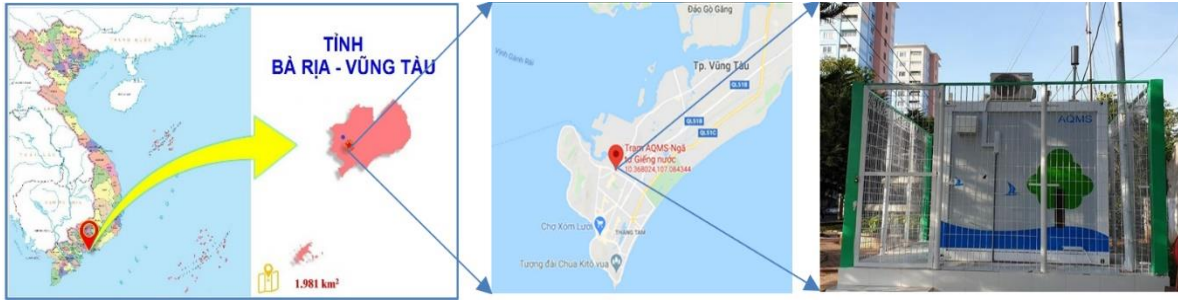
Hiện nay tại Việt Nam, ứng dụng AI với các mô hình học sâu chủ yếu chỉ mới áp dụng nhiều trong lĩnh vực tài nguyên nước [28, 29]. Đối với dự báo chất lượng không khí, các nghiên cứu sử dụng mô hình LSTM còn hạn chế về số lượng. Ngoài ra, trong các nghiên cứu này còn một số hạn chế: Tập dữ liệu sử dụng bị hạn chế về địa điểm cũng như số lượng do các trạm quan trắc không khí tự động, liên tục chỉ mới được lắp đặt trong thời gian gần đây; Bộ dữ liệu đầu vào cho mô hình LSTM có yêu cầu cao nên cần phải có các giải pháp tiền xử lý số liệu phù hợp để cho ra dự báo tối ưu; Dự báo ô nhiễm không khí theo AI thì chỉ dựa vào diễn biến số liệu quan trắc thu thập trong quá khứ nên khó có thể kết hợp với các kịch bản phát triển kinh tế xã hội. Điều này sẽ dẫn đến việc khó xác định biến đầu vào cũng như việc thu thập các số liệu có liên quan. Vì vậy, để góp phần vào nghiên cứu ứng dụng AI trong dự báo chất lượng không khí, nghiên cứu này được thực hiện với mục tiêu sử dụng mô hình LSTM kết hợp MA để dự báo chất lượng không khí dựa trên dữ liệu quan trắc tại trạm quan trắc tự động Ngã tư Giếng Nước, TP. Vũng Tàu, tỉnh Bà Rịa - Vũng Tàu.

## 2. Dữ liệu và Phương pháp nghiên cứu

### 2.1. Dữ liệu nghiên cứu

Bộ dữ liệu quan trắc chất lượng không khí sử dụng trong nghiên cứu này là nồng độ trung bình giờ của các thông số PM<sub>2.5</sub>, PM<sub>10</sub>, CO, NO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub> và SO<sub>2</sub>, được đo tại trạm quan

trắc tự động (QTTĐ) Ngã tư Giếng Nước (đặt tại phường 7, thành phố Vũng Tàu, tọa độ X: 426939; Y:146298), thuộc quyền quản lý của Sở Tài nguyên và Môi trường tỉnh Bà Rịa – Vũng Tàu. Thời gian của bộ dữ liệu kéo dài từ 18/1/2020 đến 31/12/2022.



Hình 1. Vị trí trạm quan trắc tự động Ngã tư Giếng nước, TP Vũng Tàu.

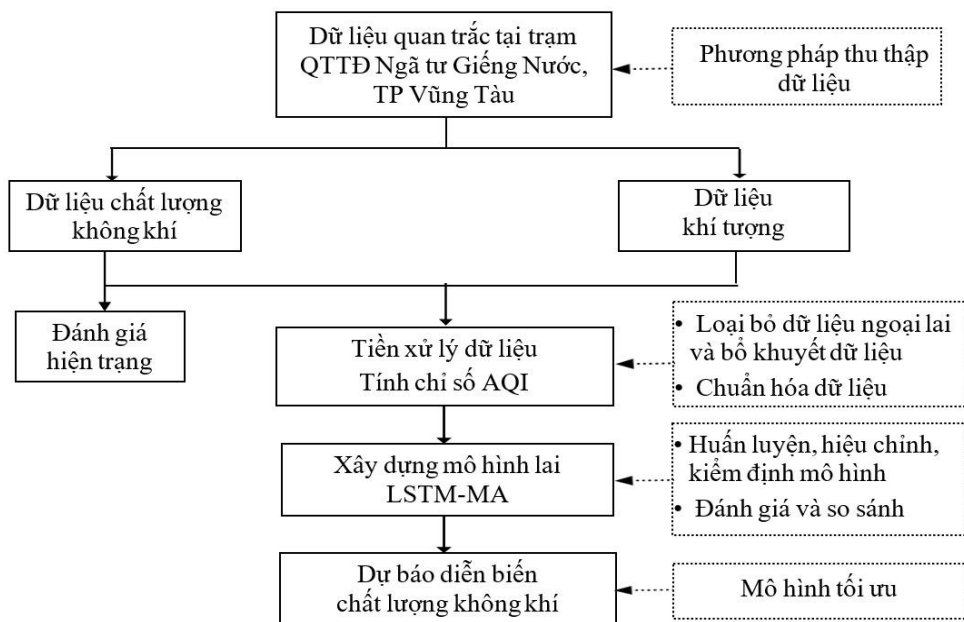
## 2.2. Phương pháp nghiên cứu

### 2.2.1. Tiền xử lý số liệu

Dự báo chất lượng không khí dựa trên mô hình học sâu đòi hỏi một lượng lớn tập dữ liệu để huấn luyện mô hình. Tuy nhiên, các tập dữ liệu thu thập được phân phối không đồng đều và không được ghi nhận (dữ liệu trống) do lỗi thiết bị hoặc sự cố mất điện và bảo trì. Sự tồn tại của những dữ liệu này ảnh hưởng đến độ tin cậy của bộ dữ liệu nghiên cứu, chúng có thể làm sai lệch kết quả phân tích dẫn đến giảm độ chính xác trong dự báo của các mô hình dự báo. Do đó, các tập dữ liệu cần được điền đầy đủ dữ liệu bị thiếu hoặc nội suy dữ liệu để các mô hình học sâu có thể được huấn luyện tốt hơn [13].

#### a) Loại bỏ dữ liệu ngoại lai

Các giá trị ngoại lai có thể dẫn đến quá trình huấn luyện mô hình diễn ra lâu hơn và mô hình kém chính xác hơn. Do đó, các dữ liệu ngoại lai cần phải được loại bỏ [19]. Có nhiều phương pháp để phát hiện dữ liệu ngoại lai nhưng cần phải dựa trên đặc tính của bộ dữ liệu, có thể kể đến một số phương pháp như: Phương pháp phát hiện dữ liệu ngoại vi theo độ lệch trung bình tuyệt đối (*mean absolute deviation - MAD*); Phương pháp đánh giá điểm số Z (*Z - scores*). Tuy nhiên, 2 phương pháp trên chỉ phù hợp cho xử lý dữ liệu tuân theo nguyên tắc phân phối chuẩn trong khi theo các nghiên cứu [30–32], bộ dữ liệu chất lượng không khí không phải là phân bố chuẩn. Để giải quyết vấn đề trên, phương pháp phát hiện dữ liệu ngoại lai bằng biểu đồ hộp (Box và Whisker) sẽ được sử dụng vì nó có khả năng làm việc tốt với



Hình 2. Sơ đồ cấu trúc nghiên cứu.

các bộ dữ liệu không tuân theo nguyên tắc phân bố chuẩn. Đây là một trong những phương pháp sử dụng công cụ đồ họa đơn giản nhưng có thể biểu diễn các thông tin về một biến liên tục, bao gồm trung vị, trung bình, các phân vị (phân vị 25% - Q1 và phân vị 75% - Q3) cùng với các cực trị. Trong đó, khoảng phân vị (*IQR - Inter quartile range*) là khoảng giá trị từ phân vị 25% (Q1) đến phân vị 75% (Q3). Khoảng tin cậy là khoảng giá trị nằm trong khoảng từ giới hạn dưới có giá trị là  $Q1 - 1,5IQR$  đến giới hạn trên có giá trị là  $Q3 + 1,5IQR$ . Một giá trị nếu nằm ngoài khoảng này có thể coi là giá trị ngoại vi. Tuy nhiên, trong thực tế có thể các giá trị được phát hiện là ngoại lai này có thể là các điểm dữ liệu ghi nhận được nồng độ ô nhiễm cao bất thường bởi ô nhiễm môi trường nào đó mà không phải do lỗi đo đạc hoặc tăng cao vào một số thời điểm nhất định trong ngày phụ thuộc theo điều kiện thời tiết và đặc điểm tại khu vực. Do đó, để chắc chắn không loại bỏ mất các dữ liệu ô nhiễm bất thường, các điểm dữ liệu được cho là ngoại lai phát hiện bởi biểu đồ hộp sẽ một lần nữa được kiểm tra so sánh. Quá trình phân tích và loại bỏ dữ liệu ngoại lai này sẽ được xử lý thông qua công cụ Microsoft Excel.

#### b) Điền dữ liệu khuyết

Tập dữ liệu quan trắc thu được có thể chứa các giá trị bị thiếu do thiết bị quan trắc bị trục trặc hoặc gặp sự cố về điện hoặc mạng gây ảnh hưởng cho quá trình truyền dữ liệu tại các trạm quan trắc. Các giá trị bị thiếu này gây ra sự gián đoạn tạm thời trong tập dữ liệu và cản trở quá trình huấn luyện. Do đó, để giải quyết vấn đề này, các giá trị bị thiếu sẽ được thay thế bằng giá trị được ghi vào cùng thời điểm một tuần trước đó vì chúng thuộc cùng một phân phối. Nếu không có gì được ghi lại vào cùng thời điểm một tuần trước đó, thì giá trị trung bình của dữ liệu sẽ được thay thế cho giá trị bị thiếu. Quá trình điền dữ liệu khuyết này sẽ được xử lý thông qua công cụ Microsoft Excel và SPSS.

#### c) Chuẩn hóa dữ liệu

Các chiều dữ liệu thường có sự khác biệt về đơn vị, phân phối và điều đó tác động không nhỏ lên hiệu quả phân loại của mô hình và khả năng hội tụ của các thuật toán trượt gradient. Một tập hợp dữ liệu có đơn vị quá khác biệt giữa các biến thường khiến gradient không hội tụ tới cực trị toàn cục. Các khác biệt về đơn vị cũng khiến việc đánh giá ảnh hưởng của các biến bị sai lệch nhiều hơn. Mục tiêu của việc chuẩn hóa là đưa các giá trị về gần hơn giá trị trung bình của các biến chứ không làm thay đổi hình dạng phân phối dữ liệu. Thông thường, phương pháp này đưa các giá trị về một khoảng đặc biệt, thường là  $[0,1]$  hoặc  $[-1,1]$  [33]. Để loại bỏ ảnh hưởng của sự khác biệt về chiều và cải thiện tốc độ hội tụ của các mô hình, tất cả dữ liệu sẽ được chuyển đổi theo phạm vi  $[0,1]$  dựa theo phương pháp chuẩn hóa Min-Max sau:

$$x' = \frac{x - \min_{(x)}}{\max_{(x)} - \min_{(x)}} \quad (1)$$

Trong đó  $x'$  là giá trị dữ liệu được chuyển đổi (giá trị 0 - 1);  $x$  là giá trị gốc.

#### d) Bộ lọc trung bình trượt (*Moving average filter*)

Như đã biết, diễn biến của các thông số chất lượng không khí còn là một hàm số có quy luật theo thời gian và thường được sử dụng rộng rãi trong việc dự báo dài hạn [16–19]. Chất lượng dữ liệu theo thời gian này có tác động rất đáng kể đến khả năng dự báo chính xác của mô hình LSTM. Dữ liệu chính xác và đa dạng giúp mô hình học được nhiều mẫu và xu hướng, từ đó cải thiện khả năng dự đoán. So với các phương pháp xử lý dữ liệu khác, thuật toán sử dụng cho bộ lọc trung bình trượt đơn giản và phù hợp xử lý dữ liệu chuỗi thời gian [34].

Bộ lọc trung bình trượt là một bộ lọc phản hồi xung hữu hạn (*FIR - Finite Impulse Response*) thường được sử dụng để làm trơn một mảng dữ liệu thu thập được. Bộ lọc sẽ có  $N$  mẫu dữ liệu đầu vào tại một thời điểm và cho một dữ liệu đầu ra duy nhất lấy giá trị trung bình của  $N$  mẫu đó. Dữ liệu đầu ra có độ mượt tăng dần theo độ dài của  $N$  mẫu dữ liệu, tuy nhiên đáp ứng tần suất thể hiện của bộ dữ liệu sẽ trở nên kém đi. Phương trình sai phân cho



bộ lọc trung bình di chuyển theo thời gian rời rạc  $N$  điểm với đầu vào được biểu thị bằng vector  $y_i$  và vector đầu ra trung bình  $y_{tr}$  được thể hiện theo công thức sau [35]:

$$y_{tr} = \frac{1}{m} \sum_{i=t-m+1}^t y_i \quad (2)$$

Theo nghiên cứu của Babu, sử dụng bộ lọc MA để chia bộ dữ liệu thành 2 phần: 1 phần với độ biến động thấp làm dữ liệu đầu vào cho mô hình ARIMA, phần còn lại mang tính chất biến động cao để sử dụng cho mô hình ANN [36].

### 2.2.2. Tính toán chỉ số chất lượng không khí AQI

Phương pháp tính toán chỉ số chất lượng không khí Việt Nam (VN\_AQI) từ dữ liệu quan trắc của trạm quan trắc không khí tự động, liên tục được ban hành kèm theo Quyết định số 1459/QĐ-TCMT ngày 12/11/2019 của Tổng Cục Môi trường [37]. Chỉ số chất lượng không khí được tính theo thang điểm (khoảng giá trị AQI) tương ứng với biểu tượng và các màu sắc để cảnh báo chất lượng không khí và mức độ ảnh hưởng tới sức khỏe con người.

### 2.2.3. Xây dựng mô hình dự báo chất lượng không khí LSTM-MA

Mô hình LSTM được sử dụng để dự báo chất lượng không khí AQI cho trạm Ngã tư Giếng nước ở tỉnh Bà Rịa - Vũng Tàu. Mô hình LSTM là một loại mạng nơ-ron phản hồi được xây dựng bởi [38]. Mô hình này được cải tiến để tăng hiệu quả hoạt động bởi [39]. Như đã đề cập ở trên, các biến động ngẫu nhiên, trị bất thường, yếu tố gây nhiễu của dữ liệu ảnh hưởng đáng kể đến độ chính xác dự báo của mô hình LSTM. Do đó, nghiên cứu sử dụng kết hợp bộ lọc trung bình trượt MA để lọc các dữ liệu có sự biến động tự nhiên theo thời gian. Johnston đã chứng minh MA sẽ làm tăng tính ổn định của mô hình dự báo và làm giảm phương sai sai số dự báo ít nhất 3% khi sử dụng bộ lọc này [36].

Tiến trình thực hiện xây dựng mô hình nghiên cứu được mô tả tóm tắt theo Hình 3.

Kịch bản dự báo: kịch bản dự báo trong nghiên cứu là điều kiện phát triển kinh tế, xã hội tại khu vực phát triển bình thường và không có sự biến động đột biến.

Dữ liệu đầu vào: Dữ liệu chỉ số chất lượng không khí AQI được tính toán dựa trên 06 thông số: CO, NO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>, SO<sub>2</sub>, PM<sub>2.5</sub> và PM<sub>10</sub>. Theo nhiều nghiên cứu chỉ ra tập luyện có tỷ lệ từ 60-80% và các tập dữ liệu còn lại được sử dụng cho đánh giá mô hình nhằm hạn chế hiện tượng quá khớp (*overfitting*). Chỉ số chất lượng không khí sau khi được tính toán sẽ được chia thành 3 tập dữ liệu gồm: huấn luyện, kiểm định và thử nghiệm theo tỉ lệ 70:15:15.

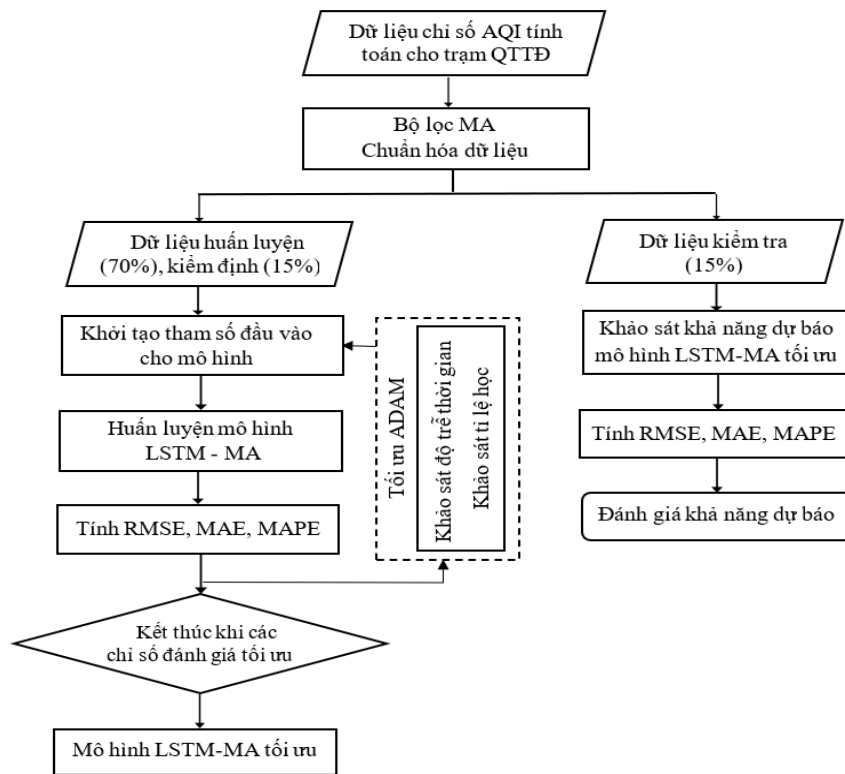
Để xác định cấu trúc mạng LSTM-MA tối ưu, 03 thí nghiệm được thiết lập:

Thí nghiệm 1 (xác định độ trễ thời gian  $r$ ): Vì giá trị  $N$  tối ưu cho bộ lọc MA chỉ được áp dụng khi bộ dữ liệu đầu ra phù hợp với nhu cầu của mô hình [33, 40] do đó nghiên cứu đề xuất khảo sát giá trị  $N$  cho bộ lọc là 7 và 28 tương ứng với biến động chỉ số chất lượng không khí trong ngắn hạn (theo tuần) và dài hạn (theo tháng). Theo Li và cs (2017), độ trễ thời gian bộ dữ liệu có tác động đáng kể đến khả năng dự báo của mô hình. Với độ trễ thời gian nhỏ, dữ liệu đầu vào không thể đảm bảo đầy đủ; Do đó, mô hình không thể khai thác triệt để LSTM cho dự báo dài hạn. Độ trễ thời gian lớn cho phép tăng số lượng đầu vào không liên quan, tuy nhiên nó đồng thời làm tăng độ phức tạp của mô hình và khó khăn trong việc huấn luyện từ các tính năng hữu ích [1]. Nghiên cứu đề xuất xác định độ trễ thời gian  $r$  tối ưu thay đổi: 4, 6, 8, 12.

Bộ dữ liệu đầu vào với giá trị  $N$  thay đổi từ bộ lọc MA sẽ được sử dụng cho mô hình. Các tham số khác trong mô hình số nơ-ron ẩn là 100, số vòng lặp cực đại (*epoch*) được điều chỉnh ở mức 100, tỷ lệ học ban đầu 0,001, thuật toán tối ưu ước tính thời điểm điều chỉnh (*adaptive moment estimation algorithm - Adam*).

Thí nghiệm 2 (xác định tỷ lệ học tối ưu): Trong thí nghiệm này, độ trễ thời gian sẽ được giữ nguyên theo kết quả đã được xác định ở thí nghiệm 1. Nghiên cứu thực hiện luyện mạng LSTM với tỷ lệ học ban đầu biến thiên trong khoảng 0,001-0,009. Các tham số khác trong

mô hình số nơ-ron ẩn là 100, số vòng lặp cực đại là 100, ngưỡng gradient là 1, thuật toán tối ưu ước tính thời điểm điều chỉnh - Adam.



**Hình 3.** Sơ đồ các bước xây dựng mô hình LSTM-MA.

Thí nghiệm 3 (xác định khả năng dự báo của mô hình): Sau khi đã xác định được các thông số tối ưu cho mô hình LSTM-MA, nghiên cứu tiến hành xác định khả năng dự báo chất lượng không khí. Thời gian dự báo (bước nhảy) của mô hình được tiếp tục khảo sát để đánh giá khả năng dự báo của mô hình, lần lượt  $k = 2, k = 4, k = 6$  và  $k = 14$ .

Huấn luyện, đánh giá, kiểm định hiệu suất của mô hình:

Tập dữ liệu được chia thành các tập huấn luyện, đánh giá và kiểm định. Mô hình sẽ được tiến hành đánh giá thông qua các chỉ số như RMSE, MAE, MAPE như sau:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - y_i^*)^2}; \quad MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_i - y_i^*|; \quad MAPE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{|y_i - y_i^*|}{y_i^*} \quad (3)$$

Trong đó  $y_i^*$  là giá trị chất lượng không khí thực tế,  $y_i$  là giá trị chất lượng không khí dự đoán và  $n$  là số lượng mẫu dữ liệu.

Nền tảng sử dụng và thông số kỹ thuật máy tính để xây dựng mô hình:

Mô hình LSTM và LSTM-MA được nghiên cứu và phát triển thông qua sử dụng ngôn ngữ Python. Thông số kỹ thuật của nền tảng cũng như tài nguyên máy đã sử dụng trong nghiên cứu này bao gồm: Ngôn ngữ sử dụng (Python phiên bản 3.10); Thư viện AI sử dụng (pandas, numpy, tensorflow, matplotlib, sk.learn); Thông số GPU sử dụng để huấn luyện các mô hình nghiên cứu (12th Gen Intel(R) Core(TM) i5-1240P 1.70 GHz, RAM 8 GB).

### 3. Kết quả và thảo luận

#### 3.1. Đánh giá hiện trạng chất lượng không khí tại khu vực Ngã tư Giếng Nước

##### 3.1.1. Hiện trạng bộ dữ liệu

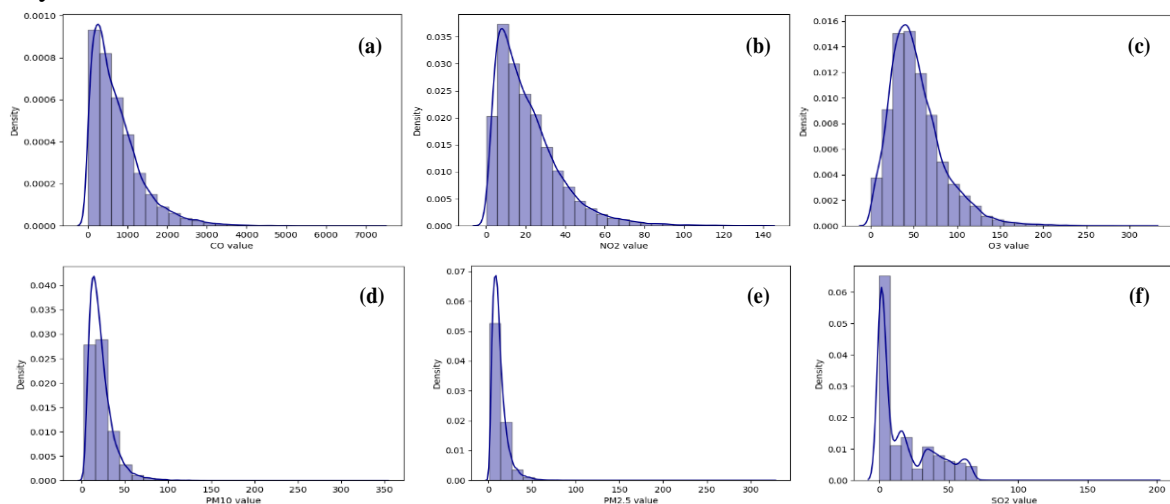
Bộ dữ liệu thu thập tại trạm QTTĐ Ngã tư Giếng nước bao gồm tổng cộng 25.764 dữ liệu cho từng thông số cho thời gian từ 18/1/2020 đến 31/12/2022. Tỷ lệ số liệu thu thập được cho cả 6 chất ô nhiễm đều cao trên 99%. Trong tất cả các thông số được sử dụng, CO là thông số có sự biến thiên lớn nhất có độ lệch chuẩn lên đến  $623,5 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$ . Biến động của CO trong

tập dữ liệu cũng là điều bình thường vì nguồn gốc của CO phát sinh tại khu vực chủ yếu đến từ việc đốt nguyên liệu hóa thạch và hoạt động giao thông trong khu vực. Giá trị NO<sub>2</sub> và SO<sub>2</sub> có cùng xu hướng khi diễn biến ổn định và không có sự chênh lệch nhiều giữa các ngày trong năm. Giá trị trung bình của PM<sub>2.5</sub> và PM<sub>10</sub> là 12,9 μg/Nm<sup>3</sup> và 22,2 μg/Nm<sup>3</sup>, tuy nhiên, giá trị cực đại ghi nhận được ở 2 thông số này đều lớn hơn 300 μg/Nm<sup>3</sup>, điều này tiềm ẩn khả năng chất lượng không khí bị ô nhiễm từ nguồn bụi mịn có trong không khí.

### 3.1.2. Hiện trạng chất lượng không khí

Giá trị trung bình giờ của các thông số CO, NO<sub>2</sub> và SO<sub>2</sub> luôn nằm trong giới hạn cho phép. Đối với O<sub>3</sub> trung bình giờ, có 64 thời điểm vượt QCVN 05:2023/BTNMT, chủ yếu vào các thời điểm từ 12-14 giờ trong ngày. Với O<sub>3</sub> trung bình 8 giờ, 660 thời điểm vượt ngưỡng cho phép, chủ yếu rơi vào thời điểm từ 16-20 giờ do đã đạt giá cực đại từ thời điểm buổi trưa. Điều này phù hợp với quy luật O<sub>3</sub> sẽ tăng lên vào buổi sáng, đạt giá trị cực đại vào buổi trưa và giảm dần vào chiều tối. Cường độ bức xạ mặt trời là nguyên nhân chính ảnh hưởng tới sự biến động nồng độ O<sub>3</sub> tầng mặt. Đối với thông số PM<sub>10</sub> và PM<sub>2.5</sub>, mặc dù ghi nhận giá trị trung bình giờ tại một số thời điểm trong ngày cao nhưng nồng độ trung bình 24 giờ đều đạt trong ngưỡng cho phép. Nhìn chung, nồng độ bụi sẽ đạt cao nhất vào khung giờ 7-8 giờ sáng. Thời điểm này thường là giờ cao điểm của buổi sáng bởi nhu cầu di chuyển của phương tiện giao thông cao và góp phần tạo ra lượng lớn chất khí ô nhiễm. Sau giờ cao điểm buổi sáng, nồng độ bụi giảm dần và có xu hướng thấp nhất vào lúc 15-16 giờ. Sau đó, nồng độ bụi sẽ tăng nhẹ vào giờ cao điểm buổi chiều (17-19 giờ). Sự phát thải từ giao thông được xem là nguyên nhân chính dẫn đến sự gia tăng hàm lượng bụi trong không khí vào các giờ cao điểm trong khu vực.

Theo Hình 3, dữ liệu cho các chất ô nhiễm đều có phân phối lệch dương. Việc dữ liệu thu thập trong nghiên cứu không phải là phân bố chuẩn cũng phù hợp theo các báo cáo đã thực hiện trên thế giới [30–32]. Theo Kumar, nhiều mô hình hoạt động tốt hơn khi dữ liệu có phân phối bình thường và hoạt động kém hơn khi dữ liệu có phân phối lệch [41]. Do đó, dữ liệu phải được chuẩn hóa sự khác biệt về cường độ để giảm tác động của các giá trị ngoại lai này.



**Hình 4.** Phân phối dữ liệu cho các chất ô nhiễm không khí: (a) CO, (b) NO<sub>2</sub>, (c) O<sub>3</sub>, (d) PM<sub>10</sub>, (e) PM<sub>2.5</sub>, (f) SO<sub>2</sub>.

### 3.2. Xử lý dữ liệu ngoại lai và điền dữ liệu khuyết

Chất lượng dữ liệu là điều kiện tiên quyết đầu tiên và quan trọng nhất để trực quan hóa và tạo ra các mô hình dự báo hiệu quả. Các bước tiền xử lý giúp giảm nhiễu có trong dữ liệu, từ đó tăng tốc độ xử lý và khả năng tổng quát hóa cho các thuật toán. Bộ dữ liệu sẽ được tiến hành tiền xử lý dữ liệu với phương pháp Box Whisker để loại bỏ dữ liệu ngoại lai.

**Bảng 2.** Thống kê theo phương pháp Box-Whisker cho bộ dữ liệu thô.

Chất ô nhiễm	Min	Phân vị 25%-Q1	Trung vị	Trung bình	Phân vị 75%-Q3	Max	IQR (Q3-Q1)	Q1-1,5* IQR	Q3+1,5*IQR
CO	0,1	270,7	567,4	725,9	1.004,4	7.261,7	733,7	0,1	2.104
NO <sub>2</sub>	0,1	9,3	17,2	21,3	28,6	139,2	19,3	0,1	57,5
O <sub>3</sub>	0	31,6	47,5	53,5	68,7	320	37,1	0	124,3
SO <sub>2</sub>	0,1	1,7	7,4	17,7	32,7	194	31,0	0,1	75,1
PM <sub>2,5</sub>	1,1	7,1	10,7	12,9	13,9	324	6,8	1,1	29,1
PM <sub>10</sub>	2	12,7	18,8	22,2	27,7	348,9	15	2	50,2

Từ kết quả thống kê ở Bảng 2 cho thấy số lượng các điểm được cho là giá trị ngoại lai là không nhiều. Khi lọc các dữ liệu cho thông số O<sub>3</sub>, phát hiện 844 dữ liệu (chiếm khoảng 3,2% tổng bộ dữ liệu) có giá trị nồng độ lớn hơn khoảng Q3+1,5×IQR tương ứng là 124,3 μg/Nm<sup>3</sup>. Tuy nhiên, đa số các dữ liệu này đều rơi vào thời điểm buổi trưa khi nhiệt độ và bức xạ mặt trời tăng cao khiến cho xảy ra việc hình thành O<sub>3</sub>. Điều này củng cố cho việc điểm dữ liệu ghi nhận được nồng độ ô nhiễm cao hơn so với đa số bộ dữ liệu bởi ô nhiễm môi trường nào đó mà không phải do lỗi đo đạc hoặc tăng cao vào một số thời điểm nhất định trong ngày phụ thuộc theo điều kiện thời tiết và hoạt động tại khu vực. Ngoài ra, bộ dữ liệu thu thập được cho các thông số ô nhiễm đạt tỉ lệ cao trên 99% nên việc loại bỏ những dữ liệu ngoại lai này sẽ làm mất đi tính khách quan và thực tế của trạm QTTĐ. Do đó, bộ dữ liệu sẽ chỉ được bổ sung những dữ liệu còn thiếu.

### 3.3. Đánh giá kết quả huấn luyện mô hình dự báo chất lượng không khí

#### 3.3.1. Tính toán và đánh giá dữ liệu cho mô hình dự báo.

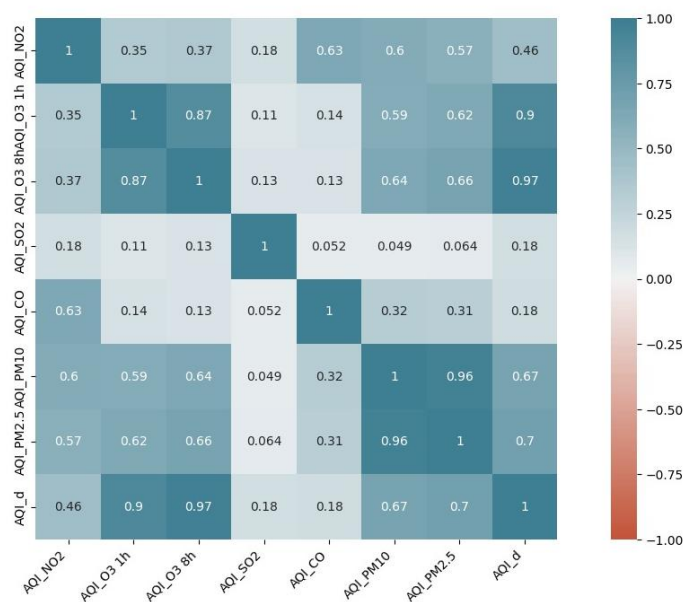
##### a) Tính toán chỉ số AQI

Theo Hình 5, chỉ số AQI có mức độ tương quan cao nhất lần lượt với giá trị O<sub>3</sub> trong 8 giờ và O<sub>3</sub> trong 1 giờ, tương ứng với mức 0,97 và 0,9. Điều này cũng phù hợp với thực tế giá trị O<sub>3</sub> 8 giờ và O<sub>3</sub> 1 giờ có số thời điểm tăng cao và vượt ngưỡng cho phép so với các thông số còn lại. Việc tính toán mối tương quan cũng chỉ ra rằng CO và SO<sub>2</sub> có tác động ít nhất đối với chỉ số AQI. Ngoài ra, có thể thấy tất cả các giá trị của các chất gây ô nhiễm trong tập dữ liệu đều có mối tương quan dương với chỉ số AQI. Điều này cho thấy rằng khi nồng độ các chất ô nhiễm tăng lên, giá trị AQI cũng tăng theo, phản ánh chất lượng không khí kém hơn. Nhận thức này nhấn mạnh tầm quan trọng của việc xem xét các yếu tố này trong việc phân tích và dự đoán sự thay đổi chất lượng không khí trong khu vực nghiên cứu. Chúng ta nên chọn những yếu tố quan trọng có mối tương quan đáng kể với AQI.

##### b) Đánh giá diễn biến chất lượng không khí theo năm

Các kết quả phân tích, đánh giá diễn biến chất lượng không khí tại trạm Ngã tư Giếng nước cho thời gian nghiên cứu theo từng năm như sau: Giá trị AQI ngày trong năm 2020 dao động từ 18-177, trong đó có 277 ngày chỉ số AQI nằm trong khoảng 0-50 (chất lượng không khí Tốt) chiếm 80,1 % số ngày trong năm, 32 ngày chỉ số AQI nằm trong khoảng 51-100 (chất lượng không khí Trung bình) chiếm 9,2 % và 37 ngày chỉ số AQI nằm trong khoảng 101-200 (chất lượng không khí Kém) chiếm 3,56 %; Giá trị AQI ngày trong năm 2021 dao động trong khoảng từ 14-143, trong đó, có 306 ngày chỉ số AQI nằm trong khoảng 0-50 chiếm 84,1 %, 45 ngày chỉ số AQI nằm trong khoảng 51-100 chiếm 12,4 % và 13 ngày chỉ số AQI nằm trong khoảng 101-200 chiếm 3,6 %. Giá trị AQI ngày cao nhất trong tháng 1 và thấp vào các tháng từ tháng 6 đến tháng 11 do giãn cách xã hội; Giá trị AQI ngày trong năm 2022 dao động trong khoảng từ 17-196, trong đó có 268 ngày chỉ số AQI nằm trong khoảng 0-50 chiếm 73,6 %, 45 ngày chỉ số AQI nằm trong khoảng 51-100 chiếm 12,4 % và 51 ngày chỉ số AQI nằm trong khoảng 101-200 chiếm 14,0 %. Nhìn chung, chất lượng không khí tại khu vực trạm QTTĐ Ngã tư Giếng nước tương đối tốt với phân bậc chất lượng không khí

đều nằm trong nhóm “Tốt” và “Trung bình”. Tuy nhiên, sau khoảng thời gian dịch vào năm 2021, xu hướng chất lượng không khí có thể chuyển biến theo xu hướng suy giảm về chất lượng do các hoạt động đã trở lại bình thường và trạm QTTĐ mang đặc tính của khu vực giao thông đô thị.



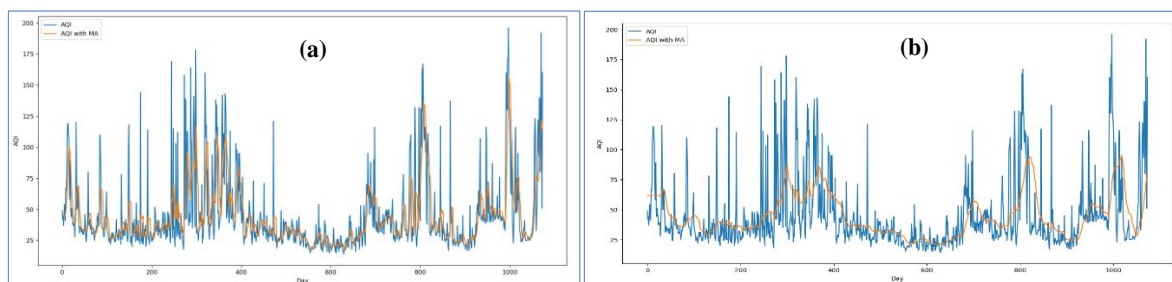
Hình 5. Tương quan giữa chỉ số AQI ngày và các chỉ số AQI thành phần.

c) Đánh giá diễn biến chất lượng không khí theo tháng

Giá trị AQI ngày trong thời gian khảo sát có xu hướng cao hơn vào thời điểm đầu và cuối năm (từ tháng 10 đến tháng 4 năm sau), thấp hơn vào giữa năm (tháng 5 đến tháng 9). Trong đó, tháng 7 là thời điểm chỉ số AQI thấp nhất và tháng 12 là thời điểm chỉ số AQI diễn biến cao nhất. Nguyên nhân là vào mùa hè, bức xạ mặt trời cao khiến nhiệt độ bề mặt tăng mạnh và làm nóng không khí gần bề mặt, điều này dẫn đến sự đối lưu gia tăng, khí quyển không ổn định, có lợi cho sự khuếch tán và lắng đọng các chất ô nhiễm không khí [17]. Ngoài ra, thời điểm này thường cũng sẽ có gió mạnh hơn có thể giúp phân tán các chất ô nhiễm này.

3.3.2. Huấn luyện mô hình dự báo mạng LSTM-MA

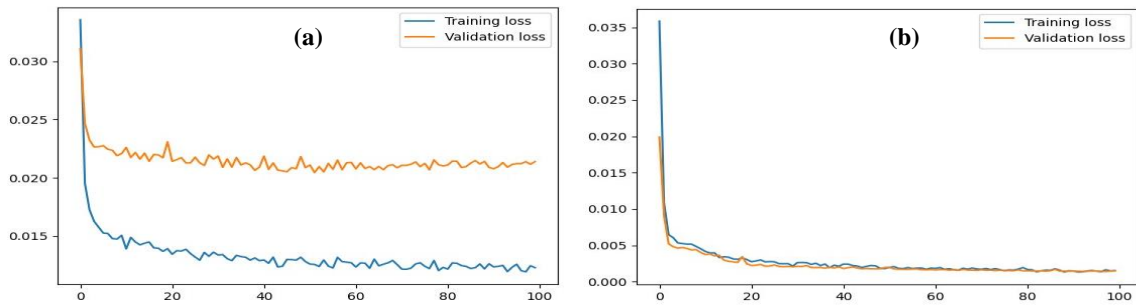
Bộ lọc trung bình động MA được sử dụng làm mịn dữ liệu (Hình 6). Đầu ra thu được từ xử lý MA được sử dụng là đầu vào của mô hình LSTM. Để xác định cấu trúc mạng của mô hình LSTM-MA. Nghiên cứu đã thực hiện thí nghiệm độ trễ thời gian r và tỷ lệ học tối ưu. Thiết lập tham số luyện mạng ban đầu cho mô hình gồm số nơ-ron ẩn là 100, số vòng lặp cực đại (epoch) được điều chỉnh ở mức 100 với tỷ lệ học ban đầu 0,001. Trong quá trình huấn luyện, qua mỗi epoch độ chính xác của mô hình sẽ tăng dần, tương ứng với sai số giảm dần. Hình 7 miêu tả sự thay đổi của độ mất mát qua các epochs trong quá trình huấn luyện mô hình. Đối với mô hình LSTM, hiện tượng underfitting đã xảy ra khi độ mất mát từ quá trình kiểm định có khoảng trống rõ rệt với quá trình huấn luyện. Điều này mang ý nghĩa mô hình



Hình 6. Kết quả chạy bộ lọc MA: (a) N = 7, (b) N = 28.



không thể nắm bắt được các giá trị phức tạp có trong dữ liệu như đã phân tích ở trên và cần thiết loại nhiễu khỏi bộ dữ liệu.



**Hình 7.** Độ mất mát từ quá trình huấn luyện cho mô hình: (a) LSTM, (b) LSTM-MA.

Kết quả thí nghiệm độ trễ thời gian  $r$ : Đầu tiên, thí nghiệm kiểm tra ảnh hưởng của các độ trễ thời gian khác nhau. Thông qua so sánh chỉ số RMSE, MAE và MAPE để đánh giá hiệu suất dự đoán của mô hình lai LSTM-MA và được thể hiện trong Bảng 3.

**Bảng 3.** Ảnh hưởng của độ trễ thời gian trên bộ dữ liệu huấn luyện.

Độ trễ $r$	Bộ lọc MA với $N = 7$			Bộ lọc MA với $N = 28$		
	RMSE	MAE	MAPE (%)	RMSE	MAE	MAPE (%)
4	6,33	3,86	7,97	3,95	2,60	4,37
6	6,25	3,88	6,97	5,06	3,42	4,44
8	6,71	4,14	7,99	4,60	3,16	5,06
10	6,13	4,05	8,09	5,21	3,58	4,91
12	6,01	3,78	7,11	4,49	3,16	4,57
14	6,58	4,21	8,79	4,76	3,49	5,13

Kết quả thí nghiệm cho thấy giá trị  $N$  của bộ lọc MA có tác động đáng kể đến khả năng hoạt động của mô hình LSTM. Khi lọc nhiễu dữ liệu không khí trong thời gian ngắn hạn, giá trị RMSE khi thay đổi độ trễ  $r$  dao động từ 6,01-6,71, giá trị MAE dao động từ 3,86-4,21, MAPE dao động từ 6,97-8,39. Với bộ dữ liệu không khí trong thời gian dài hạn, giá trị RMSE giảm xấp xỉ 50% và dao động từ 3,19-4,05, MAE giảm và dao động từ 2,24-2,90, MAPE cũng giảm tương ứng và dao động từ 3,42-4,04. Tại thời điểm  $r = 12$ , các chỉ số đánh giá mô hình RMSE, MAE và MAPE có xu hướng ổn định đạt giá trị tối ưu. Do đó, chọn  $r = 12$  từ bộ dữ liệu lọc MA trong dài hạn làm thông số tối ưu để tiến hành tiếp thí nghiệm khảo sát tỉ lệ học. Thí nghiệm cũng chỉ ra rằng độ trễ thời gian trong quá khứ của mẫu dữ liệu có tác động đáng kể đến khả năng nắm bắt thông tin về diễn biến của dữ liệu theo thời gian trong quá khứ, đặc biệt là dữ liệu có tính chu kỳ.

Kết quả thí nghiệm tỉ lệ học: Tỉ lệ học là một trong số những tham số quan trọng nhất của mô hình. Độ lớn của tỉ lệ học sẽ ảnh hưởng trực tiếp tới tốc độ mô hình thay đổi các trọng số để phù hợp với các thuật toán. Tốc độ học lớn có thể giúp mạng nơ-ron được huấn luyện nhanh hơn gấp 10 lần [42] nhưng cũng có thể làm giảm độ chính xác. Khi tỉ lệ học tăng từ 0,001 đến 0,007, các chỉ số đánh giá RMSE, MAE và MAPE có xu hướng giảm dần và đạt giá trị tối ưu tại 0,007 với RMSE đạt 3,05, MAE đạt 2,17 và MAPE đạt 3,19%. Khi tỉ lệ học tăng dần, các thông số này tăng dần và đạt giá trị cao nhất tại 0,009 cho thấy độ chính xác khi huấn luyện mô hình đã giảm đáng kể. Do đó, chọn tỉ lệ học tại giá trị 0,007 làm tham số tối ưu cho mô hình.

### 3.4. Dự báo chất lượng không khí cho tỉnh Bà Rịa - Vũng Tàu sử dụng mô hình tối ưu

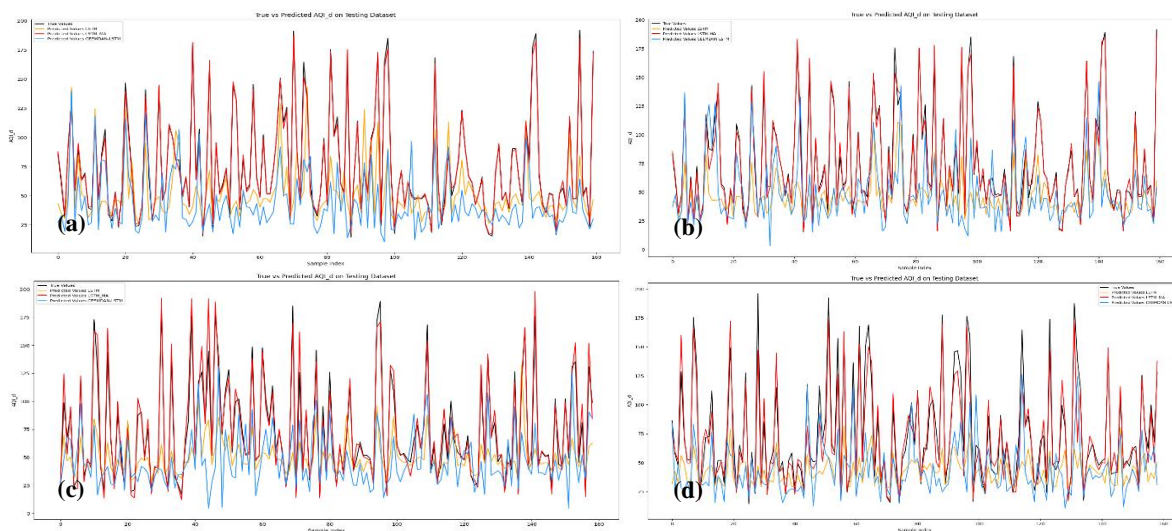
Từ các khảo sát mô hình tối ưu đã thực hiện ở trên, nghiên cứu tiến hành đánh giá khả năng dự báo của mô hình lai LSTM-MA và được tổng hợp ở Bảng 4. Kết quả dự báo cho thời điểm 1 ngày ở tương lai cho thấy kết quả dự báo đạt độ chính xác cao nhất, với các chỉ

số RMSE, MAE và MAPE trên dữ liệu kiểm tra lần lượt là 3,05; 2,17 và 3,19%. Khi tăng thời gian dự báo lên tương ứng 2 và 4 ngày trong tương lai, hiệu suất dự báo lần lượt giảm đi tương ứng xấp xỉ 2 lần và 3 lần, tuy nhiên, giá trị của các chỉ số đánh giá là chấp nhận được khi RMSE đạt 6,71 và 9,36, MAPE lần lượt đạt 6,81% và 8,77%. Khi đánh giá khả năng dự báo cho 1 và 2 tuần tiếp theo, mô hình LSTM-MA vẫn đạt độ chính xác trong khả năng dự báo khi MAPE ở mức 17,10% và 24,38%, MAE ghi nhận được mặc dù có tăng nhưng đều ở mức chấp nhận khi tăng lần lượt lên 10,60 và 15,74. Kết quả cho thấy được mô hình lai LSTM-MA đã nắm bắt tốt biến động từ quá khứ của chỉ số chất lượng không khí để có thể dự báo trong tương lai.

**Bảng 4.** Hiệu suất dự báo của mô hình lai LSTM-MA trên tập dữ liệu kiểm tra.

Thời gian dự báo	RMSE	MAE	MAPE (%)
T+1	3,05	2,17	3,19
T+2	6,71	4,66	6,81
T+4	9,36	6,44	8,77
T+7	14,62	10,60	17,10
T+14	22,79	15,74	24,38

Để có so sánh một cách trực quan giữa mô hình lai LSTM-MA và mô hình LSTM, các kết quả dự báo của hai mô hình sẽ được biểu diễn tại Hình 9. Khả năng dự báo của mô hình lai LSTM-MA bỏ xa LSTM khi chúng dễ dàng nắm bắt được các thời điểm mà chỉ số chất lượng không khí biến động cao và thể hiện rõ nhất ở Hình 9a. Điều này là phù hợp như kết quả đã chỉ ra khi mô hình LSTM không thể đạt được hiệu suất tốt ngay từ trong quá trình huấn luyện. Từ Hình 9b-d, mô phỏng từ mô hình LSTM-MA vẫn có khả năng nắm bắt được các giá trị cực trị. Đối với mô phỏng dự báo tương ứng 14 ngày trong tương lai, mô hình LSTM-MA vẫn có thể biểu diễn tốt xu hướng diễn biến chỉ số chất lượng không khí, tuy nhiên lại không thể hiện được khi các giá trị có xu hướng tăng và dữ liệu quá khứ không đủ mô phỏng được diễn biến trong thời gian dài hơn. Kết quả này khá tương đồng với kết quả nghiên cứu [1] khi muốn mô hình đạt kết quả dự báo trong dài hạn thì cần số lượng độ trễ thời gian dài hơn.



**Hình 8.** Mô phỏng kết quả dự báo chất lượng không khí (a–d) trên tập dữ liệu kiểm tra: (a) Dự báo 1 ngày, (b) 2 ngày, (c) Dự báo 4 ngày, (d) Dự báo 7 ngày tiếp theo.

Ngoài ra, trong nghiên cứu này đồng thời thử nghiệm thuật toán phân rã trạng thái thực nghiệm CEEMDAN như một phương pháp xử lý dữ liệu đầu vào. Thuật toán CEEMDAN có thể phân tách hoàn toàn dữ liệu gốc, có tính biến động mạnh, thành một số thành phần chức năng chế độ nội tại (IMFs) với các đặc tính tần số khác nhau, do đó làm giảm tính biến động

của dữ liệu và cải thiện độ chính xác của dự đoán. Mô hình CEEMDAN-LSTM cho kết quả dự báo trong thời gian 1 ngày tiếp theo với RMSE đạt 16,0 và MAE đạt 9,85, cải thiện kết quả rất tốt so với mô hình đơn LSTM. Kể cả trong dự báo dài hạn là 14 ngày tiếp theo, CEEMDAN-LSTM cho kết quả khá tương đồng với kết quả nhận được từ LSTM-MA với RMSE đạt 23,14 và MAE đạt 16,17. Điều này cho thấy tiềm năng của việc ứng dụng thuật toán CEEMDAN trong dự báo dài hạn cho các nghiên cứu sau này. Nhìn chung, thứ tự độ tin cậy và chính xác của các mô hình dự báo trong nghiên cứu được sắp xếp như sau: LSTM-MA > CEEMDAN-LSTM > LSTM.

**Bảng 5.** Tương quan hiệu suất giữa các mô hình về dự báo chỉ số AQI.

Nghiên cứu	Mô hình	Thời gian dự báo	RMSE	MAE
Trong nghiên cứu này	LSTM	1 ngày tiếp theo	24,24	13,97
		14 ngày tiếp theo	27,17	19,06
	LSTM-MA	1 ngày tiếp theo	3,05	2,17
		14 ngày tiếp theo	22,79	15,74
Yan và cs [17]	LSTM	1h tiếp theo	23,7	–
		6h tiếp theo	49,2	–
	CNN-LSTM	1h tiếp theo	22,9	–
		6h tiếp theo	47,1	–
Duan và cs [20]	LSTM	Không đề cập	12,3–48,0	9,1 – 32,9
	CEEMDAN-LSTM	Không đề cập	6,6–24,8	4,6 – 17,9

Bảng 5 trình bày hiệu suất giữa mô hình LSTM-MA trong nghiên cứu này và một số nghiên cứu khác, mặc dù so sánh này không thực sự là hợp lý bởi chất lượng và tính chất dữ liệu của các nghiên cứu là khác nhau. Tuy nhiên, nó cung cấp thêm một bức tranh về tiềm năng ứng dụng AI nói chung và các mạng nơ-ron học sâu trong dự báo chất lượng không khí.

#### 4. Kết luận

Ứng dụng trí thông minh nhân tạo trong dự báo chất lượng không khí là xu hướng mới trong thời gian gần đây. Nghiên cứu đã thực hiện và đạt được một số kết quả sau: (i) Đã đánh giá được hiện trạng chất lượng không khí tại trạm QTTĐ Ngã tư Giếng nước, thành phố Vũng Tàu, tỉnh Bà Rịa - Vũng Tàu giai đoạn năm 2020-2022. Bộ dữ liệu thu thập được đạt mức độ đầy đủ của các thông số trên 99%. Chất lượng không khí tại khu vực nghiên cứu là tương đối tốt khi nồng độ các thông số CO, NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, PM<sub>10</sub> và PM<sub>2.5</sub> đều dưới ngưỡng cho phép. Ozon là thông số có số lần vượt ngưỡng cho phép cao nhất và cũng là thông số có tác động chính đến chỉ số AQI. Chất lượng không khí tại khu vực này chủ yếu bị tác động bởi chất ô nhiễm Ozon trung bình 1 giờ và 8 giờ; (ii) Mô hình lai LSTM-MA đã được xây dựng thành công với khả năng dự báo có độ chính xác cao nhất cho thời gian 1 ngày tiếp theo với RMSE là 3,05; MAE là 2,17 và MAPE là 3,19%. Khi dự báo trong thời gian dài hơn tương ứng 2 tuần trong tương lai, mô hình cho kết quả khả quan khi các chỉ số đánh giá RMSE, MAE và MAPE lần lượt đạt 22,79; 15,74 và 24,38%. Các kết quả nghiên cứu có thể áp dụng cho bộ số liệu từ các trạm QTTĐ khác nhằm đánh giá tổng quát hơn khả năng ứng dụng của mô hình. Bên cạnh đó, cần có những nghiên cứu sử dụng dữ liệu phụ trợ như dữ liệu khí tượng và dữ liệu không gian để có thể cải thiện đáng kể hiệu suất dự đoán; Áp dụng những phương pháp xử lý dữ liệu khác như CEEMDAN hoặc lai hợp với các mô hình khác như CNN-LSTM để cải thiện khả năng dự báo

**Đóng góp của tác giả:** Xây dựng ý tưởng nghiên cứu: H.M.D.; Xử lý số liệu, chạy mô hình: K.D.A.K., H.M.D.; Viết bản thảo bài báo: H.M.D., K.D.A.K.

**Lời cảm ơn:** Nghiên cứu được tài trợ bởi Đại học Quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh (ĐHQG-HCM) trong khuôn khổ Đề tài mã số C2023-24-02.

**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. Li, X.; et al. Long short-term memory neural network for air pollutant concentration predictions: Method development and evaluation. *Environ. Pollut.* **2017**, *231*, 997–1004.
2. Phùng, N.K. Nghiên cứu tính toán và dự báo PM<sub>2.5</sub> cho khu vực Thành phố Hồ Chí Minh. *Tạp chí khí tượng thủy văn* **2018**, *659*, 1–7.
3. Buonocore, J.J.; et al. Using the Community Multiscale Air Quality (CMAQ) model to estimate public health impacts of PM<sub>2.5</sub> from individual power plants. *Environ. Int.* **2014**, *68*, 200–208.
4. Wang, L.; et al. Source apportionment of PM<sub>2.5</sub> in top polluted cities in Hebei, China using the CMAQ model. *Environ. Int.* **2015**, *122*, 723–736.
5. Quy, L.V.; và cs. Ứng dụng công cụ kết nối song song mô hình WRF–CMAQ đánh giá nồng độ một số chất ô nhiễm không khí cho Việt Nam. *Tạp chí môi trường* **2018**.
6. Saide, P. E. et al. Forecasting urban PM<sub>10</sub> and PM<sub>2.5</sub> pollution episodes in very stable nocturnal conditions and complex terrain using WRF–Chem CO tracer model. *Environ. Int.* **2011**, *45*, 2769–2780.
7. Hùng, Đ.V.; và cs. Ứng dụng mô hình AERMOD mô phỏng sự lan truyền các chất ô nhiễm không khí từ khu công nghiệp Phú Tài tỉnh Bình Định. *Tạp chí khí tượng thủy văn* **2024**, *758*, 72–86.
8. Khuê, V.H.N.; và cs. Tính toán phát thải khí thải và ứng dụng hệ mô hình TAPM–AERMOD mô phỏng ô nhiễm không khí từ hệ thống bến cảng tại Thành phố Hồ Chí Minh. *Chuyên san Khoa học trái đất và môi trường* **2018**, *2*, 97–106.
9. Long, B.T.; và cs. Mô hình hóa ô nhiễm không khí trong điều kiện địa hình phức tạp – Trường hợp nguồn thải diêm. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* **2019**, *4*, 34–45.
10. Pandey, G. et al. Evaluating AERMOD with measurements from a major U.S. airport located on a shoreline. *Atmos. Environ.* **2023**, *294*, 119506.
11. Bang, H.Q.; et al. Air pollution emission inventory and air quality modeling for Can Tho City, Mekong Delta, Vietnam. *Air Qual. Atmos. Hlth.* **2017**, *11*, 35–47.
12. Dung, H.M.; et al. Study on load-carrying capacity zoning in atmospheric environment in developing countries – a case study of Can Tho City, Vietnam. *Int. J. Environ. Sci. Dev.* **2021**, *12*(7), 193–203.
13. Liao, Q.; et al. Deep learning for air quality forecasts: A review. *Curr. Pollut. Rep.* **2020**, *60*, 399–409.
14. Kumar, U.; et al. ARIMA forecasting of ambient air pollutants (O<sub>3</sub>, NO, NO<sub>2</sub> and CO). *Stoch Env. Res. Risk A.* **2010**, *24*, 751–760.
15. Vlachogianni, A.; et al. Evaluation of a multiple regression model for the forecasting of the concentrations of NO<sub>x</sub> and PM<sub>10</sub> in Athens and Helsinki. *Sci. Total Environ.* **2011**, *409*, 1559–1571.
16. Seng, D.; et al. Spatiotemporal prediction of air quality based on LSTM neural network. *Alex. Eng. J.* **2021**, *60*, 2021–2032.
17. Yan, R.; et al. Multi-hour and multi-site air quality index forecasting in Beijing using CNN, LSTM, CNN–LSTM, and spatiotemporal clustering. *Expert Syst. Appl.* **2021**, *169*, 114513.
18. Jiao, Y.; et al. Prediction of air quality index based on LSTM. Proceeding of the IEEE 8<sup>th</sup> Joint International Information Technology and Artificial Intelligence Conference **2019**.

19. Belavadi, S.V. Air quality forecasting using LSTM RNN and wireless sensor networks. Proceeding of the 11<sup>th</sup> International Conference on Ambient Systems. Poland, Elsevier B.V. 2020.
20. Duan, J.; et al. Air-quality prediction based on the ARIMA–CNN–LSTM combination model optimized by Dung Beetle Optimizer. *Sci. Rep.* **2023**, *13*, 12127.
21. Yammahi, A.A.; et al. Forecasting the concentration of NO<sub>2</sub> using statistical and machine learning methods: A case study in the UAE. *Heliyon* **2023**, *9*, 12584.
22. Navares, R.; et al. Predicting air quality with deep learning LSTM: Towards comprehensive models. *Ecol. Inform.* **2019**, *55*, 101019.
23. Chang, Y.S.; et al. An LSTM–based aggregated model for air pollution forecasting. *Atmos. Pollut. Res.* **2020**, *11*, 1451–1463.
24. Wen, C.; et al. A novel spatiotemporal convolutional long short–term neural network for air pollution prediction. *Sci. Total Environ.* **2019**, *654*, 1091–1099.
25. Jung, Y.; et al. Concentration separation prediction model to enhance prediction accuracy of particulate matter. *J. Inf. Commun. Technol.* **2023**, *22(1)*, 77–96.
26. Rakholia, R.; et al. AI–based air quality PM<sub>2.5</sub> forecasting models for developing countries: A case study of Ho Chi Minh City, Vietnam. *Urban Clim.* **2022**, *46*, 1–13.
27. Hung, M.D. Nghiên cứu ứng dụng trí tuệ nhân tạo trong dự báo chất lượng không khí. Luận án tiến sĩ, Đại học Bách khoa Hà Nội, 2020.
28. Hà, D.T.; và cs. Ứng dụng mô hình đa biến bộ nhớ dài hạn - ngắn hạn trong dự báo nhiệt độ và lượng mưa, *Tap chí Khoa học Trường ĐH Cần Thơ* **2022**, *58*, 8–16.
29. Thành, N.C.; Giang, N.T. Xây dựng mô hình máy học LSTM (Long Short-Term Memory) phục vụ công tác dự báo mặn tại trạm đo mặn Đại Ngãi. *Tap chí Khí tượng Thủy văn* **2022**, *740(1)*, 98–104.
30. Nhung, C.T.H.; và cs. Xác định luật phân bố xác suất của dữ liệu chất lượng không khí được quan trắc tại Hà Nội. *Tap chí Khoa học và Công nghệ Việt Nam* **2012**, *50*, 83–89.
31. Gulia, S.; et al. Extreme events of reactive ambient air pollutants and their distribution pattern at urban hotspots. *Aerosol Air Qual. Res.* **2017**, *17*, 394–405.
32. Sharma, S.; et al. Hybrid modelling approach for effective simulation of reactive pollutants like Ozone. *Atmos. Environ.* **2013**, *80*, 408–414.
33. Babu, N.; et al. A moving-average-filter-based hybrid ARIMA-ANN model for forecasting time series data. *Appl. Soft Comput.* **2014**, *23*, 27–38.
34. Qing, P.; et al. Single-well yield prediction based on LSTM and MA Combination model. *Smart Innovation Syst. Technol.* **2021**, *218*, 143–152.
35. Babu, C.N.; et al. A moving-average-filter-based hybrid ARIMA-ANN model for forecasting time series data. *Appl. Soft Comput.* **2014**, *3*, 27–38.
36. Johnston, F.R.; et al. Some properties of a simple moving average when applied to forecasting a time series. *J. Oper. Res. Soc.* **1999**, *50*, 1267–1271.
37. Tổng Cục Môi Trường. Hướng dẫn kỹ thuật tính toán và công bố chỉ số chất lượng không khí Việt Nam (VN\_AQI), **2019**.
38. Hochreiter, S.; Schmidhuber, J. Long short-term memory. *Neural Comput.* **1997**, *9(8)*, 1735–1780. <https://doi.org/10.1162/neco.1997.9.8.1735>.
39. Mikolov, T.; et al. Learning longer memory in recurrent neural networks. *ArXiv* **2015**, 1–9.
40. Shah, J.; et al. Analytical equations based prediction approach for PM<sub>2.5</sub> using artificial neural network. *Appl. Sci.* **2020**, *2*, 1516.
41. Kumar, K.; et al. Air pollution prediction with machine learning: A case study of Indian cities. *Int. J. Environ. Sci. Technol.* **2022**, *20*, 5333–5348.
42. Yan, J.; et al. Water quality prediction in the Luan River based on 1–DRCNN and BiGRU hybrid neural network model. *Water* **2021**, *13*, 1273.



## **Forecasting air quality by the LSTM-MA model, using data at the Gieng Nuoc intersection automatic monitoring station, Ba Ria - Vung Tau province**

**Ho Minh Dung<sup>1\*</sup>, Khong Doan An Khang<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Institute for Environment and Resources, VNU-HCMC; H\_minhdung@yahoo.com; ankhang28040506@gmail.com

**Abstract:** Air pollution is one of the causes that increases the risk of respiratory and cardiovascular diseases. Forecasting air quality developments helps warn the community about pollution levels. This study applies artificial intelligence to forecast air quality at the Gieng Nuoc intersection automatic monitoring station area, Ba Ria - Vung Tau province. The Long Short Memory Model (LSTM) was selected for the study and to optimize the prediction ability, a Moving Average (MA) filter was used. Research results show that the air quality in the study area is relatively good when the concentrations of CO, NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, PM<sub>10</sub> and PM<sub>2.5</sub> are all below the allowed threshold. Ozone is the parameter with the highest number of times exceeding the allowable and is also the parameter that has the main impact on the air quality index; The LSTM-MA model has been successfully built with the highest forecast accuracy for the next 1 day with a root mean square error (RMSE) value of 3.05; the mean absolute error (MAE) was 2.17 and the mean absolute percentage error (MAPE) was 3.19%. When forecasting for a longer period of the next 2 weeks, the model shows positive results with the RMSE, MAE and MAPE are 22.79; 15.74 and 24.38% respectively.

**Keywords:** LSTM-MA; Ba Ria - Vung Tau; Forecast; Air quality.

Bài báo khoa học

## Nghiên cứu phân vùng phát triển chè hữu cơ tại tỉnh Phú Thọ

Nguyễn Thị Liễu<sup>1\*</sup>, Đào Ngọc Hùng<sup>2</sup>, Hà Thị Phương Mai<sup>2</sup>, Trần Thị Tâm<sup>1</sup>, Tạ Thị Ngọc Hà<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Viện Khoa học Khí tượng Thủy văn và Biến đổi khí hậu; lieuminh2011@gmail.com; trantam1810@gmail.com

<sup>2</sup> Khoa Địa lí, trường Đại học Sư phạm Hà Nội; daongochung69@gmail.com; phuongmai04101998@gmail.com

<sup>3</sup> Trường Cán bộ Quản lý Nông nghiệp và Phát triển nông thôn; tangocha179@gmail.com

\*Tác giả liên hệ: lieuminh2011@gmail.com; Tel: +84-989316846

Ban Biên tập nhận bài: 20/3/2024; Ngày phản biện xong: 10/5/2024; Ngày đăng bài: 25/10/2024

**Tóm tắt:** Phát triển nông nghiệp hữu cơ trên địa bàn tỉnh Phú Thọ góp phần cung cấp nhu cầu lương thực, thực phẩm và đảm bảo an ninh lương thực của người dân. Trong thời qua, tỉnh Phú Thọ đã triển khai việc trồng chè hữu cơ đến nhiều huyện, xã. Việc đẩy mạnh mở rộng sản xuất chè theo hướng hữu cơ có giá trị về mặt kinh tế, góp phần xây dựng nông thôn mới, nâng cao thu nhập cho người dân và hướng tới một nền nông nghiệp sạch, bền vững. Bằng phương pháp phân vùng khí hậu nông nghiệp dựa trên công cụ LUSSET, nghiên cứu đánh giá mức độ phù hợp về điều kiện khí hậu và cảnh báo vùng ô nhiễm không khí đối với cây chè hữu cơ. Kết quả nghiên cứu là cơ sở cho việc quy hoạch phát triển trồng chè hữu cơ trên địa bàn tỉnh Phú Thọ, mang lại hiệu quả cao về kinh tế và bảo vệ môi trường. Nghiên cứu cho thấy: Vùng rất thích nghi và thích nghi cho cây chè hữu cơ tập trung nhiều nhất ở các huyện Thanh Ba, Hạ Hòa, Cẩm Khê, Yên Lập, Thanh Sơn, Tam Nông, Phù Ninh; Vùng ít thích nghi phân bố rải rác ở các huyện Yên Lập và Thanh Sơn. Một số huyện còn lại như Tân Sơn, TP Việt Trì, TX Phú Thọ, Lâm Thao, Đoan Hùng hầu hết đều nằm trong vùng không thích nghi đối với phát triển chè hữu cơ.

**Từ khóa:** Chè hữu cơ; Khí tượng Nông nghiệp; Phú Thọ.

### 1. Mở đầu

Ngày 29/8/2018, Chính phủ đã ban hành Nghị định số 109/2018/NĐ-CP về nông nghiệp hữu cơ. Nghị định này có hiệu lực thi hành từ ngày 15/10/2018 [1], bao gồm 7 chương 20 điều. Nghị định 109/2018/NĐ-CP quy định về sản xuất, chứng nhận, ghi nhãn, logo, truy xuất nguồn gốc, kinh doanh, kiểm tra nhà nước sản phẩm nông nghiệp hữu cơ trong các lĩnh vực trồng trọt, chăn nuôi, lâm nghiệp và nuôi trồng thủy sản và chính sách khuyến khích phát triển sản xuất nông nghiệp hữu cơ. Sản xuất, kinh doanh sản phẩm nông nghiệp hữu cơ được khuyến khích áp dụng. Đối tượng áp dụng Nghị định 109/2018/NĐ-CP là doanh nghiệp, hợp tác xã, tổ hợp tác, trang trại, hộ gia đình hoặc nhóm hộ sản xuất, kinh doanh sản phẩm nông nghiệp hữu cơ; tổ chức, cá nhân có hoạt động liên quan đến sản xuất, kinh doanh sản phẩm nông nghiệp hữu cơ trên lãnh thổ Việt Nam. Theo Nghị định này, nguyên tắc sản xuất nông nghiệp hữu cơ được quy định như sau: Quản lý các tài nguyên (đất, nước, không khí) theo nguyên tắc hệ thống và sinh thái trong tầm nhìn dài hạn. Không dùng các vật tư là chất hóa học tổng hợp trong tất cả các giai đoạn của chuỗi sản xuất, tránh trường hợp con người và môi trường tiếp xúc với các hóa chất độc hại, giảm thiểu ô nhiễm ở nơi sản xuất và môi trường xung quanh. Không sử dụng công nghệ biến đổi gen, phóng xạ và công nghệ khác có

*Tạp chí Khí tượng Thủy văn* **2024**, 765, 90-100; doi:10.36335/VNJHM.2024(765).90-100 <http://tapchikttv.vn/>

hại cho sản xuất hữu cơ. Đối xử với động vật, thực vật một cách có trách nhiệm và nâng cao sức khỏe tự nhiên của chúng. Sản phẩm hữu cơ phải được bên thứ ba chứng nhận theo tiêu chuẩn quốc gia về nông nghiệp hữu cơ hoặc tiêu chuẩn khu vực, tiêu chuẩn quốc tế được áp dụng trong sản xuất sản phẩm hữu cơ.

Nông nghiệp nói chung có mối quan hệ chặt chẽ đối với các điều kiện tự nhiên, trong đó khí hậu là yếu tố có tác động mạnh mẽ nhất đến sản xuất nông nghiệp. Yếu tố khí hậu chính được xác định cho hoạt động trồng trọt là: ánh sáng, nhiệt độ, độ ẩm [1–9]. Đây là những yếu tố không thể thiếu và không thay thế cho nhau được đối với sự sống nói chung, sự sinh trưởng, phát triển và hình thành năng suất, cây trồng nói riêng.

Điều kiện khí hậu nông nghiệp ở mỗi nơi là khác nhau và căn cứ vào sự khác nhau đó để phân chia thành các đơn vị khí hậu nông nghiệp được gọi là phân vùng khí hậu nông nghiệp. Nhiệm vụ của phân vùng khí hậu nông nghiệp là thực hiện phân chia các đơn vị khí hậu nông nghiệp thành vùng, tiểu vùng, ... khác nhau bởi các chỉ tiêu khí hậu nông nghiệp và các điều kiện sản xuất nông nghiệp. Trong quá trình phân vùng có thể phát hiện ra được các vùng tuy rất xa nhau nhưng tương đồng về tài nguyên khí hậu nông nghiệp, rất bổ ích để di thực hoặc nhập nội giống cây trồng thích hợp [2, 4, 5]. Kết quả nghiên cứu [5] chỉ ra rằng các bản đồ phân vùng được xem là một trong những dịch vụ khí hậu nông nghiệp không thể thiếu trong quy hoạch và phát triển nông nghiệp. Tổ chức Khí tượng Thế giới (WMO) cho rằng mục đích của phân vùng khí hậu nông nghiệp nhằm phát triển hệ thống trồng trọt thích nghi, tăng thu nhập cho nông dân, quản lý được rủi ro [6–8].

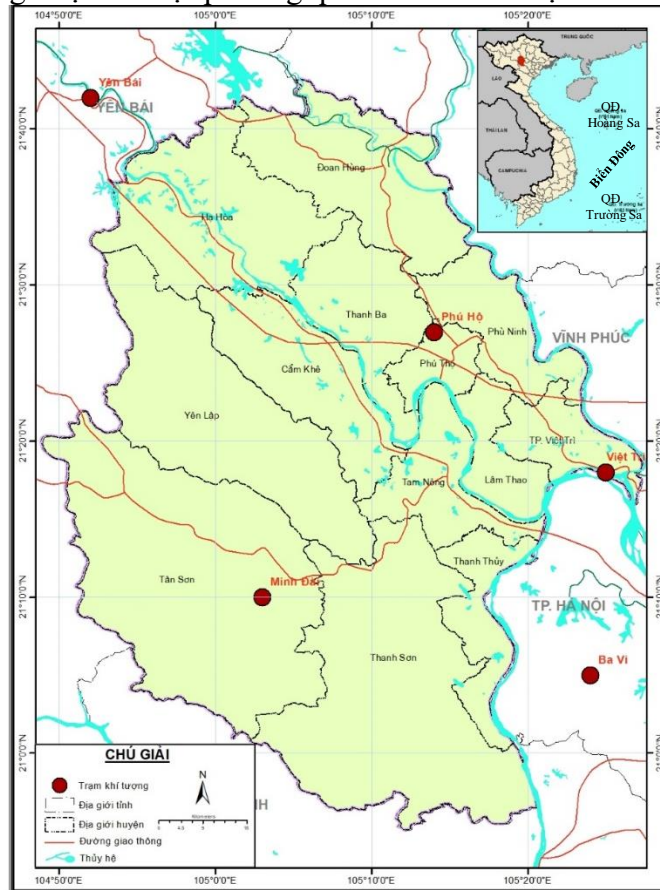
Trong báo cáo quy hoạch tỉnh Phú Thọ thời kỳ 2021 - 2030, tầm nhìn đến năm 2050 đã đưa ra định hướng phát triển nông nghiệp nói chung và nông nghiệp hữu cơ nói riêng như sau: Phát triển toàn diện, hiện đại hóa nông nghiệp gắn với xây dựng nông thôn mới và nâng cao chất lượng cuộc sống của người dân. Phát triển nông nghiệp theo hướng tập trung gắn với chuỗi giá trị để nâng cao giá trị gia tăng và phát triển bền vững, thích ứng với biến đổi khí hậu; hình thành một số vùng sản xuất cây lương thực, cây ăn quả, cây công nghiệp tập trung, quy mô lớn, có lợi thế; khuyến khích phát triển nông nghiệp hữu cơ, nông nghiệp tuần hoàn, thân thiện với môi trường; đẩy mạnh thu hút các doanh nghiệp đầu tư vào nông nghiệp, nông thôn [9–12].

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

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

Phú Thọ là một tỉnh thuộc vùng Trung du miền núi phía Bắc (TD&MNBB) của Việt Nam. Tỉnh Phú Thọ có diện tích là 3535 km<sup>2</sup>, bao gồm 1 Thị xã, 1 Thành phố, 11 Huyện. Dân số trên 1,62 triệu người (năm 2023) với 21 dân tộc anh em cùng sinh sống. Với vị trí “ngã ba sông” - điểm giao nhau của sông Hồng, sông Đà và sông Lô, là cửa ngõ phía tây của thủ đô Hà Nội, Phú Thọ là đầu mối trung chuyển, giao lưu kinh tế giữa các tỉnh vùng đồng bằng Bắc Bộ với các tỉnh miền núi phía Bắc Việt Nam và hai tỉnh Quảng Tây, Vân Nam (Trung Quốc). Nằm trong vành đai của các tuyến trục giao thông quan trọng: đường bộ có Quốc lộ 2, Cao tốc Nội Bài - Lào Cai, đường Hồ Chí Minh, đường sắt có tuyến đường xuyên Á, đường sông chạy từ Trung Quốc qua các tỉnh phía Tây vùng Đông Bắc đều quy tụ về Phú Thọ rồi mới tỏa đi Hà Nội, Hải Phòng và các khu vực khác. Phú Thọ có điều kiện tự nhiên, tài nguyên thiên nhiên và kinh tế - xã hội phù hợp đối với sự phát triển của nông nghiệp hữu cơ nói chung và cây chè hữu cơ nói riêng. Nghị quyết số 11-NQ/TW ngày 10/02/2022 của Bộ Chính trị về Phương hướng phát triển kinh tế - xã hội, bảo đảm quốc phòng, an ninh vùng Trung du và miền núi Bắc bộ đến năm 2030, tầm nhìn đến năm 2045 [13], trong đó đã đề ra định hướng cho vùng TD&MNBB, đó là “Phát triển nông nghiệp vùng theo hướng nông nghiệp hàng hóa hiệu quả cao, sản xuất an toàn, hữu cơ, xanh, sạch, đặc sản”. Trên cơ sở phát huy lợi thế của tỉnh Phú Thọ, thực hiện chủ trương của Đảng và triển khai của Chính phủ về phát triển nông nghiệp hữu cơ. Hiện nay, do đặc thù địa hình là nơi chuyển tiếp giữa miền

núi cao và miền núi thấp, gò đồi, địa hình phân mảnh nên việc phát triển nông nghiệp của vùng cần có các giải pháp mang tính đặc thù, trên cơ sở phát huy lợi thế so sánh của tỉnh. Do vậy, nếu không khai thác được tiềm năng, nền nông nghiệp hữu cơ nói chung và sản xuất chè hữu cơ nói riêng của tỉnh sẽ tiếp tục manh mún và tụt hậu, khó theo kịp các địa phương khác. Trong bối cảnh thị trường nông sản thế giới có nhiều biến động, sản xuất chè hữu cơ trên địa bàn tỉnh Phú Thọ cũng cần có những bước chuyển mình phù hợp. Đây cũng là một trong những hướng đi đang được các địa phương quan tâm và tích cực theo đuổi.



**Hình 1.** Bản đồ vị trí trạm khí tượng khu vực nghiên cứu.

## 2.2. Phương pháp nghiên cứu

Trong quá trình nghiên cứu, để có được kết quả mang tính khoa học và độ tin cậy cao, tác giả sử dụng tổng hợp các phương pháp nghiên trong nghiên cứu:

**Phương pháp kế thừa tài liệu:** Phương pháp này được nhóm nghiên cứu sử dụng để phân tích nguồn tài liệu liên quan, từ đó áp dụng các lý thuyết liên quan đến phân vùng cây trồng trên các điều kiện khí hậu nói chung của tỉnh Phú Thọ.

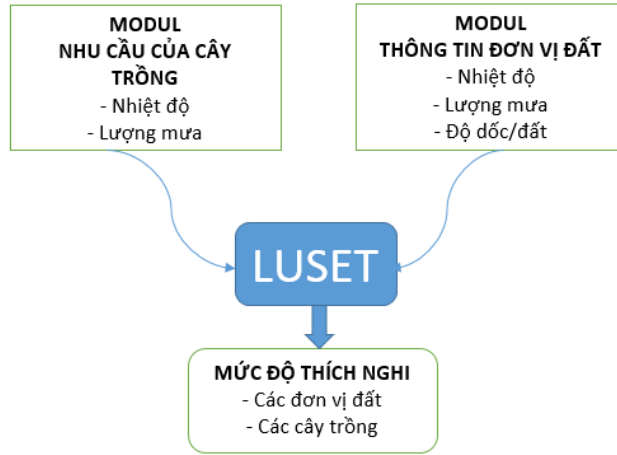
**Phương pháp thu thập số liệu:** Phương pháp này được nhóm tác giả sử dụng trong nghiên cứu thông qua việc khảo sát địa bàn nghiên cứu, làm việc với các sở ngành của tỉnh Phú Thọ. Cụ thể là Sở Nông nghiệp và Phát triển nông thôn, Sở Kế hoạch và Đầu tư, Sở Tài nguyên và Môi trường nhằm thu thập các số liệu, tài liệu liên quan đến hướng nghiên cứu của đề tài.

**Phương pháp phân tích, tổng hợp tài liệu:** Các số liệu, tài liệu sau khi thu thập được nhóm nghiên cứu phân tích và tổng hợp lại theo mục đích sử dụng để phục vụ việc đánh giá tác động của BĐKH đến trồng chè hữu cơ trên địa bàn tỉnh Phú Thọ.

**Phương pháp tính toán thống kê:** Phương pháp này được áp dụng định tính và định lượng. Các phương pháp cụ thể được sử dụng để tính toán các đặc trưng tài nguyên khí hậu nông nghiệp (ánh sáng, nhiệt, ẩm) từ số liệu các trạm quan trắc [16].

**Phương pháp nội suy:** Sử dụng phương pháp nội suy để tính toán thông số độ dốc và phân bố theo không gian của dữ liệu khí tượng, dữ liệu tầng dày đất [15, 16].

Phương pháp phân vùng khí hậu nông nghiệp (KHNN) dựa trên công cụ LUNET: Công cụ LUNET (*Land Use Suitability Evaluation Tool* - Công cụ đánh giá mức độ thích nghi sử dụng đất) [17], là công cụ tích hợp các Modul tính toán bao gồm: Modul về nhu cầu của cây trồng, Modul về thông tin đơn vị đất và Modul tính toán mức độ thích nghi. Sơ đồ cấu trúc của công cụ LUNET:



**Hình 2.** Sơ đồ cấu trúc công cụ LUNET.

Công cụ LUNET cho phép tính toán sự thích nghi (OVS) riêng biệt của từng nhóm yếu tố và tích hợp tất cả nhóm yếu tố thành chỉ số OVS tổng hợp. Chỉ số thích nghi được xác định là điểm số thấp nhất trong tất cả các yếu tố được xem xét, OVS được tính theo công thức sau:

$$OVS = \text{Min} ( SF1, SF2, SF3 \dots SFn) \tag{1}$$

Trong đó OVS là giá trị thích nghi; SF1, SF2, SF3 ... SFn là điểm số thích nghi (dao động từ 0 đến 100) của n yếu tố được chọn.

Quá trình tính toán chỉ số OVS được thực hiện theo 2 bước:

Bước 1: Tính toán OVS riêng biệt cho từng nhóm yếu tố (OVSg), OVSg có thể là nhóm đất - địa hình (độ dốc, độ sâu tầng đất), nhóm nhiệt độ (nhiệt độ trung bình theo tháng) hoặc nhóm nước (lượng mưa theo tháng và giá định không tưới).

$$OVSg = f ( S1, S2, \dots, Sn) \tag{2}$$

Trong đó S1, S2, ... Sn là điểm số thích nghi của các yếu tố trong một nhóm; f là hàm chức năng để tính toán sự thích nghi tổng thể (hàm Min).

**Bảng 1.** Các mức thích nghi tương ứng với nhân tố trọng số [19].

Mức độ thích	Trọng số = 1	Trọng số = 2	Trọng số = 3
S1	85	95	100
S2	60	65	70
S3	40	45	50
S4	0	10	15

Bước 2: Tính toán sự thích nghi tổng thể từ ba nhóm yếu tố (đất - địa hình, nhiệt, mưa)

$$OVS = f ( Sl, St, Sw) \tag{3}$$

Trong đó Sl, St, Sw là giá trị OVSg tương ứng đối với các nhóm yếu tố đất - địa hình, nhiệt và mưa.

Trên cơ sở kết hợp giữa các loại thích nghi cho từng nhóm yếu tố OVSg và sử dụng phương pháp tối thiểu (công thức 1 và 2) để tạo ra một giá trị có khoảng dao động từ 0 đến 100, giá trị này chính là điểm số OVS của yếu tố được xét đối với một cây trồng cụ thể trong một đơn vị diện tích. Từ kết quả này, sẽ phân loại được theo các mức độ thích nghi S1, S2, S3 và N.



**Bảng 2.** Phân cấp mức độ thích nghi tổng thể [19].

STT	Điểm số tổng	Ký hiệu	Mức độ thích
1	≥ 85	S1	Rất thích nghi
2	≥ 60 và < 85	S2	Thích nghi
3	≥ 40 và < 60	S3	Ít thích nghi
4	< 40	N	Không thích nghi

Các kết quả đầu ra từ công cụ LUSSET là bảng giá trị các điểm số tổng hợp đối với cây chè. Sau đó sử dụng phần mềm Arcgis để chồng ghép các bản đồ phân bố không gian đã lựa chọn để xác định bản đồ phân vùng khí hậu nông nghiệp đối với cây chè hữu cơ tỉnh Phú Thọ.

### 2.3. Dữ liệu sử dụng

Số liệu khí tượng giai đoạn 1990-2020 của các trạm khu vực tỉnh Phú Thọ, bao gồm các yếu tố khí tượng tháng: số giờ nắng, bức xạ quang hợp, nhiệt độ trung bình, nhiệt độ tối thấp, nhiệt độ tối cao, lượng mưa, độ ẩm.

Đối với nhóm địa hình, nghiên cứu sử dụng chỉ số độ dốc và chia thành 6 cấp như sau: Cấp 1: 0-30; Cấp 2: 3-80; Cấp 3: 8-150; Cấp 4: 15-200; Cấp 5: 20-250; Cấp 6: > 250.

Đối với nhóm nhiệt độ sử dụng các chỉ tiêu: Nhiệt độ trung bình năm; Nhiệt độ tối thấp của tháng nóng nhất (tháng 6); Nhiệt độ tối thấp trung bình của tháng lạnh nhất (tháng 1); Nhiệt độ tối cao trung bình của tháng nóng nhất (tháng 6).

Đối với nhóm nước, sử dụng các chỉ tiêu: Lượng mưa trung bình năm và độ ẩm tương đối trung bình năm với giả định không tưới và dựa hoàn toàn vào nước mưa tự nhiên. Ở Phú Thọ quanh năm chỉ số ẩm đều trên 0,5 vì vậy chỉ tiêu độ dài mùa khô không được xem xét đến khi lựa chọn các yếu tố để đánh giá khả năng thích nghi của cây chè hữu cơ.

Dữ liệu bản đồ: Bản đồ địa hình tỉnh Phú Thọ; Bản đồ hiện trạng sử dụng đất tỉnh Phú Thọ; Bản đồ hiện trạng các khu công nghiệp; Bản đồ hiện trạng giao thông; Bản đồ hiện trạng đô thị và Bản đồ hiện trạng khai thác khoáng sản.

## 3. Kết quả và thảo luận

### 3.1. Hiện trạng phát triển chè hữu cơ tỉnh Phú Thọ

Phú Thọ là tỉnh có diện tích trồng chè tương đối lớn, với khoảng 16 nghìn ha trồng chè mỗi năm. Cây chè phân bố nhiều nhất ở huyện Tân Sơn (trên 3,8 nghìn ha). Các huyện có diện tích trồng chè lớn khác như Thanh Sơn (trên 2,5 nghìn ha), Hạ Hòa (trên 1,7 nghìn ha), Thanh Ba (gần 1,4 nghìn ha), Yên Lập (trên 1,2 nghìn ha). Các huyện còn lại diện tích dưới 1 nghìn ha.

**Bảng 3.** Diện tích chè phân theo huyện/thành phố tỉnh Phú Thọ (Đơn vị: ha) [18].

Năm	2010	2015	2018	2019	2020
<b>Tổng</b>	<b>15.625,1</b>	<b>16.584,0</b>	<b>16.004,2</b>	<b>16.124,2</b>	<b>15.728,2</b>
1. Thành phố Việt Trì	14,0	6,8	6,8	7,7	8,2
2. Thị xã Phú Thọ	249,0	230,2	240,5	240,5	235
3. Huyện Đoan Hùng	2.858,9	3.071,2	2.947,1	2.884,9	2.843,6
4. Huyện Hạ Hòa	1.672,4	1.818,4	1.774,5	1.736,8	1.733,2
5. Huyện Thanh Ba	1.960,2	1.902,0	1.569,2	1.420,4	1.381,5
6. Huyện Phù Ninh	957,6	960,0	930,8	940,2	869,2
7. Huyện Yên Lập	1.768,6	1.823,6	1.425,2	1.410,3	1.231,8
8. Huyện Cẩm Khê	800,5	812,2	739,8	730,0	722,4
9. Huyện Tam Nông	90,6	88,9	103,1	97,8	101,9
10. Huyện Lâm Thao	9,4	4,9	4,3	4,3	4,4
11. Huyện Thanh Sơn	2.100,2	2.383,9	2.498,4	2.572,9	2.513,6

Năm	2010	2015	2018	2019	2020
12. Huyện Thanh Thủy	234,9	271,7	258,9	246,8	233,2
13. Huyện Tân Sơn	2.908,8	3.210,2	3.505,6	3.831,6	3.850,2

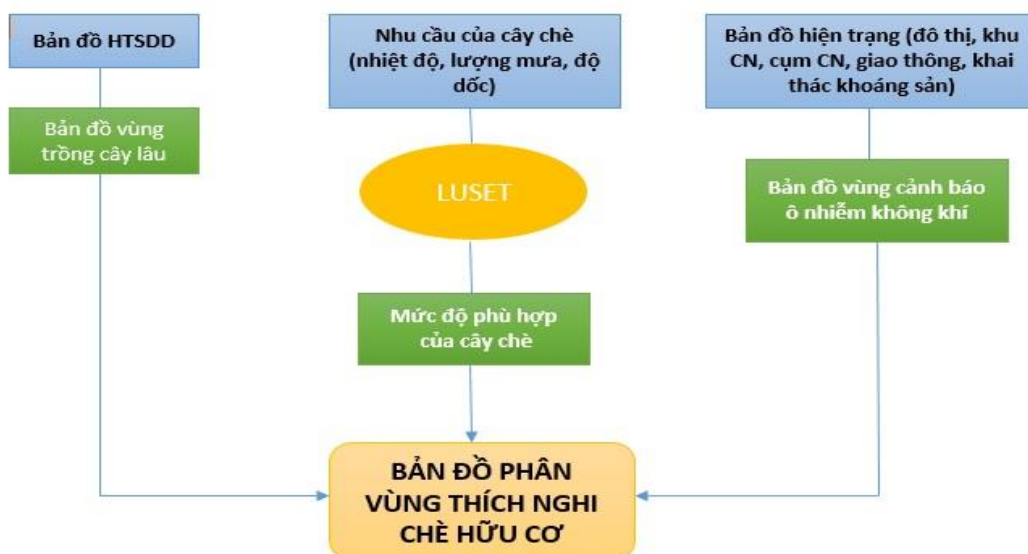
Hiện nay địa bàn tỉnh Phú Thọ đã triển khai việc trồng chè hữu cơ đến nhiều huyện, xã. Việc đẩy mạnh mở rộng sản xuất chè theo hướng hữu cơ giúp người dân có một phương thức sản xuất nông nghiệp mới thân thiện với tự nhiên và môi trường, góp phần bảo vệ sức khỏe của người sản xuất và người tiêu dùng. Từ đó nâng cao giá trị kinh tế cho người dân, góp phần phát triển kinh tế và xây dựng nông thôn mới bền vững, nâng cao thu nhập và hướng tới một nền nông nghiệp sạch. Đặc biệt, việc phát triển mô hình chè hữu cơ gắn liền với du lịch trải nghiệm thực tế hiện nay trên địa bàn huyện Thanh Thủy đang rất được chú trọng phát triển. Những năm gần đây, người trồng chè tại huyện Thanh Thủy (Phú Thọ) đang nỗ lực chuyển đổi trồng chè từ lối canh tác thông thường sang phương pháp hữu cơ, đạt tiêu chuẩn hữu cơ gắn với phát triển du lịch trải nghiệm thực tế. Từ đó, góp phần nâng cao chất lượng sản phẩm cũng như đảm bảo an toàn vệ sinh thực phẩm, đáp ứng nhu cầu khắt khe của thị trường, người tiêu dùng theo xu hướng sản xuất nông nghiệp sạch, nâng cao đời sống của người dân và phát triển bền vững.

Bên cạnh đó, hợp tác xã chè Cẩm Mỹ là đơn vị trồng chè hữu cơ tại xã Tất Thắng, huyện Thanh Sơn, tỉnh Phú Thọ. Nhờ tham gia hợp tác xã và trồng chè hữu cơ, nhiều bà con dân tộc Mường ở đây thoát nghèo, vươn lên làm giàu. Hiện nay, diện tích của toàn hợp tác xã là 30 ha chè. Trong đó, hơn 15 ha chè sản xuất đạt chứng nhận VietGAP, sản lượng khoảng 240 tấn chè búp tươi/năm. Giá bán chè hữu cơ trung bình từ 120.000-150.000 đồng/kg chè khô, giá trị gấp 2 lần so với chè canh tác truyền thống. Đây là một thành tích đáng mừng trong ngành sản xuất chè hữu cơ của cả tỉnh nói chung.

### 3.2. Phân vùng khí hậu nông nghiệp đối với cây chè hữu cơ tỉnh Phú Thọ

Sự kết hợp các chỉ tiêu khí hậu trong xây dựng bản đồ phân vùng KHNN thể hiện mối liên hệ chặt chẽ giữa KHNN với cây trồng. Trong khuôn khổ nghiên cứu của bài báo, nhóm tác giả đã xem xét khả năng trồng trọt của cây chè hữu cơ dựa trên điều kiện khí hậu và môi trường không khí của tỉnh Phú Thọ. Đánh giá mức độ phù hợp về điều kiện khí hậu và cảnh báo vùng ô nhiễm không khí đối với cây chè hữu cơ sẽ là cơ sở cho việc quy hoạch phát triển trồng chè hữu cơ, đảm bảo được hiệu quả về mặt chất lượng sản phẩm và giá trị kinh tế.

Để xây dựng bản đồ thích nghi về mặt tài nguyên khí hậu và môi trường không khí đối với cây chè hữu cơ, nghiên cứu đã xây dựng quy trình thành lập bản đồ phân vùng chè hữu cơ theo sơ đồ Hình 3.



Hình 3. Quy trình thành lập bản đồ phân vùng thích nghi chè hữu cơ.

Để thực hiện quy trình được trình bày trong Hình 3, nghiên cứu đã tiến hành thực hiện các bước sau:

Bước 1: Xác định được vùng trồng cây lâu năm từ bản đồ hiện trạng sử dụng đất

Chè là một loại cây công nghiệp lâu năm, do đó loại hình sử dụng đất đối với cây chè được xác định là đất trồng cây lâu năm. Từ bản đồ hiện trạng sử dụng đất năm 2020 tỉnh Phú Thọ, sử dụng công cụ trong phần mềm Arcgis để tách những vùng đất trồng cây lâu năm. Kết quả thể hiện trên Hình 4a.

Bước 2: Xác định vùng thích nghi cho cây chè bằng công cụ LUSSET

Trong nghiên cứu phân vùng trồng chè hữu cơ, nghiên cứu phân vùng khí hậu nông nghiệp đóng vai trò nền tảng để xác định được khả năng thích nghi của của cây chè đối với điều kiện khí hậu.

Để xây dựng được bản đồ phân vùng khí hậu nông nghiệp, nghiên cứu đã xác định các chỉ tiêu về mặt khí hậu và tính toán từng chỉ tiêu để đưa vào công cụ LUSSET nhằm tính toán sự thích nghi của từng nhóm yếu tố và tích hợp các nhóm yếu tố thành chỉ số thích nghi như trong phần số liệu đã đề cập.

Đối với nhóm nhiệt độ sử dụng các chỉ tiêu: Nhiệt độ trung bình năm; Nhiệt độ tối thấp của tháng nóng nhất (tháng 6); Nhiệt độ tối thấp trung bình của tháng lạnh nhất (tháng 1); Nhiệt độ tối cao trung bình của tháng nóng nhất (tháng 6); Nhiệt độ trung bình của 4 tháng nóng nhất. Các chỉ tiêu được tính toán và tổng hợp trong Bảng 4.

**Bảng 4.** Các chỉ tiêu về nhiệt độ đối với cây chè hữu cơ tính theo các trạm tại Phú Thọ.

Trạm	Nhiệt độ trung bình năm (°C)	Nhiệt độ tối thấp của tháng nóng nhất (°C)	Nhiệt độ tối thấp trung bình của tháng lạnh nhất (°C)	Nhiệt độ tối cao trung bình của tháng nóng nhất (°C)	Nhiệt độ trung bình của 4 tháng nóng nhất (°C)
Minh Đài	23,0	25,1	13,6	33,2	27,7
Phú Hộ	23,6	25,9	14,4	33,3	28,2
Việt Trì	24,0	26,4	14,9	33,7	28,7

Đối với nhóm nước, sử dụng các chỉ tiêu: Lượng mưa trung bình năm và độ ẩm tương đối trung bình năm với giả định không tưới và dựa hoàn toàn vào nước mưa tự nhiên. Như đã đánh giá ở trên, chỉ số ẩm của Phú Thọ quanh năm đều trên 0,5 vì vậy, chỉ tiêu độ dài mùa khô không được xem xét đến khi lựa chọn các yếu tố để đánh giá khả năng thích nghi của cây chè hữu cơ. Các chỉ tiêu về lượng mưa trung bình năm và độ ẩm tương đối trung bình năm được tính toán tổng hợp trong Bảng 5.

**Bảng 5.** Các chỉ tiêu về ẩm đối với cây chè hữu cơ tính theo các trạm tại Phú Thọ.

Trạm	Lượng mưa trung bình năm (mm)	Độ ẩm tương đối trung bình năm (%)
Minh Đài	1593,838	87
Phú Hộ	1540,055	85
Việt Trì	1520,306	83

Sau khi tính toán các chỉ tiêu, sử dụng công cụ LUSSET để chạy phân vùng thích nghi đối với cây chè. Kết quả phân bố vùng thích nghi đối với cây chè thể hiện trên Hình 4b. Với điều kiện khí hậu và địa hình tỉnh Phú Thọ, cây chè rất thích nghi và thích nghi trên diện tích khá lớn. Các vùng ít thích nghi và không thích nghi chiếm diện tích ít hơn và phân bố chủ yếu ở các huyện phía tây nam của tỉnh.

Bước 3: Xác định vùng ô nhiễm không khí tác động tới phát triển trồng chè hữu cơ

Phân vùng khí hậu nông nghiệp là cơ sở để xác định các vùng có khả năng thích nghi về mặt khí hậu đối với sự phát triển của cây chè. Tuy nhiên, trong nghiên cứu này nhóm tác giả còn tính tới mối liên hệ giữa việc phân vùng chè hữu cơ dựa trên yếu tố khí hậu và ô nhiễm môi trường không khí tại địa điểm nghiên cứu. Việc xác định được các vùng có khả năng ô nhiễm không khí gây ra từ các khu công nghiệp, cụm công nghiệp, khu vực khai thác khoáng

sản, khu vực đô thị hoặc đường giao thông có ý nghĩa lớn đối với phát triển và quy hoạch cây chè hữu cơ trên địa bản tỉnh. Đối với mỗi nguồn gây ô nhiễm, nhóm nghiên cứu sẽ xác định được vùng ảnh hưởng lan rộng tính từ rìa nguồn gây ô nhiễm theo khoảng cách nhất định. Hiện nay chưa có văn bản nào quy định khoảng cách an toàn cho phát triển nông nghiệp hữu cơ tính từ nguồn gây ô nhiễm, do đó trong nghiên cứu này các giá trị xác định để mở rộng vùng ô nhiễm này đều được xác định dựa trên ý kiến chuyên gia trong lĩnh vực môi trường. Kết quả cho thấy, đối với mỗi nguồn ô nhiễm sẽ được xác định khoảng cách an toàn như sau:

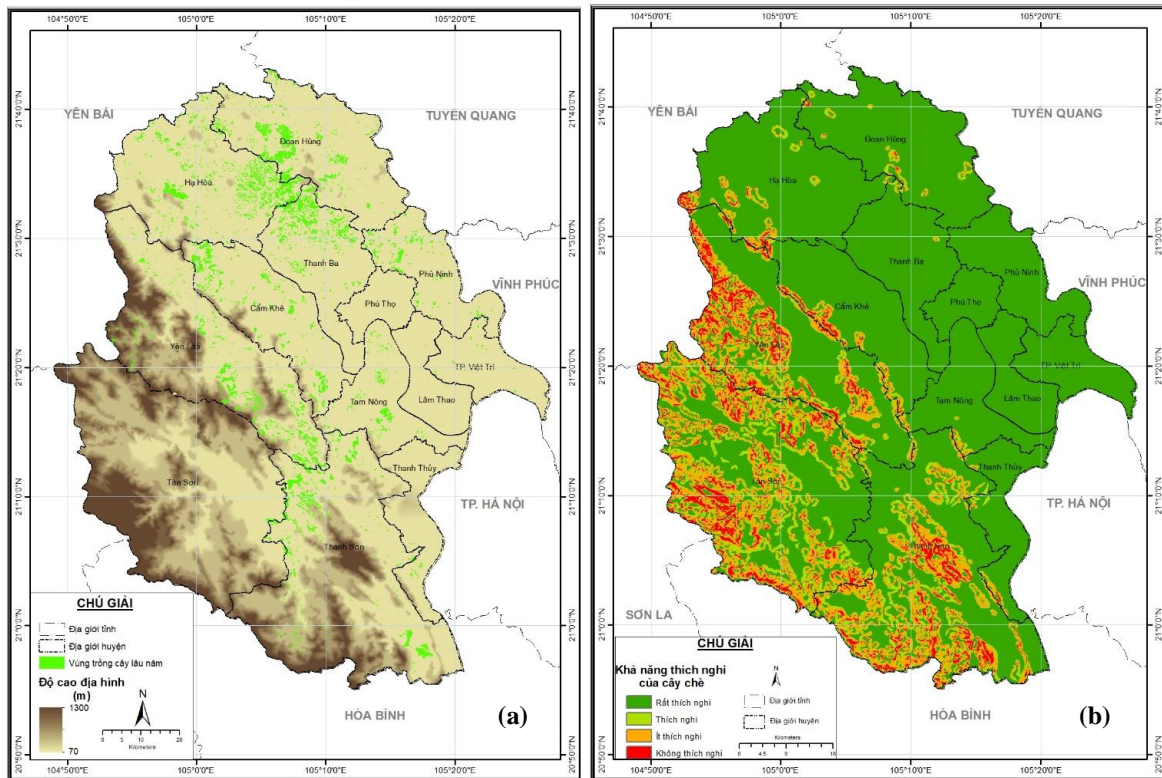
Đối với khu công nghiệp, cụm công nghiệp: khoảng cách từ nguồn ô nhiễm kéo rộng thêm 2 km về các phía (tính từ rìa nguồn ô nhiễm).

Đối với khu vực khai thác khoáng sản: khoảng cách từ nguồn ô nhiễm kéo rộng thêm 2 km về các phía (tính từ rìa nguồn ô nhiễm).

Đối với khu vực đô thị lớn: khoảng cách từ nguồn ô nhiễm tính từ rìa đô thị kéo rộng thêm 2 km về các phía.

Đối với đường giao thông lớn: khoảng cách từ nguồn ô nhiễm mở rộng 500 m về 2 phía đối với cao tốc và 300 m đối với đường quốc lộ.

Sau khi đã xác định được khu vực có khả năng ô nhiễm gây ra từ các nguồn kể trên, nhóm nghiên cứu tiến hành thành lập bản đồ vùng ô nhiễm không khí tác động tới sản xuất chè hữu cơ được thể hiện trong Hình 5a.



**Hình 4.** (a) Bản đồ vùng trồng cây lâu năm tỉnh Phú Thọ; (b) Bản đồ phân vùng thích nghi của cây chè đối với điều kiện khí hậu.

**Bước 4: Chồng ghép các bản đồ để xác định được vùng trồng chè hữu cơ**

Sau khi tiến hành xác định được vùng phù hợp để phát triển chè và vùng cảnh báo ô nhiễm đối với phát triển chè hữu cơ, nhóm nghiên cứu tiến hành chồng ghép các bản đồ đã được xây dựng từ bước 1 đến bước 3 để xác định được vùng trồng chè hữu cơ (Hình 5b).

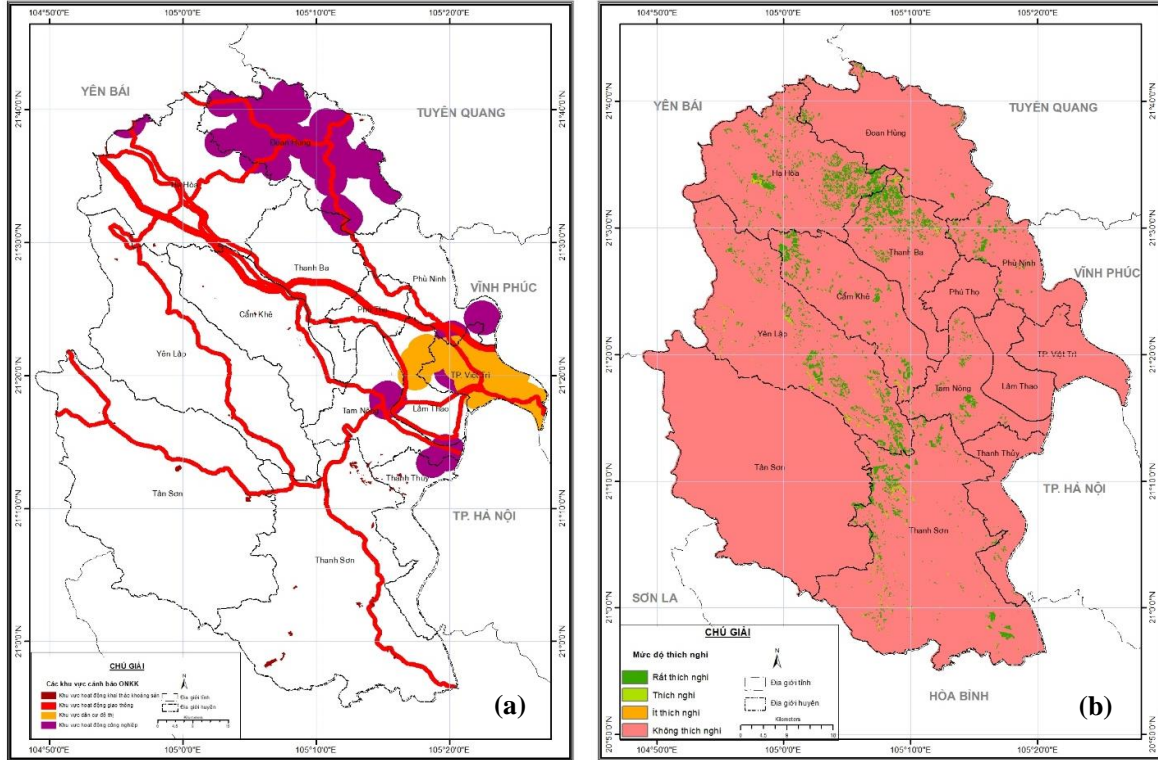
Hình 5b có thể nhận thấy: Vùng rất thích nghi và thích nghi cho cây chè hữu cơ tập trung nhiều nhất ở các huyện Thanh Ba, Hạ Hòa, Cẩm Khê, Yên Lập, Thanh Sơn, Tam Nông, Phú Ninh.

Vùng ít thích nghi phân bố rải rác ở các huyện Yên Lập và Thanh Sơn.



Một số huyện còn lại như Tân Sơn, TP Việt Trì, TX Phú Thọ, Lâm Thao, Đoan Hùng hầu hết đều nằm trong vùng không thích nghi đối với phát triển chè hữu cơ.





Xét riêng về tài nguyên khí hậu, tỉnh Phú Thọ có điều kiện khí hậu thuận lợi cho cây chè phát triển. Tuy nhiên, diện tích vùng không thích nghi cho cây chè hữu cơ lại rất cao là do nằm trong vùng cảnh báo khả năng ô nhiễm không khí và vùng không có mục đích sử dụng đất cho cây lâu năm.



**Hình 5.** (a) Bản đồ cảnh báo vùng ô nhiễm không khí tác động tới sản xuất chè hữu cơ tỉnh Phú Thọ; (b) Bản đồ phân vùng thích nghi đối với cây chè hữu cơ tỉnh Phú Thọ.

Từ bản đồ phân bố mức độ thích nghi, nghiên cứu đã tính toán được các vùng có khả năng thích nghi khác nhau đối với cây chè hữu cơ (Bảng 6). Vùng rất thích nghi có diện tích 13.480 ha chiếm 3,8% tổng diện tích đất tự nhiên toàn tỉnh. Vùng thích nghi có diện tích 844 ha chiếm 0,2% tổng diện tích đất tự nhiên toàn tỉnh. Vùng ít thích nghi có diện tích 188 ha chiếm 0,1% tổng diện tích đất tự nhiên toàn tỉnh. Vùng không thích nghi có diện tích lớn nhất với 338.948 ha chiếm đến 95,9% tổng diện tích đất tự nhiên toàn tỉnh.

**Bảng 6.** Phân bố diện tích thích nghi của cây chè hữu cơ tỉnh Phú Thọ.

Ký hiệu	Mức độ thích nghi	Diện tích (ha)	Tỷ lệ (%)
	Rất thích nghi	13.480	3.8
	Thích nghi	844	0.2
	Ít thích nghi	188	0.1
	Không thích nghi	338.948	95.9
	<b>Tổng diện tích</b>	<b>353.460</b>	<b>100</b>

#### 4. Kết luận

Qua nghiên cứu có thể thấy, nông nghiệp là ngành quan trọng trong cơ cấu kinh tế nói chung của Việt Nam, tỉnh Phú Thọ nói riêng, góp phần cung cấp nhu cầu lương thực, thực phẩm và đảm bảo an ninh lương thực của nhân dân [19].

Như vậy, kết quả phân vùng thích nghi đối với phát triển chè hữu cơ tỉnh Phú Thọ đã thể hiện được phân bố về mặt không gian và ước tính được diện tích về mức độ thích nghi cho



từng vùng. Việc tích hợp các thông tin về điều kiện khí hậu, địa hình, hiện trạng sử dụng đất, hiện trạng các khu đô thị, hiện trạng giao thông, hiện trạng khai thác khoáng sản và hiện trạng các khu công nghiệp - cụm công nghiệp để xây dựng bản đồ phân vùng thích nghi đối với cây chè hữu cơ tỉnh Phú Thọ là cơ sở khoa học quan trọng trong việc quy hoạch không gian canh tác và phát triển loại cây trồng loại cây trồng này. Bản đồ phân vùng thích nghi đối với cây chè hữu cơ cần có sự kết hợp với dịch vụ khí hậu trong nông nghiệp và kiến thức bản địa để đưa ra khuyến cáo thực tế và phù hợp. Các thông tin dự báo thời tiết, dự báo mùa là các yếu tố cần thiết để điều chỉnh cơ cấu cây trồng, lịch mùa vụ. Dự báo thời tiết hàng ngày, theo tuần cần được cập nhật và cung cấp thường xuyên cho cán bộ nông nghiệp và người dân để việc áp dụng kết quả nghiên cứu này hiệu quả hơn. Tuy nhiên, nghiên cứu còn có những hạn chế nhất định đó là chưa xem xét đến điều kiện về đất đai và nguồn nước của khu vực nghiên cứu. Do vậy, để hoàn chỉnh hơn cho hướng nghiên cứu tiếp theo, nhóm nghiên cứu cho rằng cần phải có đánh giá tổng hợp các điều kiện về tài nguyên và chất lượng môi trường đất, nước và không khí, có như vậy việc phân vùng mới đảm bảo mức độ đầy đủ nhất của các điều kiện cây trồng hữu cơ.

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

**Lời cảm ơn:** Nghiên cứu này được thực hiện dưới sự tài trợ của đề tài “Nghiên cứu cơ sở khoa học phục vụ khoanh vùng khu vực trồng trồng chè hữu cơ theo đặc trưng tài nguyên và môi trường tại vùng Trung du và miền núi Bắc bộ” có Mã số: TNMT.885.04

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

#### **Tài liệu tham khảo**

1. Chính phủ Việt Nam. Nghị định số 109/2018/NĐ-CP ngày 29 tháng 8 năm 2018 của Chính phủ: Nông nghiệp hữu cơ, 2018.
2. Jiang, A.L. Climate and Agriculture in China. In: Yoshino, M.; Domrös, M.; Douguédroit, A.; Paszyński, J.; Nkemdirim, L.C. (eds) *Climates and societies – A climatological perspective*. The Geo Journal Library, Springer, Dordrecht. 1997, 36, pp. 279–307. [https://doi.org/10.1007/978-94-017-1055-8\\_13](https://doi.org/10.1007/978-94-017-1055-8_13).
3. Motha, R.P. Meteorological data to support farming needs. In: Stigter, K. (eds) *Applied Agrometeorology*. Springer, Berlin, Heidelberg, 2010, pp. 901–907. [https://doi.org/10.1007/978-3-540-74698-0\\_106](https://doi.org/10.1007/978-3-540-74698-0_106)
4. Jagtap, S.S. Planning sustainable agriculture using agroclimatic database. WMO–CagM. 2001, pp. 85. Available online: [https://library.wmo.int/doc\\_num.php?explnum\\_id=9164](https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=9164).
5. Stigter, K. *Applied agrometeorology*, Berlin, Germany: Springer, **2010**, XXXVIII, 1100. <https://doi.org/10.1007/978-3-540-74698-0>.
6. Mischenko, Z.A. Agroclimatic mapping of the continents. WMO, CAgM report, **1984**, 23, 1–83.
7. Patel, N.R. Remote sensing and GIS application in agro-ecological zoning. AGM–8, WMO/TD–No. 1182, 2003. Available online: <http://www.wamis.org/agm/pubs/agm8/Paper-11.pdf>
8. William, G.D.V. Agroclimatic resource analysis on ex. using an index derived and applied for Canada. *Agri-Meteorology* **1983**, 28, 31–47.
9. Thủ tướng chính phủ. Quyết định số: 1579/QĐ-TTg ngày 05 tháng 12 năm 2023 về Phê duyệt Quy hoạch tỉnh Phú Thọ thời kỳ 2021-2030, tầm nhìn đến năm 2050.
10. Ủy ban nhân dân tỉnh Phú Thọ. Báo cáo quy hoạch tỉnh Phú Thọ thời kỳ 2021 - 2030, tầm nhìn đến năm 2050, 2023.

11. Trục tuyến: <https://www.mard.gov.vn/Pages/phu-tho-phat-trien-san-xuat-che-an-toan-theo-huong-huu-co.aspx>.
12. Trục tuyến: <https://dpi.phutho.gov.vn/so-ke-hoach-dau-tu-phu-tho/quy-hoach-tinh-phu-tho/#>. Bản đồ quy hoạch tỉnh Phú Thọ thời kỳ 2021-2030, tầm nhìn đến năm 2050.
13. Bộ Chính trị. Nghị quyết số 11-NQ/TW ngày 10/02/2022 của Bộ Chính trị về Phương hướng phát triển kinh tế - xã hội, bảo đảm quốc phòng, an ninh vùng Trung du và miền núi Bắc bộ đến năm 2030, tầm nhìn đến năm 2045.
14. Tân, P.V. Phương pháp thống kê trong khí hậu. Nhà xuất bản Đại học Quốc gia Hà Nội, 2005.
15. Khâm, D.V.; Tâm, T.T.; Quyền, N.H. Phương pháp xây dựng bản đồ phân vùng an toàn sương muối, nhiệt độ thấp khu vực Tây Bắc. Hội thảo khoa học Quốc gia về Khí tượng Thủy văn, Môi trường và Biến đổi Khí hậu, 2012, tr. 168–174.
16. Quyền, N.H.; Quyền, N.H.; Khâm, D.V. Nội suy dữ liệu không gian bằng thông tin viễn thám và GIS phục vụ xây dựng bản đồ sương muối và nhiệt độ thấp vùng Tây Bắc. Hội thảo khoa học Quốc gia về Khí tượng Thủy văn, Môi trường và Biến đổi Khí hậu, 2012, tr. 203–208.
17. Yen, B.T.; Pheng, K.S.; Hoanh, C.T. LUSSET User's guide. International Rice Research Institute, 2006, pp. 15.
18. Niên giám thống kê tỉnh Phú Thọ. 2020.
19. Liễu, N.T.; Tiên, N.Đ. Nghiên cứu phân vùng khí hậu nông nghiệp phục vụ mục đích chuyển đổi cơ cấu cây trồng tỉnh Tuyên Quang. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* **2021**, 726, 68–75.

## **Research on zoning for organic tea development in Phu Tho province**

**Nguyen Thi Lieu<sup>1\*</sup>, Dao Ngoc Hung<sup>2</sup>, Ha Thi Phuong Mai<sup>2</sup>, Tran Thi Tam<sup>1</sup>, Tạ Thị Ngọc Hà<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> Institute of Hydrology and Meteorology Science and Climate Change (IMHEN);  
lieuminh2011@gmail.com; trantam1810@gmail.com

<sup>2</sup> Hanoi National University of Education; daongochung69@gmail.com;  
phuongmai04101998@gmail.com

<sup>3</sup> Institute of Management for Agricultural and Rural Development;  
tangochal79@gmail.com

**Abstract:** Developing organic agriculture in Phu Tho province contributes to providing food needs and ensuring food security of the people. Recently, Phu Tho province has deployed organic tea growing to many districts and communes. Promoting the expansion of organic tea production has economic value, contributing to building new rural areas, increasing people's income and increasing income and towards a clean, sustainable agriculture. Using the agro-climatic zoning method based on the LUSSET tool, the study evaluated suitable level of climate conditions and warning of air pollution areas for organic tea plants in Phu Tho province. The research results are the basis for planning the development of organic tea growing in Phu Tho province, bringing high economic efficiency and environmental protection. The results show that: the region is very adaptable and adapted for organic tea plants concentrated mainly in Thanh Ba, Ha Hoa, Cam Khe, Yen Lap, Thanh Son, Tam Nong, Phu Ninh districts; Less adapted areas are scattered in Yen Lap and Thanh Son districts. Some remaining districts such as Tan Son, Viet Tri City, Phu Tho Town, Lam Thao, Doan Hung are mostly located in areas not suitable for organic tea development.

**Keywords:** Organic tea; Agricultural meteorology; Phu Tho.

# Table of content

- 1 Thao, D.T.P.; Trang, T.T.T.; Tuan, V.H.; Thanh, L.C. Forecasting land cover changes in Kien Thuy - Do Son (Hai Phong) by the year 2030 using CLUMondo model. *J. Hydro-Meteorol.* **2024**, 765, 1–14.
- 15 Thanh, T.T.; Thuy, T.T.T.; Thang, V.V. Research the characteristic of the rainfall breaks during summer monsoon season in Central Highlands of Vietnam. *J. Hydro-Meteorol.* **2024**, 765, 15–26.
- 27 Long, L.T.; Nhan, N.T. Sentinel-1 radar image application monitors landslides and sedimentation in Ca Mau province for the period 2015-2024 on the Google Earth Engine platform. *J. Hydro-Meteorol.* **2024**, 765, 27–38.
- 39 Trong, N.G.; Quy, B.N. Analyzing tidal data sequences using Gated Recurrent Unit (GRU). *J. Hydro-Meteorol.* **2024**, 765, 39–46
- 47 Ngoc, T.T.H.; Linh, L.T.; Thang, N.D.; Phuong, C.T.K.; Khanh, P.T. Estimating the water requirement for glycing max cultivated on degraded gray soil in Tri Ton district, An Giang Province. *J. Hydro-Meteorol.* **2024**, 765, 47–59.
- 60 Hang, T.T.M.; Nga, T.T.H.; Tuan, V.D.; Trang, H.M.; Khai, N.M. Assessing the current situation and potential for reusing wastewater for domestic water supply in An Giang Province. *J. Hydro-Meteorol.* **2024**, 765, 60–74.
- 75 Dung, H.M.; Khang, K.D.A. Forecasting air quality by the LSTM-MA model, using data at the Gieng Nuoc intersection automatic monitoring station, Ba Ria - Vung Tau Province. *J. Hydro-Meteorol.* **2024**, 765, 75–89.
- 90 Lieu, N.T.; Hung, D.N.; Mai, H.T.P.; Tam, T.T.; Ha, T.T.N. Research on zoning for organic tea development in Phu Tho Province. *J. Hydro-Meteorol.* **2024**, 765, 90–100.