

**TẠP CHÍ**

# **KHÍ TƯỢNG THỦY VĂN**

**Vietnam Journal of Hydro - Meteorology**

**ISSN 2525 - 2208**



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

**Số 738**

**06-2022**

## MỤC LỤC

### Bài báo khoa học



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

### Trị sự và Phát hành Đặng Quốc Khánh

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

### Giấy phép xuất bản

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

### Tòa soạn

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

### Chế bản và In tại:

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

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

Giá bán: 25.000 đồng

- 1 Trương Bá Kiên, Phạm Thị Thanh Nga, Trần Duy Thúc, Phùng Thị Mỹ Linh, Vũ Văn Thăng:** Đánh giá chất lượng dự báo mưa định lượng của mô hình WRF cho khu vực Việt Nam
- 12 Lê Nguyên Trung:** Nghiên cứu thực nghiệm, đánh giá sự thay đổi mực nước trong kênh khi mô phỏng nhám với hạt có đường kính  $5 \div 10$  mm
- 23 Nguyễn Công Mạnh, Nguyễn Tri Quang Hưng, Đoàn Quang Trí, Bùi Thị Cẩm Nhi, Nguyễn Minh Kỳ:** Khảo sát khả năng hấp phụ xử lý nước của than sinh học tạo thành từ sinh khối phụ phẩm nông nghiệp
- 34 Phan Trường Khanh, Nguyễn Hồng Quân, To Quang Toàn:** Đánh giá các thay đổi dòng chảy trên dòng chính sông Mê Công và các giải pháp đảm bảo an ninh nguồn nước vùng ĐBSCL
- 49 Nguyễn Văn Hồng:** Nghiên cứu đánh giá mức độ dao động và xu thế biến đổi của các yếu tố khí hậu tại Bình Định
- 60 Lương Văn Thọ:** Khảo sát cấu trúc địa chất tầng Holocene khu vực thành phố Đà Nẵng bằng phương pháp ảnh điện hai chiều (2D)
- 71 Nguyễn Nghĩa Hùng, Lê Quân Quân, Lê Mạnh Hùng:** Đánh giá tình hình vận chuyển bùn cát trên sông Mê Công và lượng hóa vận chuyển bùn cát đáy năm 2011 trên hệ thống sông Cửu Long
- 82 Đặng Quốc Khánh, Dương Văn Khảm, Ngô Tiền Giang:** Nghiên cứu mô hình phát triển kinh tế hộ gia đình thích ứng với hạn hán trong bối cảnh biến đổi khí hậu ở tỉnh Ninh Thuận

Bài báo khoa học

## Đánh giá chất lượng dự báo mưa định lượng của mô hình WRF cho khu vực Việt Nam

Trương Bá Kiên<sup>1</sup>, Phạm Thị Thanh Nga<sup>1</sup>, Trần Duy Thức<sup>1</sup>, Phùng Thị Mỹ Linh<sup>1</sup>, Vũ Văn Thăng<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> Viện Khoa học Khí tượng Thủy văn và Biến đổi khí hậu; kien.cbg@gmail.com; pttnga.monre@gmail.com; tranduythuc1@gmail.com; phungmylinh165@gmail.com; vvthang26@gmail.com

\*Tác giả liên hệ: vvthang26@gmail.com; Tel.: +84–986 464 599

Ban Biên tập nhận bài: 5/2/2022; Ngày phản biện xong: 10/3/2022; Ngày đăng bài: 25/4/2022

**Tóm tắt:** Bài báo trình bày kết quả đánh giá chất lượng dự báo mưa định lượng cho 150 trạm khu vực Việt Nam của mô hình WRF trong hai năm 2019–2020. Sử dụng lượng mưa của 150 trạm quan trắc để đánh giá chất lượng dự báo định lượng mưa ở các hạn dự báo 24h, 48h và 72h, thông qua các chỉ số thống kê ME, MAE, RMSE và các chỉ số FBI, POD, FAR, BIAS, CSI. Kết quả cho thấy, mô hình WRF có xu thế dự báo thiên thấp về lượng ở hầu hết các ngưỡng mưa và hạn dự báo. Tính chung trên phạm vi cả nước, ở cả 3 hạn dự báo, chất lượng dự báo mưa định lượng trong hai năm của mô hình WRF với khoảng 30–40% thành công ở ngưỡng có mưa (1 mm/ngày) và giảm dần theo các ngưỡng mưa, đạt khoảng 20% ở ngưỡng mưa vừa (16 mm/ngày) và khoảng 15% ở ngưỡng mưa to (50 mm/ngày) và chất lượng dự báo không tốt ở hạn dự báo 72h. Kết quả dự báo về diện cho thấy, mô hình dự báo diện mưa lớn hơn thực tế ở ngưỡng mưa nhỏ nhưng lại dự báo nhỏ hơn so với thực tế ở ngưỡng mưa vừa và mưa to ở cả 3 hạn dự báo.

**Từ khóa:** Mô hình WRF; Dự báo mưa định lượng; Việt Nam.

### 1. Giới thiệu

Trong lịch sử phát triển của dự báo thời tiết nghiệp vụ cho thấy có ba phương pháp chính được sử dụng để dự báo định lượng mưa, đặc biệt mưa lớn bao gồm: (1) Phương pháp syn-ôp, (2) Phương pháp số trị và (3) Phương pháp thống kê (truyền thống và thống kê hiện đại trong bối cảnh dữ liệu lớn và trí tuệ nhân tạo (AI)). Trong đó, phương pháp dự báo số trị được đặc biệt quan tâm trong vài thập kỷ gần đây, nhờ khả năng dự báo định lượng mưa chi tiết theo không gian và thời gian. Trong rất nhiều các mô hình số trị quy mô khu vực được phát triển và ứng dụng, mô hình WRF là một trong những mô hình được cộng đồng khoa học phát triển theo hướng đa dạng tùy chọn. WRF là một trong những hệ thống mô hình mở được hỗ trợ một cách đầy đủ nhất hiện nay và mô hình WRF được ứng dụng một cách rộng rãi trong nghiên cứu và nghiệp vụ. Với việc đa dạng trong việc lựa chọn các sơ đồ vật lý, sơ đồ mây, lớp biên hành tinh luôn được cập nhật trong mô hình WRF, qua đó, cho phép các nghiên cứu thử nghiệm một cách dễ dàng cho từng vùng địa phương khác nhau trên thế giới [1]. Bên cạnh đó mô hình WRF có các biến thể rất đa dạng như WRF–DA đồng hóa biến phân 3 chiều (3D–Var), 4 chiều (4D–Var) và các biến thể lọc Kalman tổ hợp (EnKF) [2–4], đồng hóa cập nhật nhanh dữ liệu quan trắc truyền thống và phi truyền thống RUC/RAP [5–6]. Mô hình WRF–Hydro được nghiên cứu ứng dụng trong các bài toán dự báo thủy văn, đặc biệt là dự báo ngập

lục đô thị. Hiện nay, mô hình WRF đang được sử dụng rộng rãi trong dự báo thời tiết nghiệp vụ cũng như trong nghiên cứu ở trên 150 tổ chức khoa học về khí quyển trên thế giới và cũng được nhiều quốc gia trên thế giới, như tại Trung tâm dự báo Môi trường Hoa Kỳ–NCEP (từ năm 2004) và Cơ quan khí tượng hàng không Hoa Kỳ–AFWA (từ tháng 7/2006), tại Cơ quan khí tượng Hàn Quốc–KMA (2006), tại Ấn Độ, Đài Loan và Israel (từ năm 2007).

Tại Việt Nam, cho đến nay dự báo mưa bằng mô hình số khu vực đã được nghiên cứu phát triển và ứng dụng từ thập niên 2000 [7–22]. Hiện nay, mô hình như WRF và các sản phẩm mô hình toàn cầu được sử dụng nghiệp vụ hoặc bán nghiệp vụ dự báo mưa cho nước ta. Tuy nhiên, mặc dù các hệ thống mô hình số trị đã có những bước tiến vượt bậc nhưng vẫn đề dự báo mưa của mô hình số trị vẫn chứa đựng nhiều sai số, và việc ứng dụng trực tiếp giá trị mưa định lượng dự báo từ mô hình số trên các khu vực nhiệt đới và gió mùa còn hạn chế [23]. Trong các hiện tượng cực đoan, mưa lớn được liệt vào hàng các hiện tượng thời tiết khó dự báo nhất. Trong nước, cơ bản có nhiều đánh giá kỹ năng dự báo mưa của mô hình WRF cho từng khu vực địa lý và hình thế gây mưa khác nhau cho thấy rằng về kỹ năng dự báo lượng mưa của mô hình WRF thường thiên cao hơn so với lượng mưa thực tế đo được cả về diện mưa và lượng mưa và chỉ ra rằng các mô hình có kỹ năng trung bình khoảng 30–40% ở ngưỡng có mưa và giảm dần ở ngưỡng mưa vừa với chất lượng khoảng 15–20% và gần như không có kỹ năng ở ngưỡng trên 50mm/ngày [24–27]. Các nghiên cứu này cũng đã đánh giá riêng rẽ cho các vùng địa lý nước ta Bắc Bộ, Nam Bộ và Trung Bộ với các tháng mùa mưa và các hình thế gây mưa khác nhau, chưa đánh giá đối với cả nước và tập mẫu nghiệp vụ.

Nhìn chung các nghiên cứu và đánh giá kỹ năng dự báo mưa cho Việt Nam về cơ bản cho từng vùng địa lý khác nhau, hình thế cụ thể khác nhau và mang tính thử nghiệm thay vì đánh giá ở chế độ nghiệp vụ. Gần đây nhất, Dư Đức Tiến và cộng sự đã nghiên cứu đã đánh giá kỹ năng dự báo mưa nghiệp vụ đối với mô hình dự báo toàn cầu GFS (*Global Forecast System*), mô hình dự báo phổ toàn cầu của Cơ quan khí tượng GSM và khu vực WRF trong giai đoạn 2010–2014 tại Trung tâm dự báo khí tượng thủy văn Quốc gia thấy rằng ngưỡng mưa nhỏ trên 16mm/ngày các mô hình có kỹ năng rất thấp [19].

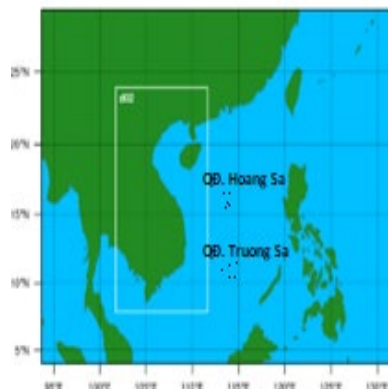
Để cung cấp thông tin về kỹ năng dự báo mưa bằng mô hình WRF ở chế độ nghiệp vụ, bài báo này sẽ trình bày kết quả đánh giá chất lượng dự báo mưa định lượng của mô hình WRF cho Việt Nam trong hai năm 2019–2020 tại Viện Khoa học Khí tượng Thủy văn và Biến đổi khí hậu (sau đây xin được gọi tắt là Viện).

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

### 2.1. Số liệu sử dụng

Số liệu quan trắc: Số liệu quan trắc lượng mưa ngày được tính từ 19h hôm trước đến 19h ngày hôm sau của 150 trạm khí tượng trên khu vực Việt Nam.

Số liệu mô hình: Số liệu mưa dự báo từ mô hình được trích xuất trực tiếp từ sản phẩm mô hình GFS 0,5°×0,5° độ kinh vĩ và từ sản phẩm dự báo động lực bằng mô hình WRF với độ phân giải 9 km đối với miền tính thứ 2 bao phủ toàn bộ Việt Nam (Hình 1) với điều kiện ban đầu và điều kiện biên của GFS nêu trên. Được kế thừa từ các nghiên cứu của Viện và các thử nghiệm khác, hệ thống dự báo nghiệp vụ WRF tại Viện từ 2016 được cấu hình cụ thể như sau: Sơ đồ vi vật lý mây Goddard; Sơ đồ tham số hóa đối lưu Kain–Fritsch; sơ đồ bức xạ sóng ngắn/ dài RRTMG; Sơ đồ lớp biên hành tinh Yonsei và 37 mực thẳng đứng. Bộ số liệu mưa dự



**Hình 1.** Miền tính dự báo mưa của WRF 27km (ngoài) và miền 9km (trong).

báo trích xuất cho 150 trạm trên cả nước được sử dụng đánh giá so sánh các kỹ năng dự báo với số liệu quan trắc. Trong bài báo này cũng so sánh kỹ năng dự báo mưa của mô hình WRF với mô hình GFS trên cơ sở sử dụng các chỉ số được trình bày ở phần dưới đây.

## 2.2. Phương pháp đánh giá sai số

Đánh giá sai số trung bình:

$$\text{Sai số trung bình (ME): } ME = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (F_i - O_i)$$

$$\text{Sai số MAE: } MAE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |F_i - O_i|$$

$$\text{Sai số RMSE: } RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (F_i - O_i)^2}$$

$$\text{Sai số tương đối (RE): } RE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{(F_i - O_i)}{O_i} \times 100$$

Trong đó F là dự báo; O là quan trắc; N là tổng số trường hợp

Đánh giá dự báo pha:

Hits (H) = dự báo có + quan trắc có

False alarms (F) = dự báo có + quan trắc không

Misses (M) = dự báo không + quan trắc có

$$\text{- Chỉ số FBI (Bias score): } FBI = \frac{H+F}{H+M}$$

$$\text{- Chỉ số xác suất phát hiện POD: } POD = \frac{H}{H+M}$$

$$\text{- Chỉ số FAR: } FAR = \frac{F}{H+F}$$

$$\text{- Điểm số thành công CSI: } CSI = TS = \frac{H}{M+F+H}$$

- Giảm đồ hiệu suất (*performance diagram*) tổ hợp 4 chỉ số về pha cùng một lúc như POD (trục tung), 1-FAR (trục hoành), FBI/BS (đường chéo nét đứt) và chỉ số CSI/TS (phần đường cong được đổ màu).

## 3. Kết quả và thảo luận

### 3.1. Đánh giá kết quả dự báo mưa của mô hình WRF năm 2019 và 2020

Dưới đây là kết quả đánh giá dự báo mưa định lượng hạn 24–72h của mô hình WRF trong hai năm 2019 và 2020 qua các chỉ số thống kê ME, MAE, RMSE và chỉ số dự báo pha FBI, POD, FAR, CSI.

a) Đánh giá sai số trung bình

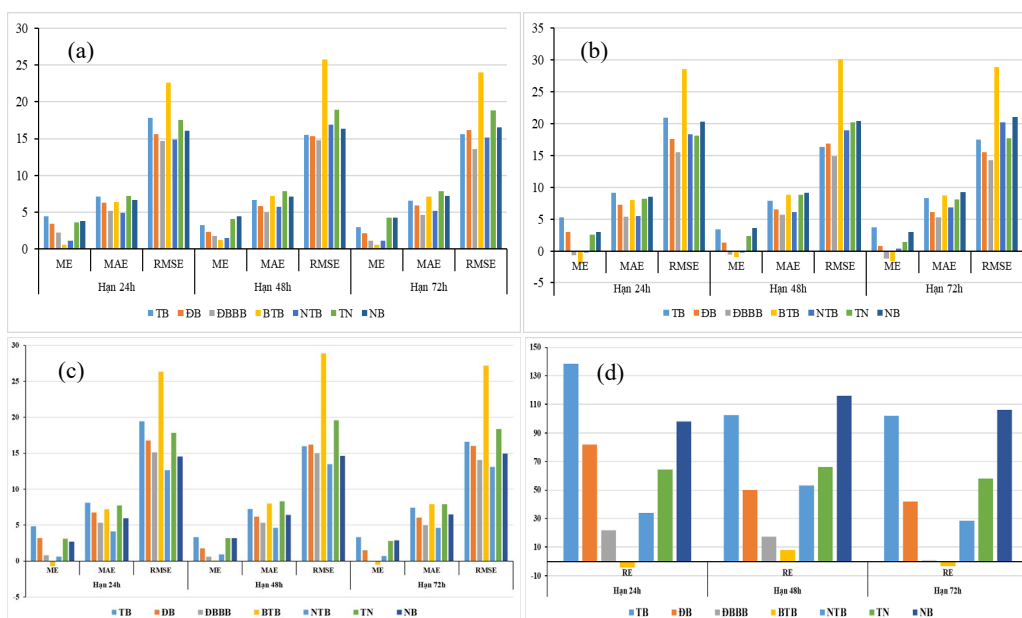
Trong năm 2019, Viện thực hiện 353 bản tin dự báo nghiệp vụ hay tương đương với dung lượng mẫu 353 cho mỗi hạn dự báo 24h, 48h, 72h ứng với các ngưỡng có mưa (1 mm), mưa vừa (16 mm/ngày) và mưa to (50 mm/ngày) thấy rằng mô hình WRF có xu hướng dự báo lượng mưa lớn hơn thực tế trên phạm vi cả nước (Hình 2a). Đối với cả 3 hạn dự báo, mô hình dự báo mưa tốt nhất cho khu vực Đồng Bằng Bắc Bộ (ĐBBB), Nam Trung Bộ (NTB). Cụ thể, đối với hạn 24h, chỉ số MAE trên cả 7 vùng khí hậu có giá trị từ 4,5–7,5 mm, nhỏ nhất ở ĐBBB, NTB và lớn nhất ở Tây Nguyên (TN); chỉ số RMSE có giá trị từ 14,5 đến 22,6 mm. Đối với hạn 48h, sai số MAE có giá trị từ 5,0–8,0 mm, nhỏ nhất ở ĐBBB, NTB và lớn nhất ở TN; chỉ số RMSE có giá trị từ 14,5 đến 26,0 mm. Đối với hạn 72h, sai số MAE có giá trị từ 4,5–8,0 mm, nhỏ nhất ở ĐBBB, NTB và lớn nhất ở TN; chỉ số RMSE từ 13,5–24,0 mm.

Trong năm 2020 (Hình 2b), với dung lượng mẫu 346 cho mỗi hạn dự báo cho kết quả dự báo mưa khá tốt tại các khu vực TB, ĐB, TN và NB với chỉ số ME có giá trị dương trên cả 4 vùng khí hậu chứng tỏ mô hình có xu hướng dự báo lượng mưa lớn hơn so với thực tế. Riêng đối với khu vực ĐBB, BTB, NTB mô hình có xu hướng dự báo lượng mưa thấp hơn so với thực tế đối với cả 3 hạn dự báo. Đối với cả 3 hạn dự báo, mô hình dự báo mưa tốt nhất cho khu vực ĐBBB, NTB. Riêng hạn 72h, mô hình dự báo mưa tốt nhất cho khu vực ĐBBB,

ĐB. Cụ thể, đối với hạn 24h, chỉ số MAE trên cả 7 vùng khí hậu có giá trị từ 5,4–9,1 mm, nhỏ nhất ở ĐBBB, NTB và lớn nhất ở Tây Bắc (TB); chỉ số RMSE có giá trị từ 17,6 đến 28,6 mm. Đối với hạn 48h, sai số MAE có giá trị từ 6,0–8,8 mm, nhỏ nhất ở ĐBBB, NTB và lớn nhất ở BTB; chỉ số RMSE có giá trị từ 14,8 đến 30,0 mm. Đối với hạn 72h, sai số MAE có giá trị từ 5,3–9,2 mm, nhỏ nhất ở ĐBBB, ĐB và lớn nhất ở NB; chỉ số RMSE từ 14,3–29,0 mm.

Tính chung trên phạm vi cả nước, ở cả 3 hạn dự báo, sai số dự báo ME trong năm 2019 đều lớn hơn so với năm 2020, chênh lệch rõ nhất ở hạn dự báo 72h. Điều này có thể đến từ việc các hình thế sự kiện gây mưa trong 2 năm khác nhau và năm 2020 có thể mô hình nắm bắt ngẫu nhiên tốt hơn năm 2020 và một nguyên nhân quan trọng là từ tháng 6/2019 mô hình làm điều kiện biên và ban đầu GFS đã chuyển sang mô hình GFS FV3 tốt hơn (Sai phân hữu hạn thể tích khối (*Finite-Volume Cubed-Sphere Dynamical Core*) (<https://www.gfdl.noaa.gov/fv3/>).

Hình 2c cho thấy rằng trong 2 năm 2019–2020, mô hình dự báo định lượng tốt nhất ở khu vực BTB với sai số tương đối RE cho cả ba hạn dự báo tương ứng -4,4%, 8% và -3,5%; tiếp đến ĐBBB, NTB và khu ĐB, TN khoảng 50–60%; đặc biệt sai số lên đến hơn 100% ở TB và NB. Khu vực ĐBBB hạn 72h mô hình dự báo tốt hơn hạn 24h và 48h. Trong năm 2020 mô hình có sai số trung bình ME âm ở BTB.



**Hình 2.** Các chỉ số đánh giá dự báo ME, MAE, RMSE cho 7 vùng khí hậu năm 2019 (a), 2020 (b) và gộp 2019–2020 (c) gồm cả RE (%) (d).

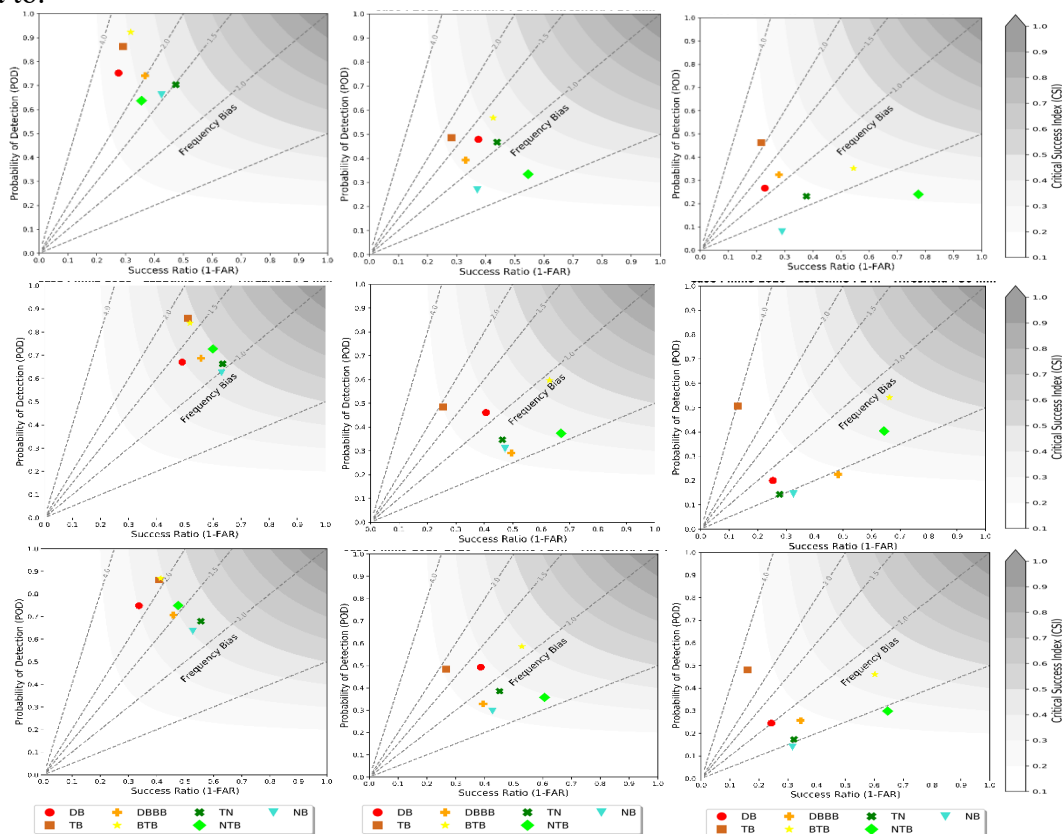
**b) Đánh giá dự báo pha**

Hình 3, 4, 5 biểu diễn các chỉ số đánh giá mưa hạn dự báo 24h, 48h, 72h cho 7 vùng khí hậu trong năm 2019 và 2020. Trong năm 2019, đối với cả 3 ngưỡng mưa, hầu hết chỉ số FBI ở các vùng đều lớn hơn 1, tức là diện mưa dự báo thường lớn hơn so với diện mưa thực tế. Riêng khu vực NTB, BTB, mô hình nhìn chung dự báo diện mưa thấp hơn so với thực tế ở ngưỡng mưa to với giá trị FBI nhỏ hơn 1.

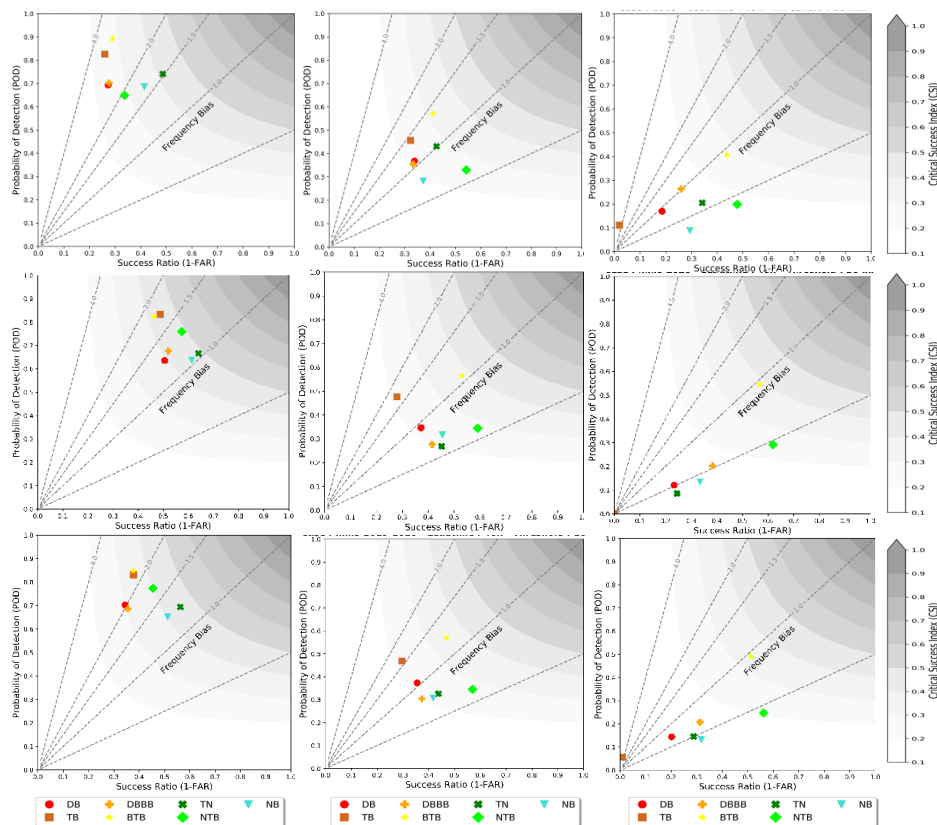
Về chỉ số POD, ở cả 3 hạn dự báo đối với ngưỡng mưa nhỏ, mưa vừa, mưa to cho thấy trên các vùng khí hậu, kỹ năng của mô hình phát hiện đúng hiện tượng không tốt ở ngưỡng mưa vừa ( $POD \leq 0,6$ ), mưa to ( $POD \leq 0,6$ ) nhưng lại khá tốt với ngưỡng mưa nhỏ ( $0,6 \leq POD \leq 0,9$ ). Đặc biệt, hạn dự báo càng xa, kỹ năng phát hiện chính xác hiện tượng mưa to của mô hình càng kém với chỉ số POD ở hạn 24h, 48h, 72h lần lượt là: 0,1–0,5; 0,1–0,4 và 0,1–0,3. Có thể thấy, kỹ năng phát hiện đúng hiện tượng mưa to của mô hình gần như bằng không ở hạn dự báo 72h.

Về tỷ lệ dự báo không của mô hình (FAR) có thể thấy trong hầu hết các trường hợp ở các vùng khí hậu và các hạn dự báo khác nhau, chỉ số FAR tăng theo ngưỡng mưa. Ở hạn 24h, chỉ số FAR giảm theo ngưỡng mưa ở khu vực Bắc Trung Bộ và Nam Trung Bộ, hay nói cách khác, mô hình dự báo không thấp nhất ở ngưỡng mưa to và cao nhất ở ngưỡng mưa nhỏ ở 2 khu vực này. Kết quả về các chỉ số CSI cũng cho thấy, ngưỡng mưa càng lớn thì điểm số thành công càng giảm trong hầu hết các trường hợp. Đối với ngưỡng mưa nhỏ, điểm số thành công CSI từ 0,2–0,3 đối với cả 3 hạn dự báo. Đối với ngưỡng mưa vừa, chỉ số CSI từ 0,2–0,3 đối với hạn 24h, 48h; từ 0,1–0,3 đối với hạn 72h. Đối với ngưỡng mưa to, điểm số thành công CSI ở cả 3 hạn dự báo đều rất thấp, từ 0–0,3 đối với hạn 24h, 48h và từ 0–0,2 đối với hạn 72h.

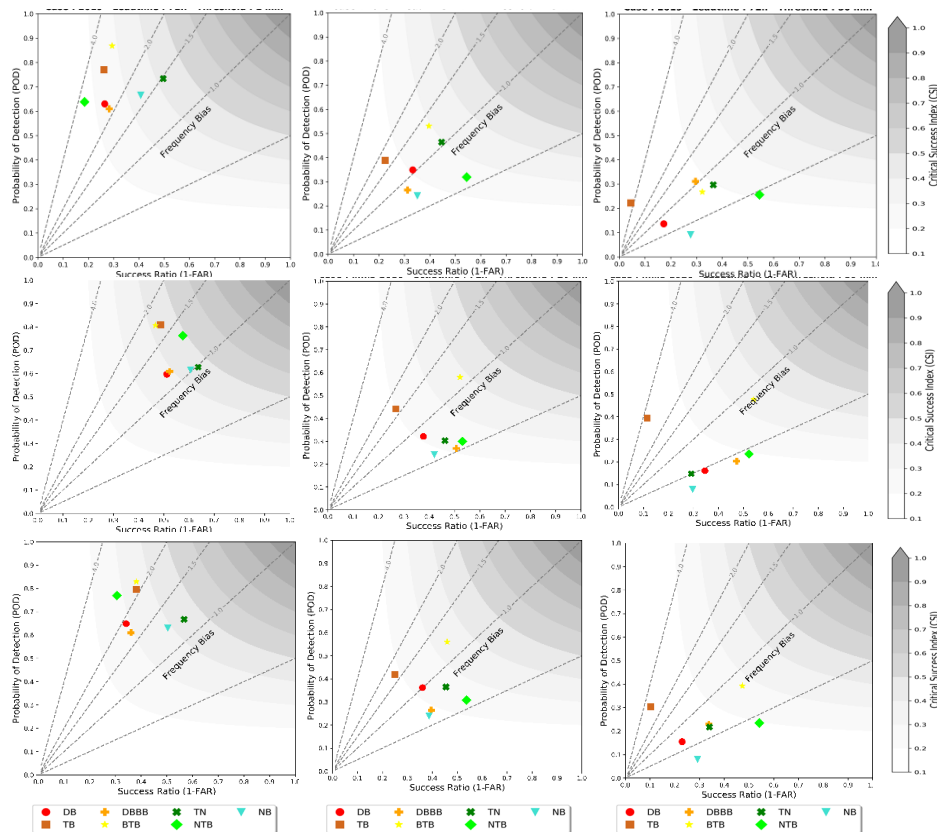
Năm 2020, chỉ số FBI trên các vùng lớn hơn 1 ở cả 3 hạn dự báo trong phần lớn các trường hợp, tức là diện mưa dự báo thường lớn hơn so với diện mưa thực tế; tuy nhiên chỉ số FBI nhỏ hơn 1 trong một số trường hợp ở ngưỡng mưa vừa và mưa lớn. Ở ngưỡng mưa vừa ứng với hạn dự báo 48h, chỉ số FBI nhỏ hơn 1 ở khu vực ĐB, ĐBBB, NTB, TN. Ở ngưỡng mưa to, chỉ số FBI nhỏ hơn 1 ở khu vực BTB, NTB ứng với hạn 24h; ở các khu vực ĐB, ĐBBB, BTB, NTB ứng với hạn 72h. Đặc biệt, mô hình dự báo rất tốt diện mưa cho các khu vực ĐB, ĐBB, TN, NB ở ngưỡng mưa nhỏ với giá trị FBI dao động quanh ngưỡng 1. Về chỉ số POD, ở cả 3 hạn dự báo đối với ngưỡng mưa nhỏ, mưa vừa, mưa to cho thấy trên các vùng khí hậu, kỹ năng của mô hình phát hiện đúng hiện tượng không tốt ở ngưỡng mưa vừa ( $POD \leq 0,6$ ), mưa to ( $POD \leq 0,55$ ) nhưng lại khá tốt với ngưỡng mưa nhỏ ( $0,6 \leq POD < 0,9$ ). Ở cả 3 hạn dự báo, kỹ năng phát hiện đúng hiện tượng của mô hình rất tốt ở vùng TB, BTB đối với ngưỡng mưa nhỏ với chỉ số POD lớn hơn 0,8; và gần như bằng không ở các vùng ĐB, TN, NB đối với ngưỡng mưa to. Về tỷ lệ dự báo không của mô hình (FAR) có thể thấy ở cả 3 hạn dự báo, chỉ số FAR tăng theo ngưỡng mưa trên hầu hết các vùng (trừ Bắc Trung Bộ) hay nói cách khác mô hình dự báo không thấp nhất ở ngưỡng mưa nhỏ và cao nhất ở ngưỡng mưa to.



**Hình 3.** Các chỉ số đánh giá mưa hạn 24h cho 7 vùng khí hậu với các ngưỡng 1mm (trái), 16 mm (giữa), 50 mm (phải) cho năm 2019 (hàng trên cùng), 2020 (hàng giữa) và gộp 2019–2020 (hàng dưới cùng) của WRF.



**Hình 4.** Các chỉ số đánh giá mưa hạn 48h cho 7 vùng khí hậu với các ngưỡng 1mm (trái), 16mm (giữa), 50mm (phải) cho năm 2019 (hàng trên cùng), 2020 (hàng giữa) và gộp 2019–2020 (hàng dưới cùng) của WRF.



**Hình 5.** Các chỉ số đánh giá mưa hạn 72h cho 7 vùng khí hậu với các ngưỡng 1mm (trái), 16mm (giữa), 50mm (phải) cho năm 2019 (hàng trên cùng), 2020 (hàng giữa) và gộp 2019–2020 (hàng dưới cùng) của WRF.



Cụ thể: Ở hạn dự báo 24h, chỉ số FAR từ 0,35–0,5 ở ngưỡng mưa nhỏ, từ 0,3–0,75 ở ngưỡng mưa vừa và từ 0,3–0,87 ở ngưỡng mưa to. Ở hạn 48h, chỉ số FAR từ 0,35–0,55 ở ngưỡng mưa nhỏ, từ 0,4–0,72 ở ngưỡng mưa vừa và từ 0,4–1,0 ở ngưỡng mưa to. Ở hạn 72h, FAR từ 0,35–0,5 ở ngưỡng mưa nhỏ, từ 0,45–0,75 ở ngưỡng mưa vừa và từ 0,45–0,9 ở ngưỡng mưa to.

Kết quả về các chỉ số CSI cho thấy, ngưỡng mưa càng lớn thì điểm số thành công càng giảm trong hầu hết các trường hợp. Đối với ngưỡng mưa nhỏ, điểm số thành công CSI cao nhất ở hạn 24h: CSI từ 0,35–0,5 ở hạn 24h và từ 0,3 đến 0,45 ở các hạn 48h, 72h. Đối với ngưỡng mưa vừa, chỉ số CSI từ 0,15–0,45 ở với hạn 24h, từ 0,15–0,4 ở hạn 48h và từ 0,1–0,4 ở hạn 72h. Đối với ngưỡng mưa to, điểm số thành công CSI ở cả 3 hạn dự báo đều rất thấp, từ 0,1–0,4 (Bảng 1).

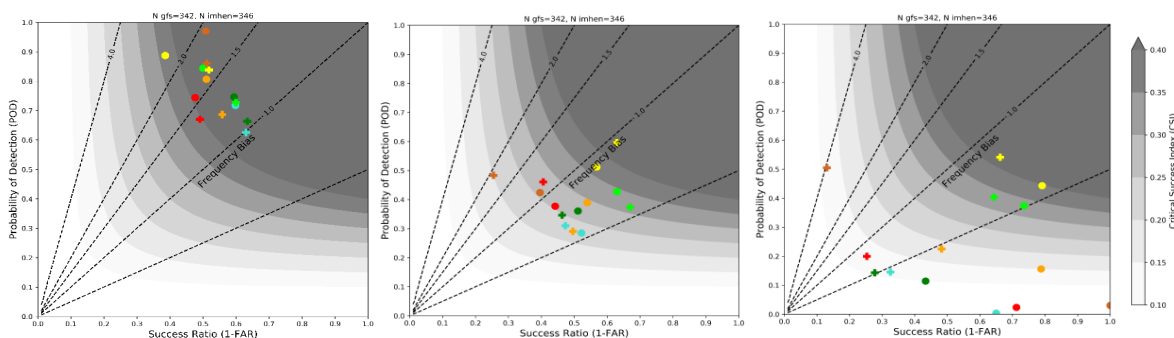
**Bảng 1.** Các chỉ số đánh giá về pha dự báo mưa hạn 24h, 48h, 72h cho Việt Nam năm 2019 và 2020 đối với 3 ngưỡng mưa.

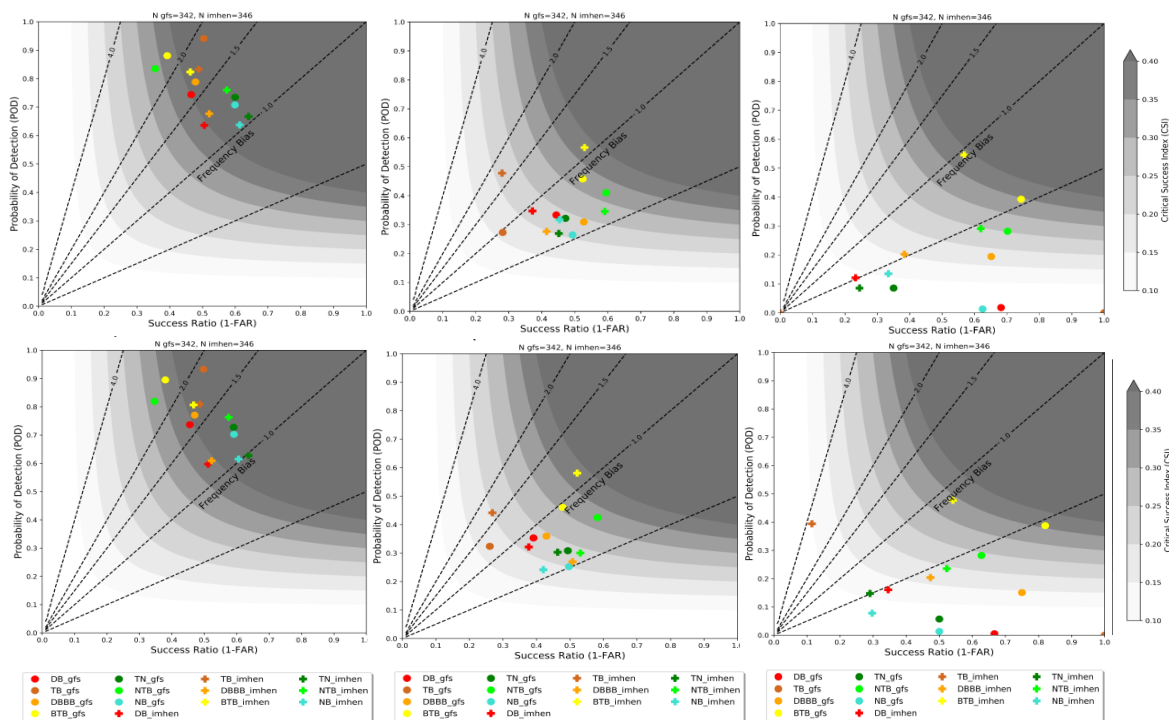
Hạn/CS đánh giá	> 1mm				> 16mm				> 50mm				
	FBI	POD	FAR	CSI	FBI	POD	FAR	CSI	FBI	POD	FAR	CSI	
24h	2019	2,66	0,75	0,64	<b>0,25</b>	1,58	0,43	0,60	<b>0,20</b>	2,07	0,28	0,61	<b>0,14</b>
	2020	1,44	0,72	0,44	<b>0,41</b>	1,11	0,41	0,52	<b>0,24</b>	1,68	0,31	0,60	<b>0,16</b>
	2019–2020	1,93	0,75	0,55	<b>0,33</b>	1,30	0,42	0,56	<b>0,22</b>	1,67	0,29	0,62	<b>0,15</b>
48h	2019	2,76	0,74	0,67	0,24	1,58	0,40	0,61	0,19	1,91	0,21	0,71	0,10
	2020	1,50	0,72	0,46	0,39	1,10	0,37	0,56	0,21	1,51	0,20	0,66	0,13
	2019–2020	2,00	0,74	0,57	0,32	1,27	0,38	0,58	0,20	1,56	0,20	0,68	0,11
72h	2019	2,63	0,70	0,69	<b>0,23</b>	1,51	0,37	0,63	0,17	1,90	0,23	0,71	<b>0,10</b>
	2020	1,44	0,69	0,46	<b>0,38</b>	1,06	0,35	0,56	0,20	1,47	0,24	0,63	<b>0,13</b>
	2019–2020	1,91	0,71	0,59	<b>0,31</b>	1,23	0,36	0,59	0,19	1,52	0,23	0,67	<b>0,12</b>

Bảng 1 thấy rằng kỹ năng dự báo mưa của mô hình WRF với khoảng 30–40% thành công ở ngưỡng có mưa và giảm dần khoảng 15–20% ở ngưỡng mưa vừa và khoảng 10–12% ở ngưỡng mưa to và hạn càng xa thì kỹ năng càng giảm. Về cơ bản kỹ năng dự báo mưa định lượng nghiệp vụ trên lãnh thổ của Việt Nam bằng mô hình WRF tại Viện ngang bằng với các đánh giá trước đây, đặc biệt là nghiên cứu [19] và kỹ năng dự báo của mô hình WRF năm 2020 tốt hơn 2019.

### 3.2. So sánh kết quả mưa của mô hình WRF–GFS trong năm 2020

Theo phân tích đánh giá ở trên, kỹ năng dự báo của mô hình WRF năm 2020 tốt hơn 2019. Tuy nhiên để có thêm thông tin về việc mô hình WRF có chi tiết hóa tốt hơn so với mô hình GFS trong việc dự báo mưa nên trong mục này sẽ so sánh kỹ năng của GFS và WRF trong dự báo định lượng mưa cho Việt Nam tại Viện trong năm 2020. Dưới đây là phân đánh giá, so sánh về chất lượng dự báo của hai mô hình GFS và WRF qua các chỉ số pha trên cơ sở tính trung bình cả nước.





**Hình 6.** Các chỉ số đánh giá mưa hạn 24–72h của mô hình GFS và WRF cho 7 vùng khí hậu năm 2020 với 3 ngưỡng mưa.

Ở hạn dự báo 24h cho thấy, đối với ngưỡng mưa nhỏ, cả hai mô hình GFS và WRF đều dự báo diện mưa lớn hơn so với thực tế. Đối với ngưỡng mưa vừa và mưa to GFS dự báo diện mưa nhỏ hơn thực tế, trong khi WRF thì ngược lại, điều này có chứng tỏ vai trò tham số mưa đối lưu trong WRF đã khếch đại diện mưa lên so với trường đầu vào từ GFS. Về độ chính xác mô hình, cho thấy GFS tốt hơn WRF ở ngưỡng mưa nhỏ, xấp xỉ ở ngưỡng mưa vừa và kém WRF ở ngưỡng mưa lớn. Đặc biệt mô hình WRF có kỹ năng hơn ở khu vực nhỏ và địa hình phức tạp như Trung Bộ. Việc cải thiện ở kỹ năng ở ngưỡng mưa lớn tuy không thật sự nhiều về trị số nhưng cho ta thấy giá trị và kỹ năng dự báo mưa lớn hay mưa cực trị trên của WRF tốt hơn sử dụng mưa trực tiếp từ GFS, đồng thời cho ta thấy rằng việc sử dụng mô hình khu vực WRF độ phân giải cao đã mang lại lợi ích đáng kể. Tỷ lệ dự báo không của GFS ở các ngưỡng mưa vừa và nhỏ tương đương WRF tuy nhiên lại dự báo không hơn WRF ở ngưỡng mưa lớn. Chỉ số thành công của hai mô hình đối với các ngưỡng mưa là tương đương nhau, và đều xa với chỉ số hoàn hảo.

Ở hạn dự báo 48h, và hạn dự báo 72h, cũng tương tự như các hạn dự báo 24h. Tóm lại, ở cả 3 hạn dự báo 24h, 48h, 72h đều cho thấy cả hai mô hình đều dự báo diện mưa lớn hơn thực tế ở ngưỡng mưa nhỏ, GFS dự báo diện mưa nhỏ hơn thực tế ở ngưỡng mưa vừa và mưa to, WRF ngược lại. GFS và WRF dự báo khá tốt ở ngưỡng mưa nhỏ, GFS dự báo không tốt ở ngưỡng mưa vừa, mưa to và đều kém đi khi ngưỡng mưa tăng lên trong khi đó WRF có cải thiện hơn. Tỷ lệ dự báo không của hai mô hình tương đương nhau ở ngưỡng mưa nhỏ, mưa vừa; ở ngưỡng mưa to GFS cho tỷ lệ không thấp hơn. Chỉ số thành công của hai mô hình đối với cả 3 ngưỡng mưa là tương đương nhau, và đều thấp hơn nhiều so với giá trị hoàn hảo.

#### 4. Kết luận

Tính chung trên phạm vi cả nước, ở cả 3 hạn dự báo, chất lượng dự báo mưa định lượng của mô hình WRF đạt khoảng 30–40% thành công ở ngưỡng có mưa, đạt khoảng trung bình 20% ở ngưỡng mưa vừa và khoảng 15% ở ngưỡng mưa to và hạn càng xa thì kỹ năng càng giảm. Đối với hạn mưa to đến rất to mô hình WRF không có kỹ năng. Mô hình dự báo định lượng tốt nhất ở khu vực BTB, tiếp đến ĐBBB, NTB và khu ĐB, TN và không tốt ở TB và NB, riêng khu vực ĐBBB hạn 72h mô hình dự báo tốt hơn hạn 24h và 48h. So sánh về kỹ

năng dự báo mưa định lượng nghiệp vụ trên lãnh thổ của Việt Nam thì mô hình WRF tại Viện ngang bằng với các đánh giá trước đây, đặc biệt là của Du Đức Tiến 2016. Kỹ năng dự báo của mô hình WRF năm 2020 tốt hơn 2019, điều này đến từ nhiều nguyên nhân nhưng nguyên nhân chủ đạo có thể là sự thay đổi chất lượng số liệu đầu vào GFS.

So sánh kỹ năng dự báo mưa ở hạn dự báo 24h cho thấy, đối với ngưỡng mưa nhỏ, cả hai mô hình GFS và WRF đều dự báo diện mưa lớn hơn so với thực tế. Đối với ngưỡng mưa vừa và mưa to GFS dự báo diện mưa nhỏ hơn thực tế, trong khi WRF thì ngược lại, điều này có chứng tỏ vai trò tham số mưa đối lưu trong WRF đã khếch đại diện mưa lên so với trường đầu vào từ GFS. Đặc biệt mô hình WRF có kỹ năng hơn ở khu vực nhỏ và địa hình phức tạp như Trung Bộ. Về độ chính xác mô hình, cho thấy GFS tốt hơn WRF ở ngưỡng mưa nhỏ, xấp xỉ ở ngưỡng mưa vừa và kém WRF ở ngưỡng mưa lớn. Việc cải thiện ở kỹ năng ở ngưỡng mưa lớn tuy không thật sự nhiều về trị số nhưng cho ta thấy giá trị và kỹ năng dự báo mưa lớn hay mưa cực trị trên của WRF tốt hơn sử dụng mưa trực tiếp từ GFS, đồng thời cho ta thấy rằng việc sử dụng mô hình khu vực WRF độ phân giải cao đã mang lại lợi ích đáng kể.

Đối với cả 3 hạn dự báo 24h, 48h, 72h đều cho thấy cả mô hình WRF và GFS đều dự báo diện mưa lớn hơn thực tế ở ngưỡng mưa nhỏ, GFS dự báo diện mưa nhỏ hơn thực tế ở ngưỡng mưa vừa và mưa to trong khi WRF cho kết quả ngược lại. Ở ngưỡng mưa nhỏ mô hình WRF và mô hình GFS cho kết quả dự báo gần giống nhau, nhưng ở ngưỡng mưa vừa, mưa to thì mô hình WRF dự báo tốt hơn so với mô hình GFS. Chỉ số thành công của hai mô hình đối với cả 3 ngưỡng mưa là tương đương nhau tuy nhiên WRF có cải thiện hơn so với GFS nhưng không nhiều. Tuy nhiên mô hình WRF có kỹ năng hơn ở khu vực nhỏ và địa hình phức tạp như Trung Bộ.

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

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

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

#### **Tài liệu tham khảo**

1. Zittis, G.; Hadjinicolaou, P.; Lelieveld, J. Comparison of WRF Model Physics Parameterizations over, 2014.
2. Skamarock, W.C.; Klemp, J.B.; Dudhia, J.; Gill, D.O.; Barker, D.M.; Wang, W.; Powers, J.G. A description of the advanced research WRF version 2. NCAR Tech. Note NCAR/TN-468+STR, 2005, pp. 88.
3. Barker, D.M.; Sugimoto, S.; Crook, N.A.; Sun, J.; Xiao, Q. An Examination of WRF 3DVAR Radar Data Assimilation on Its Capability in Retrieving Unobserved Variables and Forecasting Precipitation through Observing System Simulation Experiments. *Mon. Wea. Rev.* **2009**, *137*, 4011–4029.
4. Wang, X.; Parrish, D.; Kleist, D.; Whitaker, J. GSI 3DVar-Based Ensemble-Variational Hybrid Data Assimilation for NCEP Global Forecast System: Single-Resolution Experiments. *Mon. Wea. Rev.* **2013**, *141*, 4098–4117.
5. Benjamin, S.G.; Dévényi, D.; Weygandt, S.S.; Brundage, K.J.; Brown, J.M.; Grell, G.A.; Kim, D.; Schwartz, B.E.; Smirnova, T.G.; Smith, T.L.; Manikin, G.S. An Hourly Assimilation Forecast Cycle: The Ruc. *Mon. Wea. Rev.* **2014**, *132*, 495–518.
6. Benjamin, et al. A North American Hourly Assimilation and Model Forecast Cycle: The Rapid Refresh. *Mon. Wea. Rev.* **2016**, *144*, 1669–1694. <https://doi.org/10.1175/mwr-d-15-0242.1>.

7. Tiến, T.T và cs. Xây dựng mô hình dự báo các trường khí tượng thủy văn vùng biển Đông. Báo cáo tổng kết đề tài cấp nhà nước KC.09.04, 2014.
8. Tiến, T.T. Xây dựng công nghệ dự báo liên hoàn bão, nước dâng và sóng ở Việt Nam bằng mô hình số với thời gian dự báo trước 3 ngày. Báo cáo tổng kết đề tài cấp nhà nước KC.08.05, 2010.
9. Tiến, T.T. Xây dựng qui trình công nghệ dự báo quỹ đạo và cường độ bão trên khu vực Tây Bắc Thái Bình Dương và Biển Đông hạn 5 ngày. Báo cáo tổng kết đề tài cấp nhà nước KC.08.05, 2014.
10. Xin, K.T và cs. Nghiên cứu ứng dụng bộ mô hình số trị khu vực cho dự báo chuyển động của bão ở Việt nam. Báo cáo kết quả thực hiện đề tài KHCN độc lập cấp Nhà nước, Mã số: ĐTDL-02/2000, 2002.
11. Xin, K.T và cs. Nghiên cứu dự báo mưa lớn diện rộng bằng công nghệ hiện đại phục vụ phòng chống lũ lụt ở Việt Nam. Báo cáo kết quả thực hiện đề tài KHCN độc lập cấp Nhà nước, Mã số: ĐTDL-02/2002, 2005.
12. Cường, H.Đ. Nghiên cứu thử nghiệm dự báo mưa lớn ở Việt Nam bằng mô hình MM5. Báo cáo tổng kết đề tài NCKH cấp Bộ TN&MT, 2008.
13. Cường, H.Đ và cs. Nghiên cứu xây dựng hệ thống nghiệp vụ dự báo mưa lớn cho khu vực Bắc Bộ Việt Nam” thuộc Chương trình KC08/16-20, 2016.
14. Đức, L.; Thủy, Đ.L.; Trung, L.H.. Xây dựng trường ẩm cho mô hình HRM từ số liệu vệ tinh địa tĩnh dựa trên phương pháp biến phân ba chiều (3D-VAR) (Phần 2). *Tap chí Khí tượng Thủy văn* **2007**, 558, 43-49.
15. Hòa, V.V và cs. Nghiên cứu ứng dụng dự báo tổ hợp một số trường dự báo bão. Báo cáo tổng kết đề tài NCKH cấp Bộ, 2007.
16. Hằng, V.T.; Xin, K.T. Dự báo mưa lớn khu vực Trung Bộ sử dụng sơ đồ tham số hóa đối lưu Heise trong mô hình HRM. *Tap chí Khí tượng Thủy văn* **2007**, 560, 49-54.
17. Tăng, B.M và cs. Nghiên cứu, thử nghiệm dự báo định lượng mưa từ sản phẩm mô hình HRM và GSM. Báo cáo tổng kết đề tài NCKH cấp Bộ, 2009.
18. Tăng, B.M và cs. Nghiên cứu xây dựng công nghệ dự báo mưa lớn thời hạn 2-3 ngày phục vụ công tác cảnh báo sớm lũ lụt khu vực Trung Bộ Việt Nam. Báo cáo tổng kết đề tài NCKH cấp Nhà nước, 2014.
19. Du, D.T.; Hole, L.R.; Tran, A.D.; Hoang, D.C.; Thuy, N.B. Verification of forecast weather surface variables over Vietnam using the National Numerical Weather Prediction System. *Adv. Meteorol.* **2016**, 8152413, pp. 11.
20. Thăng, V.V.; Anh, V.T.; Thúc, T.D.; Kiên, T.B.; Hiệp, N.V. Đánh giá khả năng dự báo mưa mùa hè của mô hình WRF đối với khu vực Nam Bộ và Nam Tây Nguyên khi có bão trên Biển Đông. *Tap chí Khoa học Biến đổi khí hậu* **2017**, 2(6), 43-51.
21. Thăng, V.V. và cs. Nghiên cứu xây dựng hệ thống nghiệp vụ dự báo định lượng mưa khu vực Nam Bộ và cảnh báo mưa lớn hạn cực ngắn cho Thành phố Hồ Chí Minh, 2020.
22. Dung, N.T.; Toàn, N.T.; Thanh, C. Ứng dụng phần mềm TITAN trong dự báo dông trên khu vực Trung Trung Bộ. *VNU J. Sci.: Earth Environ. Sci.* **2021**, 37(4), 1-8.
23. Kato, T.; Goda, H. Formation and maintenance processes of a stationary band-shaped heavy rainfall observed in Niigata on 4 August 1998. *J. Meteor. Soc. Japan* **2001**, 79, 899-294.
24. Thanh, C. Đánh giá khả năng dự báo mưa cho khu vực Quảng Ngãi thời hạn từ 1 đến 2 ngày. *Tap chí Khoa học: Khoa học Tự nhiên và Công nghệ* **2015**, 31(3S), 231-237.
25. Toàn, N.T và cs. Đánh giá khả năng dự báo mưa lớn của mô hình WRF do hình thể không khí lạnh kết hợp với gió đông trên cao cho khu vực Trung Trung Bộ. *Tap chí Khoa học ĐHQGHN: Các Khoa học Trái đất và Môi trường* **2018**, 34(1S), 132-136.
26. Ngọc, L.A và cs. Đánh giá khả năng dự báo thời tiết của mô hình WRF cho khu vực Nam Bộ. *Tap chí Khí tượng Thủy văn* **2019**, 708, 55-63.

27. Nga, N.T.; Thanh, C.; Hung, M.K.; Tiến, D.Đ. Đánh giá kỹ năng dự báo mưa định lượng từ mô hình quy mô toàn cầu và khu vực phân giải cao cho khu vực Bắc Bộ. *Tap chí Khí tượng Thủy văn* 2021, 730, 79–92.

## **Verification of quantitative rainfall forecast over Vietnam by using the weather research and forecasting model**

**Truong Ba Kien<sup>1</sup>, Pham Thi Thanh Nga<sup>1</sup>, Tran Duy Thuc<sup>1</sup>, Phung Thi My Linh<sup>1</sup>, Vu Van Thang<sup>1\*</sup>**

<sup>1</sup> Vietnam institute of meteorology, Hydrology and Climate change; kien.cbg@gmail.com; pttnga.monre@gmail.com; tranduythuc1@gmail.com; phungmylinh165@gmail.com; vvthang26@gmail.com

**Abstract:** This paper presents the evaluation of the rainfall forecast skill for Vietnam by using the WRF model in the period of 2019–2020. The observed rainfall data of 150 surface meteorological stations are used to verify the skills of the rainfall forecast at the 24h, 48h, and 72h leading–times based on using the ME, MAE, RMSE and FBI, POD, FAR, BIAS, CSI indices. The results show that the WRF model tends to under–forecast in most rainfall thresholds and leadtimes. On the national–wide scale, at all forecasting leadtimes, the WRF model's skill is about 30–40% for the light rainfall threshold (1 mm/day), 20%, and 15 % at the moderate rainfall threshold (16 mm/day) and heavy threshold (50mm/day), respectively. There is not much–improved forecasting skill at the 72h leadtime. The WRF model tends to be overforecasting at the light rainfall threshold for the spatial distribution rainfall forecast but underforecasting for other thresholds at all 3 forecasting leadtimes.

**Keywords:** WRF model; Quantitative rainfall forecast; Vietnam.

Bài báo khoa học

## Nghiên cứu thực nghiệm, đánh giá sự thay đổi mực nước trong kênh khi mô phỏng nhám với hạt có đường kính 5÷10 mm

Lê Nguyễn Trung<sup>1,\*</sup>

<sup>1</sup> Viện Năng lượng, Bộ Công Thương, Số 6 Tôn Thất Tùng, Đống Đa, Hà Nội;  
Lenguyentrung80@gmail.com;

\*Tác giả liên hệ: Lenguyentrung80@gmail.com; Tel.: +84-918428133.

Ban Biên tập nhận bài: 8/4/2022; Ngày phản biện xong: 12/5/2022; Ngày đăng bài: 25/6/2022

**Tóm tắt:** Mô phỏng nhám trong mô hình vật lý của thí nghiệm mô hình thủy lực là công việc rất quan trọng ảnh hưởng đến sai số của thí nghiệm mô hình. Hiện nay, cách làm mô phỏng nhám trong mô hình vật lý ở Việt Nam là thử dần độ nhám để đạt được mực nước như thực tế do đó mất nhiều thời gian và công sức. Nghiên cứu này sẽ đánh giá diễn biến mực nước trong kênh khi mô phỏng nhám là: trát vữa xi măng cát (TN0); đá có đường kính từ 5÷10 mm (TN1). Kết quả nghiên cứu cho thấy: khi mặt nước của thí nghiệm TN0 có độ dốc là 0,08÷0,2%, chênh mực nước của thí nghiệm TN1 và thí nghiệm TN0 tỷ lệ thuận với mật độ hạt mô phỏng của thí nghiệm TN1. Chênh lệch mực nước có thể lên đến  $\Delta h = 0,039$  m (ứng với tỷ lệ mô hình 1/100 thì  $\Delta h = 3,9$  m). Như vậy, khi thiết kế mô phỏng nhám trong mô hình vật lý có thể sử dụng theo kết quả của nghiên cứu này để hiệu chỉnh mực nước phù hợp với thực tế. Những trường hợp có độ dốc mặt nước nằm ngoài khoảng 0,08÷0,2% cũng có thể áp dụng theo nghiên cứu này nhưng hiệu quả của việc dâng mực nước do mô phỏng nhám có thể giảm đi.

**Từ khóa:** Mô phỏng nhám; Mô hình vật lý; Thiết kế nhám.

### 1. Mở đầu

Trên thế giới vấn đề về nhám nói chung vẫn nêu lên một cách lý thuyết cơ bản về cách tính toán nhám trong sông, kênh thế nào, hoặc cho các bề mặt khác nhau với các loại vật liệu. Trong khi xây dựng và chế tạo mô hình vật lý của thí nghiệm mô hình thủy lực (TNMHTL) ta cần biết (hoặc ước tính trước) được nhám mô hình trước khi chế tạo, để tính toán các điều kiện tương tự mô hình. Nhưng chỉ sau khi xây dựng xong mô hình chúng ta mới xác định được nhám thực của mô hình. Do đó khi biết mô hình không đảm bảo được điều kiện tương tự mô hình thì đã muộn. Hiện nay, công tác mô hình hóa thủy lực ở các nước châu Âu, Mỹ, Ấn Độ... trước khi chế tạo tổng thể mô hình người ta phải thiết kế mô hình thủy lực trên máng kính có độ dốc thay đổi để xác định hay ước tính trước nhám hay hệ số Chezy của mô hình sẽ nghiên cứu, sau đó mới có số liệu nhám để thiết kế mô hình thủy lực. Vấn đề phức tạp, quan trọng nhất trong mô hình hóa thủy lực là chọn nhám của mô hình đảm bảo các điều kiện tương tự mô hình.

Đối với lòng dẫn hở nhưng lòng sông không biến đổi (mô hình vật lý lòng cứng) đã có nhiều nghiên cứu chỉ ra cách xác định hệ số nhám, tài liệu “Thủy lực dòng chảy hở” [1]. Hay sổ tay tính toán thủy lực Kixêlep [2]. Tuy nhiên, trong các tài liệu này chỉ trích dẫn hệ số nhám theo đặc trưng lòng dẫn chứ không mô tả cụ thể về cách bố trí, mật độ, kích thước vật liệu. Một nghiên cứu được ứng dụng nhiều ở Việt Nam là của Viện Nghiên cứu Đường thủy

Thiên Tân [3]. Họ đã nghiên cứu tăng giảm độ nhám theo theo đường kích hạt với bố trí dạng hoa mai, giới hạn của công thức là đường kính hạt nằm trong khoảng  $d < 26,4$  mm.

Trong nước các Nghiên cứu thiết kế mô phỏng nhám trong mô hình hóa thủy lực chưa được thực hiện do nhiều yếu tố khách quan: như điều kiện sân mô hình và thiết bị đo đạc... Các đơn vị có thể thực hiện việc mô hình hóa thủy lực khi thiết kế nhám trong mô hình chỉ có thể tương tự nhám giữa nguyên hình và mô hình trên cơ sở dò tìm (cấp phối đá và hình thức bố trí mô phỏng nhám) để đảm bảo mực nước mô hình phù hợp với thực tế. Việc dò tìm độ nhám ban đầu dựa vào các công thức kinh nghiệm của Viện Nghiên cứu Đường thủy Thiên Tân [3] hay bảng tra trong sổ tay thủy lực Kixêlep [2]. Tuy nhiên, hiệu quả của việc mô phỏng nhám dựa rất nhiều vào kinh nghiệm của chuyên gia và mất nhiều công sức và thời gian thử đi thử lại.

Qua công việc thực tế cho thấy những nghiên cứu trên thế giới về mô phỏng nhám khi áp dụng mô hình hóa thủy lực tại Việt Nam có nhiều khó khăn và hạn chế, những nghiên cứu trong nước về nội dung này còn chưa nhiều. Khi tiến hành mô hình hóa mô hình thủy lực, có bốn thông số không thứ nguyên cần phải đảm bảo. Đó là bốn thông số Froude, số Reynolds, độ dốc dòng chảy và độ nhám (hoặc số Chezy) [2]. Ta cần biết nhám của khu vực nghiên cứu một đoạn kênh hoặc sông ngoài thực tế và nhám của mô hình. Nguyên hình đã tồn tại trong thực tế là một đoạn kênh, một đoạn sông cụ thể nên nhám của nguyên hình coi như đã biết. Còn mô hình chưa xây dựng chúng ta chưa biết nhám của mô hình. Chúng ta cũng chỉ ước lượng nhám mô hình theo kinh nghiệm hoặc các công thức dự báo về nhám. Từ đó chúng ta thiết kế mô hình theo nhám dự báo. Khi xây dựng mô hình xong, mở nước để xác định được mực nước trong mô hình và tính toán quy đổi về nguyên hình. Nếu mực nước trong mô hình sai khác ít với nguyên hình sẽ dò tìm và chỉnh nhám được. Nhưng nếu mực nước trong mô hình sai khác nhiều với nguyên hình sẽ khó có thể chỉnh nhám được, thậm trí phải thiết kế, xây dựng lại mô hình để đảm bảo điều kiện tương tự mô hình. Trong một số trường hợp, nếu gặp mô hình có phạm vi nghiên cứu lớn là rất tốn kém. Do đó, nghiên cứu mô phỏng nhám trong mô hình hóa thủy lực và đánh giá diễn biến mực nước là cần thiết. Điểm mới của nghiên cứu của nghiên cứu là đánh giá được các độ chênh mực nước theo khoảng cách giữa các hạt mô phỏng nhám (với hạt có đường kính từ 5÷10 mm).

Nghiên cứu thống kê các thông số thiết kế của mô hình vật lý đã được chế tạo và xây dựng của một số công trình đã được thực hiện tại Viện Năng lượng như các công trình: Sơn La, Hòa Bình mở rộng, Lai Châu, Ialy, Huội Quảng, Bản Chát... (Bảng 1).

**Bảng 1.** Thông số các công trình [4].

TT	Công trình	Tỷ lệ mô hình	độ dốc đoạn sông (%)	Chiều rộng mô hình (m)	Chiều dài mô hình (m)	Q <sub>min</sub> mô hình (l/s)	Q <sub>max</sub> mô hình (l/s)
1	Tuyên Quang [5]	100	-0,38	3,96	3,91	42,9	188,5
2	Thượng Kon Tum [6]	64	0,49	2,44	1,61	25,0	95,9
3	Trung Sơn [7]	100	-1,92	1,39	4,96	50,0	130,3
4	Huội Quảng [8]	80	0,64	1,56	1,94	34,9	225,5
5	Bản Chát [9]	64	0,00	2,55	6,86	119,5	307,0
6	Bản Vẽ [10]	80	1,12	1,42	5,60	47,9	142,7
7	Lai Châu [11]	100	-0,89	3,67	5,63	95,8	274,0
8	Sơn La [12]	100	0,73	6,06	6,83	127,0	477,0
9	Hòa Bình mở rộng [13]	100	-0,42	4,10	16,60	30,2	410,3
10	Cánh Tạng [14]	50	2,50	1,80	4,00	43,0	94,6
11	Ialy mở rộng [15]	100	1,78	1,28	5,06	13,4	170,0
	Min	50,0	-0,4	1,3	4,0	13,4	94,6
	Max	100,0	2,5	6,1	16,6	127,0	477,0
	TB	85,3	0,3	2,7	5,7	57,2	228,7

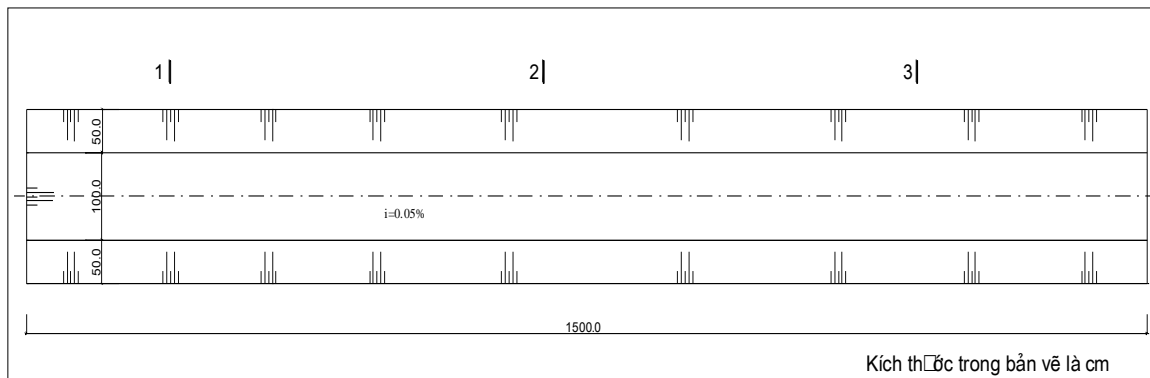
Trên cơ sở thông số, kích thước các mô hình đã được chế tạo và thí nghiệm tại Viện Năng lượng, điều kiện sân bãi thiết bị... Nghiên cứu đã lựa chọn đoạn kênh có kích thước trung bình và lưu lượng xả phù hợp với các công trình đã thí nghiệm. Thông số đoạn kênh nghiên cứu như sau: Mặt cắt kênh: hình thang; Độ dốc đáy kênh: 0,05%; Chiều rộng đáy kênh: 1,0 m; Hệ số mái kênh:  $m = 1$ ; Chiều sâu kênh: 0,5 m; Chiều rộng mô hình ứng với độ sâu 0,5 m: 2,0 m; Lưu lượng thí nghiệm: 90 (l/s).

Mục đích nghiên cứu: đánh giá sự thay đổi mực nước trong kênh khi mô phỏng nhám với hạt có đường kính 5÷10 mm so với thí nghiệm mô phỏng nhám là trát vữa xi măng cát. Từ đó có thể ứng dụng đầy nhanh công tác hiệu chỉnh nhám trong công tác mô hình hóa thủy lực.

## 2. Phương pháp nghiên cứu

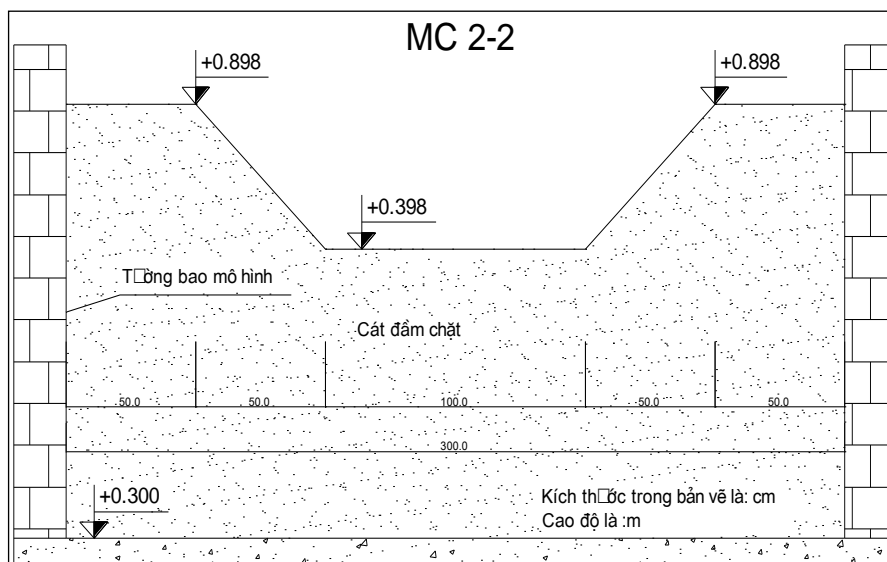
### 2.1. Đối tượng nghiên cứu

Trong nghiên cứu này sẽ mô phỏng một đoạn kênh hình có chiều dài 15 m đã bao gồm cửa cuối, mặt cắt ngang hình thang với chiều rộng đáy  $b = 1$  m; độ dốc của mái kênh  $m = 1$ ; Độ dốc của đáy kênh  $i = 0,05\%$ . Mặt bằng đoạn kênh nghiên cứu như hình 1.



Hình 1. Mặt bằng đoạn kênh nghiên cứu.

Mặt cắt ngang đoạn kênh nghiên cứu như hình 2.

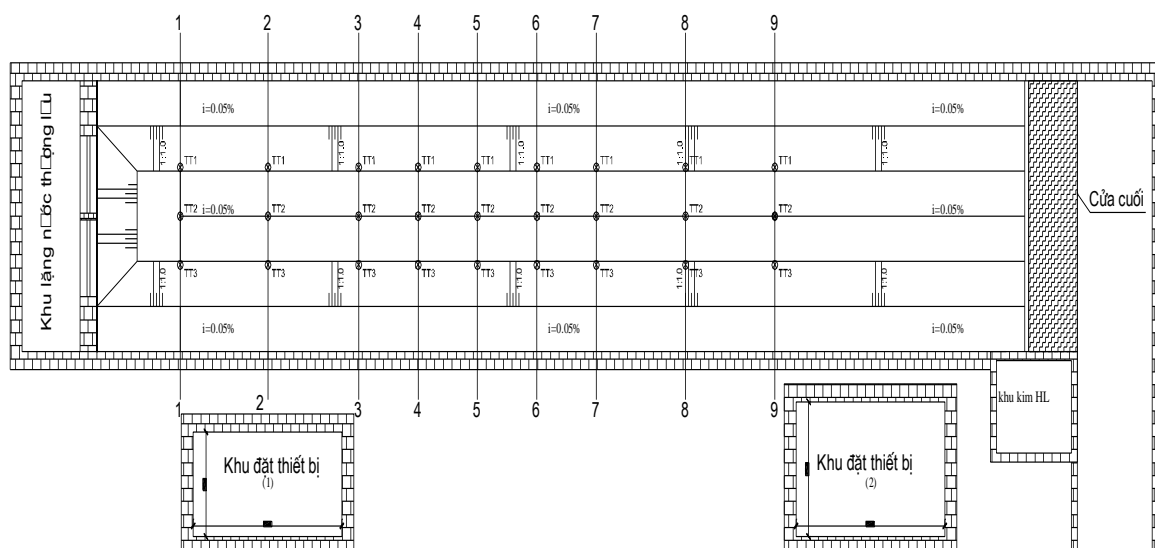


Hình 2. Mặt cắt ngang đoạn kênh nghiên cứu.

### 2.2. Vị trí các mặt cắt và thủy trực đo đạc mực nước trong mô hình vật lý

Vị trí các mặt cắt và thủy trực đo đạc mực nước trong mô hình vật lý từ mặt cắt 1 đến mặt cắt 9, mỗi mặt cắt sẽ đo mực nước tại 3 thủy trực trên hình 3.





Hình 3. Vị trí các thủy trực và mặt cắt đo mực nước trong mô hình vật lý.

### 2.3. Các trường hợp mô phỏng nhám

Trong nghiên cứu này sẽ nghiên cứu 6 trường hợp mô phỏng nhám gồm:

- Phương án gốc (TN0) sẽ mô phỏng nhám là trát vữa xi măng cát (1 trường hợp).
- Phương án thí nghiệm mô phỏng nhám kênh là đá có đường kính hạt là  $d = 5 \div 10$  mm với 5 trường hợp khoảng cách giữa các hạt là  $2,5d$ ;  $5d$ ;  $7,5d$ ;  $10d$ ;  $15d$  (TN1).

Tổng hợp các trường hợp mô phỏng nhám và thông số các thí nghiệm xem bảng 2.

Bảng 2. Các trường hợp mô phỏng nhám.

Thứ tự	Tên thí nghiệm	Lưu lượng thí nghiệm (l/s)	Mực nước không chế (m)	Ghi chú
1	TN0	90	0,510	Mô phỏng nhám là trát vữa xi măng cát
2	TN1-2,5d	90	0,510	Mô phỏng nhám là đá có đường kính hạt $d = 5-10$ mm, khoảng cách giữa các hạt là $2,5 \cdot$ đường kính ( $d = 10$ mm)
3	TN1-5d	90	0,510	Mô phỏng nhám là đá có đường kính hạt $d=5-10$ mm, khoảng cách giữa các hạt là $5 \cdot$ đường kính ( $d = 10$ mm)
4	TN1-7,5d	90	0,510	Mô phỏng nhám là đá có đường kính hạt $d=5-10$ mm, khoảng cách giữa các hạt là $7,5 \cdot$ đường kính ( $d = 10$ mm)
5	TN1-10d	90	0,510	Mô phỏng nhám là đá có đường kính hạt $d=5-10$ mm, khoảng cách giữa các hạt là $10 \cdot$ đường kính ( $d = 10$ mm)
6	TN1-15d	90	0,510	Mô phỏng nhám là đá có đường kính hạt $d = 5-10$ mm, khoảng cách giữa các hạt là $15 \cdot$ đường kính ( $d = 10$ mm)

### 2.4. Thiết bị đo đạc

Lưu lượng đầu vào được khống chế bằng máng lượng chữ nhật có độ chính xác  $1 \div 2\%$  lưu lượng xả. Khống chế mực nước hạ lưu là kim đo mực nước với sai số đo  $\pm 1/10$  mm. Đo đạc mực nước tại các mặt cắt thủy trực là máy thủy bình Leica NA có độ chính xác: Sai số chuẩn trên 1km đo đi đo về:  $\pm 2,0$  mm. Các thiết bị đo đạc xem hình 4a, 4b.



**Hình 4.** (a) Kim đo mực nước hạ lưu; (b) Máy thủy bình Leica NA.

### 2.5. Thu thập và xử lý số liệu

Dữ liệu mực nước của các thí nghiệm được thực hiện theo các quy định của tiêu chuẩn Việt Nam về thí nghiệm mô hình thủy lực [16]. Cụ thể trong nghiên cứu này sẽ mô tả chế độ thủy lực trong kênh và đo đạc mực nước tại các thủy trực và tính mực nước trung bình của mặt cắt theo công thức 1.

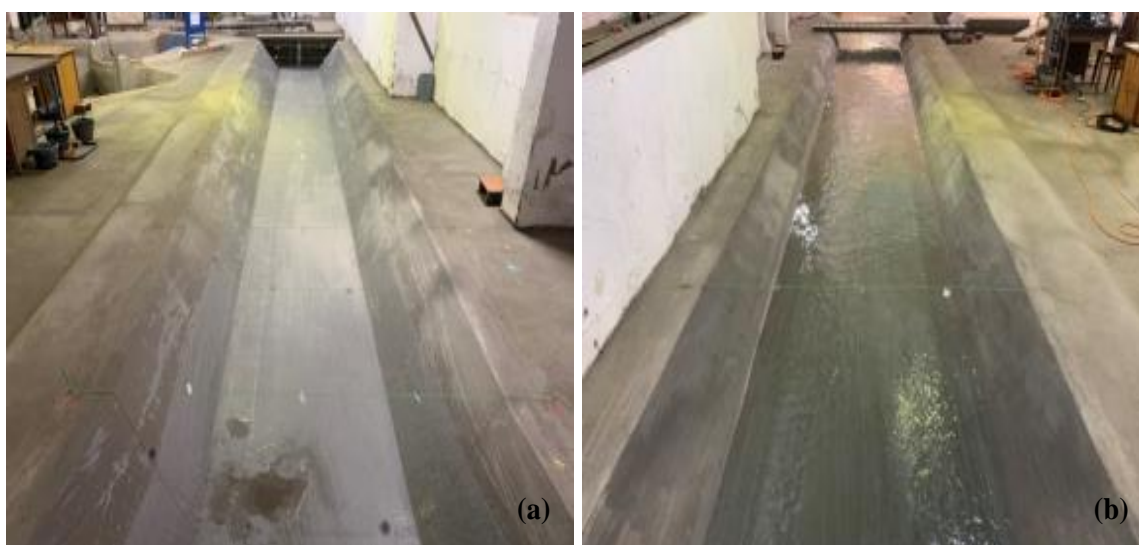
$$H_{tb} = \frac{\sum_i^n H_i}{n} \quad (1)$$

Trong đó  $H_{tb}$  là mực nước trung bình mặt cắt (m);  $H_i$  là mực nước tại thủy trực thứ  $i$  của mặt cắt (m);  $i$  là số thủy trực của mặt cắt;  $n$  là tổng số thủy trực của 1 mặt cắt,  $n = 3$ .

## 3. Kết quả và thảo luận

### 3.1. Chế độ thủy lực và đường mực nước dọc kênh của thí nghiệm TN0

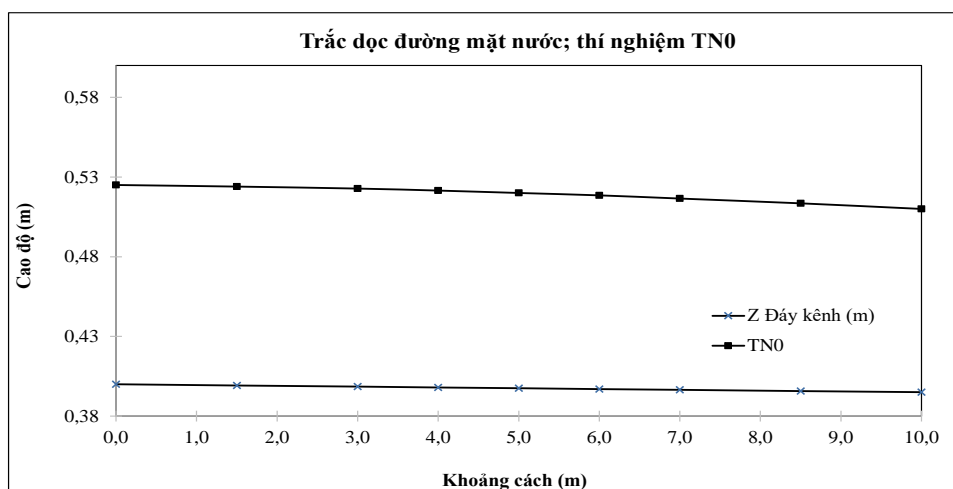
Phương án mô hình vật lý được mô phỏng nhám trong kênh là trát vữa xi măng cát xem hình 5a. Thí nghiệm xả lưu lượng đầu vào kênh là 90 l/s và khống chế mực nước ở cuối kênh tại mặt cắt 9 là 0,51 m. Sau khi dòng chảy ổn định (hình 5b) thì tiến hành đo đạc mực nước tại các thủy trực và mặt cắt đo. Kết quả mực nước trung bình mặt cắt của thí nghiệm TN0 xem bảng 3 và hình 6.



**Hình 5.** (a) Hình ảnh mô phỏng nhám của thí nghiệm TN0; (b) Chế độ thủy lực của thí nghiệm TN0.

**Bảng 3.** Cao độ mực nước trung bình mặt cắt thí nghiệm TN0.

MC	Khoảng cách cộng dồn (m)	Z Đáy kênh (m)	J đáy kênh (%)	Mực nước (m)	J mặt nước (%)
1	0,000	0,400		0,525	
2	1,500	0,3993	0,05	0,524	0,07
3	3,000	0,3985	0,05	0,523	0,08
4	4,000	0,3980	0,05	0,522	0,12
5	5,000	0,3975	0,05	0,520	0,15
6	6,000	0,3970	0,05	0,519	0,15
7	7,000	0,3965	0,05	0,517	0,20
8	8,500	0,3958	0,05	0,514	0,20
9	10,000	0,3950	0,05	0,510	0,23

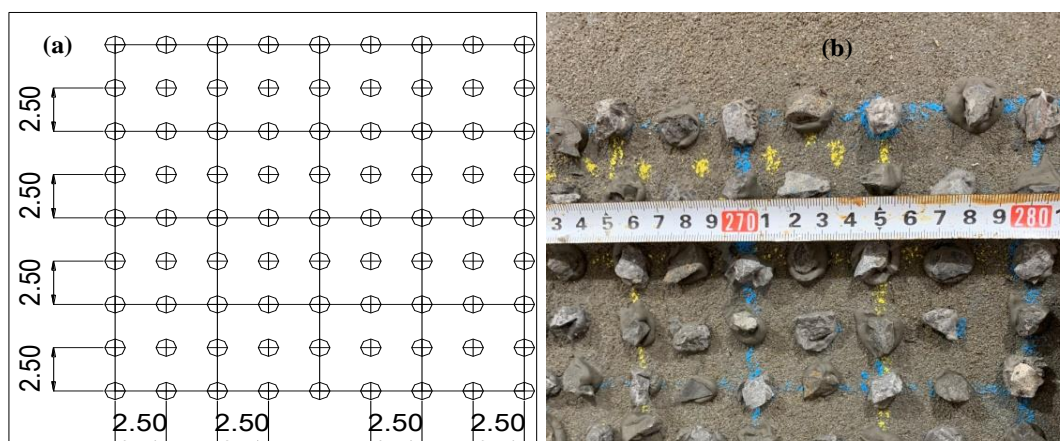


**Hình 6.** Đường mực nước dọc kênh thí nghiệm TN0.

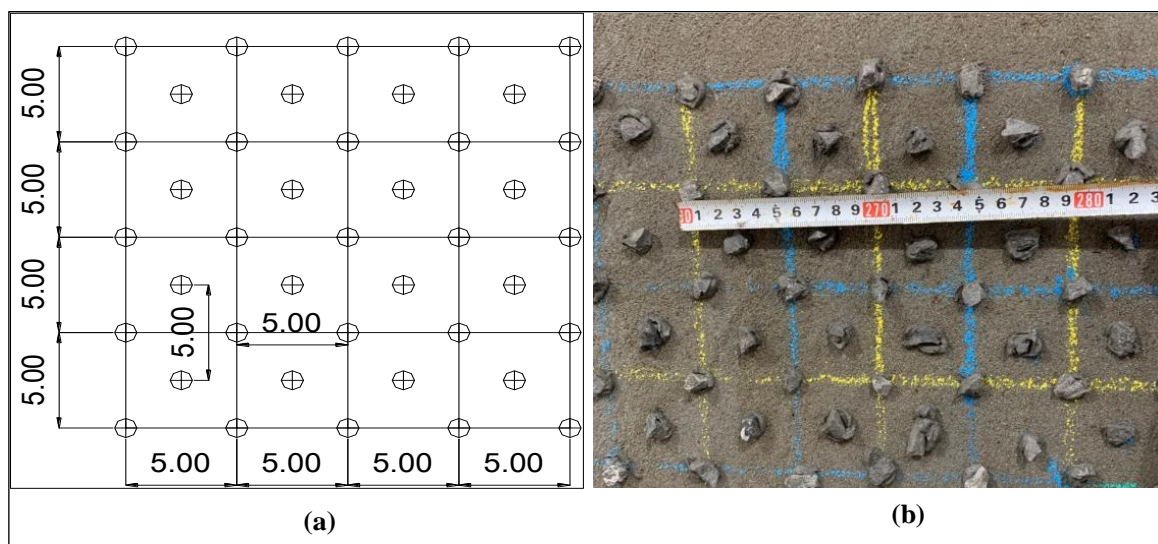
3.2. Chế độ thủy lực và đường mực nước dọc kênh của thí nghiệm TN1.

Mô hình vật lý mô phỏng nhám trong kênh hở là đá có đường kính hạt từ 5÷10 mm với các khoảng cách hạt là: 2,5d; 5d; 7,5d; 10d; 15d. Sơ đồ mô phỏng nhám và các hình ảnh mô phỏng thực tế trong mô hình vật lý xem các hình 7 đến hình 11.

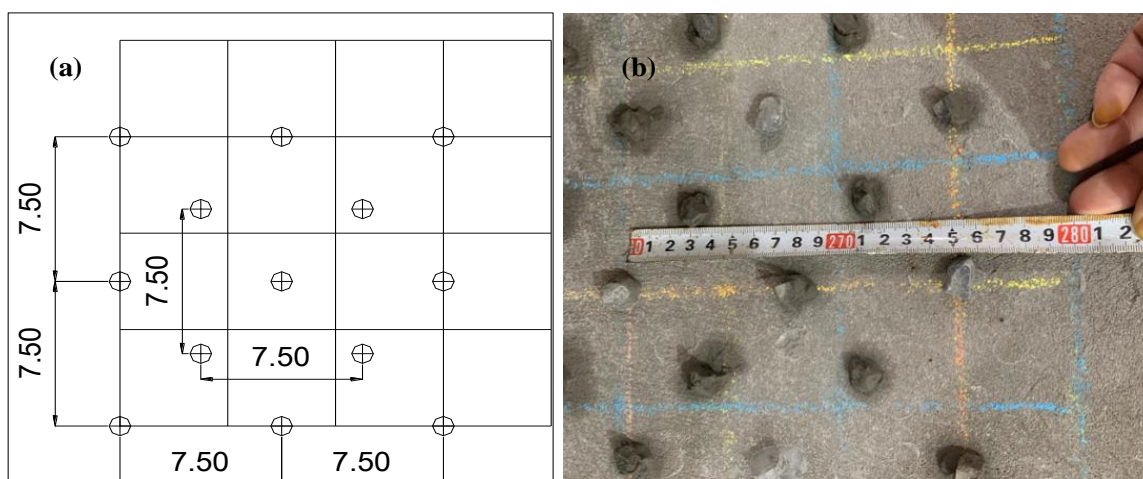
Thí nghiệm xả lưu lượng đầu vào kênh là 90 l/s và không chế mực nước ở cuối kênh tại mặt cắt 9 là 0,51 m. Sau khi mực nước ổn định (Hình 12a, 12b) thì tiến hành đo đạc mực nước tại các thủy trực và mặt cắt đo. Kết quả mực nước trung bình mặt cắt của thí nghiệm TN1 xem bảng 4 và hình 13. Chênh lệch cao độ mực nước trung bình mặt cắt thí nghiệm TN1 và TN0 xem bảng 5.



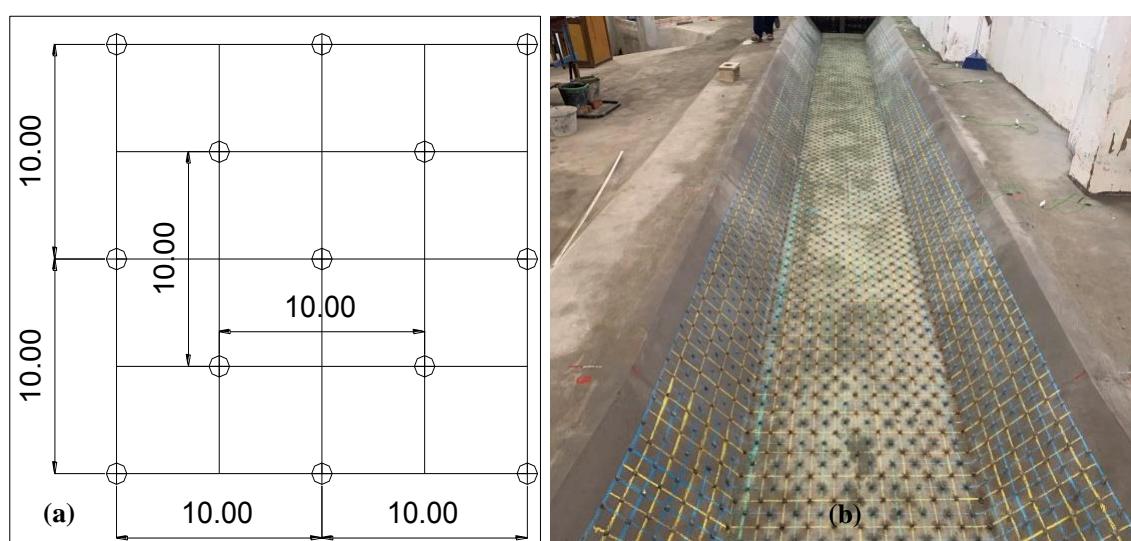
**Hình 7.** (a) Sơ đồ mô phỏng nhám của thí nghiệm TN1-2,5d; (b) Hình ảnh mô phỏng nhám của thí nghiệm TN1-2,5d.



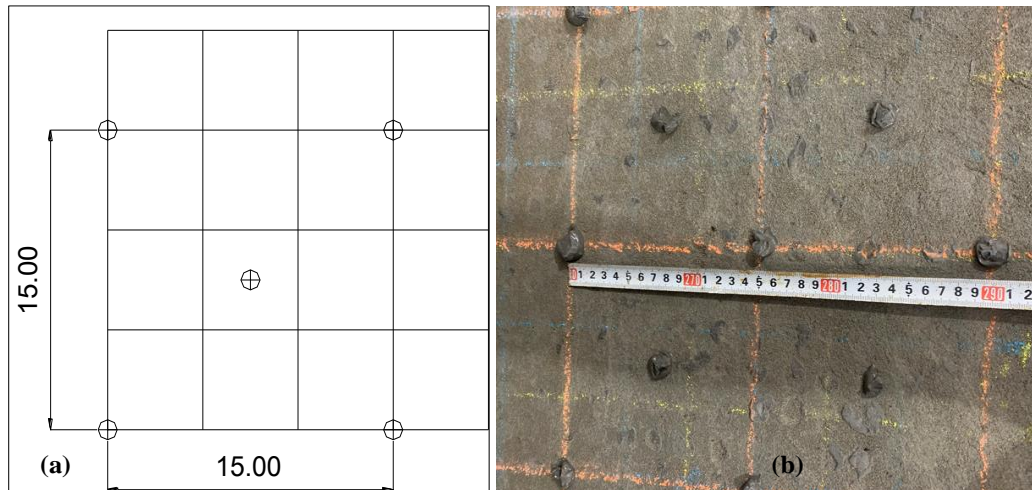
**Hình 8.** (a) Sơ đồ mô phỏng nhám của thí nghiệm TN1-5d; (b) Hình ảnh mô phỏng nhám của thí nghiệm TN1-5d.



**Hình 9.** (a) Sơ đồ mô phỏng nhám của thí nghiệm TN1-7,5d; (b) Hình ảnh mô phỏng nhám của thí nghiệm TN1-7,5d.



**Hình 10.** (a) Sơ đồ mô phỏng nhám của thí nghiệm TN1-10d; (b) Hình ảnh mô phỏng nhám của thí nghiệm TN1-10d.



**Hình 11.** (a) Sơ đồ mô phỏng nhám của thí nghiệm TN1-15d; (b) Hình ảnh mô phỏng nhám của thí nghiệm TN1-15d.



**Hình 12.** (a) Chế độ thủy lực của thí nghiệm TN1-2,5d; (b) Chế độ thủy lực của thí nghiệm TN1-15d.

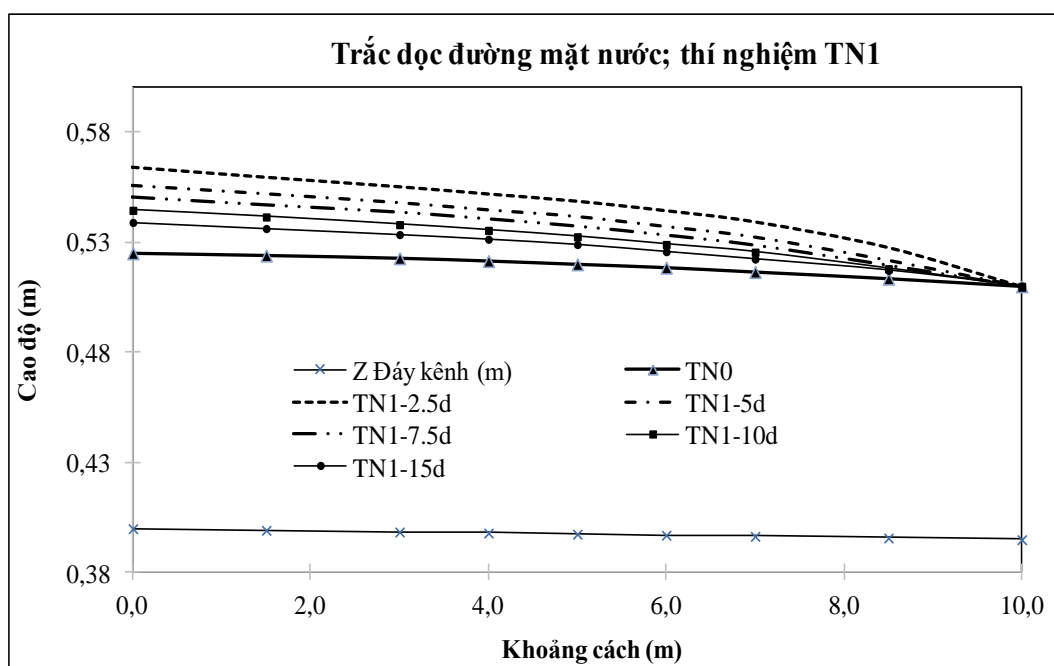
**Bảng 4.** Cao độ mực nước trung bình mặt cắt thí nghiệm TN1 (m).

MC	Khoảng cách cộng dồn (m)	Z Đáy kênh (m)	Cao độ mực nước trung bình mặt cắt của các thí nghiệm				
			TN1-2,5d	TN1-5d	TN1-7,5d	TN1-10d	TN1-15d
1	0,00	0,400	0,564	0,556	0,550	0,545	0,539
2	1,50	0,399	0,559	0,552	0,547	0,542	0,536
3	3,00	0,399	0,555	0,548	0,543	0,538	0,534
4	4,00	0,398	0,552	0,545	0,540	0,535	0,531
5	5,00	0,398	0,548	0,542	0,537	0,533	0,529
6	6,00	0,397	0,544	0,537	0,533	0,529	0,526
7	7,00	0,397	0,539	0,532	0,529	0,526	0,522
8	8,50	0,396	0,528	0,522	0,520	0,518	0,517
9	10,00	0,395	0,510	0,510	0,510	0,510	0,510

**Bảng 5.** Chênh lệch cao độ mực nước trung bình mặt cắt thí nghiệm TN1 và TN0 (m).

MC	Lcd	Cao độ đáy	TN1-2,5d	TN1-5d	TN1-7,5d	TN1-10d	TN1-15d
1	0,00	0,400	0,039	0,031	0,025	0,020	0,014
2	1,50	0,399	0,035	0,028	0,023	0,018	0,012
3	3,00	0,399	0,032	0,025	0,021	0,015	0,011
4	4,00	0,398	0,030	0,023	0,019	0,014	0,010
5	5,00	0,398	0,028	0,022	0,017	0,013	0,009
6	6,00	0,397	0,026	0,019	0,015	0,011	0,007

MC	Lcd	Cao độ đáy	TN1-2.5d	TN1-5d	TN1-7.5d	TN1-10d	TN1-15d
7	7,00	0,397	0,023	0,016	0,012	0,009	0,006
8	8,50	0,396	0,014	0,008	0,006	0,005	0,004
9	10,00	0,395	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000



Hình 13. Đường mực nước dọc kênh thí nghiệm TN1.

#### 4. Kết luận

+ Chênh lệch mực nước giữa thí nghiệm TN1 và thí nghiệm TN0 tỷ lệ thuận với mật độ thành phần hạt, mật độ hạt càng dày thì độ chênh này càng lớn (hình 13).

+ Kết quả thí nghiệm cho thấy với đá có đường kính từ 5÷10 mm, độ dốc mặt nước của thí nghiệm trát vữa xi măng khoảng 0,08÷0,2% thì khi thay đổi mật độ hạt độ chênh mực nước( $\Delta h$ ) của phương án gốc (TN0) và phương án mô phỏng nhám bằng đá có đường kính 5÷10 mm (TN1) có thể lên đến  $\Delta h = 0,039$  m (Bảng 5), với tỷ lệ mô hình 1/100 thì  $\Delta h = 3,9$  m.

+ Khi thiết kế mô phỏng nhám trong mô hình vật lý có thể áp dụng những kết quả của nghiên cứu này để hiệu chỉnh mực nước trong mô hình phù hợp với nguyên hình.

+ Hạn chế của nghiên cứu: Nghiên cứu mới chỉ nghiên cứu mô phỏng nhám theo 1 cấp phối hạt có đường kính hạt  $d = 5\div 10$  mm, thực tế sẽ có rất nhiều cấp phối hạt khác cần được nghiên cứu thêm. Trong nghiên cứu mới chỉ đề cập đến độ dốc mặt nước của phương án ban đầu là 0,08÷0,2%. Những trường hợp có độ dốc mặt nước nằm ngoài khoảng 0,08÷0,2% cũng có thể áp dụng theo nghiên cứu này nhưng hiệu quả của việc dâng mực nước do mô phỏng nhám có thể giảm đi.

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

**Lời cảm ơn:** Nghiên cứu này được thực hiện dưới sự tài trợ của đề tài nghiên cứu khoa học và phát triển công nghệ cấp Bộ Công Thương: Nghiên cứu thiết kế nhám trong mô hình thí nghiệm thủy lực, mã số ĐTKHCN.041/20.

**Lời cam đoan:** Tác giả cam đoan bài báo này là công trình nghiên cứu của tác giả, chưa được công bố ở đâu, không được sao chép từ những nghiên cứu trước đây.

### Tài liệu tham khảo

1. Chow, V.T. Open channel hydraulics. McGraw–Hill, New York, 1959, pp. 680.
2. Kixeelep, P.G.; Altsul, A.D.; Danhitsenko, N.V.; Kaxpaxon, A.A.; Kriptsenko, G.I.; Paskop, N.N.; Lixki, X.M. Sổ tay tính toán thủy lực. Nhà xuất bản xây dựng, 2010, tr. 712.
3. Hậu, L.P.; Hoi, T.Đ. Lý thuyết thí nghiệm mô hình công trình thủy. NXB Xây Dựng, 2003, tr. 202.
4. Trung, L.N. Nghiên cứu thiết kế nhám trong mô hình thí nghiệm thủy lực. Viện Năng lượng, Hà Nội, 2022, tr. 160.
5. Viện Năng lượng, Báo cáo chính - Nghiên cứu mô hình thủy lực thủy điện Tuyên Quang, Hà Nội, 2005, tr. 251.
6. Viện Năng lượng. Nghiên cứu TNMHTL công trình thủy điện Thượng Kon Tum, Hà Nội, 2009, tr. 150.
7. Viện Năng lượng. Báo cáo kết quả nghiên cứu thí nghiệm mô hình thủy lực tràn sự cố thủy điện Trung Sơn, 2011, tr. 163.
8. Viện Năng lượng. Báo cáo kết quả thí nghiệm MHTL cửa ra hầm xả và kênh xả nhà máy, công trình thủy điện Huội Quảng, Hà Nội, 2010, tr. 276.
9. Viện Năng lượng. Báo cáo kết quả thí nghiệm phục vụ hiệu chỉnh QTVH năm 2014 thủy điện Bản Chát, Hà Nội, 2013, tr. 270.
10. Viện Năng lượng. Báo cáo kết quả TNMHTL hạ lưu công trình thủy điện Bản Vẽ, Hà Nội, 2015, tr. 303.
11. Viện Năng lượng. Báo cáo TNMHTL bổ sung phục vụ lập quy trình vận hành hồ chứa - Thủy điện Lai Châu, Hà Nội, 2016, tr. 251.
12. Viện Năng lượng. Nghiên cứu thí nghiệm mô hình thủy lực trình tự đóng mở cửa van vận hành công trình xả lũ để phục vụ lập quy trình vận hành đơn hồ thủy điện Sơn La, Hà Nội, 2017, tr. 725.
13. Viện Năng lượng. Thí nghiệm MHTL phục vụ lập Thiết kế kỹ thuật, Dự án Nhà máy thủy điện Hòa Bình mở rộng, Hà Nội, 2019, tr. 296.
14. Viện Năng lượng. Báo cáo tổng hợp kết quả xây dựng và TNMHTL tràn xả lũ, thuộc cụm công trình đầu mối Hồ chứa nước Cánh Tạng - Tỉnh Hòa Bình, Hà Nội, 2019, tr. 202.
15. Viện Năng lượng. Báo cáo TNMHTL Dự án Nhà máy thủy điện Ialy mở rộng, Hà Nội, 2019, tr. 441.
16. TCVN 8214 : 2009. Thí nghiệm mô hình thủy lực công trình thủy lợi, thủy điện.
17. Viện Khoa học Thủy Lợi. Cơ sở lý luận và thực nghiệm mô hình sông và cửa sông, năm 2018.
18. Hiền, N.T. Xác định hệ số nhám trong sông từ tài liệu đo lưu tốc. *Tap chí Khoa học kỹ thuật Thủy lợi và Môi trường* **2010**, 30, 89–94.
19. Song, P.V. Nghiên cứu cải tiến mô tiêu năng sau công vùng triều có khẩu diện lớn – áp dụng cho trường hợp công Thủ Bộ. *Tap chí Khoa học kỹ thuật Thủy lợi và Môi trường* **2014**, 46, 19–26.
20. Thành, N.C. Ứng dụng mô hình dòng chảy rối trong tính toán dòng chảy tự do qua đập tràn. *Tap chí Khoa học kỹ thuật Thủy lợi và Môi trường* **2013**, 43, 27–34.
21. Thương, T.Q. Thí nghiệm mô hình thủy lực công trình. NXB Xây dựng, 2005, tr. 180.
22. Việt, N.V. Cơ sở lý luận và thực nghiệm mô hình sông và cửa sông, Viện Khoa học Thủy Lợi Việt Nam, 2018, tr. 220.
23. Chow, V.T. Applied Hydrology, Singapore, 1988, pp. 565.
24. Stephen, T. Maynard, General Spillway Investigation, 1985, pp. 65.
25. Barnes, H.B. Roughness characteristics of natural channels. US Geological Survey Water–Supply, 1967, pp. 1849.

## **Experimental study, assess the change of water level in the channel when simulating roughness with particles with diameter 5÷10 mm**

**Le Nguyen Trung<sup>1\*</sup>**

<sup>1</sup> Institute of energy, Ministry of Industry, Vietnam; No. 6 Ton That Tung, Hanoi, Vietnam; lenguyentrung80@gmail.com

**Abstract:** Rough simulation in the physical model of the hydraulic model experiment is very important to affect the error of the model experiment. Currently, the way to simulate roughness in physical models in Vietnam is to gradually test the roughness to achieve the actual water level, so it takes a lot of time and effort. This study will evaluate the water level changes in the canal when simulating roughness: sand cement mortar (TN0); stones with a diameter of 5÷10 mm (TN1). Research results show that: when the water surface of the TN0 experiment has a slope of 0.08÷0.2%, the water level difference of the TN1 and TN0 experiments is directly proportional to the simulated particle density of the experiment. TN1. The water level difference can be up to  $\Delta h = 0.039$  m (corresponding to the model scale of 1/100, then  $\Delta h = 3.9$  m). So, when designing roughness simulation in the physical model, it can be used according to the results of this study to correct the water level in accordance with reality. The cases with water surface slope outside about 0.08÷0.2% can also be applied according to this study, but the effect of water level rise due to rough simulation can be reduced.

**Keywords:** Simulate roughness; Physical model; Matte design.



Bài báo khoa học

## Khảo sát khả năng hấp phụ xử lý nước của than sinh học tạo thành từ sinh khối phụ phẩm nông nghiệp

Nguyễn Công Mạnh<sup>1</sup>, Nguyễn Tri Quang Hưng<sup>2</sup>, Đoàn Quang Trí<sup>3</sup>, Bùi Thị Cẩm Nhi<sup>2</sup>, Nguyễn Minh Kỳ<sup>2,4\*</sup>

<sup>1</sup> Viện Nghiên cứu Công nghệ sinh học và Môi trường, Đại học Nông Lâm TP. Hồ Chí Minh; congmanh@hcmuaf.edu.vn

<sup>2</sup> Khoa Môi trường và Tài nguyên, Trường Đại học Nông Lâm TP. Hồ Chí Minh; quanghungmt@hcmuaf.edu.vn

<sup>3</sup> Tạp chí Khí tượng Thủy văn, Tổng cục Khí tượng Thủy văn; doanquangtrikttv@gmail.com

<sup>4</sup> Bộ môn Môi trường và Tài nguyên, Phân hiệu Gia Lai, Trường Đại học Nông Lâm TP. Hồ Chí Minh; nmky@hcmuaf.edu.vn

\*Tác giả liên hệ: nmky@hcmuaf.edu.vn; Tel.: +84-916121204

Ban Biên tập nhận bài: 12/4/2022; Ngày phản biện xong: 30/5/2022; Ngày đăng bài: 25/6/2022

**Tóm tắt:** Bài báo trình bày kết quả áp dụng than sinh học sản xuất từ phụ phẩm nông nghiệp để hấp phụ xanh methylene (MB) trong môi trường chất lỏng. Biochar tạo thành từ sinh khối phụ phẩm nông nghiệp có diện tích bề mặt riêng lớn, hàm lượng thành phần nguyên tố carbon (C), hydrogen (H), oxygen (O) và nitrogen (N) chiếm tỷ lệ cao. Đối với việc ứng dụng than sinh học vào xử lý môi trường cho thấy khả năng hấp phụ màu và bước đầu đã đạt những kết quả khả quan. Mẫu than sinh học từ phụ phẩm rơm rạ nhiệt phân ở nhiệt độ 400°C được lựa chọn để khảo sát khả năng hấp phụ xanh methylene. Kết quả cho thấy dung lượng hấp phụ gia tăng và đạt cực đại ở nồng độ xanh methylene 200 mg/L. Than sinh học với kích thước mịn (biochar 212  $\mu\text{m}$ ) thể hiện hiệu quả hấp phụ xanh methylene tốt nhất ở ngưỡng hấp phụ bão hòa 6,3 mg/g. Khả năng hấp phụ xanh methylene có thể đạt hiệu quả > 75%. Nguyên nhân có thể lý giải bởi ưu thế diện tích bề mặt riêng lớn, sự đa dạng hệ thống kích thước lỗ xốp bên trong cấu trúc than sinh học và bề mặt của chúng có thể cung cấp nhóm chức quan trọng như -OH, C=O. Như vậy, nghiên cứu ứng dụng than sinh học tạo thành từ sinh khối phụ phẩm nông nghiệp trong xử lý nước ô nhiễm chỉ ra tiềm năng trong tương lai.

**Từ khóa:** Hấp phụ; Than sinh học; Xử lý nước; Nông nghiệp; Sinh khối.

### 1. Đặt vấn đề

Ô nhiễm môi trường nước là một trong những vấn đề quan trọng cần được quan tâm giải quyết trong bối cảnh hiện nay [1–3]. Thực tế cho thấy trước các áp lực hoạt động của phát triển kinh tế – xã hội, các nguồn nước đã bị ô nhiễm và có dấu hiệu suy thoái [4]. Do đó, nhu cầu cấp thiết nghiên cứu áp dụng các biện pháp nhằm đề xuất khắc phục sự ô nhiễm theo hướng phát triển xanh, bền vững sinh thái và thân thiện môi trường [5–6]. Đặc biệt như các sản phẩm biochar có nguồn gốc từ sinh khối hay phụ phẩm nông nghiệp đóng vai trò hấp phụ và vật liệu mang sinh học thân thiện có khả năng loại bỏ hợp chất hữu cơ, các chất hoạt động bề mặt, chất ô nhiễm dinh dưỡng (N, P) từ các loại nước thải khác nhau [7–8]. Quá trình ứng

dụng biochar từ các sản phẩm sinh khối nông nghiệp để ứng dụng hấp thu các kim loại độc đã được thực hiện [9]. Kết quả thể hiện khả năng thay thế các vật liệu hấp phụ xử lý ô nhiễm môi trường hiệu quả. Hơn nữa, biochar còn có khả năng xử lý nguồn kháng sinh trong nước nhiễm bẩn, ngăn ngừa các mối nguy rủi ro về sức khỏe [10].

Trong lĩnh vực xử lý môi trường nước, hiện có nhiều nỗ lực ứng dụng biochar vào việc loại bỏ, xử lý các thành phần, tác nhân nhiễm bẩn trong nước thải [8, 11, 12]. Biochar được xem như là tác nhân hấp phụ tốt đối với các loại nước thải như chăn nuôi, giết mổ gia súc/gia cầm và điển hình là các tác nhân ô nhiễm hữu cơ [13]. Theo nghiên cứu khác cho thấy hiệu quả loại trừ các chất ô nhiễm như COD, TN,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$ , TP và đặc biệt có thể đạt hiệu suất cao trên 90% đối với COD [14]. Tương tự, nghiên cứu về khả năng xử lý  $\text{NH}_4^+$  bằng than sinh học có nguồn gốc từ lõi ngô cho thấy sự hấp phụ tuân theo cơ chế vật lý/hóa học và tùy thuộc vào pH môi trường [15]. Gần đây, nghiên cứu trên đối tượng than trấu đã công bố về loại than sinh học giàu nguồn carbon, và được biến tính bởi các cách hoạt hóa khác nhằm gia tăng hiệu suất xử lý các hợp thành phần ô nhiễm hữu cơ trong nước [16]. Trong đó, các thử nghiệm được thiết kế dạng mẻ đánh giá hiệu quả khử màu của than trấu từ tính được kết hợp với nano sắt ( $\text{Fe}_0$ ) hóa trị zero (BC600–mag–nZVI) cho đối tượng nước thải ngành dệt nhuộm, bao gồm các loại thuốc nhuộm hoạt tính như: đỏ (RR195), vàng (RY145), và xanh (RB19) [16].

Xem xét bối cảnh Việt Nam cho thấy đặc thù của nước nông nghiệp, sản xuất nhiều loại lúa nước khác nhau phục vụ các nhu cầu như tiêu dùng, xuất khẩu. Hoạt động thu gom, tận dụng xử lý các phụ phẩm nông nghiệp để giảm nhẹ tác động ô nhiễm môi trường vẫn còn khá nhiều thách thức, khó khăn, nhất là ở các vùng lúa nước thuộc đồng bằng sông Cửu Long [17]. Đối diện với những mối nguy đó, nhu cầu cấp thiết tập trung nghiên cứu đề xuất giải pháp phù hợp hạn chế những ảnh hưởng tiêu cực của các quá trình thải bỏ, đốt cháy không kiểm soát những nguồn phụ phẩm rơm rạ này. Nghiên cứu trước đây đã bước đầu dùng rơm rạ để sản xuất thanh năng lượng [17] và sau đó chuyển đổi thành than sinh học để tạo ra nguồn năng lượng thay thế và nguồn thu nhập cho nông dân. Tuy vậy, hoạt động thu gom ứng dụng cho các mục đích xử lý, loại bỏ ô nhiễm môi trường vẫn còn bỏ ngỏ. Trên cơ sở đó, việc nghiên cứu thử nghiệm áp dụng biochar có nguồn gốc phụ phẩm nông nghiệp (rơm rạ) trong bối cảnh cụ thể ở đồng bằng sông Cửu Long sẽ đáp ứng tình hình và nhu cầu thực tiễn [18]. Mục đích chính của nghiên cứu bao gồm: (i) khảo sát quá trình sản xuất và đánh giá đặc điểm của than sinh học (biochar) từ phụ phẩm nông nghiệp; và (ii) tiến hành khảo sát khả năng ứng dụng than sinh học để xử lý tác nhân ô nhiễm nước–trường hợp điển hình hấp phụ xanh methylene (MB). Kết quả nghiên cứu có ý nghĩa quan trọng không chỉ loại bỏ các chất ô nhiễm, bảo vệ môi trường mà còn góp phần tiếp cận phát triển nông nghiệp bền vững.

## 2. Phương pháp nghiên cứu

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

\* Đối tượng nghiên cứu: Sinh khối phụ phẩm nông nghiệp (rơm rạ) được thu gom ở địa bàn huyện Gò Công Tây, tỉnh Tiền Giang. Bảng 1 trình bày đặc điểm thanh nguyên liệu nén từ phụ phẩm rơm rạ sử dụng cho quá trình sản xuất than sinh học.

**Bảng 1.** Đặc điểm thanh nguyên liệu sản xuất than sinh học.

Thông số	Đơn vị	Giá trị
Đường kính	mm	85–90
Chiều dài	mm	200–400
Độ ẩm	%	<10
Nhiệt lượng	kcal/kg	3986–4100
Khối lượng tro	%	<17

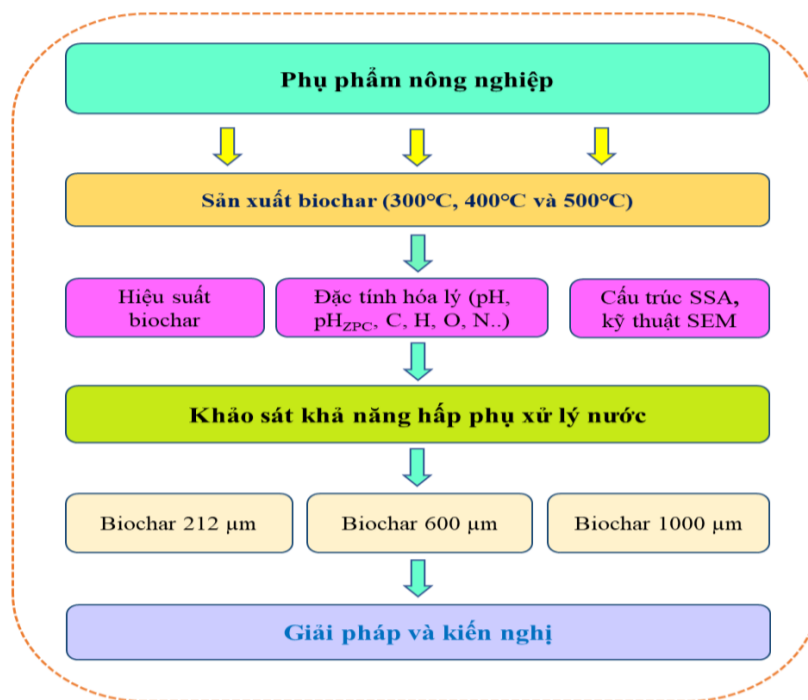
Thông số	Đơn vị	Giá trị
Khối lượng riêng	g/cm <sup>3</sup>	1,05
Hàm lượng carbon	%	>65
Hàm lượng lưu huỳnh	%	<0,01
Hàm lượng nitơ	%	0,44

\* Phạm vi nghiên cứu: Huyện Gò Công Tây, tỉnh Tiền Giang.

Với tọa độ địa lý từ 106°28'29"–106°41'47" kinh độ Đông và từ 10°13'47"–10°26'00" vĩ độ Bắc, Gò Công Tây là huyện nằm về phía Đông của Tiền Giang, nằm sâu trong nội địa. Trung tâm huyện nằm cách thành phố Mỹ Tho về hướng Đông 26 km, cách thị xã Gò Công về hướng Tây 12,2 km và thành phố Hồ Chí Minh khoảng 73 km. Huyện có tổng diện tích tự nhiên là 184,48 km<sup>2</sup> và quy mô dân số 127753 người.

Điều kiện khí hậu huyện Gò Công Tây có đặc trưng nền nhiệt cao, biên độ nhiệt ngày đêm nhỏ, khí hậu phân chia 2 mùa rõ rệt (mùa mưa: tháng 5–11 và mùa khô: tháng 12–4 năm sau). Nhiệt độ trung bình 27°C, chênh lệch giữa các tháng 3–5°C, lượng mưa trung bình thấp < 1300 mm/năm, độ ẩm trung bình 79–82%. Ngoài ra, số giờ nắng khá cao (2400–2600 giờ) và có sự phân hóa theo mùa.

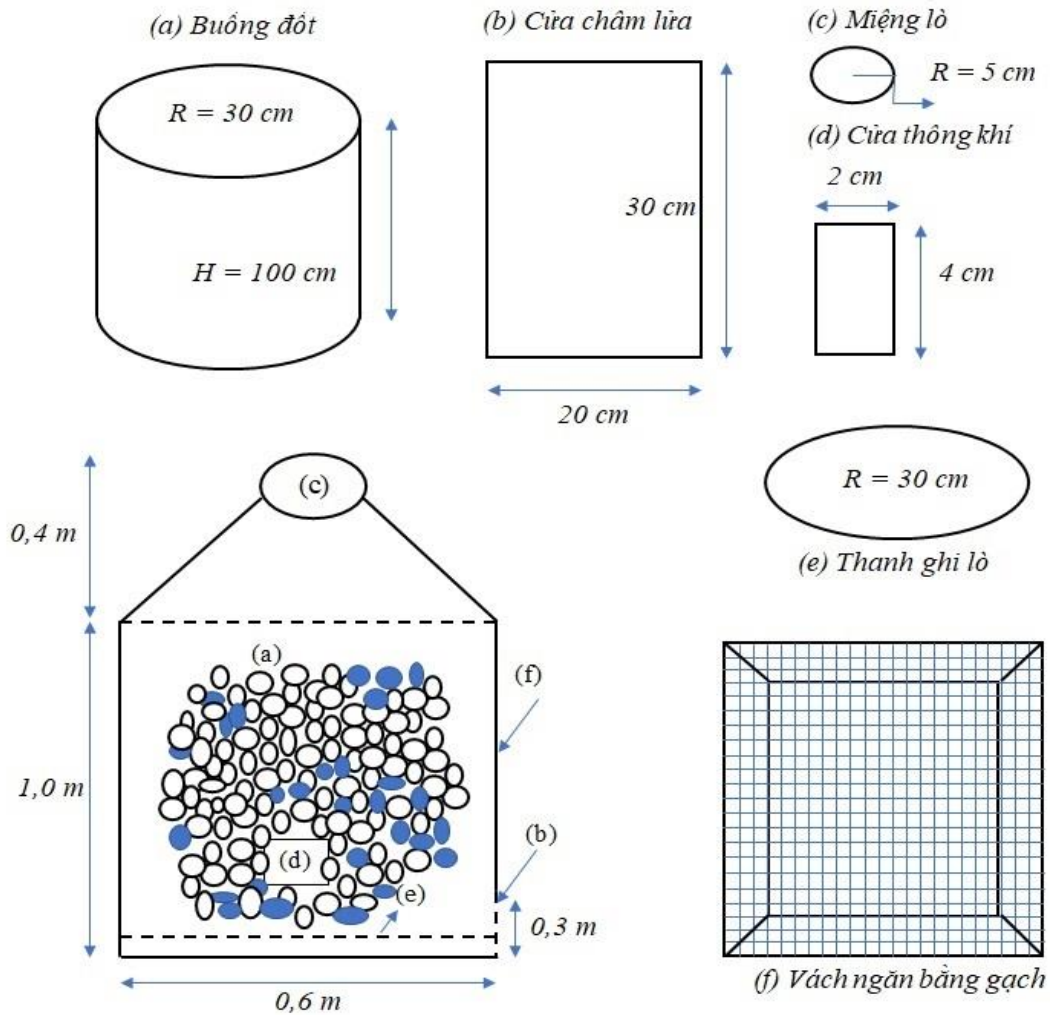
## 2.2. Quy trình sản xuất than sinh học



Hình 1. Khung cấu trúc nghiên cứu.

Liên quan đến quy trình sản xuất than sinh học, biochar thường nhiệt phân ở các điều kiện yếm khí, hạn chế oxy ở nhiệt độ thấp (< 700°C) [19]. Tương tự, biochar được thử nghiệm và tiến hành nhiệt phân phụ phẩm rơm rạ với các mức nhiệt độ 300°C, 400°C và 500°C [20]. [21] cũng đã thực hiện với các thực nghiệm ở các mức nhiệt phân lần lượt 300°C, 400°C, 500°C, 600°C và 700°C. Nhìn chung, với yếu tố nhiệt độ thích hợp sẽ duy trì hàm lượng thành phần nguyên tố carbon cần thiết nhằm đảm bảo chất lượng sản phẩm của biochar [22]. Trong nghiên cứu này, than sinh học (*biochar*) được sản xuất theo quy trình điều chế từ nghiên cứu [18]. Hình 2 thể hiện chi tiết sơ đồ cấu trúc lò đốt nhiệt phân than sinh học. Lò đốt có dạng hình trụ tròn, được xây bằng gạch nung, độ dày cách nhiệt bởi lớp tường 20 cm.

Than sinh học được sản xuất ở các nhiệt độ 300°C, 400°C và 500°C với chế độ đốt vận hành 6 giờ.



Hình 2. Sơ đồ cấu tạo mô hình sản xuất than sinh học [18].

### 2.3. Khảo sát khả năng hấp phụ xử lý nước

Hoạt động nghiên cứu được bố trí ở điều kiện môi trường phòng thí nghiệm (lab-scale) với vật liệu than sinh học điều chế ở 3 mức nhiệt phân khác nhau (300°C, 400°C và 500°C). Các thí nghiệm được bố trí với nguyên tắc 3 lần lặp lại ở các điều kiện giống nhau: Cân chính xác 1,0 gram vật liệu hấp phụ cho vào các bình tam giác (dung tích  $V = 100$  mL) chứa 50 mL các dung dịch xanh methylene nồng độ 0–300 mg/L (pH = 7,5); tiến hành lắc đều hỗn hợp và thực hiện tiến trình hấp phụ ở điều kiện nhiệt độ phòng; sau khoảng thời gian hấp phụ (90 phút), thu mẫu dung dịch bằng cách lọc hỗn hợp và tiến hành xác định nồng độ MB còn lại. Ngoài ra, nghiên cứu tiến hành lựa chọn 3 kích thước hạt vật liệu phổ biến (212  $\mu\text{m}$ , 600  $\mu\text{m}$  và 1000  $\mu\text{m}$ ) dựa theo tiêu chuẩn ASTM (*American Society for Testing and Materials*) để khảo sát quá trình hấp phụ MB. Qua đó, đánh giá khả năng hấp phụ của vật liệu lọc than sinh học dựa trên các loại kích cỡ khác nhau.

### 2.4. Phân tích phòng thí nghiệm

Đối với các thông số chỉ tiêu môi trường như pH, độ màu được xác định theo các phương pháp chuẩn TCVN và APHA [23]. Trong đó, chỉ số pH đo bằng máy cầm tay pH Meter S20

(Mettler Toledo SevenEasy<sup>TM</sup>), giá trị độ màu được xác định bằng máy quang phổ UV–VIS (Model: T80+, UK) ở bước sóng  $\lambda = 650 \text{ nm}$ .

Các thông số hóa lý của than sinh học (*biochar*) xác định định lượng theo hướng dẫn của The International Biochar Initiative (IBI) [18]. Cấu trúc vật lý bề mặt *biochar* được xem xét, đánh giá bằng kính hiển vi điện tử quét (SEM).

### 2.5. Phương pháp thống kê và xử lý số liệu

Dữ liệu nghiên cứu được thống kê, tính toán các giá trị trung bình (average) và độ lệch chuẩn ( $\pm SD$ ). Hiệu quả xử lý tác nhân ô nhiễm tính toán theo công thức:  $H (\%) = [(C_0 - C_e)/C_0] \times 100$ . Trong đó,  $C_0$  và  $C_e$  (mg/L) lần lượt là hàm lượng tác nhân ô nhiễm trước và sau xử lý. Ngoài ra, để phát hiện sự khác biệt giữa các trị trung bình, nghiên cứu sử dụng phân tích ANOVA mức ý nghĩa  $p < 0,05$ . Tất cả số liệu được biên tập, xử lý bằng phần mềm phân tích thống kê SPSS 16.0 và biểu diễn đồ họa bằng phần mềm Origin 9.0.

## 3. Kết quả nghiên cứu và thảo luận

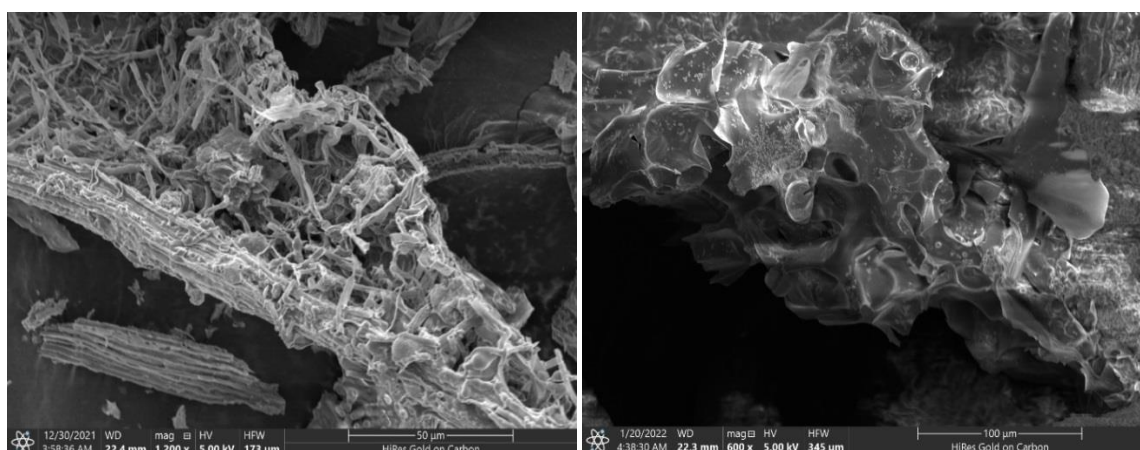
### 3.1. Khảo sát quá trình sản xuất và đặc điểm than sinh học

**Bảng 2.** Hiệu suất *biochar* tạo thành từ phụ phẩm rơm rạ.

Nhiệt độ	Hiệu suất, %		Khối lượng riêng, g/cm <sup>3</sup>		SSA, m <sup>2</sup> /g
	Trung bình	Độ lệch chuẩn	Trung bình	Độ lệch chuẩn	
300°C	54,43	2,03	1,07	0,07	31,6 ± 1,2
400°C	62,43	1,33	1,23	0,11	32,8 ± 5,6
500°C	45,54	2,66	0,91	0,04	30,5 ± 3,1

Chú thích: SSA– Diện tích bề mặt riêng.

Bảng 2 trình bày hiệu suất *biochar* tạo thành từ phụ phẩm rơm rạ ở các điều kiện, quá trình nhiệt phân khác nhau. Đặc tính hóa lý quan trọng của than sinh học như pH, pH<sub>ZPC</sub>, hàm lượng độ tro (%), và diện tích bề mặt riêng (SSA) được thể hiện ở các Bảng 2–3. Giá trị đo pH ở điểm điện tích zero (pH<sub>PZC</sub>) của các loại than *biochar* xác định với các trị số 6,25 (*biochar* 300°C), 6,71 (*biochar* 400°C) và 8,51 (*biochar* 500°C). Kết quả này tương đồng với giá trị của các loại than hoạt tính đã được công bố trước đây [16, 24]. Tuy nhiên, hàm lượng tro (%) nằm trong khoảng giá trị thấp hơn hàm lượng so với một số nghiên cứu khác [16, 24]. Nhìn chung, hàm lượng tro thấp cho thấy khối lượng *biochar* thu được có xu hướng tốt hơn. Nội dung thông tin đặc điểm thành phần than sinh học điều chế ở các mức nhiệt phân khác nhau mô tả chi tiết ở Bảng 3.



**Hình 3.** Ảnh SEM bề mặt than sinh học trước ( $\times 1200 \text{ mag.}$ ) và sau hấp phụ ( $\times 600 \text{ mag.}$ ).

Ngoài ra, ảnh chụp kính hiển vi điện tử quét (SEM) cho thấy diện tích bề mặt và kích thước lỗ rỗng cấu trúc than sinh học đạt yêu cầu. Cụ thể, Hình 3 cho thấy hình dáng bên ngoài cấu trúc bề mặt của hạt than sinh học. Phân tích cho thấy than sản xuất ở nhiệt độ 400°C có kết quả tốt với hàm lượng thành phần nguyên tố carbon (C), hydrogen (H), nitrogen (N) và oxygen (O) chiếm tỷ lệ cao với lần lượt 66,1%, 3,72%, 2,91% và 25,6%. Hơn nữa, hiệu suất tạo than biochar đạt tỷ lệ cao nhất (62,43±1,33%) ở chế độ nhiệt 400°C. Do đó, nghiên cứu sử dụng mẫu than nhiệt phân ở điều kiện 400°C để khảo sát, đánh giá khả năng hấp phụ, loại bỏ xanh methylene (MB).

**Bảng 3.** Thành phần than sinh học sử dụng trong thí nghiệm.

Biochar	Thành phần nguyên tố (trung bình ± độ lệch chuẩn)							pH	pH <sub>ZPC</sub>	
	C, %	H, %	N, %	O, %	H/C	O/C	(N+O)/C			Độ tro, %
300°C	62,1±0,71	4,31±0,05	3,07±0,04	30,1±0,52	0,82	0,37	0,40	21,35±0,08	6,85±0,81	6,25
400°C	66,1±0,08	3,72±0,07	2,91±0,09	25,6±0,08	0,67	0,28	0,33	26,81±0,21	7,13±1,52	6,71
500°C	64,4±1,17	1,26±0,06	1,34±0,04	32,5±1,12	0,24	0,36	0,35	25,54±0,14	7,29±0,27	8,51

### 3.2. Đánh giá khả năng xử lý tác nhân ô nhiễm của than sinh học

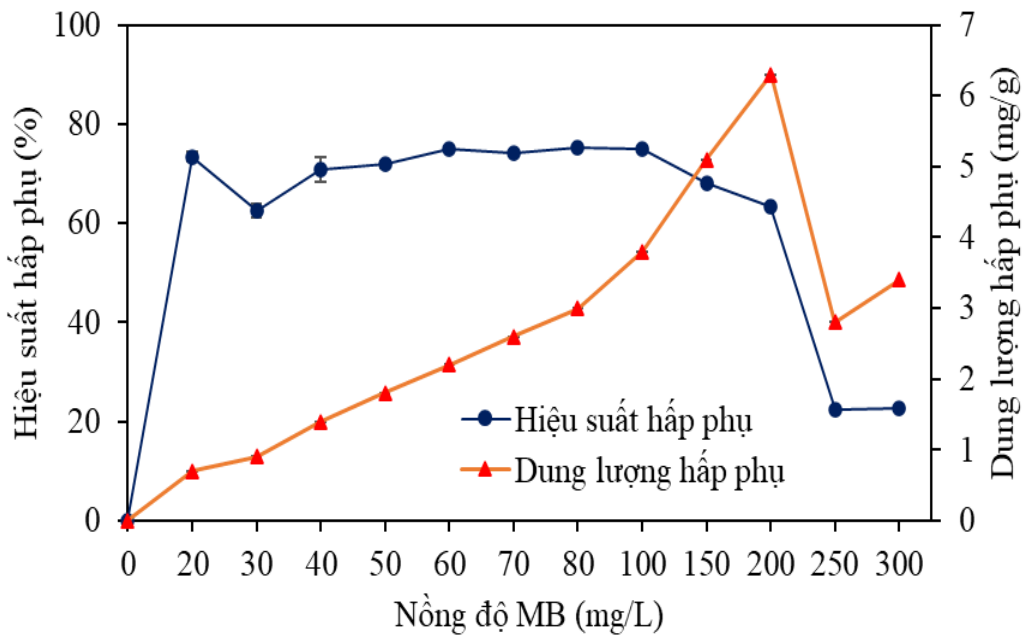
Biochar thường được xem xét sử dụng trong các hoạt động xử lý tác nhân ô nhiễm môi trường, bảo vệ sức khỏe [12, 25]. Để đánh giá khả năng hấp phụ tác nhân ô nhiễm màu (xanh methylene), nghiên cứu khảo sát với dãy nồng độ (C<sub>0</sub>) dao động từ 0, 20, 30 đến 300 mg/L. Hàm lượng MB trước và sau thí nghiệm với các kích thước than sinh học (biochar 212 µm, biochar 600 µm và biochar 1000 µm) được tóm lược trong Bảng 4. Kết quả thử nghiệm cho thấy sự giảm rõ rệt nồng độ MB ở các hàm lượng khác nhau, đặc biệt từ 30–200 mg/L (biochar 212 µm), 20–100 mg/L (biochar 600 µm) và 20–80 mg/L (biochar 1000 µm). Như vậy có thể nhận thấy khả năng áp dụng chế phẩm than sinh học từ phụ phẩm nông nghiệp (rom rạ) phục vụ việc giảm thiểu tác nhân ô nhiễm nước.

**Bảng 4.** Hàm lượng MB trước và sau thí nghiệm với các kích thước than sinh học.

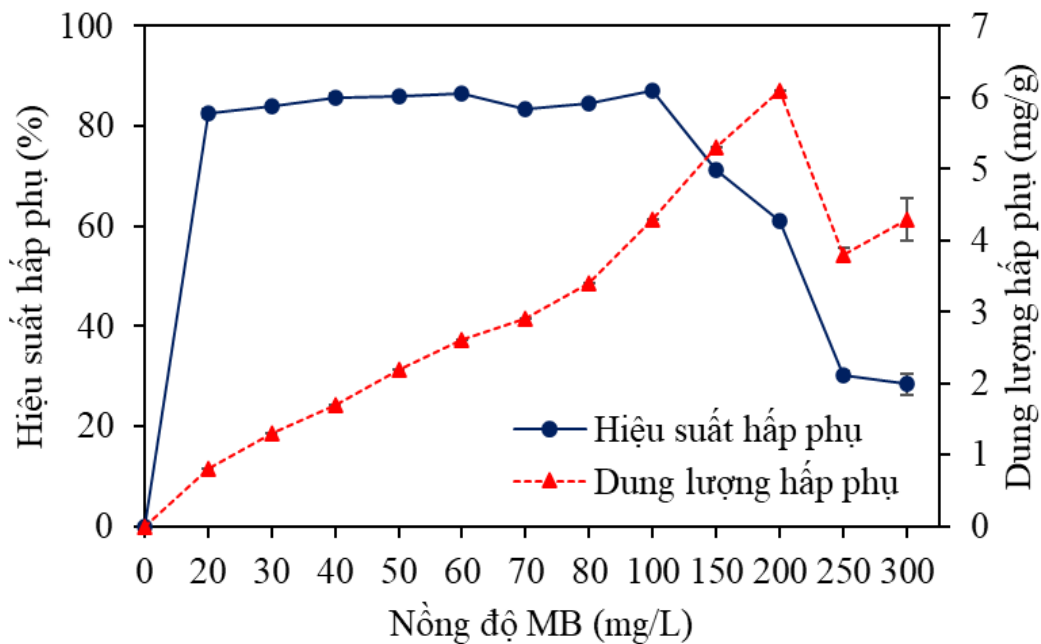
Nồng độ MB ban đầu (mg/L)	Biochar 212 µm		Biochar 600 µm		Biochar 1000 µm	
	Trung bình	Độ lệch chuẩn	Trung bình	Độ lệch chuẩn	Trung bình	Độ lệch chuẩn
20	5,3	0,2	3,5	0,2	6,8	0,5
30	11,3	0,4	4,8	0,2	8,5	0,5
40	11,7	1,0	5,7	0,3	11,5	0,4
50	14,1	0,4	7,0	0,2	12,7	0,3
60	15,0	0,1	8,1	0,2	15,0	0,4
70	18,1	0,3	11,7	0,2	18,3	0,5
80	19,8	0,5	12,4	0,4	20,1	0,4
100	24,9	0,2	13,1	0,1	29,7	3,1
150	47,9	0,7	43,3	1,0	50,1	1,0
200	73,2	0,9	77,9	0,4	86,3	2,0
250	193,7	0,3	174,6	1,9	197,9	0,6
300	231,8	0,3	214,9	6,6	236,3	0,5

Chú thích: MB – Xanh methylene; các trị trung bình ± độ lệch chuẩn (SD) thể hiện kết quả sau thí nghiệm.

Nghiên cứu [26] đã sản xuất biochar từ rơm rạ xử lý nước thải với các chế độ 400°C, 600°C và 800°C. Kết quả chỉ thị chế độ đốt 400°C có hiệu quả hấp phụ  $\text{NO}_3^-$  tốt nhất, với hiệu suất 88%. Trong nghiên cứu này, hiệu suất hấp phụ MB và dung lượng tính toán đối với các loại kích thước than sinh học được thể hiện các Hình 3–5. Trong đó, đối với biochar 212  $\mu\text{m}$  chỉ ra khả năng hấp phụ tốt đối với xanh methylene ở khoảng nồng độ dao động khá rộng, từ 20 đến 200 mg/L. So sánh với các kết quả trước đây chỉ ra quá trình hấp phụ tối ưu ở  $\text{pH} \geq 7$ , thời gian cân bằng hấp phụ đạt sau 60 phút, phù hợp mô hình đẳng nhiệt Langmuir cho quá trình hấp phụ  $\text{NH}_4^+$  trên than biến tính, và dung lượng hấp phụ tối đa ( $q_{\text{max}}$ ) là 16,6 mg/g [15]. Đối với thí nghiệm biochar 212  $\mu\text{m}$  cho thấy dung lượng hấp phụ gia tăng và đạt giá trị cực đại ở nồng độ xanh methylene 200 mg/L. Ngưỡng hấp phụ bão hòa đối với biochar thu được tương đương 6,3 mg/g.

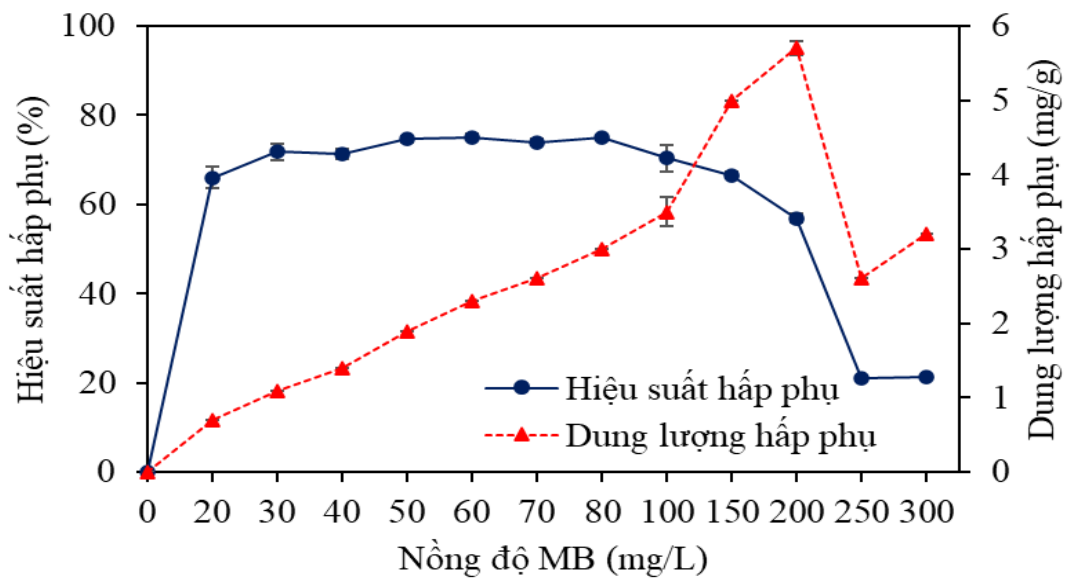


Hình 4. Hiệu suất hấp phụ xanh methylene (MB) của biochar 212  $\mu\text{m}$ .



Hình 5. Hiệu suất hấp phụ xanh methylene (MB) của biochar 600  $\mu\text{m}$ .

Kết quả tương tự đối với hấp phụ MB cho thấy khoảng giá trị biến thiên trong khoảng 20 đến 100 mg/L được hấp phụ tốt bởi than biochar kích thước 600  $\mu\text{m}$ . Đối với than có kích thước lớn hơn (biochar 1000  $\mu\text{m}$ ), khả năng hấp phụ MB đạt hiệu suất cao, biến thiên từ 20 đến 80 mg/L. Đồng thời, quá trình hấp phụ chỉ thị hiệu quả cao và có thể đạt ngưỡng 87% (biochar 600  $\mu\text{m}$ ) và 75% (biochar 1000  $\mu\text{m}$ ). Như vậy, các kết quả khảo sát cho biết kích thước than càng mịn thì càng có khả năng hấp phụ chất nhuộm màu như xanh methylene. Điều này có thể lý giải bởi sự ưu thế liên quan đến diện tích bề mặt riêng lớn (30,5–32,8  $\text{m}^2/\text{g}$ ), sự đa dạng hệ thống kích thước lỗ hổng (lỗ xốp) bên trong cấu trúc than sinh học và bề mặt biochar có thể cung cấp nhóm chức quan trọng như  $-\text{OH}$ ,  $\text{C}=\text{O}$ , v.v.. [12, 25, 27]. Thêm vào đó, biochar còn được xem như là vật liệu hấp phụ hữu hiệu, xử lý loại bỏ màu thân thiện môi trường và có chi phí thích hợp [25]. Có thể thấy quá trình loại bỏ màu (methyl) nhờ sự kết hợp của biochar đã thúc đẩy hiệu quả xử lý tác nhân ô nhiễm [28].



**Hình 6.** Hiệu suất hấp phụ xanh methylene (MB) của biochar 1000  $\mu\text{m}$ .

Ngoài ra, so sánh năng lực hấp phụ loại bỏ MB của các loại than sinh học ở các kích thước hạt khác nhau cho thấy biochar có kích thước mịn (biochar 212  $\mu\text{m}$ ) đạt hiệu quả tốt nhất ( $p < 0,05$ ). Điều này hứa hẹn triển vọng trong quá trình áp dụng để xử lý các nguồn nước bị nhiễm bẩn và là một trong những hướng tiềm năng có tính ứng dụng cho tương lai.

#### 4. Kết luận

Kết quả nghiên cứu đã cho thấy khối lượng than sinh học có nguồn gốc phụ phẩm rom ra có các đặc tính đáp ứng khả năng triển khai áp dụng xử lý nguồn nước nhiễm bẩn. Phương pháp sản xuất thỏa mãn yêu cầu tiêu chí đơn giản, dễ vận hành, phù hợp trong điều kiện quy mô hộ gia đình, với thời gian nhiệt phân tương đối ngắn. Các quá trình thí nghiệm biochar có kích thước mịn (biochar 212  $\mu\text{m}$ ) đạt hiệu quả hấp phụ xanh methylene. Cơ chế lọc dựa vào vật liệu hấp phụ biochar để khử các chất ô nhiễm phụ thuộc vào các yếu tố diện tích bề mặt riêng, độ rỗng cấu trúc vật liệu và liều lượng hấp phụ. Kết quả nghiên cứu cho thấy tiềm năng sản xuất và ứng dụng biochar xử lý, làm sạch các nguồn nước bị ô nhiễm. Tuy nhiên, hạn chế của nghiên cứu chưa thực hiện khám phá khả năng xử lý hấp phụ tác nhân ô nhiễm màu đối với các mẫu nước thải thực, có mức độ ô nhiễm màu cao, điển hình như nước thải dệt nhuộm. Do đó, định hướng nghiên cứu trong thời gian tới rất cần những phát triển chuyên sâu nhằm giải quyết bài toán kiểm soát, quản lý và bảo vệ môi trường hiện nay.

**Đóng góp của các tác giả:** Xây dựng ý tưởng nghiên cứu: N.T.Q.H., N.C.M., N.M.K.; Phương pháp nghiên cứu: N.C.M., N.M.K., D.Q.T., B.T.C.N., N.T.Q.H.; Phân tích, đánh giá



kết quả: N.M.K., N.C.M., N.T.Q.H., D.Q.T., B.T.C.N.; Viết bản thảo bài báo: N.M.K., N.C.M.; Chỉnh sửa bài báo: N.T.Q.H., N.M.K., D.Q.T.

**Lời cảm ơn:** Đề tài được thực hiện bởi sự tài trợ kinh phí từ Bộ Giáo dục và Đào tạo Việt Nam (B2020–NLS–04). Nhóm tác giả chân thành ơn Trường Đại học Nông Lâm TP. Hồ Chí Minh đã hỗ trợ thực hiện 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. Manh, C.N.; Minh, P.V.; Hung, N.T.Q.; Son, P.T.; Kỳ, N.M. Nghiên cứu đánh giá hiệu quả ứng dụng công nghệ đất ngập nước kiến tạo xử lý nguồn nước mặt ô nhiễm. *Tạp chí Khoa học ĐHQGHN: Khoa học Trái đất và Môi trường* **2019**, 35, 11–22.
2. Nhut, H.T.; Hung, N.T.Q.; Sac, T.C.; Bang, N.H.K.; Tri, T.Q.; Hiep, N.T.; Ky, N.M. Removal of nutrients and organic pollutants from domestic wastewater treatment by sponge-based moving bed biofilm reactor. *Environ. Eng. Res.* **2020**, 25, 652–658.
3. Ky, N.M.; Nhut, H.T.; Hiep, N.T.; Lap, B.Q.; Hung, N.T.Q.; Lin, C.; Tam, T.T.M.; Ozaki, A. Investigation of Nitrogen and Phosphorus Recovery from Swine Wastewater by Struvite Crystallization. *J. Fac. Agr. Kyushu Univ.* **2022**, 67(1), 65–74.
4. Kỳ, N.M.; Mạnh, N.C.; Son, P.T.; Hung, N.T.Q.; Minh, P.V.; Đức, N.A. Hiện trạng áp lực xả thải và chất lượng nước mặt kênh rạch tại TP. Thuận An, Tỉnh Bình Dương. *Tạp chí KHCN và Thực phẩm* **2020**, 20 (1), 46–59.
5. Ky, N.M.; Hung, N.T.Q.; Manh, N.C.; Lap, B.Q.; Dang, H.T.T.; Ozaki, A. Assessment of nutrients removal by constructed wetlands using Reed Grass (*Phragmites australis* L.) and Vetiver Grass (*Vetiveria Zizanioides* L.). *J. Fac. Agr., Kyushu Univ* **2020**, 65, 149–156.
6. Kỳ, N.M.; Mạnh, N.C.; Hung, N.T.Q.; Lập, B.Q. Nghiên cứu ứng dụng sản phẩm Bakture (back to nature) xử lý nước mặt bị ô nhiễm. *Tạp chí Nông nghiệp và PTNT* **2021**, 13, 91–99.
7. Dalahmeh, S.S.; Jönsson, H.; Hylander, L.D.; Hui, N.; Yu, D.; Pell, M. Dynamics and functions of bacterial communities in bark, charcoal and sand filters treating greywater. *Water Res.* **2014**, 54, 21–32.
8. Tran, H.T.; Lin, C.; Bui, X.–T.; Nguyen, M.K.; Cao, N.D.T.; Mukhtar, H.; Hoang, H.G.; Varjani, S.; Ngo, H.H.; Nghiem, L.D. Phthalates in the environment: characteristics, fate and transport, and advanced wastewater treatment technologies. *Bioresour. Technol.* **2022**, 344, 126249.
9. Zhao, J.; Shen, X.–J.; Domene, X.; Alcañiz, J.–M.; Liao, X.; Palet, C. Comparison of biochars derived from different types of feedstock and their potential for heavy metal removal in multiple-metal solutions. *Sci. Rep.* **2019**, 9, 1–12.
10. Chen, Y.; Shi, J.; Du, Q.; Zhang, H.; Cui, Y. Antibiotic removal by agricultural waste biochars with different forms of iron oxide. *RSC Adv.* 2019, 9, 14143–14153.
11. Ahmad, M.; Rajapaksha, A.U.; Lim, J.E.; Zhang, M.; Bolan, N.; Mohan, D.; Vithanage, M.; Lee, S.S.; Ok, Y.S. Biochar as a sorbent for contaminant management in soil and water: a review. *Chemosphere* **2014**, 99, 19–33.
12. Lap, B.Q.; Thinh, N.V.D.; Hung, N.T.Q.; Nam, N.H.; Dang, H.T.T.; Ba, H.T.; Ky, N.M.; Tuan, H.N.A. Assessment of Rice Straw-Derived Biochar for Livestock Wastewater Treatment. *Water Air Soil Pollut.* **2021**, 232, 162.
13. Chen, B.; Chen, Z.; Lv, S. A novel magnetic biochar efficiently sorbs organic pollutants and phosphate. *Bioresour. Technol.* **2011**, 102, 716–723.

14. Perez–Mercado, L.F.; Lalander, C.; Berger, C.; Dalahmeh, S.S. Potential of biochar filters for onsite wastewater treatment: Effects of biochar type, physical properties and operating conditions. *Water* **2018**, *10*, 1835.
15. Vũ, T.M.; Trịnh, V.T. Nghiên cứu khả năng xử lý amoni trong môi trường nước của than sinh học từ lõi ngô biến tính bằng H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> và NaOH. *JS: ESS* 2016, 32.
16. Trinh, B.S.; Chinh, P.T.K.; Tram, H.D. Color removal efficiency of rice husk biochar modified with magnetized iron oxides and nano zero valent iron for decolorization of dyeing wastewater. *STDJSEE* **2019**, *3*, 105–114.
17. Nguyen, T.Q.H.; Le Kien, T.; Nguyen, M.K.; Le Truong, N.H. Potential of biochar production from agriculture residues at household scale: a case study in Go Cong Tay district, Tien Giang province, Vietnam. *Nat. Resour. Environ.* **2018**, *16*, 68–78.
18. Hung, N.T.Q.; Thông, L.K.; Kỳ, N.M. Tiềm năng sinh khối phụ phẩm nông nghiệp và hiệu quả ứng dụng sản xuất than sinh học (biochar) quy mô hộ gia đình ở Gò Công Tây, tỉnh Tiền Giang. *STDJSEE* **2017**, *20*, 68–78.
19. Chen, X.; Chen, G.; Chen, L.; Chen, Y.; Lehmann, J.; McBride, M.B.; Hay, A.G. Adsorption of copper and zinc by biochars produced from pyrolysis of hardwood and corn straw in aqueous solution. *Bioresour. Technol.* **2011**, *102*, 8877–8884.
20. Wang, X.; Liu, N.; Liu, Y.; Jiang, L.; Zeng, G.; Tan, X.; Liu, S.; Yin, Z.; Tian, S.; Li, J. Adsorption removal of 17β–estradiol from water by rice straw–derived biochar with special attention to pyrolysis temperature and background chemistry. *Int. J. Environ. Res. Public Health* **2017**, *14*, 1213.
21. Huang, H.J.; Yang, T.; Lai, F.Y.; Wu, G.Q. Co–pyrolysis of sewage sludge and sawdust/rice straw for the production of biochar. *J. Anal. Appl. Pyrolysis* **2017**, *125*, 61–68.
22. Harvey, O.R.; Herbert, B.E.; Kuo, L.J.; Louchouart, P. Generalized two–dimensional perturbation correlation infrared spectroscopy reveals mechanisms for the development of surface charge and recalcitrance in plant–derived biochars. *Environ. Sci. Technol.* **2012**, *46*, 10641–10650.
23. APHA. Standard methods for the examination of water and wastewater, Washington, DC, USA 2012.
24. Claoston, N.; Samsuri, A.W.; Ahmad Husni, M.H.; Mohd Amran, M.S. Effects of pyrolysis temperature on the physicochemical properties of empty fruit bunch and rice husk biochars. *Waste Manag. Res.* **2014**, *32*, 331–339.
25. Liu, Y.; Zhao, X.; Li, J.; Ma, D.; Han, R. Characterization of bio–char from pyrolysis of wheat straw and its evaluation on methylene blue adsorption. *Desalin. Water Treat.* **2012**, *46*, 115–123.
26. Zhao, H.; Li, T.; Yao, X.; Yu, Z.; Zheng, S.; Wang, P. Effects of Environmental Conditions on Rice–straw Biochar Adsorption of Nitrate. Asia–Pacific Engineering and Technology Conference, 2017, 904–914.
27. Nguyen, M.K.; Lin, C.; Hoang, H.G.; Sanderson, P.; Dang, B.T.; Bui, X.T.; Nguyen, N.S.H.; Vo, D.V.N.; Tran, H.T. Evaluate the role of biochar during the organic waste composting process: A critical review. *Chemosphere* **2022**, *299*, 134488.
28. Han, L.; Xue, S.; Zhao, S.; Yan, J.; Qian, L.; Chen, M. Biochar supported nanoscale iron particles for the efficient removal of methyl orange dye in aqueous solutions. *PloS One* **2015**, *10*, e0132067.

## Removal of contaminated water by adsorption using biochar derived from agricultural by-product biomass

Nguyen Cong Manh<sup>1</sup>, Nguyen Tri Quang Hung<sup>2</sup>, Doan Quang Tri<sup>3</sup>, Bui Thi Cam Nhi<sup>2</sup>, Nguyen Minh Ky<sup>2,4\*</sup>

<sup>1</sup> Research Institute of Biotechnology and Environment, Nong Lam University of Ho Chi Minh City; congmanh@hcmuaf.edu.vn

<sup>2</sup> Faculty of Environment and Natural Resources, Nong Lam University of Ho Chi Minh City; quanghungmt@hcmuaf.edu.vn

<sup>3</sup> Viet Nam Meteorological and Hydrological Administration; doanquangtrikttv@gmail.com

<sup>4</sup> Department of Environment and Natural Resources, Gia Lai Branch, Nong Lam University of Ho Chi Minh City; nmky@hcmuaf.edu.vn

**Abstract:** This paper presents biochar application derived from agricultural by-products for methylene blue (MB) adsorption in an aqueous solution. Biochar formed from agricultural by-product biomass has a large specific surface area (SSA), and high content of elemental components, including carbon (C), hydrogen (H), oxygen (O), and nitrogen (N). The color adsorption capacity has achieved a good signal for biochar application to environmental treatment. Biochar samples from rice straw pyrolysis at 400°C were selected to investigate the adsorption capacity of methylene blue. The findings demonstrated that the adsorption capacity increased and peaked at the concentration of methylene blue at 200 mg/L. The fine-sized biochar (biochar 212 μm) achieved the best adsorption efficiency for methylene blue with a saturation adsorption threshold of 6.3 mg/g. Methylene blue adsorption capacity can reach > 75% efficiency. The reason can be explained by the advantage of large specific surface area, the diversity of pore size systems inside the biochar structure, and the biochar surface that can provide critical functional groups such as –OH, C=O. Thus, research on biochar application derived from agricultural by-products in polluted water treatment indicates their valuable potential in the future.

**Keywords:** Adsorption; Biochar; Water treatment; Agriculture; Biomass.

Bài báo khoa học

## Đánh giá các thay đổi dòng chảy trên dòng chính sông Mê Công và các giải pháp đảm bảo an ninh nguồn nước vùng ĐBSCL

Phan Trường Khanh<sup>1\*</sup>, Nguyễn Hồng Quân<sup>2,3</sup>, To Quang Toan<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Khoa Kỹ Thuật Công Nghệ Môi Trường, Trường Đại học An Giang – Đại học Quốc gia TPHCM; ptkhanhagu@gmail.com

<sup>2</sup> Viện Nghiên cứu Phát triển kinh tế tuần hoàn – Đại học Quốc gia TPHCM; nh.quan@iced.org.vn

<sup>3</sup> Trung tâm Quản lý nước và Biến đổi khí hậu, Viện Môi trường và Tài nguyên –Đại học Quốc gia TPHCM; nh.quan@iced.org.vn

<sup>4</sup> Viện Khoa học Thủy lợi miền Nam; toan\_siwrr@yahoo.com

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

Ban Biên tập nhận bài: 12/4/2022; Ngày phản biện xong: 2/6/2022; Ngày đăng bài: 25/6/2022

**Tóm tắt:** Các phát triển ở thượng lưu sông Mê Công đang làm thay đổi dòng chảy, từ 2012 đến nay xuất hiện lũ nhỏ và mặn làm gia tăng các quan ngại về an ninh nguồn nước. Bài báo đánh giá các thay đổi dòng chảy trái qui luật trên sông Mê Công cả mùa lũ và mùa kiệt. Kết quả cho thấy, trước 2010 khi mà tác động thủy điện chưa đáng kể, dòng chảy năm lũ lớn 2000, tại Chiang Saen cao nhất 3.192 m<sup>3</sup>/s trong khi ở Kratie là 18.031 m<sup>3</sup>/s. Ở năm kiệt nước như 1998 là 2.560 m<sup>3</sup>/s tại Chiang Saen và 8.612 m<sup>3</sup>/s ở Kratie. Ở thượng nguồn hạn xuất hiện từ tháng 3, trong khi hạ nguồn vào tháng 4. Mùa lũ, lưu lượng tháng lớn nhất ở các trạm thượng nguồn thường xuất hiện sớm hơn các trạm hạ nguồn một tháng. Đỉnh lũ xuất hiện vào tháng 9 ở thượng nguồn trong khi ở hạ nguồn vào tháng 10. Sau 2010, do ảnh hưởng của thủy điện, mực nước trên dòng chính đã thay đổi đáng kể, dòng chảy kiệt bình quân tăng, tháng kiệt ở hạ lưu dịch sớm một tháng trùng với thời gian kiệt ở thượng lưu, đặc biệt lũ lớn chưa trở lại ở trạm đầu nguồn và cuối nguồn số năm lũ vượt mức báo động giảm. Bài báo cũng đưa ra các giải pháp để đảm bảo an ninh nguồn nước trên đồng bằng.

**Từ khóa:** An ninh nguồn nước; Dòng chảy mùa lũ; Dòng chảy mùa kiệt; Dòng chính sông Mê Công.

### 1. Mở đầu

Nước ngọt có vai trò quan trọng của sinh vật và xã hội loài người. Tuy nhiên, sự phân bố của nó không đồng đều trên trái đất dẫn đến sự cạnh tranh giữa những người dùng nước [1]. Xã hội ngày càng phát triển, nhu cầu nước ngày càng tăng [2]. Tính liên kết của môi trường, giao thông, năng lượng, lương thực và kinh tế...trong bối cảnh mới này đan xen với nước đang đặt ra nhiều khó khăn thách thức [3].

Lưu vực sông Mê Công có dân số và kinh tế ngày càng phát triển kéo theo nhu cầu về năng lượng ngày càng tăng, xây dựng thủy điện trong lưu vực để đáp ứng nhu cầu này [4]. Một số nước phát triển thủy điện như một con đường xóa đói giảm nghèo hoặc tối thiểu là một cách để cung cấp điện cho hàng triệu hộ gia đình trong khu vực vẫn chưa có điện [5]. Từ năm 1993-2005, hàng năm tăng 8% nhu cầu năng lượng, dự kiến sẽ tăng 6-7% mỗi năm vào năm 2025[6]. Sông Mê Công có tiềm năng thủy điện khoảng 176.350-250.000 MW. Bốn

quốc gia: Thái Lan, Việt Nam, Campuchia và Lào có tiềm năng thủy điện ước tính khoảng 50.000–64.750 MW, trong đó cung cấp 30.000 MW [7–8]. Tổng dung tích hữu ích của các hồ chứa trên Mê Công hiện nay vào khoảng 40 tỷ m<sup>3</sup> [9].

Trồng lúa là sinh kế chính của người dân trong vùng [10]. Tổng diện tích tưới tiêu cho trồng lúa ở sông Mê Công ước tính khoảng 4,3 triệu ha, trong đó Việt Nam chiếm 42%, Thái Lan 30%, Trung Quốc 12%, Campuchia 8%, Lào 7% và Myanmar là 2%. Diện tích được tưới thực tế ước tính khoảng 3,6 triệu ha. Ở hạ lưu vực, diện tích được tưới vào mùa khô khoảng 1,2 triệu ha, chưa đến 10% tổng diện tích nông nghiệp (15 triệu ha) [11]. Việc mở rộng canh tác nông nghiệp hiện nay trong lưu vực bị hạn chế bởi sự sẵn có của nước vào mùa khô [12]. Tổng lượng nước tưới tiêu ước tính là 62 km<sup>3</sup>, tương đương 13% lưu lượng hàng năm của sông Mekong, trong đó Việt Nam chiếm khoảng 52%, Thái Lan 29%, Trung Quốc 9%, Lào 5%, Campuchia 3 % và Myanmar 2% [13].

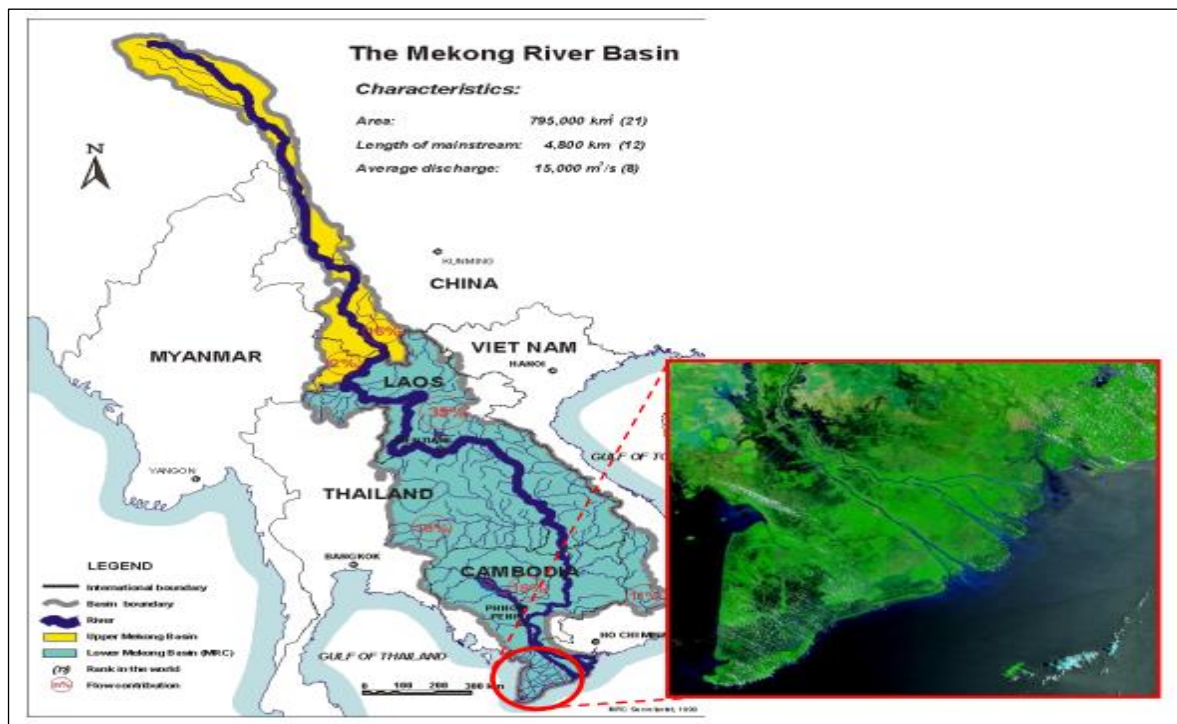
Trong vòng một thập kỷ qua rừng che phủ bị suy giảm đều trên toàn lưu vực như đồng bằng Korat thuộc các nhánh sông Mun và Chi ở Thái Lan, rừng che phủ giảm từ 42% trong năm 1961 đến 13% trong năm 1995 [11]. Theo WWF, hiện nay sông Mê Công có khoảng 98 triệu ha rừng tự nhiên. Tuy nhiên, diện tích này sẽ mất nhanh chóng nếu chúng ta không có biện pháp ngăn chặn [14]. Việc xây dựng các đập bậc thang ở Yunnan thuộc Trung Quốc và Luang Prabang, Sanakham thuộc Lào đã có bằng chứng làm thay đổi dòng chảy và tác động mạnh mẽ đến hạ lưu sông Mê Công [9, 11]. Một số quan ngại mùa khô có thể thiếu nước và mùa lũ có thể nhiều nước do các đập tích nước trong mùa khô để có thể chạy hết công suất máy và xả lũ trong mùa mưa để giảm nguy cơ vỡ đập [15].

Hiện có rất ít nghiên cứu về các cực trị thủy văn bị tác động bởi sự thay đổi lớp phủ trong lưu vực [11]. Tuy nhiên việc thay đổi lớp phủ thực vật vẫn đang diễn ra hàng năm, đặc biệt là việc biến mất một số lượng rất lớn rừng, đã làm suy giảm tiềm năng tích nước trong lưu vực và hệ quả là càng làm gia tăng các hiểm họa về lũ lụt và khô hạn [16]. Thủy điện đã ảnh hưởng đến chế độ thủy văn cũng như việc khí hậu ấm dần lên có thể làm dịch chuyển đường biên của các vùng đóng băng ở đồng bằng Tibet, Trung Quốc [9, 11]. “Hiệu ứng dòng chảy đói phù sa”– khiến nhiều hộ gia đình ở Thái Lan bị thua lỗ trong nông nghiệp, nhiều nông dân Việt Nam phải di cư nơi khác để tìm kiếm việc làm [17]. Việc tăng số đập sẽ dẫn đến thiệt hại ước tính khoảng 3.400 tấn phosphate mỗi năm ở đồng bằng ngập lũ sông Cửu Long, do đó, mỗi năm mất 24 triệu đồng để mua phân bón thay vì lượng phát phát [18]. Ở Việt Nam, bùn và đất sét ước tính giảm tương ứng 2,4 và 0,02 triệu tấn mỗi năm (tương ứng là 74% và 1%); sự giảm này sẽ dẫn đến giảm sản lượng gạo từ 2,3 đến 2,5% mỗi năm và trong sản xuất ngô từ 21 đến 22 phần trăm mỗi năm [18]. Theo Kiểm toán Nhà nước, tình trạng thiếu nước ở Việt Nam và Thái Lan có xu hướng gia tăng. Tại Việt Nam, lượng nước từ thượng nguồn đổ về Đồng bằng Sông Cửu Long năm 2020 thấp hơn 157 tỉ mét khối so với 2011. Theo dự báo, nếu cả 9 con đập ở Lào được xây dựng, lượng phù sa về đến ĐBSCL sẽ giảm còn 5–7% (10–13 triệu tấn/năm), Phù sa, bùn cát năm 2020 giảm 14 triệu tấn so với năm 2017 [19]. Với Thái Lan, số ngày có lượng nước ở mức cực thấp tại 6 trạm đo dọc sông Mekong từ năm 2019 tới nay đã tăng lên đáng kể so với giai đoạn trước đó [20]. Từ lũ 2016 đến nay, mực nước và lưu lượng tại các trạm trên dòng chính sông Mê Công luôn thấp hơn 1,0–4,0 m và 15–50% ở các tháng 6, 7 và 8 tương ứng so nhiều năm trước đây. Tuy nhiên, 2016 lưu lượng tháng 8 lại thấp hơn so năm 2015 và thấp nhất trong nhiều năm cùng kỳ [21]. Vào mùa kiệt, dòng chảy của sông Mê Công giảm mạnh, thấp nhất là tháng 3, tháng 4 lưu lượng chỉ 1.700 m<sup>3</sup>/s-2.500 m<sup>3</sup>/s [22], thấp hơn khoảng 30 lần so với đỉnh lũ [23]. Trong khi đó, nhu cầu nước ở ĐBSCL vào tháng 4 là 2.000 m<sup>3</sup>/s [24].

Nhận thấy tầm quan trọng của tài nguyên nước đối với người dân. Do đó, chúng ta cần phải đánh giá dòng chảy của sông Mê Công qua thời gian để làm cơ sở dữ liệu cho chính quyền địa phương và các nhà khoa học tìm các giải pháp phù hợp để đảm bảo an ninh nguồn nước cho hàng ngàn hộ dân sống dọc theo sông Mê Công.

## 2. Phương pháp nghiên cứu

### 2.1. Giới thiệu khu vực nghiên cứu



Hình 1. Lưu vực sông Mê Công và Đồng bằng Sông Cửu Long.

Mê Công lớn nhất ở Đông Nam Á, bắt nguồn Tây Tạng, Trung Quốc chảy qua 6 quốc gia: Trung Quốc, Myanma, Lào, Thái Lan, Campuchia và Việt Nam trước khi đổ ra Biển Đông bằng 8 cửa sông. Chiều dài của sông 4.800 km, diện tích 795.000 km<sup>2</sup>, dòng chảy trung bình 15.000 m<sup>3</sup>/s (MRC, 2010). So các sông trên thế giới, Mê Công đứng thứ 8 về tổng lượng dòng chảy, thứ 12 về chiều dài và thứ 21 về diện tích. Sông Mê Công trải dài từ 90° đến 107° Kinh Đông, được chia thành hai vùng chính: Thượng lưu là phần diện tích ở Chiang Saen với chiều dài 2.200 km và diện tích 188.460 km<sup>2</sup> (Hình 1.). Hạ lưu có chiều dài là 2.600 km với diện tích 606.540 km<sup>2</sup> bao gồm 97% diện tích Lào (202.400 km<sup>2</sup>), 86% diện tích Campuchia (154.730 km<sup>2</sup>), 36% diện tích Thái Lan (184.200 km<sup>2</sup>) và 20% diện tích Việt Nam (65.170 km<sup>2</sup>).

### 2.2. Phương pháp thu thập số liệu

Số liệu mực nước hàng ngày được thu thập từ 11 trạm khí tượng thủy văn trên dòng chính sông Mê Công từ trạm Chiang Saen đến trạm Kratie được Ủy hội sông Mê Công cung cấp. Số liệu lưu lượng được xây dựng từ đường tương quan mực nước và lưu lượng cho một số năm điển hình từ đường tương quan đó, ta tính được lưu lượng cho các năm khác tương ứng. Số liệu các trạm quan trắc dài nhất từ 1910 đến nay đó là trạm Stung Treng. Số liệu trạm ngắn nhất từ 1969 đến nay là trạm Nông Khai. Số liệu lưu lượng của 11 trạm được thống kê thành biểu bảng và một số trạm được biểu diễn bằng đồ thị.

## 3. Những thay đổi đặc trưng thủy văn giai đoạn trước và sau 2010

### 3.1. Các trạm thủy văn dòng chính

Bản đồ vị trí 11 đập thủy điện cùng vị trí các trạm thủy văn trên dòng chính được đưa ra ở Hình 2. Nghiên cứu phân tích chi tiết cho một số trạm này. Các trạm thủy văn dòng chính

được quản lý bởi các quốc gia thành viên (Việt Nam, Lào, Campuchia và Thái Lan) và chia sẻ số liệu với Ủy hội sông Mê Công.

### 3.2. Đặc trưng lưu lượng trước 2010

#### 3.2.1. Đặc trưng lưu lượng, lớn nhất, nhỏ nhất và trung bình

Các đặc trưng lưu lượng các trạm thủy văn dòng chính được đưa ra ở Bảng 1. Kết quả cho thấy, thay đổi lưu lượng lớn nhất trong năm ở các trạm dòng chính phía thượng nguồn là rất lớn, từ 23.500 m<sup>3</sup>/s vào mùa lũ năm 1996 tại trạm Chiang Saen, trung bình năm 2.655m<sup>3</sup>/s đến 78.093 m<sup>3</sup>/s tại trạm Stung Treng vào lũ năm 1939, trung bình năm 13.410m<sup>3</sup>/s. Lưu lượng mùa kiệt cũng thay đổi lớn dao động từ 199m<sup>3</sup>/s (04/1995) tại thượng nguồn Chiang Saen đến 1.076m<sup>3</sup>/s (04/1978) tại Kratie.

**Bảng 1.** Đặc trưng lưu lượng ngày ở các trạm dòng chính sông Mê Công.

Tên trạm	Lưu lượng trung bình (m <sup>3</sup> /s)	Lưu lượng lớn nhất (m <sup>3</sup> /s)	Ngày xuất hiện	Lưu lượng nhỏ nhất (m <sup>3</sup> /s)	Ngày xuất hiện
Chiang Saen	2.655	23.500	03/09/1966	199	11/04/1995
Luang Prabang	3.943	25.200	02/09/1966	485	26/04/1999
Chiang Khan	4.172	24.431	15/08/2008	716	01/04/2004
Vientiane	4.508	27.470	16/08/2008	602	05/04/1999
Nong Khai	4.500	25.100	01/09/1994	745	17/04/1995
Nakhon Phanom	7.583	35.321	05/09/1995	857	24/04/1989
Mukdahan	7.971	38.900	30/08/1923	958	06/04/1933
Khong Chiam	8.955	54.300	17/08/1978	1.230	12/04/1978
Pakse	10.108	56.000	17/08/1978	661	29/02/1996
Stung Treng	13.410	78.093	02/09/1939	855	02/05/1915
Kratie	12.973	67.320	03/09/1939	1.076	17/04/1960

Các đặc trưng lưu lượng trung bình năm theo giai đoạn và lưu lượng ở một số năm lũ lớn 2000, lũ trung bình 1999, lũ nhỏ 1998 được đưa ra ở Bảng 2. Lưu lượng bình quân hàng năm giai đoạn trước 1960 được xem là lớn hơn lưu lượng ở các giai đoạn sau (1961–2000; 2001–2010), có thể nói rằng độ che phủ mặt đệm ở lưu vực giai đoạn trước 1960 còn lớn nên khả năng giữ nước tốt hơn các giai đoạn sau.

**Bảng 2.** Đặc trưng lưu lượng trung bình hàng năm ở các trạm dòng chính sông Mê Công (Đơn vị: m<sup>3</sup>/s).

Tên trạm	Giai đoạn 1910–1960	Giai đoạn 1961–2000	Giai đoạn 2001–2010	Trung bình	Lớn nhất	Nhỏ nhất	1998	1999	2000
Chiang Saen	–	2.680	2.507	2.644	4.559	1.475	2.560	2.598	3.192
Luang Prabang	3.946	3.932	3.862	3.926	6.690	1.876	3.645	3.978	4.729
Chiang Khan	–	4.173	4.088	4.154	6.596	2.325	3.637	4.403	4.989
Vientiane	4.557	4.394	4.543	4.489	7.646	2.132	3.440	3.921	4.362
Nong Khai	–	4.500	4.423	4.482	6.896	2.408	4.006	4.667	5.221
Nakhon Phanom	7.695	7.130	8.692	7.550	12.192	3.831	6.151	7.892	10.257
Mukdahan	8.359	7.584	7.739	7.936	12.809	4.255	5.760	8.061	9.363
Khong Chiam	–	9.028	8.529	8.917	14.839	4.955	6.136	8.832	10.774
Pakse	10.387	9.759	10.064	10.065	16.439	5.480	7.202	10.197	12.666
Stung Treng	13.561	12.859	14.249	13.351	22.514	6.554	8.601	13.967	17.826
Kratie	13.252	12.612	12.944	12.923	21.469	6.634	8.612	14.301	18.031



Hình 2. Bản đồ các trạm thủy văn và thủy điện trên dòng chính.



Kết quả phân tích lưu lượng trung bình tháng lớn nhất (tháng 8, 9) và nhỏ nhất (tháng 3, 4) theo các giai đoạn và một số năm điển hình (lũ lớn 2000, lũ trung bình 1999 và lũ nhỏ 1998) ở các trạm thủy văn dòng chính được đưa ra ở

Bảng 3 và Bảng 4. Kết quả cho thấy lưu lượng lớn nhất dao động từ 10.000 m<sup>3</sup>/s đến 38.000 m<sup>3</sup>/s. Trong khi đó, lưu lượng tháng nhỏ nhất dao động từ 1.000 m<sup>3</sup>/s đến 1.800 m<sup>3</sup>/s. Và lưu lượng tháng 4 và tháng 9 ở các trạm Pakse, Stung Treng và Kratie đều cao hơn lưu lượng các trạm đầu nguồn Chiang Saen, Luang, Prabang ở hầu hết các giai đoạn và các năm lũ lớn, nhỏ, trung bình.

**Bảng 3.** Đặc trưng lưu lượng trung bình tháng lớn nhất ở các trạm dòng chính (Đơn vị: m<sup>3</sup>/s).

Tên trạm	Tháng	Giai đoạn 1910–1960	Giai đoạn 1961–2000	Giai đoạn 2001–2010	Trung bình	Lớn nhất	Nhỏ nhất	1998	1999	2000
Chiang Saen	8	–	6.435	5.692	6.312	10.995	2.860	7.077	5.545	6.356
Luang Prabang	8	10.982	9.893	10.085	10.253	16.906	3.934	9.724	8.933	9.478
Chiang Khan	8	–	10.496	10.322	10.456	18.123	5.142	9.281	8.884	9.772
Vientiane	8	12.595	10.905	11.833	11.828	19.677	4.760	9.022	7.839	8.996
Nong Khai	8	–	11.408	11.561	11.444	18.761	5.366	10.431	9.135	10.944
Nakhon Phanom	8	21.108	18.918	23.050	20.324	30.363	10.531	15.271	17.071	22.561
Mudahan	8	23.052	20.477	21.867	21.747	32.953	12.323	14.342	18.119	20.326
Khong Chiam	8	–	24.695	23.107	24.342	40.539	14.677	14.677	20.619	23.067
Pakse	9	28.676	26.353	26.820	27.409	40.031	16.327	20.929	29.013	36.392
Stung Treng	9	39.537	36.188	37.496	38.008	56.052	19.052	24.989	33.912	51.832
Kratie	9	38.259	35.786	35.653	36.823	51.529	18.993	24.905	34.802	50.580

**Bảng 4.** Đặc trưng lưu lượng trung bình tháng nhỏ nhất ở các trạm dòng chính (Đơn vị: m<sup>3</sup>/s).

Tên trạm	Tháng	Giai đoạn 1910–1960	Giai đoạn 1961–2000	Giai đoạn 2001–2010	Trung bình	Lớn nhất	Nhỏ nhất	1998	1999	2000
Chiang Saen	3	–	831	774	819	1.185	496	655	702	920
Luang Prabang	3	1.080	1.065	1.047	1.067	1.441	673	932	673	1.223
Chiang Khan	4	–	1.060	1.146	1.080	1.376	817	1.194	943	1.324
Vientiane	3	1.192	1.167	1.312	1.194	1.664	756	952	756	1.233
Nong Khai	3	–	1.177	1.305	1.207	1.564	971	1.119	971	1.354
Nakhon Phanom	4	1.437	1.543	2.156	1.568	2.577	976	1.852	1.592	2.236
Mudahan	4	1.536	1.572	1.811	1.584	2.303	1.006	1.655	1.514	1.927
Khong Chiam	4	–	1.838	2.149	1.907	2.422	1.372	1.783	1.789	2.112
Pakse	4	1.698	1.813	2.046	1.789	2.492	1.098	1.858	1.687	2.427
Stung Treng	4	1.784	2.002	2.950	1.986	3.444	1.043	2.033	2.388	3.056
Kratie	4	1.850	1.967	2.600	1.990	3.185	1.209	2.247	2.231	2.938

Kết quả ở Bảng 3 và 4 cũng cho thấy, mùa lũ lưu lượng tháng lớn nhất ở các trạm thượng nguồn từ Chiang Saen đến Khong Chiam thường xuất hiện sớm hơn các trạm hạ nguồn (Stung Treng đến Kratie) đến 1 tháng và được xem là sớm hơn so với lũ về ĐBSCL từ 1 đến 1,5 tháng (đỉnh lũ cuối tháng 9 và đầu tháng 10). Lưu lượng bình quân tháng lớn nhất được xem là nhỏ hơn đáng kể so với lưu lượng đỉnh lũ vào khoảng 40–90%. Trong đó các trạm ở

thượng nguồn (Chiang Saen) có khác biệt lớn hơn phản ánh lũ ở lưu vực nhỏ, thời gian ngắn. Các trạm ở hạ lưu (Kratie) có sự khác biệt ít hơn do lũ được điều tiết trên suốt chiều dài lưu vực trước khi về đến các trạm này.

Kết quả Bảng 4 cho thấy, lưu lượng tháng nhỏ nhất ở các trạm thượng nguồn từ Chiang Saen đến Nong Khai thường xuất hiện sớm hơn các trạm hạ nguồn (Nakhon Phanom đến Kratie) đến 1 tháng. Ở thượng nguồn hạn đã xuất hiện từ tháng 3, trong khi ở hạ nguồn phổ biến vào tháng 4. Lưu lượng bình quân tháng nhỏ nhất được xem là chỉ khác nhau vài chục, vài trăm đến khoảng 2.000 m<sup>3</sup>/s ở các trạm.

### 3.2.2. Đặc trưng lưu lượng theo các tần suất

Lưu lượng đỉnh lũ hàng năm của các trạm thủy văn trên dòng chính ứng với các tần suất được đưa ra ở bảng 4.

**Bảng 4.** Đặc trưng dòng chảy lớn nhất về các trạm thủy văn theo tần suất.

Tên trạm	Trung bình	Lưu lượng lớn nhất theo các tần suất (m <sup>3</sup> /s)							
		P <sub>1%</sub>	P <sub>2%</sub>	P <sub>5%</sub>	P <sub>10%</sub>	P <sub>25%</sub>	P <sub>50%</sub>	P <sub>75%</sub>	P <sub>85%</sub>
Chiang Saen	10.289	20.383	18.517	16.027	14.118	11.534	9.486	8.186	7.741
Luang Prabang	15.152	23.740	22.467	20.673	19.193	16.954	14.794	12.961	12.105
Chiang Khan	15.866	24.724	23.432	21.605	20.089	17.777	15.522	13.580	12.661
Vientiane	16.776	26.021	24.693	22.805	21.233	18.820	16.442	14.368	13.375
Nongkhai	16.727	26.048	24.692	22.772	21.179	18.746	16.370	14.319	13.347
Nakhon Phanom	25.961	39.932	37.978	35.183	32.833	29.185	25.524	22.262	20.670
Muk-dahan	28.424	43.622	41.512	38.487	35.939	31.969	27.968	24.382	22.623
Khong Chiam	34.107	52.724	50.078	46.308	43.157	38.296	33.471	29.227	27.178
Pakse	37.487	57.340	54.613	50.694	47.381	42.195	36.931	32.173	29.822
Stung Treng	53.741	82.690	78.636	72.839	67.969	60.408	52.830	46.082	42.790
Kratie	48.285	73.795	70.301	65.276	61.024	54.360	47.584	41.446	38.408

Đặc trưng dòng chảy bình quân năm của các trạm thủy văn trên dòng chính theo tần suất được đưa ra ở

Bảng 5. Có thể thấy rằng thủy điện được thiết kế với lưu lượng dòng chảy năm khá lớn, lớn hơn trung bình nhiều năm và tương đương với tần suất 5–10%, tương ứng với thời gian trở lại vào khoảng 10–20 năm (có tính đến điều tiết của thủy điện dòng nhánh) là nguyên nhân mực nước các trạm dòng chính thay đổi lớn những năm gần đây cả mùa lũ lẫn mùa kiệt.

**Bảng 5.** Đặc trưng dòng chảy bình quân năm về các trạm thủy văn theo tần suất.

Tên trạm	Đặc trưng dòng chảy bình quân năm theo các tần suất (m <sup>3</sup> /s)						
	1%	2%	5%	10%	50%	75%	85%
Chiang Saen	4.586	4.287	3.868	3.528	2.548	2.162	1.988
Luang Prabang	6.452	6.117	5.630	5.215	3.871	3.237	2.918
Chiang Khan	6.452	6.117	5.630	5.215	3.871	3.237	2.918
Vientiane	7.352	6.975	6.428	5.960	4.432	3.704	3.335
Nong Khai	7.354	6.975	6.423	5.951	4.421	3.696	3.330
Nakhon Phanom	12.391	11.750	10.821	10.025	7.447	6.227	5.610
Mudahan	12.968	12.311	11.354	10.532	7.841	6.551	5.894
Khong Chiam	14.626	13.872	12.777	11.840	8.797	7.355	6.625
Pakse	16.417	15.592	14.389	13.354	9.951	8.311	7.473
Stung Treng	21.798	20.698	19.095	17.717	13.195	11.023	9.915
Kratie	21.119	20.049	18.489	17.150	12.767	10.667	9.598

Đặc trưng lưu lượng trung bình tháng của các tháng lớn nhất và các tháng nhỏ nhất theo các tần suất ở các trạm thủy văn dòng chính được đưa ra ở các bảng dưới. Kết quả phân tích cho thấy giai đoạn trước 2010, khác biệt lưu lượng theo các tần suất và theo các năm ở tháng lũ và tháng kiệt nhất là khá lớn.

**Bảng 6.** Đặc trưng dòng chảy trung bình tháng lớn nhất về các trạm thủy văn theo tần suất.

Tên trạm	Đặc trưng dòng chảy trung bình tháng lớn nhất theo các tần suất (m <sup>3</sup> /s)							
	Tháng	1%	2%	5%	10%	50%	75%	85%
Chiang Saen	8	11.185	10.454	9.428	8.585	6.099	5.078	4.606
Luang Prabang	8	17.346	16.352	14.930	13.737	10.028	8.377	7.571
Chiang Khan	8	18.086	16.944	15.339	14.019	10.125	8.523	7.780
Vientiane	8	19.842	18.722	17.120	15.772	11.578	9.704	8.789
Nong Khai	8	19.985	18.762	17.023	15.572	11.141	9.216	8.291
Nakhon Phanom	8	33.691	31.869	29.245	27.022	19.968	16.731	15.123
Mudahan	8	36.020	34.079	31.283	28.911	21.373	17.905	16.180
Khong Chiam	8	40.451	38.240	35.061	32.373	23.892	20.030	18.120
Pakse	9	45.231	42.834	39.369	36.422	26.977	22.582	20.382
Stung Treng	9	62.658	59.353	54.572	50.500	37.424	31.321	28.260
Kratie	9	60.547	57.390	52.815	48.908	36.292	30.359	27.368

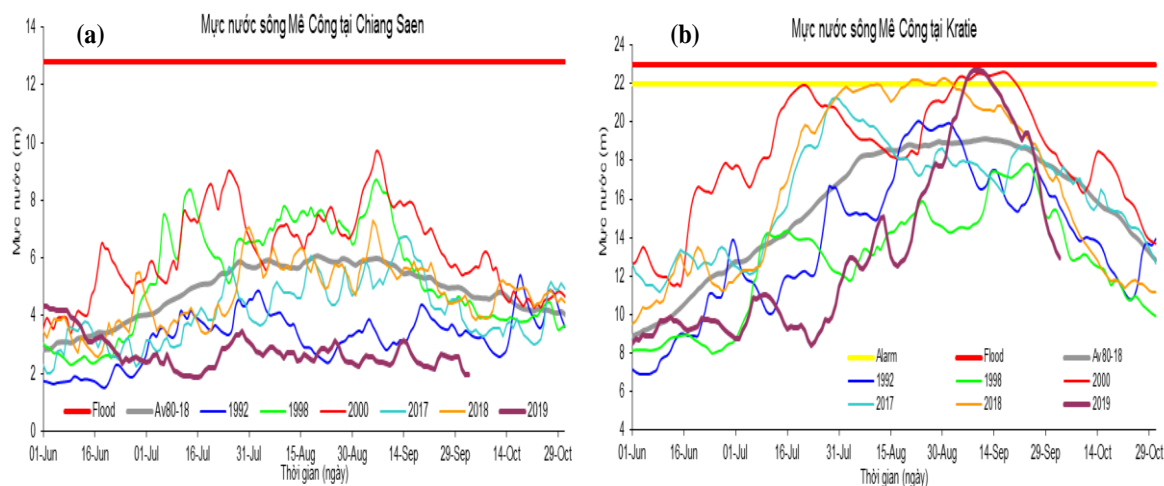
**Bảng 7.** Đặc trưng dòng chảy trung bình tháng nhỏ nhất về các trạm thủy văn theo tần suất.

Tên trạm	Đặc trưng dòng chảy trung bình tháng nhỏ nhất theo các tần suất (m <sup>3</sup> /s)							
	Tháng	1%	2%	5%	10%	50%	75%	85%
Chiang Saen	3	1.340	1.272	1.172	1.087	808	675	608
Luang Prabang	3	1.749	1.659	1.529	1.417	1.053	881	793
Chiang Khan	4	1.762	1.673	1.544	1.433	1.068	892	802
Vientiane	3	1.952	1.853	1.709	1.585	1.179	986	887
Nong Khai	3	2.027	1.911	1.746	1.608	1.180	992	900
Nakhon Phanom	4	2.686	2.519	2.285	2.092	1.520	1.284	1.175
Mudahan	4	2.595	2.462	2.269	2.103	1.563	1.307	1.177
Khong Chiam	4	3.118	2.959	2.729	2.531	1.883	1.574	1.416
Pakse	4	2.943	2.789	2.567	2.377	1.764	1.475	1.330
Stung Treng	4	3.490	3.271	2.961	2.704	1.928	1.597	1.441
Kratie	4	3.427	3.209	2.905	2.655	1.925	1.629	1.493

### 3.3. Thay đổi dòng chảy những năm gần đây từ sau năm 2010

#### 3.3.1. Thay đổi dòng chảy mùa lũ

Từ sau 2010 đến nay, dòng chảy trên lưu vực có những thay đổi lớn, đặc biệt là từ khi các đập thủy điện lớn ở Trung Quốc được hình thành, thủy điện Xiaowan và Nuozhadu. Xu thế lũ ngày càng nhỏ đi và mất đi hình dạng lũ phổ biến trên lưu vực với 2 đỉnh (đỉnh lũ sớm và đỉnh lũ chính vụ), thay vào đó là hình dạng lũ phẳng chữ nhật hay hình thang. Do ảnh hưởng của thủy điện dòng chính và dòng nhánh, mực nước trên dòng chính đã thay đổi đáng kể, đặc biệt lũ lớn không còn xuất hiện ở trạm đầu nguồn Chiang Saen và cuối nguồn số năm lũ vượt mức báo động giảm.



Hình 3. (a) Diễn biến mực nước lũ trạm Chiang Saen; (b) Diễn biến mực nước lũ tại Kratie.

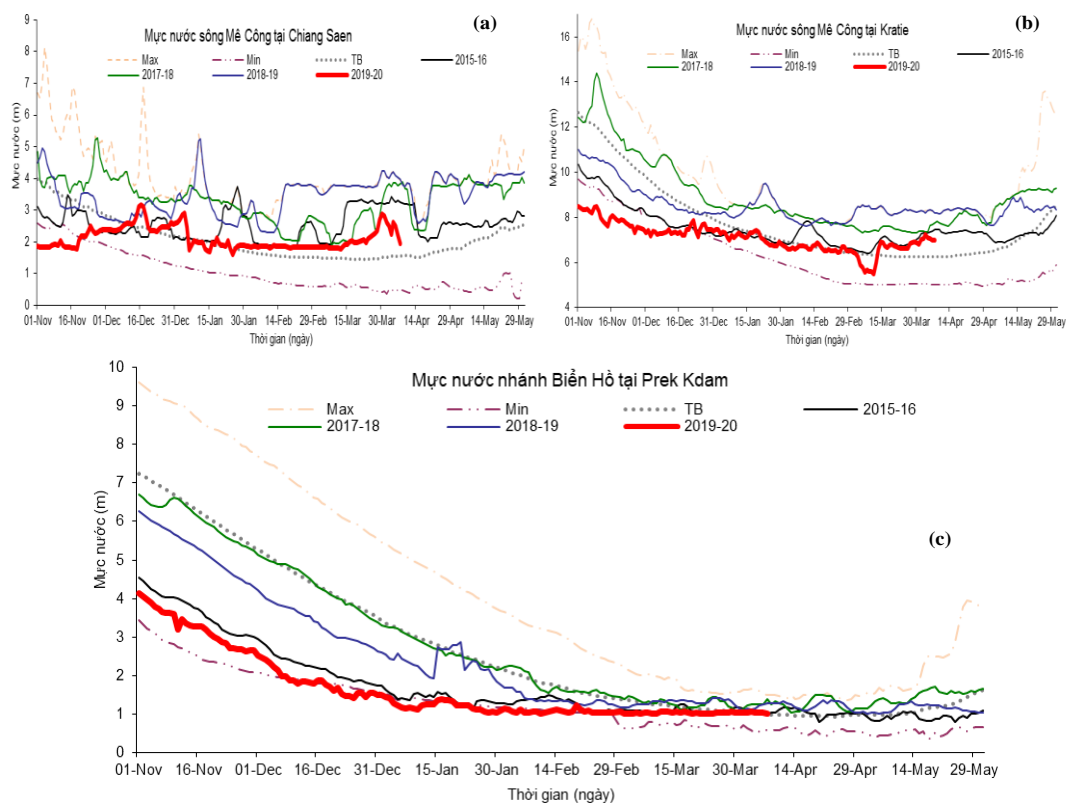
### 3.3.2. Thay đổi dòng chảy mùa kiệt

Cùng với sự gia tăng của thủy điện, dòng chảy mùa kiệt đã có những thay đổi tương ứng, lưu lượng đầu mùa khô giảm nhanh làm mặn đến sớm trên đồng bằng, lưu lượng kiệt nhất tại Kratie dịch chuyển về tháng 2 hoặc tháng 3 thay vì ở tháng 4 như trước đây (Hình 4). Kết quả cập nhật và phân tích các thay đổi dòng chảy các trạm thủy văn dòng chính lưu vực sông Mê Công được đưa ra ở bảng 8, trong đó:

- ntv: năm thủy văn bắt đầu từ đầu mùa lũ năm trước đến hết mùa kiệt năm kế tiếp;
- Qtbn: lưu lượng trung bình năm (tháng 1 đến tháng 12 cùng năm);
- QtbnTV: lưu lượng trung bình năm thủy văn (tháng tháng 6 năm trước đến hết tháng 5 năm sau);
- Qtbml: lưu lượng trung bình mùa lũ (tháng 6–tháng 11 ở năm trước);
- Qtbmk: lưu lượng trung bình mùa kiệt (từ 12 năm trước đến hết tháng 5 năm sau).

Bảng 8. Lưu lượng bình quân tháng ở trạm Kratie những năm gần đây.

Năm Tháng	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
1	3.278	4.518	3.349	5.076	4.157	3.132	4.847	5.089	5.240
2	2.603	3.555	3.022	3.841	3.286	3.037	3.598	4.214	4.064
3	2.449	3.218	2.892	4.033	3.266	2.613	4.392	3.545	4.900
4	2.874	3.322	2.745	4.199	4.135	3.404	4.655	4.132	4.823
5	4.621	4.343	4.339	4.634	4.136	3.296	6.811	5.970	4.945
6	10.553	10.341	7.333	9.615	5.532	5.997	13.310	11.275	6.655
7	24.905	16.535	16.169	25.583	10.721	15.276	25.656	27.460	7.566
8	43.085	26.901	33.118	39.165	22.959	20.623	33.934	52.899	18.527
9	47.933	29.868	38.769	27.517	22.642	28.917	28.979	41.434	43.239
10	36.822	15.525	27.388	17.391	16.248	20.192	21.773	15.121	8.777
11	14.922	7.123	13.150	8.321	6.373	11.764	12.554	8.118	4.318
12	6.758	4.631	7.646	5.503	3.842	6.954	7.523	5.168	3.468
Qtbnl	16.734	10.823	13.327	12.906	8.941	10.434	14.003	15.369	9.710
QtbnTV	9.917	16.994	10.606	13.780	12.673	8.650	11.169	13.890	15.454
Qtbml	29.703	17.715	22.655	21.265	14.079	17.128	22.701	26.051	14.847
Qtbmk	3.546	4.286	3.496	4.905	4.080	3.221	5.209	5.079	4.857



**Hình 4.** (a) Diễn biến mực nước mùa kiệt trạm Chiang Saen; (b) Diễn biến mực nước mùa kiệt trạm Kratie; (c) Diễn biến mực nước mùa kiệt trạm Prek Kdam.

Kết quả phân tích cho thấy tổng lượng dòng chảy chưa có những thay đổi lớn, tuy nhiên, có thay đổi đáng kể dòng chảy mùa lũ và dòng chảy mùa kiệt. Để làm rõ hơn các thay đổi này, những phân tích thay đổi tần suất dòng chảy dọc theo các trạm dòng chính ở phần dưới được thực hiện.

### 3.3.3. Phân tích các thay đổi dòng chảy trên lưu vực những năm gần đây theo tần suất

Phân tích lưu lượng bình quân các tháng, so sánh tính toán tần suất xuất hiện các lưu lượng này so với quá khứ được đưa ra ở bảng 9. Kết quả cho thấy, có sự gia tăng đáng kể dòng chảy mùa kiệt và mùa lũ khi mà tần suất dòng chảy trung bình năm vẫn ở mức trung bình nhiều năm tuy nhiên tần suất dòng chảy mùa lũ chỉ ở mức thấp. Tương tự, tần suất dòng chảy mùa kiệt lại lớn hơn, thậm chí vượt ra ngoài các mức đã xảy ra trước đây mặc dù tổng lượng dòng chảy năm chỉ ở mức bình quân nhiều năm.

**Bảng 9.** Phân tích tần suất dòng chảy trung bình năm ở những năm gần đây so với trước 2010 (Đơn vị: %).

Trạm	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
CSE	12	#N/A	5	13	4	#N/A	32	53	#N/A
VTE	72	7	24	17	4	7	31	74	#N/A
NAK	97	43	68	62	35	43	93	95	4
MUD	93	8	26	24	5	7	44	86	#N/A
KHC	92	6	32	26	3	6	58	69	#N/A
PAK	#N/A	8	45	31	5	8	73	80	#N/A
STR	#N/A	26	77	68	6	23	90	96	12
KRA	97	15	59	48	2	11	70	90	5

Trong đó: CSE: Chiang Saen; VTE: Viên Chăn; NAK: Nakhon Panom; MUD: Mukdahan; KHC: Khong Chiam; PAK: Pakse; STR: Stung Treng; KRT: Kratie; #N/A: vượt ra ngoài lưu lượng đã xảy ra trước đây từ 1924–2010.

**Bảng 10.** Phân tích tần suất dòng chảy mùa kiệt ở những năm gần đây so với trước 2010 (Đơn vị: %).

Trạm*	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
CSE	85	4	86	#N/A	#N/A	93	#N/A	#N/A	#N/A
VTE	67	34	59	#N/A	98	74	#N/A	#N/A	#N/A
NAK	95	94	96	#N/A	#N/A	96	#N/A	#N/A	#N/A
MUD	78	68	82	#N/A	97	83	#N/A	#N/A	#N/A
KHC	72	78	72	#N/A	86	68	#N/A	#N/A	#N/A
PAK	88	88	77	#N/A	98	76	#N/A	#N/A	#N/A
STR	96	99	95	#N/A	99	92	#N/A	#N/A	#N/A
KRA	79	97	77	#N/A	94	62	#N/A	#N/A	#N/A

\* Ký hiệu xem diễn giải ở Bảng trên

**Bảng 11.** Phân tích tần suất dòng chảy trung bình tháng ở Kratie những năm gần đây so với trước 2010 (Đơn vị: %).

Năm Tháng	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
1	43	91	47	97	87	33	97	97	98
2	59	98	88	#N/A	94	88	99	#N/A	#N/A
3	88	#N/A	97	#N/A	#N/A	95	#N/A	#N/A	#N/A
4	93	#N/A	92	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A
5	89	88	88	89	83	63	98	97	92
6	61	61	34	55	14	20	78	66	28
7	74	25	23	75	6	21	75	83	2
8	89	20	38	79	4	3	42	99	2
9	96	17	65	6	3	13	13	74	82
10	98	5	78	19	9	33	42	3	2
11	91	6	82	20	4	66	76	17	2
12	85	21	97	53	5	87	97	43	2
Qtbn	97	15	59	48	2	11	70	90	5
QtbnTV	5	98	12	68	45	#N/A	19	68	90
Qtbml	3	98	7	48	33	1	5	50	84
Qtbnk	79	97	77	#N/A	94	62	#N/A	#N/A	#N/A

Kết quả cũng chỉ ra rằng những năm gần đây đã có thay đổi đáng kể đến dòng chảy năm, ngoại trừ năm 2011 là năm lũ lớn, tổng lượng lớn, đặc biệt ảnh hưởng lớn đến dòng chảy mùa kiệt các năm hạn. Kết quả là các năm 2015 và 2019 là những năm siêu hạn khi mà dòng chảy mùa lũ chỉ ở chiếm 2% và 5% số năm hạn, tương đương với tần suất lũ 98% và 95%, trong khi đó dòng chảy ở tháng kiệt, như tháng 3, trong các năm này lại ở mức rất cao, vượt ra ngoài tần suất dòng chảy đã xảy ra trước đó.

### 3.4. Giải pháp đảm bảo an ninh nguồn nước vùng ĐBSCL

Từ phân tích dòng chảy ở trên cho thấy, có sự thay đổi lớn lưu lượng vào mùa lũ và mùa kiệt về ĐBSCL. Những tác động này bao gồm cả các tác động do biến đổi khí hậu, nước biển dâng và các hoạt động phát triển trên lưu vực, đây được xem là những thách thức lớn đối với đồng bằng. Đặc biệt là hạn mặn xảy ra năm 2016 và 2020, làm ảnh hưởng đến đời sống và sản xuất của người dân, vì vậy cần thực hiện các giải pháp chủ động để bảo vệ an ninh nguồn nước, bao gồm cả các giải pháp công trình và phi công trình sau:

### 3.4.1. Giải pháp phi công trình

- Nâng cao nhận thức của cộng đồng và tăng cường năng lực thích ứng với các tác động của biến đổi khí hậu và phát triển thượng lưu, chung tay bảo vệ môi trường nước.
- Quy hoạch sử dụng đất, nước hợp lý, hỗ trợ các giải pháp sinh kế nhằm giảm thiểu thiệt hại cho các nhóm dễ bị tổn thương do BĐKH.
- Xây dựng và triển khai các giải pháp an sinh xã hội nhằm hỗ trợ cho người có ít diện tích đất, người nghèo có thu nhập thấp (dạy nghề, chuyển giao các tiến bộ kỹ thuật... cung cấp nước sạch cho vùng nông thôn).
- Chuyển đổi sản xuất và thời vụ canh tác, giảm tập trung nước các tháng kiệt, giảm phụ thuộc nước ngọt vùng ven biển, nâng cao hiệu quả sử dụng đất mùa lũ, rà soát quy hoạch sử dụng đất vùng lũ do xu thế lũ giảm.
- Tăng cường hợp tác quốc tế, chia sẻ các thông tin về nước và duy trì dòng chảy trên dòng chính giảm thiểu thiệt hại do hạn hán thiếu nước.

### 3.4.2 Giải pháp công trình

- Thay thế từng phần, chuyển đổi cách vận hành các công ngăn triều và kiểm soát mặn để chủ động về nước tưới.
- Liên kết các hệ thống thủy lợi nhỏ lẻ thành các hệ thống lớn hơn để đảm bảo chủ động nguồn nước trong các thời kì mặn có thể kéo dài.
- Bổ sung các trạm bơm có qui mô vừa và nhỏ cho các vùng ven biển để đáp ứng các yêu cầu về nước phục vụ sản xuất, bơm tưới, tiếp nước và gạn ngọt.
- Thiết lập các trạm quan trắc mực nước, độ mặn ở các hệ thống thủy lợi, tăng cường dự báo nguồn nước, xâm nhập mặn để phục vụ chỉ đạo điều hành sản xuất và vận hành của các công trình thủy lợi.
- Xem xét các giải pháp ngăn triều cường tại các cửa sông lớn (các cống Hàm Luông, Cổ Chiên...).
- Điều tiết các hồ chứa thượng lưu, thương thảo lượng nước xả hợp lý nhằm giảm thiểu thiệt hại trên đồng bằng do hạn hán và xâm nhập mặn.

## 4. Kết luận

Trên cơ sở cập nhật, tổng hợp và phân tích các điều kiện tự nhiên, số liệu khí tượng thủy văn, phân tích các thay đổi dòng chảy những năm gần đây trên lưu vực sông Mê Công, một số kết luận được đưa ra dưới đây:

- Trước 2010, các tác động của thủy điện chưa rõ rệt, dòng chảy còn xem là khá tự nhiên, dòng chảy kiệt về đồng bằng thường xuất hiện vào tháng 3 ở thượng nguồn và vào tháng 4 ở hạ nguồn, lưu lượng tháng kiệt nhất tại Kratie chỉ đạt 1.208 m<sup>3</sup>/s.
- Giai đoạn sau 2010 đến nay, dòng chảy xuống hạ lưu đã có thay đổi đáng kể, dòng chảy kiệt nhất trong năm xuất hiện sớm hơn, ở tháng 2 hoặc tháng 3. Tổng lượng dòng chảy kiệt thường lớn hơn nhiều so với trước 2010, lưu lượng bình quân các tháng phổ biến ở mức tần suất < 10% hoặc chưa từng xảy ra trước đó, lưu lượng tháng kiệt nhất ở hạn lịch sử năm 2016 cũng đạt 2.613 m<sup>3</sup>/s.
- Các tác động do thủy điện đã và sẽ góp phần làm thay đổi lớn lượng phù sa và chế độ dòng chảy. Cần thiết nghiên cứu mức độ thay đổi để chủ động các giải pháp thích ứng và chiến lược phát triển phù hợp với điều kiện mới này.
- Nhìn chung dòng chảy thay đổi theo hướng tích cực, mùa lũ giảm, mùa cạn tăng, tuy nhiên các thay đổi dòng chảy là trái qui luật tự nhiên, không được cảnh báo trước và khó lường, là mối đe dọa đến an ninh nguồn nước trên đồng bằng và làm gia tăng các thiệt hại về hạn mặn ở những năm này, rất cần các giải pháp chủ động an ninh nguồn nước trong những trường hợp như vậy.

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

**Lời cảm ơn:** Nghiên cứu này được thực hiện dưới sự tài trợ của đề tài nghiên cứu khoa học cấp Đại học Quốc gia TP.HCM, mã số B2020\_16\_03. Bên cạnh đó, tập thể tác giả trân trọng cảm ơn sự giúp đỡ Ban Giám hiệu và Ban Khoa học công nghệ Đại học Quốc gia TPHCM; Phòng Quản lý Khoa học và Ban Giám hiệu trường Đại học An Giang đã tạo điều kiện thuận lợi để nhóm thực hiện thành công nghiên cứu này.

**Lời cam đoan:** Tập thể tác giả cam đoan bài báo này là công trình nghiên cứu của tập thể của các 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

- Schmeier, S.; Hartog, J.; Kortlandt, J.; Meijer, K.; Meurs, E.; Sasse, R.; ter Horst, R. Water scarcity and conflict: Not such a straightforward link. *ECDPM Great Insights magazine* 2019, 8(4). <https://ecdpm.org/great-insights/complex-link-climate-change-conflict/water-scarcity-conflict/>.
- Okello, C.; Tomasello, B.; Greggio, N.; Wambiji, N.; Antonellini, M. Impact of Population Growth and Climate Change on the Freshwater Resources of Lamu Island, Kenya. *Water* **2015**, 7(3), 1264–1290. <https://doi.org/10.3390/w7031264>.
- Jury, W.; Vaux, H. The role of science in solving the world’s emerging water problems. *Proceedings of the National Academy of Sciences* **2005**, 102(44), 15715–15720. <https://doi.org/10.1073/pnas.0506467102>.
- Ngoc, T.T.H.; Khanh, P.T. Transboundary Issues of Water Governance in Mekong River Basin. *Int. J. Adv. Sci. Technol.* **2020**, 29(8s), 4290–4305.
- WWF. Challenges of Hydropower and infrastructure. 2020. [http://greatermekong.panda.org/challenges\\_in\\_the\\_greater\\_mekong/infrastructure\\_development\\_in\\_the\\_greater\\_mekong/](http://greatermekong.panda.org/challenges_in_the_greater_mekong/infrastructure_development_in_the_greater_mekong/).
- ICEM. Strategic Environmental Impact Assessment for Hydropower on the Mekong Mainstream. Final Report, prepared for the Mekong River Commission, Hanoi. 2010. <http://www.mrcmekong.org/ish/SEA/SEA-Main-Final-Report.pdf>.
- MRC. IWRM-based Basin Development Strategy for the Lower Mekong Basin. Fourth draft. Mekong River Commission, 2010.
- CGIAR Challenge Program on Water and Food. “CPWF Mekong”. Truy cập ngày 19 tháng 5 năm 2018.
- Toản, T.Q.; Thắng, T.Đ.; Thuận, P.K. Phân tích các ảnh hưởng của các hồ đập thượng lưu đến thay đổi thủy văn dòng chảy mùa khô về châu thổ Sông Mekong. *Tap chí Khoa học và công nghệ thủy lợi và Môi trường* **2016**, 52, 37–43.
- CDRI. Cambodia’s Development Policy Research Institute. Framing research on water resources management and governance in Cambodia: a literature review. Working paper 37, 2008. <http://www.cdri.org.kh/webdata/download/wp/wp37e.pdf>. Accessed on 06/12/2010.
- MRC. Overview of the Hydrology of the Mekong Basin. MRC, Vientiane, Laos, 2005.
- Le, T.A. Water balance for agriculture production in the dry seasons of the Mekong River Delta in Vietnam. *VN J. Sci. Technol. Eng.* **2020**, 62(3), 56–61. Doi:10.31276/VJSTE.62(3).56-61.
- FAO. Mekong river basin. 2011. [http://www.fao.org/nr/water/aquastat/basins/mekong/mekong-CP\\_eng.pdf](http://www.fao.org/nr/water/aquastat/basins/mekong/mekong-CP_eng.pdf)



14. Trung, T. Nguy cơ mất diện tích rừng ở tiểu vùng sông Mekong. 2013. <https://vnexpress.net/nguy-co-mat-dien-tich-rung-o-tieu-vung-song-mekong-2743395.html>.
15. Anh, H. Mực nước sông Mekong thấp nhất 6 thập kỷ và mối lo từ đập thủy điện Trung Quốc. 2022. <https://vov.vn/the-gioi/quan-sat/muc-nuoc-song-mekong-thap-nhat-6-thap-ky-va-moi-lo-tu-dap-thuy-dien-trung-quoc-post922892.vov>.
16. WWF. Biến đổi khí hậu lưu vực sông Mekong. 2009. [http://awsassets.panda.org/downloads/climate\\_change\\_document.pdf](http://awsassets.panda.org/downloads/climate_change_document.pdf).
17. Thăng, H. Hiệu ứng dòng nước đói bào mòn đời sống người dân lưu vực sông Mekong. 2021. <https://thesaigontimes.vn/hieu-ung-dong-nuoc-doi-bao-mon-doi-song-nguoi-dan-luu-vuc-song-mekong/>.
18. Bộ Tài nguyên và Môi trường (Bộ TN&MT). Study on the Impacts of Mainstream Hydropower on the Mekong River, 2015. <https://mekongeye.com/wp-content/uploads/sites/2/2016/04/MDS-Final-Project-Report-Eng.pdf>.
19. Quang, N.M. ĐBSCL trước nguy cơ mất an ninh nguồn nước: Nguyên nhân và thách thức. *Tap Chí Khoa học và Công nghệ Việt Nam* 2020. <https://vjst.vn/vn/tin-tuc/2723/dbscl-truoc-nguy-co-mat-an-ninh-nguon-nuoc--nhung-nguyen-nhan-va-thach-thuc.aspx>.
20. Uyên, N. Chất lượng nước lưu vực sông Mê Công đang có dấu hiệu ô nhiễm. 2021. <https://cand.com.vn/binh-luan-quoc-te/chat-luong-nuoc-luu-vuc-song-me-cong-dan-g-co-dau-hieu-o-nhiem-i637792/>.
21. Trí, Đ.Q.; Huệ, L.T. Mô hình hóa dự báo dòng chảy lưu vực sông Mê Công, Việt Nam. Hội nghị khoa học – Khí tượng thủy văn và hải dương học, Khoa khí tượng thủy văn phát triển và hội nhập, 2016.
22. Tuan, L.A.; Hoanh, C.T.; Miller, F.; Sinh, B.T. Floods and Salinity Management in the Mekong Delta, Vietnam, The Sustainable Mekong Research Network (Sumernet)'s publication, Stockholm, Sweden, 2008.
23. ADB and SEI. Strategic environmental framework: Integrating development and environment in the transport and water resources sectors, 2002.
24. Eslami, S.; Hoekstra, P.; Kernkamp, H.W.J. Trung, N.N.; Duc, D.D.; Quang, T.T.; Februarianto, M.; Dam Van A.; Van der Gets, M. Flow division dynamics in the Mekong Delta: application of a 1D–2D coupled model. *Water* 2019, 11(4), 1–25.

## **Assessment of flow changes on the mainstream of the Mekong River and solutions to ensure water security in the Mekong Delta**

**Phan Truong Khanh<sup>1\*</sup>, Nguyen Hong Quan<sup>2,3</sup>, To Quang Toan<sup>4</sup>**

<sup>1</sup> Faculty of Environment Technology Engineering, University of An Giang – Vietnam National University, Ho Chi Minh City, Vietnam; [ptkhanhagu@gmail.com](mailto:ptkhanhagu@gmail.com);

<sup>2</sup> The Institute for Circular Economy Development (ICED)–Vietnam National University, Ho Chi Minh City, Vietnam; [nh.quan@iced.org.vn](mailto:nh.quan@iced.org.vn)

<sup>3</sup> Center for Water Management and Climate Change, Institute of Environment and Natural Resource –Vietnam National University, Ho Chi Minh City, Vietnam;

<sup>4</sup> Southern Institute of Irrigation Science; [toan\\_siwrr@yahoo.com](mailto:toan_siwrr@yahoo.com)

**Abstract:** Agricultural and hydropower developments in the upper of Mekong River have been significantly changing the flow. From 2012 to present, the appearance of drought and salinity, are raising concerns about water security in the delta. The article evaluated the

changes of irregular flow changes on the mainstream of the Mekong River in both the flood and dry season. Results showed that before 2010, when the hydroelectric impact was not significant, the flow in 2000– big flood, at Chiang Saen station the highest flow was 3,192 m<sup>3</sup>/s while at Kratie station was 18,031 m<sup>3</sup>/s. In the drought year (1998) with only 8,612 m<sup>3</sup>/s in Kratie and 2,560 m<sup>3</sup>/s at Chiang Saen station was observed. Upstream drought appeared during March, while downstream it was common in April. During flood season, the largest monthly discharge at upstream stations usually occurred earlier than stations at downstream up to one month. The flood peak occurred during September at upstream while the flood peak occurred in downstream during October. After 2010, due to the influence of hydropower, the water level on the main stream has changed significantly. Especially large floods, no longer occurs in the watershed of Chiang Saen. Since many years the flood exceeds the alarm level is reduced in downstream. The study has proposed solutions to ensure water security in the delta.

**Keywords:** Water Security; Discharge in flood season; Discharge in dry season; The mainstream of the Mekong River.

Bài báo khoa học

## Nghiên cứu đánh giá mức độ dao động và xu thế biến đổi của các yếu tố khí hậu tại Bình Định

Nguyễn Văn Hồng<sup>1\*</sup>

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

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

Ban Biên tập nhận bài: 12/4/2022; Ngày phản biện xong: 8/6/2022; Ngày đăng bài: 25/6/2022

**Tóm tắt:** Nghiên cứu này đánh giá mức độ dao động và xu thế biến đổi của các yếu tố khí hậu tại tỉnh Bình Định. Đánh giá được thực hiện cho các yếu tố khí hậu như lượng mưa, nhiệt độ tại ba trạm khí tượng Quy Nhơn, Hoài Nhơn, An Nhơn tại Bình Định trong thời kỳ 1990–2021. Nghiên cứu sử dụng chuẩn sai khí hậu để đánh giá mức độ dao động, xu thế Sen và kiểm định Mann–Kendall (M–K) để xác định xu thế biến đổi và độ tin cậy của phương trình xu thế. Kết quả đánh giá dao động của nhiệt độ trung bình năm tại trạm Quy Nhơn cho thấy chuẩn sai (+) lớn nhất đạt 0,8°C xuất hiện vào năm 2019, chuẩn sai (–) lớn nhất là –0,5°C xuất hiện vào các năm 2000 và 2008. Chuẩn sai lượng mưa năm tại trạm Quy Nhơn dao động từ –692 mm đến + 702 mm, chuẩn sai (+) lớn nhất đạt 1044 mm. Kết quả kiểm định M–K cho thấy xu thế biến đổi của nhiệt độ trung bình tại Quy Nhơn, An Nhơn và Hoài Nhơn thỏa mãn mức ý nghĩa thống kê ( $\alpha = 5\%$ ), với xu thế tăng từ 0,01–0,02°C/năm. Về lượng mưa năm có xu thế giảm theo thời gian, tuy nhiên xu thế lượng mưa tại cả 3 trạm đều không rõ ràng, không thỏa mãn mức ý nghĩa 5%.

**Từ khóa:** Dao động khí hậu; Xu thế biến đổi; Các yếu tố khí hậu.

### 1. Mở đầu

Bình Định là một trong các tỉnh ven biển của Việt Nam thuộc khu vực chịu tác động mạnh của biến đổi khí hậu và có tính dễ tổn thương cao trước các tác động của nước biển dâng, mưa lớn, bão và áp thấp nhiệt đới [1]. Biến đổi khí hậu tác động mạnh đến nhiều vùng, đến các ngành, lĩnh vực của tỉnh, đặc biệt tác động đến lĩnh vực tài nguyên nước, nông nghiệp, công nghiệp–năng lượng, xây dựng–đô thị, du lịch và đời sống người dân. Những biểu hiện của tác động rõ rệt có thể nhận thấy đó là tình trạng ngập lụt, lũ quét, sạt lở, hạn hán, xâm nhập mặn đe dọa đến đời sống của người dân [2–3]. Trong những năm gần đây các điều kiện khí hậu bất lợi và thiên tai thường xuyên tác động trực tiếp đến các lĩnh vực, các địa phương và các cộng đồng khác nhau của tỉnh Bình Định [4], làm tăng khả năng bị tổn thương và tạo nguy cơ làm chậm quá trình phát triển kinh tế–xã hội của tỉnh. Nghiên cứu [5] đã phân chia khí hậu tỉnh Bình Định thành ba vùng chính: Vùng 1 là vùng núi phía Tây Bắc của tỉnh bao gồm huyện An Lão, Vĩnh Thạnh, các xã phía Tây huyện Hoài Ân và các xã vùng núi phía Tây huyện Hoài Nhơn. Vùng này có tổng lượng mưa năm từ 2.200 mm trở lên, nhiệt độ trung bình năm dưới 26°C. Vùng 2 là vùng núi phía Nam tỉnh bao gồm huyện Tây Sơn, Vân Canh và các xã phía Tây huyện Phù Cát, có tổng lượng mưa năm từ 1.800–2.100 mm, nhiệt độ trung bình năm dưới 26°C. Vùng 3 là vùng đồng bằng ven biển của tỉnh, có tổng lượng mưa năm dưới 1.700–2.200 mm, nhiệt độ trung bình năm trên 26°C. Do ảnh hưởng của Biến đổi

khí hậu ngày càng tăng làm cho các yếu tố khí hậu ở Bình Định có sự thay đổi rõ rệt trong đó có nhiệt độ, lượng mưa và các yếu tố khí hậu cực đoan khác. Trong bài báo này nhằm mục đích đánh giá mức độ dao động và mức độ biến đổi của các yếu tố khí hậu và khí hậu cực đoan tại Bình Định trên cơ sở chuỗi số liệu quan trắc từ năm 1990–2021.

Dao động khí hậu là sự biến đổi tăng giảm của khí hậu xung quanh trạng thái trung bình [6–9], những biến đổi này thường ngược pha nhau, xảy ra có tính lặp đi lặp lại trong những khoảng thời gian, nghĩa là giá trị dao động cho ta biết các yếu tố khí hậu ở Bình Định hoặc lớn hơn hoặc nhỏ hơn giá trị trung bình nhiều năm.

Ngoài ra bài báo còn sử dụng phương pháp xu thế Sen [10–12] để xác định xu thế biến đổi của các yếu tố khí hậu, kết hợp với kiểm định phi tham số Mann–Kendall để xác định các trạm thỏa mãn mức ý nghĩa thống kê (đảm bảo độ tin cậy), khác với phương pháp hồi quy tuyến tính thông thường, xu thế Sen xác định dựa trên giá trị trung vị của chuỗi để xác định ra đường xu thế, như vậy kết quả xu thế không bị ảnh hưởng bởi những năm có giá trị cực đoan (năm có lượng mưa quá cao hoặc quá thấp).

Ngoài ra kiểm định Mann–Kendall giúp cho ta biết trạm nào có xu thế đảm bảo độ tin cậy với mức sai số thống kê cho phép, đây là điều mà phương pháp hồi quy tuyến tính thông thường không làm được [10]. Các kết quả tính toán mức độ dao động và xu thế biến đổi của các yếu tố khí hậu tại Bình Định cho ta biết được xu thế BĐKH diễn ra ở Bình Định trong giai đoạn 1990–2021 và đánh giá mức độ tăng hay giảm của các yếu tố khí hậu phục vụ cho các nghiên cứu đánh giá về BĐKH ở Bình Định.

## 2. Phương pháp nghiên cứu

### 2.1. Khu vực nghiên cứu

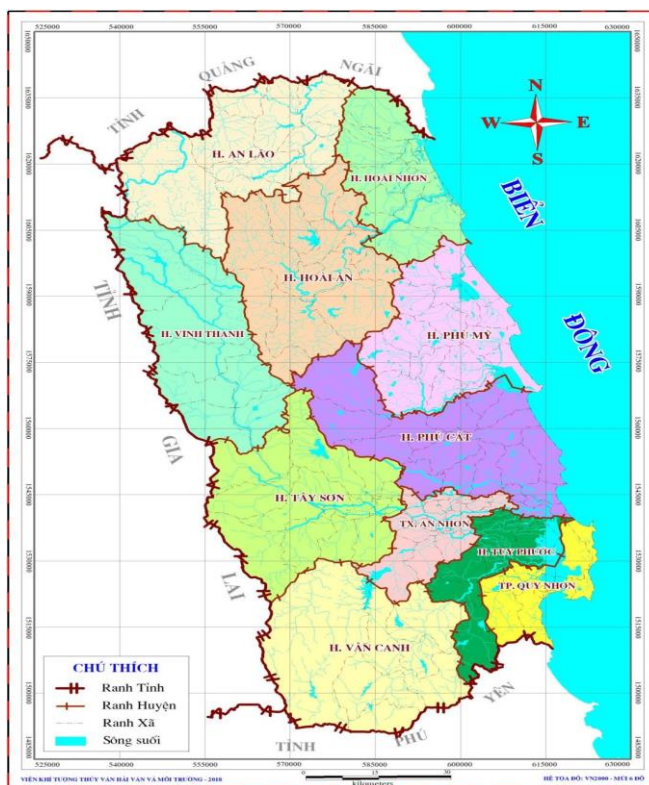
Bình Định là tỉnh thuộc vùng duyên hải Nam Trung Bộ, có diện tích tự nhiên là: 607.133 ha [13]. Tọa độ địa lý từ 13°30'45" đến 14°42'15" vĩ độ Bắc và từ 108°36'30" đến 109°18'15" kinh độ Đông. Phía Bắc giáp tỉnh Quảng Ngãi; Phía Nam giáp tỉnh Phú Yên; Phía Tây giáp tỉnh Gia Lai; Phía Đông giáp biển Đông. Toàn tỉnh Bình Định có 01 thành phố Quy Nhơn, 01 thị xã An Nhơn và 09 huyện, bao gồm: Vân Canh, Tuy Phước, Tây Sơn, Phù Cát, Phù Mỹ, Vĩnh Thạnh, Hoài Ân, Hoài Nhơn và An Lão (Hình 1). Trung tâm hành chính của tỉnh là thành phố Quy Nhơn, cách thủ đô Hà Nội 1.065 km về phía Bắc và cách Thành phố Hồ Chí Minh 649 km về phía Nam.

### 2.2. Số liệu tính toán

Số liệu sử dụng trong bài báo là số liệu của các yếu tố khí hậu (nhiệt độ trung bình, lượng mưa), cực trị khí hậu (nhiệt độ tối cao tuyệt đối, nhiệt độ tối thấp tuyệt đối) và các hiện tượng khí hậu cực đoan (lượng mưa 1 ngày lớn nhất) tại ba trạm quan trắc khí tượng ở Bình Định (Bảng 1).

**Bảng 1.** Các trạm khí tượng trên địa bàn tỉnh Bình Định.

TT	Tên trạm	Độ cao (m)	Vĩ độ	Kinh độ	Thời gian
1	Quy Nhơn	3,9	109,217	13,767	1990–2021
2	Hoài Nhơn	6,5	109,033	14,517	1990–2021
3	An Nhơn	4,7	109,074	13,524	1990–2021



Hình 1. Bản đồ hành chính tỉnh Bình Định.

### 2.3. Phương pháp nghiên cứu

Để đánh giá mức độ dao động của các yếu tố khí hậu, yếu tố cực trị khí hậu và các hiện tượng khí hậu cực đoan trên địa bàn tỉnh Bình Định, nghiên cứu sử dụng đại lượng thống kê là chuẩn sai của chuỗi số liệu so với trung bình nhiều năm. Ngoài ra, đánh giá mức độ biến đổi của các yếu tố khí hậu, khí hậu cực đoan, sử dụng phương pháp xu thế Sen và kiểm định Mann–Kendall.

#### a) Phương pháp đánh giá mức độ dao động

Phương pháp phân tích chuẩn sai và độ lệch tiêu chuẩn của chuỗi số liệu so với trung bình nhiều năm là phương pháp chính trong thống kê khí hậu được sử dụng để đánh giá mức độ dao động của các yếu tố khí hậu [6–7].

Trong khí hậu thống kê, mức độ dao động của các chuỗi số liệu khí hậu được biểu thị thông qua độ phân tán của chuỗi. Độ phân tán được đánh giá thông qua chuẩn sai của các giá trị trong chuỗi so với giá trị trung bình nhiều năm.

#### Chuẩn sai

Hiệu của trị số các yếu tố và trung bình số học:  $\Delta x_t = x_t - \bar{x}$  (1)

được gọi là chuẩn sai. Khi  $\Delta x_t > 0$ , chuẩn sai là dương;  $\Delta x_t = 0$ , chuẩn sai không;  $\Delta x_t < 0$ , chuẩn sai là âm. Thực chất của phương pháp phân tích chuẩn sai là cấu tạo chuỗi khí hậu mới trên cơ sở chuỗi khí hậu ban đầu và mong muốn là chuỗi số liệu mới có khả năng thể hiện tính chu kỳ và tính xu thế rõ rệt hơn so với chuỗi ban đầu [7–8].

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

Ký hiệu chuỗi yếu tố khí hậu tháng (nhiệt độ, lượng mưa,...) là

$$\{x_t\}: x_1, x_2, \dots, x_n \quad t=1, n$$

Trung bình số học của  $\bar{x}$  của chuỗi là:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n x_t \quad (2)$$

Phương pháp xu thế Sen (Sen's slope)

Để xác định độ lớn của xu thế chuỗi Q (độ dốc đường xu thế) ta dùng ước lượng Sen [14–16].

Q là median của chuỗi  $n(n-1)/2$  phần tử

$$Q = \text{median} \left\{ \frac{x_j - x_i}{j - i} \right\} \text{ với } i=1,2,\dots,n-1; j>i. \quad (3)$$

$Q > 0$  chuỗi có xu thế tăng và ngược lại.

Kiểm nghiệm phi tham số Mann–Kendall (M–K)

Phương pháp kiểm nghiệm Mann–Kendall là phương pháp được áp dụng rộng rãi trên thế giới [16]. Tại Việt Nam đã có một số tác giả sử dụng phương pháp này [11–12, 17–20]. Kiểm nghiệm Mann–Kendall so sánh độ lớn tương đối của các phần tử trong chuỗi dữ liệu, điều này có thể tránh được các giá trị cực đại hoặc cực tiểu cục bộ của chuỗi số liệu. Nếu giả thiết rằng có một dữ liệu theo chuỗi trình tự thời gian ( $x_1, x_2, \dots, x_n$ ) với  $x_i$  biểu diễn số liệu tại thời điểm  $i$  tại mỗi một thời điểm thì mỗi giá trị dữ liệu tại mỗi thời điểm được so sánh với các giá trị trên toàn chuỗi thời gian. Giá trị ban đầu của thống kê Mann–Kendall, S là 0 (nghĩa là không có xu thế). Nếu một dữ liệu ở một thời điểm sau lớn hơn giá trị của dữ liệu ở một thời điểm nào đó trước đó, S được tăng thêm 1; và ngược lại. Xét chuỗi  $x_1, x_2, \dots, x_n$  biểu diễn n điểm dữ liệu trong đó  $x_j$  là giá trị dữ liệu tại thời điểm  $j$ . Khi đó chỉ số thống kê Mann–Kendall S được tính bởi.

$$S = \sum_{i=1}^{N-1} \sum_{j=i+1}^N \text{sign}(x_j - x_i) \quad (4)$$

$$\text{Trong đó } \text{sign}(x_i - x_j) \begin{cases} 1 \text{ khi } x_i - x_j > 0 \\ 0 \text{ khi } x_i - x_j = 0 \\ -1 \text{ khi } x_i - x_j < 0 \end{cases} \quad (5)$$

Giá trị  $S > 0$  chỉ xu thế tăng,  $S < 0$  chỉ xu thế giảm

Tuy nhiên cần phải tính toán xác suất đi kèm với S và n để xác định mức ý nghĩa của xu hướng. Phương sai của S được tính theo công thức:

$$\text{VAR}(S) = \frac{1}{18} [n(n-1)(2n+5) - \sum_{p=1}^g t_p(t_p-1)(2t_p+5)] \quad (6)$$

Trong đó g là số các nhóm có giá trị giống nhau,  $t_p$  là số phần tử thuộc nhóm thứ p.

Giá trị chuẩn Z của S tuân theo định luật phân phối chuẩn.

$$Z = \frac{S-1}{[\text{VAR}(S)]^{1/2}}, S > 0 \quad (7)$$

$$Z = 0, S = 0$$

$$Z = \frac{S+1}{[\text{VAR}(S)]^{1/2}}, S < 0 \quad (8)$$

Z có phân phối chuẩn  $N(0,1)$  dùng để kiểm định chuỗi có xu thế hay không với mức ý nghĩa cho trước (trong nghiên cứu này dùng  $\alpha = 0,05$ ).

### 3. Kết quả và thảo luận

#### 3.1. Đánh giá mức độ dao động của các yếu tố khí hậu tại Bình Định

##### 3.1.1. Đánh giá mức độ dao động của các yếu tố khí hậu

a) Dao động của nhiệt độ trung bình năm ( $T_{tb}$ )

Để phân tích sự dao động của các yếu tố khí hậu nghiên cứu tính toán chuẩn sai theo từng năm, từ đó xác định độ lệch của giá trị hàng năm so với giá trị trung bình nhiều năm của yếu tố khí hậu đó, đặc trưng của dao động là biên độ và pha, tuy nhiên với dao động khí hậu các

giá trị biên độ và pha không cố định vì vậy bài báo đánh giá theo các dao động âm và dương lớn nhất.

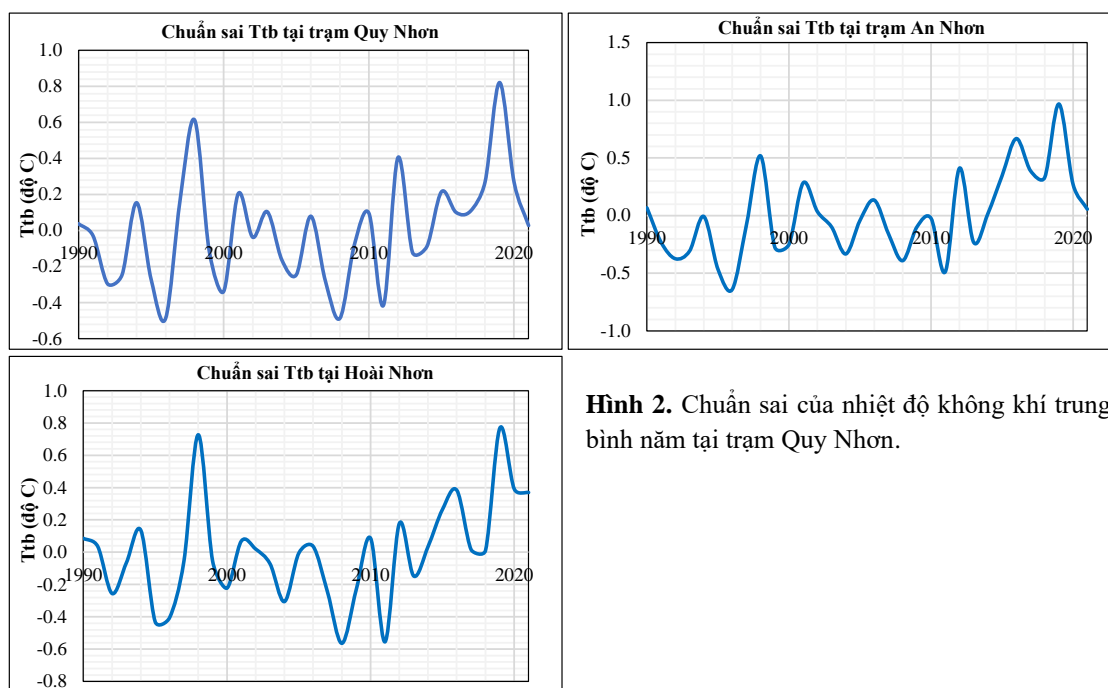
Dao động của nhiệt độ không khí hàng năm tại các trạm tỉnh Bình Định trong giai đoạn 1990–2021 tương đối đồng nhất (Hình 2), phần lớn đều cùng âm hoặc cùng dương tại tất cả các trạm được đánh giá. Điều này chứng tỏ nhiệt độ không khí tại các trạm đều chịu sự chi phối của cùng một cơ chế tác động.

Tại trạm Quy Nhơn: Chuẩn sai của Ttb chủ yếu nằm trong khoảng từ  $-0,5$  đến  $0,5^{\circ}\text{C}$  và chuẩn sai (+) lớn nhất của nhiệt độ không khí trung bình năm đạt  $0,8^{\circ}\text{C}$  xuất hiện vào năm 2019, chuẩn sai (–) lớn nhất là  $-0,5^{\circ}\text{C}$  xuất hiện vào các năm 2000 và 2008. Chu kỳ dao động khoảng 2 năm (khoảng cách từ chuẩn sai cực đại sang cực tiểu khoảng 2 năm).

Tại trạm An Nhơn: Chuẩn sai của nhiệt độ trung bình năm từ 1990–2014 chủ yếu dao động từ  $-0,5^{\circ}\text{C}$  đến  $+0,5^{\circ}\text{C}$ , từ 2015–2021 Ttb chủ yếu dao động (+) và đạt cao nhất vào năm 2019 ( $+1^{\circ}\text{C}$ ), chuẩn sai (–) lớn nhất là  $-0,6^{\circ}\text{C}$  (xuất hiện vào năm 1996).

Tại trạm Hoài Nhơn: Chuẩn sai của Ttb chủ yếu dao động từ  $-0,6$  đến  $+0,2^{\circ}\text{C}$ , chuẩn sai dương lớn nhất là  $+0,8^{\circ}\text{C}$  (xuất hiện vào năm 2019) và chuẩn sai (–) lớn nhất  $-0,6^{\circ}\text{C}$  xuất hiện vào các năm 2008 và 2011.

Nhìn chung chuẩn sai (–) lớn nhất của nhiệt độ không khí trung bình năm ở Bình Định xuất hiện vào các năm 1996, 2008 và 2011, do đây là các năm La Nina hoạt động mạnh. Từ đó, có thể nhận thấy La Nina có tác động đến việc giảm nhiệt độ trong các năm trên.



**Hình 2.** Chuẩn sai của nhiệt độ không khí trung bình năm tại trạm Quy Nhơn.

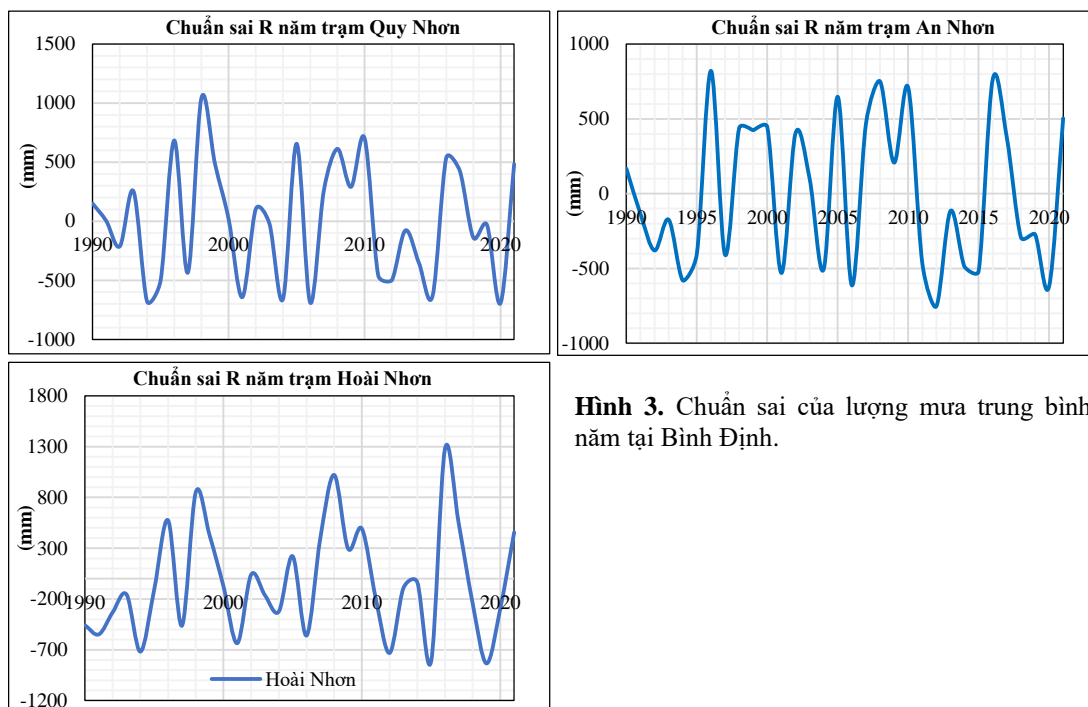
**b) Dao động của lượng mưa trung bình năm (R)**

Hình 3 thể hiện dao động của lượng mưa hàng năm tại các trạm tỉnh Bình Định trong giai đoạn 1990–2021, mức độ dao động có sự khác biệt rõ rệt qua các trạm do tính chất địa hình và đặc điểm phân bố mưa kém đồng nhất theo không gian và lượng mưa năm của các trạm ngoài phụ thuộc khí hậu khu vực còn phụ thuộc rất lớn vào vị trí địa lý và độ cao của các trạm đo.

- Tại trạm Quy Nhơn: Chuẩn sai lượng mưa năm chủ yếu dao động từ  $-692$  mm đến  $+702$  mm, cá biệt có năm 1999 chuẩn sai (+) đạt  $1044$  mm, chuẩn sai (–) lớn nhất xuất hiện vào năm 2020.

- Tại trạm An Nhơn: Chuẩn sai lượng mưa năm chủ yếu dao động từ  $-752$  mm đến  $+823$  mm, biên độ dao động của R tại An Nhơn khá đồng nhất trong giai đoạn từ 1994–2021, chu kỳ dao động khoảng 2 năm giữa năm có chuẩn sai cực đại và cực tiểu.

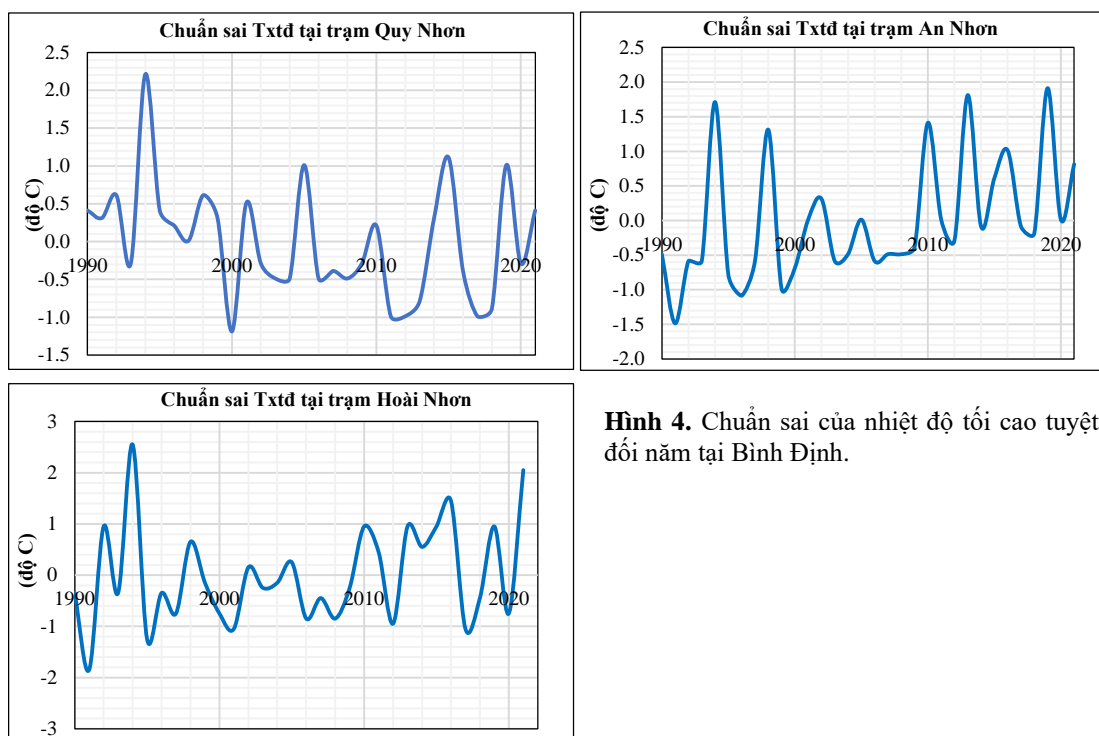
- Tại trạm Hoài Nhon: Chuẩn sai lượng mưa thay đổi theo thời gian, các năm có chuẩn sai (+) cao bao gồm 1998 (+851 mm), năm 2008 (+1021 mm) và cao nhất là năm 2016 (+1275 mm). Chuẩn sai (-) lớn nhất là -835 mm (xuất hiện vào năm 2019).



**Hình 3.** Chuẩn sai của lượng mưa trung bình năm tại Bình Định.

### 3.1.2. Đánh giá mức độ dao động của chỉ số khí hậu cực đoan

#### a) Dao động của nhiệt độ tối cao tuyệt đối (Ttxtđ)



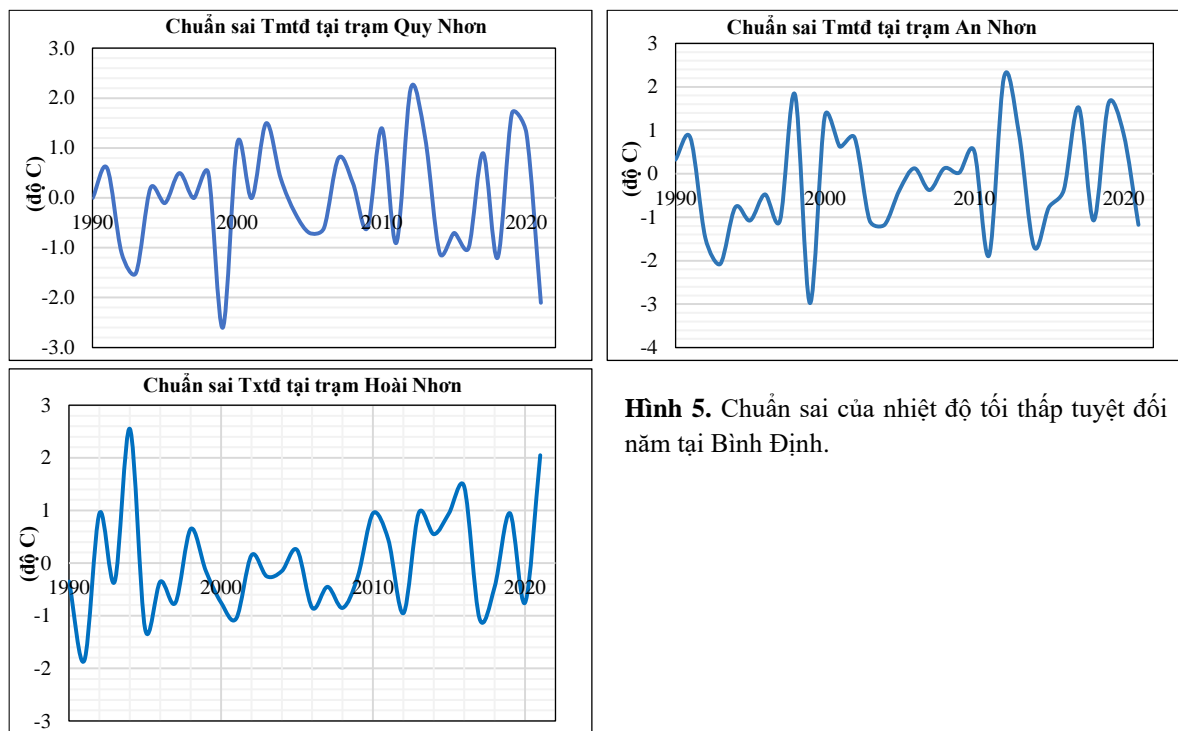
**Hình 4.** Chuẩn sai của nhiệt độ tối cao tuyệt đối năm tại Bình Định.

Hình 4 thể hiện dao động của nhiệt độ tối cao tuyệt đối tại Bình Định: Tại trạm Quy Nhon chuẩn sai chủ yếu dao động từ -1,2°C đến 1°C, chuẩn sai (+) lớn nhất là 2,2°C xuất hiện vào năm 1994; Tại trạm An Nhon, chuẩn sai của Ttxtđ nằm trong khoảng từ -1,5 đến +1,9 °C.; Tại trạm Hoài Nhon chuẩn sai của Ttxtđ chủ yếu dao động trong khoảng -1,0°C đến +1,0°C, chuẩn sai (+) cao nhất đạt +2,55°C (năm 1994) và chuẩn sai (-) lớn nhất là -1,85°C.



b) Dao động của nhiệt độ tối thấp tuyệt đối (Tmtd)

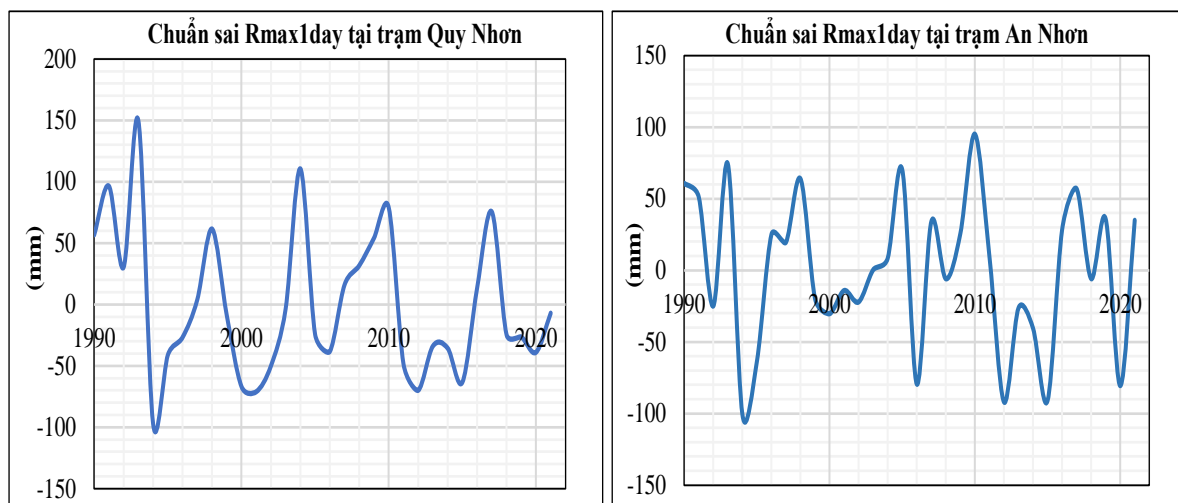
Dao động của nhiệt độ tối thấp tuyệt đối (Hình 5) tại Bình Định, tại trạm Quy Nhơn: Chuẩn sai của Tmtd có sự biến động mạnh qua các năm, chuẩn sai (+) lớn nhất là +2,2°C (xuất hiện vào năm 2012), chuẩn sai (-) nhỏ nhất là -2,6°C (năm 1999). Tại trạm An Nhơn chuẩn sai dao động từ -3°C đến + 2,2°C, chuẩn sai (+) lớn nhất xuất hiện vào năm 2012 và chuẩn sai (-) lớn nhất xuất hiện vào năm 1999 giống với trạm Quy Nhơn. Tại trạm Hoài Nhơn, chuẩn sai của Tmtd chủ yếu nằm trong khoảng từ -1°C đến +1°C, chuẩn sai (+) cao nhất là 2,55°C (xuất hiện vào năm 1994) và chuẩn sai (-) nhỏ nhất là -1,85 (năm 1991).

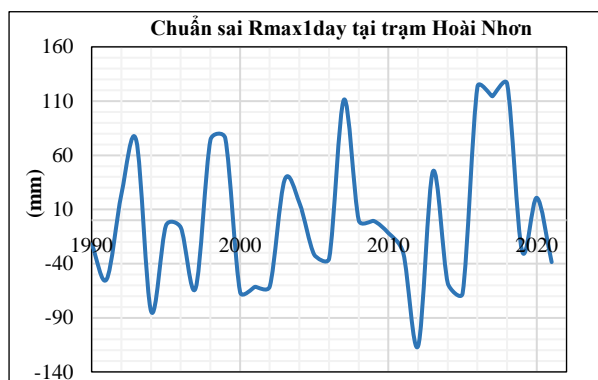


**Hình 5.** Chuẩn sai của nhiệt độ tối thấp tuyệt đối năm tại Bình Định.

c) Dao động của lượng mưa 1 ngày lớn nhất (Rmax1day)

Hình 6 thể hiện dao động của lượng mưa 1 ngày lớn nhất (Rmax1day) với chuẩn sai (+) lớn nhất của lượng mưa 1 ngày lớn nhất năm dao động là + 95 mm (tại An nhơn năm 2012), +126 mm tại Hoài Nhơn (năm 2018) đến +150 mm tại Quy Nhơn (vào năm 1993). Có thể thấy mức độ dao động của Rmax1day khác nhau giữa trạm thể hiện tính bất đồng nhất về không gian của lượng mưa trên địa bàn tỉnh Bình Định. Chuẩn sai (-) lớn nhất của lượng mưa 1 ngày lớn nhất xuất hiện vào các năm 1994 và 2012, dao động (-) lớn nhất tại Quy Nhơn là 97mm và 101 mm tại An Nhơn xuất hiện năm 1994 và 116mm tại Hoài Nhơn năm 2012.





**Hình 6.** Chuẩn sai của lượng mưa 1 ngày lớn nhất năm tại Bình Định.

### 3.2. Đánh giá xu thế biến đổi của các yếu tố khí hậu tại Bình Định

#### 3.2.1. Mức độ biến đổi của các yếu tố khí hậu

Để đánh giá mức độ biến đổi (tăng hay giảm) của các yếu tố khí hậu nghiên cứu sử dụng hệ số góc  $\zeta$  và dùng kiểm định phi tham số Mann–Kendall với mức ý nghĩa thống kê ( $\alpha = 0,05$ ).

**Bảng 2.** Kiểm nghiệm thống kê M–K xu thế biến đổi của các yếu tố khí hậu ở Bình Định.

	Ttb_QN (độ C)	R_QN (mm)	Ttb_AN (độ C)	R_AN (mm)	Ttb_HN (độ C)	R_HN (mm)
N	33	33	33	33	33	33
Min	26,83	1291	25,7	1099	25,7	1395
Max	28,13	3026	27,31	2674	27,03	3505
Mean	27,31	1982	26,34	1851	26,26	2192
Median	27,31	1974	26,31	1726	26,28	2099
SD	0,296	501,6	0,361	501,4	0,313	545,6
M–K	104	–18	164	–14	113	44
Var(S)	61,6	61,7	61,7	61,7	61,6	61,7
Z	1,7	–0,3	2,6	–0,2	1,8	0,7
$\alpha$	<b>0,05</b>	0,4	<b>0,004</b>	0,4	<b>0,03</b>	0,2
$\zeta$	0,01	–2,02	0,02	–3,0	0,01	9,28

Ghi chú: N: Cỡ mẫu, Min: Giá trị thấp nhất, Max: giá trị cao nhất, Mean: trung bình, Median: Trung vị, SD: Độ lệch chuẩn, Z: Giá trị chuẩn,  $\alpha$ : Mức ý nghĩa,  $\zeta$ : Hệ số góc, QN: Quy Nhơn, AN: An Nhơn, HN: Hoài Nhơn.

Thời kỳ 1990–2021, nhiệt độ không khí trung bình năm ở tỉnh Bình Định có xu thế tăng với tốc độ tăng từ 0,01–0,02°C/năm. Xu thế của nhiệt độ trung bình tại các trạm đều thỏa mãn mức ý nghĩa 5% (xác suất phạm sai lầm loại I không quá 5%, có nghĩa là xu thế tăng của nhiệt độ nằm trong vùng thỏa mãn 95%). Tốc độ xu thế tăng nhanh nhất tại trạm An Nhơn tăng 0,02°C/năm, tiếp đến là trạm Quy Nhơn tăng 0,01°C/năm và Hoài Nhơn tăng 0,01°C/năm. Đối với lượng mưa năm (Bảng 2) có xu thế giảm theo thời gian, tuy nhiên xu thế lượng mưa tại cả 3 trạm đều không rõ ràng, không thỏa mãn mức ý nghĩa 5%, mức độ giảm mạnh nhất tại trạm An Nhơn (–3 mm/năm), tại Quy Nhơn giảm 2 mm/năm, ngược lại lượng mưa tại Hoài Nhơn có xu thế tăng 9,28 mm/năm.

#### 3.2.2. Mức độ biến đổi của khí hậu cực đoan tại Bình Định

Xu thế biến đổi của cực trị nhiệt độ (Bảng 3) cho thấy đối với nhiệt độ tối cao tuyệt đối (Ttxtđ), kiểm nghiệm thống kê Mann–Kendall đều thỏa mãn mức ý nghĩa thống kê 5% có nghĩa là xu thế tăng/giảm của nhiệt độ Ttxtđ nằm trong vùng thỏa mãn 95%, tốc độ xu thế tăng nhanh nhất tại An Nhơn (0,04°C/năm), tiếp đến là Hoài Nhơn tăng 0,03°C/năm, riêng trạm Quy Nhơn lại có xu thế giảm khoảng 0,03°C/năm. Đối với nhiệt độ tối thấp tuyệt đối tại cả 3

trạm đều không có xu thế rõ ràng khi xu thế không thỏa mãn mức ý nghĩa thống kê  $\alpha = 5\%$ . Bảng 3 thể hiện kết quả kiểm định thống kê M–K test xu thế biến đổi của Rmax1day, cũng giống với lượng mưa năm xu thế lượng mưa 1 ngày lớn nhất tại cả 3 trạm đều không rõ ràng, không thỏa mãn mức ý nghĩa  $\alpha = 5\%$ .

**Bảng 3.** Kiểm nghiệm thống kê M–K xu thế biến đổi của cực trị khí hậu ở Bình Định.

	Txtđ_QN (°C)	Tmtđ_QN (°C)	Txtđ_AN (°C)	Tmtđ AN (°C)	Txtđ HN (°C)	Tmtđ HN (°C)	Rmax1day QN (mm)	Rmax1day AN (mm)	Rmax1day HN (mm)
N	33,00	33,00	33,00	33,00	33,00	33,00	33,00	33,00	33,00
Min	37,30	15,50	36,30	13,00	37,20	14,40	80,60	75,00	76,80
Max	40,70	20,30	39,70	19,00	41,60	18,10	327,40	270,80	318,60
Mean	38,49	18,10	37,79	16,20	39,05	16,02	177,90	175,70	192,80
Median	38,35	18,10	37,55	16,00	38,80	15,95	161,30	180,20	183,50
SD	0,75	1,13	0,88	1,32	0,99	0,96	59,73	53,31	65,07
M–K	–105,00	7,00	213,00	54,00	91,00	–26,00	–48,00	–18,00	48,00
Var(S)	61,40	61,60	61,38	60,90	61,43	61,58	61,67	61,67	61,67
Z	–1,69	0,10	3,45	0,87	1,47	–0,41	–0,76	–0,28	0,76
$\alpha$	<b>0,05</b>	0,46	<b>0,00</b>	0,19	<b>0,05</b>	0,34	0,22	0,39	0,22
Sen	–0,03	0,00	0,04	0,03	0,03	–0,01	–1,06	–0,50	0,96

Ghi chú: N: Cỡ mẫu, Min: Giá trị thấp nhất, Max: giá trị cao nhất, Mean: trung bình, Median: Trung vị, SD: Độ lệch chuẩn, Z: Giá trị chuẩn,  $\alpha$ : Mức ý nghĩa, Sen: Hệ số góc, QN: Quy Nhơn, AN: An Nhơn, HN: Hoài Nhơn.

#### 4. Kết luận

Bài báo đã đánh giá mức độ dao động và xu thế biến đổi của các yếu tố khí hậu và cực trị khí hậu tại Bình Định, các kết quả cho thấy đối với nhiệt độ trung bình: Tại trạm Quy Nhơn: Ttb chuẩn sai (+) lớn nhất của nhiệt độ không khí trung bình năm đạt 0,8°C xuất hiện vào năm 2019, chuẩn sai (–) lớn nhất là –0,5°C xuất hiện vào các năm 2000 và 2008. Chu kỳ dao động khoảng 2 năm (khoảng cách từ chuẩn sai cực đại sang cực tiểu khoảng 2 năm). Tại trạm An Nhơn: Chuẩn sai của nhiệt độ trung bình năm từ 1990–2014 chủ yếu dao động từ –0,5°C đến +0,5°C, dao động (+) và đạt cao nhất vào năm 2019 (+1°C), chuẩn sai (–) lớn nhất là –0,6°C (xuất hiện vào năm 1996). Tại trạm Hoài Nhơn: Chuẩn sai của Ttb chủ yếu dao động từ –0,6 đến +0,2°C, chuẩn sai dương lớn nhất là +0,8°C (xuất hiện vào năm 2019) và chuẩn sai (–) lớn nhất –0,6°C xuất hiện vào các năm 2008 và 2011.

Về lượng mưa: Tại trạm Quy Nhơn: Chuẩn sai lượng mưa năm chủ yếu dao động từ –692 mm đến +702 mm, chuẩn sai (+) lớn nhất đạt 1044 mm. Tại trạm An Nhơn: Chuẩn sai lượng mưa năm chủ yếu dao động từ –752 mm đến +823 mm, chu kỳ dao động khoảng 2 năm giữa năm có chuẩn sai cực đại và cực tiểu. Tại trạm Hoài Nhơn chuẩn sai (+) cao nhất là (+851 mm), năm 2008 (+1021 mm) và cao nhất là năm 2016 (+1275 mm). Chuẩn sai (–) lớn nhất là –835 mm (xuất hiện vào năm 2019).

Về xu thế biến đổi, kết quả kiểm định M–K cho thấy xu thế biến đổi của nhiệt độ trung bình tại Quy Nhơn, An Nhơn và Hoài Nhơn thỏa mãn mức nghĩa thống kê ( $\alpha = 5\%$ ), với xu thế tăng từ 0,01–0,02°C/năm. Về lượng mưa năm có xu thế giảm theo thời gian, tuy nhiên xu thế lượng mưa tại cả 3 trạm đều không rõ ràng, không thỏa mãn mức ý nghĩa 5%. Đối nhiệt độ tối cao tuyệt đối (Ttxtđ), kiểm nghiệm thống kê Mann–Kendall đều thỏa mãn mức ý nghĩa thống kê 5% có nghĩa là xu thế tăng/giảm của nhiệt độ Ttxtđ nằm trong vùng thỏa mãn 95%, tốc độ xu thế tăng nhanh nhất tại An Nhơn (0,04°C/năm), tiếp đến là Hoài Nhơn tăng 0,03°C/năm, riêng trạm Quy Nhơn lại có xu thế giảm khoảng 0,03°C/năm. Về nhiệt độ tối thấp tuyệt đối tại cả 3 trạm đều không có xu thế rõ ràng khi xu thế không thỏa mãn mức ý

nghĩa thống kê  $\alpha = 5\%$ . Đối với Rmax1day, cũng giống với lượng mưa năm xu thế lượng mưa 1 ngày lớn nhất tại cả 3 trạm đều không rõ ràng, không thỏa mãn mức ý nghĩa  $\alpha = 5\%$ .

Hạn chế của nghiên cứu: Về phần dao động chưa tính toán đến dao động theo mùa của các yếu tố khí hậu, và mức độ biến đổi của lượng mưa chưa xét đến biến đổi theo không gian của lượng mưa ở Bình Định do số lượng trạm ít.

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

**Lời cảm ơn:** Nghiên cứu này được tài trợ bởi đề tài nghiên cứu khoa học cấp tỉnh Bình Định, đề tài “Nghiên cứu số hóa và quản lý cơ sở dữ liệu khí lượng thủy văn tỉnh Bình Định”. Tác giả trân trọng cảm ơn Sở Khoa học và Công nghệ tỉnh Bình Định đã tạo điều kiện cho tác giả thực hiện bài báo này.

**Lời cam đoan:** Tác giả cam đoan bài báo này là công trình nghiên cứu của tác giả, chưa được công bố ở đâu, không được sao chép từ những nghiên cứu trước đây.

### Tài liệu tham khảo

1. Bộ Tài nguyên và Môi trường. Kịch bản Biến đổi khí hậu và nước biển dâng cho Việt Nam. Nhà xuất bản Tài nguyên – Môi trường và Bản đồ Việt Nam, 2020.
2. Thục, T., Hương, T.T.T., Thắng, N.V., Nhuận, M.T., Trí, L.Q., Thành, L.Đ., Hương, H.T.L., Sơn, V.T., Thuận, N.T.H. và Tường, L.N. Báo cáo đặc biệt của Việt Nam về Quản lý rủi ro thiên tai và hiện tượng cực đoan nhằm thúc đẩy thích ứng với biến đổi khí hậu. NXB Tài nguyên – Môi trường và Bản đồ Việt Nam, Hà Nội, Việt Nam. 2015.
3. IPCC Fifth Assessment Report. Climate Change 2013 – The Physical Science Basis. Cambridge University Press, Cambridge, UK, 2013, pp. 1535.
4. Sở TNMT tỉnh Bình Định. Xây dựng, cập nhật kế hoạch hành động ứng phó với Biến đổi khí hậu giai đoạn 2021–2030, tầm nhìn 2050, 2019.
5. Hương, N.T. Đề tài nghiên cứu Khoa học “Đặc điểm khí hậu – Thủy văn tỉnh Bình Định”, 2017.
6. Tân. P.V. Phương pháp thống kê khí hậu học. Đại học Quốc Gia Hà Nội. 1999.
7. Tân. P.V. Các phương pháp thống kê trong khí hậu. NXB Đại học Quốc gia Hà Nội. 2005.
8. Cường, H.Đ.; Hiệu, N.T. Giáo trình thống kê khí hậu. NXB Khoa học tự nhiên và công nghệ. 2012.
9. Sở TNMT tỉnh Bình Định. Báo cáo đánh giá khí hậu tỉnh Bình Định, 2019.
10. Hà, H.T.M.; Tân, P.V. Xu thế và mức độ biến đổi của nhiệt độ cực trị ở Việt Nam trong giai đoạn 1961–2007. *Tap chí Khoa học ĐHQGHN, Khoa học Tự nhiên và Công nghệ* **2009**, 25(3S), 412–422.
11. Thành, N.Đ.; Tân, P.V. Kiểm nghiệm phi tham số xu thế biến đổi của một số yếu tố khí tượng giai đoạn 1961–2007. *Tap chí Khoa học Đại học Quốc gia Hà Nội* **2012**, 1–8.
12. Tín. N.V. Đánh giá xu thế biến đổi của lượng mưa thời đoạn lớn nhất ở Tp. Hồ Chí Minh giai đoạn 1971–2016 bằng kiểm định phi tham số Mann–Kendall. *Tap chí Khí tượng Thủy văn* **2017**, 685, 52–55.
13. Cục Thống kê tỉnh Bình Định. Niên giám thông kê 2015–2019.
14. Hamed, K.H.; Rao, A.R. A modified Mann–Kendall trend test for autocorrelated data. *J. Hydrol.* **1998**, 204, 182–196.
15. Kendall, M.G. Rank Correlation Methods. Charles Griffin, London, 1975, pp. 272.
16. Sen, P.K., Estimates of the regression coefficient based on Kendall’s Tau. *J. Am. Stat. Assoc.* **1968**, 63(324), 1379–1389.

17. Hồng, N.V.; Mi, N.T.C. Xu thế biến đổi của các yếu tố khí hậu và kịch bản biến đổi khí hậu tỉnh Ninh Thuận. *Tap chí Khí tượng Thủy văn* **2021**, 727, 44–55.
18. Hồng, N.V.; Nguyễn, V.T.; Ngọc, L.A.; Mi, N.T.C. Xu thế biến đổi các yếu tố khí hậu tại tỉnh Kiên Giang. *Tap chí Khoa học Biến đổi khí hậu* **2021**, 18, 19–25.
19. Hồng, N.V.; Tín, N.V.; Chương, T.H.; Long, P.T. Nghiên cứu xu thế biến đổi của lượng mưa ở tỉnh Bình Định giai đoạn 1980–2019. *Tap chí Phát triển Khoa học và công nghệ, Khoa học trái đất, ĐHQG TP.HCM* **2021**, 5(S12)(1-8), 75–83.
20. Hằng, V.T.; Hoàng, C.T.T.; Tân, P.V. Xu thế biến đổi của lượng mưa ngày cực đại ở Việt Nam giai đoạn 1961–2007. *Tap chí Khoa học, Đại học Quốc gia Hà Nội* **2009**, 25(3S), 423–430.

## **Assessment of variability and trends of climate factors in Binh Dinh province**

**Nguyen Van Hong<sup>1\*</sup>**

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

**Abstract:** This article aims to assess the level of variability and trends of climate factors in Binh Dinh province. Climate factors are studied for climate factors such as rainfall, average temperature at three meteorological stations (Quy Nhon station, Hoai Nhon station and An Nhon station) in Binh Dinh in the period of 1990–2021. The study are used the standard deviation of climate to evaluate the climate fluctuation, Sen' slop and the Mann–Kendall test (M–K) to determine the change trend and the reliability of the trend equation. The results of the fluctuations of the annual temperature at Quy Nhon station showed that the maximum standard error (+) of 0.8°C appeared in the year of 2019, the maximum standard error (–) of –0.5°C appeared in the years of 2000 and 2008. The standard error of annual rainfall mainly at Quy Nhon station are ranged from –692 mm to +702 mm, the maximum standard error (+) was 1044 mm. The results of the M–K test showed that the trend of average temperature changed in Quy Nhon, An Nhon and Hoai Nhon met the statistical significance level ( $\alpha = 5\%$ ), with an increasing trend from 0.01 to 0.02°C/year. The annual rainfall tends to decrease over time, however, the rainfall trend at all 3 stations is not clear, not satisfying the 5% significance level.

**Keywords:** Climate fluctuations; Trend; Climatic factors.

Bài báo khoa học

## Khảo sát cấu trúc địa chất tầng Holocene khu vực thành phố Đà Nẵng bằng phương pháp ảnh điện hai chiều (2D)

Lương Văn Thọ<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> Trường Đại học Sư phạm, Đại học Đà Nẵng, 459 Tôn Đức Thắng, Hoà Khánh Nam, Liên Chiểu, Đà Nẵng-550000; lvtho@ued.udn.vn

\*Tác giả liên hệ: lvtho@ued.udn.vn; Tel.: +84-1262607012

Ban Biên tập nhận bài: 9/5/2022; Ngày phản biện xong: 10/6/2022; Ngày đăng bài: 25/6/2022

**Tóm tắt:** Nghiên cứu này được tiến hành để khảo sát cấu trúc địa chất tầng Holocene khu vực thành phố Đà Nẵng bằng phương pháp ảnh điện hai chiều (2D). Trong nghiên cứu, các đặc điểm hình thành, phân bố và thành phần địa chất của tầng địa chất Holocene và sự phân bố nước ngầm trong môi trường của tầng địa chất Holocene cũng được khảo sát. Để tiến hành nghiên cứu này, phương pháp ảnh điện 2D dựa trên sơ đồ Wenner-Alpha đã được triển khai tại các vị trí khảo sát hiện trường thuộc khu vực thành phố Đà Nẵng. Kết quả thu được qua phân tích ảnh điện 2D tại các vị trí đã khảo sát được so sánh, đánh giá với kết quả khoan thăm dò địa chất và cho tương quan khá tốt với sai số giữa 2 phương pháp bé hơn 5%. Qua nghiên cứu có thể khẳng định phương pháp ảnh điện 2D áp dụng tốt cho nghiên cứu về địa chất công trình, góp phần hỗ trợ công tác đánh giá, dự báo các tai biến địa chất trong xây dựng cơ sở hạ tầng, công trình dân dụng, công trình ngầm có liên quan đến an sinh xã hội tại các khu vực.

**Từ khóa:** Ảnh điện 2D; Chất điện phân; Địa chất; Giải đoán; Kim loại nặng.

### 1. Mở đầu

Trong những năm gần đây, dưới sự phát triển mạnh mẽ của nền kinh tế toàn cầu, nền kinh Việt Nam cũng có những phát triển nhanh và kèm theo sự phát triển ấy là nhiều công trình dân dụng, cơ sở hạ tầng được xây dựng đã dẫn đến việc khai thác quá mức diện tích đất bề mặt của lớp địa chất tầng nông [1–3]. Bên cạnh đó, biến đổi khí hậu (BĐKH) toàn cầu mà Việt Nam là một thực thể đã dẫn góp phần làm gia tăng các hiện tượng thời tiết cực đoan, thiên tai như mưa bão, lũ quét, xói mòn, rửa trôi đất diễn ra với tần suất và cường độ ngày càng gia tăng [2–4]. Điều đó đã tác động mạnh đến các lớp địa chất tầng nông thuộc lớp mặt của vỏ Trái Đất [4–6], trong đó phải kể đến các tầng địa chất xung yếu, nhạy cảm với các tác động, biến đổi của môi trường địa chất [7–8].

Thế đới kiến tạo Holocene là thế địa chất được hình thành cách đây khoảng mười nghìn năm (theo định tuổi niên đại bằng carbon phóng xạ cacbon C14), thường phân bố ở độ sâu trong khoảng từ 10 ÷ 20 m [9–10]. Có thể nói, đây là thế tầng địa chất trung gian giữa lớp mặt và tầng đá gốc [11–12]. Tất cả những hoạt động của nền văn minh nhân loại đều được lưu giữ trong thế địa chất này [13–14]. Những biến đổi bất thường về địa chất và nước ngầm trong thế địa chất Holocene có thể gây ra những tai biến đứt gãy [14, 16], sụt lún bên trên của lớp địa chất tầng mặt [15, 17, 19], gây phá hủy các hệ thống công trình ngầm và các công trình dân sinh khác trên bề mặt đất [16, 18, 20]. Trên thế giới, [13] đã tiến hành nghiên cứu ảnh hưởng của đá gốc đến chất lượng nước ngầm ở khu vực Zango, Tây Bắc Nigeria. Trong

nghiên cứu này, nhóm tác giả đã nghiên cứu ảnh hưởng của các đặc trưng hóa lý của nước ngầm như pH, độ dẫn điện, nhiệt độ, tổng chất rắn hòa tan, nitrat, sulphat, clorua, photphat, bicacbonat, florua, canxi, magiê, kali, natri, sắt, mangan, chì, kẽm, cadmium, crom và đồng đến hàm lượng nước ngầm của khu vực. Các kết quả đã phân tích cho thấy, nước ngầm khu vực khảo sát bị ô nhiễm nặng bởi một số kim loại nặng. Từ kết quả nghiên cứu có thể nhận định, đá granit trong khu vực nghiên cứu được cấu tạo từ khoáng chất có chứa các kim loại nặng và đây chính là nguyên nhân làm cho nguồn nước ngầm trong khu vực bị ô nhiễm. Các cộng đồng sống trong khu vực chiếm ưu thế về đá granit đã ghi nhận sự các trường hợp nhiễm fluor và nhiễm kim loại nặng nên việc khai thác nước ngầm phục vụ sinh hoạt dừng sử dụng. Năm 2021, [14] đã tiến hành nghiên cứu địa chất, địa điện và thủy hóa tại khu vực Wadi Hof, Đông Nam thành phố Cairo, Ai Cập để xác định nguyên nhân gây ra lở đất. Khu vực nghiên cứu có đặc điểm độ dốc thoải từ Đông sang Tây với cấu tạo đá vôi chiếm ưu thế. Trong nghiên cứu, nhóm tác giả đã sử dụng phương pháp chụp ảnh điện một chiều (1D) dựa trên phần mềm WinSev3.4. các kết quả chụp ảnh điện được phân tích bằng phần mềm máy tính RES2DINV. Kết quả nghiên cứu chỉ ra rằng, khu vực nghiên cứu bao gồm ba khối đá chính Marl ở lớp bề mặt, cát đá vôi phân phổ ở lớp giữa và cuối cùng là đất sét đến sét pha cát ở lớp dưới cùng và các vụ sạt lở đất đường như là do sự phồng lên của các lớp đất sét dày dẫn đến sự phá hủy các công trình dân dụng trên bề mặt mà cụ thể là công trình đường sắt chạy ngang qua bên trên khu vực biến dạng địa chất.

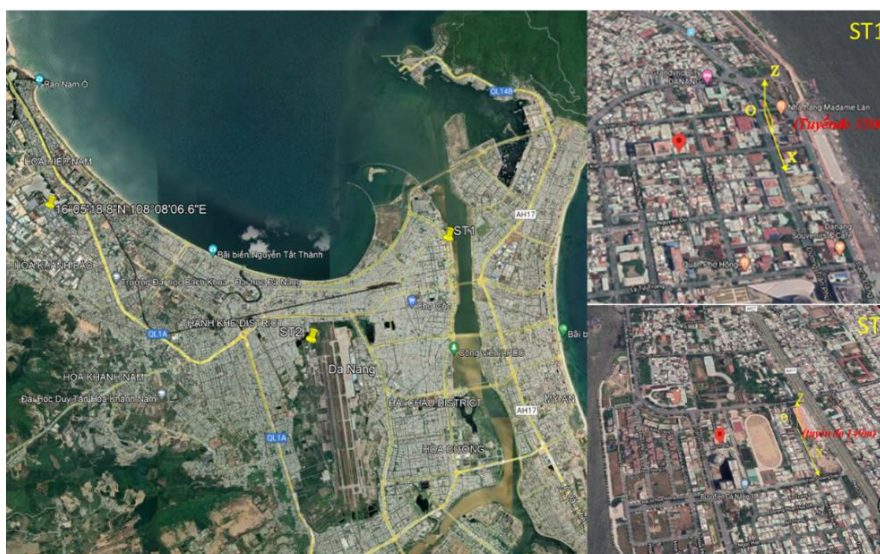
Tại Việt Nam, [4] đã tiến hành khảo sát phân bố địa hóa khu vực miền Trung, Tây Nguyên và Nam Bộ bằng phương pháp chụp cắt lớp điện trở suất 2D-ERT kết hợp phân tích địa hóa. Trong nghiên cứu này, mối tương quan giữa sự hình thành kiến tạo, thành phần địa hóa và sự phân bố nước ngầm của tầng chứa nước Holocen sâu từ 10 đến 30 m dưới lòng đất giữa các vùng đã được đánh giá. Kết quả phân tích ảnh điện cho thấy khu vực các vị trí khảo sát có tần suất phân bố độc tố môi trường cao. Nghiên cứu cũng chỉ ra rằng, các chất ô nhiễm điện phân như NaCl, KCl và axit axetic đã tích tụ trong nước ngầm khu vực thành phố Đà Nẵng đang có dấu hiệu gia tăng ô nhiễm. Tại khu vực Miền Trung, cụ thể ở một số tỉnh thành như Đà Nẵng và Quảng Nam trong những năm gần đây thường xảy ra các hiện tượng sạt lở, sụt lún vào mùa mưa lũ [4, 12]. Cá biệt có những nơi xuất hiện các hố tử thần sâu đến trên 20 m, gây nhiều thiệt hại về người và tài sản [7, 12]. Trong khi đó, vào mùa hè thường xảy ra hiện tượng thiếu hụt nguồn nước ngầm, nước bị ô nhiễm hoặc nhiễm mặn nghiêm trọng [4, 6].

Một trong những ưu điểm của phương pháp ảnh điện sử dụng trong khảo sát, nghiên cứu các cấu trúc địa chất là không xâm thực, không phá hủy cấu trúc tự nhiên của khu vực so với các phương pháp khác truyền thống khác chẳng hạn như khoan thăm dò với kích thước và độ sâu lớn thì có thể phá hủy cấu trúc tự nhiên của khu vực nghiên cứu. Một ưu điểm khác của phương pháp ảnh điện là có thể dễ dàng triển khai nghiên cứu trên phạm vi rộng với kinh phí thấp hơn so với phương pháp truyền thống. Do đó, để có cơ sở đưa ra các đánh giá, dự báo và giải pháp căn cơ nhằm góp phần hỗ trợ giảm thiểu rủi ro của tai biến địa chất tác động tiêu cực đến các công trình dân sinh, nghiên cứu này áp dụng phương pháp ảnh điện 2D để khảo sát cấu trúc địa chất tầng Holocene khu vực thành phố Đà Nẵng qua đó xây dựng bản đồ đặc trưng địa chất nước ngầm tại khu vực này.

## **2. Khu vực nghiên cứu và phương pháp nghiên cứu**

### *2.1. Khu vực nghiên cứu*

Nghiên cứu được triển khai tại hai vị trí ST1 (16°04'49.9" vĩ độ bắc và 108°13'22.6" kinh độ đông) và vị trí ST2 (16°05'18.8" vĩ độ bắc và 108°08'06.6" kinh độ đông) thuộc thành phố Đà Nẵng. Cụ thể, vị trí khảo sát ST1 thuộc tuyến đo với chiều dài 300 m, tại khu vực ranh giới giữa khu công nghiệp Hòa Khánh và vị trí khảo sát ST2 thuộc hồ Bàu Tràm (hình 1).



**Hình 1.** Các vị trí khảo sát (ST1 và ST2) ảnh điện 2D tại khu vực thành phố Đà Nẵng (Nguồn: Google earth).

## 2.2. Phương pháp tiếp cận

Để tiến hành nghiên cứu này, phương pháp thăm dò ảnh điện 2D được sử dụng để quan sát đặc điểm cấu trúc và quy luật phân bố địa chất. Nghiên cứu trường điện không đổi của môi trường địa chất tại các khu vực này và tham số quan trọng nhất cần được đánh giá là giá trị điện trở suất của đất, đá. Tham số điện trở suất đặc trưng về tính chất dẫn điện của môi trường và tính chất này phụ thuộc vào thành phần khoáng vật, thạch học, cấu trúc, điều kiện lịch sử tạo thành và thể nằm của đất đá [4, 11].

### 2.2.1 Lý thuyết thực nghiệm ảnh điện 2D

Sự phân bố điện trở suất cũng như đặc điểm, cấu trúc địa chất của môi trường bên dưới sẽ tạo ra một dáng điệu hay trường điện riêng bên trên bề mặt của nó. Do đó, trong phương pháp thăm dò ảnh điện 2D của trường điện không đổi, muốn biết được thông tin về môi trường địa chất bên dưới ta phải tiến hành các phép đo điện trở suất biểu kiến trên bề mặt của đối tượng quan tâm bằng cách phát dòng điện không đổi có cường độ  $I$  vào môi trường địa chất cần khảo sát thông qua điện cực. Đối với cấu hình thiết bị Wenner–alpha như minh họa ở hình 2, thì hiệu điện thế giữa hai điện cực thu thế  $P_1, P_2$  được tính bởi (1):

$$\begin{aligned} \Delta U &= U(P_1) - U(P_2) = \\ &= \frac{\rho I}{2\pi} \left( \frac{1}{r_{C_1P_1}} - \frac{1}{r_{C_2P_1}} - \frac{1}{r_{C_1P_2}} + \frac{1}{r_{C_2P_2}} \right) \end{aligned} \quad (1)$$

Trong đó  $r_{C_1P_1}, r_{C_1P_2}, r_{C_2P_1}, r_{C_2P_2}$  là khoảng cách từ các điện cực thu thế  $P_1, P_2$ , đến các điện cực dòng  $C_1, C_2$ .

Từ công thức (1), ta có thể xác định được điện trở suất biểu kiến của môi trường địa chất bên dưới theo công thức 2:

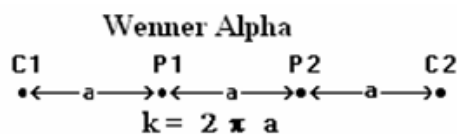
$$\rho_a = k \frac{\Delta U}{I} \quad (2)$$

Trong đó:  $k = \frac{2\pi}{\left( \frac{1}{r_{C_1P_1}} - \frac{1}{r_{C_2P_1}} - \frac{1}{r_{C_1P_2}} + \frac{1}{r_{C_2P_2}} \right)}$  là tham số hình học phụ thuộc vào sự sắp xếp của

4 điện cực.



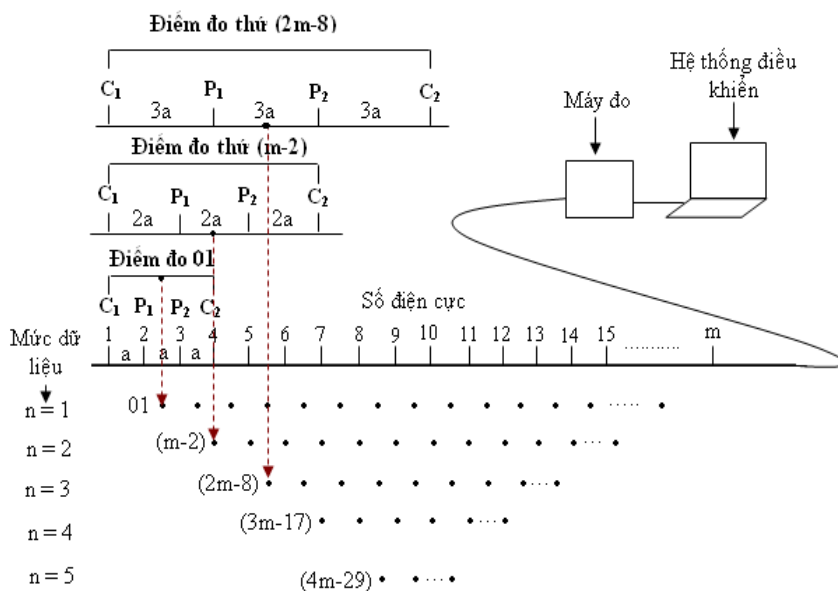
Điện trở suất biểu kiến không phải là điện trở suất thật của môi trường địa chất bên dưới, việc xác định điện trở suất thật bên dưới của môi trường địa chất từ giá trị điện trở suất biểu kiến quan sát được là mối liên hệ phức tạp và là vấn đề của bài toán ngược trong thăm dò ảnh điện 2D, dựa vào thuật toán sai phân hữu hạn.



**Hình 2.** Minh họa bố trí các điện cực cho phép đo 2D theo sơ đồ Wenner–Alpha

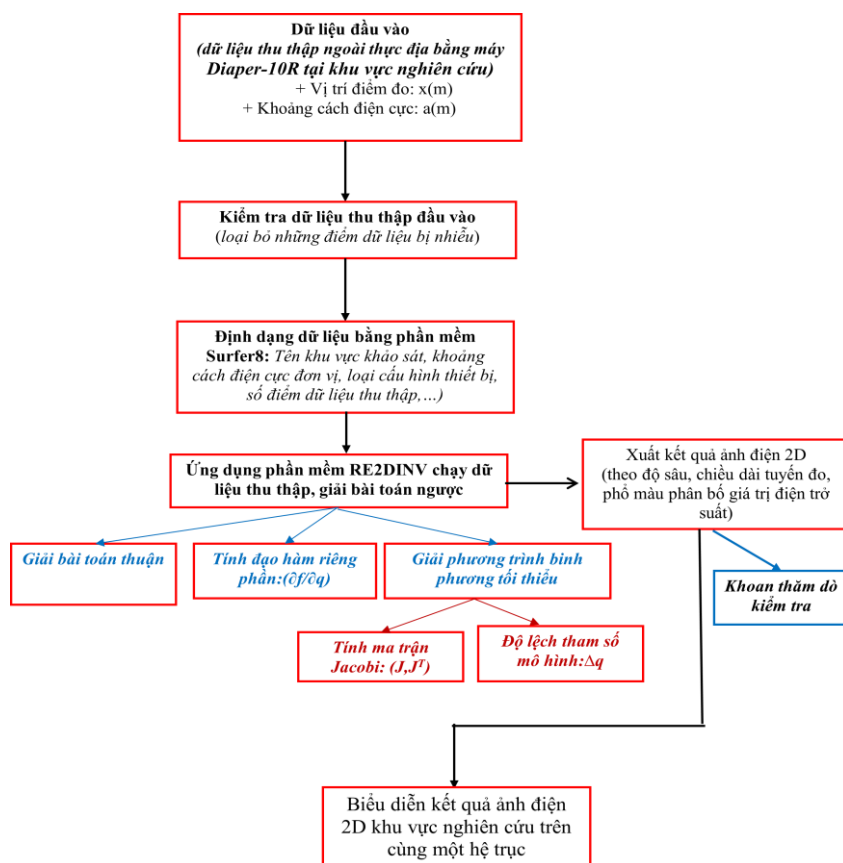
2.2.2. Quy trình các bước khảo sát thực địa theo sơ đồ đo Wenner–Alpha

Thiết bị Wenner–Alpha: Trong khảo sát thực địa, giả sử ta thực hiện việc đi dây cáp và tiến hành cắm  $m$  điện cực cách đều nhau trên tuyến đo như hình 3. Khoảng cách giữa các điện cực  $C_1, P_1, P_2, C_2$  được giữ không đổi đối với mỗi mức đo sâu ( $C_1P_1 = P_1P_2 = P_2C_2$ ). Số phép đo trên mỗi mức đo sâu được tính theo công thức tổng quát là  $(m - 3n)$  ứng với bước dịch chuyển trên tuyến đo theo khoảng cách điện cực đơn vị. Trong đó  $n$  là thừa số của mức đo. Đối với mức đo sâu thứ nhất của thiết bị thứ nhất ( $n = 1$ ) ứng với khoảng cách giữa các điện cực là “ $a$ ” ( $C_1P_1 = P_1P_2 = P_2C_2 = a$ ), ta sẽ thực hiện  $(m - 3)$  điểm đo dọc theo tuyến để biết được thông tin về tính chất điện của đối tượng vật chất từ bề mặt đến mức đo sâu thứ nhất dọc theo tuyến đo. Phép đo thứ nhất được thực hiện với các điện cực 1, 2, 3 và 4. Tiếp theo, phép đo thứ hai được thực hiện với các điện cực 2,3,4 và 5 có chức năng tương ứng như là các điện cực  $C_1, P_1, P_2$  và  $C_2$ . Tiếp tục tịnh tiến phép đo như vậy (với bước tịnh tiến là “ $a$ ”) dọc theo tuyến đo cho đến khi các điện cực  $m-3, m-2, m-1$  và  $m$  được sử dụng cho phép đo cuối cùng.



**Hình 3.** Sơ đồ cách sắp xếp các điện cực trong thăm dò ảnh điện 2D và trình tự các phép đo để xây dựng một mặt cắt 2D cho hệ thiết bị Wenner–alpha ngoài thực địa [4].

Quy trình được lặp lại tương tự cho các mức đo sâu thứ hai, ba, tư và năm tương ứng với khoảng cách giữa các điện cực là “ $2a$ ”, “ $3a$ ”, “ $4a$ ”, “ $5a$ ”,... phép đo được tiến hành cho đến khi đạt khoảng mở cần thiết [17–18]. Quy trình các bước tiến hành khảo sát cấu trúc địa chất tầng Holocene khu vực thành phố Đà Nẵng bằng phương pháp ảnh điện hai chiều (2D) như minh họa ở hình 4.



**Hình 4.** Sơ đồ khối quy trình tiên hành khảo sát, phân tích cấu trúc địa chất sử dụng phương pháp ảnh điện 2D.

### 3. Kết quả và thảo luận

#### 3.1. Kết quả ảnh điện 2D khu vực ngã tư Trần Phú và Lý Thường Kiệt, Quận Hải Châu, Tp. Đà Nẵng

Trên tuyến đo với chiều dài 350 m và độ sâu khoảng 57 m (xem bảng 1), có 195 điểm dữ liệu được thu thập. Sau khi đã xử lý các yếu tố gây nhiễu, các số liệu này được định dạng và phân tích kết quả từ phần mềm Res2dinv trên thuật toán sai phân hữu hạn và phương pháp bình phương tối thiểu. Kết quả được biểu diễn dưới dạng ảnh điện 2D, với 5 vòng lặp và sai số là 1,49% (xem hình 5). Phân tích kết quả tuyến đo trên hệ trục OXZ ta thấy, tại khu vực này từ mặt đất đến độ sâu khảo sát về cơ bản phân thành 6 lớp:

+ *Lớp thứ nhất:* phân bố từ mặt đất đến độ sâu khoảng 11m, giá trị điện trở suất thay đổi trong khoảng từ  $249.2 \div 306.1 \Omega m$ , thành phần chủ yếu là cát với hạt mịn, cát pha (trạng thái dẻo, kết cấu kém chặt) chiếm tỷ lệ lớn hơn. Một số vị trí có xen lẫn với cát trầm tích màu đỏ gạch.

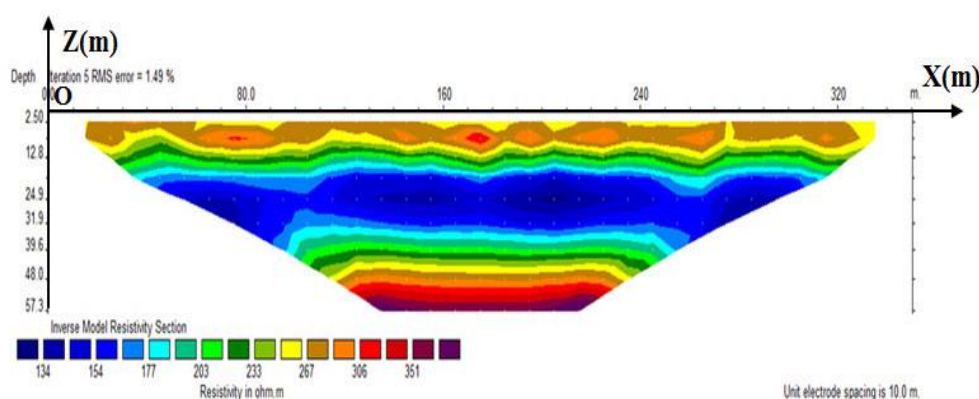
+ *Lớp thứ hai:* phân bố từ độ sâu trong khoảng từ 8m đến 18m, giá trị điện trở suất thay đổi trong khoảng  $176.9 \div 249.2 \Omega m$ , thành phần chủ yếu là cát hạt mịn (kết cấu rời rạc đến chặt vừa) phân đồng đều đến cuối tuyến đo.

**Bảng 1.** Kết quả khoan kiểm tra trên tuyến đo tại vị trí 150 m dọc theo trục OX, tại vị trí ngã tư Trần Phú, Quận Hải Châu, Tp. Đà Nẵng.

Phân bố lớp	Độ sâu lớp (m)	Mô tả đặc tính đất tại các lớp địa tầng
1	Từ 0.0 đến -6.5	Cát hạt mịn màu vàng nhạt (kết cấu xốp); cát pha màu xám đen (trạng thái dẻo, kết cấu kém chặt).

Phân bố lớp	Độ sâu lớp (m)	Mô tả đặc tính đất tại các lớp địa tầng
2	Từ -6.5 đến -14.6	Cát hạt mịn màu xám vàng đỏ gạch (kết cấu rời rạc đến chặt vừa)
3	Từ -14.6 đến -23.9	Sét lẫn vỏ sò màu xám xanh, xám nhạt, xám ghi (trạng thái dẻo mềm, dẻo cứng, mật độ chứa nước cao).
4	Từ -23.9 đến -36.5	Cát hạt mịn xám chặt vừa, sét pha xanh nhạt, đỏ gạch, xám ghi, xám đen trạng thái cứng, dẻo cứng và lẫn ít sạn nữa cứng.
5	Từ -36.5 đến -45.5	(Sét xám xanh trạng thái cứng, đá cát kết nâu đỏ phong hóa, cát hạt mịn đỏ gạch, xám vàng, xám xi măng (chặt vừa, chặt), cát sỏi sạn xám trắng rất chặt
6	Từ -45.5 đến -51.0	Dăm tầng lẫn sạn thạch anh xám xanh, xám trắng (rất chặt). Sét pha lẫn sạn thạch anh xám trắng, xám xanh cứng, xen kẹp đá phiến xerixits tím gụ, nâu đỏ.

+ *Lớp thứ ba*: nằm trong khoảng từ 16 đến 42 m, giá trị điện trở suất thay đổi trong khoảng 134.5 ÷ 189.4 Ωm, thành phần chủ yếu là sét trộn lẫn trầm tích sa thạch (trạng thái dẻo mềm, dẻo cứng, mật độ chứa nước cao). Theo kết quả khoan thăm dò thì các trầm tích, sa thạch này phần lớn là các vỏ ngêu sò, điều đó chứng tỏ lớp địa chất này trước đây là một phần bề mặt của đáy Sông Hàn, do quá trình bồi đắp và san lấp đáy sông tạo nên như hiện nay. Đáng chú ý, lớp địa chất này có miền giá trị thấp nhất trong các lớp địa chất (thể hiện một mảng màu xanh chạy từ đầu tuyến) giá trị điện trở suất thấp chỉ vào khoảng 134.5 Ωm (hình 5). Điều đó cho thấy, trong lớp có hệ thống các mạch nước ngầm liên thông với Sông Hàn (có thể có các dòng chảy mạnh, với lưu lượng lớn), trong nước ngầm có thể chứa các dung môi hữu cơ làm giá trị điện trở suất của nước ngầm tăng lên lớn hơn giá trị 100 Ωm.



**Hình 5.** Kết quả ảnh điện 2D tại khu vực ngã tư Trần Phú, Quận Hải Châu, Tp. Đà Nẵng.

+ *Lớp thứ tư*: nằm trong khoảng từ 32 đến 48 m, giá trị điện trở suất thay đổi trong khoảng từ 165.9 ÷ 217.3 Ωm, thành phần chủ yếu là cát hạt mịn chặt vừa, sét pha trạng thái cứng, dẻo cứng và lẫn ít sạn nữa cứng.

+ *Lớp thứ năm*: nằm ở độ sâu trong khoảng từ 40 đến 52 m, giá trị điện trở suất thay đổi trong khoảng 232.7 ÷ 266.8 Ωm, thành phần chủ yếu sét trạng thái cứng, đá cát kết phong hóa, cát hạt mịn (chặt vừa, chặt), cát sỏi sạn rất chặt.

+ *Lớp thứ sáu*: Phân bố ở độ sâu trong khoảng 45 đến 57 m, giá trị điện trở suất thay đổi trong khoảng 285.8 ÷ 416.8 Ωm, thành phần vật chất chủ yếu dăm tầng lẫn sạn thạch anh (rất chặt) và sét pha lẫn sạn thạch anh, xen kẹp đá phiến xerixits.

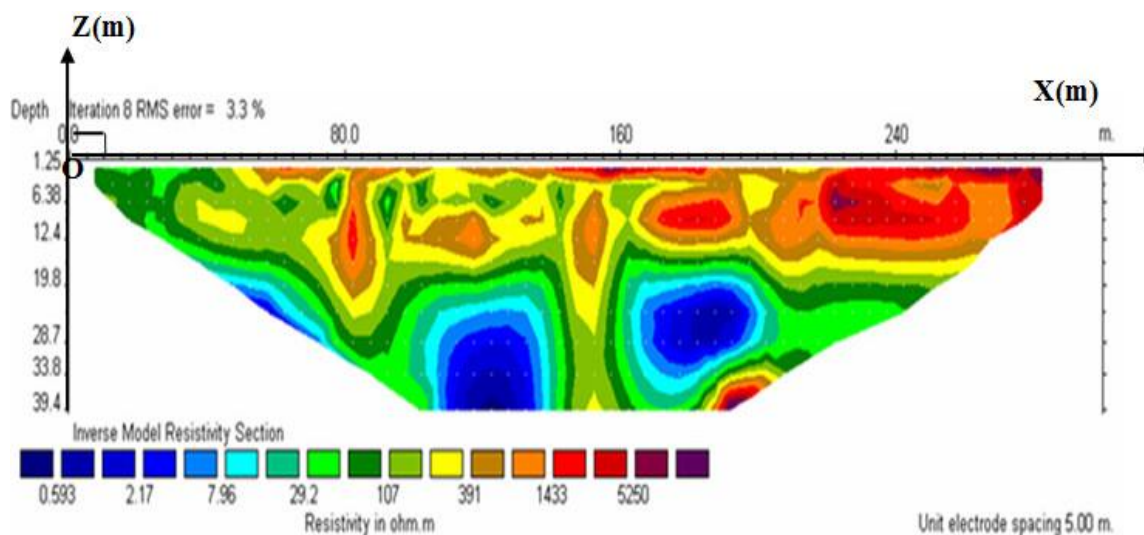
Nhìn chung, qua phân tích sai số giữa khoan thăm dò để kiểm tra phương pháp ảnh điện 2D tại khu vực ngã tư Trần Phú, Quận Hải Châu, Tp. Đà Nẵng cho kết quả sai số trung bình khoảng 2,5%.

### 3.2. Kết quả ảnh điện 2D tại khu công nghiệp Hòa Khánh, Liên Chiểu, thành phố Đà Nẵng

Có khoảng 504 điểm dữ liệu được khảo sát trên cả tuyến đo. Sau khi đã xử lý các yếu tố gây nhiễu, các số liệu này được định dạng và xử lý bằng phần mềm Res2dinv với 8 vòng lặp trên thuật toán sai phân hữu hạn và phương pháp bình phương tối thiểu. Kết quả ảnh điện 2D được biểu diễn trên hệ trục OXZ (hình 6).

Quan sát kết quả ảnh điện 2D cho thấy, tại các vị trí khảo sát từ mặt đất đến độ sâu khoảng 39 m phân thành 3 lớp địa chất xen phủ nhau và có ranh giới phân chia cục bộ không rõ ràng (có thể là do quá trình bồi đắp các loại đất, đá từ nơi khác đến để nâng cao nền địa chất phục vụ các nhu cầu dân dụng), nhìn chung có thể nhận định như sau:

+ *Lớp thứ nhất*: Phân bố từ bề mặt đất đến độ sâu khoảng 13 m (độ dày của lớp không đồng đều), giá trị điện trở suất thay đổi với biên độ khá rộng (từ 29.2 ÷ 52.5 Ωm), thành phần chủ yếu là đất đỏ phù sa, trộn lẫn đất cát và đá phiến sét vụn phân bố dọc theo tuyến đo. Tại các vị trí trong khoảng từ 70 đến 95 m và từ 135 đến 165 m (dọc theo tuyến đo) lớp có độ xen phủ sâu vào lớp địa chất thứ hai bên dưới, đặc biệt là trong khoảng từ 135 đến 165 m có độ xen phủ mạnh xuống phía dưới vượt quá độ sâu nghiên cứu. Lớp này được hình thành do quá trình san lấp, kết cấu chặt đến chặt vừa.



**Hình 6.** Kết quả ảnh điện 2D tại khu công nghiệp Hòa Khánh, quận Liên Chiểu, thành phố Đà Nẵng.

+ *Lớp thứ hai*: độ sâu trong khoảng từ 13 đến 39m, giá trị điện trở suất thay đổi trong khoảng (0.59 ÷ 107.1 Ωm). Thành phần vật chất của lớp này chủ yếu là bùn sét, đất cát phù sa (gồm đá sạn vụn, đất bùn đen và cát) có độ chứa nước cao. Đặc biệt xuất hiện hai mảng điện trở suất thấp tại các vị trí 100 và 145 m dọc theo tuyến đo, ở độ sâu từ 20÷39 m và 160 đến 205 m dọc theo trục tuyến đo, ở độ sâu khoảng từ 18 ÷ 35 m. Có thể thấy, đây là hai thấu kính nước được hình thành từ hệ thống các mạch nước ngầm có thể kết nối với hồ Bà Tràm. Nếu đặt giếng khoan tại các vị trí này sẽ sử dụng được nguồn nước ngầm ổn định với lưu lượng lớn. Tuy nhiên, trong nước ngầm có dấu hiệu bị nhiễm các chất điện phân kim loại nặng (vì giá trị của điện trở suất giảm đến khoảng 0,5 Ωm).

+ *Lớp thứ ba*: Phân bố ở độ sâu từ 34 m trở xuống, giá trị điện trở suất thay đổi trong khoảng 39.1 ÷ 52.5 Ωm, thành phần chủ yếu là đất, đá trầm tích, trạng thái cứng và nửa cứng. Nhìn chung, lớp này dưới độ sâu nghiên cứu của kết quả ảnh điện, ta có thể thấy lớp này ở cuối tuyến đo từ vị trí 180 m đến cuối tuyến đo (theo trục OX) và ở độ sâu khoảng 34 m đến hết độ sâu nghiên cứu. Lớp địa chất này có giá trị điện trở suất thay đổi mạnh theo mùa, vào mùa mưa độ ẩm tăng nên giá trị điện trở suất có thể giảm đến hàng chục đến hàng trăm Ωm, còn mùa khô thì tăng lên đến vài chục ngàn Ωm.

### 3.3. Phân tích tổng hợp các đặc trưng địa chất, nước ngầm các khu vực khảo sát

#### 3.3.1. Đặc trưng địa chất trong tầng chứa nước Holocene

Quan sát tổng hợp kết quả ảnh điện 2D và kết quả khoan thăm dò tại các vị trí khảo sát cho thấy, các đặc trưng phân bố địa chất của tầng chứa nước Holocene từ mặt đất đến độ sâu nghiên cứu về cơ bản có sự tương đồng. Tùy vào điều kiện, lịch sử hình thành kiến tạo mà các lớp địa chất tại các khu vực nghiên cứu có độ dày mỏng khác nhau (hầu hết tại các khu vực khoảng từ mặt đất đến độ sâu 3 m là đất san lấp, nền địa chất gốc của khu vực phân bố trong khoảng từ 3 m trở xuống).

Về tổng thể, tương quan đặc điểm phân bố địa chất trong thế Holocene tại các vị trí 5 khảo sát từ mặt đất đến độ sâu khoảng 40m như sau:

+ *Lớp trên cùng*: từ mặt đất đến độ sâu khoảng 7 m, giá trị điện trở suất thay đổi trong khoảng  $29.2 \div 52.5 \Omega\text{m}$ , thành phần chủ yếu là cát hạt mịn, cát pha, sét pha, đất phù sa, trộn lẫn ít dăm, sạn và sa thạch vụn, ở trạng thái dẻo, dẻo mềm, kết cấu xốp, kém chặt, chặt vừa và chặt với độ dày của lớp này là tương đương nhau.

+ *Lớp thứ hai*: Có độ dày khoảng 10 m, phân bố từ độ sâu trong khoảng từ 2.5 m đến 14.8 m, lớp này dày nhất (khoảng 10.5 m) và mỏng nhất (vào khoảng 6 m). Giá trị điện trở suất thay đổi trong khoảng  $3.54 \div 14.3 \Omega\text{m}$ , thành phần chủ yếu là cát bụi, cát hạt mịn, cát pha, cát phù sa và sa thạch vụn. Kết quả ảnh điện 2D tổng hợp cho thấy, ở khu công nghiệp Hòa Khánh, Quận Liên Chiểu xuất hiện một dị thường tại vị trí độ sâu từ 135 m đến 160 m dọc theo tuyến đo (theo trục OX). Điều đó cho thấy, lớp địa chất thứ hai xuất hiện tầng đá gốc, đây có thể là dấu hiệu của sự đứt gãy, sụt lún đã từng diễn ra ở khu vực này và tầng đá gốc của khu vực này đang trong quá trình tiến đến giới hạn đẳng tĩnh.

+ *Lớp thứ ba*: độ dày trung bình khoảng 17 m, phân bố trong khoảng từ 11 đến 37 m, giá trị điện trở suất thay đổi trong khoảng  $0.59 \div 189.4 \Omega\text{m}$ , thành phần chủ yếu là sét, sét pha, bùn sét pha ở trạng thái dẻo, dẻo mềm, dẻo cứng và dẻo chảy với độ ngậm nước cao.

+ *Lớp thứ tư*: độ sâu từ 29 đến 40 m, có độ dày khoảng 10 m, giá trị điện trở suất thay đổi trong khoảng  $100 \div 525.0 \Omega\text{m}$ , thành phần vật chất gồm cát hạt mịn, sét pha, đất đá trầm tích, trạng thái cứng, cứng dẻo, kết cấu chặt vừa. Điểm đáng chú ý ở đây là có dấu hiệu sụt lún trong lớp địa chất này tại hai khu vực khảo sát: tại khu công nghiệp Hòa Khánh, Quận Liên Chiểu. Điều này cho thấy đã xảy ra quá trình sụt lún, đứt gãy của tầng đá gốc trong quá trình hình thành, kiến tạo tại hai khu vực nghiên cứu này.

#### 3.3.2. Đặc điểm phân bố nước ngầm trong tầng địa chất chứa nước Holocene

Quan sát các kết quả ảnh điện 2D tại các vị trí khảo sát thể hiện rằng, ở độ sâu khoảng 20 m, có dấu hiệu tồn tại các mạch nước ngầm liên thông với sông hoặc hồ. Tuy nhiên, dựa vào miền giá trị của điện trở suất ta thấy, trong nước có sự hiện diện của các dung môi hữu cơ: tại điểm khảo sát ngã tư Lý Thường Kiệt và Trần Phú thuộc Quận Hải Châu, do vị trí khảo sát tương đối gần với sông Hàn nên lưu lượng và mật độ nước ngầm tương đối lớn, trong nước ngầm có dấu hiệu ô nhiễm các dung môi hữu cơ (điện trở suất vượt quá  $100 \Omega\text{m}$ ). Tại vị trí Quận Liên Chiểu (ranh giới giữa khu công nghiệp Hòa Khánh và hồ Bà Tràm), nước ở độ sâu 20 m ghi nhận dấu hiệu bị ô nhiễm chất điện phân kim loại nặng ở mức độ cao, do điện trở suất của nước giảm xuống còn khoảng  $0.59 \Omega\text{m}$ . Kết quả tương đồng với nghiên cứu của [4].

### 3.4. Một số hạn chế của nghiên cứu

+ Trong quá trình triển khai khảo sát thực tế, nếu không kiểm soát tốt các điện cực trong quá trình đo, điện cực không tiếp xúc tốt với môi trường (chẳng hạn thời tiết nóng quá hay mưa nhiều,...) thì kết quả đo sẽ sai số lớn. Cụ thể, nếu chỉ một điểm dữ liệu đo sai sẽ dẫn đến các điểm dữ liệu khác trong lưới sai phân quan hệ nội suy với nhau sẽ sai, không phản ánh được đối tượng cần đo.

+ Tại những nơi có hệ thống điện cao thế lớn, thì kết quả đo sẽ sai số lớn, vì do xuất hiện điện trường lớn làm nhiễu máy đo.

+ Kết quả của phương pháp ảnh điện chỉ cho biết cấu trúc địa chất đặc trưng tổng quát tại khu vực nghiên cứu (thể nằm, phân bố lớp, thành phần vật chất, giá trị điện trở suất, độ sâu nghiên cứu), mà chưa cho biết những thông số cơ–lý hay hóa–lý nền địa chất tại khu vực vực khảo sát. Do đó cần phải áp dụng kết hợp thêm các phương pháp khác để hỗ trợ như khoan thăm dò, lấy mẫu phân tích,...

#### **4. Kết luận**

Qua khảo sát ảnh điện 2D địa chất tầng Holocene khu vực thành phố Đà Nẵng cho thấy cấu trúc địa chất từ bề mặt đất đến độ sâu 40 m có sự tương đồng giữa các thành phần đất đá.

+ Phân tích kết quả ảnh điện 2D kết hợp phân tích dữ liệu khoan thăm dò địa chất cho thấy dấu hiệu sụt lún, đứt gãy tầng đá gốc có độ sâu từ 29 đến 40m.

+ Kết quả đạt được trong quá trình nghiên cứu đã cho cái nhìn tổng quan về tầng địa chất chứa nước Holocene của một số khu vực trên địa bàn thành phố Đà Nẵng, làm cơ sở áp dụng tiến cho một số lĩnh vực địa chất công trình, xây dựng công trình dân dụng, khai thác và quản lý nguồn tài nguyên nước ngầm.

**Đóng góp của tác giả:** Xây dựng ý tưởng nghiên cứu: L.V.T.; Lựa chọn phương pháp nghiên cứu: L.V.T.; Khảo sát, thu thập số liệu: L.V.T.; Xử lý số liệu: L.V.T.; Viết bản thảo bài báo: L.V.T.; Chỉnh sửa bài báo: L.V.T.

**Lời cảm ơn:** Nghiên cứu này được tài trợ bởi Quỹ Phát triển Khoa học và Công nghệ – Đại học Đà Nẵng trong đề tài mã số B2019–DN03–40.

**Lời cam đoan:** Tác giả cam đoan bài báo này là công trình nghiên cứu của 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. Aizebeokhai, A.P.; Olayinka, A.I.; Singh, V.S. Application of 2D and 3D geoelectrical resistivity imaging for engineering site investigation in a crystalline basement terrain, southwestern Nigeria. *Environ. Earth Sci.* **2010**, *61*, 1481–1492.
2. Alija, S.; Torrijo, F.J.; Quinta-Ferreira, M. Geological engineering problems associated with tunnel construction in karst rock masses: the case of Gavarres tunnel (Spain). *Eng. Geol.* **2013**, *157*, 103–111.
3. Epting, J.; Huggenberger, P.; Glur, L. Integrated investigations of karst phenomena in urban environments. *Eng. Geol.* **2009**, *109*, 273–289.
4. Le, P.C.; Luong, V.T.; Tatjana, J.K. Aquatic geochemistry status in the south, central, and highland regions of Vietnam. *Environ. Sci. Pollut. Res.* **2019**, *26(21)*, 21925–21947.
5. Lam, V.T.N.; Vilas, N. Assessment of vulnerabilities to climate change for urban water and wastewater infrastructure management: case study in Dong Nai River basin, Vietnam. *Environ. Dev.* **2015**, *16*, 119–137.
6. Le, N.T.; Nguyen, T.V. Application of geophysical methods to study geological structures of Mekong riverbank to determine the weak zones capable of erosion. Proceedings of international symposium on shallow geology and geophysics, Hanoi, Vietnam, 2004, 3, 77–85.
7. Le, P.C.; Luong, V.T.; Tatjana, J.K.; Akos, R.; Hoang, H. Imaging the movement of toxic pollutants with 2D electrical resistivity tomography (ERT) in the geological environment of the Hoa Khanh Industrial Park, Danang, Vietnam. *Environ. Earth Sci.* **2016**, *75(4)*, 1–14.

8. Nguyen, V.L.; Ta, T.K.O.; Masaaki, T. Late Holocen depositional environments evolution of the Mekong River Delta, Souther Vietnam. *J. Asian Earth Sci.* **2000**, *18*, 427–439.
9. Amadi, A.N.; Aminu, T.; Okunlola, I.A. Lithologic influence on the hydrogeochemical characteristics of groundwater in Zango, north–west Nigeria. *Nat. Resour. Conserv.* **2015**, *3(1)*, 11–18.
10. Beff, L.; Günther, T.; Vandoorne, B.; Couvreur, V.; Javaux, M. Three–dimensional monitoring of soil water content in a maize field using electrical resistivity tomography. *Hydrol. Earth Sys. Sci.* **2013**, *17*, 595–609.
11. Carrière, S.D.; Chalikakis, K.; Sénéchal, G.; Danquigny, C.; Emblanch, C. Combining electrical resistivity tomography and ground penetrating radar to study geological structuring of karst unsaturated zone. *J. Appl. Geophys.* **2015**, *94*, 31–41.
12. Hoang, H.V.; Nguyen, L.V.; Dang, N.D.; Wagner, F.; Pham, N.Q. Hydro–geochemical characteristics of the groundwater resources in the southern part of the Red River’s Delta plain, Vietnam. *Environ. Earth Sci.* **2018**, *77*, 674.
13. Amadi, A.N.; Aminu, T.; Okunlola, I.A. et al. Lithologic influence on the hydrogeochemical characteristics of groundwater in Zango, north–west Nigeria. *Nat. Resour Conserv.* **2015**, *3*, 11–18.
14. Ahmed, A.B. El–Gawad, D. Landslides articulation in Wadi Hof area southeast of Cairo, Egypt, based on geological and geophysical investigations. *Environ. Earth Sci.* **2021**, *80*, 5.
15. Selvam, S.; Jesuraja, K.; Venkatramanan, S.; Chidambaram, S.; Prasanna, M. V. Sivakumar, K. Delineating saline and fresh–water aquifers in Tuticorin of southern India by using geophysical techniques. *Envir. Dev. Sust.* **2021**, *23(12)*, 17723–17744.
16. Massoud, A.; Fatma, S.; Mohamed, Y. Evaluation of mineral compositions of surface and subsurface rock samples by neutron activation analysis. *Int. J. Envir. Ana. Chemistry.* **2020**, *0*, 1–18.
17. Joshua, C.; Tiyamike, H.; Gift, T. Geologic structures associated with gold mineralization in the Kirk Range area in Southern Malawi. *Open Geosciences* **2021**, *13(1)*, 345–1357.
18. Mohamed, H.; Kalifa. G.; Fatma, K.; Mohamed, F.Z. Hydrodynamic groundwater modeling and hydrochemical conceptualization of the mining area of Moulares Redeyef (southwestern of Tunisia): New local insights. *Phys. Chem. Earth, Parts A/B/C* **2021**, *121*, 102974.
19. Marwa, W.A.; Halmy, M.F.; Mahmoud, N. Application of Remote Sensing for Monitoring Changes in Natural Ecosystems: Case Studies from Egypt. *Envir. Remote Sen. Egypt* **2020**, 167–182.
20. Kang, W.; Qi, G.J.; Xiao, H.Y.; De, H.Y.; Fan, L.; Qing, L.Y.; Tong, Y.; Xing, Y.X. Technique of the rapid detection of groundwater based on multidimensional space. *Water Supply* **2019**, *19(7)*, 1986–1993.

## Surveying the geological structure of Holocene strata in Da Nang City using two–dimensional (2D) electric imaging method

Luong Van Tho<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> The University of Danang – University of Science and Education, 459 Ton Duc Thang, Hoa Khanh Nam, Lien Chieu, Da Nang–550000; lvtho@ued.udn.vn

**Abstract:** This study was conducted to survey the geological structure of the Holocene strata in Da Nang City using a two–dimensional (2D) electric imaging method. In the study, the formation, distribution, and geological composition of the Holocene strata and the

distribution of groundwater in the environment of the Holocene stratum were also investigated. To conduct this study, the 2D electro-photographic method based on the Wenner-Alpha diagram has been deployed at the field survey locations in the Da Nang City. The results obtained through analysis of 2D electrical images at the surveyed locations were also compared and evaluated with the analyzed results of geological exploration drilling and showed a good correlation with the errors being less than 5.0%. Through the study, it can be affirmed that the 2D electro-photographic method is well applied to investigate the engineering geologies, contributing to the assessment and prediction of geological hazards in the construction of infrastructure and civil engineering, underground works related to social security across the study area.

**Key words:** Geology; Electrical graphics 2D; Interpretation; Heavy metal; Electrolytes.



Bài báo khoa học

# Đánh giá tình hình vận chuyển bùn cát trên sông Mê Công và lượng hóa vận chuyển bùn cát đáy năm 2011 trên hệ thống sông Cửu Long

Nguyễn Nghĩa Hùng<sup>1\*</sup>, Lê Quân Quân<sup>1</sup>, Lê Mạnh Hùng<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Viện khoa học Thủy lợi miền Nam; hungsiwrr@gmail.com; lequan2005@gmail.com

\*Tác giả liên hệ: hungsiwrr@gmail.com; Tel.: +84-988.485.575

Ban Biên tập nhận bài: 18/5/2022; Ngày phản biện xong: 11/6/2022; Ngày đăng bài: 25/6/2022

**Tóm tắt:** Nội dung bài báo đánh giá tình hình về vận chuyển bùn cát nói chung và bùn cát đáy nói riêng trong những năm gần đây của hệ thống sông Mê Công. Dựa trên các tài liệu quan trắc đã công bố và tính toán từ mô hình toán MIKE11AD về hệ thống sông kênh ở vùng ĐBSCL, chúng tôi tính toán lượng bùn cát phân bố bùn cát đáy đại diện cho năm có lũ lớn (2011) trên hệ thống sông Cửu Long. Đây là kết quả tính toán mới về lượng bùn cát đáy trên hệ thống sông Cửu Long và chúng được phân bố như thế nào trên các đoạn sông. Cụ thể, lượng bùn cát đáy về qua biên giới VN-CPC chỉ 5,82 triệu m<sup>3</sup> (tổng về từ Tân Châu và Châu Đốc), trong đó qua Tân Châu chiếm khoảng 85% (4,95 triệu m<sup>3</sup>) và Châu Đốc chỉ khoảng 15% (0,87 triệu m<sup>3</sup>), sau khi phân bố lại lưu lượng tại Vàm Nao, bùn cát đáy trên sông Tiền đoạn Mỹ Thuận chiếm 39% (2,27 triệu m<sup>3</sup>), đoạn Cần Thơ khoảng 35% (2,01 triệu tấn), tổng lượng bùn cát đáy đổ ra biển khoảng 1,59 triệu m<sup>3</sup>. Đây là kết quả đầu tiên được tính toán phân bố cho toàn nhánh sông thuộc hệ thống sông Cửu Long, làm cơ sở cho việc tính toán dự báo và nghiên cứu ổn định chính trị hệ thống sông Cửu Long phục vụ cho phát triển kinh tế được tốt hơn.

**Từ khóa:** Bùn cát; Bùn cát đáy; Sông Mê Công; Hệ thống sông Cửu Long.

## 1. Mở đầu

Bùn cát là yếu tố cơ bản trong quá trình hình thành dòng sông, trên bề mặt lưu vực là sự rửa trôi và xói mòn, trên dòng sông là sản phẩm của sự tác động qua lại của dòng nước và lòng dẫn. Bùn cát trong dòng sông ở nghĩa hẹp tại một đoạn sông được chia làm 2 yếu tố cơ bản (bùn cát lơ lửng và bùn cát đáy), trong đó bùn cát lơ lửng di chuyển theo dòng nước có nồng độ tăng dần từ bề mặt sông đến đáy sông, bùn cát đáy là lượng cát di chuyển ở tầng nước sát đáy sông, lượng bùn cát đáy này có thể di đầy, nhiễu loạn và “nhảy cóc” tạo nên các sóng cát di động dọc theo chiều dài sông. Tổng lượng bùn cát được tính bao hàm cả bùn cát đáy và bùn cát lơ lửng. Đối với bùn cát lơ lửng, việc khảo sát đo đạc để biết được nồng độ trong nước được lấy mẫu ở các tầng nước qua thủy trực, phân tích đo đạc và biết được giá trị nồng độ tại mỗi điểm đo khá rõ ràng, tuy nhiên đối với bùn cát đáy là đại lượng hầu như chưa thể đo đạc được một cách chính xác, chủ yếu dựa vào kinh nghiệm.

Chính vì vậy, quá trình vận chuyển bùn cát vẫn đang là vấn đề rất phức tạp trong nghiên cứu thủy động lực học cả về không gian, thời gian, các yếu tố tác động. Những năm đầu của thế kỷ 20 nghiên cứu bùn cát được nhiều nhóm nghiên cứu trên thế giới quan tâm, nhiều công thức tính toán dự báo được xây dựng dựa trên cơ sở các kết quả nghiên cứu trong phòng thí nghiệm, kết quả khảo sát ngoài hiện trường và cả trên các mô hình toán tính toán [1]. Tuy

vậy, do đặc thù ở mỗi con sông, đoạn sông có sự khác nhau về dòng chảy, loại hình lòng dẫn,... mà việc ứng dụng các công thức tính toán dự báo bùn cát còn hạn chế. Tài liệu khảo sát đo đạc phục vụ tính toán thường thiếu tính đồng bộ về dòng chảy và lòng dẫn, các vật liệu đáy sông, do đó kết quả nghiên cứu thường chỉ áp dụng cho từng vùng nhất định.

Trên hệ thống sông Mê Công nói chung và Cửu Long nói riêng, chưa có nghiên cứu nào bài bản và tập trung chuyên sâu vào vấn đề vận chuyển bùn cát và các yếu tố thủy động lực liên quan một cách đồng bộ. Chủ yếu các tài liệu thực đo tại các trạm cơ bản trong mạng lưới đo đạc dòng chảy Yunjinghong (Cảnh Hồng), Kratie, Pnom Pênh, Tân Châu, Châu Đốc, Vàm Nao, Cần Thơ, Mỹ Thuận) [1, 2–7]. Thông qua việc đo đạc bùn cát lơ lửng để tính toán được tổng lượng bùn cát về vùng ĐBSCL. Khảo sát bùn cát đáy chỉ được một số công bố quốc tế gần đây do việc sử dụng thiết bị đo hồi âm đa tần (multibeam) để chụp ảnh đáy sông và sóng cát theo thời gian, từ đó ước lượng được lượng bùn cát di đáy dưới đáy sông, như tại Phnom Pênh 2013 [8], tại Sa Đéc–Mỹ Thuận năm 2018 [9], tại cửa sông Hậu khu vực từ Cần Thơ đến biển nhóm nghiên cứu Mỹ [10–11].

Một số kết luận đến nay về bùn cát của các nhóm nghiên cứu quốc tế thông qua việc phân tích số liệu thực đo, số liệu khảo sát bùn cát đáy và mô hình toán cho thấy:

- Bùn cát trên hệ thống sông Mê Công và hệ thống sông Cửu Long ngày càng giảm nhỏ [2, 6–7] và có thể đến khi hoàn thành xây dựng đập thủy điện theo kế hoạch ở phía thượng nguồn, lượng cát chỉ còn từ 4÷6% [2].

- Bùn cát trên hệ thống sông Cửu Long chủ yếu là bùn cát lơ lửng, bùn cát đáy chỉ chiếm một phần nhỏ (13÷18%) tổng lượng bùn cát, càng về phía thượng nguồn bùn cát đáy càng chiếm ưu thế hơn [8–10].

- Hiện nay, lượng bùn cát đáy về châu thổ sông Cửu Long chỉ khoảng từ 6,18 Mt yr<sup>-1</sup> ± 2.01 Mt. Như vậy, nếu so sánh với tổng lượng độ đục hàm lượng bùn cát đáy chỉ chiếm từ 11–13% SSC tại khu vực Phnom Pênh.

Do nguồn bùn cát là nguồn vật liệu đặc biệt quan trọng trong việc phát triển hạ tầng phục vụ phát triển kinh tế xã hội. Tuy nhiên, tính đến nay, chưa có nghiên cứu nào công bố tổng lượng bùn cát đáy về châu thổ ĐBSCL là bao nhiêu và chúng được phân bố trên các nhánh sông ra sao, vì vậy, bài báo là sự cố gắng để trả lời câu hỏi đó. Dựa trên cơ sở các khảo sát đo đạc đã công bố, tỷ lệ giữa bùn cát đáy và bùn cát lơ lửng được xác định ở từng khu vực khác nhau, dựa trên tỷ lệ này, chúng tôi tiến hành dự báo cho bùn cát đáy bằng mô hình toán MIKE 11AD để xem xét sự phân bố của bùn cát đáy trên các nhánh sông Cửu Long. Đây là kết quả bước đầu cho việc định lượng cát về châu thổ và trên các nhánh sông chính, tạo tiền đề cho các nghiên cứu về chỉnh trị sông và ổn định thế sông phục vụ phát triển kinh tế xã hội của vùng ĐBSCL.

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

### 2.1. Giới thiệu vùng nghiên cứu

Phạm vi vùng nghiên cứu được tính từ Kratie thuộc địa phận Campuchia trở ra cửa biển, trong đó trọng tâm nghiên cứu ở vùng ĐBSCL, hệ thống sông và kênh rạch ở vùng này là đối tượng nghiên cứu về bùn cát của bài báo. Trong vùng có 5 trạm thủy văn cơ bản có đo đạc thường xuyên về lưu lượng, mực nước, bùn cát lơ lửng từ năm 2008 đến nay. Trên hình 1 là vùng đo nghiên cứu bùn cát đáy đã được công bố năm 2014 [8], vùng 2 là vùng đo bùn cát đáy của nhóm nghiên cứu [9] và vùng 3 là vùng đo của nhóm [10].

### 2.2. Phân tích thủy văn

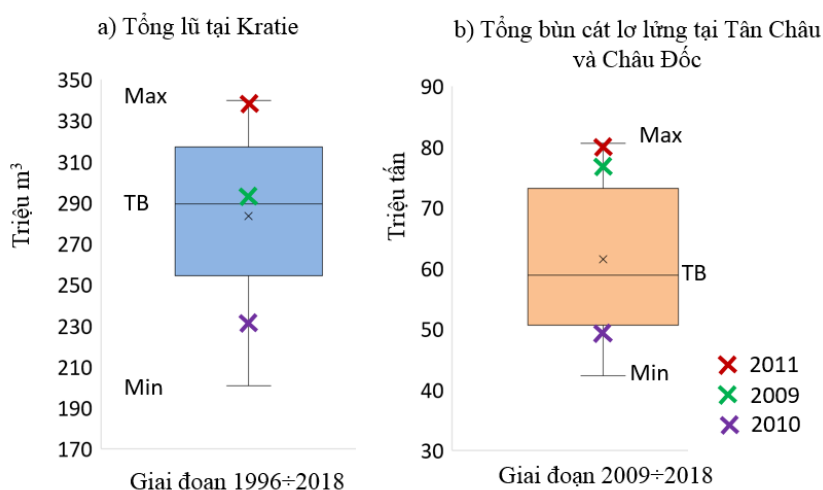
Phương pháp phân tích thủy văn được sử dụng để tính toán các yếu tố thủy văn cần thiết cho các trạm đo cơ bản về nồng độ bùn cát lơ lửng trong các giai đoạn đo. Trong đó dựa trên các tài liệu được quan trắc của Đài khí tượng thủy văn để tính toán tổng lượng bùn cát lơ

lững của các năm, kết hợp với lưu lượng dòng chảy tại các vị trí tính toán nhằm tiến hành phân tích sự biến động của các yếu tố dòng chảy và bùn cát.



**Hình 1.** Phạm vi vùng nghiên cứu và các khu vực đo bùn cát đáy, các trạm thủy văn.

Theo tính toán phân bố chuỗi số liệu lưu lượng  $Q$  được tính từ tương quan mực nước  $H$  đo đạc tại Kratie từ 1996÷2018, và SSC tổng tại Châu Đốc và Tân Châu giai đoạn 2008÷2018.



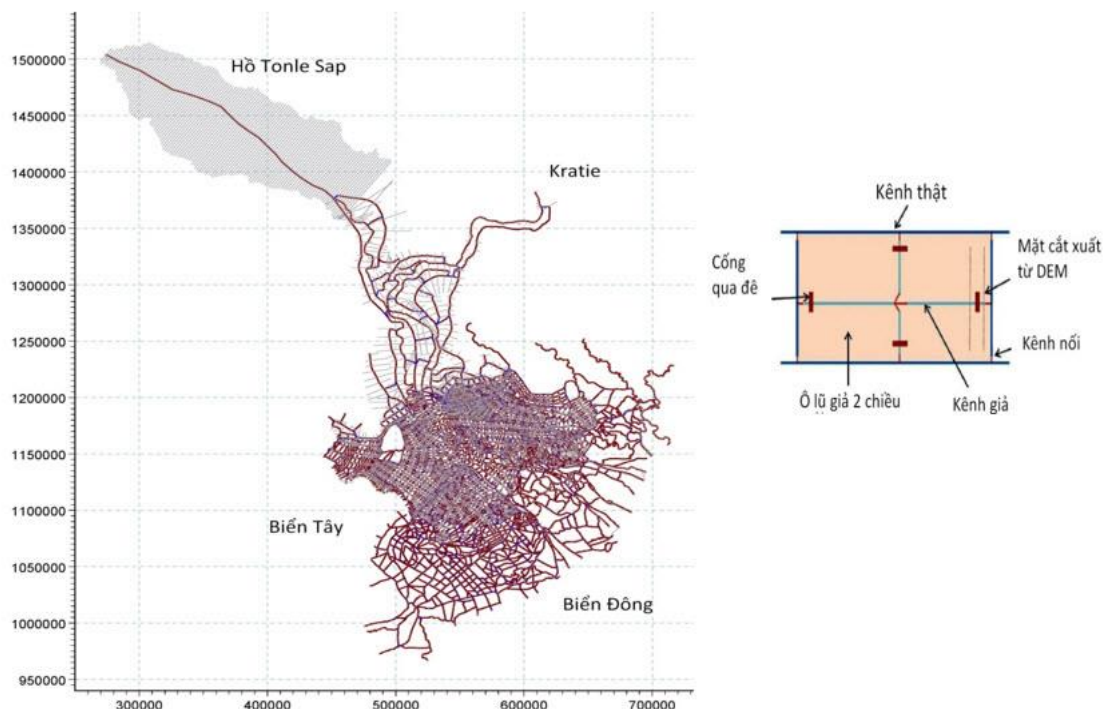
**Hình 2.** Hệ thống mạng lưới tính toán và các biên sử dụng trong mô hình.

Năm 2011 là năm lũ lớn, với tổng lượng lũ tại Kratie và bùn cát lơ lửng quan trắc được tại Tân Châu, Châu Đốc, cho thấy hợp lý để lựa chọn cho việc tính toán dự báo bùn cát đáy trên hệ thống sông Cửu Long.

### 2.3. Sử dụng mô hình toán 1 chiều

Sử dụng phần mềm MIKE11HD và AD cho toàn mạng lưới sông kênh, công trình trên hệ thống và bãi ngập lũ tính toán thủy động lực cho vùng ĐBSCL. Mô hình đã được Viện khoa học Thủy lợi miền Nam xây dựng từ những năm 2002 và đến nay liên tục được cập nhật

các địa hình, công trình, các biên tính toán. Mặc dù, vùng ĐBSCL là một vùng có địa hình phức tạp, sông ngòi và kênh rạch chằng chịt, bên cạnh đó là việc phát triển cơ sở hạ tầng không ngừng thay đổi, nên việc có được bộ cơ sở dữ liệu đồng bộ về địa hình và thủy văn, công trình là rất khó khả thi. Tuy nhiên đây là mô hình một chiều đã được hiệu chỉnh, kiểm định nhiều lần, đã ứng dụng vào trong tính toán ở nhiều vấn đề thực tế chấp nhận được.



**Hình 3.** Hệ thống mạng lưới tính toán và các biên sử dụng trong mô hình.

+ Có 3.402 nhánh sông được thiết lập với sự kết nối trong mô hình, các công trình công kiểm soát nước 2.260, có 22 biên lưu lượng và 59 biên mực nước (Hình 3). Biên thượng nguồn của mô hình là biên lưu lượng được lấy tại vị trí Kratie theo tài liệu của Ủy ban sông Mê Công quốc tế (MRC) và các nhánh sông phụ lưu, biên hạ nguồn là các biên mực nước trên các cửa sông biển Đông và biển Tây. Các số liệu biên lưu lượng và mực nước được cập nhật từ MRC và Đài Khí tượng Thủy văn Nam Bộ quan trắc. Hệ thống công trình thủy lợi được cập nhật ở vùng ĐBSCL đến năm 2018 và hệ thống địa hình sông, kênh rạch được cập nhật ở mức tối đa theo từng vùng.

Mô hình toán MIKE 11 đã được sử dụng trong bài báo là thừa kế kết quả nghiên cứu trước đã được công bố quốc tế về bùn cát lơ lửng phân bố trên các hệ thống sông ở ĐBSCL. Tài liệu bùn cát sử dụng trong cân chỉnh mô hình và hiệu chỉnh mô hình là tài liệu thực đo tại các trạm đo cơ bản (Tân Châu, Châu Đốc, Vàm Nao, Mỹ Thuận, Cần Thơ), tài liệu hiệu chỉnh 2010 và kiểm định năm 2009. Các sơ đồ mạng lưới tính và các phương pháp cân chỉnh mô hình đã được trình bày ở các bài báo trước của nhóm tác giả [12–14], do đó ở bài báo này chúng tôi chỉ trình bày sơ bộ và sử dụng kết quả để tính toán bùn cát đáy trên hệ thống sông Cửu Long.

### 3. Kết quả và thảo luận

#### 3.1. Bùn cát lơ lửng ở phía thượng nguồn sông Mê Công

Nhiều công bố cho thấy số liệu của đập thượng nguồn đã cắt giảm rõ rệt lượng phù sa và bùn cát đáy ở trên lưu vực sông Mê Công, song độ chính xác của chuỗi số liệu cụ thể và trong lịch sử cho thấy đây là những vấn đề còn phải bàn luận nhiều [2–7], mặc dù những điều

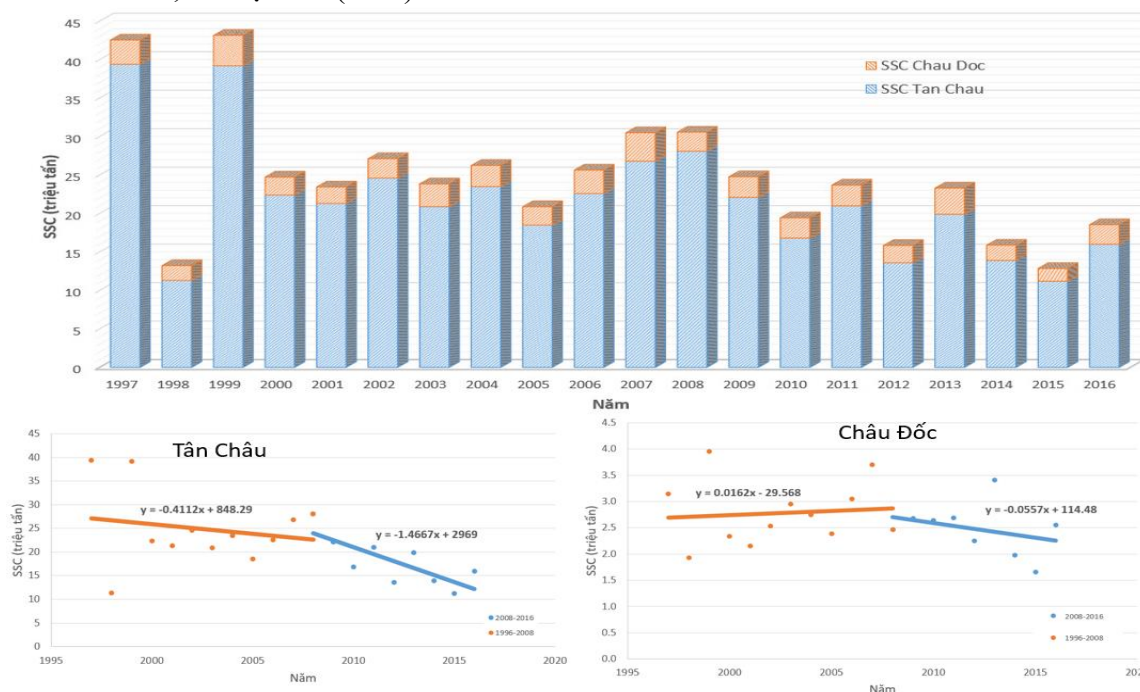
này các tác giả vẫn lưu ý các đập được lên kế hoạch xây dựng trong tương lai sẽ có tác động đến lượng trầm tích của đồng bằng. [3] đã nghiên cứu và chỉ ra trầm tích bị giữ lại bởi đập Manwan tạo ra những ảnh hưởng khác nhau đối với các biến thể trầm tích ở hạ lưu. Trạm Gajiu bị ảnh hưởng đáng kể nhất bởi con đập, nhưng ở hạ lưu 401 km tại Yunjinghong, tác động của nó không còn đáng kể. Tại Chiang Saen đã giảm đột ngột cho đến năm 1996 và bắt đầu phục hồi sau năm 1997. Các nghiên cứu trước đây cho thấy đập Manwan thực sự gây ra trầm tích hạ lưu giảm xuống các mức độ khác nhau [6–7]. [7] đã chứng minh rằng các tác động của hồ chứa ở hạ lưu SSC bị hạn chế trong phạm vi từ vị trí đập Manwan đến Viêng Chăn, và SSC ở hạ lưu không đáp ứng đáng kể.

Tại Yunjinghong (Cảnh Hồng), bùn cát triết giảm rõ rệt theo dạng tuyến tính với nồng độ từ  $4,5 \text{ kg/m}^3$  xuống chỉ còn dưới  $1,5 \text{ kg/m}^3$ . [3] đã phân tích tải lượng bùn cát tại các trạm trên hệ thống lưu vực sông Mê Kông cho thấy rằng kể từ năm 2002, việc xây dựng các đập lớn trên các đầu nguồn dường như có ít tác động về tải lượng trầm tích. Dữ liệu thực đo tại các trạm Jinghong, Chiang Saen, Luang Prabang, Nong Khai, Mukdahan và Pakse cho thấy rằng ít có bằng chứng về sự gia tăng tải lượng trầm tích giữa trạm đo Jinghong ở thượng lưu và tại Pakse phía hạ lưu mặc dù diện tích lưu vực tại vị trí hạ lưu này tăng gần bốn lần. Bên cạnh đó, lượng bùn cát trầm tích giảm đi cũng có nguyên nhân một phần đến từ sự thay đổi việc sử dụng đất.

Hầu hết các nghiên cứu đều cho thấy sự sụt giảm bùn cát lơ lửng trên vùng thượng nguồn là rõ rệt, tổng lượng bùn cát lơ lửng về đến Phnom Pênh chỉ khoảng  $50 \pm 5$  triệu tấn [8]. Trong đó [8] nghiên cứu rất kỹ cho năm 2008–2010, cho thấy nếu trong tháng 9 và tháng 10, lượng bùn cát trước khi vào Tonle Sap và chia rẽ nhánh sông Hậu và sông Tiền tương ứng là 2008: 33,56 triệu tấn; 2009: 29,17 triệu tấn; 2010: 30,76 triệu tấn, số liệu này có thể so sánh với kết quả đo đạc của Đài khí tượng thủy văn ở phần sau.

### 3.2. Bùn cát lơ lửng trên hệ thống sông Cửu Long

Như đã đề cập ở trên, khảo sát bùn cát phù sa giai đoạn trước 2008, chỉ đo trong mùa lũ, nên kết quả nghiên cứu đoạn đầu tháng 9 đến cuối tháng 10 hàng năm. Từ tài liệu đo đạc chất lượng lơ lửng trong giai đoạn 1997–2016. Tổng lượng CLL trung bình chảy vào ĐBSCL trong tháng 9 và 10 là 24,3 triệu tấn; trong đó, qua Tân Châu là 21,7 triệu tấn (89%) và qua Châu Đốc là 2,66 triệu tấn (11%).



**Hình 4.** Sự triết giảm phù sa bùn cát tại trạm Tân Châu và Châu Đốc giai đoạn 1997–2016 trong mùa lũ.

Nếu so sánh với phía thượng nguồn khu vực Phnom Pênh như nghiên cứu [7] cho thấy, tổng lượng bùn cát lơ lửng về đồng bằng sông Cửu Long theo số liệu của Đài KTTV như sau: 2008: 30,6 triệu tấn; 2009: 24,8 triệu tấn, và 2010 là 19,4 triệu tấn. [7] nghiên cứu rất kỹ cho năm 2008–2010, cho thấy nếu trong tháng 9 và tháng 10, lượng bùn cát trước khi vào Tonle Sap và chia rẽ nhánh sông Hậu và sông Tiền tương ứng là 2008: 33,56 triệu tấn; 2009: 29,17 triệu tấn; 2010: 30,76 triệu tấn. Cho thấy, không những không tăng phù sa về đồng bằng mà đã bị triết giảm khá nhiều cho đoạn sông từ Phom Pênh về Tân Châu.

Ở giai đoạn 2008–2016, phù sa bùn cát được đo đạc với độ tin cậy cao hơn và có đo đạc cả năm, diễn biến và xu thế thay đổi của tổng lượng bùn cát lơ lửng hàng năm cùng với mực nước đỉnh lũ hàng năm trong giai đoạn 2008–2016 tại Tân Châu và Châu Đốc được thể hiện ở hình trên. Theo đó, tương tự như xu thế về hàm lượng bùn cát lơ lửng, tổng lượng bùn cát lơ lửng tại 2 trạm cũng có xu thế giảm tương ứng với giảm mực nước đỉnh lũ tại trạm. Trong đó giảm mỗi năm là 2,96 triệu tấn (tương đương giảm 5,6%/năm) tại Tân Châu và giảm 0,21 triệu tấn (tương đương giảm 3,2%/năm) tại Châu Đốc.

**Bảng 1.** Tổng lượng bùn cát lơ lửng cả năm tại Tân Châu, Châu Đốc.

Năm	Tân Châu		Châu Đốc		Tổng
	MN (cm)	SSC (triệu tấn)	MN (cm)	SSC (triệu tấn)	SSC (triệu tấn)
2008	377	62,5	320	6,7	69,2
2009	412	49,1	352	6,1	55,2
2010	320	29,9	282	4,3	34,2
2011	486	47,9	427	8,3	56,2
2012	325	31,1	290	5,0	36,1
2013	435	41,3	383	6,4	47,7
2014	395	34,8	320	5,3	40,1
2015	255	24,8	235	3,8	28,6
2016	307	30	284	4,8	34,8
TB		39,0		5,6	44,7

Kết quả đo đạc nêu trên cũng cho thấy khá trùng khớp với các nghiên cứu của phía thượng nguồn. Điều đặc biệt là sau khi lượng bùn cát sụt giảm tại Phnom Pênh, lượng bùn cát lơ lửng về Tân Châu và Châu Đốc cũng không thay đổi nhiều.

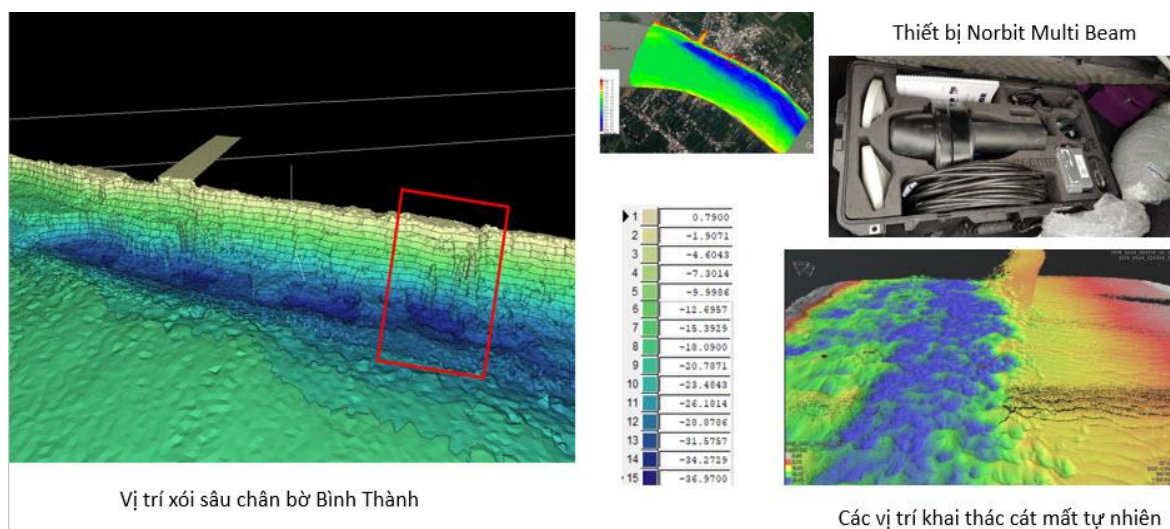
### 3.3. Bùn cát đáy ở một số đoạn sông ở Mê Công

Hầu hết nghiên cứu bùn cát đáy sông ở vùng châu thổ sông Mê Công rất thiếu, do đó việc tài liệu bùn cát đáy và thành phần hạt cấu tạo của đáy sông đang rất hiếm. Đầu tiên phải kể đến công nghệ đo đạc bùn cát đáy bằng thiết bị sóng âm đa tần (Multi beam) được USGS đo đạc khảo sát ở đoạn sông Phnom Pênh năm 2012 và sau đó là nhóm Đại học Southampton đo đạc đoạn sông Phnom Pênh đến Kratie trong hai mùa lũ 2013 và 2014, và tính đến nay đã có 3 nhóm sử dụng công nghệ này để đo đạc trên dòng sông chính của sông Mê Công. Điều này rất quan trọng vì bùn cát vận chuyển ở tầng đáy mới quyết định đến hình thái sông, phần bùn cát lơ lửng chỉ tham gia khi có sự bồi lắng nơi có sự bồi lắng mạnh và dòng nước gần như ở bãi ngập hoặc vùng ven biển có xâm nhập mặn hạt phù sa kết bông để lắng xuống.

[8] đã tiến hành đo đạc chi tiết đáy sông, chụp ảnh với độ phân giải cao bằng thiết bị hiện đại như thể hiện ở hình trên với nhiều thời đoạn khác nhau, thông qua việc khảo sát với độ phân giải cao và hiện đại, nhóm nghiên cứu đã định lượng được tổng lượng vận chuyển bùn cát đáy ở đoạn Phom Pênh chỉ khoảng 1% trên tổng lượng bùn cát vận chuyển qua đoạn sông nghiên cứu ( $0.18 \text{ Mt yr}^{-1} \pm 0.07 \text{ Mt yr}^{-1}$ ), nếu xét đến cả lượng cát di đáy pha trộn trong nước, tổng lượng cát ở tại khu vực Phnom Pênh khoảng  $6,18 \text{ Mt yr}^{-1} \pm 2.01 \text{ Mt}$ . Như

vậy, nếu so sánh với tổng lượng độ đục hàm lượng bùn cát đáy chỉ chiếm từ 11÷13% SSC tại khu vực Phnom Pênh.

Nghiên cứu của nhóm CHLB Đức, khảo sát đoạn sông dài 20 km từ Sa Đéc đến Mỹ Thuận, sử dụng công nghệ siêu âm đa tầng, có xem xét đến cả các tác động của khai thác cát, vận chuyển bùn cát đáy trong mùa khô và mùa mưa năm 2018 [9]. Kết quả cho thấy, lưu lượng bùn cát đáy vận chuyển trong mùa khô tại mặt cắt hạ du cầu Mỹ Thuận là  $Q_s = 0,42$  kg/s vào ngày 18/03/2018 và đầu nhánh sông Cỏ Chiên  $Q_s = 2,81$  kg/s vào 02/10/2018, thời điểm ngắn do tác động của khai thác cát đo được  $Q_s = 9,61$  kg/s. Đây là hai giá trị quan trọng để xem xét diễn biến bùn cát đáy trong khu vực này. Như vậy, giả sử nếu hai giá trị đo đặc hiếm hoi này là hai giá trị trung bình đại diện cho mùa khô và mùa mưa cho năm lũ tương đối lớn (2018). Thì tổng lượng cát đáy qua khu vực Sa Đéc hàng năm khoảng 0,05 triệu tấn/năm, kể cả trường hợp do tác động của bùn cát đáy, lưu lượng  $Q_s = 9,61$  kg/s thì tổng lượng bùn cát đáy cả năm cho vùng Sa Đéc Mỹ Thuận chỉ khoảng 0,16 triệu tấn/năm và con số này sẽ nhỏ hơn rất nhiều khi ra đến cửa biển. Trong nghiên cứu của đề tài, chúng tôi may mắn được sử dụng đo cho khu vực Thanh Bình, nơi có kè Bình Thành, thời gian đo và số liệu khá tương đồng với nhóm nghiên cứu của Đức, với kết quả như sau.



**Hình 5.** Multi Beam cho việc xem xét diễn biến khu vực Bình Thành, Đồng Tháp.

Kết quả sử dụng đo đạc địa hình đáy đa tần để xác định diễn biến của hố xói khu vực kè Bình Thành được nhóm đề tài thực hiện trong tháng 5 năm 2019. Kết quả lần đầu sử dụng và phân tích độc lập địa hình đáy đối với nhóm nghiên cứu của Việt Nam trên sông Tiền cho thấy, địa hình đáy được tạo ra bởi các sóng cát với chiều dài từ 2÷10 m, chiều cao của sóng cát khoảng 3m, tuy nhiên đây là khu vực hố xói nên chế độ thủy động lực rất phức tạp, tỉ lệ sóng cát diễn biến trong giai đoạn đo đạc khoảng 3,2 kg/s.

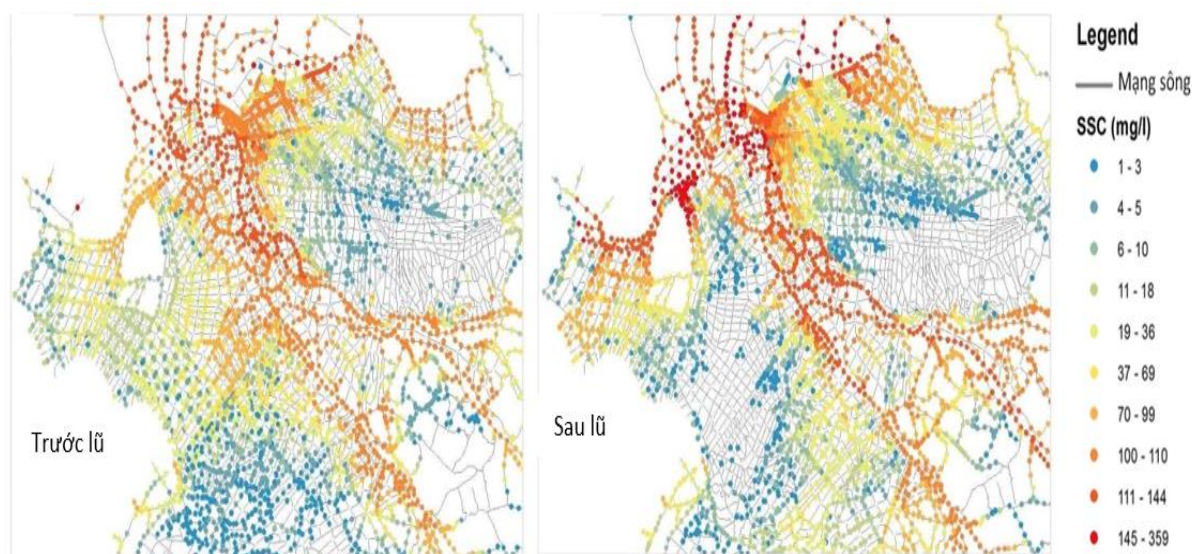
Nhóm nghiên cứu Mỹ, nghiên cứu chi tiết bùn cát đáy và hình thái đáy sông đoạn từ Cần Thơ đến Cù Lao Dung, công bố trong tuyển tập đặc biệt về Mê Công. Trong đó phải kể đến 2 nghiên cứu quan trọng về hình thái đáy sông và vận chuyển bùn cát đáy [10–11]. Trong đó, [10] phát hiện thấy rằng, hầu hết đáy sông khu vực sông Hậu ở phía bề mặt (khoảng 80%) được cấu tạo từ vật liệu có tuổi chỉ khoảng 3,5 ngàn năm, nghĩa là lượng cát này được xói bồi từ bờ sông dọc châu thổ đoạn từ hạ du cù lao Long Khánh, hoặc Tân Lộc trở xuống [16]. Trong đó, [10] cũng phân tích từ 17 mặt cắt cho thấy các sóng bùn cát ở dưới đáy sông có chiều dài khoảng 2–15 m và chiều cao nhỏ hơn 2m, trong 17 mặt cắt nhóm có sử dụng mẫu đáy cho thấy hầu hết có khoảng 5% hàm lượng cát và có 6 mẫu chiếm hàm lượng cát hơn 50%, phần còn lại chủ yếu là sét và bùn. [11] nghiên cứu định lượng về trao đổi cát ở vùng cửa sông Hậu, nhóm nghiên cứu cho rằng, trong mùa lũ 2014 và mùa khô 2015, tổng lượng cát trao đổi giữa các cửa sông ra biển khoảng  $6.5 \pm 1.6$  Mt yr<sup>-1</sup>, trong đó chi tiết cho các cửa

như sau: Sông Hậu khoảng 2,8 triệu tấn; Sông Tiền 3,8 triệu tấn; Ba Lai 0; Cung Hầu 0,2 triệu tấn, Hàm Luông 0,7 triệu tấn, Cổ Chiên 0,7 triệu tấn, Trần Đề 0,6 triệu tấn, Định An 2,1 triệu tấn. Vận chuyển bùn cát đáy chiếm khoảng 13% tổng số bùn cát di chuyển trên mặt cắt ngang, tại Cần Thơ, lượng cát di chuyển khá tương đồng với Mỹ Thuận, khoảng  $Q_s = 2,3$  kg/s và tại đầu cù lao Dung  $Q_s = 2,8$  kg/s.

Như vậy, tiếp cận từ các tài liệu thực đo cho thấy hàm lượng bùn cát đáy chiếm phần rất nhỏ so với tổng lượng bùn cát, vì vậy, việc nghiên cứu bùn cát ở ĐBSCL cần tiếp cận theo phương án mô hình toán AD mô phỏng vận chuyển phù sa không tính đến bùn cát đáy mà chủ yếu dựa trên các tham số đo đạc để tính ước lượng bùn cát đáy là hợp lý. Thành phần bùn cát đáy chỉ chiếm từ 10÷18% tổng lượng bùn cát trên sông Mê Công. Chúng tôi sử dụng tỷ lệ này để tính toán ra bùn cát đáy cho trên các nhánh sông, cụ thể: tại khu vực thượng châu thổ trên sông Tiền, tỷ lệ bùn cát đáy chiếm 15÷18% trên tổng bùn cát lơ lửng, và khu vực giữa là 13÷15%, và khu vực cửa sông 10÷13%.

### 3.4. Tính toán lượng bùn cát đáy trên hệ thống sông Cửu Long

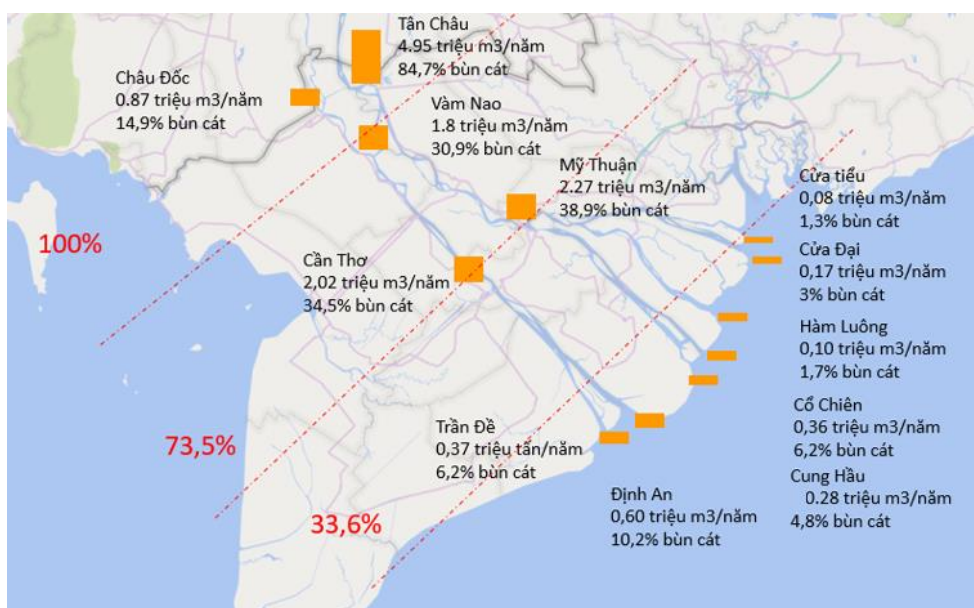
Bùn cát đáy được tính toán từ kết quả mô hình từ bùn cát lơ lửng đã được thực hiện trước đây, dựa trên cơ sở tỷ lệ thành phần bùn cát đáy và bùn cát lơ lửng thực đo. Mục đích là để có được tỷ lệ sự biến đổi lượng bùn cát đáy bồi đắp ra biển và kiểm soát lượng cát đáy được khai thác, nhằm đảm bảo ổn định thế sông. Trên hệ thống sông Cửu Long, bùn cát lơ lửng được tính toán và mô phỏng và sử dụng khá tốt, tuy nhiên bùn cát đáy do thiếu sự đo đạc kiểm định về thành phần ở nhiều đoạn nên đã chưa được quan tâm. Trên cơ sở sử dụng 3 loại tỷ lệ thành phần đã nêu trên, kết quả tính dự báo bùn cát ở trên hệ thống sông Cửu Long năm lũ lớn (2011), bùn cát được nhóm tác giả thể hiện tổng hợp ở hình 6.



**Hình 6.** Hàm lượng bùn cát trong năm lũ lớn (2011) trên hệ thống sông Cửu Long.

Chuỗi số liệu tính toán về bùn cát lơ lửng mùa lũ 2011, nghiên cứu đã tính toán bùn cát đáy dựa trên cơ sở đo đạc và khuyến nghị về tỷ lệ thành phần bùn cát đáy (Hình 7). Như vậy, nếu xét tổng lượng bùn cát đáy năm 2011 về hệ thống sông Cửu Long khoảng 5,84 tr.m<sup>3</sup>/năm điều này cũng phù hợp với nghiên cứu đo đạc trước của [8], đồng thời lượng bùn cát chiếm phần lớn ở nhánh sông Tiền đoạn qua Tân Châu (85%), và đoạn qua Châu Đốc chỉ chiếm 15%, sau khi phân bố trên sông Vàm Nao, tỷ lệ bùn cát đáy ở tại Cần Thơ (35%) và Mỹ Thuận (39%) tương đối bằng nhau. Lượng bùn cát đáy di chuyển ra cửa biển lớn nhất tại cửa Định An chiếm 10%, các cửa còn lại từ 3÷6%.





Hình 7. Hàm lượng bùn cát đáy trong năm lũ lớn (2011) trên hệ thống sông Cửu Long.

#### 4. Kết luận

+ Nghiên cứu cho thấy sự hợp lý trong việc sử dụng tỷ lệ thành phần bùn cát đáy trong khảo sát đã công bố để tính toán trên cơ sở mô phỏng tính toán bùn cát lơ lửng, qua đó giải quyết được phần nào thắc mắc lượng bùn cát đáy về đồng bằng sông Cửu Long và chúng được phân bố thế nào trên hệ thống sông. Tuy nhiên đây cũng là điểm hạn chế về độ chính xác của việc tính toán bùn cát đáy dựa trên bùn cát lơ lửng. Phương pháp này chỉ ứng dụng khi chưa có điều kiện đo đạc bùn cát đáy bằng các phương pháp đo đạc hiện đại như đã nêu. Trong tương lai, khi có nhiều số liệu bùn cát đáy hơn, cần tiếp tục kiểm định so sánh giữa tài liệu đo và tính toán để hoàn thiện hơn.

- Dựa trên kết quả tính toán năm 2011, bùn cát đáy tạo nên thế sông hiện nay phụ thuộc rất lớn vào bùn cát trên nhánh sông Tiền, đoạn qua Tân Châu chiếm khoảng 85%, và sau khi phân bố qua Vàm Nao, lượng bùn cát đáy sông Hậu ít hơn (31% tại Cần Thơ) sông Tiền (39% tại Mỹ Thuận).

- Lượng bùn cát trao đổi ra cửa biển chiếm khoảng 22%, trong đó cửa Định An chiếm tổng lượng bùn cát đáy nhiều nhất 10%, các cửa còn lại trung bình từ 3-6% tổng lượng bùn cát đáy.

**Đóng góp của tác giả:** Xây dựng ý tưởng nghiên cứu: N.N.H., L.M.H.; Lựa chọn phương pháp nghiên cứu: N.N.H., L.M.H.; Xử lý số liệu: L.Q.Q.; Viết bản thảo và chịu trách nhiệm nội dung bài báo: N.N.H.; Chỉnh sửa bài báo: L.Q.Q., L.M.H.

**Lời cảm ơn:** Nghiên cứu này được thực hiện dưới sự tài trợ của đề tài nghiên cứu khoa học cấp nhà nước độc lập mã số ĐT.ĐL.CN-48/18 “Nghiên cứu đề xuất giải pháp chính trị hệ thống sông Tiền, sông Hậu phục vụ phát triển kinh tế xã hội bền vững vùng ĐBSCL”.

**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. Singh, V.P. On the theories of hydraulic geometry. *Int. J. Sediment Res.* **2003**, 18(3), 196-218.
2. Kondolf, G.M.; Rubin, Z.K.; Minear, J.T. Dams on the Mekong: Cumulative sediment starvation. *Water Resour. Res.* **2014**, 50, 5158-5169.

3. Walling, D.E. The changing sediment load of the Mekong River. *Ambio* **2008**, 37(3), 150–157.
4. Wang, J.J.; Lu, X.X.; Kumm, M. Sediment load estimates and variations in the Lower Mekong River. *River Res. Appl.* **2011**, 27, 33–46.
5. Xue, Z.; Liu, J.P.; Ge, Q. Changes in hydrology and sediment delivery of the Mekong River in the last 50 years: connection to damming, monsoon, and ENSO. *Earth Surf. Proc. Land.* **2011**, 36, 296–308.
6. Kumm, M.; Penny, D.; Sarkkula, J.; Koponen, J. Sediment: Curse or Blessing for Tonle Sap Lake? *Ambio* **2008**, 37(3), 158–163.
7. Lu, X.X.; Siew, R.Y. Water discharge and sediment flux changes over the past decades in the Lower Mekong River: possible impacts of the Chinese dams. *Hydrol. Earth Syst. Sci.* **2006**, 10, 181–195.
8. Hackey, C.; Darby, S.E.; Parsons, D.R.; Layland, J. River bank instability from unsustainable sand mining in the lower Mekong. *Nat. Sustainability* **2019**, 3, 217–225. <https://doi.org/10.1038/s41893-019-0455-3>.
9. Jordan, C.; Tiede, J.; Lojek, O.; Visscher, J.; Apel, H.; Quan, N.H.; Quang, C.N.X.; Schlurmann, T. Sand mining in the Mekong Delta revisited – current scales of local sediment deficits. *Sci. Rep.* **2019**, 17823. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-53804-z>.
10. Allison, M.A.; Weathers, H.D.; Meselhe, E.A. Bottom morphology in the Song Hau distributary channel, Mekong River Delta, Vietnam. *Cont. Shelf Res.* **2017**, 147, 51–61.
11. Stephens, J.D.; Allison, M.A.; Di Leonardo, D.R.; Weathers, H.D.; Ogston, A.S.; McLachlan, R.L.; Xing, F.; Meselhe, E.A. Sand dynamics in the Mekong River channel and export to the coastal ocean. *Cont. Shelf Res.* **2017**, 147, 38–50.
12. Hùng, N.N. và cs. Ứng dụng phương pháp hiệu chỉnh tự động đa mục tiêu trong xây dựng mô hình dòng chảy 1D ở đồng bằng sông Cửu Long. Tuyển tập Hội nghị thường niên năm 2015 – Trường Đại học Thủy Lợi, 2015.
13. Hùng, N.N.; Quân, L.Q. Sự thay đổi dòng chảy trên các nhánh: Tonle Sap, Bassac và Mê Công, do hạ thấp đáy sông Cửu Long. *Tap Chí khí tượng thủy văn* **2020**, 716, 40–50.
14. Manh, N.V.; Dung, N.V.; Hung, N.N.; Bruno, M.; Heiko, A. 2014. Large-scale suspended sediment transport and sediment deposition in the Mekong Delta. *Hydrol. Earth Syst. Sci.* **2014**, 18, 3033–2014.
15. Fu, K.D.; He, D.M.; Lu, X.X. Sedimentation in the Manwan reservoir in the Upper Mekong and its downstream impacts. *Quat. Int.* **2008**, 186, 91–99.
16. Hùng, N.N. và cs. Nghiên cứu các giải pháp khoa học – công nghệ để điều chỉnh và ổn định các đoạn sông có cù lao đang diễn ra biến động lớn về hình thái trên sông Tiền, sông Hậu. Bộ Khoa học Công Nghệ, KC08.21/11–15, 2013.

## **Assesment of sediment transport in the Mekong River and quantification of sediment transport in 2011 in the Mekong River system**

**Nguyen Nghia Hung<sup>1\*</sup>, Le Quan Quan<sup>1</sup>, Le Manh Hung<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Southern Institute of Water Resources Research, Vietnam; hungsiwrr@gmail.com; lequan2005@gmail.com

**Abstract:** The content of the article assesses the situation of sediment transport in general and bed load sediment in particular in recent years in the Mekong river system. Based on published measured data and calculations from the MIKE11AD mathematical model of the

river and canal system in the Mekong Delta, we estimate the amount of bed load sediment and its distribution in representing the large flood year (2011) on Mekong river system. This is the result of a new estimation of the amount of sediment on the river bedload of the Mekong River system and how they are distributed across the river sections. Specifically, the amount of bedload sediment through the VN–CPC border is only 5.84 mcm, of which, about 85% through Tan Chau and only about 15% through Chau Doc, after redistributing the flow at Vam Nao, the mud will Bottom sand on Tien river accounts for 39% (2.27 mcm), Can Tho section is about 35% (2.01 mcm), the total amount of sediment and sand discharged into the sea is about 1.54 mcm. This is the first result that is calculated and distributed to the entire tributary of the Mekong river system, as a basis for calculating, contributions to studying the stability of the Mekong river system for social–economic development.

**Keywords:** Sediment transport; Bed load sediment; Mekong River; Mekong Delta.

Bài báo khoa học

## Nghiên cứu mô hình phát triển kinh tế hộ gia đình thích ứng với hạn hán trong bối cảnh biến đổi khí hậu ở tỉnh Ninh Thuận

Đặng Quốc Khánh<sup>1\*</sup>, Dương Văn Khảm<sup>2</sup>, Ngô Tiền Giang<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Tạp chí Khí tượng Thủy văn, Tổng cục Khí tượng Thủy văn;  
khanhdangkhtc@gmail.com;

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

<sup>3</sup> Trung tâm Ứng dụng công nghệ Khí tượng Thủy văn; Tổng cục Khí tượng Thủy văn;  
ntgiang1975@gmail.com

\*Tác giả liên hệ: khanhdangkhtc@gmail.com; Tel.: +84-974291988

Ban Biên tập nhận bài: 5/5/2022; Ngày phản biện xong: 21/6/2022; Ngày đăng bài: 25/6/2022

**Tóm tắt:** Ninh Thuận là một tỉnh khô hạn bậc nhất cả nước về khô hạn, trong đó hạn hán là thiên tai hàng đầu. Đây chính là bất lợi lớn nhất của thiên nhiên đối với phát triển nông nghiệp nói riêng và phát triển kinh tế hộ gia đình nói chung của tỉnh. Trên cơ sở các kịch bản biến đổi khí hậu, các số liệu điều tra khảo sát, nghiên cứu đã xác lập mô hình phân tích, tính toán, đánh giá mối tương quan giữa các hành vi thích ứng BĐKH hạn hán theo mùa của các hộ nông dân khu vực tỉnh Ninh Thuận. Kết quả nghiên cứu cho thấy, đứng trước tác động của diễn biến BĐKH theo hướng hạn hán ngày một gia tăng tại tỉnh Ninh Thuận thời gian gần đây, đa phần (68,6%) các hộ nông dân đã lựa chọn áp dụng các biện pháp thích ứng. Các biện pháp thích ứng cụ thể được ưu tiên sử dụng là: thay thế các loại cây trồng (con giống), chuyển hẳn sang trồng các loại cây khác, điều chỉnh ngày gieo và thu hoạch. Đáng chú ý, tiền vốn và nhân lực lao động là những yếu tố hạn chế chủ yếu, ảnh hưởng tới lựa chọn, áp dụng các biện pháp thích nghi BĐKH của hộ nông dân.

**Từ khóa:** Ninh Thuận; Hạn hán; Kinh tế hộ gia đình.

### 1. Mở đầu

Trong tình hình biến đổi khí hậu (BĐKH) đã và đang diễn biến ngày càng phức tạp hiện nay, nhận thức chung của toàn nhân loại về BĐKH cũng trở nên ngày càng sâu sắc hơn, các hành động ứng phó, thích ứng mang tính toàn cầu cũng đã được triển khai mạnh mẽ. Thích ứng với BĐKH cũng là yêu cầu mang tính sống còn đối với hoạt động sản xuất nông nghiệp. Tại Việt Nam, theo Kịch bản biến đổi khí hậu cập nhật năm 2020 (kịch bản RCP4.5), BĐKH tiếp tục diễn ra nghiêm trọng, hiện tượng hạn hán tại các tỉnh Nam Trung Bộ, đặc biệt là tại tỉnh Ninh Thuận có xu hướng tiếp tục trở nên khốc liệt hơn, số tháng hạn trong mùa khô có xu thế tăng lên [1-5], chuyển đổi sản xuất theo hướng thích ứng với BĐKH là lựa chọn chung của các hộ nông dân tại địa phương [6]. Một số mô hình gần đây được triển khai tại tỉnh Ninh Thuận như trồng nho Ba Mọi, trồng rừng Neem giữ nước, chống sa mạc hóa hay sản xuất chuyên canh cây Táo, hành tím, măng tây... đã bước đầu thu được hiệu quả nhất định [1].

Nhìn từ góc độ nghiên cứu khoa học, khảo sát đánh giá, xác định mô hình phát triển kinh tế hộ gia đình thích ứng với BĐKH, thông qua bộ tiêu chí lượng hóa cụ thể, sử dụng mô hình nghiên cứu thực chứng là yêu cầu hoàn toàn cấp thiết. Mô hình phân tích Logictic, phân tích hồi quy Poisson và Tobit là các công cụ, phương pháp nghiên cứu định lượng được sử dụng



Ninh Thuận có lượng mưa trung bình năm khoảng 1.000mm, song phân bố không đều. Lượng mưa trong năm tập trung vào 4 tháng, từ tháng 9–12. Hạ lưu vực sông Cái được xem là vùng khô hạn nhất cả nước. Cộng thêm vào đó, biến động mưa năm lại rất lớn. Những năm khô hạn, lượng mưa chỉ bằng 60–70% trung bình. Mưa ít lại chỉ xảy ra trong 3–4 tháng, còn lại là mùa khô kéo dài 8–9 tháng, nên hạn hán đã nghiêm trọng càng nghiêm trọng hơn. Đặc biệt nhiều năm từ tháng 1 đến tháng 6 không có một giọt mưa, nên hầu như năm nào đây cũng là thời gian hạn, tuy với các mức độ khác nhau. Năm hạn bình thường, diện tích lúa thiếu nước khoảng 200–300 ha và diện tích rau màu bị hạn 2.000–3.000 ha, gia súc thiếu nước 40.000–50.000 con... Những năm hạn nặng, con số thiệt hại trên cao hơn 2–3 lần, như năm 2004, diện tích lúa bị khô hạn và thiếu nước là 1.250 ha, diện tích rau màu bị hạn là gần 4.000 ha, số dân bị thiếu nước lên đến 150.000 người, gây thiệt hại hàng trăm tỷ đồng... Liên tiếp 2 năm 2015–2016, Ninh Thuận lại gặp hạn hán nặng nề. Đến nay, tổng diện tích đất nông nghiệp được tưới của tỉnh cũng mới chỉ đạt 18.000 ha (khoảng 35%). Vì thế, hàng năm vẫn xảy ra tình trạng thiếu nước và nếu gặp năm hạn nặng thì càng nghiêm trọng. Do thiếu nước tưới nên diện tích phải dừng sản xuất vụ đông xuân 2019–2020 là hơn 7.800 ha đất lúa, hoa màu. Bên cạnh đó, các loại cây trồng lâu năm có nguy cơ chết hoặc giảm năng suất, sản lượng do thiếu nước tưới [1,6]. Đáng lưu ý, theo kịch bản BĐKH RCP4.5 mới được cập nhật năm 2020 [3], tình trạng hạn hán mùa khô tại Nam Trung Bộ nói riêng và Ninh Thuận nói riêng sẽ tiếp tục kéo dài và tăng về mức độ, gây thách thức nghiêm trọng tới sản xuất nông nghiệp cũng như đời sống người dân trong tỉnh, yêu cầu phải tích cực áp dụng các biện pháp thích ứng với BĐKH.

## 2.2. Số liệu nghiên cứu

Các số liệu sử dụng trong nghiên cứu này lấy từ điều tra thực nghiệm về tình hình sản xuất nông nghiệp tại tỉnh Ninh Thuận trong thời gian từ tháng 01 năm 2020 đến tháng 12 năm 2021. Theo đó, trước tiên xác định phạm vi điều tra là các huyện chịu tác động rõ rệt từ BĐKH hạn hán theo mùa của tỉnh Ninh Thuận (huyện Ninh Sơn, Thuận Bắc, Ninh Phước, Bác Ái), lấy 400 hộ nông dân tại các xã thuộc khu vực nói trên, chiếm 0,0041% trong tổng số 97.198 hộ nông dân tại khu vực nông thôn của tỉnh. Các hộ tham gia điều tra phân bố tại 30 xã, gồm huyện Ninh Sơn 7 xã, Thuận Bắc 6 xã, Ninh Phước 8 xã và Bác Ái 9 xã, không điều tra đối với các thị trấn. Số hộ tham gia điều tra được chia đều trên 4 huyện nói trên (100hộ/huyện). Để đảm bảo tính khách quan, chính xác của nghiên cứu, các hộ nông dân này được lựa chọn ngẫu nhiên. Tổng cộng nghiên cứu này đã phát 400 phiếu điều tra cho 400 hộ nông dân trên địa bàn của tỉnh Ninh Thuận. Kết quả thu về được 375 mẫu, tỉ lệ mẫu điều tra hợp lệ là 93,75%. Kết quả liên quan thu được trình bày trong Bảng 1.

**Bảng 1.** Các đặc trưng cơ bản liên quan đối tượng điều tra.

Biến số	Miêu tả	Số lượng	Tỉ lệ (%)
Độ tuổi	≤30 tuổi	45	12
	31~45 tuổi	160	42,66
	46~60 tuổi	138	36,8
	>61 tuổi	32	8,54
Giới tính	Nam	270	72
	Nữ	105	28
Tình trạng hôn nhân	Đã kết hôn	347	92,53
	Chưa kết hôn	28	7,47
	Mù chữ	65	17,33
Học vấn	Tốt nghiệp tiểu học	147	39,2
	Tốt nghiệp trung học cơ sở	104	27,73
	Tốt nghiệp phổ thông trung học	47	12,54
	Tốt nghiệp đại học, cao đẳng trở lên	12	3,2

### 2.3. Phương pháp nghiên cứu

Xác lập công thức phân tích hành vi thích ứng với hạn hán theo mùa của hộ nông dân Công thức tính trong nghiên cứu này tham khảo một số ý tưởng nghiên cứu về xây dựng một mô hình lý thuyết liên quan hành vi thích ứng với hạn hán theo mùa của hộ nông dân [14–17]. Thuật toán được xác định như sau:

$$\max H = E [U (\tilde{W})] = E \{ [U [p(f(m) + g(z)\tilde{\epsilon}) - w(m + z) - rz]] \} \quad (1)$$

với:  $m + z = x$ ,  $\tilde{Q} \equiv f(m) + g(z)\tilde{\epsilon}$

Trong biểu thức trên: E biểu thị kì vọng thu lợi của người nông dân khi có lượng thông tin là  $i^*$ ,  $\tilde{Q}$  chỉ tổng số nông sản mà hộ nông dân thu được trên diện tích canh tác m trong điều kiện không áp dụng biện pháp thích ứng với BĐKH hạn hán và diện tích canh tác z trong điều kiện áp dụng biện pháp thích ứng hạn hán (tổng diện tích đất canh tác của nông dân là x,  $x = m+z$ ). Giả định khi không thực hiện những biện pháp thích nghi với hạn hán thì hàm số tương ứng sản xuất trong điều kiện này là hàm số bất định  $f(\cdot)$ , khi thực hiện những biện pháp thích nghi BĐKH hạn hán, người nông dân sẽ phải gánh chịu một số rủi ro nhất định, vậy nên có thể định nghĩa hàm số sản xuất trong trường hợp này là hàm số tùy biến  $g(z)\tilde{\epsilon}$ , trong đó  $\tilde{\epsilon}$  là biến ngẫu nhiên; w đại diện cho chi phí thông thường của hộ nông dân khi họ không dùng biện pháp thích nghi hạn hán; r đại diện cho chi phí bổ sung tăng lên của các hộ nông dân sau khi áp dụng các biện pháp thích nghi BĐKH hạn hán; p đại diện cho giá nông sản tương ứng.

Giả sử các hộ nông dân theo đuổi thu nhập tối đa, trong trường hợp giả định các điều kiện khác không thay đổi, việc các hộ nông dân đưa ra quyết định có lựa chọn các biện pháp thích ứng BĐKH hạn hán hay không dựa trên so sánh lợi nhuận thu được trước và sau khi áp dụng các biện pháp thích ứng. Giả sử chi phí tăng thêm khi sử dụng các biện pháp thích nghi BĐKH hạn hán là r, chi phí khi không áp dụng biện pháp thích nghi là w, vậy thì hàm số mô tả quyết sách lựa chọn biện pháp thích nghi của hộ nông dân là:

$$p_1 g(m)\tilde{\epsilon} (Z) - (w + r)m \geq p_0 f(m) - wm \quad (2)$$

Trong đó  $g(\cdot)$  biểu thị hàm số sản xuất có được sau khi áp dụng các biện pháp thích ứng BĐKH hạn hán,  $p_1$  chỉ giá nông sản sau khi áp dụng các biện pháp thích ứng;  $p_0$  chỉ giá nông sản trong trường hợp không áp dụng các biện pháp thích nghi BĐKH; m chỉ quy mô quyết sách;  $f(\cdot)$  chỉ hàm số sản xuất trong trường hợp không áp dụng biện pháp thích ứng BĐKH;  $\tilde{\epsilon} (Z)$  chỉ hàm số rủi ro chủ quan quyết định bởi nhân tố Z—nhân tố chỉ các tác động tới lựa chọn quyết sách của người nông dân như tài nguyên sản xuất nông nghiệp và các nhân tố bên ngoài khác. Ở đây,  $\tilde{\epsilon} (Z) \in [0, 1]$ . Do thay đổi giá nông sản trước và sau khi áp dụng các biện pháp thích ứng BĐKH hạn hán là tương đối nhỏ nên có thể giả định  $p_1 = p_0$ , công thức (2) có thể được giản hóa thành:

$$\tilde{\epsilon} (z) \geq \frac{p_0 f(m) + rm}{p_0 g(m)} \quad (3)$$

Do các nhân tố như giá, hệ số sản xuất, chi phí sản xuất trong biểu thức bên phải bất đẳng thức (3) đều là các biến số tương đối dễ xác định, còn hàm số rủi ro chủ quan của người nông dân  $\tilde{\epsilon} (Z)$  lại tương đối khó xác định, bởi nó bị chi phối bởi các yếu tố như tài nguyên sẵn có cũng như điều kiện môi trường, nên có thể diễn đạt điều này bằng công thức toán học sau:

$$\tilde{\epsilon} (Z) = F\{G(I), H(O)\} \quad (4)$$

Trong đó G(I) chỉ nhân tố tài nguyên sẵn có ảnh hưởng tới quyết sách lựa chọn hành vi thích ứng hạn hán của người nông dân, chủ yếu bao gồm độ tuổi, giới tính, trình độ văn hóa, diện tích canh tác, nguồn vốn có được từ cộng đồng. H(O) là biến số chỉ các yếu tố môi trường bên ngoài ảnh hưởng tới quyết sách lựa chọn các biện pháp thích ứng của hộ nông dân, bao gồm các đặc điểm địa hình, khoảng cách đến đường giao thông, đặc điểm hạn hán theo mùa, khả năng tiếp cận thông tin liên quan thảm họa. Vì vậy, quyết sách lựa chọn hành vi để thích ứng hạn hán theo mùa của hộ nông dân bị ảnh hưởng bởi tài nguyên của hộ nông dân và các yếu tố môi trường bên ngoài.

### 3. Kết quả và thảo luận

#### 3.1. Phân tích từ góc độ quyết sách áp dụng hành động thích ứng BĐKH của hộ nông dân

Xét từ góc độ lựa chọn hành vi thích ứng với BĐKH của hộ nông dân, trong số 375 phiếu điều tra hợp lệ thu được, có 259 hộ áp dụng hành động nhằm thích ứng với BĐKH, chiếm 69,06%. Tình hình cụ thể thể hiện trong bảng 2.

**Bảng 2.** Phân bố danh mục các hành động thích ứng BĐKH hạn hán của hộ nông dân.

Hành vi thích ứng BĐKH	Đã lựa chọn		Không lựa chọn	
	Tần suất	Tỉ lệ/%	Tần suất	Tỉ lệ/%
Bổ sung giống vật nuôi, cây trồng	140	37,33	135	36,0
Thay đổi giống vật nuôi, cây trồng	138	36,8	237	63,2
Điều chỉnh thời gian trồng cây, thu hoạch	137	36,54	238	63,46
Điều chỉnh lượng nước, thời gian tưới	122	32,53	253	67,47
Tham gia nhóm thủy lợi, tổ canh tác	98	26,17	277	73,86
Tham gia bảo hiểm nông nghiệp	17	4,5	358	95,5
Luân canh	94	25,07	281	74,93

Trong số các hộ nông dân lựa chọn áp dụng hành động thích ứng với BĐKH, có 140 hộ lựa chọn bổ sung loại con giống, cây trồng nhằm thích ứng BĐKH hạn hán, chiếm tỉ lệ tương đối lớn (37,33%), sau đó là thay đổi giống vật nuôi, cây trồng (138 hộ, chiếm 36,8%) và điều chỉnh thời gian trồng cây, thu hoạch (137 hộ, chiếm 36,54%). Biện pháp thích ứng BĐKH hạn hán xếp vị trí 4,5 lần lượt là điều chỉnh lượng nước và thời gian tưới (122 hộ, chiếm 32,53%) và tham gia nhóm thủy lợi, tổ canh tác (98 hộ, chiếm 26,17%). 02 biện pháp ít được các hộ nông dân lựa chọn nhất lần lượt là luân canh (có 94 hộ lựa chọn, chiếm 25,07%) và tham gia bảo hiểm nông nghiệp (17 hộ tham gia, chiếm 4,5%). Từ đó có thể thấy rằng, biện pháp thích ứng để thích nghi với hạn hán theo mùa được các hộ nông dân sử dụng nhiều là bổ sung các loại cây (con giống), thay đổi các loại cây, con khác và điều chỉnh thời gian ngày canh tác và thu hoạch. Các hộ nông dân lựa chọn các biện pháp này có thể là do tài nguyên lao động trong gia đình tương đối phong phú. Họ có xu hướng sẵn sàng lựa chọn các biện pháp thích ứng sử dụng nhiều lực lượng lao động sẵn có hơn. Để phân tích sâu hơn về xu hướng lựa chọn hành vi thích ứng BĐKH của hộ nông dân, bảng 3 dưới đây chỉ rõ phân bố trình tự ưu tiên trong lựa chọn biện pháp thích ứng của hộ nông dân.

**Bảng 3.** Phân bố trình tự ưu tiên trong lựa chọn hành động thích ứng BĐKH hạn hán của hộ nông dân.

Biện pháp thích ứng	Vị trí số 1	Vị trí số 2	Vị trí số 3
Bổ sung giống vật nuôi, cây trồng	175 (46,66%)	0 (0%)	1 (0,25%)
Thay đổi giống vật nuôi, cây trồng	182 (48,53%)	79 (21,06)	2 (0,5)
Điều chỉnh thời gian trồng cây, thu hoạch	42 (11,2%)	126 (33,6%)	27 (7,2%)
Điều chỉnh lượng nước, thời gian tưới	14 (3,73%)	78 (20,8%)	76 (20,2%)
Tham gia nhóm thủy lợi, tổ canh tác	9 (2,4%)	48 (12,8%)	75 (20%)
Tham gia bảo hiểm nông nghiệp	5 (1,3%)	14 (3,7%)	136 (36,26%)
Luân canh	0 (0%)	2 (0,5%)	110 (29,33%)



Như có thể thấy trong bảng 3, khi đối diện với hạn hán theo mùa, trong số các biện pháp thích ứng mà hộ nông dân lựa chọn, biện pháp được ưu tiên lựa chọn hàng đầu là thay đổi giống vật nuôi, cây trồng (182 hộ lựa chọn, chiếm 48,53%), tiếp đó là bổ sung giống vật nuôi, cây trồng (175 hộ lựa chọn, chiếm 46,66%). Các biện pháp khác có hộ nông dân lựa chọn xếp ở vị trí tiếp theo là điều chỉnh thời gian trồng cây, thu hoạch (42 hộ lựa chọn, chiếm 11,2%) và điều chỉnh lượng nước, thời gian tưới (14 hộ lựa chọn, chiếm 3,73%). 02 biện pháp được xếp ở nhóm ưu tiên thấp nhất (vẫn có hộ lựa chọn) là tham gia nhóm thủy lợi, tổ canh tác (9 hộ lựa chọn, chiếm 2,4%) và tham gia bảo hiểm nông nghiệp (05 hộ lựa chọn, chiếm 1,3%). Kết quả điều tra ngẫu nhiên trên cũng cho thấy, duy chỉ có biện pháp luân canh không được ưu tiên lựa chọn.

Trong nhóm ưu tiên thứ 2, biện pháp điều chỉnh thời gian trồng cây, thu hoạch được ưu tiên lựa chọn nhiều nhất với 126 hộ lựa chọn, chiếm 33,6% số phiếu điều tra hợp lệ thu được. Những số liệu trên cho thấy, thay đổi, bổ sung chủng loại cây trồng, vật nuôi và điều chỉnh thời gian gieo trồng, thu hoạch chính là các biện pháp được hộ nông dân ưu tiên lựa chọn trong thích ứng với BĐKH hạn hán theo mùa.

Xét từ các nhân tố gây ảnh hưởng, hạn chế tới hành vi thích ứng BĐKH hạn hán theo mùa của hộ nông dân (Bảng 4), có thể thấy trong số các nhóm nhân tố ảnh hưởng lớn nhất (mục ưu tiên lựa chọn cao nhất) thì vốn sản xuất được coi là nhân tố chính ảnh hưởng tới lựa chọn, áp dụng hành vi thích ứng BĐKH của hộ nông dân (186 hộ lựa chọn, chiếm 49,6% tổng số phiếu điều tra hợp lệ thu về), tiếp đó là yếu tố sức lao động (57 hộ lựa chọn, chiếm 15,2% tổng số). Nhân tố chính sách có liên quan và tiếp cận thông tin, kỹ thuật chỉ lần lượt chiếm 3,73% và 0,8% trong thống kê này.

Đối với các nhân tố hạn chế lựa chọn hành vi thích ứng BĐKH của hộ nông dân được xếp vào vị trí ưu tiên số 2, 02 nhân tố hàng đầu là sức lao động và thông tin, kỹ thuật (lần lượt chiếm 33,6% và 30,13%). Trong số các nhân tố ảnh hưởng xếp ở vị trí ưu tiên thứ 3, chính sách và yếu tố kỹ thuật, thông tin được coi là hạn chế chủ yếu nhất với số lựa chọn là 36% và 23,73%. Từ các kết quả điều tra nói trên có thể thấy, nguồn vốn, sức lao động và các yếu tố thông tin, kỹ thuật chính là các rào cản lớn nhất ảnh hưởng tới lựa chọn hành vi thích ứng BĐKH hạn hán của hộ nông dân.

**Bảng 4.** Phân bố trình tự ưu tiên các nhân tố gây ảnh hưởng, hạn chế tới hành vi thích ứng BĐKH hạn hán theo mùa của hộ nông dân.

Nhân tố hạn chế	Vị trí số 1	Vị trí số 2	Vị trí số 3
Vốn	186 (49,6%)	7 (1,86%)	27 (7,2%)
Sức lao động	57 (15,2%)	126 (33,6)	5 (0,5)
Thông tin, kỹ thuật	3 (0,8%)	113 (30,13%)	89 (23,73%)
Chính sách	14 (3,73%)	13 (3,46%)	(36%)

### 3.2. Phân tích các nhân tố ảnh hưởng tới lựa chọn hành vi thích ứng BĐKH của hộ nông dân

#### 3.2.1. Xây dựng mô hình phân tích định lượng

Mô hình phân tích định lượng ở đây chủ yếu dùng phân tích các nhân tố ảnh hưởng quá trình lựa chọn quyết sách hành động nhằm thích ứng với hạn hán theo mùa của hộ nông dân. Như đã đề cập ở phía trên, các quyết sách hành động nhằm thích ứng với hạn hán theo mùa của hộ nông dân gồm 7 nhóm chủ yếu sau: Bổ sung giống vật nuôi, cây trồng; Thay đổi giống vật nuôi, cây trồng; Điều chỉnh thời gian trồng cây, thu hoạch; Điều chỉnh lượng nước, thời gian tưới; Tham gia nhóm thủy lợi, tổ canh tác; Tham gia bảo hiểm nông nghiệp; Luân canh. Trong lựa chọn các hành vi thích ứng nêu trên, người nông dân chỉ có thể đưa ra hai lựa chọn là áp dụng và không áp dụng. Do đó, có thể sử dụng mô hình phân tích lựa chọn nhị phân Probit để phân tích các yếu tố ảnh hưởng đến lựa chọn biện pháp thích nghi với hạn hán theo mùa của hộ nông dân. Tư duy cơ bản của mô hình Probit như sau:

$$y^* = \beta_0 + x\beta + e \begin{cases} y = 1, y^* > 0 \\ y = 0, y^* \leq 0 \end{cases} \quad (5)$$

Giả thiết e được phân bố chuẩn phức tung tỉ lệ thuận theo tiêu chí trên, vậy thì với bất kì thực số tùy ý z cũng đều tồn tại biểu thức:  $G(-z) + G(z) = 1$

Từ đó có thể kết luận:

$$P(y = 1 | x) = P(y^* > 0 | x) = P[e > -(\beta_0 + x\beta) | x] = 1 - G[-(\beta_0 + x\beta)] = G(\beta_0 + x\beta) \quad (6)$$

Tức là:

$$P(y = 1 | x) = G(\beta_0 + x\beta) = G(\beta_0 + \beta_1x_1 + \beta_2x_2 + \dots + \beta_kx_k) \quad (7)$$

Trong công thức trên, y đại diện lựa chọn hành vi thích ứng BDKH hạn hán mùa của nông dân, G là hàm số chỉ phạm vi lấy giá trị, nằm giữa từ 0~1, tức là đối với mọi thực số z, đều tồn tại quan hệ  $G(z) \in [0, 1]$ . Áp dụng mô hình Probit thường được sử dụng trong các phân tích thực tế, hình thức phân bố, tích lũy của hàm số G(z) là:

$$G(z) = \Phi(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^z \frac{e^{-x^2}}{2} dz \quad (8)$$

Sau khi xác định được G, thông qua tịnh tiến điều kiện tiên dần tới vô cực trong phương trình trên, sẽ xác định được lượng tính toán trong mô hình tham số.

### 3.2.2. Mô hình phân tích nhân tố ảnh hưởng tới quy mô áp dụng hành vi thích ứng BDKH hạn hán mùa của hộ nông dân

Quy mô áp dụng hành vi thích ứng BDKH hạn hán mùa của hộ nông dân chính là một trong những trọng điểm khảo sát của nghiên cứu này. Sử dụng số lượng các hành vi thích ứng BDKH thực tế được người nông dân áp dụng để biểu thị quy mô áp dụng hành vi thích ứng, vậy thì tham số này sẽ là tham số đơn với giá trị rất nhỏ. Từ đặc điểm trên, nghiên cứu này quyết định sử dụng mô hình hồi quy Poisson. Cụ thể như sau:

$$Nadation_i = \frac{\mu_i^{n_i} e^{-\mu_i}}{n_i!} + u_i \quad (9)$$

Trong đó:

$$\mu_i = E(Nadation_i) = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_3 x_3 + \beta_4 x_4 + \beta_5 x_5 + \beta_6 x_6 + \beta_7 x_7 + \beta_8 x_8 + \beta_9 x_9 + \beta_{10} x_{10} + \beta_{11} x_{11} + \epsilon_i \quad (10)$$

Trong công thức trên, Nadation là biến số phụ thuộc, biểu thị số lượng hành vi thích ứng BDKH hạn hán mà người nông dân lựa chọn,  $x_1$  là hàm số,  $\mu_i$  là giá trị bình quân các biện pháp thích ứng BDKH hạn hán mùa mà hộ nông dân i áp dụng. Nó chính là hàm số của hàng loạt các biến lượng xi. Tiếp đó,  $\beta$  là tham số đánh giá.  $n!$  là giai thừa số các biện pháp thích ứng BDKH hạn hán mùa. Dựa trên kết quả số liệu điều tra, nghiên cứu thống kê xác định biến lượng cụ thể hàm số này, từ đó tiến hành phân tích cụ thể. Các biến lượng cụ thể thể hiện ở bảng 5 dưới đây:

**Bảng 5.** Định nghĩa và thống kê các biến lượng.

Biến lượng	Mã	Định nghĩa	Giá trị bình quân	Sai số tiêu chuẩn
Độ tuổi	x1	Độ tuổi thực tế	44,716	11,498
Giới tính	x2	Nam = 1, nữ = 0	0,713	0,452
Trình độ văn hóa	x3	Mù chữ = 1, tiểu học = 2, trung học cơ sở = 3, trung học phổ thông, trung cấp = 4, cao đẳng, đại học trở lên = 5	2,345	1,02
Nguồn tài nguyên tại khu vực	x4	Số người có thẻ liên hệ trong danh bạ điện thoại từ 0-19 = 1, từ 20-40 = 2, từ 50-99 = 3, trên 100 = 4	2,202	0,861
Khoảng cách gần	x5	Số km thực tế	1,66	1,926

Biến lượng	Mã	Định nghĩa	Giá trị bình quân	Sai số tiêu chuẩn
nhất từ nơi ở tới đường quốc lộ				
Đặc điểm địa hình	x6	Đồng bằng = 1, đồi núi = 0	0,659	0,474
Diện tích đất canh tác	x7	Diện tích đất canh tác thực tế, tính bằng hm <sup>2</sup>	0,256	0,326
Tần suất phát sinh hạn hán thực tế	x8	Số lần hạn hán phát sinh trong mốc thời gian tính 3a gần đây: 0 lần = 0, 1 lần = 1, 2 lần = 2, 3 lần = 3	2,226	0,854
Nguy cơ phát sinh hạn hán	x9	Khả năng phát sinh hạn hán trong mốc thời gian tính 3a từ nay về sau: vô cùng ít = 1, tương đối ít = 2, không rõ = 3, tương đối nhiều = 4, vô cùng nhiều = 5	2,743	0,97
Khả năng tiếp cận thông tin chống hạn trước khi xảy ra hạn hán	x10	Có tiếp cận được = 1, không tiếp cận được = 0	0,67	0,47
Khả năng tiếp cận thông tin chống hạn sau khi xảy ra hạn hán	x11	Có tiếp cận được = 1, không tiếp cận được = 0	0,724	0,447

### 3.2.3. Mô hình phân tích các nhân tố ảnh hưởng tới mức độ áp dụng hành vi thích ứng BĐKH của hộ nông dân

Phần này sẽ tiếp tục đi sâu phân tích các nhân tố ảnh hưởng tới mức độ áp dụng hành vi thích ứng BĐKH của hộ nông dân. Mức độ áp dụng hành vi thích ứng BĐKH của hộ nông dân có thể được biểu thị thông qua tỉ lệ giữa số hành vi thích ứng BĐKH cụ thể trên tổng số hành vi thích ứng BĐKH mà một hộ nông dân tham gia khảo sát lựa chọn. Căn cứ theo tính chất của các dữ liệu thu được trong quá trình điều tra, nghiên cứu nhận thấy tồn tại vấn đề cắt đoạn, phân đoạn biến số. Do đó, nghiên cứu này xác định sử dụng mô hình Tobit làm công cụ phân tích là tương đối phù hợp. Tư duy phân tích chủ yếu như sau:

$$y_i^* = x_i \beta + u_i \tag{11}$$

Trong công thức trên,  $y^*$  chỉ biến số tiềm tàng. Mối quan hệ giữa dữ liệu  $y$  quan sát được với biến số tiềm tàng  $y^*$  được thể hiện như sau:

$$y_i = \begin{cases} 0 & (y_i^* \leq 0) \\ y_i^* & (y_i^* > 0) \end{cases} \tag{12}$$

Trong công thức trên, tất cả các giá trị âm của  $y^*$  đều được định nghĩa bằng 0. Hơn nữa tất cả các số liệu này được xử lý (thẩm tra) theo cách lấy phần bên trái của phân số sau 0 chứ không thực hiện theo cách trừ đơn giản giá trị âm có được từ phiếu khảo sát, tức yếu tố  $y^*$  không quan sát được. Do đó, mô hình này được quy về mô hình Tobit. Lấy  $u \sim N(0,1)$ , sẽ có thể dùng cách tính cực đại hóa hàm khả nghi để làm rõ các tham số trong mô hình Tobit, mô hình quan hệ tham chiếu giữa đối số với hàm số khả nghi là:

$$\ln L = \sum_{y_i > 0} -\frac{1}{2} \left[ \ln(2\pi) + \ln \sigma^2 + \frac{(y_i - x_i \beta)^2}{\sigma^2} \right] + \sum_{y_i = 0} \ln \left[ 1 - \Phi \left( \frac{x_i \beta}{\sigma} \right) \right] \tag{13}$$

Công thức trên được cấu thành từ hai bộ phận: Phần thứ nhất tương ứng với giá trị quan sát được không hạn chế (tức là các hộ nông dân đã áp dụng hành vi thích ứng BĐKH), hoàn toàn tương đồng với biểu thức hồi quy kinh điển. Bộ phận thứ 2 trong công thức tương ứng với các giá trị quan sát bị hạn chế (tức những hộ nông dân không áp dụng hành vi thích ứng với BĐKH hạn hán). Do đó, hàm khả nghi sẽ là giá trị kết hợp giữa phân bố phân tán với phân bố liên tục, đem tối đa hóa hàm số khả nghi sẽ có thể tính ra giá trị khả nghi cực đại của

tham số. Biến lượng và thống kê trong mô hình này được miêu tả cụ thể trong bảng 5 phía trên.

Từ kết quả hồi quy ở bảng 5 ở trên, có thể thấy mức độ phù hợp tổng thể của mô hình là tương đối tốt, giá trị thống kê LR đều thể hiện rõ rệt ở mức 1%. Phân tích cụ thể đối với từng biến lượng như sau:

(1) Độ tuổi của hộ nông dân có tầm ảnh hưởng quan trọng tới các quyết sách lựa chọn hành vi thích ứng BĐKH của hộ nông dân. Cứ tăng thêm mỗi tuổi, tỷ lệ áp dụng biện pháp thích ứng bổ sung giống cây trồng (vật nuôi) sẽ tăng thêm 0,16%; tỷ lệ áp dụng biện pháp thay đổi giống cây trồng, vật nuôi tăng thêm là 0,38%; tỷ lệ áp dụng biện pháp tham gia nhóm thủy lợi, tổ canh tác tăng thêm 0,12%; tỷ lệ áp dụng biện pháp tham gia bảo hiểm nông nghiệp tăng 0,27%. Điều này cũng có nghĩa là, các hộ nông dân có tuổi đời càng cao thì tỷ lệ áp dụng các biện pháp thích nghi BĐKH hạn hán cũng càng cao, bởi vì độ tuổi của người nông dân càng lớn, kinh nghiệm và tri thức liên quan sản xuất nông nghiệp cũng như kinh nghiệm nhận định về BĐKH cũng phong phú hơn, do đó khả năng áp dụng biện pháp thích ứng cũng lớn hơn.

(2) Trình độ văn hóa giúp làm tăng khả năng lựa chọn hành vi thích ứng BĐKH hạn hán của hộ nông dân. Các hộ nông dân có trình độ văn hóa cao hơn sẽ có tần suất áp dụng các biện pháp thích ứng điều chỉnh thời gian gieo trồng và thu hoạch, tham gia các biện pháp bảo hiểm nông nghiệp lớn hơn. Trình độ văn hóa cứ tăng 01 bậc thì tỷ lệ lựa chọn áp dụng các biện pháp điều chỉnh giống cây trồng (con giống) và điều chỉnh thời gian gieo trồng và thu hoạch sẽ tăng tương ứng 5,09%, tỷ lệ lựa chọn tham gia bảo hiểm nông nghiệp cũng tăng tương ứng 4,36%. Nguyên nhân là do trình độ văn hóa của người nông dân càng cao thì một mặt, họ có năng lực nắm bắt tốt hơn các tri thức sản xuất nông nghiệp, do đó họ sẽ dễ dàng quyết định lựa chọn các biện pháp như điều chỉnh cây/con giống cũng như điều chỉnh thời điểm gieo trồng/thu hoạch; mặt khác, họ sẽ có thể lí giải, nắm bắt tương đối tốt các nội dung liên quan bảo hiểm nông nghiệp, đồng thời có ý thức tốt hơn trong kiểm soát rủi ro tới từ hạn hán, do đó họ sẽ tích cực hơn trong lựa chọn tham gia bảo hiểm nông nghiệp.

(3) Nguồn tài nguyên có được từ cộng đồng là một yếu tố quan trọng ảnh hưởng đến lựa chọn biện pháp thích nghi của hộ nông dân. Nguồn tài nguyên cộng đồng càng phong phú, tỷ lệ các hộ nông dân lựa chọn biện pháp thích nghi BĐKH hạn hán sẽ càng cao hơn. Cụ thể, số điện thoại có trong danh bạ điện thoại của hộ nông dân tăng thêm 1 bậc (như thể hiện trong bảng 5), xác suất lựa chọn áp dụng biện pháp bổ sung giống cây trồng (vật nuôi) của hộ nông dân sẽ tăng 9,02%; xác suất lựa chọn thay đổi sang trồng loại cây/nuôi vật nuôi khác sẽ tăng 4,56%; xác suất lựa chọn biện pháp thích ứng điều chỉnh thời gian gieo trồng, thu hoạch cũng sẽ tăng 5,23%; xác suất lựa chọn điều chỉnh cường độ hoặc thời gian tưới tiêu sẽ tăng 9,11%; xác suất lựa chọn tham gia vào các nhóm thủy lợi, tổ hợp tác tăng 4,64%; xác suất lựa chọn tham gia bảo hiểm nông nghiệp tăng 5,92%, xác suất lựa chọn sử dụng biện pháp luân canh tăng 2,34%.

(4) Khoảng cách giữa làng/xã tới đường cao tốc gần nhất cũng có ảnh hưởng quan trọng tới lựa chọn hành vi thích ứng BĐKH hạn hán của hộ nông dân, đặc biệt yếu tố này có ảnh hưởng rõ rệt tới quyết sách lựa chọn các biện pháp thích ứng gồm thay đổi sang trồng cây khác, nuôi con khác, điều chỉnh thời gian gieo trồng/thu hoạch và điều chỉnh cường độ cũng như thời gian tưới tiêu. Biểu hiện cụ thể là, với các thôn/làng sản xuất nông nghiệp càng cách xa đường cao tốc, xác suất áp dụng các biện pháp thích nghi BĐKH hạn hán sẽ càng nhỏ. Khoảng cách này cứ tăng thêm 1km, xác suất lựa chọn biện pháp thích ứng thay đổi sang trồng cây khác/nuôi con khác sẽ giảm 2,55%; xác suất lựa chọn điều chỉnh thời điểm gieo trồng và thu hoạch cũng giảm tương ứng 3,01%; xác suất lựa chọn biện pháp điều chỉnh thời gian và cường độ tưới tiêu cũng giảm 1,66%. Nguyên nhân là do khoảng cách tới đường cao tốc gần nhất càng xa thì chi phí, giá thành để người nông dân mua sắm các tư liệu vật chất phục vụ thực hiện các lựa chọn biện pháp thích ứng BĐKH hạn hán cũng sẽ càng tăng

lên, từ đó dẫn tới làm suy giảm tích tích cực của người nông dân trong quyết sách lựa chọn hành vi thích ứng BĐKH hạn hán.

**Bảng 6.** Phân tích các nhân tố ảnh hưởng lựa chọn hành vi thích ứng BĐKH hạn hán của hộ nông dân.

Biến lượng	Bổ sung giống vật nuôi/cây trồng khác		Thay đổi sang vật nuôi/cây trồng khác		Thay đổi thời gian gieo trồng, thu hoạch		Điều chỉnh thời gian, cường độ tưới tiêu	
	Hệ số	dy/dx	Hệ số	dy/dx	Hệ số	dy/dx	Hệ số	dy/dx
Độ tuổi	0,004*	0,001	0,010 **	0,003	0,004	0,001	-0,003	-0,001
Giới tính	-0,091	-0,034	0,004 7	0,001	-0,106	-0,039	-0,076	-0,027
Trình độ văn hóa	-0,007	-0,002	0,050 1	0,018	0,137**	0,05	-0,053	-0,018
Nguồn tài nguyên cộng đồng	0,240***	0,0902	0,122 **	0,045	0,141 **	0,052	0,257 ***	0,091
Khoảng cách đến đường cao tốc gần nhất	0,034	0,013	-0,068 **	-0,025	-0,081 ***	-0,03	-0,046*	-0,016
Vị trí địa lý	-0,186	-0,070	-0,313 ***	-0,118	-0,582 ***	-0,22	-0,12	-0,043
Diện tích canh tác	-0,007	-0,002	0,013	0,005	-0,001	0,000	0,014	0,005
Tần suất phát sinh hạn hán	0,097	0,036	0,186 ***	0,069	0,094	0,035	0,165 ***	0,058
Nguy cơ phát sinh hạn hán	0,056	0,021	0,019	0,007	0,113**	0,042	-0,044	-0,015
Khả năng tiếp cận thông tin trước khi xảy ra hạn hán	0,148	0,055	0,383 ***	0,138	0,289	0,105	0,244 ***	0,084
Khả năng tiếp cận thông tin sau khi xảy ra hạn hán	0,273*	0,100	-0,001	0,000	0,196	0,071	0,135	0,047
Thường số LR	-1,563*		-1,669**		-1,471*		0,110 ***	
McFadden R2	49,12***		53,70***		80,36***		57,36***	
	0,049		0,054		0,081		0,060	

	Tham gia nhóm thủy lợi, tổ hợp tác		tham gia bảo hiểm nông nghiệp		luân canh	
	Hệ số	dy/dx	Hệ số	dy/dx	Hệ số	dy/dx
Độ tuổi	0,003 *	0,001	0,011 *	0,002	-0,003	-0,000
Giới tính	-0,010	-0,003	-0,069	-0,016	-0,145	-0,035
Trình độ văn hóa	-0,009	-0,003	0,181 ***	0,043	-0,098	-0,023
Nguồn tài nguyên cộng đồng	0,150 **	0,046	0,246 ***	0,059	0,095 *	0,022
Khoảng cách đến đường cao tốc gần nhất	-0,023	-0,007	-0,038	-0,009	0,011	0,002
Vị trí địa lý	-0,032	-0,010	0,268 **	0,061	0,044	0,010
Diện tích canh tác	-0,001	-0,000	0,004	0,001	-0,004	-0,001
Tần suất phát sinh hạn hán	0,039	0,012	0,092	0,022	0,020	0,004

	Tham gia nhóm thủy lợi, tổ hợp tác		tham gia bảo hiểm nông nghiệp		luân canh	
Nguy cơ phát sinh hạn hán	-0,008	-0,002	0,027	0,006	-0,044	-0,010
Khả năng tiếp cận thông tin trước khi xảy ra hạn hán	0,460 ***	0,133	0,448 ***	0,100	0,705 ***	0,147
Khả năng tiếp cận thông tin sau khi xảy ra hạn hán	0,156	0,046	0,191	0,044	-0,021	-0,005
Thường số	-1,612 **		-2,413 ***		-1,123 *	
LR	33,40***		57,56***	36,89***		
McFadden R2	0,039		0,080	0,053		

Chú thích: các kí hiệu \*\*\*, \*\*, \*lần lượt đại diện mức độ rõ rệt ở khoảng tương ứng 1%, 5% và 10%.

(5) Đặc điểm địa hình có ảnh hưởng quan trọng đến lựa chọn các biện pháp thích ứng BĐKH hạn hán của hộ nông dân. Tỷ lệ các hộ nông dân ở vùng đồng bằng lựa chọn biện pháp điều chỉnh sang trồng cây khác/nuôi con khác thấp hơn 11,84% so với tỷ lệ lựa chọn biện pháp thích ứng này của các hộ nông dân ở vùng đồi núi; tỷ lệ lựa chọn biện pháp điều chỉnh thời điểm gieo trồng và thu hoạch cũng thấp hơn 22,03%. Nguyên nhân dẫn tới điều này là do trong tương quan so sánh với các hộ nông dân ở vùng đồi núi, trung du, các hộ nông dân ở vùng đồng bằng có điều kiện giao thông thuận tiện, nhiều cơ hội việc làm, do đó, họ sẵn sàng chủ động từ bỏ các biện pháp thích nghi BĐKH hạn hán để chuyển sang tìm kiếm sinh kế phù hợp khác.

(6) Tần suất phát sinh hạn hán là yếu tố quan trọng ảnh hưởng tới quyết sách lựa chọn biện pháp thích nghi với BĐKH hạn hán của hộ nông dân. Đặc biệt, yếu tố này có ảnh hưởng rõ rệt tới xác suất lựa chọn các hành vi thích ứng gồm chuyển đổi sang loại cây trồng/vật nuôi khác, điều chỉnh thời gian cũng như cường độ tưới tiêu. Cụ thể, tần suất phát sinh hạn hán càng lớn thì tỷ lệ số hộ nông dân lựa chọn chuyển đổi sang trồng cây khác/nuôi con khác sẽ tăng tương ứng 6,94%, tỷ lệ lựa chọn điều chỉnh cường độ cũng như thời gian tưới tiêu cũng tăng 5,85%. Kết quả này cho thấy, người nông dân có xu hướng lựa chọn nhiều hơn các biện pháp như thay đổi giống cây trồng/vật nuôi, điều chỉnh mức độ và thời gian tưới tiêu. Cụ thể, các hộ nông dân sẽ lựa chọn nhiều hơn việc thay đổi các loại cây trồng/vật nuôi hiện có, áp dụng các giống cây trồng/vật nuôi có khả năng chống chịu hạn hán. Trong điều kiện nguồn tài nguyên nước hạn chế, người nông dân sẽ thông qua biện pháp thay đổi mức độ tưới tiêu tại, dùng các phương thức khác như tưới nhỏ giọt hoặc tưới phun sương, hoặc căn cứ vào nhu cầu sinh trưởng của cây trồng/vật nuôi để điều chỉnh thời gian tưới tiêu, từ đó nâng cao hiệu suất sử dụng tài nguyên nước.

(7) Khả năng tiếp cận thông tin phòng chống hạn hán có ảnh hưởng quan trọng tới lựa chọn các biện pháp thích ứng BĐKH hạn hán của hộ nông dân. Nhận được thông tin trước khi thiên tai diễn ra có thể giúp cải thiện đáng kể động lực cũng như tính tích cực trong áp dụng các biện pháp thích ứng của hộ nông dân. Cụ thể, tỷ lệ lựa chọn thay đổi sang trồng cây khác/nuôi con khác tăng tương ứng 13,87%, tỷ lệ điều chỉnh cường độ hoặc thời gian tưới tiêu tăng 8,47%, xác suất lựa chọn biện pháp tham gia vào các nhóm thủy lợi, tổ hợp tác tăng 13,31%; xác suất lựa chọn tham gia các loại hình hiểm nông nghiệp tăng 10%; xác suất lựa chọn các biện pháp thích ứng như luân canh cũng sẽ tăng tương ứng 14,76%. Việc tiếp cận được thông tin trong khi hoặc sau khi thiên tai diễn ra lại chỉ có thể làm tăng xác suất lựa chọn các hành vi thích ứng gồm bổ sung thêm giống cây trồng/vật nuôi mới, còn lại không có tác động rõ rệt tới quyết sách lựa chọn các hành vi thích ứng BĐKH hạn hán khác. Gợi ý có được từ kết luận này là: Một mặt, khả năng tiếp cận thông tin phòng chống thiên tai có ảnh hưởng đáng kể đến lựa chọn hành vi thích ứng của hộ nông dân; Mặt khác, thời gian tiếp cận được thông tin phòng chống thiên tai khác nhau, sẽ dẫn tới có sự khác biệt trong ảnh hưởng đối với quyết sách lựa chọn các biện pháp ứng phó BĐKH hạn hán của các hộ nông dân. Cụ thể hơn, có được thông tin phòng chống thiên tai trước khi thiên tai xảy ra có thể

giúp nâng cao động lực, tính tích cực của hộ nông dân trong lựa chọn các biện pháp thích nghi. Điều này hoàn toàn phù hợp trong các phân tích tâm lý-hành vi tương ứng.

### 3.3. Phân tích các nhân tố ảnh hưởng tới quy mô và phạm vi thích ứng BĐKH của hộ nông dân

Lần lượt sử dụng các mô hình phân tích hồi quy Poisson và Tobit [14–17] để tiến hành phân tích ảnh hưởng của các nhân tố tới quy mô cũng như phạm vi áp dụng các biện pháp thích ứng BĐKH hạn hán của hộ nông dân. Nghiên cứu đã thu được kết quả phân tích sau: (Bảng 7).

**Bảng 7.** Phân tích các nhân tố ảnh hưởng tới mức độ, quy mô lựa chọn hành vi thích ứng BĐKH của hộ nông dân.

Biến lượng	Mô hình phân tích hồi quy Poisson		Mô hình phân tích hồi quy Tobit	
	Hệ số	dy/dx	Hệ số	dy/dx
Độ tuổi	0,0041	0,0078	0,1701	0,1034
Giới tính	-0,0748	-0,1452	-3,7508	-2,2808
Trình độ văn hóa	-0,0115	-0,0219	-0,3629	-0,2206
Nguồn tài nguyên cộng đồng	0,1882***	0,3594***	8,6095***	5,2352***
Khoảng cách gần nhất tới đường quốc lộ	-0,0290**	-0,0554**	-1,4658***	-0,8913***
Vị trí địa lý	-0,1752***	-0,3445***	-9,1985***	-5,5934***
Diện tích canh tác	0,0022	0,0043	0,2933	0,1784
Tần suất phát sinh hạn hán	0,1108***	0,2117***	4,8755***	2,9647***
Nguy cơ phát sinh hạn hán	0,0257	0,0491	0,9109	0,5539
Khả năng tiếp cận thông tin trước hạn	0,3986***	0,7161***	15,3643***	9,3427***
Khả năng tiếp cận thông tin trong và sau hạn	0,1601**	0,2953***	6,7005**	4,0744**
Thường số LR	-0,413 *	165,75***	-19,995*	190,60***
Pseudo-R2		0,0609		0,0363

Chú thích: các kí hiệu \*\*\*, \*\*, \* lần lượt đại diện mức độ rõ rệt ở khoảng tương ứng 1%, 5% và 10%.

Cụ thể:

(1) Nguồn tài nguyên cộng đồng có ảnh hưởng đáng kể đến quy mô và cường độ áp dụng các biện pháp thích nghi của hộ nông dân. Số điện thoại liên lạc có trong danh bạ của hộ nông dân càng nhiều thì các biện pháp thích ứng của hộ nông dân sẽ có quy mô và cường độ càng cao hơn. Đồng thời, nguồn tài nguyên cộng đồng cứ tăng thêm 1 bậc trong thang phân loại thì số lượng các biện pháp thích ứng của hộ nông dân sẽ tăng 0,36%, tỷ lệ áp dụng các biện pháp thích ứng cũng tăng tương ứng 5,24%.

(2) Khoảng cách gần nhất tới đường quốc lộ cũng là yếu tố quan trọng ảnh hưởng đến quy mô và cường độ các biện pháp thích nghi của các hộ nông dân. Làng/xã càng cách xa đường quốc lộ gần nhất thì quy mô các biện pháp thích ứng của các hộ nông dân thích ứng sẽ nhỏ hơn, cường độ cũng sẽ yếu hơn. Cụ li cách xa hơn mỗi 1km, số lượng các biện pháp thích ứng BĐKH hạn hán của các hộ nông dân sẽ giảm tương ứng số 0,06%, cường độ của các biện pháp cũng giảm tương ứng 0,89%.

(3) Đặc điểm địa hình cũng có ảnh hưởng quan trọng đến quy mô và cường độ các biện pháp thích nghi của hộ nông dân. So với các hộ nông dân ở vùng đồi núi hoặc trung du, các

hộ nông dân ở vùng đồng bằng có cường độ áp dụng các biện pháp thích ứng BĐKH hạn hán yếu hơn. Số lượng các biện pháp thích ứng BĐKH hạn hán của hộ nông dân ở vùng đồng bằng ít hơn 0,34% so với số lượng các biện pháp thích ứng của các hộ nông dân ở vùng đồi núi, trung du, cường độ các biện pháp thích ứng cũng giảm tương ứng 5,59%.

(4) Bên cạnh đó, tần suất hạn hán cũng là một yếu tố quan trọng ảnh hưởng đến quy mô và cường độ các biện pháp thích ứng BĐKH hạn hán của hộ nông dân. Nếu tần suất hạn hán xảy ra thường xuyên hơn trong vòng 03 năm trở lại đây, vậy thì các hộ nông dân sử dụng biện pháp thích ứng BĐKH với quy mô lớn hơn, cường độ mạnh hơn. Hễ hạn hán theo mùa cấp độ tăng 1 lần, số lượng các biện pháp thích ứng của hộ nông dân sẽ tăng tương ứng 0,21%, cường độ tăng 2,96%.

(5) Khả năng tiếp cận thông tin về các biện pháp phòng chống thiên tai phù hợp ảnh hưởng đáng kể đến quy mô và cường độ các biện pháp thích ứng của các hộ nông dân. Việc tiếp cận được thông tin phòng chống thiên tai giúp nông dân gia tăng quy mô và cường độ các biện pháp thích ứng. Đồng thời, số lượng các biện pháp thích ứng BĐKH của các hộ nông dân nhận được thông tin phòng chống thiên tai trước khi diễn ra thiên tai sẽ nhiều hơn 0,72% số lượng các biện pháp thích ứng BĐKH của các hộ nông dân không tiếp cận được thông tin phòng chống thiên tai tương ứng, cường độ của các biện pháp thích ứng cũng tăng thêm 9,34%. Số lượng các biện pháp thích ứng BĐKH hạn hán của các hộ nông dân tiếp cận được thông tin phòng chống thiên tai trong và sau khi thiên tai diễn ra là nhiều hơn 0,3% so với số lượng biện pháp tương ứng của các hộ nông dân không được tiếp cận thông tin, cường độ các biện pháp này cũng mạnh hơn 4,07%. Như vậy xét cả về cường độ lẫn quy mô, các biện pháp thích ứng BĐKH hạn hán do hộ nông dân áp dụng trong trường hợp tiếp cận được thông tin phòng chống thiên tai trong và sau khi thiên tai diễn ra đều ít và yếu hơn nhiều so với trường hợp tiếp cận được thông tin trước khi thiên tai xảy ra.

#### 4. Kết luận

Nghiên cứu đã xác lập mô hình phân tích, tính toán, đánh giá mối tương quan giữa các hành vi thích ứng BĐKH hạn hán theo mùa của các hộ nông dân khu vực tỉnh Ninh Thuận tương ứng với các mức độ biến đổi của điều kiện hạn hán tại địa phương. Cụ thể, thông qua các thuật toán được xây dựng, áp dụng phương pháp phân tích định lượng, sử dụng các số liệu điều tra, thống kê thực tế, nghiên cứu đã chỉ rõ phương thức lựa chọn hành vi thích ứng BĐKH của hộ nông dân, các nhân tố ảnh hưởng tới lựa chọn hành vi thích ứng này.

Kết quả nghiên cứu cho thấy, đứng trước tác động của diễn biến BĐKH theo hướng hạn hán ngày một gia tăng tại tỉnh Ninh Thuận thời gian gần đây, đa phần (68,6%) các hộ nông dân đã lựa chọn áp dụng các biện pháp thích ứng. Các biện pháp thích ứng cụ thể được ưu tiên sử dụng là: thay thế các loại cây trồng (con giống), chuyển hẳn sang trồng các loại cây khác, điều chỉnh ngày gieo và thu hoạch. Đáng chú ý, tiền vốn và nhân lực lao động là những yếu tố hạn chế chủ yếu, ảnh hưởng tới lựa chọn, áp dụng các biện pháp thích nghi BĐKH của hộ nông dân.

Đánh giá cụ thể các yếu tố ảnh hưởng tới quyết sách lựa chọn hành vi thích ứng BĐKH, quy mô áp dụng cũng như phạm vi, mức độ áp dụng hành vi BĐKH của hộ nông dân, thông qua sử dụng các mô hình nghiên cứu hồi quy, nghiên cứu chỉ rõ: (1) Nguồn vốn trong cộng đồng phong phú hơn, khả năng các hộ nông dân sẽ sử dụng các biện pháp thích ứng, quy mô và cường độ các biện pháp thích ứng đều lớn hơn; (2) Làng xã càng xa đường quốc lộ gần nhất, các hộ nông dân càng có xu hướng ít lựa chọn các biện pháp thích nghi BĐKH hạn hán hơn, quy mô và cường độ các biện pháp thích nghi cũng giảm; (3) Các hộ nông dân ở vùng đồng bằng càng ít có ý định sử dụng biện pháp thích nghi, quy mô và cường độ sử dụng các biện pháp thích nghi cũng nhỏ hơn ở khu vực đồi núi; (4) Tần số hạn hán làm tăng khả năng, quy mô và cường độ của các biện pháp thích ứng ứng với BĐKH của các hộ nông dân; (5) Thông tin sẵn có liên quan các biện pháp thích ứng của hộ nông dân có ảnh hưởng quan trọng



tới việc lựa chọn, nhưng thông tin trước thảm họa sẽ thúc đẩy các hộ nông dân sử dụng các biện pháp thích ứng có hiệu quả tốt hơn.

Kết quả thu được từ nghiên cứu này giúp đưa ra các gợi ý liên quan xác định mô hình phát triển kinh tế hộ gia đình thích ứng BĐKH tại Ninh Thuận xét từ cả 02 góc độ là tự thích ứng của bản thân hộ gia đình lẫn hỗ trợ từ chính quyền, địa phương. Tuy nhiên, việc đề xuất mô hình phát triển kinh tế hộ gia đình cụ thể yêu cầu cần xây dựng trên cơ sở đặc điểm tình hình của từng khu vực hẹp (xã, huyện), đặt trong tương quan bối cảnh, xu thế phát triển kinh tế vùng và của cả nước và cần được kiểm chứng trong thời gian nhất định. Phương pháp nghiên cứu này cũng có thể áp dụng để phân tích hành vi thích ứng BĐKH hạn hán hoặc nước biển dâng của các hộ gia đình tại các địa phương khác tại Việt Nam.

**Đóng góp của tác giả:** Xây dựng ý tưởng nghiên cứu: Đ.Q.K.; D.V.K.; Lựa chọn phương pháp nghiên cứu: D.V.K., Đ.Q.K.; Viết bản thảo bài báo: D.V.K., Đ.Q.K., N.T.G.; Chỉnh sửa bài báo: D.V.K., Đ.Q.K., N.T.G.

**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. Anh, N.N. Hạn hán ở Ninh Thuận và giải pháp khắc phục. <https://vjst.vn/vn/tin-tuc>. *Tạp chí Khoa học công nghệ Việt Nam (điện tử)*, 2020.
2. Bộ Tài nguyên và Môi trường. Chương trình mục tiêu quốc gia ứng phó với biến đổi khí hậu, Triển khai thực hiện Nghị quyết số 60/2007/NQ-CP ngày 03 tháng 12 năm 2007 của Chính phủ, 2008, 1-65.
3. Bộ Tài nguyên và Môi trường. Kịch bản biến đổi khí hậu, phiên bản cập nhật năm 2020, Nhà xuất bản Tài nguyên – Môi trường và Bản đồ Việt Nam, 2020.
4. Sơn, N.H. Thích ứng với biến đổi khí hậu và bảo vệ môi trường theo tinh thần Nghị quyết Đại hội XIII của Đảng. *Tạp chí Cộng sản (điện tử)*, 2021.
5. Thích ứng với biến đổi khí hậu ở Việt Nam: đánh giá & giải pháp thích ứng tại các đô thị, <https://www.eda.admin.ch/dam/countries/countries-content> (điện tử), GIZ, 2018.
6. Yu, B.; Zhu, T.; Hai, N.M. Impacts of Climate Change on Agriculture and Policy Options for Adaptation: The Case of Vietnam. *Int. Food Policy Res. Instit.* 2010, 1-23.
7. Trinh, M.V.; Loan, B.T.P.; Hang, V.T.; Lien, L.T.Q.; Them, L.T.T. Project: Climate change and impacts on rice production in Vietnam: Pilot testing of potential adaptation and mitigation measures. Viện Khoa học nông nghiệp Việt Nam 2014, 1-39.
8. Thuận, N.T.; Giai, N.S. Tổn thương về sinh kế ở các vùng liên quan đến dao động và biến đổi khí hậu. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* 2016, 667, 9-14.
9. Liên, M.K.; Đại, H.V.; Dũng, L.Đ.; Huyền, N.D. Nghiên cứu đề xuất bộ tiêu chí lồng ghép vấn đề biến đổi khí hậu vào chính sách chuyển đổi kinh tế, đảm bảo phát triển bền vững khu vực Nam Trung Bộ. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* 2018, 694, 35-45.
10. Ngọc, P.T.B.; Sơn, N.H. Sinh kế nông nghiệp thích ứng với biến đổi khí hậu: kinh nghiệm củ huyện Can Lộc, tỉnh Hà Tĩnh. *Tạp chí Khoa học Biến đổi khí hậu* 2018, 63-72.
11. Anh, N.N. Hạn hán ở Ninh Thuận-Bình Thuận và giải pháp khắc phục, <https://siwrp.org.vn/tin-tuc>. Công thông tin điện tử Viện Quy hoạch Thủy lợi miền Nam 2016.
12. Thắng, N.V.; Khiêm, M.V.; Mậu, N.Đ.; Trí, T.Đ. Nghiên cứu xác định chỉ tiêu hạn hán cho vùng Nam Trung Bộ. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* 2014, 639, 49-55.

13. Vinh, P.T.; Bình, N.T.; Hương, B.T.T. Đánh giá ảnh hưởng của điều kiện khí hậu nông nghiệp đến cây trồng ngắn ngày ở khu vực Ninh Thuận và Bình Thuận. *Tạp chí Khoa học về trái đất* **2013**, 364–373.
14. Atanu, S.; Love, H.A.; Schwart, R. Adoption of emerging technologies under output uncertain. *Am. J. Agric. Econ.* **1994**, 76(4), 836–846.
15. Kong, X.Z.; Fangh, S.H.; Pang, X.P. Analysis of the influence of talents of farmers in western areas on the agricultural technology adoption. *Econ. Res.* **2004**, 85–122.
16. Zhu, H.G.; Zhou, S.D. Demonstration analysis of adaptation to climate change of the farmers living in southern paddy field in accordance with the 346 farmer data of 36 counties (cities) in Jiangxi Province. *J. Nat. Resour.* **2012**, 27(7), 1119–1128.
17. Nhemachena, C.; Hassan, R. Micro-level analysis of farmers adaptation to climate change in southern Africa [R]. IFPRI Discussion Paper No. 00714. Washington D C. *Int. Food Policy Res. Instit.* **2007**, 1–30.

## **Research on model of household economic development adapting to drought print the background of climate change in Ninh Thuan province**

**Dang Quoc Khanh<sup>1\*</sup>, Duong Van Kham<sup>2</sup>, Ngo Tien Giang<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Vietnam Journal of Hydrometeorology, Viet Nam Meteorological and Hydrological Administration; khanhdangkhtc@gmail.com;

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

<sup>3</sup> Center for Hydro-Meteorological Technology Application; Viet Nam Meteorological and Hydrological Administration; ntgiang1975@gmail.com

**Abstract:** Drought is a major natural disaster in Ninh Thuan province, the driest in the country. This is the biggest disadvantage of nature for agricultural development in particular and household economic development in general in the province. On the basis of climate change scenarios, survey and research data have established models to analyze, calculate and evaluate the correlation between seasonal drought climate adaptation behaviors of households. farmers in Ninh Thuan province. The research results show that, facing the impact of climate change in the direction of increasing drought in Ninh Thuan province recently, most (68.6%) of the farming households have chosen to apply these measures. Adaptation. Specific adaptation measures that are prioritized for use are: replacing crops (seedlings), switching to other crops, and adjusting sowing and harvesting dates. Notably, capital and labor are the main limiting factors affecting the choice and application of climate change adaptation measures of farmers.

**Keywords:** Ninh Thuan; Drought; Household economy.

# Table of content

- 1** Kien, T.B.; Nga, P.T.T.; Thuc, T.D.; Linh, P.T.M.; Thang, V.V. Verification of quantitative rainfall forecast over Vietnam by using the weather research and forecasting model. *VN J. Hydrometeorol.* **2022**, 738, 1–11.
- 12** Trung, L.N. Experimental study, assess the change of water level in the channel when simulating roughness with particles with diameter 5÷10 mm. *VN J. Hydrometeorol.* **2022**, 738, 12–22.
- 23** Manh, N.C.; Hung, N.T.Q.; Tri, D.Q.; Nhi, B.T.C.; Ky, N.M. Removal of contaminated water by adsorption using biochar derived from agricultural by-product biomass. *VN J. Hydrometeorol.* **2022**, 738, 23–33.
- 34** Khanh, P.T.; Quan, N.H.; Toan, T.Q. Assessment of flow changes on the mainstream of the Mekong River and solutions to ensure water security in the Mekong Delta. *VN J. Hydrometeorol.* **2022**, 734, 34–48.
- 49** Hong, N.V. Assessment of variability and trends of climate factors in Binh Dinh Province. *VN J. Hydrometeorol.* **2022**, 738, 49–59.
- 60** Tho, L.V. Surveying the geological structure of Holocene strata in Da Nang City using two-dimensional (2D) electric imaging method. *VN J. Hydrometeorol.* **2022**, 738, 60–70.
- 71** Hung, N.N.; Quan, L.Q.; Hung, L.M. Assessment of sediment transport in the Mekong River and quantification of sediment transport in 2011 in the Mekong River system. *VN J. Hydrometeorol.* **2022**, 738, 71–81.
- 82** Khanh, D.Q.; Kham, D.V.; Giang, N.T. Research on model of household economic development adapting to drought print the background of climate change in Ninh Thuan Province. *VN J. Hydrometeorol.* **2022**, 738, 82–96.