

**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 740**

**08-2022**

## MỤC LỤC

### Bài báo khoa học



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

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

### Giấy phép xuất bản

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

### Tòa soạn

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

### Chế bản và In tại:

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

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

Giá bán: 25.000 đồng

- 1 Chu Thị Thu Hương, Nguyễn Văn Tâm Tân:** Sự biến đổi của số đợt rét đậm, rét hại xảy ra trên vùng Đồng Bằng Bắc Bộ trong thời kỳ 1981–2020
- 13 Phan Ngọc Quốc, Phùng Đại Khánh:** Mô hình dự đoán độ thâm từ dữ liệu phân tích mẫu lõi bằng phương pháp HFU và MICP cho tập cát kết thuộc tầng Miocen, mỏ Alpha, bể Nam Côn Sơn
- 22 Hoàng Thị Tố Nữ, Từ Thiếu Quyên, Vũ Thị Vân Anh, Nguyễn Thị Hồng Thảo, Cấn Thu Văn:** Ứng dụng mô hình thủy văn đô thị mô phỏng mức độ ngập do gia tăng mực nước triều và khả năng thoát nước cho hệ thống kênh Tân Hóa – Lò Gốm ở thành phố Hồ Chí Minh
- 36 Lê Đức Hạnh, Hoàng Thanh Sơn, Tống Phúc Tuấn, Bùi Anh Tuấn, Vũ Hải Đăng, Nguyễn Thị Hải Yến, Trịnh Việt Nga:** Ứng dụng công nghệ viễn thám, RTK, GIS thành lập bản đồ ngập lũ đồng bằng Tuy Hòa – tỉnh Phú Yên
- 46 Vũ Kiều Trang, Đỗ Hữu Tuấn:** Đánh giá hiện trạng nồng độ hợp chất Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) trong nước Nhuệ đoạn chảy qua các quận nội thành Hà Nội
- 57 Lâm Tấn Phát, Đinh Văn Duy, Cao Trung Hiếu, Nguyễn Thái An, Kim Lavane, Trần Văn Tỷ:** Một số nhận định ban đầu về nguyên nhân gây mất ổn định bờ sông ở huyện Châu Thành tỉnh Hậu Giang
- 74 Tô Quang Toản, Phan Trường Khanh:** Cân bằng nước và một số kiến nghị về định hướng phát triển nông nghiệp bền vững ở tỉnh An Giang
- 88 Nguyễn Hoàng, Bùi Xuân Nam, Trần Quang Hiếu, Trần Khắc Hùng, Nguyễn Tuấn Thành:** Dự báo nồng độ bụi PM2.5 phát tán trong quá trình nổ mìn trên các mỏ lộ thiên sử dụng mạng nơ-ron nhân tạo và giải thuật tối ưu hóa bầy đàn cải tiến (APSO-MLP)



Bài báo khoa học

# Sự biến đổi của số đợt rét đậm, rét hại xảy ra trên vùng Đồng Bằng Bắc Bộ trong thời kỳ 1981–2020

Chu Thị Thu Hương<sup>1\*</sup>, Nguyễn Văn Tâm Tân<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Trường Đại học Tài nguyên và Môi trường Hà Nội; ctthuong@hunre.edu.vn

<sup>2</sup> Tổng Công ty Quản lý bay Việt Nam; nguyenvantamtan@gmail.com

\*Tác giả liên hệ: ctthuong@hunre.edu.vn; Tel.: +84–981244579

Ban biên tập nhận bài: 2/6/2022; Ngày phản biện xong: 8/7/2022; Ngày đăng bài: 25/8/2022

**Tóm tắt:** Nghiên cứu sự biến đổi số đợt rét đậm (RD), rét hại (RH) dựa trên nhiệt độ trung bình ngày (Ttb) tại 10 trạm khí tượng vùng Đồng bằng Bắc Bộ (ĐBBB) cho thấy, trung bình mỗi năm có khoảng 6.2 đợt RD và 3.2 đợt RH ảnh hưởng. Các đợt RD, RH chủ yếu kéo dài từ 1 đến 4 ngày (chiếm khoảng 70%). Chúng có xu hướng giảm khoảng 0,3 đến 0,5 đợt RD/thập kỷ và khoảng 0.4 đến 0,7 đợt RH/thập kỷ. Trong những năm gần đây, số đợt RD, RH có xu hướng thấp hơn trung bình nhiều năm (TBNN). Ở hầu hết các trạm, chúng thường giảm dần từ thập kỷ 1981–1990, song lại tăng trong thập kỷ 2011–2020 (đối với các đợt kéo dài từ 1 đến 3 ngày và trên 10 ngày). Mức độ tăng giảm số đợt RD, RH trong từng thập kỷ không nhiều, nhất là đối với các đợt RD, RH kéo dài từ 10 ngày trở lên. Số đợt RD, RH thường tăng (trong và sau thời kỳ La Nina) và giảm (trong và sau thời kỳ El Nino).

**Từ khóa:** Đợt rét đậm; Rét hại; Đồng bằng Bắc Bộ, ENSO.

## 1. Mở đầu

Như đã biết, rét đậm (RD), rét hại (RH) là một trong những hiện tượng thời tiết cực đoan trong mùa đông trên các vùng khí hậu phía Bắc Việt Nam. RD, RH thường xảy ra khi có sự xâm nhập của không khí lạnh (KKL) kết hợp với mưa nhỏ mưa phùn. Đặc trưng thời tiết này thường xảy ra khi có ảnh hưởng của áp cao lạnh lục địa [1–5], dòng xiết gió tây trên cao [1–2] hay KKL tăng cường lệch đông [3–5]. RD, RH có thể kéo dài nhiều ngày, trên diện rộng, gây ảnh hưởng đến đời sống sinh hoạt của người dân và thiệt hại không nhỏ trong sản xuất nông nghiệp trên các vùng. Hơn nữa, biến đổi khí hậu đang diễn ra trên toàn cầu mà biểu hiện của nó là nhiệt độ bề mặt trung bình toàn cầu cũng như ở nhiều vùng trên trái đất đang có xu thế tăng lên [5–6]. Bởi thế, những biến đổi nhiệt độ cũng như các hiện tượng thời tiết cực đoan,... đã và đang được nhiều Nhà khoa học [1–22],... quan tâm nghiên cứu.

Thật vậy, nghiên cứu sự biến đổi của nhiệt độ trên các vùng trong những năm gần đây, các tác giả cho rằng, trong thời kỳ 1961–1998, số ngày nóng và đêm ấm trên tăng lên, còn số ngày mát và đêm lạnh giảm đi tại 15 quốc gia vùng Đông Nam châu Á và Nam Thái Bình Dương [8]. Một kết luận tương tự đã được đưa ra khi phân tích biến đổi của nhiệt độ cực trị ngày trên 8 quốc gia vùng Nam Mỹ trong thời kỳ 1961–2000 [9]. Số đêm lạnh trong những tháng mùa đông trên toàn Ấn Độ, ở các vùng phía Bắc (thời kỳ 1969–2005) và ở các vùng phía Nam (thời kỳ 1969–1975) đã giảm đáng kể, song số ngày nóng trong mùa hè lại tăng [9]. Nhiệt độ trung bình (Ttb) ngày ở Italia trong thời kỳ 1961–2004 cũng có xu thế tăng lên [10]. Trên lục địa Trung Quốc, số ngày nóng có xu thế giảm nhẹ nhưng số ngày có Ttb nhỏ

hơn  $0^{\circ}\text{C}$  thì giảm mạnh hơn [11]. Cũng có kết luận tương tự khi phân tích biến đổi của nhiệt độ trên các vùng của Nga, các tác giả cho rằng, số ngày có nhiệt độ cực đại ( $T_x$ ) lớn hơn phân vị thứ 95 đã tăng lên, còn số ngày có nhiệt độ cực tiểu ( $T_n$ ) nhỏ hơn phân vị thứ 5 đã giảm trên hầu hết các vùng của Nga. Số ngày có nhiệt độ cao dị thường cũng có xu thế giảm song ở một số vùng riêng biệt, số ngày có biên độ dao động nhiệt độ ngày lớn lại có xu thế tăng lên [12].

Ở Việt Nam, trong những năm gần đây cũng có khá nhiều các tác giả đề cập tới biến đổi của nhiệt độ cũng như số ngày RĐ, RH trên các trạm, vùng khí hậu Việt Nam. Các tác giả đều cho rằng, nhiệt độ tại hầu hết các trạm trên lãnh thổ đều có xu hướng tăng [3–5, 7, 13–14, 16–17], trong mùa hè tăng chậm hơn trong mùa đông  $T_{tb}$  và  $T_n$  cũng có xu thế tăng nhanh hơn  $T_x$  [3, 5, 18]. Sự tăng nhanh của  $T_n$  tháng là nguyên nhân làm giảm số đợt rét đậm ở Việt Nam [17].  $T_n$  tuyệt đối tháng có xu thế tăng từ 0,2 đến 0,4 $^{\circ}\text{C}$ /thập kỷ. Xu thế tăng chậm hơn xảy ra trong mùa xuân (trên các vùng khí hậu phía Bắc) và trong mùa hè (ở các vùng khí hậu phía Nam).  $T_x$  tuyệt đối tháng cũng tăng từ 0,2 đến 0,3 $^{\circ}\text{C}$ /thập kỷ, với tốc độ tăng nhanh nhất trong mùa đông, chậm nhất trong mùa hè ở các vùng Đông Bắc, Đồng bằng Bắc Bộ (ĐBBB) và Bắc Trung Bộ và ngược lại ở các vùng Tây Bắc, Tây Nguyên và Nam Bộ [5].

Trên các vùng khí hậu miền Bắc Việt Nam, mỗi năm có khoảng 30 đến 70 ngày RĐ, 10 đến 40 ngày RH [4]. Số ngày RĐ, RH trên các vùng khí hậu phía Bắc Việt Nam đều có xu thế giảm trong hầu hết các tháng [5, 16], với xu thế giảm khoảng 3 đến 4 ngày/thập kỷ [5]. Sự giảm của số ngày RĐ, RH cũng như sự tăng của nhiệt độ trên các vùng khí hậu phía bắc là do cường độ của áp cao Siberia suy yếu [5, 15]. Sự mạnh lên hay yếu đi của áp cao này còn được thể hiện qua số đợt KKL ảnh hưởng đến khu vực. Trung bình mỗi năm có khoảng 16–17 đợt KKL (thời kỳ 1960–2009) [4], 27 đến 28 đợt KKL ảnh hưởng đến vùng ĐBBB [19] và Việt Nam [21]. Chúng có hướng tăng trong thời kỳ chính đông, giảm trong thời kỳ đầu và cuối đông. Trong thời kỳ 1993–2019, các đợt KKL có cường độ mạnh, trung bình, yếu đều có xu thế giảm, giảm mạnh nhất đối với các đợt KKL mạnh [20]. Trong thời kỳ 2010–2017, mặc dù, số đợt KKL ảnh hưởng đến vùng ĐBBB cũng giảm song số đợt KKL mạnh kèm theo các hiện tượng thời tiết cực đoan như mưa đá, tuyết, gió giật mạnh lại đang có xu hướng tăng lên [19].

Bên cạnh đó, để thấy rõ tính cực đoan của các đợt RĐ, RH hay các đợt KKL, những tiêu chí và kết quả thống kê về các đợt lạnh bất thường cũng đã được các tác giả [1–2] đề cập đến. Trong đó, đợt lạnh bất thường là đợt RĐ hoặc RH nhưng có mức độ giảm nhiệt sâu và tạo ra các giá trị nhiệt độ tối thấp ngày mang tính cực trị và hiếm gặp so với chuỗi số liệu nhiều năm. Cụ thể, một đợt lạnh bất thường xuất hiện nếu nó phải là một đợt KKL gây RĐ, RH trên diện rộng (trong vùng có 2/3 số trạm xảy ra RĐ và ít nhất 1/2 số trạm xảy ra RH). Đồng thời, chuẩn sai tháng của  $T_{tb}$  giảm ít nhất 0,5 $^{\circ}\text{C}$  và  $T_{tb} \leq 12,0^{\circ}\text{C}$  hoặc  $T_m \leq 10,0^{\circ}\text{C}$ . Hơn nữa, khí áp tại vùng trung tâm áp cao Siberia phải lớn hơn 1070mb và phải có hoạt động của dòng xiết gió Tây trên khu vực Bắc Bộ [1–2]. Các tác giả cho rằng, có 145 đợt lạnh bất thường (trung bình 3,6 đợt/năm) xảy ra trong 40 mùa đông (1979/1980 đến 2018/2019) song chúng cũng đang có xu thế giảm nhẹ. Phần lớn các đợt lạnh bất thường xảy ra trong các thập niên 1980 và 2000, nhiều nhất vào tháng 1 và tháng 3 [2]. Trong các tháng chính đông, thời kỳ 1979–2017 có 47 đợt lạnh bất thường xảy ra [1]. Mùa đông có số đợt lạnh bất thường nhiều nhất là mùa đông 2013–2014 (5 đợt). Đợt lạnh bất thường kéo dài nhất là 15 ngày (từ 21/1 đến 4/2/1984). Trong thời gian xảy ra các đợt lạnh bất thường,  $T_n$  tại các trạm thường có giá trị từ 7–10 $^{\circ}\text{C}$ , thậm chí, giảm xuống dưới 0 $^{\circ}\text{C}$  ở nhiều nơi [1–2].

Ngoài ra, nghiên cứu ảnh hưởng của ENSO đến nhiệt độ cũng như số ngày RĐ, RH cũng cho thấy, trong thời kỳ El Nino,  $T_{tb}$  tháng ở hầu hết các vùng trong cả nước đều cao hơn thời kỳ không ENSO, mùa đông chênh lệch rõ rệt hơn mùa hè, các khu vực phía Nam chịu ảnh hưởng rõ hơn ở phía Bắc. Trái lại, trong thời kỳ La Nina,  $T_{tb}$  các tháng thấp hơn



bình thường, ở phía Bắc chịu ảnh hưởng nhiều hơn ở phía Nam [16]. Số ngày RĐ, RH [3, 5, 20], số đợt lạnh bất thường [2] cũng có xu thế giảm trong những năm El Nino, nhưng lại tăng lên trong những năm La Nina, nhất là trong các tháng sau giai đoạn cực thịnh của ENSO [20]. Tuy nhiên, trong một số mùa đông El Nino (1976–1977 và 1982–1983), số ngày RĐ lại tăng mạnh vào các tháng chính đông [18]. Thực tế, trong thời kỳ La Nina, số đợt KKL và KKL có cường độ mạnh thường xuất hiện nhiều hơn. Còn trong thời kỳ El Nino và không ENSO, các đợt KKL có cường độ yếu, trung bình lại chiếm ưu thế [21]. Hơn nữa, ở nửa cuối mùa đông, gió mùa mùa đông (GMMĐ) sẽ suy yếu/tăng cường trong thời kỳ El Nino/La Nina [21].

Như vậy, có thể thấy, hầu hết những nghiên cứu trong và ngoài nước chỉ đề cập tới những biến đổi của nhiệt độ, số ngày RĐ, RH, số đợt lạnh bất thường hay ảnh hưởng của ENSO hoặc một số hệ thống hoàn lưu đến chúng. Trong khi đó, sự biến đổi của số đợt RĐ, RH, đặc biệt là thời gian kéo dài của các đợt RĐ, RH xảy ra trên các vùng khí hậu phía Bắc cũng như vùng ĐBBB lại gần như chưa được đề cập đến. Bởi thế, sự biến đổi về tần số và thời gian kéo dài của các đợt RĐ, RH trên vùng ĐBBB sẽ được phân tích trong bài viết này dựa trên phương pháp thống kê. Bài viết sẽ phân tích những đặc điểm phân bố theo không gian và thời gian cũng như thời gian kéo dài của các đợt RĐ, RH ở một số trạm khí tượng điển hình trên khu vực ĐBBB với mong muốn góp phần cải thiện khả năng dự báo, cảnh báo sớm hiện tượng RĐ, RH nhằm làm giảm thiệt hại cho sản xuất nông nghiệp.

## 2. Phương pháp nghiên cứu

### 2.1. Số liệu

Để xác định sự biến đổi về tần số và thời gian kéo của các đợt RĐ, RH trên vùng ĐBBB, bài viết sử dụng số liệu nhiệt độ trung bình ngày tại 10 trạm trong khu vực thời kỳ 1981–2020 (Bảng 1).

**Bảng 1.** Danh sách các trạm khí tượng.

STT	Tên trạm	Kinh độ	Vĩ độ	Độ cao (m)
1	Hòa Bình	105°20'	20°20'	22.692
2	Hà Đông	105°46'	20°58'	4.934
3	Hà Nam	105°20'	20°55'	2.825
4	Ninh Bình	105°20'	20°58'	3.01
5	Nam Định	106°20'	20°09'	1.874
6	Văn Lý	106°18'	20°07'	1.815
7	Hải Dương	106°20'	20°18'	2.234
8	Hưng Yên	106°20'	20°03'	2.939
9	Bạch Long Vĩ	107°20'	20°43'	55.626
10	Phù Liên	106°20'	20°38'	112.409

### 2.2. Phương pháp nghiên cứu

#### 2.2.1. Phương pháp xác định số đợt và thời gian kéo dài các đợt rét đậm, rét hại

*Xác định đợt RĐ, RH:* Tại mỗi trạm, hiện tượng RĐ xảy ra nếu  $T_{tb} \leq 15^\circ\text{C}$  và hiện tượng RH xảy ra nếu  $T_{tb} \leq 13^\circ\text{C}$  [3–4, 5, 20]. Nếu hiện tượng RĐ chỉ xảy ra một ngày cũng được tính là một đợt; Trong 1 chuỗi ngày RĐ, RH mà xen kẽ có những ngày mà  $T_{tb}$  trên  $15^\circ\text{C}$  hay trên  $13^\circ\text{C}$  được tính là 1 đợt mới; Đối với những đợt RĐ, RH kéo dài từ cuối tháng 12 của năm này sang đầu tháng 1 năm tiếp theo thì đợt RĐ, RH đó sẽ được tính là 2 đợt RĐ, RH riêng.

*Xác định thời gian kéo dài của các đợt RĐ, RH:* Thời gian kéo dài của một đợt RĐ, RH được tính từ ngày bắt đầu đến ngày kết thúc của đợt RĐ, RH đó.

### 2.2.2. Phương pháp xác định đặc điểm phân bố và mức độ biến đổi của các đợt rét đậm, rét hại

Đặc điểm phân bố của số đợt RĐ, RH trung bình năm cũng như tổng số đợt RĐ, RH kéo dài từ 1 đến 3 ngày, 4 đến 6 ngày, 7 đến 9 ngày, 10 đến 12 ngày và trên 12 ngày cũng được xác định trên từng trạm.

Mức độ biến đổi của các đợt RĐ, RH được phân tích dựa vào chuẩn sai của tổng số đợt RĐ, RH của từng trạm trong thời kỳ 1981–2020 so với thời kỳ 1981–2010.

Mặc dù, những kết quả thống kê và phân tích được xác định cho 10 trạm trong vùng sông trong bài viết này chỉ đưa ra hình vẽ kết quả tính toán của một số trạm tiêu biểu.

### 2.2.3. Phương pháp xác định xu thế biến đổi của các đợt rét đậm, rét hại

Để xác định xu thế biến đổi của các đợt RĐ, RH tại từng trạm trên vùng ĐBBB trong thời kỳ 1981–2020, bài viết sử dụng hệ số Sen ( $Q$ ) và kiểm nghiệm Mann–Kendall [3, 5]. Cụ thể:

$$Q_k = \frac{x_j - x_i}{j - i} \quad (1)$$

trong đó,  $x_j$  và  $x_i$  lần lượt là tổng số đợt RĐ hay RH trong năm thứ  $j$  và  $i$  ( $j > i$ ). Với chuỗi số liệu  $n$  năm, ta sẽ xác định được  $N$  giá trị  $Q$  ( $Q_k, k = 1, 2, \dots, N$  với  $N = n(n-1)/2$ ). Từ đó,  $Q$  được xác định là trung vị của chuỗi  $N$  phần tử này. Việc xác định  $Q$  là trung vị của chuỗi sẽ giúp chúng ta loại bỏ ảnh hưởng của những sai số thô (nếu có) trong chuỗi số liệu.

$$Q = \begin{cases} \frac{Q_{N+1}}{2} & \text{Khi } N \text{ là lẻ} \\ \frac{1}{2} \left( \frac{Q_N}{2} + \frac{Q_{N+1}}{2} \right) & \text{Khi } N \text{ là chẵn} \end{cases} \quad (2)$$

Khi đó, số đợt RĐ, RH sẽ tăng lên hay giảm đi tùy thuộc vào dấu của  $Q$  có giá trị dương hay âm, còn mức độ tăng (giảm) thì phụ thuộc vào giá trị tuyệt đối của  $Q$ . Trong bài viết này, các giá trị của  $Q$  được nhân với 10 nên sẽ thể hiện tốc độ tăng (giảm) của số đợt RĐ, RH trong một thập kỷ.

Ngoài ra, xu thế biến đổi của các đợt RĐ, RH còn phân tích dựa trên giá trị trung bình của số đợt RĐ, RH kéo dài trong từng thập kỷ. Khi đó, nghiên cứu chia các đợt RĐ, RH kéo dài thành 5 khoảng thời gian khác nhau: RĐ, RH kéo dài từ 1 đến 3 ngày, 4 đến 6 ngày, 7 đến 9 ngày, 10 đến 12 ngày và trên 12 ngày.

### 2.2.4. Phương pháp xác định thời kỳ ENSO

Xác định thời kỳ ENSO: Thời kỳ ENSO được xác định dựa trên chỉ số NINO.3. Đây là dị thường nhiệt độ mặt nước biển (SSTA) vùng NINO.3 ( $5^\circ\text{N} - 5^\circ\text{S}, 150^\circ\text{W} - 90^\circ\text{W}$ ). Khi đó, một đợt El Nino hoặc La Nina là thời kỳ liên tục, kéo dài từ 6 tháng trở lên, có trị số trung bình trượt 5 tháng của chỉ số NINO.3  $\geq 0,5^\circ\text{C}$  hoặc  $\leq -0,5^\circ\text{C}$ . Các đợt El Nino hoặc La Nina mạnh được xác định khi chỉ số NINO.3  $\geq 1,5^\circ\text{C}$  hoặc  $\leq -1,5^\circ\text{C}$ . Thời kỳ có  $-0,5^\circ\text{C} < \text{SSTA} < 0,5^\circ\text{C}$  được gọi là thời kỳ không ENSO hay thời kỳ bình thường [17, 20–21].

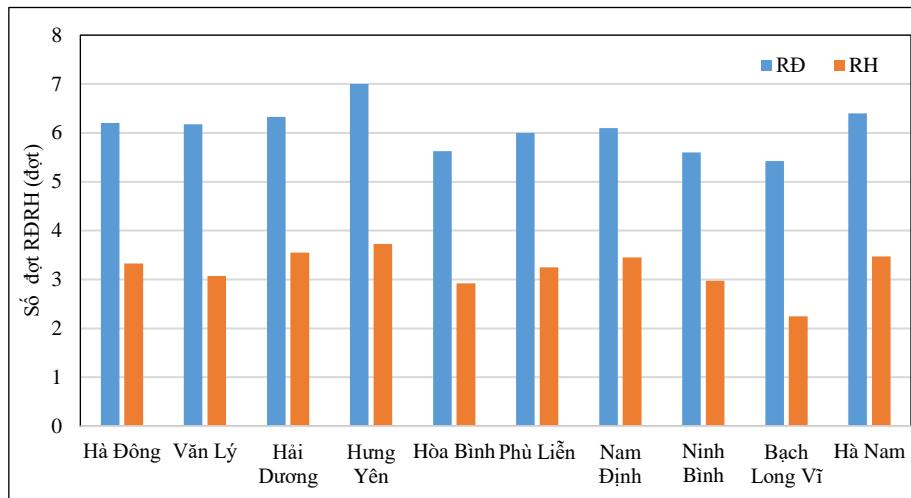
Từ đó, trong thời kỳ 1981–2020 đã xảy ra: 9 đợt El Nino và 10 đợt La Nina, trong đó có 3 đợt El Nino và 2 đợt La Nina mạnh. Thời gian kéo dài trung bình của một đợt El Nino là 12 tháng, còn 1 đợt La Nina là 18 tháng. Đợt El Nino kéo dài nhất là 19 tháng (từ 10/2014 đến 4/2016). Đợt La Nina dài nhất kéo dài 30 tháng (từ 11/2013 đến 5/1986 và 8/1998 đến 12/2000). Tuy nhiên, đợt El Nino (9/2016 đến 2/2017) và đợt La Nina (10/2005 đến 3/2006) chỉ kéo dài có 6 tháng. Hầu hết các đợt ENSO bắt đầu vào mùa hè hoặc mùa thu và kết thúc vào mùa đông hoặc mùa xuân. Thời kỳ mạnh nhất của mỗi đợt ENSO thường xảy ra vào mùa đông (từ tháng 11 đến tháng 1).



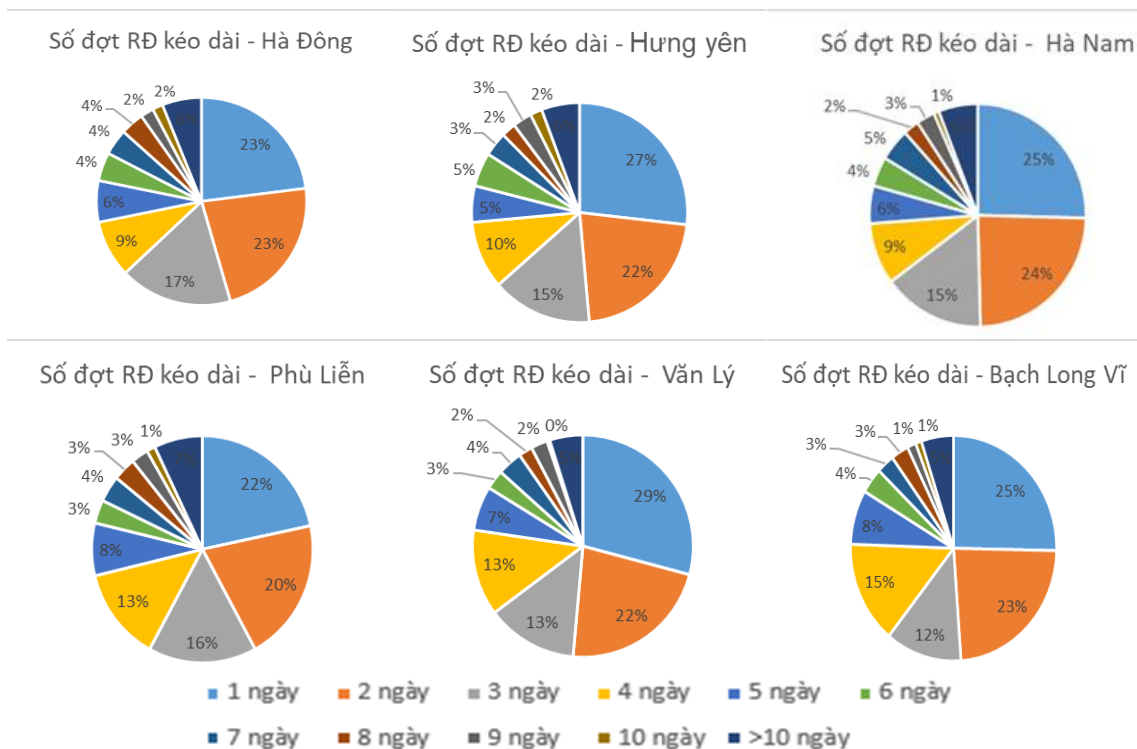
### 3. Kết quả và thảo luận

#### 3.1. Đặc điểm phân bố và mức độ biến đổi của các đợt rét đậm, rét hại

Trong thời kỳ 1981–2020, nhìn chung, số đợt RĐ, RH xảy ra tại các trạm trên vùng ĐBBB tương đối đồng đều. Trung bình mỗi năm có khoảng 6,2 đợt rét đậm và 3,2 đợt rét hại ảnh hưởng đến khu vực ĐBBB. Trong đó, số đợt RĐ, RH xảy ra nhiều nhất tại trạm Hưng Yên (trung bình khoảng 7 đợt RĐ và 3,7 đợt RH mỗi năm) và ít nhất tại trạm Bạch Long Vĩ (5,4 đợt RĐ và 2,3 đợt RH) (Hình 1).



**Hình 1.** Số đợt RĐRH trung bình năm trong thời kỳ 1981–2020.



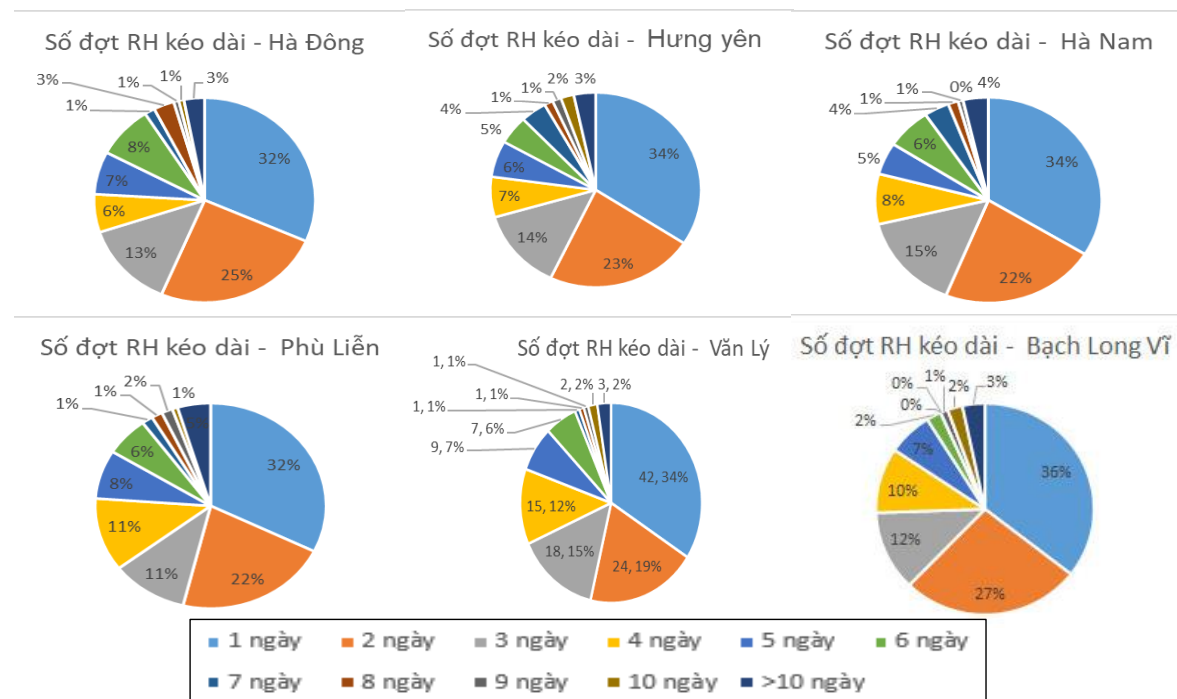
**Hình 2.** Tỷ lệ % tổng số đợt RĐ kéo dài tại các trạm trong thời kỳ 1981–2020.

Các đợt RĐRH trên khu vực thường kéo dài từ 1 đến 4 ngày. Đặc biệt, tại trạm Hà Nam và Hưng Yên xảy ra nhiều đợt RĐ, RH nhất với 166 và 178 đợt, thậm chí, số đợt RH tại trạm Hưng Yên còn lên tới 105 đợt. Trạm Bạch Long Vĩ, do chịu ảnh hưởng của khí hậu biển nên cũng có số đợt RĐ, RH ít nhất với 132 đợt RĐ và 67 đợt RH.

Các đợt RĐ kéo dài từ 4 đến 6 ngày thường nhiều hơn ở phía đông và ít hơn ở phía tây của vùng. Tuy nhiên, số đợt RH tại các trạm lại chỉ dao động từ 27–33 đợt, riêng tại trạm Bạch Long Vĩ chỉ xuất hiện 17 đợt RH kéo dài từ 4 đến 6 ngày.

Ở hầu hết các trạm trong vùng, chỉ có khoảng 20 đến 25 đợt RĐ và 3 đến 6 đợt RH kéo dài từ 7 đến 9 ngày. Số đợt RĐ, RH kéo dài từ 10 ngày trở lên biến đổi không nhiều giữa các trạm, chỉ khoảng 7–10 đợt RĐ và 3–4 đợt RH.

Phân tích tỷ lệ phần trăm số đợt RĐ, RH kéo dài từ 1 ngày, 2 ngày,... đến trên 10 ngày có thể thấy, tại hầu hết các trạm trên khu vực ĐBBB, phần lớn các đợt RĐ/RH kéo dài từ 1 đến 4 ngày, chiếm khoảng 70% tổng số đợt RĐ/RH. Đặc biệt, số đợt RH kéo dài từ 1 đến 4 ngày tại trạm Hưng Yên và trạm Bạch Long Vĩ chiếm tới 75% và 80% tổng số đợt RH. Số đợt RĐ, RH kéo dài từ 5 ngày trở lên giảm dần. Cụ thể, số đợt RĐ, RH kéo dài từ 5 đến 7 ngày chiếm khoảng 15%, từ 8 đến 10 ngày và trên 10 ngày chỉ khoảng 9 đến 10% tổng số đợt (Hình 2, Hình 3).



Hình 3. Tỷ lệ % tổng số đợt RH kéo dài tại các trạm trong thời kỳ 1981–2020.

### 3.2. Mức độ biến đổi của số ngày rét đậm, rét hại

Mức độ biến đổi của số đợt RĐ, RH được phân tích dựa trên chuẩn sai của tổng số đợt RĐ, RH trong từng năm tại các trạm trên vùng ĐBBB. Chúng được minh họa trên hình 4 đối với hai trạm Hà Đông và Hưng Yên.

Có thể thấy, số đợt RĐ, RH thường có chuẩn sai dương trong hoặc sau các thời kỳ La Nina và chuẩn sai âm trong các hoặc sau thời kỳ El Nino. Điều này cũng tương tự như nhận định của các tác giả [3, 4, 20, 21, 22] về ảnh hưởng của ENSO đến tần suất KKL cũng như số ngày RĐ, RH xảy ra trên các vùng khí hậu phía Bắc Việt Nam.

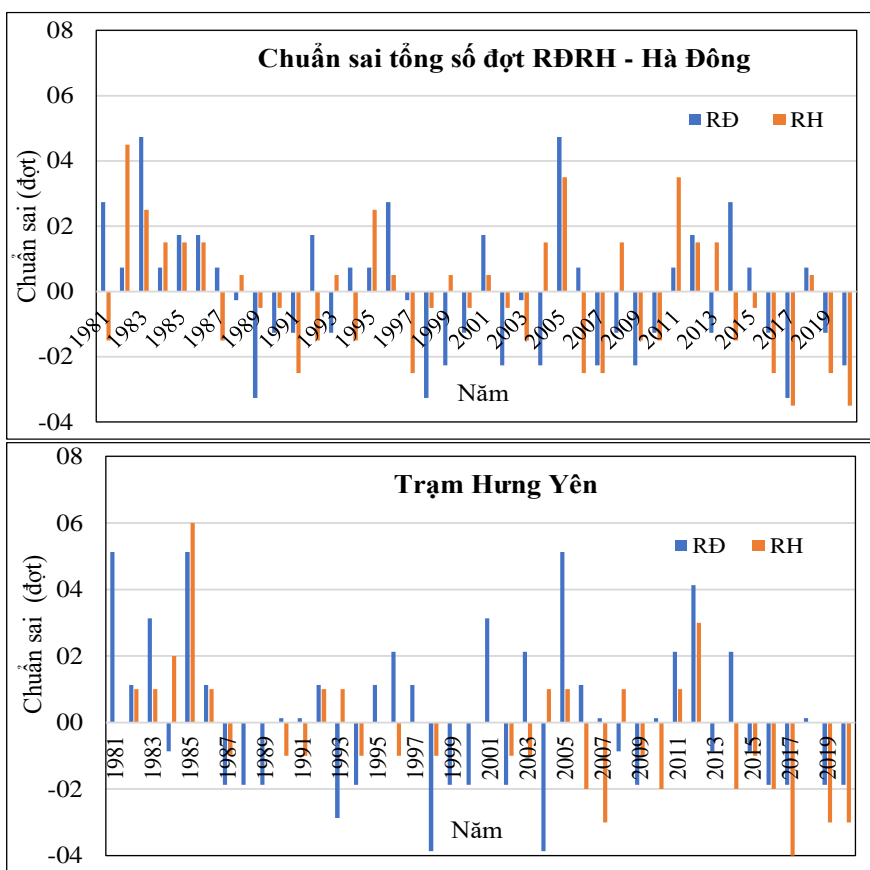
Cụ thể, số đợt RĐ, RH có chuẩn sai dương trong các năm 1982–1986, 1995–1996, 2001 và 2011–2012. Đây đều là các năm xảy ra hiện tượng La Nina hoặc sau thời kỳ La Nina. Đặc biệt, trong thời kỳ La Nina kéo dài 30 tháng (từ tháng 11/1983 đến tháng 5/1986) đã không chỉ làm tăng số đợt RĐ, RH mà trong năm 1983, chuẩn sai tại các trạm đều cao hơn trung bình nhiều năm (TBNN) từ 2 đến 5 đợt RĐ và 1 đến 4 đợt RH. Tại các trạm Hà Đông, Hà Nam, số đợt RĐ, RH còn cao hơn TBNN tới xấp xỉ 5 ngày và từ 3 đến 4 ngày tương ứng. Số đợt RĐ trong năm 1985 tại các trạm Hưng Yên, Nam Định, Ninh Bình cao hơn TBNN hơn



5 ngày (Hình 4), thậm chí còn lên tới 8 ngày tại trạm Nam Định. Số đợt RH tại trạm Phù Liên, Hải Dương cũng cao hơn TBNN trên 3 đợt, đặc biệt tại trạm Hưng Yên lên đến 6 đợt.

Tương tự đối với các đợt La Nina kéo dài 19 tháng (từ 6/1995 đến 2/1997) và đợt kéo dài 20 tháng (từ 6/2010 đến 1/2012), số đợt RĐ, RH tại các trạm trên vùng ĐBBB cũng cao hơn TBNN từ 1 đến 5 đợt và thường đạt giá trị cao hơn tại các trạm Nam Định, Ninh Bình và Bạch Long Vĩ,...

Ngay trong đợt La Nina chỉ kéo dài 6 tháng (từ 10/2005 đến 3/2006), mặc dù chỉ xuất hiện trong những tháng đầu mùa đông (2005–2006) song tại các trạm như Hà Đông, Hưng Yên, Phù Liên,.. số đợt RĐ, RH cũng cao hơn TBNN đến trên 5 đợt RĐ và 3 đợt RH (Hình 4). Tuy nhiên, có lẽ do chịu ảnh hưởng bởi các đợt El Nino mạnh kéo dài 13 tháng (từ 5/1997 đến 5/1998) và đợt trong các đợt La Nina (từ 4/1988 đến 7/1989, từ 8/1998 đến 12/2000 và từ 10/2014 đến 4/2016) nên trong thời kỳ La Nina sau đó (từ 8/1998 đến 12/2000 và 9/2017 đến 4/2018), số đợt RĐ, RH vẫn thấp hơn TBNN từ 1 đến 4 đợt. Số đợt RĐ, RH chỉ tăng ngay sau thời kỳ La Nina (năm 2001) với giá trị chuẩn sai tại các trạm cao hơn TBNN từ 2 đến 4 đợt. Hơn nữa, số đợt RĐ, RH trong năm 2020 (năm La Nina) cũng thấp hơn TBNN khoảng 1 đến 4 đợt.



**Hình 4.** Chuẩn sai của số đợt RĐ, RH trên vùng ĐBBB trong thời kỳ 1981–2020.

Ngược lại, số đợt RĐ tại các trạm trong các thời kỳ El Nino đều thấp hơn TBNN từ 1 đến 4 đợt (trung bình khoảng 2 đến 3 đợt). Tuy nhiên, số đợt RH thì biến đổi ít hơn, chỉ giảm khoảng 1 đến 3 đợt, hoặc còn cao hơn TBNN ở một số trạm. Đặc biệt, trong những mùa đông sau các thời kỳ El Nino (từ 10/1986 đến 1/1988, từ 5/1997 đến 5/1998, từ 10/2014 đến 4/2016 và 10/2018 đến 4/2019), số đợt RĐ đều giảm, thậm chí còn giảm mạnh hơn trong thời kỳ El Nino xảy ra trước đó. Riêng trong đợt El Nino mạnh kéo dài 14 tháng (từ 6/1982 đến 8/1983), số đợt RĐ, RH lại cao hơn TBNN khoảng 1 đến 2 đợt. Trong đó, số đợt RH trong năm 1982 tại các trạm Hòa Bình, Hải Dương cao hơn TBNN trên 3 đợt và lên tới xấp xỉ 5 đợt tại trạm Hà Đông (Hình 4).

### 3.3 Xu thế biến đổi của số đợt rét đậm, rét hại trong thời kỳ 1981–2020

Xu thế biến đổi của số đợt RĐ, RH trong từng thập kỷ được biểu diễn trong bảng 2. Có thể thấy, trong thời kỳ 1981–2020, số đợt RĐ tại các trạm trên vùng ĐBBB có xu thế giảm chậm từ 0,3 đến 0,5 đợt/thập kỷ, song chỉ có xu thế biến đổi tại các trạm Hà Đông, Hòa Bình và Hà Nam đạt mức tin cậy trên 90%. So với số đợt RĐ, số đợt RH tại các trạm (trừ trạm Bạch Long Vĩ) có xu thế giảm mạnh hơn (từ 0,4 đến 0,7 đợt/thập kỷ) và đều đạt mức tin cậy trên 90%. thậm chí, xu thế biến đổi tại các trạm từ Hà Đông đến Hải Dương (Bảng 2) đều đạt mức tin cậy trên 95%. Tuy nhiên, xu thế biến đổi số đợt RĐ, RH tại trạm Bạch Long Vĩ và số đợt RĐ tại các trạm Nam Định, Hưng Yên, Hải Dương, Ninh Bình không rõ ràng và cũng chưa đạt mức tin cậy 90% (Bảng 2). Sự giảm của số đợt RĐ, RH cũng phù hợp với sự giảm của số đợt lạnh bất thường [1–2] và số ngày RĐ, RH [3, 4, 5, 16, 17, 20] cũng như sự tăng của nhiệt độ [3, 4, 5, 14, 15, 16, 17, 18, 20] ở các vùng khí hậu phía Bắc trong một số nghiên cứu trước đó.

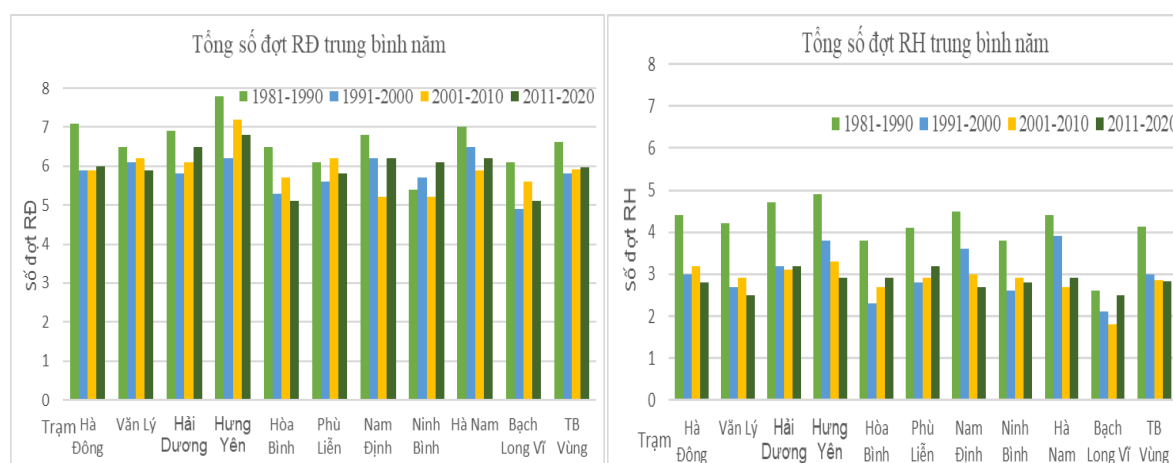
**Bảng 2.** Xu thế biến đổi của số đợt RĐ, RH trong từng thập kỷ.

STT	Tên trạm	Số đợt RĐ	Số đợt RH
1	Hà Đông	–0,54	–0,63
2	Hòa Bình	–0,31	–0,36
3	Hà Nam	–0,51	–0,70
4	Nam Định	0,00	–0,68
5	Văn Lý	–0,30	–0,49
6	Hưng Yên	0,00	–0,69
7	Hải Dương	0,00	–0,54
8	Phù Liễn	–0,30	–0,37
9	Ninh Bình	0,00	–0,36
10	Bạch Long Vĩ	0,00	0,00

Chú thích: Các giá trị đạt độ tin cậy trên 90% (tô đậm).

### 3.4 Sự biến đổi của số đợt rét đậm rét hại trong từng thập kỷ

Sự biến đổi của tổng số đợt RĐ, RH trung bình mỗi năm trong từng thập kỷ, thời kỳ 1981–2020 được biểu diễn trên Hình 5.

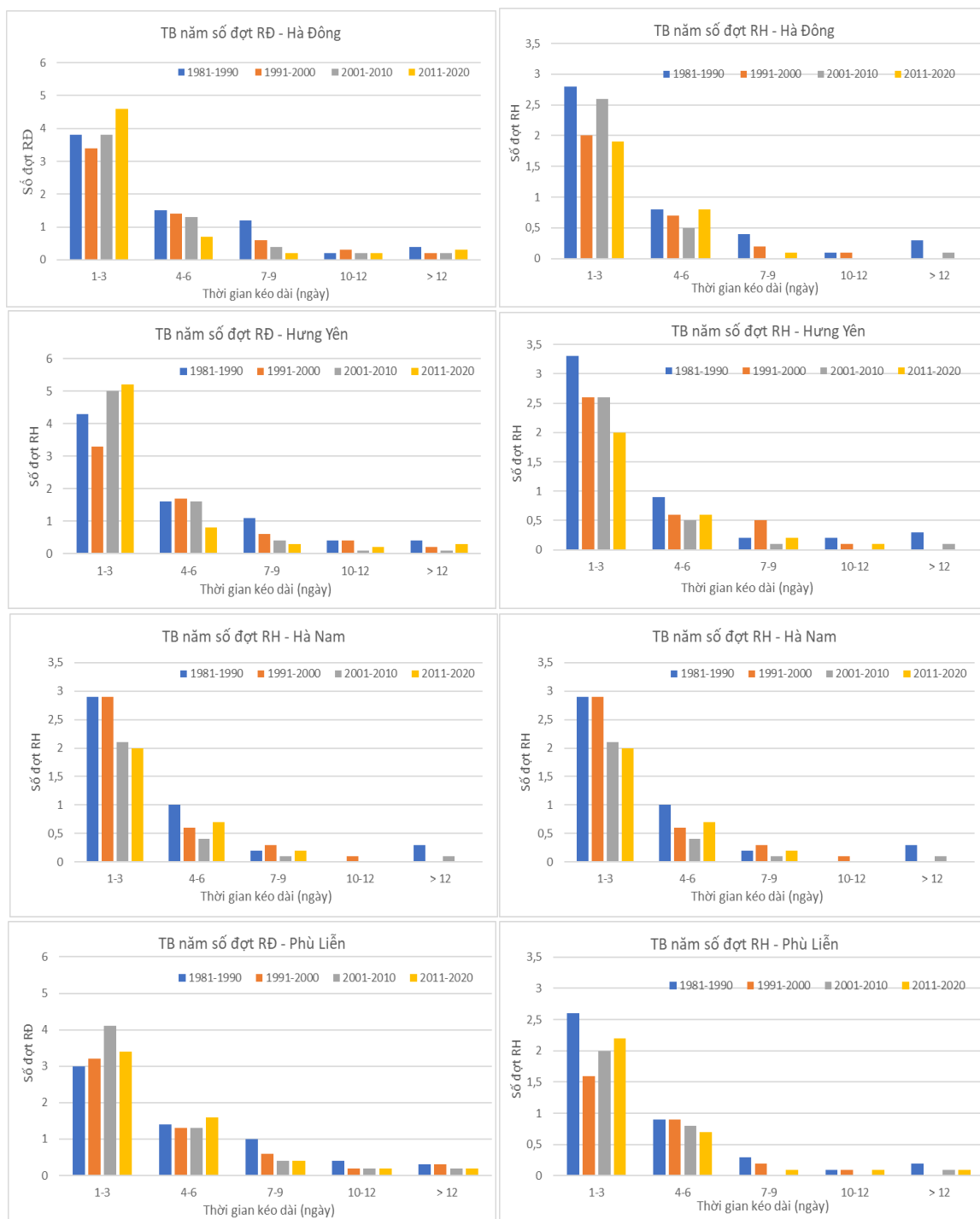


**Hình 5.** Tổng số đợt RĐ, RH trung bình năm trong từng thập kỷ tại các trạm vùng ĐBBB.

Nhìn chung, số đợt RĐ, RH trung bình năm có giá trị cao nhất trong thập kỷ đầu (1981–1990) với khoảng 7 đợt RĐ/năm và xấp xỉ 5 đợt RH/năm. Trong các thập kỷ sau, số đợt RĐ và RH tuy có xu thế giảm hoặc biến đổi không nhiều, song ở một số trạm như Hưng Yên, Hải Dương, Phù Liễn,... chúng lại tăng lên trong hai thập kỷ cuối.



Tổng số đợt RĐ, RH trung bình năm trong từng thập kỷ tương ứng với thời gian kéo dài của chúng được biểu diễn trên Hình 6. Có thể thấy, số đợt RĐ tại hầu hết các trạm có xu thế biến đổi tăng trong một hoặc hai thập kỷ gần đây (đối với đợt RĐ kéo dài từ 1 đến 3 ngày và từ 10 ngày trở lên) nhưng lại có xu thế giảm dần qua các thập kỷ (đối với các đợt RĐ kéo dài từ 4 đến 9 ngày). Riêng tại trạm Phù Liên và Bạch Long Vĩ, trong thập kỷ cuối, số đợt RĐ kéo dài từ 1 đến 3 ngày thì giảm nhưng lại tăng số đợt RĐ kéo dài từ 4 đến 6 ngày (Hình 6).



Hình 6. Số đợt RĐ (trái), RH (phải) kéo dài trung bình năm trong từng thập kỷ.

Tương tự, số đợt RH cũng có xu hướng giảm qua từng thập kỷ song tại trạm Bạch Long Vĩ và Phù Liên, số đợt RH cũng có xu thế tăng trong thập kỷ cuối (đối với các đợt RH kéo dài từ 1 đến 3 ngày). Tuy nhiên, các đợt RH kéo dài từ 4 đến 6 ngày lại có xu thế tăng lên trong thập kỷ cuối (trừ trạm Phù Liên và Văn Lý) (Hình 6).

Như vậy, số đợt RĐ, RH tại các trạm trên vùng ĐBBB đang có xu hướng giảm song các đợt RĐ, RH kéo dài từ 1 đến 6 ngày và trên 10 ngày thường có xu thế tăng trong thập kỷ cuối (2011–2020). Nhìn chung, mức độ tăng giảm số đợt RĐ, RH không nhiều (chỉ nhỏ hơn 1 đợt/thập kỷ) và biến đổi rất ít đối với các đợt RĐ, RH kéo dài từ 10 ngày trở lên (Hình 6).

#### 4. Kết luận

Sự biến đổi của hiện tượng RĐ, RH trên khu vực ĐBBB được phân tích dựa trên số liệu quan trắc của Ttb ngày tại 10 trạm trên khu vực trong thời kỳ 1981–2020. Kết quả cho thấy rằng, trung bình mỗi năm có khoảng 6.2 đợt rét đậm và 3.2 đợt rét hại xảy ra trên vùng ĐBBB. Chúng có xu thế giảm khoảng 0,3 đến 0,5 đợt RĐ/thập kỷ và khoảng 0,4 đến 0,7 đợt RH/thập kỷ. Trong những năm trước hoặc sau thời kỳ La Nina, RĐ, RH thường xảy ra nhiều hơn so với TBNN tương ứng từ 2 đến 5 đợt RĐ và 1 đến 4 đợt RH. Ngược lại, số đợt RĐ, RH giảm khoảng 1 đến 4 đợt trong những năm trong và sau thời kỳ El Nino. Có khoảng trên 70% số đợt RĐ, RH kéo dài 1–4 ngày, 15% số đợt RĐ, RH kéo dài từ 5 đến 7 ngày và chỉ khoảng 10% đối với các đợt RĐ, RH kéo dài từ 8 ngày trở lên. Số đợt RĐ, RH thường giảm dần trong thời kỳ 1981–2010, song đối với các đợt kéo dài từ 1 đến 3 ngày và trên 10 ngày thì có xu thế tăng trong thập kỷ 2011–2020. Mức độ tăng giảm số đợt RĐ, RH trong từng thập kỷ không nhiều, nhất là đối với các đợt RĐ, RH kéo dài từ 10 ngày trở lên.

Có thể nói, hiện tượng RĐ, RH trên mỗi khu vực nói chung và vùng ĐBBB nói riêng không chỉ chịu ảnh hưởng của các hệ thống hoàn lưu mà chế độ bức xạ, sự biến đổi của lương mây, mưa, sự nóng lên toàn cầu hay quá trình đô thị hóa cũng sẽ là những nhân tố quan trọng. Do đó, những nguyên nhân gây các đợt RĐ, RH kéo dài cần được nghiên cứu thêm trong tương lai.

**Đóng góp của tác giả:** Xây dựng ý tưởng và lựa chọn phương pháp nghiên cứu: C.T.T.H.; Phân tích và xử lý số liệu: N.V.T.T.; Viết bản thảo và chỉnh sửa bài báo: C.T.T.H.

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

#### Tài liệu tham khảo

1. Hòa, V.V.; Tuấn, V.A.; Khiêm, N.V.; Hoài, N.T.T.; An, N.V. Nghiên cứu xác định các đợt lạnh bất thường trong các tháng chính đông trên khu vực Bắc Bộ trong giai đoạn 1979–2017. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* **2009**, 582, 50–59.
2. Hòa, V.V. và cộng sự. Nghiên cứu tác động của BĐKH tới sự xâm nhập của các đợt lạnh và nóng ẩm bất thường trong mùa đông ở khu vực miền núi phía Bắc phục vụ phát triển kinh tế – xã hội. Báo cáo tổng kết Đề tài NCKH cấp NN. Tháng 12/2020. 290tr.
3. Tân, P.V. và cộng sự. Nghiên cứu tác động của biến đổi khí hậu toàn cầu đến các yếu tố và hiện tượng khí hậu cực đoan ở Việt Nam, khả năng dự báo và giải pháp chiến lược ứng phó. Đề tài nghiên cứu khoa học cấp Nhà nước, Bộ Khoa học Công nghệ, Tháng 12/2010.
4. Hương, P.T.T. và cs. Nghiên cứu khả năng dự báo các hiện tượng thời tiết cực đoan trong gió mùa mùa đông ở miền Bắc Việt Nam. Đề tài nghiên cứu khoa học và phát triển công nghệ. Bộ Tài nguyên và Môi trường, 2012.
5. Hường, C.T.T. Nghiên cứu tác động của biến đổi khí hậu toàn cầu đến một số cực trị khí hậu và hiện tượng khí hậu cực đoan ở Việt Nam. Luận án Tiến sĩ Địa lý. Viện Khoa học Khí tượng Thủy văn và Biến đổi Khí hậu. Bộ Giáo dục và Đào tạo, 2/2015.
6. Hansen, J.; Ruedy, R.; Sato, M.K.L. Global surface temperature change. *Rev. Geophys.* **2010**, 48, RG4004.



7. Bộ Tài nguyên và Môi trường. Kịch bản biến đổi khí hậu, nước biển dâng cho Việt Nam. Bộ Tài nguyên và Môi trường. Nhà xuất bản Tài nguyên Môi trường và Bản đồ Việt Nam, 2020.
8. Manton, M.J.; Della-Marta, P.M.; Haylock, M.R.; Hennessy, K.J.; Nicholls, N.; ChahPaers, L.E.; Collins, D.A.; Daw, G.; Finet, A.; Gunawan, D.; Inape, K.; Isobe, H.; Kestin, T.S.; Lefale, P.; Leyu, C.H.; Lwin, T.; Maitrepierre, L.; Ouprasitwong, N.; Page, C.M.; Pahalad, J.; Plummer, N.; Salinger, M.J.; Salinger, Suppiah, R.; Tran, V.L.; Trewin, B.; Tibig, I.; Yee, D. Trends in extreme daily rainfall and temprature in Southeast Asia and the south pacific: 1961–1998. *Int. J. Climatol* **2001**, *21*, 269–284.
9. Vincent, L.A.; Peterson, T.C.; Barros, V.R.; Marino, M.B.; Rusticucci, M.; Carrasco, G.; Ramirez, E.; Alves, L.M.; AhParizzi, G.; Berlato, M.A.; Grimm, A.M.; Marengo, J.A; Molion, A.; Moncunili, D.F.; Rebello, G. Observed Trends in Indices of Daily Temperature Extremes in South America 1960–2000. *J. Clim.* **2005**, *18*, 5011–5023.
10. Dash, S.K.; Mamgain, A. Changes in the Frequency of Different Categories of Temperature Extremes in India. *J. Appl. Meteor. Climatol.* *50*, 1842–1858.
11. Toreti, A.; Desiato, F. Temperature trends over Italy from 1961 to 2004. *Theor. Appl. Climatol.* **2011**, *91*, 81–88.
12. Zhai, P.; Pan, X. Trends in temperature extremes during 1951–1999 in China. *Geophys. Res. Lett.* **2003**, *30(17)*, 1–4.
13. Bulygina, O.N.; Razuvaev, V.N.; Korshunova, N.N.; Groisman, P.Ya. Climate variations and changes in extreme climate events in Russia. *Environ. Res. Lett.* **2007**, *2*, 1–7.
14. Lành, N.V. Một số kết quả nghiên cứu về sự biến đổi khí hậu trên khu vực Việt Nam. *Tap chí Khí tượng Thủy văn* **2007**, *560*, 33–38.
15. Thăng, N.V.; Hiệu, N.T.; Thục T. Biến đổi khí hậu và tác động ở Việt Nam. Viện Khoa học Khí tượng Thủy văn và Môi trường. Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật, 2010.
16. Hằng, V.T.; Hằng, P.T.L.; Tân, P.V. Sự biến đổi của hiện tượng rét đậm, rét hại ở các vùng khí hậu Việt Nam. *Tap chí Khoa học ĐHQGHN, Khoa học Tự nhiên và Công nghệ* **2010**, *3S*, 334–343.
17. Ngử, N.Đ. và cs. Tác động của ENSO đến thời tiết, khí hậu, Môi trường và kinh tế – xã hội ở Việt Nam, Đề tài nghiên cứu khoa học độc lập cấp Nhà nước, Tổng cục Khí tượng Thủy văn, 2002.
18. 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 – Đại học tự nhiên và Công nghệ* **2009**, 412–422.
19. Ngà, P.T.; Hòa, V.V. Đặc điểm hoạt động của không khí lạnh trên khu vực đồng bằng Bắc Bộ trong giai đoạn 1997–2017. *Tap chí Khí tượng Thủy văn* **2018**, *690*, 23–32.
20. Hường, C.T.T.; Tân, P.V. Ảnh hưởng của ENSO đến số ngày rét đậm trên các vùng khí hậu phía bắc Việt Nam. *Tap chí Khoa học Tài nguyên và Môi trường* **2014**, *5*, 3–11.
21. Hường, C.T.T.; Bình, H.T. Nghiên cứu ảnh hưởng của ENSO đến tần suất và cường độ không khí lạnh. *Tap chí Khoa học Tài nguyên và Môi trường* **2020**, *34*, 138–147.
22. Hòa, V.V.; Hà, L.T.T. Nghiên cứu mối quan hệ giữa số đợt lạnh bất thường với hiện tượng ENSO trên khu vực Bắc Bộ Việt Nam. *Tap chí Khí tượng Thủy văn* **2020**, *714*, 30–39.

## **Changes in the number of cold and extreme cold spells occurring in the Northern Delta region in the period 1981–2020**

**Chu Thi Thu Huong<sup>1\*</sup>, Nguyen Van Tam Tan<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Hanoi University of Natural Resources and Environment; ctthuong@hunre.edu.vn

<sup>2</sup> Vietnam Air Flight Management Corporation; nguyenvantamtan@gmail.com

**Abstract:** Study on the change in the number of cold (RD) and extreme cold (RH) spells based on the average daily temperature (Ttb) at 10 meteorological stations in the Northern Delta (DBBB) shows that, on average, there are about 6.2 RD spells and 3.2 RH spells each year. The RD and RH mainly lasted 1–4 days (accounting for about 70%), concentrated in the central area of the region. They tend to decrease about 0.3 to 0.5 RD spells/decade and 0.5 RH spells/decade. In recent years, they tend to be lower than the average state. At most stations, the number of RD and RH spells usually decreased gradually from the decade 1981–1990, but increased in the decade 2011–2020 (for periods lasting from 1 to 3 days and over 10 days). The degree of increase and decrease in the number of RD and RH spells in each decade is not much, especially for the RD and RH spells lasting 10 days or more. The number of RD and RH spells usually increases (during and after La Nina period) and decreases (during and after El Nino period).

**Keywords:** The number of cold and extreme cold spells; Northern Delta; ENSO.

Bài báo khoa học

# Mô hình dự đoán độ thấm từ dữ liệu phân tích mẫu lõi bằng phương pháp HFU và MICP cho tập cát kết thuộc tầng Miocen, mỏ Alpha, bể Nam Côn Sơn

Phan Ngọc Quốc<sup>1, 2, 3</sup>, Phùng Đại Khánh<sup>2, 3 \*</sup>

<sup>1</sup> Viện Dầu Khí Việt Nam; quocpn.vpilabs@vpi.pvn.vn

<sup>2</sup> Bộ môn Khoan – Khai thác dầu khí, Khoa Kỹ thuật Địa chất & Dầu khí, Trường Đại học Bách Khoa Tp. Hồ Chí Minh; phungdaikhanh@hcmut.edu.vn

<sup>3</sup> Đại học Quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh; phungdaikhanh@hcmut.edu.vn

\*Tác giả liên hệ: phungdaikhanh@hcmut.edu.vn; Tel: +84–918336685

Ban biên tập nhận bài: 2/6/2022; Ngày phản biện xong: 8/7/2022; Ngày đăng bài: 25/8/2022

**Tóm tắt:** Trong nghiên cứu này, dữ liệu độ rỗng, độ thấm từ tập cát kết tầng Miocen, mỏ Alpha thuộc bể Nam Côn Sơn được thu thập, phương pháp đơn vị dòng chảy thủy lực (HFU) được áp dụng để phân chia vỉa chứa thành các đơn vị dòng chảy. Từ mối quan hệ rỗng–thấm tương ứng trong mỗi đơn vị dòng chảy có thể thiết lập được công thức dự đoán độ thấm. Ngoài ra, dựa trên dữ liệu phân tích áp suất mao dẫn bơm ép thủy ngân (MICP), thông số R35 được kết hợp với số liệu độ rỗng, độ thấm để xây dựng công thức thực nghiệm cũng cho phép ước tính độ thấm. Kết quả dự đoán độ thấm của các mô hình từ phương pháp HFU và MICP đều cho ra các kết quả dự đoán có độ tin cậy cao hơn so với mô hình rỗng thấm truyền thống. So sánh sự thay đổi độ thấm theo độ sâu của các giếng khoan trong khu vực nghiên cứu, độ thấm dự đoán từ hai phương pháp cho kết quả khớp với số liệu độ thấm đo được trên mẫu lõi. Do đó, mô hình dự đoán độ thấm kết hợp phương pháp HFU và MICP có thể được áp dụng vào thực tiễn giúp nâng cao hiệu quả của công tác dự đoán độ thấm trong khu vực mỏ Alpha.

**Từ khóa:** Dự đoán độ thấm; HFU; MICP; R35.

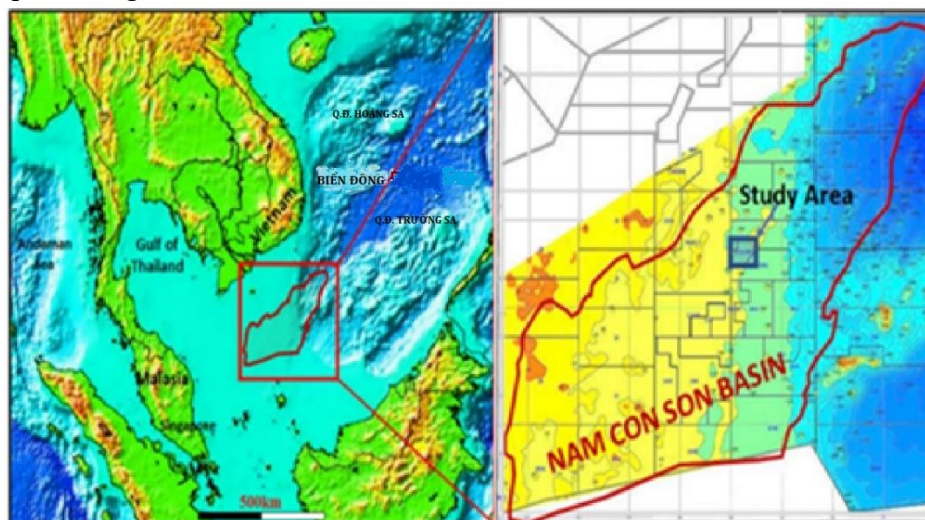
## 1. Mở đầu

Độ thấm là một thông số quan trọng để đánh giá chất lượng vỉa chứa và xây dựng mô hình mỏ dầu khí. Thông thường, độ thấm được xác định từ phân tích mẫu lõi tiêu chuẩn (*Routine Core Analysis – RCA*) trong phòng thí nghiệm. Do việc lấy mẫu lõi khá hạn chế và chỉ một số đoạn ngắn được chọn cho một giếng khoan, một giải pháp thường được áp dụng là dự đoán độ thấm theo mô hình rỗng thấm truyền thống. Tuy nhiên, giải pháp này chỉ có thể áp dụng cho các vỉa chứa cát kết đồng nhất, đối với các vỉa chứa có tính bất đồng nhất cao hoặc có hệ thống kênh rỗng phức tạp việc áp dụng mô hình rỗng thấm truyền thống cho kết quả dự đoán độ thấm có độ tin cậy không cao. Mục tiêu của nghiên cứu nhằm xây dựng các mô hình dự đoán độ thấm có độ tin cậy cao và ít sai số so với kết quả đo được trên mẫu lõi bằng cách áp dụng phương pháp HFU và MICP.

Bể Nam Côn Sơn (NCS) (Hình 1) là bể chứa có trữ lượng dầu khí lớn thứ hai chỉ sau bể Cửu Long và là bể chứa có sản lượng khai thác khí lớn nhất tại Việt Nam [1], vì thế các hoạt động thăm dò và khai thác ở bể NCS có đóng góp rất lớn cho nền công nghiệp dầu khí trong nước. Tuy nhiên, các vỉa chứa cát kết thuộc bể NCS thường có tính bất đồng nhất cao, đặc



biệt là tập cát kết tầng Miocen [2]. Do đó, việc dự đoán độ thấm một cách chính xác có ý nghĩa rất quan trọng.

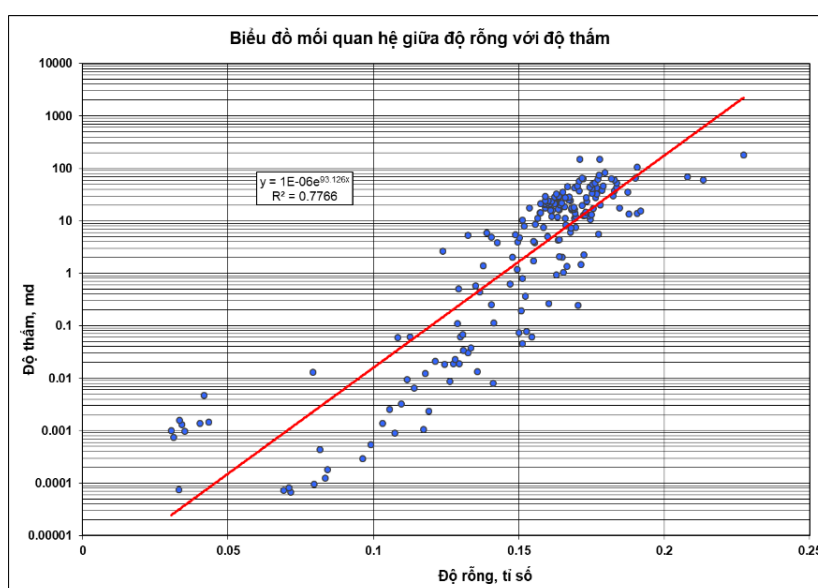


Hình 1. Bản đồ khu vực nghiên cứu [3].

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

### 2.1. Cơ sở dữ liệu

Dữ liệu phân tích mẫu lõi tiêu chuẩn gồm độ rỗng, độ thấm được thực hiện trên 189 mẫu lõi hình trụ. Các mẫu này được thu thập từ 2 giếng khoan Alpha-1, Alpha-2 thuộc tầng Miocen, mỏ Alpha, bồn trũng Nam Côn Sơn. Cụ thể, 117 mẫu hình trụ thuộc giếng khoan Alpha-1 và 72 mẫu hình trụ thuộc giếng khoan Alpha-2 được tiến hành phân tích độ rỗng trên thiết bị UltraPore-300<sup>TM</sup> và CMS-300, độ thấm được thực hiện trên thiết bị GasPerm. Kết quả cho thấy tập hợp mẫu là cát kết, cát sét xen kẹp hạt mịn đến hạt trung có độ rỗng giao động trong khoảng 3,0–22,7%, độ thấm nằm trong khoảng 0.00007–182 md. Dựa trên biểu đồ (Hình 2) có thể thấy rằng mối quan hệ rỗng thấm từ dữ liệu phân tích mẫu lõi là không tuyến tính, thể hiện các mối quan hệ phức tạp do sự thay đổi chất lượng đá chứa và cho thấy tính bất đồng nhất cao của vỉa chứa tầng Miocen thuộc mỏ Alpha. Ngoài ra, 32 mẫu vụn từ 2 giếng khoan Alpha-1, Alpha-2 cũng được phân tích MICP để khảo sát kích thước hòng kênh rỗng của đá chứa cho khu vực nghiên cứu.



Hình 2. Mối quan hệ giữa độ rỗng với độ thấm trong tập hợp 189 mẫu thuộc mỏ Alpha.

### 2.2. Mô hình thấm-rỗng theo HFU

Đối với các vỉa chứa có tính chất bất đồng nhất, cần thiết phải phân chia vỉa chứa thành các đơn vị dòng chảy riêng biệt có đặc trưng về mặt địa chất, phân bố kích thước kênh rỗng cũng như khả năng cho dòng và các tính chất này có thể dự báo được [4]. [5] đã đề xuất phương pháp xác định quan hệ độ thấm-độ rỗng theo từng đơn vị thủy lực dòng chảy, đồng thời cũng đưa ra các khái niệm chỉ số chất lượng đá chứa và chỉ số vùng chảy dựa trên công thức Carman-Kozeny [6]:

$$k = \frac{1}{F\tau^2 S^2_{gv}} \frac{\varphi_e^3}{(1-\varphi_e^2)} \quad (1)$$

Từ công thức (1) có thể viết lại như sau:

$$0,0314 \sqrt{\frac{k}{\varphi_e}} = \frac{\varphi_e}{1-\varphi_e} \frac{1}{\sqrt{F_s \tau S_{gv}}} \quad (2)$$

Trong đó F là yếu tố hình dạng;  $\tau^2$  là độ uốn khúc;  $S_{vg}$  là diện tích bề mặt trên thể tích hạt,  $\mu\text{m}^{-1}$ ; k là độ thấm ( $\mu\text{m}^2$ );  $\Phi_e$  là độ rỗng hiệu dụng, tỉ số; 0,0314 là căn bậc 2 của yếu tố chuyển đổi từ  $\mu\text{m}^2$  sang md.

Chỉ số chất lượng đá chứa RQI (*reservoir quality index*):

$$RQI = 0.0314 \sqrt{\frac{k}{\varphi_e}} \quad (3)$$

Chỉ số vùng chảy FZI (*flow zone indicator*):

$$FZI = \frac{1}{\sqrt{F_s \tau S_{gv}}} \quad (4)$$

Từ phương trình (2), (3), (4) có:

$$RQI = FZI(\varphi_z) \quad (5)$$

$$\text{Với} \quad \varphi_z = \frac{\varphi_e}{1-\varphi_e} \quad (6)$$

Phương pháp này dựa vào số liệu độ rỗng, độ thấm từ phân tích RCA sẽ xác định được các thông số RQI,  $\Phi_z$ , FZI. Các mẫu có giá trị FZI như nhau sẽ cùng thuộc về một HFU, độ thấm của một mẫu cụ thể được tính bằng giá trị chỉ số vùng chảy trung bình ( $FZI_{avg}$ ) của HFU và độ rỗng của mẫu, theo công thức:

$$k = 1014(FZI_{avg})^2 \left( \frac{\varphi_e^3}{(1-\varphi_e)^2} \right) \quad (7)$$

### 2.3. Mô hình thấm-rỗng theo MICP

Phân tích MICP được thực hiện trên thiết bị Autopore IV (Hình 3), điểm nổi bật của phương pháp này là có thể tạo được áp suất bơm ép thủy ngân rất cao lên tới 60.000 psi và thu được lượng lớn dữ liệu kích thước họng kênh rỗng trong khoảng từ 0,003 đến 360  $\mu\text{m}$ . Washburn đã đưa ra công thức mô tả mối quan hệ giữa áp suất đẩy và kích thước họng kênh rỗng nhỏ nhất được thủy ngân xâm nhập [7]:

$$r = \frac{C2\gamma \cos \theta}{P_c} \quad (8)$$

Trong đó r là bán kính họng kênh rỗng ( $\mu\text{m}$ );  $P_c$  là áp suất mao dẫn (psi); C là hệ số chuyển đổi đơn vị;  $\gamma$  là sức căng bề mặt của thủy ngân (480 dynes/cm);  $\theta$  là góc dính ướt (140 độ);

[8] đã phát triển một công thức thực nghiệm từ mối quan hệ giữa độ rỗng, độ thấm và kích thước họng kênh rỗng tương ứng với điểm bão hòa thủy ngân 35% (R35) cho một tập hợp mẫu gồm đá cát kết và đá cacbonate. Thông số R35 (Hình 4) có ảnh hưởng lớn tới khả năng cho dòng qua môi trường rỗng, do đó R35 được xem là chỉ báo định lượng cho kênh rỗng lớn nhất và có tính kết nối nhất. Công thức Winland như sau:

$$\text{Log}(R35) = 0.732 + 0.588 \times \text{Log}(k) - 0.864 \times \text{Log}(\varphi) \quad (9)$$

Trong đó R35 là bán kính họng kênh rỗng tại điểm bão hòa thủy ngân 35% ( $\mu\text{m}$ ); k là độ thấm khí (md);  $\phi$  là độ rỗng (%).

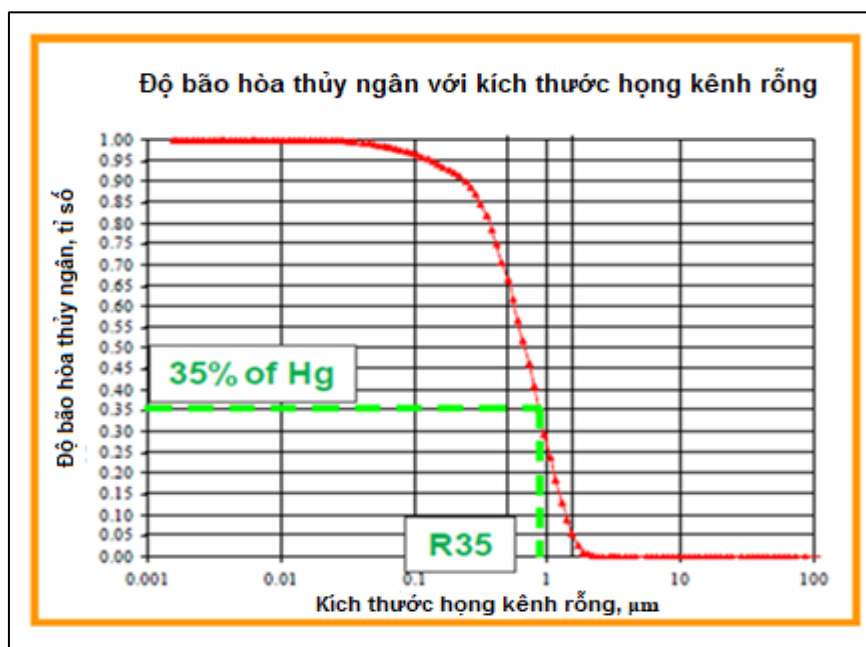
Dựa trên mô hình của Winland, có thể được xây dựng công thức thực nghiệm để ước tính độ thấm trên mối quan hệ giữa R35 với độ rỗng, độ thấm cho một tập hợp mẫu phân tích MICP, như sau:

$$\text{Log}(k) = a + b \times \text{Log}(\varphi) + c \times \text{Log}(R35) \quad (10)$$

Trong đó a, b, c là các nghiệm của phương trình hồi quy.



**Hình 3.** Thiết bị bơm ép thủy ngân áp suất cao Autopore IV.



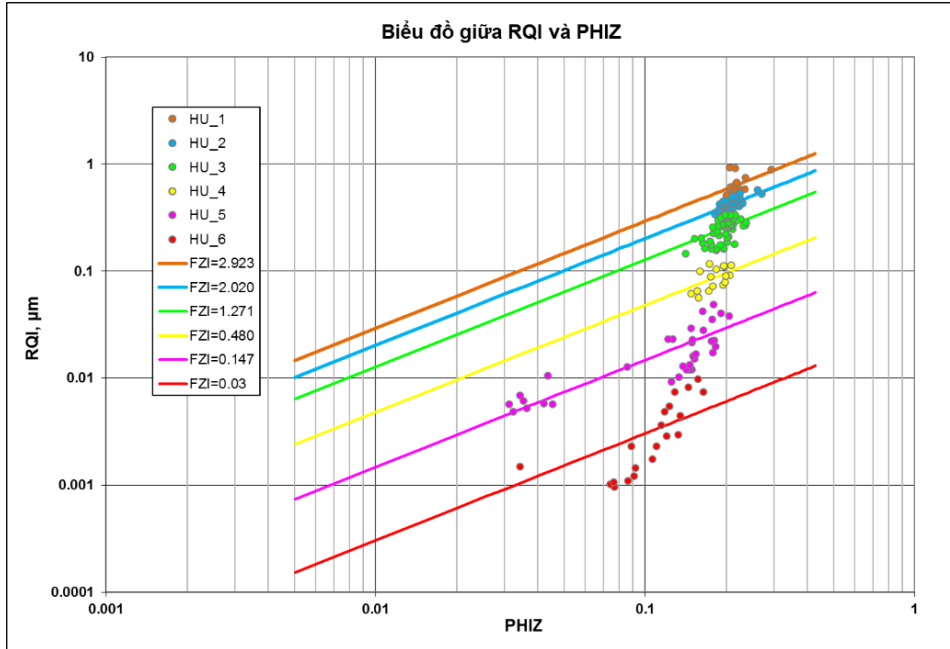
**Hình 4.** R35 trên biểu đồ kích thước kênh rỗng và độ bão hòa thủy ngân [8].

### 3. Kết quả và thảo luận

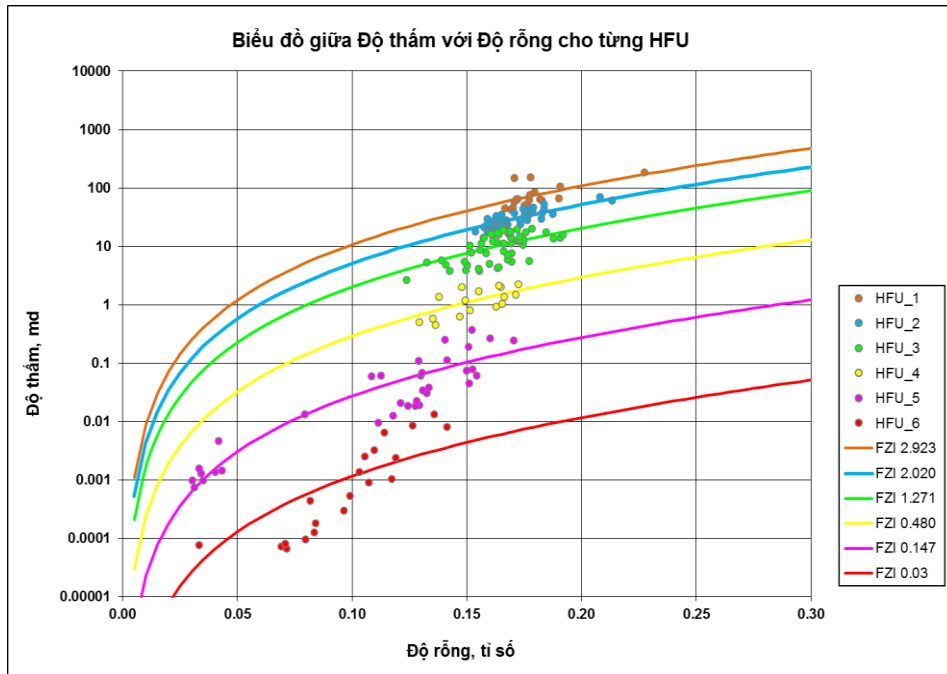
#### 3.1. Dự đoán độ thấm theo mô hình thấm-rỗng theo HFU

Dựa trên số liệu độ rỗng, độ thấm của tập hợp 189 mẫu, tính toán được các thông số liên quan đến kênh rỗng như  $\Phi_z$ , RQI, FZI. Từ đó, có thể xác định được các đơn vị dòng chảy thủy lực và giá trị FZI trung bình tương ứng với mỗi đơn vị dòng chảy thủy lực đó. Hình 5

thể hiện mối quan hệ giữa RQI với  $\Phi_z$  tương ứng với từng HFU, theo đó xác định được 6 HFU có các giá trị FZI trung bình lần lượt: 0,03; 0,147; 0,48; 1,274; 2,020; 2,923 (Bảng 1). Có thể thấy rằng các HFU có giá trị FZI lớn sẽ có chất lượng vừa cao và có khả năng cho dòng tốt hơn các HFU có giá trị FZI thấp. Trong từng HFU, độ thấm được ước tính dựa vào mối quan hệ giữa độ rỗng với độ thấm theo công thức (7), cũng được thể hiện trong Bảng 1. Mối quan hệ giữa độ rỗng với độ thấm cho từng HFU cũng được thể hiện trong Hình 6.



Hình 5. Mối quan hệ giữa RQI với  $\Phi_z$  tương ứng với từng HFU.



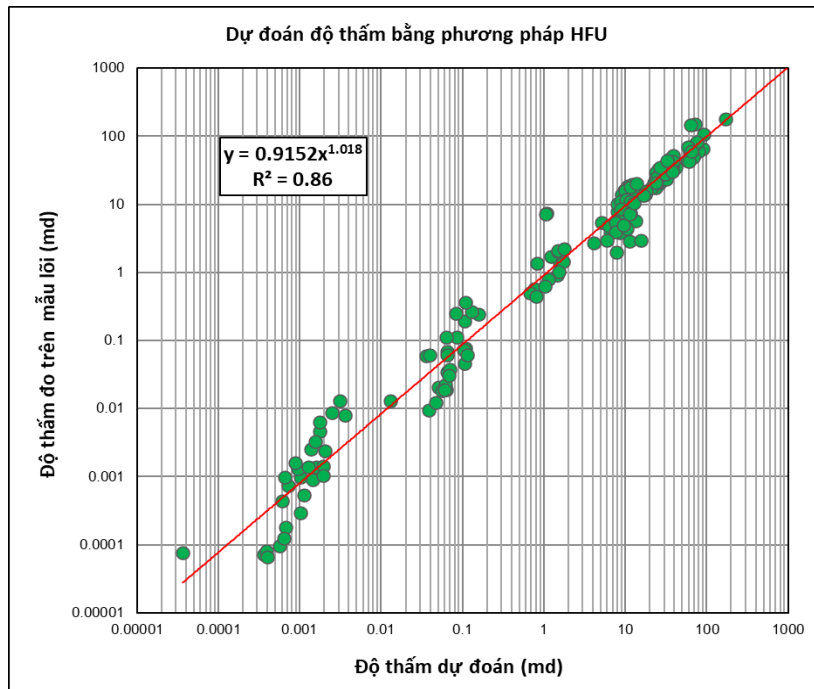
Hình 6. Mối quan hệ giữa độ rỗng với độ thấm tương ứng với từng HFU.

Kết quả độ thấm dự đoán bằng phương pháp HFU được so sánh với kết quả độ thấm đo trên mẫu lõi (Hình 7) có hệ số tương quan  $R^2 = 0,86$ , cho thấy mô hình dự đoán độ thấm của phương pháp này có độ tin cậy cao hơn so với mô hình độ rỗng thấm truyền thống (Hình 2).



**Bảng 1.** Giá trị FZI trung bình và công thức ước tính độ thấm cho từng HFU.

HFU	FZI trung bình	Công thức ước tính độ thấm
1	2,923	$K = 8664,11 \times (\varphi^3 / (1-\varphi)^2)$
2	2,020	$K = 4138,42 \times (\varphi^3 / (1-\varphi)^2)$
3	1,274	$K = 1646,25 \times (\varphi^3 / (1-\varphi)^2)$
4	0,480	$K = 234,09 \times (\varphi^3 / (1-\varphi)^2)$
5	0,147	$K = 22,03 \times (\varphi^3 / (1-\varphi)^2)$
6	0,030	$K = 0,935 \times (\varphi^3 / (1-\varphi)^2)$



**Hình 7.** So sánh độ thấm dự đoán bằng phương pháp HFU với độ thấm đo trên mẫu lõi.

**3.2. Dự đoán độ thấm dựa trên mô hình thấm-rỗng theo MICP**

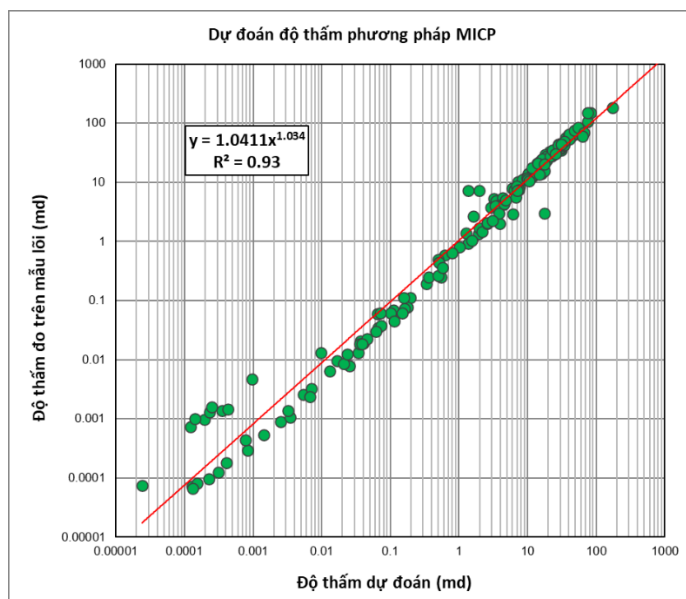
Dựa trên mối quan hệ tương quan giữa R35 với độ thấm, độ rỗng cho tập hợp 32 mẫu phân tích MICP và áp dụng công thức (10), có thể xây dựng được công thức thực nghiệm như sau:

$$\text{Log}(k) = -0.628 + 1.159 \times \text{Log}(\varphi) + 1.26 \times \text{Log}(R35) \quad (11)$$

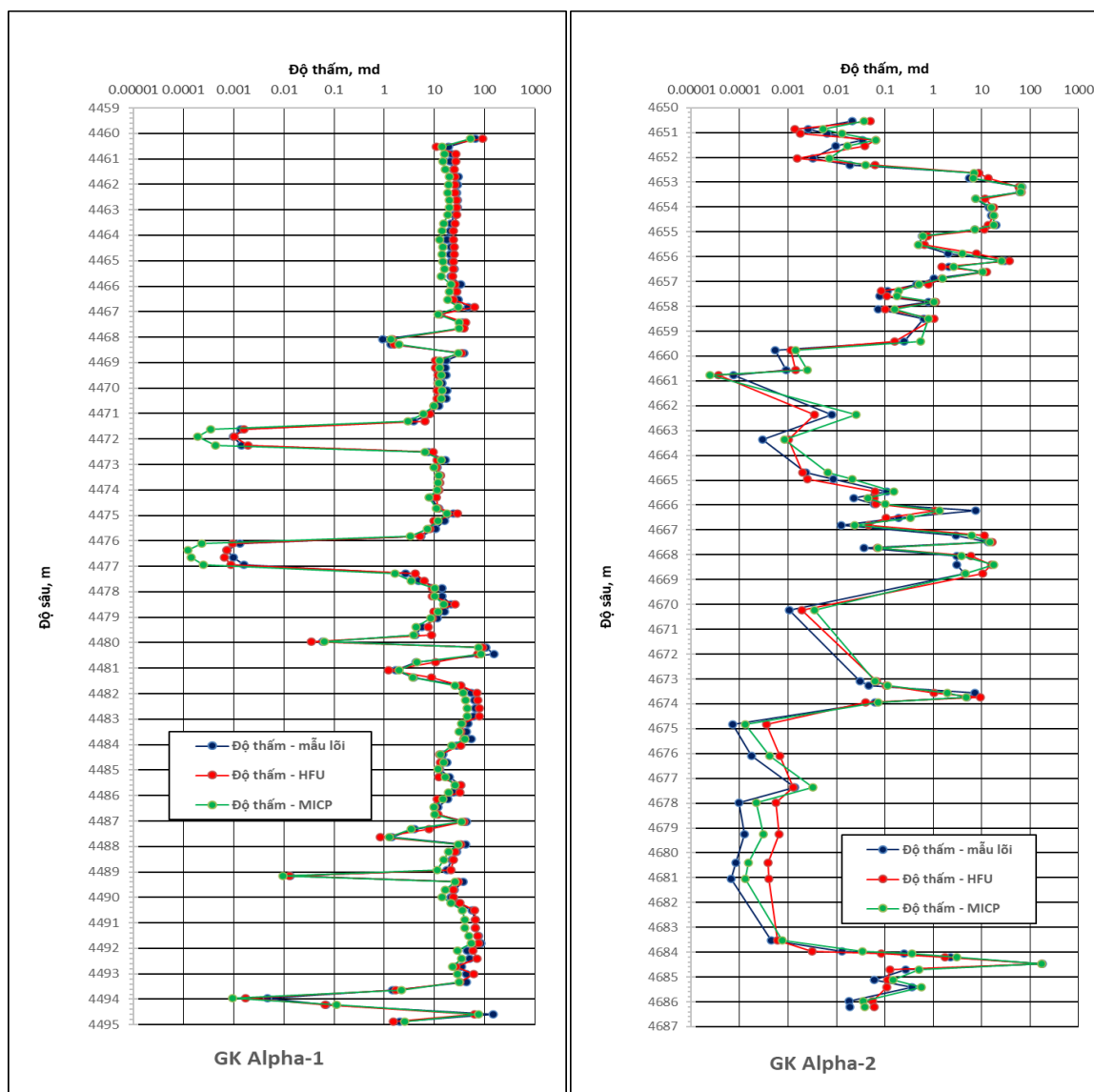
Với các hệ số a = -0,628, b = 1,159, c = 1,26 thu được được bằng kỹ thuật hồi quy giữa các phương trình thực nghiệm được xây dựng từ mối quan hệ R35 (MICP) với độ thấm, độ rỗng cho tập hợp 32 mẫu phân tích MICP.

Áp dụng công thức (10) để ước tính độ thấm cho tập hợp mẫu cát kết trong khu vực nghiên cứu. So sánh kết quả độ thấm ước tính với độ thấm đo trên mẫu lõi, cho thấy phương pháp MICP cho kết quả có độ tin cậy rất cao với  $R^2 = 0,93$  (Hình 8).

Áp dụng các mô hình dự đoán độ thấm từ hai phương pháp HFU và MICP để dự đoán độ thấm cho vỉa chứa cát kết thuộc tầng Miocen ở 2 giếng khoan Alpha-1 và Alpha-2. Sau đó, so sánh độ thấm trên mẫu lõi với độ thấm dự đoán từ các mô hình được biểu diễn theo độ sâu (mMD) (Hình 9). Kết quả cho thấy 2 phương pháp HFU và MICP cho kết quả dự đoán khớp với độ thấm thực tế đo được. Đặc biệt, tại giếng khoan Alpha-1 khu vực khảo sát là vỉa chứa tương đối đồng nhất kết quả độ thấm dự đoán từ các mô hình bám sát với kết quả độ thấm đo trên mẫu lõi. Ở giếng khoan Alpha-2, khu vực khảo sát là vỉa chứa có tính bất đồng nhất cao có thể thấy rằng tại khoảng độ sâu có độ thấm từ trung bình đến tốt (> 0,1 md) độ thấm ước tính từ các mô hình cũng bám sát độ thấm đo trên mẫu lõi.



**Hình 8.** So sánh độ thấm dự đoán bằng phương pháp MICP với độ thấm đo trên mẫu lõi.



**Hình 9.** So sánh độ thấm dự đoán bằng phương pháp HFU, MICP với độ thấm đo trên mẫu lõi theo độ sâu của GK Alpha-1 và GK Alpha-2.

Tuy nhiên ở các khoảng độ sâu có độ thấm thấp (< 0,1 md) có sự khác biệt giữa độ thấm dự đoán từ các mô hình và độ thấm đo thực tế, cụ thể ở khoảng độ sâu 4675–4684 m (độ thấm < 0,01 md) có sự sai lệch nhỏ và có thể thấy rằng độ thấm từ MICP có ít sai lệch với độ thấm thực tế hơn độ thấm từ HFU. Sự khác biệt về độ thấm từ các mô hình với độ thấm đo được có thể do ảnh hưởng của việc phân chia đơn vị dòng chảy không chi tiết ở các mẫu có chất lượng vỉa thấp hoặc số liệu phân tích MICP không bao gồm các mẫu có kích thước kênh rỗng nhỏ ( $R35 < 0,5 \mu\text{m}$ ). Tuy nhiên, các mẫu nằm ở các khoảng độ sâu này có chất lượng vỉa kém không đóng góp vào khả năng cho dòng nên sai số có thể chấp nhận được.

#### 4. Kết luận

Vỉa chứa tầng Miocen mở Alpha, bể Nam Côn Sơn có tính chất bất đồng nhất cao, do đó để xây dựng mô hình dự đoán độ thấm có độ tin cậy cao cần phân chia vỉa chứa thành các đơn vị dòng chảy riêng biệt có đặc trưng về mối quan hệ rỗng thấm.

Theo phương pháp HFU, xác định được 6 đơn vị dòng chảy riêng biệt tương ứng với 6 HFU và từ mối quan hệ độ rỗng độ thấm tương ứng với FZI trung bình trong từng đơn vị dòng chảy thiết lập được công thức tính độ thấm.

Ngoài ra, theo phương pháp MICP có thể xây dựng công thức thực nghiệm dự đoán độ thấm dựa trên mối quan hệ giữa độ thấm, độ rỗng với thông số R35:

$$\text{Log}(k) = -0.628 + 1.159 \times \text{Log}(\varphi) + 1.26 \times \text{Log}(R35)$$

Cả 2 phương pháp HFU và MICP đều cho ra các mô hình dự đoán độ thấm có độ tin cậy cao hơn so với mô hình rỗng thấm truyền thống.

Kết quả so sánh sự thay đổi độ thấm theo độ sâu của các giếng khoan trong khu vực nghiên cứu cho thấy độ thấm dự đoán từ hai phương pháp cho kết quả khớp với số liệu độ thấm đo được trên mẫu lõi. Do đó, việc kết hợp 2 phương pháp được đề xuất trong nghiên cứu sẽ giúp nâng cao hiệu quả công tác dự báo độ thấm trong các vỉa chứa có tính bất đồng nhất cao. Tuy nhiên, để có thể áp dụng các mô hình dự đoán từ HFU và MICP cho các khu vực lân cận chưa lấy mẫu lõi cần kết hợp với tài liệu địa vật lý giếng khoan, minh giải tương đá.

**Đóng góp của tác giả:** Xây dựng ý tưởng và lựa chọn phương pháp nghiên cứu: P.N.Q., P.Đ.K.; Phân tích và xử lý số liệu: P.N.Q.; Kiểm tra công việc phân tích và xử lý số liệu: P.Đ.K.; Viết bản thảo: P.N.Q.; Chỉnh sửa bài báo và chấp thuận bài báo dùng để gửi đăng tạp chí: P.Đ.K.

**Lời cảm ơn:** Chúng tôi xin cảm ơn Viện Dầu Khí Việt Nam (VPI), Trường Đại học Bách Khoa, ĐHQG – Tp.HCM đã cung cấp số liệu và phương tiện vật chất cho nghiên cứu này.

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

#### Tài liệu tham khảo

1. Hiep, N.V. et al. (Eds.), *Petroleum Geology and Resources of Vietnam*, second ed. Science and Technical Publishing House, Hanoi Vietnam, Vietnam, 2017.
2. Dung, B.V.; Tuan, H.A.; Kieu, V.N.; Man, H.Q.; Thanh Thuy, N.T.; Dieu Huyen, P.T. Depositional environment and reservoir quality of Miocene sediments in the central part of the Nam Con Son Basin, southern Vietnam shelf. *Mar. Pet. Geol.* **2015**, *97*, 672–689.
3. Man, H.Q.; Hien, D.H.; Thong, K.D.; Dung, B.V.; Hoa, N.M.; Hoa, T.K.; Kieu, N.V.; Ngoc, P.Q. Hydraulic Flow Unit Classification and Prediction Using Machine Learning Techniques: A Case Study from the Nam Con Son Basin, Offshore Vietnam. *Energies* **2021**, *14*(22), 7714.

4. Ebanks Jr, W.J. Flow Unit Concept – Integrated Approach to Reservoir Description for Engineering Projects. *Am. Assoc. Pet. Geol. Bull.* **1987**, 71, 551–552.
5. Amaufule, J.O.; Mehmet, A.; Diebbar, T.; David, G.K.; Dare, K.K. Enhanced Reservoir description: Using Core and Log Data to Identify Hydraulic (Flow) Units and Predict Permeability in Uncored Intervals/Wells. Paper SPE 26436 presented at the 1993 SPE Annual Technical Conference and Exhibition, Houston, Texas, October 3–6.
6. Djebbar, T.; Erle, C.D. Petrophysics: Theory and practice of measuring reservoir rock and fluid transport properties. Gulf Professional Publisher, 2015.
7. Sami, M.A. The Use of High Pressure MICP Data in Reservoir Characterization, Developing A New Model for Libyan Reservoirs, 2019.
8. Tarek, A. Reservoir engineering handbook. Gulf Professional Publisher, 2019.

## **A Model for Permeability Prediction from Core Analysis Data Using Hydraulic Flow Unit (HFU) and Mercury Injection Capillary Pressure (MICP) for Miocene Sandstone Reservoir, Alpha Gas field, Nam Con Son basin**

**Phan Ngoc Quoc<sup>1,2,3</sup>, Phung Dai Khanh<sup>2,3\*</sup>**

<sup>1</sup> Vietnam Petroleum Institute; quocpn.vpilabs@vpi.pvn.vn

<sup>2</sup> Department of Petroleum Production and Drilling Engineering, Faculty of Petroleum & Geology Engineering, Ho Chi Minh city University of Technology; phungdaikhanh@hcmut.edu.vn

<sup>3</sup> Vietnam National University Ho Chi Minh city; phungdaikhanh@hcmut.edu.vn

**Abstract:** In this study, the core analysis data from Miocene sandstone reservoir, Alpha field, Nam Con Son basin were collected, the method of hydraulic flow unit (HFU) was applied for dividing Miocene sandstone reservoir into flow units. From the relationship between porosity and the corresponding permeability in each flow unit, a formula for predicting permeability can be established. In addition, based on Mercury Injection Capillary Pressure (MICP) data, the pore throat channel size parameter at 35% mercury saturation (R35) was combined with porosity and permeability data to establish the empirical formula for permeability estimation. The permeability prediction results of the models from HFU and MICP methods both give higher reliability than the traditional method based on the relationship between permeability and porosity. Comparing the change of permeability versus depth of the wells in the study area, the predicted permeability from the two methods matches the permeability data measured on the core sample. Therefore, the permeability prediction model applying HFU and MICP methods can be applied in practice, the combination of HFU and MICP methods for comparison will help improving the efficiency of water permeability prediction in the Alpha field area.

**Keywords:** Permeability prediction; HFU; MICP; R35.



Bài báo khoa học

# Ứng dụng mô hình thủy văn đô thị mô phỏng mức độ ngập do gia tăng mực nước triều và khả năng thoát nước cho hệ thống kênh Tân Hóa – Lò Gốm ở thành phố Hồ Chí Minh

Hoàng Thị Tố Nữ<sup>1</sup>, Từ Thiều Quyên<sup>2</sup>, Vũ Thị Vân Anh<sup>1</sup>, Nguyễn Thị Hồng Thảo<sup>3</sup>, Cấn Thu Văn<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> Trường Đại học Tài nguyên và Môi trường TP.HCM; nu.htt@hcmunre.edu.vn; vtvanh@hcmunre.edu.vn; ctvan@hcmunre.edu.vn

<sup>2</sup> Sở Nông nghiệp và Phát triển nông thôn tỉnh Trà Vinh; quyentuqldd@gmail.com

<sup>3</sup> Viện Quy hoạch xây dựng miền nam; hongthaosgtl@gmail.com

\*Tác giả liên hệ: ctvan@hcmunre.edu.vn; Tel.: +84-983738347

Ban Biên tập nhận bài: 12/6/2022; Ngày phản biện xong: 22/7/2022; Ngày đăng: 25/8/2022

**Tóm tắt:** Với vai trò là trung tâm kinh tế, thương mại và du lịch của cả nước, Thành phố Hồ Chí Minh (TP.HCM) đã có tốc độ đô thị hóa nhanh đã kéo theo nhiều hệ lụy về cơ sở hạ tầng, trong đó vấn đề ngập đô thị là nặng nề nhất. Lưu vực Tân Hóa–Lò Gốm nằm ở ranh Tây Nam của nội thành giáp ranh giới với ngoại vi. Kênh chảy từ hướng Đông Bắc đến khu Tây Nam qua 5 quận: Tân Bình (khu Bàu Cát), quận 11, 6, 8, Bình Chánh và kết thúc tại kênh Tàu Hũ. Tổng diện tích lưu vực là 2.498 ha (chiếm 3,8% diện tích của thành phố). Nghiên cứu đã ứng dụng mô hình PC SWMM để mô phỏng ảnh hưởng của việc gia tăng mực nước biên đối với khả năng thoát nước của lưu vực. Kết quả nghiên cứu cho thấy giải pháp hồ điều tiết có hiệu quả cả trong điều kiện biến đổi khí hậu ứng với các kịch bản đưa ra.

**Từ khóa:** Ngập lụt đô thị TPHCM; Mô hình SWMM; Kênh Tân Hóa–Lò Gốm.

## 1. Mở đầu

Thành phố Hồ Chí Minh là thành phố lớn nhất của miền nam nước ta, thành phố giữ vai trò là trung tâm kinh tế, thương mại và du lịch trong nước cũng như thế giới. Cùng với sự phát triển kinh tế và sự gia tăng dân số đã thúc đẩy tăng nhanh tốc độ công nghiệp hóa, đô thị hóa. Vì thế gây ra nhiều vấn đề ảnh hưởng đến môi trường đô thị. Một trong những vấn đề cần phải giải quyết là tình trạng ngập nước và thoát nước đô thị. Mặc dù, đã được nhà nước quan tâm đầu tư xây dựng những công trình chống ngập nhưng hiện tại tình trạng ngập vẫn đang chưa được cải thiện đáng kể.

Xét về điều kiện địa hình: Địa hình TPHCM tương đối bằng phẳng, bờ tây của sông Sài Gòn và Nhà Bè được phân thành 4 vùng địa hình. Vùng phía tây có địa hình thấp cao độ từ 0,7–1 m tại huyện Bình Chánh, khu vực ở giữa là vùng đất cao kể cả vùng đất bồi ở Hóc Môn (8–10 m). Gò vấp 10m và khu đô thị hiện hữu (2–8 m) [1–2].

Xét về điều kiện khí tượng: Khí hậu TPHCM bị ảnh hưởng bởi gió mùa nhiệt đới nên có nhiệt độ cao, độ ẩm cao, có mây nhiều. Các mùa tương tự với khí hậu của miền Nam vào mùa hè, chịu ảnh hưởng của gió mùa Tây Nam và vào mùa đông chịu ảnh hưởng của gió mùa Tây Bắc [1–2].

Xét về điều kiện thủy văn: Sông rạch TP bao gồm một mạng lưới gắn kết với nhau rất phức tạp. Mạng lưới kênh rạch khá dày với tổng chiều dài gần 100 km trên toàn TP. Các con

kênh chính là Bến Nghé, Tham Lương, Vàm Thuật, Nhiêu lộc Thị nghè, Tàu Hũ, kênh đôi, kênh Tè và Tân Hóa–Lò Góm. Mạng lưới kênh bị ảnh hưởng rất lớn bởi thủy triều, một số kênh còn bị ảnh hưởng của triều từ nhiều hướng và kết quả là các chất ô nhiễm bị lưu giữ lại trong kênh. Thời gian triều cường từ tháng 9–12, triều thấp từ tháng 4–8 và mực triều trung bình từ tháng 1–3. Trong lưu vực TH–LG có thể thấy ảnh hưởng của triều lên đến cây số 3,57 (đến cầu Tân Hóa). Do không có trạm kiểm soát tại TH–LG, do đó không có số liệu về triều được ghi nhận tại đây. Tuy nhiên để tham khảo, chú ý là đối với sông Sài Gòn có sự khác biệt trung bình là 1,8 m hằng năm giữa triều cao và triều thấp. Trong lưu vực Tân Hóa–Lò Góm cũng có sự khác biệt tương tự [3–4].

Về mực nước cũng ảnh hưởng theo mùa. TPHCM có hai mùa: mùa mưa từ tháng VI đến tháng XII còn lại là mùa khô. Mực nước khác biệt khoảng 75 cm giữa tháng IX và tháng X (tháng mưa nhiều nhất) và tháng III, IV (tháng khô nhất). Vào mùa khô do lượng nước thải chậm, sự nhiễm mặn của sông khá quan trọng. Mọi vấn đề thoát nước của kênh liên quan đến tác động của triều vì năng suất của kênh chỉ còn ở mức 0 trong thời gian triều cường.

Về lượng mưa: Lượng mưa lớn nhất thường diễn ra vào tháng IX và tháng VI, lượng mưa trung bình là 355 mm và 313 mm. Mưa thường chảy như trút nước, tốc độ nhanh, thường kéo dài từ 30' đến 1 giờ. Lượng nước mưa tối đa 179 mm kéo dài trong 24h được ghi nhận vào tháng 9/1942. Lượng mưa trong mùa gió mùa vào tháng đông từ 51 mm vào tháng 4 và tháng 9, 4,7 mm vào tháng 2. Từ tháng 12 đến tháng 4 lượng mưa rất hiếm [3–4].

Về hệ thống cống thoát nước: Mạng lưới trong lưu vực TH–LG rất phức tạp và phân bố thay đổi. Hệ thống được phân thành 4 cấp tùy theo kích cỡ và chức năng. Hệ thống thoát nước của lưu vực dài 157,1 km (cống cấp 2 và 3) đổ vào kênh bằng 25 cửa xả và 5 kênh nhánh. Hệ thống cống hiện hữu của phạm vi nghiên cứu gồm đường ống có đường kính là 0,8m hoặc lớn hơn và một số đường ống nhỏ hơn chưa biết. Chức năng hệ thống cống này là hệ thống cống chung vì nó mang cả nước mưa, và nước thải từ bề tự hoại, nước thải và nước cống thô. Các kỹ sư Pháp đã thiết kế hệ thống này và bắt đầu xây dựng vào đầu năm 1870. Việc xây dựng tiếp tục theo từng giai đoạn vì tốc độ đô thị hóa. Một bề mặt rất lớn của lưu vực không có hệ thống thoát nước riêng [3–4].

Nước ta đang có tốc độ đô thị hóa tăng nhanh gắn liền với nhu cầu phát triển hạ tầng đô thị. Đô thị hóa kéo theo quá trình bê tông hóa đã lấn chiếm sông ngòi, ao hồ, tàn phá thảm thực vật, làm thu hẹp, thay đổi dòng chảy và quá trình lưu giữ tự nhiên của nước. Các công trình kết cấu hạ tầng (đường sá, sân bãi, ...) chiếm dụng bề mặt tự nhiên đã làm giảm năng lực tiêu thoát tự nhiên, làm tăng lưu lượng dòng chảy bề mặt và giảm thấm thấu của nước xuống lòng đất, giảm khả năng bổ sung tại chỗ nguồn nước ngầm cũng như gây đơn điệu cảnh quan, bức xạ nhiệt do bê tông hóa [5]. Thực trạng cho thấy, nhiều đô thị của nước ta có hệ thống thoát nước thường xuyên bị quá tải mặc dù đã được quan tâm đầu tư. Ngập úng cũng thường xuyên xảy ra tại các đô thị trong cả nước, như: TP Hồ Chí Minh, Hà Nội, Đà Nẵng, Hải Phòng thường xuyên xảy ra ngập úng do mưa lớn hoặc các nguyên nhân khác. Các giải pháp thoát nước theo hướng bền vững đã có từ những năm 70 của thế kỷ trước và đang được các nước trên thế giới chú trọng phát triển. Hệ thống SuDS với các giải pháp kỹ thuật sinh thái đã được thử nghiệm thành công ở nhiều nước phát triển: Tokyo là thủ đô đạt nhiều kết quả đáng ghi nhận trong lĩnh vực này; SuDS có mặt trên khắp các thành phố ở Vương quốc Anh và riêng tại Scotland tính tới năm 2002 đã có 1.300 dự án SuDS được thực hiện [5].

Trên thế giới có nhiều nghiên cứu, ứng dụng các mô hình khác nhau để mô phỏng cũng như đề xuất các phương án thoát nước chống ngập như: Hiệu chỉnh mô hình dòng chảy mặt theo thời gian, đánh giá tác động thủy lực. Mô hình đánh giá tác động dài hạn của nhân tố thủy lực, nghiên cứu sự thay đổi trực tiếp của dòng chảy mặt theo thời gian đối với điều kiện sử dụng đất khác nhau. Và những tác động dài hạn của nhân tố thủy văn với lưu vực sông. Sử dụng phương pháp hồi quy tuyến tính để kiểm định việc đánh giá tác động dài hạn của nhân tố thủy lực và dự đoán dòng chảy trực tiếp. Mô hình cũng đã được thử nghiệm ba lần ở

lưu vực sông Little Eagle Creek, Indian. Kết quả đã phát sinh thêm những vấn đề, chúng được kiểm soát qua sản phẩm dòng chảy mặt, và dự đoán một cách có hệ thống dòng chảy mặt trực tiếp bằng việc đánh giá tác động dài hạn của nhân tố thủy lực cũng như so sánh với dữ liệu quan sát ngoài thực tế [6–7]. Mô hình hệ thống thoát nước kép (*Dual Multilevel Urban Drainage Model*), tác giả sử dụng hệ thống thoát nước kép, mạng lưới kênh hở phía trên mặt đường, hệ thống cống kín phía dưới để giảm lưu lượng đỉnh của hệ thống. Đặc biệt trong mô hình này cho thấy được mối quan hệ thủy động lực giữa những dòng chảy ở mạng trên và mạng dưới. Đây là mô hình nghiên cứu mới trong vấn đề thoát nước đô thị, tuy nhiên mô hình vẫn chưa được ứng dụng rộng rãi trong thực tế [8–9].

Ở Việt Nam nói chung và thành phố Hồ Chí Minh nói riêng, các nghiên cứu phục vụ tiêu thoát nước cho đô thị không ngừng phát triển, tuy nhiên, mô hình vẫn chưa được ứng dụng rộng rãi trong thực tế. Ngưỡng mưa khác nhau và sự tham gia của hệ thống công trình đã cho thấy tính hữu hiệu của nó. Đã có các báo cáo, nghiên cứu: Nghiên cứu khả thi và thiết kế sơ bộ dự án thoát nước TP. HCM lưu vực Nhiêu Lộc Thị Nghè. Báo cáo trình bày các dữ liệu thủy văn cho lưu vực Nhiêu Lộc Thị Nghè. Báo cáo đặc biệt hữu ích do sử dụng SWMM trên khu vực đô thị với những đặc điểm tương tự kênh TH–LG. Đồng thời trình bày lại lượng mưa và các phân tích thủy văn khác cũng như chi tiết về phương pháp luận dòng chảy, được sử dụng cho việc áp dụng mô hình SWMM ở TP.HCM [10–11]; Luận chứng kinh tế kỹ thuật tiêu thoát nước và cải tạo ô nhiễm hệ kênh rạch Tân Hoá–Lò Gôm. Trong luận chứng về thoát nước mưa và phân chia khu vực với các cấp địa hình khác nhau, có hướng thoát nước khác nhau nhằm giải quyết nước mưa vùng cao không chảy vào vùng thấp gây ngập. Các vùng cao hệ thống công thoát nước có nhiệm vụ tiêu thoát lượng mưa của các trận mưa lớn nhất trong năm. Mực nước triều trong kênh rạch được chọn vào tháng IX. Các vùng thấp hệ thống thoát nước chịu ảnh hưởng của thủy triều, mực nước ngoài sông mang tính quyết định [12]; Các kết quả tính toán mực nước trên kênh Lò Gôm. Báo cáo trình bày bảng thống kê các mực nước trên kênh Lò Gôm. Tài liệu này cung cấp các giá trị kiểm tra hữu ích cho những mô hình được giới thiệu bởi tư vấn quốc tế Thái Bình Dương và tái tạo lại trong nghiên cứu hiện nay; Sự thay đổi khí hậu, đô thị hóa và tình trạng ngập ở TPHCM. Bài báo các dữ liệu thủy văn ứng với tình hình thay đổi khí hậu. Đây là tài liệu rất cần thiết cho vấn đề nghiên cứu hiện nay. Đưa ra những lý giải về tình trạng ngập úng ở thành phố hiện nay ứng với các số liệu trên. Sử dụng mô hình thủy lực SWMM để mô phỏng dòng chảy trong hệ thống kênh cống, điển hình là lưu vực TH–LG [13–16]; Ứng dụng kỹ thuật sinh thái, xây dựng hệ thống tiêu thoát nước đô thị bền vững. Tác giả nghiên cứu các nguyên nhân gây ngập do mưa, triều và mưa triều kết hợp nhưng chủ yếu là ngập do mưa. Cải mới trong nghiên cứu là thực hiện tiêu thoát nước mưa đô thị bằng các giải pháp bền vững, hình thành hệ thống tiêu thoát nước mưa gắn kết chặt chẽ với hệ sinh thái tự nhiên. Các giải pháp kỹ thuật sinh thái rất đa dạng được lựa chọn phù hợp với mức độ đô thị hóa. Đây là tài liệu rất cần cho các nghiên cứu hiện nay khi nghiên cứu hệ thống thoát nước đô thị [17].

Tuy vậy, ứng với mỗi khu vực, lưu vực sông kênh cụ thể thì các mô hình ứng dụng có tính khả thi khác nhau và đối với kênh Tân Hóa–Lò Gôm trong nghiên cứu này sẽ sử dụng mô hình PC SWMM để làm công cụ mô phỏng khả năng tiêu thoát nước cho khu vực.

## 2. Phương pháp nghiên cứu

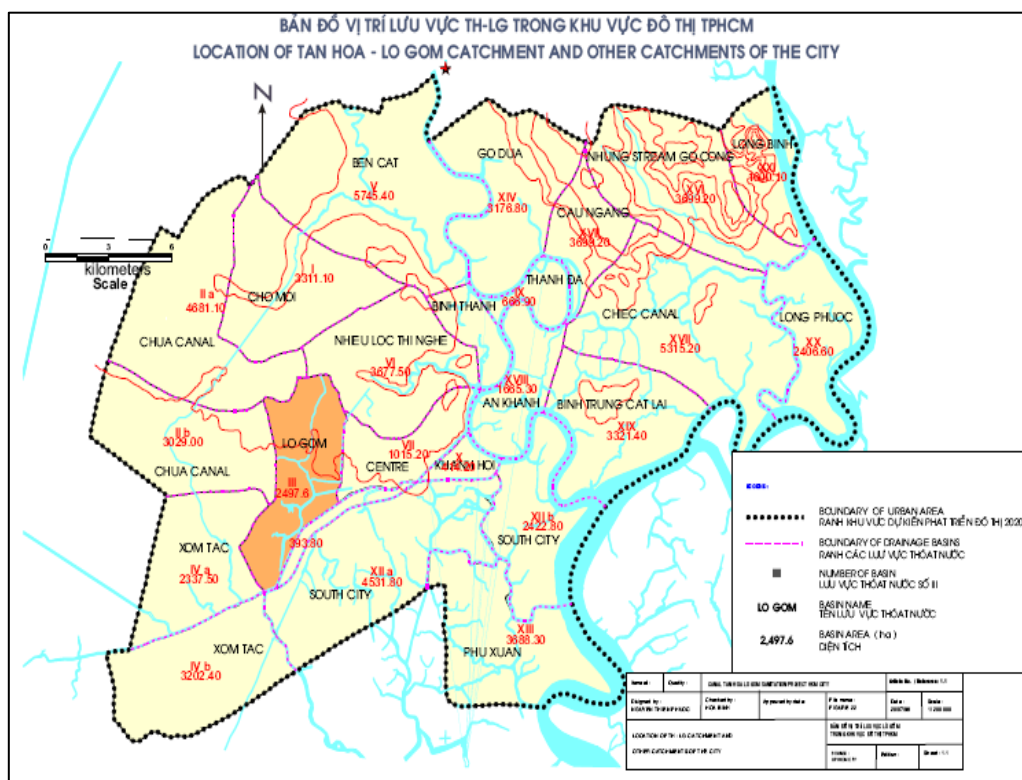
### 2.1. Giới thiệu lưu vực nghiên cứu

Mỗi năm TP.HCM chịu nhiều trận ngập nghiêm trọng không chỉ trong mùa mưa mà còn trong mùa triều cao. Do thiếu duy tu, địa hình đất đai thấp, lượng mưa lớn trong một giai đoạn ngắn, triều cao và không đủ hệ thống trị thủy và thoát nước, một số khu vực của TPHCM bị ảnh hưởng bởi ngập lụt. Tình trạng ngập lụt kéo dài 1–2 ngày trong mùa mưa.

Lưu vực TH–LG chia thành 2 vùng chính. Một khu đất chính khá cao bao phủ vùng thượng nguồn của kênh (quận 11 và Tân Bình), phần đất thấp phần lớn nằm ở quận 6. Phần

thượng nguồn có địa hình thấp nhô (cao độ 6–8 m trên mực nước biển). Phần phía tây và nam của lưu vực Lò Gốm cao độ trên 2 m trong khi đó huyện Bình Chánh và quận 8 là hai vùng đất đầm lầy thấp. Phần lớn quận 6, 8, 11 cao độ dưới 2 m. Đường đồng mức 2 m được xem là ranh giới quan trọng vì mực nước triều của sông lên đến 1,4 m trên mực nước biển. Nó được xem là rãnh thu nước và thoát nước rất có hiệu quả cho vùng đất có cao độ trên 2 m nếu dưới 2 m hệ thống thoát nước sẽ bị ảnh hưởng bởi triều.

Trong lưu vực TH–LG diện tích ngập lụt là 578,8 ha Khu vực rộng lớn bị ngập do thiếu hệ thống thoát nước nằm ở phần phía tây của lưu vực ở quận 6 và quận Tân Bình. Ở quận 6 nguyên nhân thứ 2 bị ngập do lượng nước thải trong kênh bị quá tải, đặc biệt tại phường 14, 9 và 11. Số lượng lớn đất trồng ngày trước trong khu đất thấp là nơi điều tiết tự nhiên và rất quan trọng, nhưng những năm gần đây một số lượng đất trồng tại quận 6 đã bị lấp nên ngập lụt xảy ra ngày càng nhiều nếu không có giải pháp [3–4, 13–15].



Hình 1. Bản đồ địa hình lưu vực Tân Hóa–Lò Gốm [4].

## 2.2. Cơ sở lý thuyết mô hình SWMM

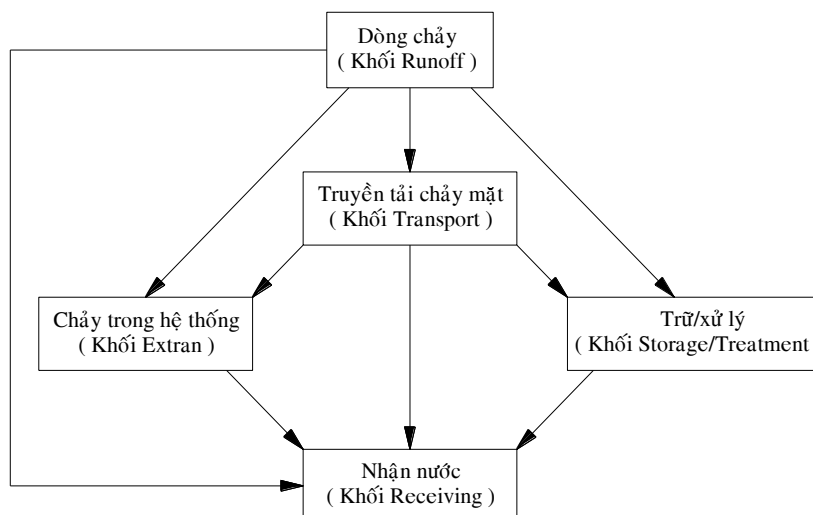
Mô hình quản lý nước mưa (*Storm Water Management Model – SWMM*) được xây dựng với sự tài trợ liên tục của cơ quan bảo vệ môi trường Mỹ là một trong số những mô hình nổi tiếng nhất về việc tính toán thoát nước mưa đô thị.

Mô hình quản lý nước mưa SWMM là mô hình toán học toàn diện mô phỏng khối lượng tính chất dòng chảy đô thị do mưa và hệ thống cống (kênh) thoát nước thải chung. Mọi vấn đề thủy văn đô thị và chất lượng nước đều được mô phỏng, bao gồm dòng chảy mặt, dòng chảy ngầm, vận chuyển qua mạng lưới hệ thống tiêu thoát nước, hồ chứa và khu xử lý.

Mô hình PC SWMM mô phỏng các dạng mưa thực tế trên cơ sở lượng mưa (biểu đồ quá trình mưa hàng năm) và các số liệu khí tượng đầu vào khác hệ thống mô tả (lưu vực, vận chuyển, hồ chứa/ xử lý) để dự đoán các trị số chất lượng và khối dòng chảy.

Mô hình PC SWMM được xây dựng trên cơ sở gồm hai khối mô đun có cấu trúc như sau (Hình 2) [18–22]:





**Hình 2.** Sơ đồ làm việc của PC SWMM.

Hệ phương trình đạo hàm riêng cơ bản cho hệ thống dòng chảy trong cống thoát nước xuất phát từ hệ phương trình dòng không ổn định 1D Saint–Venant.

a. Phương trình liên tục của dòng không ổn định:

$$\frac{\partial A}{\partial t} + V \frac{\partial A}{\partial x} + A \frac{\partial V}{\partial x} = 0$$

(1)

Trong đó A là diện tích mặt cắt ngang, V là lưu tốc trung bình mặt cắt ngang dòng chảy, x là khoảng cách dọc theo lòng dẫn, t là thời gian.

Gọi Q là lưu lượng dòng chảy:

$$V = Q/A \tag{2}$$

Thay (2) vào (1), tìm được:

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = 0 \tag{3}$$

b. Phương trình động lượng của dòng không ổn định:

$$S_f = S_o - \frac{\partial h}{\partial x} - \frac{V}{g} \frac{\partial V}{\partial x} - \frac{1}{g} \frac{\partial V}{\partial t} \tag{4}$$

Trong đó  $S_f$  là độ dốc thủy lực;  $S_o$  là độ dốc đáy; g là gia tốc trọng trường.

Thay (2) vào (4) và sau một số biến đổi, tìm được:

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial(Q^2/A)}{\partial x} + gA \frac{\partial H}{\partial x} + gAS_f = 0 \tag{5}$$

Với:  $H = z + h$  là cột nước đo áp (z là cao độ đáy, h là chiều sâu nước. Độ dốc đáy  $S_o = dz/dx$  được bao hàm trong gradient của H.

Trong Môn học thủy lực, phương trình động lượng được dùng trong các ống và phương trình liên tục được dùng tại các nút. Như vậy động lượng được bảo toàn trong ống và liên tục tại nút.

Phương trình (5) được cải biến nhờ biểu thức:

$$Q^2/A = V^2A \tag{6}$$

$$\frac{\partial \left( \frac{Q^2}{A} \right)}{\partial x} = \frac{\partial (V^2A)}{\partial x} = \frac{2AV \times \partial V}{\partial x} + \frac{V^2 \partial A}{\partial x} \tag{8}$$

Thay (7) vào (5), nhận được phương trình động lượng với 4 biến phụ thuộc Q, A, V và H.

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + 2AV \frac{\partial V}{\partial x} + V^2 \frac{\partial A}{\partial x} + gA \frac{\partial H}{\partial x} + gAS_f = 0 \quad (8)$$

Nhân hai vế của (1) bởi V và sắp xếp lại được:

$$AV \frac{\partial V}{\partial x} = -V \frac{\partial A}{\partial t} - V^2 \frac{\partial A}{\partial x} \quad (9)$$

Cuối cùng thay (9) vào (8) để khử số hạng  $\partial V/\partial x$ , được phương trình động lượng kết hợp với phương trình liên tục dưới dạng sau:

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + gAS_f - 2V \frac{\partial A}{\partial t} - V^2 \frac{\partial A}{\partial x} + gA \frac{\partial H}{\partial x} = 0 \quad (10)$$

Trong (10), độ dốc thủy lực được xác định nhờ biểu thức Manning:

$$S_f = \frac{n^2}{AR^{4/3}} Q|V| \quad (11)$$

Trong đó n là hệ số nhám Manning, R là bán kính thủy lực. Dấu giá trị tuyệt đối trong (11) làm cho Sf là một đại lượng có hướng và bảo đảm rằng lực ma sát luôn luôn ngược chiều dòng chảy.

Như vậy phương trình cuối cùng để giải là:

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{gn^2}{R^{4/3}} Q|V| - 2V \frac{\partial A}{\partial t} - V^2 \frac{\partial A}{\partial x} + gA \frac{\partial H}{\partial x} = 0 \quad (12)$$

Sử dụng phương pháp sai phân hữu hạn với sơ đồ hiện áp dụng vào phương trình (12), sau một số biến đổi nhận được phương trình rời rạc sau đây:

$$Q_{t+\Delta t} = \frac{1}{1 + \frac{gn^2}{\bar{R}^{4/3}|\bar{V}|}} \left[ Q_t + 2\bar{V}\Delta t \left( \frac{\Delta A}{\Delta t} \right)_t + \bar{V}^2 \Delta t \left( \frac{A_2 - A_1}{L} \right) - g\bar{A}\Delta t \left( \frac{H_2 - H_1}{L} \right) \right] \quad (13)$$

Trong đó  $Q_{t+\Delta t}$  và  $Q_t$  lần lượt là lưu lượng ở cuối và đầu thời đoạn  $\Delta t$ ;  $\bar{V}, \bar{A}, \bar{R}$  là trung bình có gia trọng của những giá trị tương ứng ở hai đầu ống vào thời điểm t;  $(\Delta A/\Delta t)_t$  là đạo hàm theo thời gian của A từ bước thời gian trước.

Các ẩn số trong (13) là  $Q_{t+\Delta t}$ ,  $H_2$  và  $H_1$ .

Các đại lượng  $\bar{V}, \bar{A}, \bar{R}$  đều có quan hệ với Q và H.

Do đó, cần có một phương trình liên hệ giữa Q và H. Đó chính là phương trình liên tục tại một nút:

$$\partial H/\partial t = \Sigma Q/As \quad (14)$$

Hay dưới dạng sai phân:  $H_{t+\Delta t} = H_t + \Sigma Q_t \Delta t / A_{st} \quad (15)$

với  $A_s$  là diện tích mặt thoáng của nút.

Các phương trình (13) và (15) có thể được giải liên tiếp nhằm xác định lưu lượng trong mỗi ống và cột nước tại mỗi nút cho mỗi bước thời gian  $\Delta t$ .

Ưu điểm của phương pháp sai phân hữu hạn theo sơ đồ hiện là đơn giản, dễ lập trình trên máy tính nhưng có nhược điểm là bị hạn chế về bước thời gian. Để bảo đảm sự ổn định của lời giải số, bước thời gian  $\Delta t$  phải thỏa mãn điều kiện Courant sau đây:

\* Đối với ống:

$$\Delta t \leq L/(gD)^{1/2} \quad (16)$$

Trong đó D là chiều sâu tối đa trong ống. Vế phải của (16) là thời gian cần cho một sóng động lực truyền trên chiều dài L của ống.

\* Đối với nút:

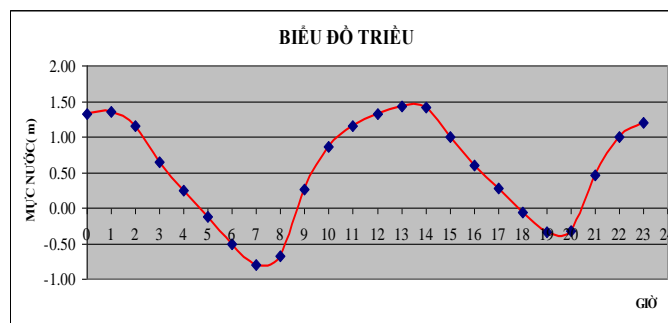
$$\Delta t \leq 0,1 A_s \Delta H_{\max} / \Sigma Q \quad (17)$$

Trong đó  $\Delta H_{max}$  là độ dâng lớn nhất của mặt nước trong một bước thời gian;  $\Sigma Q$  là tổng lưu lượng thực chảy vào nút.

Bước thời gian  $\Delta t$  được chọn sẽ là giá trị nhỏ nhất trong hai giá trị cho bởi (16) và (17). Theo kinh nghiệm,  $\Delta t = 15 \div 30$  s là thích hợp.

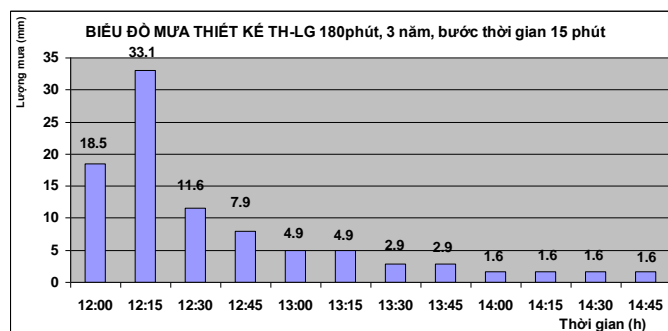
### 2.3. Cơ sở dữ liệu

- Biên mực nước: Dao động mực nước triều được gán tại nút 101 (giao tại đầu rạch Ông Buồng và kênh Tàu Hủ) là mô hình triều tiêu được tính toán trên mô hình tổng thể, ứng với mực nước sông Sài Gòn tại trạm Phú An là 1,43 m, tương ứng với tần suất thiết kế là 10% (Hình 3).



Hình 3. Quá trình mực nước triều.

- Mô hình mưa thiết kế: Mô hình mưa được sử dụng trong tính toán được lấy theo trạm Tân Sơn Nhất với chu kỳ tràn công lập lại là 3 năm dựa theo kết quả xử lý của CDM (Công ty tư vấn Camp Dresser McKee). Hệ số triết giảm áp dụng cho lưu vực nhỏ đề nghị lấy bằng 1 (Hình 4).



Hình 4. Biểu đồ mưa thiết kế.

- Các thông số khác:

Kênh TH-LG chịu trách nhiệm thoát nước cho lưu vực TH-LG và Hàng Bàng (HB). Do đó tổng diện tích được nghiên cứu trong mô hình là khoảng 1700 ha, bao gồm cả hệ thống thoát nước TH-LG và HB. Độ dốc địa hình của từng tiểu lưu vực trong lưu vực nghiên cứu được xác định trực tiếp dựa trên bản đồ số hóa của lưu vực.

Tỉ lệ diện tích phần không thấm so với tổng diện tích được ước tính theo cơ cấu sử dụng đất về lâu dài là 55–75%. Giả thiết bỏ qua bốc hơi do thời đoạn tính toán ngắn.

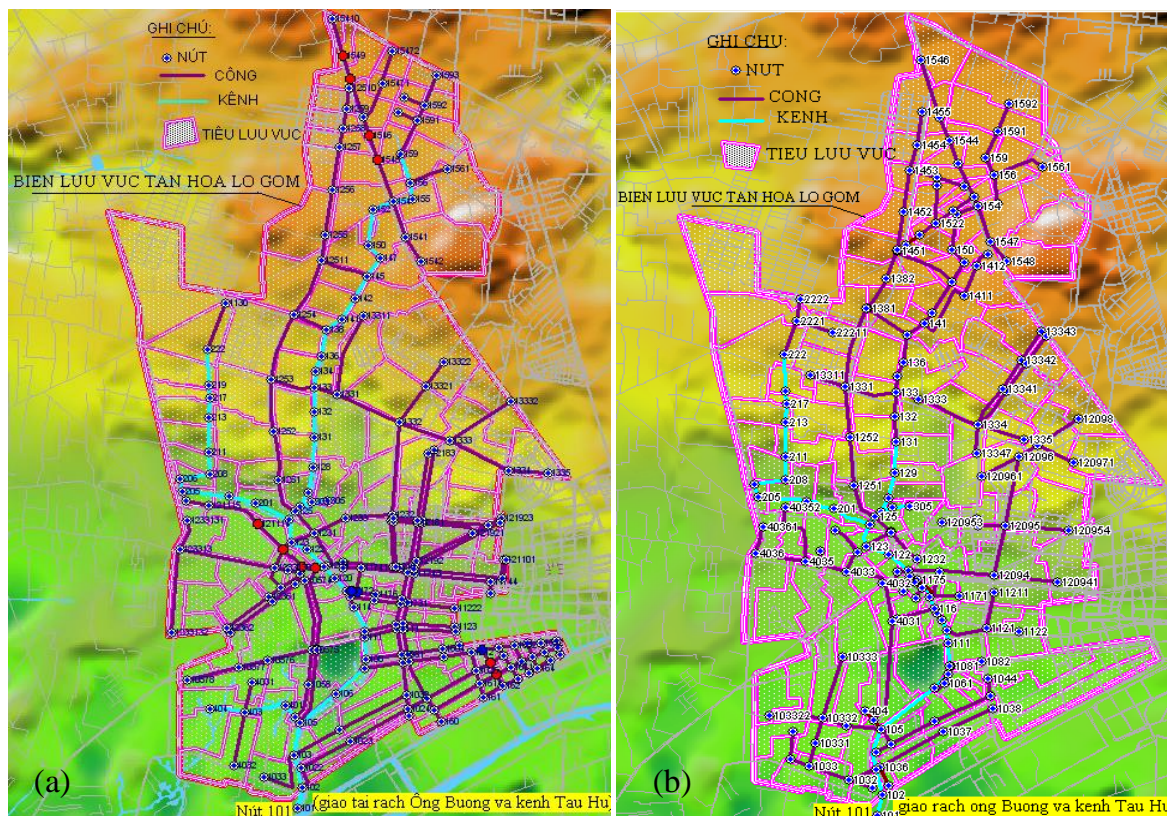
Các số liệu về mặt cắt các tuyến kênh rạch được lấy theo dự án thoát nước cho lưu vực TH-LG.

Cao độ mặt đất được lấy theo cao độ tự nhiên xác định trên bản đồ số hóa, tuy nhiên đối với vùng trũng thấp, cao độ mặt đất được giả định bằng cao độ san nền tối thiểu +2m (theo quyết định số 752/QĐ-Ttg của Thủ Tướng Chính Phủ ngày 19/06/2001 v/v phê duyệt Quy Hoạch tổng thể hệ thống thoát nước TP HCM đến năm 2020).

Sơ đồ thoát nước:

Sơ đồ hiện trạng: Toàn bộ hệ thống hiện trạng được sơ đồ hóa thành 180 tiểu lưu vực, 221 đoạn ống và 181 nút (Hình 5a).

Sơ đồ thiết kế: Toàn bộ hệ thống hiện trạng được cải tạo mở rộng theo thiết kế và được sơ đồ hóa thành 162 tiểu lưu vực, 164 đoạn ống và 163 nút. (Hình 5b). Sơ đồ thiết kế có số tiểu lưu vực, số đoạn ống và nút ít hơn ở sơ đồ hiện trạng là vì khi thiết kế những đường ống có khẩu độ nhỏ bị bỏ đi và thay bằng đường ống có khẩu độ to hơn, một số đường ống kép hai bên đường chuyển thành đường ống đơn ở giữa đường.



Hình 5. (a) Sơ đồ hiện trạng lưu vực TH-LG; (b) Sơ đồ thiết kế lưu vực TH-LG.

### 3. Kết quả và thảo luận

#### 3.1. Kết quả mô phỏng hiện trạng ngập lụt

\* Kết quả hiệu chỉnh, kiểm định mô hình

Dùng phương án hiện trạng để kiểm nghiệm mô hình bằng cách so sánh những điểm ngập có được từ việc mô phỏng bằng mô hình với điểm ngập từ khảo sát thực tế.

Sau khi thực hiện mô phỏng bằng mô hình PC SWMM, kết quả như sau:

Số điểm quan sát 180 điểm. Trong đó có 74 điểm ngập chiếm 41%. Còn theo khảo sát thực tế thì số điểm ngập là 99 điểm, chiếm 55% tổng số điểm.

Như vậy tỉ lệ mô tả thành công của mô hình là khoảng 75%. Do số liệu điều tra về hiện trạng kênh cống không đầy đủ và thiếu tin cậy nên tỉ lệ thành công như vậy là khá cao, cho thấy mô hình có khả năng tái hiện tình trạng ngập ở lưu vực TH-LG.

Nghiên cứu này sẽ sử dụng mực nước biên thay đổi cho phù hợp với thực tế dao động mực nước triều và chế độ vận hành của cống ngăn triều. Bảng 1 trình bày kết quả so sánh giữa 2 trường hợp mực nước biên: (1) cố định 1,31 m và (2) dao động theo thủy triều với đỉnh max là 1,43 m (Bảng 1).

**Bảng 1.** Kết quả phương án thiết kế cải tạo mở rộng trường hợp biên là mực nước cố định và dao động theo thủy triều.

Biên	Mực nước cố định	Dao động theo mực nước thủy triều
Quan sát	163	163
Tổng thời gian ngập (phút)	9.448,1	2.583,6
Số điểm ngập	17	17

Theo kết quả mô phỏng biên mực nước cố định dẫn đến kết quả sai lệch nhiều với biên dao động theo triều. Trong khi đó, theo kết quả tính toán thủy lực các dự án quy hoạch thoát nước chi tiết TPHCM thì mực nước tại ngã ba Lò Gốm–Tàu Hủ không phải là mực nước độc lập mà chịu ảnh hưởng của chế độ mưa–dòng chảy trên toàn lưu vực rộng.

Vậy để giải quyết tình trạng ngập, việc mở rộng cải tạo hệ thống kênh cống như phương án thiết kế, điều kiện biên mô hình mưa được sử dụng trong tính toán được lấy theo trạm Tân Sơn Nhất với chu kỳ lặp lại 3 năm dựa theo kết quả sử lý của CDM, và mực nước dao động theo triều tại trạm Phú An tháng 10/2002 chỉ giải quyết ngập do mưa ở thời điểm hiện tại, không giải quyết tình trạng ngập do triều. Cho nên để giải quyết tình trạng ngập do triều, phương án hiện tại hoặc là kết hợp nâng cao độ nền (phương án chọn của dự án) hoặc kết hợp tổ hợp công ngăn triều và bơm.

**3.4. Mô phỏng ảnh hưởng việc gia tăng mực nước biên với khả năng thoát nước của lưu vực và đề xuất biện pháp khắc phục.**

Dưới ảnh hưởng của biến đổi khí hậu (BĐKH) mực nước trên các sông đều có xu hướng gia tăng (Bảng 2).

**Bảng 2.** Xu thế gia tăng mực nước cao nhất hàng năm thời kỳ 1990–2017.

Trạm	Vũng Tàu	Phú An	Nhà Bè	Thủ Dầu Một	Tân An	Bến Lức	Biên Hòa
Tốc độ tăng (cm/năm)	-0,08	1,45	1,17	0,94	2	1,94	1,63

Kết quả kiểm tra xu thế tăng của mực nước lớn nhất hàng năm tại các trạm thủy văn chính trong khu vực theo phương pháp Mann–Kendall và Sen được trình bày trong bảng 3.

**Bảng 3.** Đánh giá xu thế tăng của mực nước lớn nhất hàng năm tại các trạm thủy văn chính.

Zmax (cm)	n	Mann–Kendall Z	Sen's Q	Sen's B	COV	Đánh giá
Phú An	18	4,03	1,455	108,82	0,06	Tăng mạnh
Vũng Tàu	18	-0,04	0,000	134,00	0,06	Không tăng
Thủ Dầu Một	18	4,46	0,900	100,70	0,05	Tăng mạnh
Nhà Bè	18	3,27	1,167	116,58	0,06	Tăng mạnh
Biên Hòa	18	1,86	1,800	138,30	0,11	Tăng ít
Bến Lức	18	3,88	1,917	92,00	0,09	Tăng mạnh
Tân An	18	2,88	1,941	97,76	0,12	Tăng mạnh

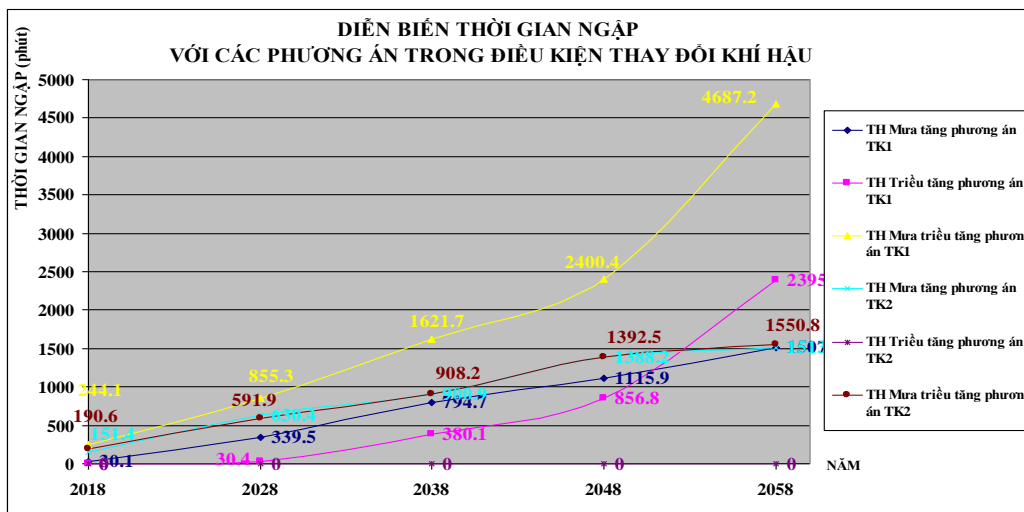
Lượng mưa thiết kế cho trận mưa 180 phút được nghiên cứu đề xuất bởi CDM, là 90,3 mm và 105,4 mm, tương ứng với các chu kỳ lặp lại là 3 và 5 năm, với hệ số triết giảm là 1. Trong tính toán này nghiên cứu sẽ sử dụng lại những giá trị tính toán của CDM và dự phóng theo xu thế cho từng thời kỳ 10 năm để đánh giá khả năng làm việc của hệ thống thoát nước ở các thời kỳ 2008 (giá trị tham chiếu), 2018, 2028, 2038, 2048 và 2058. Các thông số thiết kế của hệ thống thoát nước mưa sẽ được mô phỏng bằng mô hình PC SWMM cho hai phương án thiết kế với ảnh hưởng của việc gia tăng mực nước biên (mưa tăng -0,8 mm/năm, triều tăng -1,0 cm/năm, mưa triều cùng tăng):

- Phương án thiết kế 1 (TK1) – cải tạo mở rộng kết hợp nâng cao độ nền.

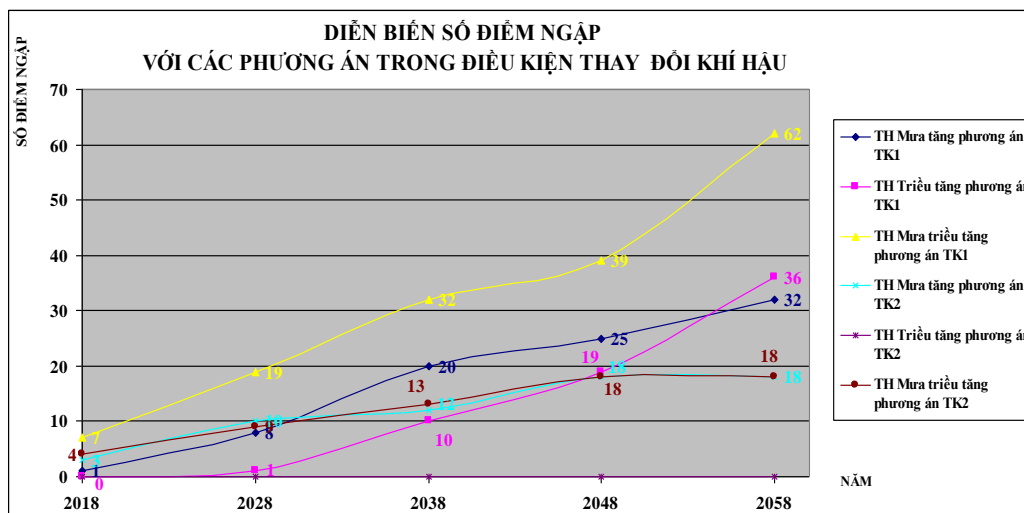


- Phương án thiết kế 2 (TK2) – cải tạo mở rộng kết hợp cống ngăn triều và bơm. (Xây dựng một cống ngăn triều ở đầu kênh TH-LG với kích thước HxB = 4,5x50 m, với nguyên lý làm việc đóng ở cao độ +0 khi triều lên và mở ở cao độ +1,3 m khi triều xuống. Việc chống ngập cho lưu vực được kết hợp với một trạm bơm để vận hành trong trường hợp mưa lớn gặp triều cường bên ngoài).

Kết quả mô phỏng khả năng thoát nước bằng mô hình PC SWMM trong điều kiện thay đổi khí hậu: mực nước gia tăng (hình 6 và hình 7).



Hình 6. Diễn biến thời gian ngập với các phương án trong điều kiện BĐKH.



Hình 7. Diễn biến số điểm ngập với các phương án trong điều kiện BĐKH.

Theo kết quả mô phỏng, càng về sau thời gian ngập và số điểm ngập càng tăng dần, do đó các phương án thiết kế hiện tại không khả thi với diễn biến khí hậu trong tương lai. Cả hai phương án thiết kế đều không giải quyết ngập triệt để cho lưu vực.

Vậy để xóa ngập triệt để trong điều kiện BĐKH nghiên cứu xét hai kịch bản bổ sung (a) và (b) tổ hợp với hai phương án TK1 và TK2.

(a) Quy hoạch lại mật độ xây dựng cho phép sao cho có thể giảm dần tỉ lệ diện tích mặt phủ không thấm nước từ 75% hiện nay xuống đến khoảng 55% trong vài thập niên tới.

(b) Bổ sung thêm các hồ điều tiết phân bố rải rác trên lưu vực. Vị trí và diện tích phù hợp cho việc phát triển hồ sẽ được thử dần trên mô hình PC SWMM.

\* Phương án điều chỉnh giảm diện tích không thấm (a).

- Phương án TK1: Cải tạo mở rộng kết hợp nâng nền.

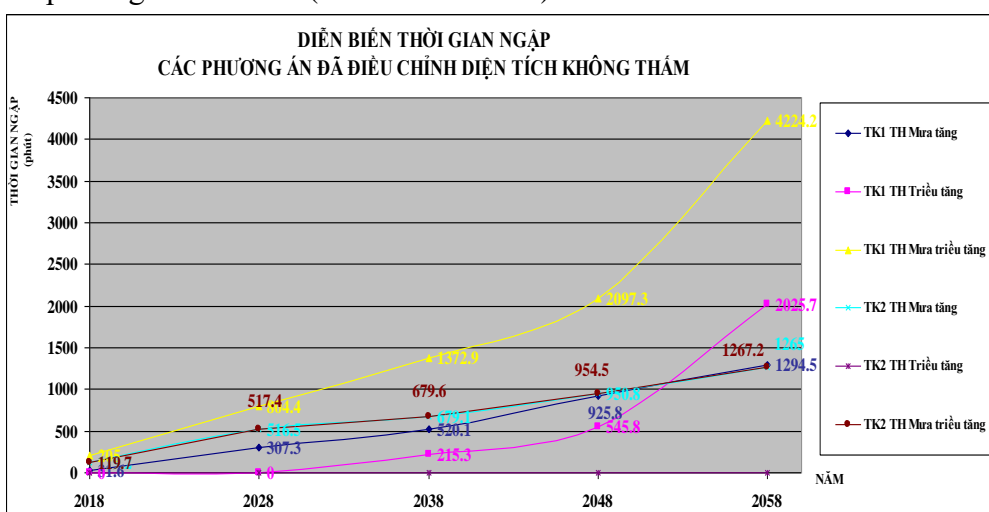
Nghiên cứu tiến hành giảm dần phần diện tích không thấm theo thời gian sao cho đạt tới tỉ lệ 55% sau 50 năm. Quy trình này sẽ được thực hiện cho tất cả các trường hợp (TH) của phương án (PA) TK1, TK2.

Đề phù hợp với xu thế phát triển cơ cấu sử dụng đất trong tương lai, nghiên cứu tiến hành điều chỉnh diện tích phần không thấm 2018 (75%), 2028 (65%), 2038 (55%), 2048 (55%), 2058 (55%).

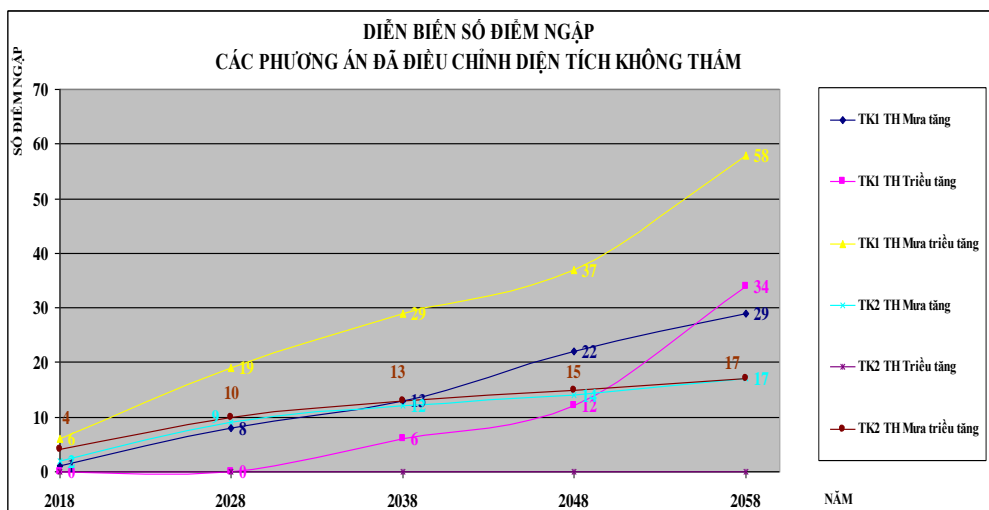
- Phương án TK2: Cải tạo mở rộng kết hợp công ngăn triều và bơm, nghiên cứu tiến hành điều chỉnh diện tích phần không thấm đến khi thỏa mãn điều kiện không ngập.

Tóm lại ở phương án TK2 (cải tạo mở rộng kết hợp công ngăn triều bơm) nghiên cứu có thể kết luận, tác động do mưa là chủ yếu, triều là không đáng kể. Để xóa ngập cần diện tích phần không thấm 15% (điều này là không thể). Phương án này đối với TK2 cũng chỉ có tác dụng giảm ngập.

Theo xu thế phát triển bền vững, cơ cấu sử dụng đất lâu dài, việc chỉnh trang đô thị trong tương lai, tiến đến một đô thị lý tưởng. Sau khi điều chỉnh diện tích không thấm phù hợp, kết quả của 2 phương án đã xét là (Hình 8 và Hình 9).



Hình 8. Diễn biến thời gian ngập các PA đã điều chỉnh diện tích không thấm.



Hình 9. Diễn biến số điểm ngập các PA đã điều chỉnh diện tích không thấm.

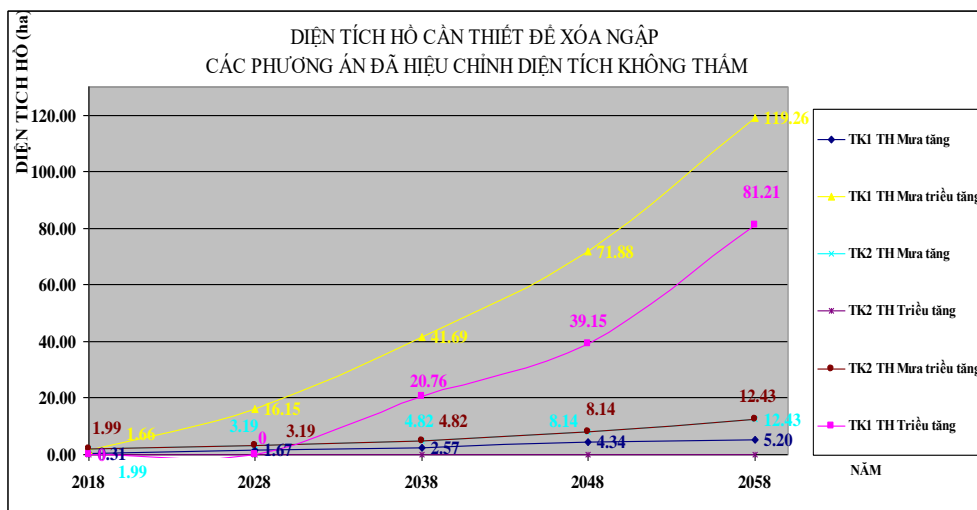
Kết quả mô phỏng cho thấy:

Phương án cải tạo mặt phủ đô thị chỉ có tác dụng giảm ngập, hiện tại thì mưa là nguyên nhân gây ngập chủ yếu, nhưng càng về sau mức độ ngập do triều càng tăng.

Như đã nói ở trên, để xóa ngập một cách triệt để, phương án hồ điều tiết phân tán hoạt động theo thủy triều là phương án khả thi và mang lại hiệu quả cao nhất trong việc giải quyết tình trạng ngập dưới tác động của biến đổi khí hậu.

\* Phương án hồ điều tiết phân tán đã hiệu chỉnh diện tích không thấm.

Ứng với từng thời điểm ngập, nghiên cứu thử dần diện tích cần thiết của hồ đến khi không còn ngập, kết quả cụ thể như sau (hình 10):



Hình 10. Diện tích hồ cần thiết để xóa ngập các PA đã điều chỉnh diện tích không thấm.

Phương án này giúp nghiên cứu xóa ngập một cách triệt để với diện tích hồ không đáng kể (trường hợp bất lợi nhất 119,26 ha chiếm 7% diện tích lưu vực) so với tổng diện tích lưu vực. Ứng với từng thời điểm, nghiên cứu có từng diện tích hồ thích hợp để xóa ngập.

#### 4. Kết luận

Đối với bài toán thoát nước đô thị sử dụng phương pháp mô hình toán (PC SWMM) kết hợp với các dữ liệu quan sát-đo đạc thực tế để đánh giá khả năng thoát nước của lưu vực TH-LG trong điều kiện BĐKH với các kịch bản mực nước gia tăng. Mô hình quản lý nước mưa PC SWMM là 1 mô hình toán học toàn diện, dùng để mô phỏng khối lượng và tính chất dòng chảy đô thị do mưa và hệ thống cống thoát nước thải chung. Lợi ích lớn nhất từ mô hình là có thể dự đoán được tình trạng ngập nước tại một số vị trí. Bằng cách thay đổi một vài yếu tố của đường ống, dòng chảy, có thể đoán được nguyên nhân gây ngập, mức độ ngập, thời gian ngập, từ đó đề ra các giải pháp hợp lý. Nghiên cứu đã ứng dụng và đánh giá được khả năng thoát nước của lưu vực TH-LG trong việc gia tăng mực nước biên với các kịch bản: mưa tăng theo tốc độ 0,8 mm/năm và mực nước tăng 1cm/năm, tuy nhiên trong thực tế tốc độ này có thể tăng nhanh hoặc chậm hơn, lúc đó hiệu quả của phương án có thể ngắn hoặc dài hơn. Trên cơ sở đó, nghiên cứu đã sử dụng bộ thông số để tính toán cho hai phương án thiết kế: cải tạo mở rộng mạng lưới kênh rạch + nâng nền, cải tạo mở rộng mạng lưới kênh rạch + công ngăn triều + bơm ứng với giải pháp chỉnh trang đô thị giảm dần diện tích không thấm và xây dựng hồ điều tiết phân tán trong điều kiện gia tăng mực nước biên. Kết quả cho thấy với giải pháp xây dựng hồ điều tiết phân tán (7% diện tích lưu vực) mang lại hiệu quả tốt nhất và có khả năng xóa ngập cho đô thị.

Mô hình mới mô phỏng cho những trận mưa thiết kế có tần suất 3 năm xuất hiện 1 lần là những trận mưa chưa lớn. Đồng thời mực nước biên triều ở mức 1,43 m tại trạm Phú An ở tần suất 10% là mức triều thấp. Vì thế để bộ thông số tốt hơn và có kịch bản mang tính tổng quát hơn (đặc biệt là các trận mưa lớn, cực lớn kết hợp triều cường cao). Đây cũng chính là hạn chế của nghiên cứu này.

**Đóng góp của tác giả:** Xây dựng ý tưởng nghiên cứu: T.T.Q., H.T.T.N.; Lựa chọn phương pháp nghiên cứu: T.T.Q., C.T.V., H.T.T.N.; Xử lý số liệu: V.T.V.A., N.T.H.T.; Mô hình hóa: T.T.Q., H.T.T.N.; Phân tích kết quả: T.T.Q., H.T.T.N., C.T.V.; Chỉnh sửa bài báo: H.T.T.N., C.T.V., V.T.V.A.

**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. Nữ, H.T.T.; Vũ, Đ.T.; Phùng, L.V.; Văn, C.T. Mô phỏng mức độ ngập và đề xuất giải pháp thoát nước chống ngập cho khu vực Văn Thánh – thành phố Hồ Chí Minh. *Tap chí Khí tượng Thủy văn* **2020**, 716, 12–25. doi:10.36335/VNJHM.2020(716).12-25.
2. Sở Quy hoạch – Kiến trúc TPHCM. Giải pháp hạn chế tình trạng ngập lụt tại TP.HCM và tình hình biến đổi khí hậu trong tương lai. 2017. <https://qhkt.hochiminhcity.gov.vn/do-thi-xanh/giai-phap-han-che-tinh-trang-ngap-lut-tai-tp-hcm-va-tinh-hinh-bien-doi-khi-hau-trong-tuong-lai-1031.html>.
3. Nữ, H.T.T. Nghiên cứu giải pháp thoát nước chống ngập cho lưu vực rạch Văn Thánh Thành phố Hồ Chí Minh. Luận văn thạc sĩ kỹ thuật Đại học Bách Khoa TP.HCM, 2010.
4. Quyên, T.T. Nghiên cứu ảnh hưởng của việc gia tăng mực nước biên đối với khả năng thoát nước của lưu vực Tân Hóa – Lò Gốm và biện pháp khắc phục. Luận văn thạc sĩ kỹ thuật Đại học Bách Khoa TP.HCM, 2008.
5. Phương, N.V và cs. Nghiên cứu giải pháp thoát nước mưa trên đường phố theo hướng bền vững. *Tap chí KHCN Xây dựng NUCE* **2019**, 13(V2), 73–85.
6. Tính, N.Đ.; Viện, D.V. Một số giải pháp chống ngập ở TP.HCM, Cơ Sở 2– trường Đại học Thủy lợi, Hội đập lớn và phát triển nguồn nước. URL: [www.vncold.vn](http://www.vncold.vn). 2007.
7. Điềm, N.V.; Sơn, H.T. Mô hình tính toán thoát nước mưa cho những đô thị trong vùng bị ảnh hưởng thủy triều. Trường đại học Bách Khoa TP HCM. 2002.
8. Muthukrishnan, S.; Harbor, J.; Kyoung, K.J.; Engel, B.A. Calibration of a Simple rainfall–runoff model for long–term hydrological impact evaluation. *URISA J.* **2004**, 18(2), 35–42.
9. Nasello, C.; Tucciarelli, T. Dual Multilevel Urban Drainage Model. *J. Hydr. Eng.* **2005**, 131(9), 748–754.
10. UBND TPHCM. Các kết quả phân tích kênh Tân Hóa – Lò Gốm để xác định và thiết kế các dự án thí điểm BQL 415, báo cáo chính và các phụ lục UBND TPHCM và Ủy ban hợp tác quốc tế Bỉ, 2005.
11. Nghiên cứu khả thi và thiết kế sơ bộ dự án thoát nước TP. HCM lưu vực Nhiều Lộc Thị Nghè PCHMC và công ty Tư vấn Camp Dresser và McKee International, 1999.
12. Huy, N.S. và cs. Luận chứng kinh tế kỹ thuật tiêu thoát nước và cải tạo ô nhiễm hệ kênh rạch Tân Hoá – Lò Gốm, 1994.
13. Báo cáo tổng hợp Dự án nâng cấp đô thị và vệ sinh rạch Tân Hóa Lò Gốm. Báo cáo của ban quản lý dự án 415 (PMU 415).
14. Báo cáo nghiên cứu kỹ thuật dự án Cải thiện vệ sinh–Nâng cấp Đô thị kênh Tân Hóa Lò Gốm. <http://www2.btctb.org/TH-LG/vn/fs.htm>.
15. Phi, H.L. Sự thay đổi khí hậu, đô thị hóa và tình trạng ngập ở TPHCM. Đại học Bách khoa TP.HCM, 2004.
16. Hiếu, T.V. và cs. Nghiên cứu phương pháp phân vùng ngập và thoát nước đô thị nội thành TP.HCM (2000–2002). Báo cáo tổng kết đề tài Phân viện Khí tượng Thủy văn và BDKH, 2002.

17. Cảnh, Đ.; Trục, D.V. Ứng dụng kỹ thuật sinh thái, xây dựng hệ thống tiêu thoát nước đô thị bền vững. Đại học Quốc gia TP HCM, 2006.
18. Harremoes, P. Intergrated urban drainage, status and perspectives. *Water Sci. Technol.* **2002**, 45(3), 1–10.
19. Boyd, J.M.; Bufill, M.C.; Knee, R.M. Pervious and impervious runoff in urban catchments. *Hydrol. Sci. J.* **1993**, 38, 463–478.
20. Zhou, Q.; Yang, X.; Melville, M.D. A GIS network model for sugarcane field drainage management. School of Geography, University of New South Wales, 1996.
21. Sydney, Australia. Proceedings of 8<sup>th</sup> Australasian Remote Sensing Conference, 25–29 March 1996, Canberra, 1996, 2, 366–372.
22. O’Loughlin, G.; Huber, W.; Chocat, B. Rainfal–runoff process and modeling. *J. Hydraul. Res.* **1996**, 34, 733–751.

## **Application of urban hydrological model to simulate inundation and drainage capacity due to increase in tidal water level for Tan Hoa – Lo Gom canal system in Ho Chi Minh City**

**Hoang Thi To Nu<sup>1</sup>, Tu Thieu Quyen<sup>2</sup>, Vu Thi Van Anh<sup>1</sup>, Nguyen Thi Hong Thao<sup>3</sup>, Can Thu Van<sup>1\*</sup>**

<sup>1</sup> HCMC university of Natural resources and Environment; nu.htt@hcmunre.edu.vn; vtvanh@hcmunre.edu.vn; ctvan@hcmunre.edu.vn

<sup>2</sup> Department of Agriculture and Rural Development Tra Vinh province; quyentuqldd@gmail.com

<sup>3</sup> Southern Institute of Construction Planning; hongthaosgtl@gmail.com

**Abstract:** As the economic, trade and tourism center of Vietnam, Ho Chi Minh City (HCMC) has experienced rapid urbanization, which has led to many consequences on infrastructure, in which the problem of urban flooding is the most severe. Tan Hoa–Lo Gom basin is located on the southwest boundary of the inner city of HCMC. The TH–LG channel flows from the Northeast to the Southwest through 5 districts: Tan Binh (Bau Cat area), District 11, 6, 8, Binh Chanh and ends at Tau Hu canal. The total catchment area is 2,498 ha (3.8% of the city’s area). The study applied the PC SWMM model to simulate the effect of marginal water level increase on the drainage capacity of the basin. The results of the study show that the reservoir solution is effective even in climate change conditions with the given scenarios.

**Keywords:** Urban flooding in Ho Chi Minh City; SWMM model; Tan Hoa–Lo Gom.



Bài báo khoa học

## Ứng dụng công nghệ viễn thám, RTK, GIS thành lập bản đồ ngập lũ đồng bằng Tuy Hòa – tỉnh Phú Yên

Lê Đức Hạnh<sup>1</sup>, Hoàng Thanh Sơn<sup>1\*</sup>, Tống Phúc Tuấn<sup>1</sup>, Bùi Anh Tuấn<sup>1</sup>, Vũ Hải Đăng<sup>2</sup>, Nguyễn Thị Hải Yến<sup>1</sup>, Trịnh Việt Nga<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Viện Địa lý – Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam; hanhvd1@gmail.com; hoangson97@gmail.com; tuan\_tongphuc@yahoo.com; igtuan253@gmail.com

<sup>2</sup> Viện Địa chất và Địa vật lý biển – Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam; vuhaidang@hotmail.com

<sup>3</sup> Cục Viễn thám – Bộ Tài nguyên và Môi trường; tvnga2016@gmail.com

\*Tác giả liên hệ: hoangson97@gmail.com; Tel.: +84-983920505

Ban biên tập nhận bài: 22/7/2022; Ngày phản biện xong: 19/8/2022; Ngày đăng bài: 25/8/2022

**Tóm tắt:** Ở những vùng thường xuyên chịu tác động của ngập lũ, bản đồ thể hiện các yếu tố diện và mức độ ngập lụt có ý nghĩa quan trọng trong công tác ứng phó giảm thiểu thiệt hại, đồng thời làm cơ sở quy hoạch bố trí dân cư, phát triển kinh tế xã hội. Nghiên cứu đã xây dựng phương pháp thành lập bản đồ ngập lũ trên cơ sở tích hợp công nghệ viễn thám, RTK và GIS áp dụng thử nghiệm cho vùng đồng bằng Tuy Hòa–tỉnh Phú Yên. Tư liệu ảnh viễn thám Sentinel 1 thời điểm tháng 11/2021 được xử lý trên máy chủ Google Earth Engine cho phép xác định nhanh các vùng ngập lũ. Kết hợp với số liệu khảo sát vết lũ cùng thời điểm bằng công nghệ đo RTK giúp nội suy mô hình bề mặt nước lũ để hiệu chỉnh kết quả giải đoán vùng ngập do ảnh hưởng của các yếu tố mật độ, độ cao địa hình. Phần mềm GIS xử lý kết hợp kết quả giải đoán vùng ngập, mô hình bề mặt nước lũ và bản đồ địa hình tỷ lệ lớn để xây dựng bản đồ diện và độ sâu ngập lũ. Bản đồ thể hiện chi tiết 7 cấp độ ngập từ 0–6 m, trong đó khu vực huyện Tây Hòa có tổng diện tích ngập lớn nhất (12.704 ha), TP. Tuy Hòa có diện tích ngập ít nhất (2.708 ha); độ sâu ngập phổ biến từ 1–3 m (16.945 ha) phân bố chủ yếu ở vùng trũng thấp của huyện Tây Hòa và TX. Đông Hòa. Nghiên cứu cho thấy khả năng tích hợp ảnh viễn thám, hệ thống giám sát mực nước và bản đồ địa hình tỷ lệ lớn nhằm giám sát lũ lụt thời gian thực đáp ứng công tác phòng chống thiên tai ngập lụt trên cả nước nói chung và vùng đồng bằng Tuy Hòa–tỉnh Phú Yên nói riêng.

**Từ khóa:** Đồng bằng Tuy Hòa; Bản đồ ngập lũ; Vết lũ; Viễn thám; RTK.

### 1. Đặt vấn đề

Lũ lụt là thảm họa xảy ra phổ biến nhất trên toàn thế giới, gây ra thiệt hại về nhân mạng và gián đoạn xã hội. Vì thế, đã có nhiều nghiên cứu về lũ lụt trên thế giới cũng như Việt nam được thực hiện, trong đó bản đồ diện ngập, độ sâu ngập được ưu tiên xây dựng nhằm hỗ trợ cho phòng chống, giảm thiểu thiệt hại. Theo hướng tích hợp kết quả mô hình MikeFlood đồng hóa vào phần mềm ArcGIS, [1] xây dựng bản đồ rủi ro lũ lụt nhằm hỗ trợ chính quyền xây dựng kế hoạch và hành động nhằm giảm thiểu tác hại ở tỉnh Ordu của Thổ Nhĩ Kỳ. Cũng ở vùng nghiên cứu này, theo hướng tiếp cận sử dụng ảnh viễn thám quang học, SAR, aB. [2] sử dụng ảnh Sentinel để phát hiện các khu vực bị ngập lụt bằng 03 thuật toán phân loại có kiểm định trên phần mềm SNAP. Các kết quả cho thấy kết quả của các phương pháp phân

loại tạo ra những bản đồ khác nhau, việc phân loại sai dẫn đến việc phát hiện quá mức các khu vực bị ngập lụt. nghiên cứu cũng khuyến nghị cần thiết phải có số liệu điều tra về lũ lụt để cải thiện độ chính xác của kết quả. Để đánh giá hiệu quả của ảnh Sentinel-1,2 [3] phân tích dữ liệu trong 10 năm tại 2000 địa điểm ở Châu Âu đi đến kết luận vệ tinh Sentinel-1, -2 có thể quan sát trung bình 58% các trận lũ lụt xảy ra.

Ở Việt Nam, các nhà nghiên cứu cũng đã ứng dụng mô hình mô phỏng để xây dựng bản đồ ngập lụt, Nguyễn Kim Nhung và cộng sự [4] dùng mô hình kết nối 1D-2D xây dựng bản đồ ngập lụt hạ lưu sông Ba theo cấp báo động, được Cục Phòng chống thiên tai sử dụng ứng phó trong mùa lũ năm 2014. Trên cơ sở mô phỏng lũ 2007, 2009 [5] đã tiến hành chồng chập với bản đồ hiện trạng sử dụng đất đề xuất giải pháp tạo không gian thoát lũ phù hợp với điều kiện kinh tế-xã hội của thành phố Đà Nẵng. Kết hợp dữ liệu mưa IFS, [6] thiết lập mô hình MIKE SHE – MIKE11 – MIKE 11 GIS nhằm xây dựng bản đồ mức độ độ sâu ngập lụt ở hạ lưu sông Trà Khúc-Sông Vệ để hỗ trợ các nhà quản lý hoạch định kế hoạch giảm thiểu thiên tai trong tương lai. Bằng phương pháp tổng hợp địa lý các nhân tố tác động và nhân tố mặt đệm qua phần mềm GIS [7] xây dựng tập bản đồ hỗ trợ cảnh báo lũ quét cho vùng Nam Trung Bộ.

Có thể thấy, phương pháp mô hình để xây dựng các bản đồ ngập lũ trên cơ sở tần suất xảy ra trong quá khứ được ứng dụng nhiều trong các nghiên cứu về lũ lụt, tuy nhiên, đòi hỏi số liệu KTTV đủ dày để xác định quan hệ mưa dòng chảy, số liệu địa hình lòng sông và vùng ngập. Phần cứng và phần mềm phục vụ mô phỏng hiện nay thường cho thời gian 3-6h, gây chậm trễ trong công tác phòng chống thiên tai. Ngoài ra, các điều kiện mặt đệm, khí hậu thời tiết thường xuyên thay đổi nên khó cập nhật vào mô hình mô phỏng. Phát triển mô hình sử dụng các thuật toán khác nhau là một quá trình liên tục nhằm cải thiện độ chính xác của dự báo lũ [8]. Hướng nghiên cứu tiếp cận ảnh viễn thám kết hợp với số liệu RTK có thể giúp cung cấp bản đồ ngập lụt có độ tin cậy, đồng thời cho kết quả nhanh chóng nhờ vào khả năng tính toán của điện toán đám mây.

Trên địa bàn tỉnh Phú Yên, trong những năm gần đây hiện tượng lũ lớn, lũ quét đã xảy ra với qui mô và cường độ rất lớn ở các lưu vực sông miền Trung, đặc biệt là lưu vực sông Ba nơi có địa hình chia cắt mạnh, lòng sông ngắn và dốc. Có thể kể đến là các trận lũ lịch sử năm 1993, 2009, 2013 và gần đây là trận lũ từ 26-30/11/2021. Lũ lụt xảy ra gây thiệt hại và tàn phá nghiêm trọng cả về người và của đồng thời để lại hậu quả hết sức nặng nề. Hàng ngàn hộ dân mất nhà cửa hoặc phải di dời khỏi các vùng sạt lở, ngập lũ. Trên địa bàn lưu vực sông Ba nói riêng, ngập lụt đã trở thành một tai họa tự nhiên thường xuyên đe dọa cuộc sống của người dân trong vùng [9].

Sự biến động liên tục của các yếu tố tự nhiên do tác động của biến đổi khí hậu và con người đã làm thay đổi sâu sắc tới chế độ thủy văn của các lưu vực sông. Điều đó dẫn đến việc nghiên cứu lũ tại mỗi thời điểm cần thiết được cập nhật, bổ sung các thông tin về tính chất các trận lũ. Kết quả thành lập bản đồ ngập lũ giúp giải quyết một số vấn đề thực tế đòi hỏi như: khoanh vi các khu vực bị ảnh hưởng, khái tính thiệt hại do lũ lụt và cung cấp thông tin hỗ trợ cho mô hình thủy văn-thủy lực mô phỏng dòng chảy lũ. Công nghệ vệ tinh, kỹ thuật bay chụp, tính toán đám mây đã có sự phát triển vượt bậc trong những năm gần đây, góp phần cải tiến các phương pháp, cung cấp tư liệu đa thời gian phục vụ thành lập bản đồ ngập lũ. Đặc biệt là công nghệ viễn thám [10-14], công nghệ RTK được ứng dụng rộng rãi, kết hợp với GIS cả về phần cứng và phần mềm.

Trận lũ từ ngày 26-30/11/2021 ở tỉnh Phú Yên được ghi nhận là trận lũ lớn sau các trận lũ lịch sử. Lượng mưa lớn nhất 671,8 mm khiến mực nước trên báo động 3 là 0,9 m. Thống kê thiệt hại có 4 người chết, 6 người mất tích. Ngập lụt đã làm 17.800 nhà bị ngập nước dưới 1 m, 45 nhà trên 1 m và 4 nhà bị hư hỏng hoàn toàn. Về nông nghiệp gây thiệt hại cho 1.800 ha (đất trồng lúa + đất trồng màu và cây trồng khác); về chăn nuôi có 13.400 gia súc, gia cầm bị chết, cuốn trôi; ngoài ra còn làm vỡ hồ, cuốn trôi 1,5 ha thủy sản. Về thủy lợi, gây hư hỏng cho 18.600 m kênh mương, bị sạt lở, bồi lấp đất đá 5.600 m<sup>3</sup> [15].

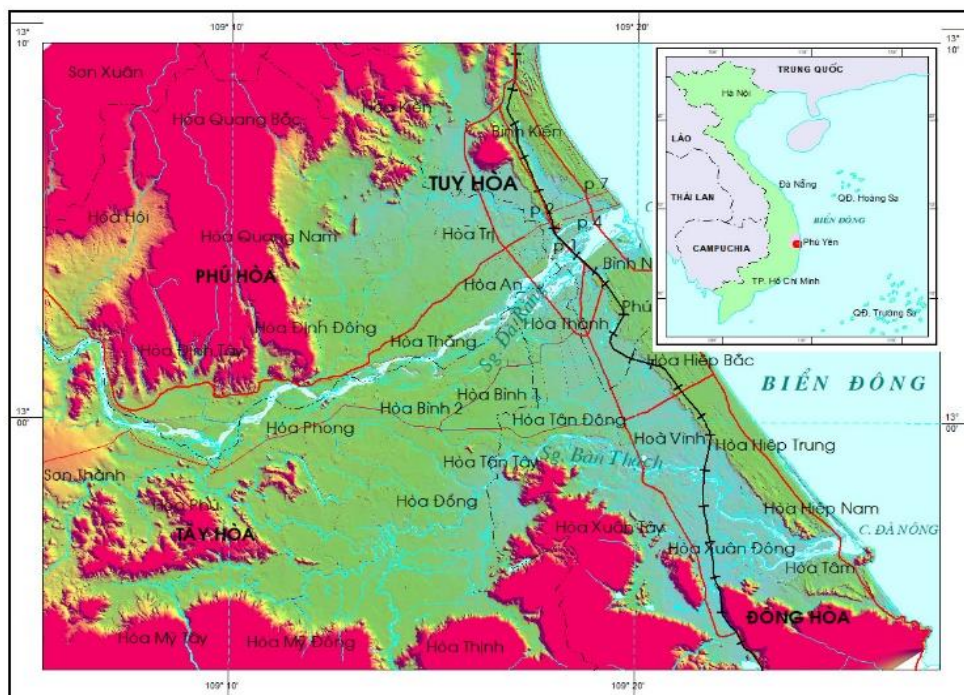
Để đáp ứng mục tiêu ứng phó với thiên tai ngập lụt, giảm thiểu tác hại đồng thời cung cấp cơ sở khoa học nhằm bố trí dân cư, phát triển kinh tế xã hội cần có được bản đồ ngập lụt vùng đồng bằng Tuy Hòa với thông tin về diện và mức độ ngập lụt nhanh chóng, chính xác. Vì vậy, trong nghiên cứu này, chúng tôi xây dựng phương pháp ứng dụng các công nghệ (RS, RTK, GIS) để xây dựng bản đồ ngập lũ, áp dụng thực tế cho trận lũ năm 2021 tại đồng bằng Tuy Hòa tỉnh Phú Yên thuộc hạ lưu lưu vực sông Ba với các thông tin chi tiết về phân bố không gian và độ sâu ngập lũ đến cấp huyện.

## 2. Phương pháp nghiên cứu

### 2.1. Khu vực nghiên cứu

Lưu vực sông Ba là lưu vực sông lớn đi qua nhiều tỉnh, ảnh hưởng của lũ lụt tác động mạnh mẽ tới đồng bằng Tuy Hòa tỉnh Phú Yên bao gồm các huyện, thị phía dưới đập Đồng Cam là nơi tập trung các khu dân cư, hành chính và kinh tế lớn bao gồm: Thành phố Tuy Hòa, thị xã Đông Hòa, huyện Phú Hòa và huyện Tây Hòa (Hình 1). Đồng bằng Tuy Hòa hình thành trên trũng kiến tạo Tuy Hòa được lấp đầy bởi vật liệu trầm tích Đệ tứ có nguồn gốc sông, biển và hỗn hợp sông–biển [16]. Địa hình chủ yếu là các bậc thềm, các dải cồn cát cổ ven biển và trũng sau cồn, kéo dài theo hướng TB–ĐN. Hình thái lòng sông Ba phần hạ lưu mở rộng, độ dốc dòng chảy thấp, lòng sông nông và có hình thái bện thường nên hạ lưu sông Ba dễ bị lũ ngập rộng và xuống lâu do bị dồn lũ và khả năng thoát lũ qua cửa hạn chế. Cơ chế mưa gây lũ hạ lưu sông Ba chủ yếu là trên phần thượng lưu vực. Lượng mưa trung bình hàng năm trên lưu vực là 1.773 mm/năm, phân hóa rõ rệt theo mùa, mùa mưa chiếm tới 86,3% lượng mưa năm. Mùa lũ phần hạ lưu sông Ba chậm hơn mùa mưa khoảng 1 tháng, và thường xảy ra vào tháng IX–XII, chủ yếu là vào tháng X–XI.

Những yếu tố nhân tác khác cũng ngày càng chi phối lớn hơn đến chế độ lũ đồng bằng Tuy Hòa, gồm: xây dựng và vận hành các hồ chứa, xây dựng mới và tôn tạo các tuyến đường giao thông, xây dựng đô thị và thay đổi kiểu thảm phủ trên lưu vực càng làm cho chế độ lũ đồng bằng Tuy Hòa trở nên khó dự đoán và mô phỏng hơn. Có được bản đồ ngập lũ là một tiền đề giúp xây dựng các kịch bản mô phỏng diễn toán lũ, từ đó cung cấp cơ sở khoa học góp phần xây dựng kế hoạch phòng tránh và giảm thiểu thiệt hại do lũ lụt, phát triển bền vững kinh tế–xã hội.



Hình 1. Sơ đồ khu vực nghiên cứu thành lập bản đồ ngập lũ hạ lưu sông Ba.



## 2.2. Phương pháp viễn thám và điện toán đám mây

Ngày nay, với sự phát triển vượt bậc của công nghệ vệ tinh đã cung cấp tư liệu hình ảnh chính xác về các đối tượng trên bề mặt trái đất một cách nhanh chóng. Đây là nguồn số liệu quý báu cho nhiều ngành, lĩnh vực khoa học, trong đó có lũ lụt bởi khả năng cung cấp thông tin đồng bộ, trên diện rộng trong điều kiện khó tiếp cận. Thực tế, đã có nhiều nghiên cứu về lũ lụt ở trong và ngoài nước sử dụng các tư liệu viễn thám radar như: ENVISAT, RADARSAT-1, AlosPALSAR và đặc biệt trong thời gian gần đây là Sentinel-1 [10–12].

Từ năm 2008 trở lại đây, sau khi tư liệu viễn thám LandSat, Sentinel được cung cấp miễn phí, Google đã lưu trữ tất cả các tập dữ liệu và liên kết chúng trong Google Earth Engine (GEE). GEE là một nền tảng điện toán đám mây [17] được thiết kế để lưu trữ, xử lý và phân tích các tập dữ liệu khổng lồ (quy mô petabyte) như dữ liệu viễn thám và các nguồn dữ liệu địa lý khác. GEE có giao diện thân thiện, dễ dàng truy cập để phát triển dữ liệu và thuật toán tương tác. Do GEE làm việc trên nguyên lý điện toán đám mây nên không phụ thuộc nhiều vào tài nguyên thiết bị người dùng, mà thực hiện việc xử lý dữ liệu thông qua giao thức lập trình JavaScript (API) cho máy chủ.

Gần đây, từ ngày 26–30/11/2021 trên lưu vực sông Ba có lượng mưa lớn, đồng thời các hồ thủy điện trên thượng nguồn xả lũ tạo ra trận lũ lớn, thời gian ngập kéo dài 2–3 ngày tại đồng bằng Tuy Hòa. Trong thời điểm đó có ảnh Sentinel 1A được thu nhận ngày 29/11/2021. Sử dụng GEE chúng tôi đã xây dựng sơ đồ diện ngập lũ bước đầu (Hình 3), để xây dựng tuyến khảo sát, xác định thông tin vị trí, cao độ điểm ngập lụt.

## 2.3. Phương pháp khảo sát thực địa ứng dụng công nghệ RTK

Như đã nói ở trên, tư liệu ảnh viễn thám bước đầu cho phép sơ bộ xác định được diện ngập lũ. Mức độ ngập lũ, hay phân bố độ cao mực nước lũ cho từng ô thửa được xác định qua công tác điều tra, khảo sát vết lũ bằng công nghệ RTK (Hình 2). Công việc này cần thiết bị dẫn đường có cài đặt bản đồ dẫn đường (sơ đồ ngập lũ xây dựng từ trước nhằm xác định các tuyến, điểm khảo sát dự kiến).

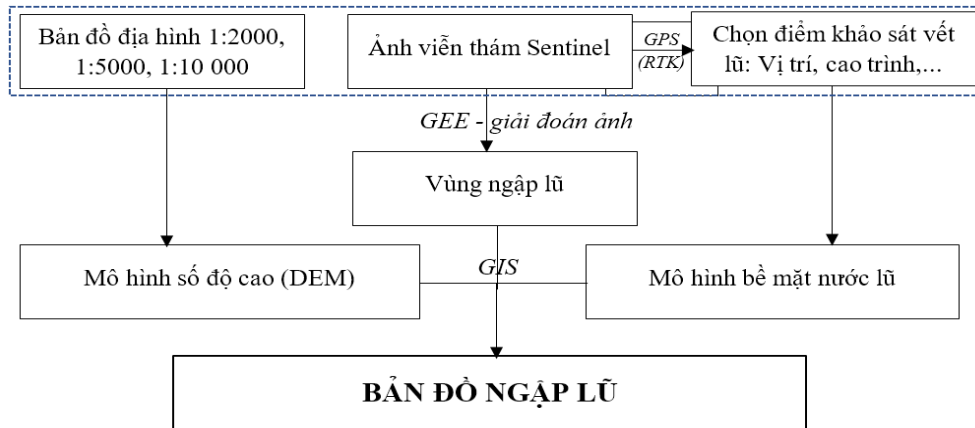
RTK viết tắt của Real Time Kinematics–định vị động học thời gian thực là một kỹ thuật GNSS vi sai cung cấp khả năng định vị chính xác cao trong vùng lân cận của một trạm gốc (trạm Base). Kỹ thuật này dựa trên việc sử dụng các phép đo sóng mang và truyền các tín hiệu hiệu chỉnh từ trạm gốc, có vị trí đã được biết rõ, đến bộ định tuyến (Rover), để các sai số do việc định vị bằng một thiết bị độc lập được giảm thiểu. Một trạm gốc RTK có bán kính hoạt động khoảng 10 km hoặc 20 km và cần duy trì kênh liên lạc thời gian thực để kết nối định tuyến với trạm di động. RTK đạt độ chính xác định vị mặt bằng và độ cao trong phạm vi sai số vài cm, nên trong khảo sát trắc địa thường sử dụng kỹ thuật này [18].



Hình 2. Điều tra, khảo sát, đo đạc vết lũ ứng dụng công nghệ RTK.

### 2.4. Phương pháp bản đồ và hệ thống tin địa lý (GIS)

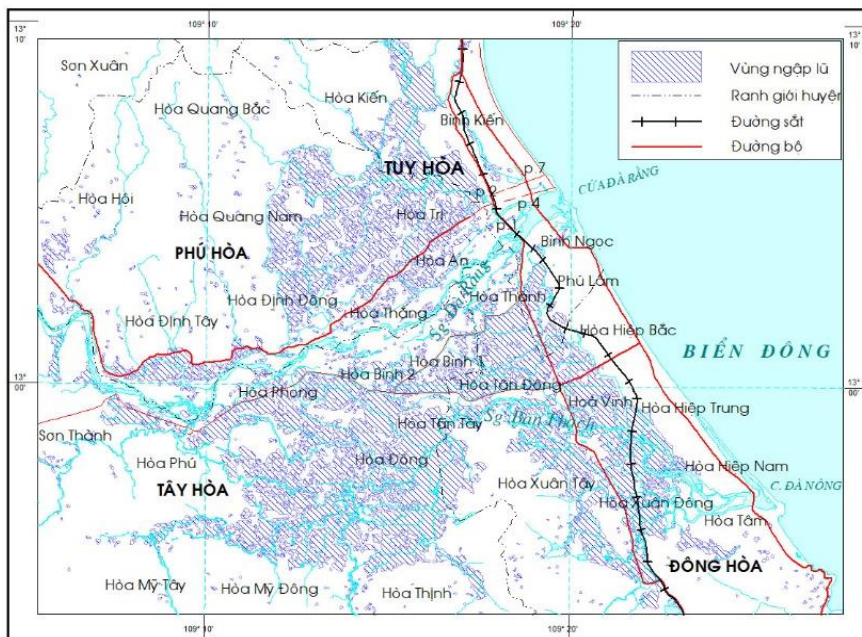
Nghiên cứu sử dụng các bản đồ địa hình ở các tỷ lệ 1:2.000, 1:5.000 và 1:10.000 để xây dựng mô hình số độ cao (DEM). Từ các điểm đo đặc khảo sát vết lũ sau khi xử lý, kiểm tra và hiệu chỉnh, sử dụng phép nội suy Natural Neighbour tạo mô hình bề mặt nước lũ. Ứng dụng GIS [19] thực hiện phép toán đại số giữa 2 mô hình DEM và mô hình bề mặt nước lũ tạo ra kết quả là thông tin diện và độ sâu ngập. Sơ đồ quy trình công nghệ thành lập bản đồ ngập lũ được thể hiện trên hình 3.



Hình 3. Sơ đồ công nghệ thành lập bản đồ ngập lũ.

### 3. Kết quả và thảo luận

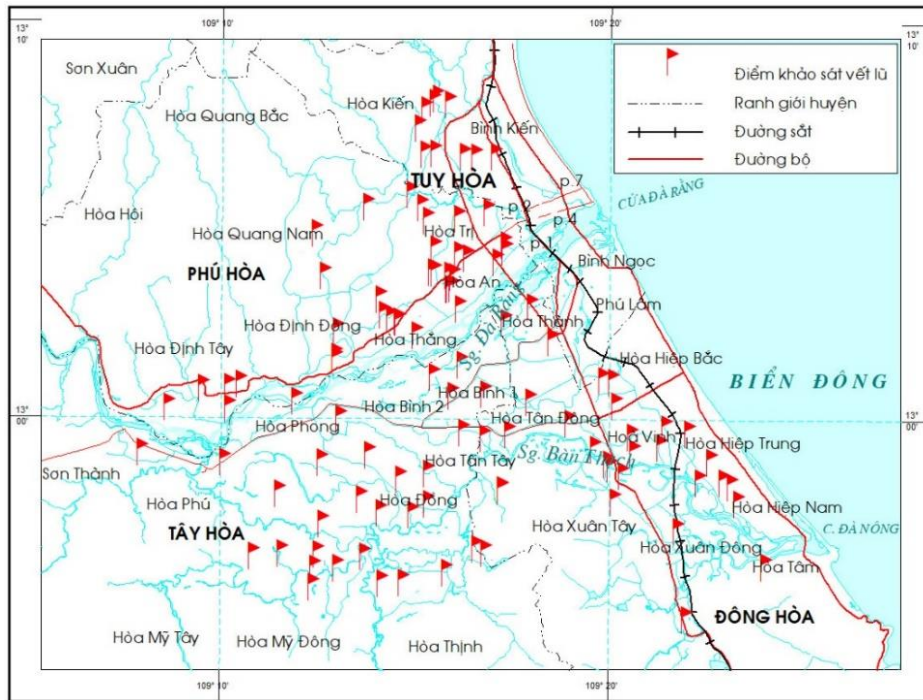
Áp dụng sơ đồ công nghệ (Hình 3) giải đoán ảnh viễn thám Sentinel 1A ngày 29/11/2021 (Hình 4). Đối sánh kết quả giải đoán và số liệu khảo sát thực tế vùng ngập lũ cho thấy một số tồn tại trong giải đoán ảnh: tại các khu vực có thực vật nổi trên mặt nước hay cao hơn mực nước lũ được xác định là khu vực không bị ngập lũ, do ảnh radar chỉ nhận được thông tin phản xạ từ bề mặt tại vị trí tiếp xúc đầu tiên của tia tới; tương tự các công trình xây dựng ở khu dân cư—khi mái nhà cao hơn mặt nước—thì kết quả thu được từ giải đoán ảnh là khu vực không bị ngập. Để khắc phục điều này, nhằm nâng cao độ tin cậy trong xây dựng bản đồ diện ngập lũ từ ảnh viễn thám radar cần có thêm các bước xử lý kết hợp với lớp phủ bề mặt và địa hình [20].



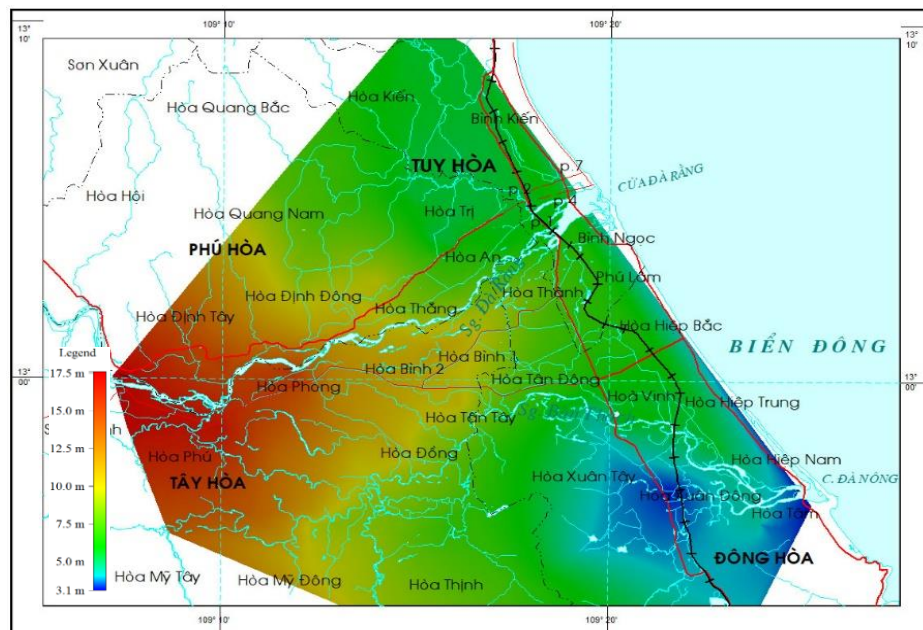
Hình 4. Sơ đồ vùng ngập lũ giải đoán từ ảnh viễn thám Sentinel 1 ngày 29/11/2021.



Quá trình điều tra khảo sát vết lũ được thực hiện tại 109 điểm bằng công nghệ RTK trong vùng ngập lũ của đồng bằng Tuy Hòa đã được xác định từ ảnh Sentinel 1A (Hình 5). Giá trị tọa độ và độ cao mực lũ tại các điểm khảo sát đều thuộc hệ quy chiếu VN2000, được sử dụng để xây dựng mô hình bề mặt nước lũ bằng các công cụ GIS.

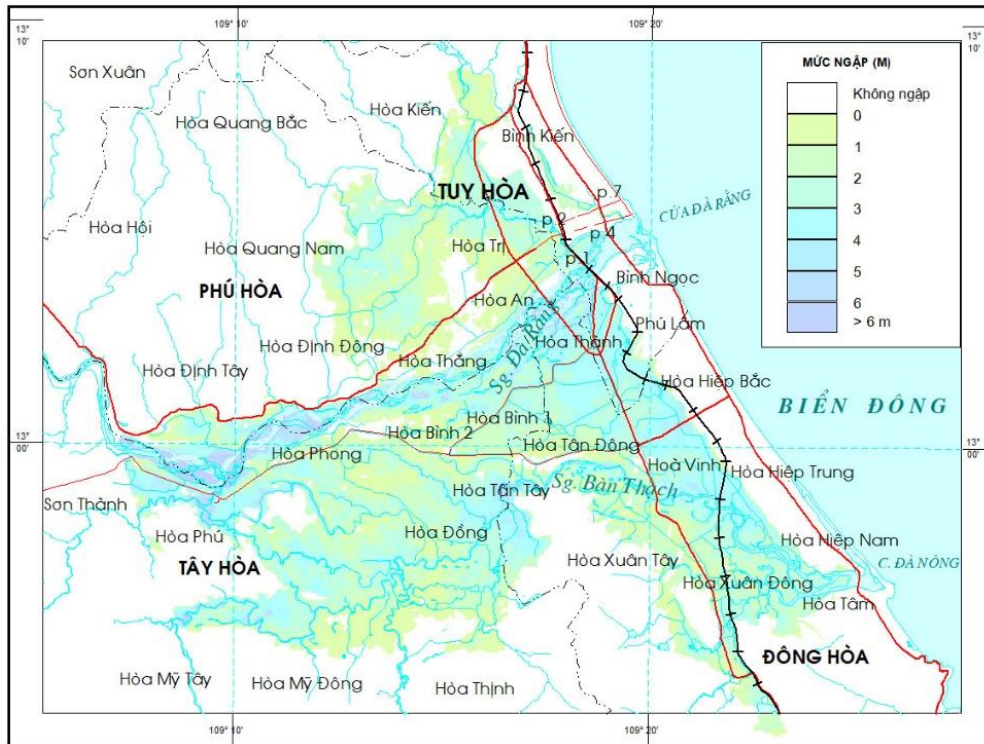


Hình 5. Sơ đồ vị trí các điểm điều tra, khảo sát vết lũ.



Hình 6. Mô hình bề mặt nước lũ lớn nhất từ kết quả khảo sát vết lũ bằng RTK.

Mô hình bề mặt nước lũ (Hình 6), trong đó những khu vực có mật độ các điểm khảo sát vết lũ càng cao thì mô hình bề mặt nước lũ sẽ càng phản ánh sát thực bề mặt nước lũ hơn. Thực tế, tại một số khu vực rất khó đo đạc vết lũ do đó là khu vực không có dân cư, chủ yếu là các đầm nuôi thủy sản như tại xã Hòa Xuân Đông–Đông Hòa. Tại các khu vực có độ cao mặt nước lũ khác biệt do dòng chảy lũ từ sông Ba, sông Bàn Thạch bị chặn lại bởi đường sắt và quốc lộ cũng thể hiện rất rõ trên mô hình bề mặt nước lũ.



**Hình 7.** Kết quả xác định diện ngập và độ sâu ngập trên bản đồ 1:10.000.

Phân tích số liệu khảo sát vết lũ và mô hình bề mặt nước lũ cho thấy: Độ cao bề mặt nước lũ từ thượng lưu ra cửa sông giảm dần, từ màu đỏ–xanh lá–xanh nước biển ứng với độ cao từ 18–3 m; độ cao mực nước giảm dần từ bờ sông ra hai bên, điều đó minh chứng rõ ràng lũ ở khu vực đồng bằng phần lớn do nước từ thượng nguồn sông Ba đổ về; đồng thời, do tác động của địa hình và địa vật khiến cho bề mặt nước lũ có sự lồi lõm. Thực hiện phép toán đại số giữa 2 lớp bản đồ mô hình số độ cao DEM và mô hình bề mặt nước lũ trong GIS thu được kết quả là mô hình ngập lũ để thành lập bản đồ ngập lũ chứa đựng thông tin phạm vi và độ sâu ngập lũ (Hình 7).

**Bảng 1.** Thống kê diện tích ngập lũ theo cấp độ ngập sâu theo đơn vị hành chính (Đơn vị tính: ha).

STT	Đơn vị	Ngập 0–1m	Ngập 1–2m	Ngập 2–3m	Ngập 3–4m	Ngập 4–5m	Ngập 5–6m	Ngập >6 m	Tổng diện tích ngập	% diện tích
1	TP. Tuy Hòa	623,27	442,55	926,06	541,79	121,35	49,05	3,96	2708,03	25,35
2	TX. Đông Hòa	1119,02	2244,28	2686,86	2115,65	598,84	130,45	42,80	8937,90	33,32
3	H. Phú Hòa	2417,46	1672,14	1624,87	374,24	150,04	157,00	275,89	6671,64	25,34
4	H. Tây Hòa	2571,01	3721,65	3626,66	1550,20	576,53	342,47	315,89	12704,41	20,85

Trên bản đồ độ sâu ngập lũ cho thấy các vùng đất thấp, thoát nước kém, thậm chí vùng bán sơn địa tồn tại nhiều ô trũng như Hòa Phú, Hòa Đồng, Hòa Tân Tây–Tây Hòa ngập sâu đến 4–6 m (Hình 7, Bảng 1). Ra phía ngoài cửa sông tuy địa hình thấp chỉ 0,5–1 m nhưng tiêu thoát tốt nên cũng ngập không sâu chỉ từ 1–2 m. Diện tích ngập sâu xuất hiện chủ yếu ở TX. Đông Hòa và huyện Tây Hòa tập trung ở các bãi ven sông Ba và sông Bàn Thạch. Huyện Tây Hòa có diện tích ngập lớn nhất nhưng chỉ chiếm 20,85% diện tích toàn huyện, Tp. Tuy Hòa có diện tích ngập ít nhất, chiếm 25,35% diện tích toàn thành phố.

**4. Kết luận**

Đồng bằng Tuy Hòa là trung tâm hành chính, nơi tập trung đông dân cư, phát triển kinh tế của tỉnh Phú Yên thường xuyên bị thiệt hại do ngập lũ của sông Ba cần thiết phải thành lập bản đồ ngập lũ phục vụ cho quản lý, xây dựng kế hoạch, quy hoạch phát triển.

Ảnh viễn thám Sentinel-1 là nguồn dữ liệu miễn phí, được lưu trữ ổn định và dễ dàng truy cập nên rất có giá trị để nhanh chóng xây dựng bản đồ diện và độ sâu ngập lũ nhờ công cụ GEE. Bài báo đã xây dựng phương pháp xây dựng bản đồ ngập lũ và áp dụng thử nghiệm cho một trận lũ lớn (29/11/2021). Nhằm khắc phục những hạn chế do ảnh hưởng của lớp phủ bề mặt đến kết quả giải đoán ảnh viễn thám nên không phát hiện được chính xác diện ngập và nhất là độ sâu ngập lũ. Nhóm tác giả sử dụng công nghệ RTK để đo đạc các vết lũ theo các tuyến điểm vạch ra từ sơ đồ dẫn đường là dẫn xuất của bản đồ ngập lũ ngày 29/11/2021 kết hợp với bản đồ địa hình. Kết quả đo đạc khảo sát vết lũ được dùng để xây dựng được mô hình bề mặt ngập lũ.

Phân tích không gian trên cơ sở chồng chập mô hình số địa hình (DEM) và mô hình bề mặt ngập lũ (DSF) để thành lập bản đồ ngập lũ. Nội dung bản đồ thể hiện được đầy đủ diện và độ sâu ngập lũ phân bố trên không gian địa lý của đồng bằng Tuy Hòa. Phương pháp kết hợp cả 3 công nghệ (RS, RTK, GIS) giúp thành lập bản đồ ngập lũ nhanh chóng có tính thực tiễn cao là tài liệu có giá trị nghiên cứu ngập lũ đồng thời có thể ứng dụng phát triển công nghệ cảnh báo thời gian thực.

Để đáp ứng công tác cảnh báo lũ lụt chính xác và thuận tiện theo phương pháp bài báo xây dựng cần bổ sung thêm điểm đo mực nước tự động hoặc camera thu thập hình ảnh để cung cấp trị số cao độ mặt nước thời gian thực để xác định bề mặt ngập lũ.

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

**Lời cảm ơn:** Nghiên cứu được thực hiện bởi sự hỗ trợ về số liệu của đề tài nghiên cứu khoa học: “Xây dựng cơ sở dữ liệu và công cụ hỗ trợ công tác phòng chống ngập lụt trên địa bàn tỉnh Phú Yên”.

**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. Benden, N.; Ulke, K.A. Flood map production and evaluation of flood risks in situations of insufficient flow data. *Nat. Hazard* **2021**, *105*(3), 2381–2408.
2. Erdem, F.; Avdan, U. Comparison of different U-net models for building extraction from high-resolution aerial imagery. *Int. J. Environ. Geoinformatics* **2020**, *7*(3), 221–227.
3. Tarpanelli, A.; Mondini, A.C.; Camici, S. Effectiveness of Sentinel-1 and Sentinel-2 for Flood Detection Assessment in Europe. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci. Discuss* **2022**. <https://doi.org/10.5194/nhess-2022-63>. (Online Available).
4. Nhung, N.K., Hoàng, N.Đ., Nghiêm, Đ.V. Xây dựng bản đồ ngập lụt hạ lưu sông Ba theo các cấp báo động. *Tap chí khoa học và công nghệ thủy lợi* **2015**, *29*, 2–9.
5. Sơn, H.T.; Anh, T.V. Determination of drainage corridor in the downstream Vu Gia – Han river, Da Nang city. *VN J. Earth Sci.* **2017**, *41*(1), 45–56.
6. Thai, T.H.; Tri, D.Q. Combination of hydrologic and hydraulic modeling on flood and inundation warning: case study at Tra Khuc–Ve River basin in Vietnam. *VN J. Earth Sci.* **2019**, *41*(3), 240–251.
7. Sâm, Đ.X.; Hạnh, L.Đ.; Bình, H.T.; Châm, Đ.Đ.; Mai, B.T.; Hạnh, L.Đ. Nghiên cứu xây dựng loạt bản đồ phục vụ cảnh báo lũ quét vùng Nam Trung Bộ. *VN J. Earth Sci.* **2006**, *28*(3), 363–367.
8. Chinh, L.; Duc, N.D.; Mahdis, A.; Binh, P.T. Flood susceptibility modeling using Radial Basis Function Classifier and Fisher’s linear discriminant function. *VN J. Earth Sci.* **2022**, *44*(1), 55–72.

9. Cur, N.V. và cs. Nghiên cứu luận cứ khoa học cho các giải pháp phòng tránh, hạn chế hậu quả lũ lụt lưu vực sông Ba. Đề tài độc lập cấp nhà nước, Tài liệu lưu trữ tại Viện Địa lý, 2003.
10. Long, V.H.; Giang, N.V.; Hòa, P.V.; Hùng, N.T. Ứng dụng công nghệ điện toán đám mây Google Earth Engine trong nghiên cứu lũ lụt tại Đồng Tháp, hạ lưu sông Mê Công. *Tap chí Khoa học và Công nghệ Thủy lợi* **2018**, 43, 19–29.
11. Chiên, P.V. Nghiên cứu xác định diện tích ngập nước sử dụng ảnh Sentinel–1 trên nền Google Earth Engine: Áp dụng cho tỉnh Đồng Tháp, đồng bằng sông Cửu Long. *Tap chí Khoa học và Công nghệ Thủy lợi* **2020**, 59, 113–120.
12. Toàn, N.T.; Châu, T.K.; Tâm, D.T.; Linh, N.H. Ứng dụng công nghệ viễn thám xây dựng bản đồ ngập lụt cho khu vực sông Bùi trong trận lũ lịch sử 2018. *Tap chí Khoa học Kỹ thuật Thủy lợi và Môi trường* **2019**, 66, 81–87.
13. Erenoglu, R.C.; Arslan, E. Flood Analysis and Mapping Using Sentinel–1 Data: A Case Study from Tarsus Plain, Turkey. *Lapseki Meslek Yüksekokulu Uygulamalı Araştırmalar Dergisi* **2021**, 2(3), 35–49.
14. Stefan, S.; Patrick, M.; Markus, H.; Wolfgang, W. Flood detection from multi-temporal SAR data using harmonic analysis and change detection. *Int. J. Appl. Earth Obs. Geoinf.* **2015**, 38, 15–24.
15. <https://laodong.vn/xa-hoi/phu-yen-3-nguoi-chet-6-nguoi-mat-tich-trong-mua-lu-979865.lido>.
16. Pha, P.Đ.; Yên, T.H. Lịch sử phát triển các thành tạo trầm tích Đệ tứ đồng bằng Tuy Hòa. *Tap chí Khoa học và Công nghệ Biển* **2012**, 12(4A), 136–143.
17. Mutanga, O.; Kumar, L. Google Earth Engine Applications. *Remote Sens.* **2019**, 11(5), 591. <https://doi.org/10.3390/rs11050591>.
18. [https://gssc.esa.int/navipedia/index.php/Real\\_Time\\_Kinematics](https://gssc.esa.int/navipedia/index.php/Real_Time_Kinematics).
19. Emmanuel, N.; Rhinane, H.; Elarabi, E.; Mansour, M. Use of digital elevation model in a gis for flood susceptibility mapping: case of bujumbura city. Proceedings of the 6<sup>th</sup> International Conference on Cartography and GIS, Albena, Bulgaria, **2016**, 13–17. ISSN: 1314–0604.
20. Foroughnia, F.; Alfieri, S.M.; Menenti, M.; Lindenbergh, R. Evaluation of SAR and Optical Data for Flood Delineation Using Supervised and Unsupervised Classification. *Remote Sens.* **2022**, 14, 3718.

## **Applycation remote sensing, RTK, GIS technology for flood mapping of Tuy Hoa delta – Phu Yen province**

**Le Duc Hanh<sup>1</sup>, Hoang Thanh Son<sup>1\*</sup>, Tong Phuc Tuan<sup>1</sup>, Bui Anh Tuan<sup>1</sup>, Vu Hai Dang<sup>2</sup>, Nguyen Thi Hai Yen<sup>1</sup>, Trinh Viet Nga<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> Institute of Geography – Vietnam Academy of Science and Technology; hanhvdl@gmail.com; hoangson97@gmail.com; tuan\_tongphuc@yahoo.com; igtuan253@gmail.com

<sup>2</sup> Institute of Marine Geology and Geophysics – Vietnam Academy of Science and Technology; vuhaidang@hotmail.com

<sup>3</sup> Department of National Remote sensing – Ministry of Natural Resources and Environment; tvnga2016@gmail.com

**Abstract:** In areas that are frequently affected by floods, the map showing the area and extent of inundation plays an important role in the response and mitigation of damage, and serves as a basis for planning on population distribution. settlement, economic and social development. The study has developed a method to create flood maps based on the integration of remote sensing, RTK and GIS technologies and applied it to the Tuy Hoa



delta–Phu Yen province. Sentinel1 remote sensing image data from November 2021 is processed on the Google Earth Engine server, allowing quick identification of flooded areas. Combined with flood track survey data at the same time by RTK measurement technology, it helps to interpolate the flood surface model to correct the floodplain interpretation results due to the influence of buffer surface factors and terrain elevation. GIS software combines the results of flood interpretation, flood surface model and large–scale topographic map to build a map of flood area and depth. The map shows in detail 7 flood levels from 0–6 m, in which Tay Hoa district has the largest total flooded area (12.704 ha), Tuy Hoa city has the least flooded area (2.708 ha); Common flooding depth is 1–3 m (16.945 ha) distributed mainly in low–lying areas of Tay Hoa district and Dong Hoa town. The study shows the ability to integrate remote sensing images, water level monitoring systems and large–scale topographic maps for real–time flood monitoring to meet flood disaster prevention throughout the country in general and Tuy Hoa plain – Phu Yen province in particular.

**Keywords:** Tuy Hoa delta; Flood map; Flood marks; Remote Sensing; RTK.



Bài báo khoa học

# Đánh giá hiện trạng nồng độ hợp chất Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) trong nước sông Nhuệ đoạn chảy qua các quận nội thành Hà Nội

Vũ Kiều Trang<sup>1</sup>, Đỗ Hữu Tuấn<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> Khoa môi trường, Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, Đại học Quốc gia Hà Nội. Địa chỉ: 334 Nguyễn Trãi, Thanh Xuân Hà Nội; vukieustrang\_t63@hus.edu.vn; tuandh@vnu.edu.vn

\*Tác giả liên hệ: tuandh@vnu.edu.vn; Tel.: +84-2438584995

Ban Biên tập nhận bài: 12/6/2022; Ngày phản biện xong: 20/8/2022; Ngày đăng bài: 25/8/2022

**Tóm tắt:** Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) là hợp chất có khả năng gây ung thư xuất hiện trong không khí, bụi, trầm tích, và nước từ các hoạt động của con người như đốt nhiên liệu hóa thạch, giao thông. Nghiên cứu tiến hành đánh giá nồng độ PAHs trong nước sông Nhuệ đoạn chảy qua nội thành Hà Nội bằng các phương pháp khảo sát, lấy mẫu và phân tích mẫu, và so sánh. Kết quả nghiên cứu cho thấy 4 hợp chất phổ biến trong 16 hợp chất PAHs trong nước sông Nhuệ là Anthracen (22%), Fluoren (20%), Phenanthren (20%), Pyren (9%). Tổng hàm lượng các hợp chất PAHs nằm trong khoảng từ 61,12 ng/L đến 227,30 ng/l. Nghiên cứu cũng cho thấy hai điểm có tổng nồng độ PAHs cao là cầu Sa Đôi (227,3 ng/l) và cầu Đen (201,33 ng/l).

**Từ khóa:** Polycyclic Aromatic Hydrocarbons; PAHs; Sông Nhuệ; Hà Nội.

## 1. Mở đầu

Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) là những hydrocarbon thơm đa vòng. PAHs phát sinh từ các hoạt động cháy rừng, núi lửa phun trào, đốt cháy nhiên liệu hóa thạch như than đá, dầu mỏ. PAHs là hợp chất có khả năng gây ung thư [1–5] và gây đột biến gen [6–7]. Chúng cũng có khả năng tích lũy sinh học [8–9] từ đó đi vào cơ thể con người qua đường tiêu hóa. PAHs được phát hiện trong sữa mẹ [10] và ảnh hưởng tới sự phát triển của trẻ em [11–12]. Các nghiên cứu chỉ ra rằng PAHs được phát hiện trong tất cả các thành phần môi trường như đất [13–14], nước [15–18], trầm tích [15, 19], không khí [20–24] và sinh vật [19, 25, 26]. Đặc biệt PAHs xuất hiện phổ biến trong bụi không khí như bụi PM<sub>10</sub> [23], PM<sub>2.5</sub> [11, 20, 24].

Tại Việt Nam, các nghiên cứu đã thực hiện để đánh giá PAHs trong môi trường trầm tích ven biển và rừng ngập mặn [27–29] bụi không khí, bụi đường phố [30–32]. PAHs cũng được tìm thấy trong sinh vật như cá [33], động vật hai mảnh [34], trong thực phẩm như cà phê [35]. Tuy nhiên các nghiên cứu về PAHs trong môi trường nước còn hạn chế, đặc biệt trong nước sông nội đô các thành phố lớn tại Việt Nam. Nghiên cứu này đã tiến hành khảo sát, lấy mẫu phân tích và đánh giá nồng độ PAHs trong nước sông Nhuệ với các mục tiêu sau: (1) Đánh giá được nồng độ của các hợp chất PAHs trong nước sông Nhuệ đoạn chảy qua các quận nội thành thành phố Hà Nội; (2) Xác định sự phân bố PAHs trong nước sông và các hợp chất PAHs phổ biến có trong nước sông Nhuệ.

## 2. Phương pháp nghiên cứu

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

Đối tượng nghiên cứu là 16 hợp chất Hydrocacbon thơm đa vòng Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) bao gồm: Naphtalen (NPH), Acenaphthylen (ACY), Acenaphthen (ACP), Fluoren (FLR), Phenanthren (PHE), Anthracen (ANT), Fluoranthen (FA), Pyren (PYR), Benzo (a)anthracen (BaA), Chrysen (CHR), Benzo(b)fluoranthen (BbF), Benzo(k)fluoranthen (BkF), Benzo(a)pyren (BaP), Dibenzo(a,h)anthracen (DbahA), Benzo(g,h,i)perylene (BghiP), Indeno(1,2,3c,d)pyren (IP).

Phạm vi khu vực nghiên cứu là sông Nhuệ đoạn chảy qua các quận nội thành Hà Nội. Vị trí các trạm quan trắc được trình bày tại Bảng 1 và Hình 1.

**Bảng 1.** Thông tin vị trí các điểm quan trắc.

STT	Ký hiệu mẫu	Vị trí lấy mẫu	Tọa độ	
			Vĩ độ	Kinh độ
1	SN1	Cống Liên Mạc – Bắc Từ Liêm	21° 5' 21.98"N	105° 46' 14.16"E
2	SN2	Cầu phố Viên – Bắc Từ Liêm	21° 4' 18"N	105° 46' 17"E
3	SN4	Cầu Noi – Bắc Từ Liêm	21° 3' 43.10"N	105° 46' 14.07"E
4	SN6	Cầu Diễn – Bắc Từ Liêm	21° 2' 30"N	105° 45' 41"E
5	SN5	Đại lộ Thăng Long – Nam Từ Liêm	21° 0' 20"N	105° 45' 45"E
6	SN7	Cầu Sa Đồi – Nam Từ Liêm	20° 59' 50.65"N	105° 45' 45.97"E
7	SN3	Cầu Sông Nhuệ - Nam Từ Liêm	20° 59' 19.11"N	105° 46' 44.11"E
8	SN8	Cầu Đen – Hà Đông	20° 58' 16.22"N	105° 46' 49.14"E
9	SN9	Kiến Hưng – Hà Đông	20° 57' 34.94"N	105° 47' 23.03"E
10	SN10	Cầu Mậu Lương I – Hà Đông	20° 57' 32.49"N	105° 47' 42.87"E



**Hình 1.** Sơ đồ vị trí các điểm quan trắc PAHs tại sông Nhuệ đoạn chảy qua các quận nội thành Hà Nội.

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

Mẫu nước lấy theo quy trình tại TCVN 5994:1995 và TCVN 6663–1:2011, được bảo quản theo tiêu chuẩn TCVN 6663–3:2003. Thời gian lấy mẫu vào tháng 4/2022, với 10 mẫu đơn tại 10 điểm được ký hiệu từ SN1-SN10 (Bảng 1). Các mẫu nước sông Nhuệ sau khi được lấy, đóng kín, đưa các mẫu vào tủ bảo quản lạnh từ 2°C–5°C và vận chuyển về phòng thí

nghiệm để phân tích bằng máy sắc ký khí ghép khối phổ (GCMS – Gas Chromatography Mass Spectrometry).

### 2.3. Phương pháp xử lý số liệu

Các số liệu quan trắc được xử lý bằng phần mềm thống kê R để loại bỏ sai số hệ thống. Do Việt Nam chưa có tiêu chuẩn hay quy chuẩn quy định hàm lượng các hợp chất PAHs trong nước mặt, các giá trị quan trắc được so sánh với các tiêu chuẩn của Tổ chức Y tế Thế giới (WHO) Cộng đồng Kinh tế Châu Âu (EEC) và Cơ quan Bảo vệ Môi trường Mỹ (US EPA).

## 3. Kết quả nghiên cứu

### 3.1. Nồng độ các hợp chất PAHs

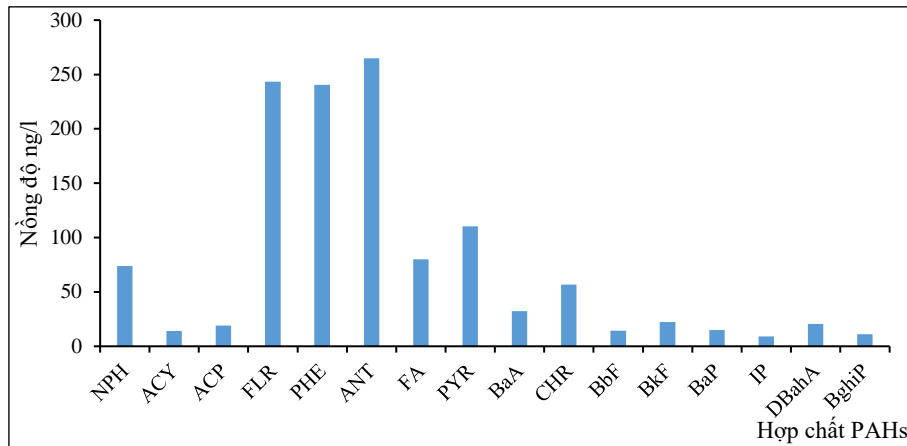
Kết quả phân tích nồng độ các hợp chất PAHs tại các mẫu nước sông Nhuệ cho thấy nồng độ trung bình của Naphthalene (NPH): 7,38 ng/l; Acenaphthylene (Acy): 1,42 ng/l ; Acenaphthene (ACP): 1,9 ng/l; Fluorene (FLR): 24,35 ng/l; Phenanthrene (PHE): 24,05 ng/l; Anthracene (ANT): 26,49 ng/l; Fluoranthene (FA): 8 ng/l; Pyrene (PYR): 11,04 ng/l; Benzo (a) anthracene (BaA): 3,23 ng/l; Chrysene (CHR): 5,68 ng/l; Benzo(b)fluoranthene (BbF): 1,42 ng/l; Benzo[k]fluoranthene (BkF): 2,22 ng/l; Benzo[a]pyrene (BaP): 1,5 ng/l; Indeno [1,2,3-cd]pyrene (IP): 0,91 ng/l; Dibenzo[a,h]anthracene (DbAHA): 2,06 ng/l; Benzo [ghi]perylene (BghiP): 1,1 ng/l.

**Bảng 2.** Nồng độ các hợp chất PAHs trong nước mặt sông Nhuệ đoạn chảy qua các quận nội thành Hà Nội (ng/l).

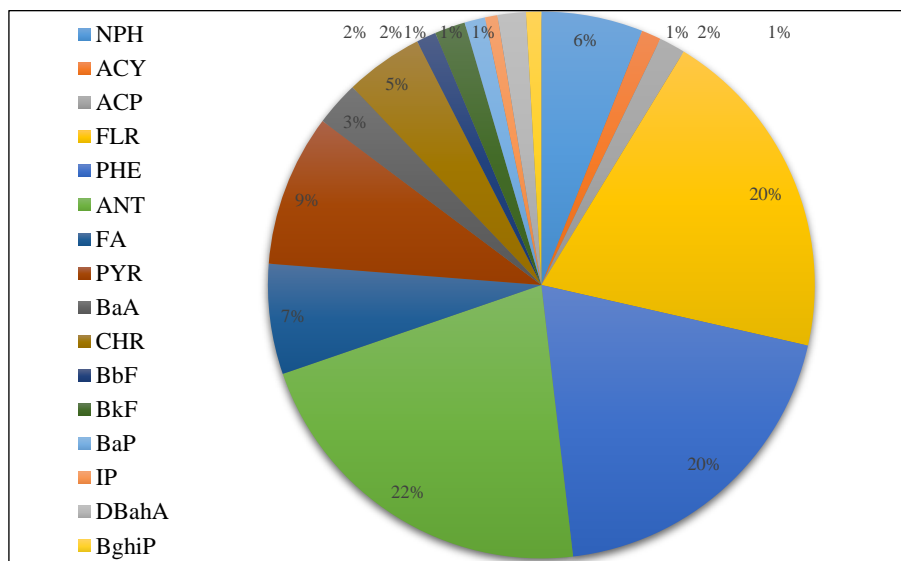
STT	PAHs	SN1	SN2	SN3	SN4	SN5	SN6	SN7	SN8	SN9	SN10	Tiêu chuẩn [36–38]
1	Naphthalene	<0,3	<0,3	22,40	13,18	<0,3	10,45	<0,3	<0,3	<0,3	27,78	-
2	Acenaphthylene	<0,3	<0,3	1,71	<0,3	6,26	<0,3	2,35	1,59	1,48	0,81	-
3	Acenaphthene	<0,3	1,01	<0,3	0,99	2,10	1,35	9,29	0,27	1,38	2,62	-
4	Fluorene	4,13	6,57	5,45	59,88	5,57	110,34	10,71	31,72	2,98	6,19	-
5	Phenanthrene	18,14	31,28	9,65	25,58	23,32	37,33	25,97	30,65	15,84	22,70	-
6	Anthracene	20,10	<0,4	11,28	30,92	29,16	45,29	31,27	52,70	19,47	24,71	-
7	Fluoranthene	7,29	8,36	6,05	6,90	<0,2	8,31	8,34	29,91	<0,2	4,82	-
8	Pyrene	10,11	6,65	4,97	5,32	15,94	7,81	6,56	24,01	23,58	5,48	-
9	Benz[a]anthracene	2,94	0,64	1,20	<0,4	3,45	0,11	<0,4	6,78	7,28	9,91	100** (USEPA)
10	Chrysene	2,05	3,73	3,93	2,11	7,81	3,92	3,35	6,70	11,79	11,45	-
11	Benzo[b]fluoranthene	<0,4	0,81	0,81	0,75	2,49	0,87	1,94	1,81	1,93	2,83	1200*(EEC), 200** (USEPA)
12	Benzo[k]fluoranthene	<0,3	0,94	0,51	0,35	5,55	0,74	0,56	4,17	7,40	1,99	1200* (EEC), 200** (USEPA)
13	Benzo[a]pyrene	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4	1,99	<0,4	<0,4	1,87	7,40	3,73	1200* (EEC), 200** (USEPA), 700** (WHO)
14	Indeno[1,2,3-cd]pyrene	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4	1,17	<0,4	<0,4	2,78	5,10	<0,4	1200* (EEC), 400** (USEPA)
15	Dibenzo[a,h]anthracene	1,77	1,14	0,86	0,58	2,57	0,77	1,71	4,39	6,34	0,40	300** (USEPA)
16	Benzo[ghi]perylene	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	4,48	<0,5	<0,5	1,98	3,53	1,00	1200* (EEC)

Ghi chú: \* môi trường nước xung quanh; \*\* nước uống.

16 hợp chất PAHs đều được phát hiện có trong các mẫu nước sông. Trong đó có 4 hợp chất PAHs phổ biến được tìm thấy với tổng nồng độ cao tại khu vực sông Nhuệ là Anthracen (ANT) là 264,88ng/l chiếm 22%, Fluorene (FLR) là 243,55ng/l chiếm 20%, Phenanthren (PHE) là 240,46 ng/l chiếm 20% và Pyren (PYR) là 110,43ng/l chiếm 9%. Hai hợp chất PAHs có nồng độ thấp là chất Indeno (1,2,3c,d)pyren (IP) là 9,05 ng/l chiếm 1%, chất Benzo (g,h,i)perylene (BghiP) là 10,99 ng/l chiếm 1%.



**Hình 2.** Tổng nồng độ từng chất trong mẫu nước sông.



**Hình 3.** Phần trăm tổng nồng độ từng hợp chất PAHs.

a) Naphthalene

Naphthalene chiếm 6% lượng PAHs quan trắc, xuất hiện ở các mẫu SN4, SN6, SN3, SN10. Các vị trí khác nồng độ dưới ngưỡng phát hiện (< 0,3 ng/l). Trong đó nhiều nhất là ở SN10 với nồng độ 27,78 ng/l. Nồng độ NPH của khu vực sông Nhuệ giao động < 0,3 ng/l – 27,78 ng/l. Nồng độ NPH ở sông Nhuệ cao hơn sông Brisbane (Úc) 19–26 ng/l [39], sông San Joaquin (California, Mỹ) có nồng độ NPH 0,5–1,2 ng/l [40] và thấp hơn rất nhiều so nước ở vịnh Tacoma (Mỹ) nồng độ NPH 44–589 ng/l [41].

b) Ancenaphthylene

Ancenaphthylene xuất hiện ở các mẫu SN5, SN7, SN3, SN8, SN10, SN9 với nồng độ thấp. Trong đó nhiều nhất là ở SN5 với nồng độ 6,26 ng/l. Nồng độ ACY của khu vực sông Nhuệ giao động < 0,3–6,26 ng/l. Nồng độ ACY ở sông Nhuệ cao hơn sông San Joaquin (California, Mỹ) có nồng độ ACY 0,1–0,2 ng/l [40].

c) Acenaphthene

Acenaphthene xuất hiện ở hầu hết các mẫu phân tích, trong đó tại vị trí SN7 có nồng độ cao nhất 9,29 ng/l. Nồng độ ACP ở sông Nhuệ SN7 cao hơn sông Brisbane (Úc) 6–11 ng/l [39], sông San Joaquin (California, Mỹ) có nồng độ ACP 0,1–0,5 ng/l [40] và thấp hơn rất nhiều so nước ở vịnh Chesapeake (Mỹ) nồng độ ACP 0–163 ng/l [42].

d) Fluorene

Fluorene chiếm tới 20% tổng hàm lượng PAHs trong các mẫu phân tích, giao động từ 59–110,34 ng/l. Đây là một trong bốn chất có mặt nhiều nhất ở trong nước sông Nhuệ. FLR

xuất hiện ở tất cả các các mẫu nước mặt nhưng nồng độ của FLR không đồng đều. Trong đó nhiều nhất là ở SN6 khu vực Sa Đới–Nam Từ Liêm với nồng độ 110,34 ng/l, tiếp theo là mẫu SN4 khu vực cầu Diễn–Bắc Từ Liêm với nồng độ 59,88 ng/l, thấp nhất được tìm thấy ở mẫu SN9 với nồng độ 2,98 ng/l.

e) Phenanthrene

Phenanthrene xuất hiện ở tất cả các các mẫu nước mặt, chiếm tới 20% lượng PAHs, giao động 9,65–37,33 ng/l. Trong đó nồng độ cao nhất tại điểm SN6 khu vực Sa Đới–Nam Từ Liêm với nồng độ 37,33 ng/l, tiếp theo là mẫu SN2 khu vực cầu phố Viên–Bắc Từ Liêm với nồng độ 31,28 ng/l, thấp nhất được tìm thấy ở mẫu SN3 với nồng độ 9,65 ng/l.

f) Anthracene

Nồng độ Anthracene giao động từ < 0,4–52,7 ng/l, chiếm tới 22% tổng hàm lượng cao nhất trong 16 hợp chất PAHs. ANT xuất hiện ở hầu hết các các mẫu nước mặt. Trong đó nồng độ cao nhất tại điểm SN8 khu vực Cầu Đen–Hà Đông với nồng độ 52,7 ng/l, tiếp theo là vị trí SN6 khu vực Sa Đới–Nam Từ Liêm 45,29 ng/l.

g) Fluoranthene

Fluoranthene chiếm 7% lượng PAHs, xuất hiện ở hầu hết các mẫu nước sông Nhuệ. Nồng độ FA của khu vực sông Nhuệ giao động từ < 0,2–29,91 ng/l, cao nhất tại SN8 với nồng độ 29,91 ng/l. Nồng độ FA ở sông Nhuệ cao hơn sông Shatt Al-Arab có nồng độ FA giao động 0–10 ng/l [43], sông San Joaquin (California, Mỹ) có nồng độ FA 0,4–100 ng/l [40].

h) Pyrene

Nồng độ Pyrene khu vực sông Nhuệ giao động 4,9–24,01 ng/l, chiếm 9% tổng hàm lượng PAHs. Pyrene được phát hiện có nồng độ cao nhất tại điểm SN8 khu vực Cầu Đen–Hà Đông với nồng độ 24,01 ng/l, sau đó là mẫu SN9 khu vực cầu Kiến Hưng–Hà Đông với nồng độ 23,58 ng/l, thấp nhất được tìm thấy ở mẫu SN3 với nồng độ 4,97 ng/l.

i) Benz[a]anthraene

Benz[a]anthraene chiếm 3% tổng hàm lượng PAHs, xuất hiện ở các mẫu SN1, SN2, SN6, SN5, SN3, SN8, SN10, SN9. Trong đó nhiều nhất là ở SN10 với nồng độ 9,91 ng/l. Nồng độ BaA của khu vực sông Nhuệ giao động < 0,4–9,91 ng/l. Nồng độ BaA ở sông Nhuệ cao hơn sông Shatt Al-Arab [43], cao hơn sông Brisbane (Úc) có nồng độ BaA giao động từ 5–6 ng/l [39], sông San Joaquin (California, Mỹ) có nồng độ FA 0,4–43 ng/l [40].

j) Chrysene

Chrysene tìm thấy ở tất cả các vị trí quan trắc, với nồng độ giao động từ 2,05–11,79 ng/l, cao nhất tại SN9 (11,79 ng/l), SN10 (11,54 ng/l), thấp nhất ở vị trí SN1 với nồng độ 2,05 ng/l. Nồng độ CHR ở sông Nhuệ thấp hơn sông Tonghui (Bắc Kinh–Trung Quốc) có nồng độ CHR giao động từ 3,29–26,34 ng/l [44].

k) Benzo[b]fluoranthene

Benzo[b]fluoranthene chiếm 1% tổng hàm lượng PAHs, xuất hiện ở hầu hết các mẫu nước mặt sông Nhuệ nhưng với nồng độ thấp. Chất BbF tìm thấy nhiều nhất là ở SN10 với nồng độ 2,83 ng/l, thấp nhất được tìm thấy ở khu vực SN4 với nồng độ 0,75 ng/l. Nồng độ BbF ở sông Nhuệ thấp hơn sông Tonghui (Bắc Kinh–Trung Quốc) có nồng độ BbF giao động từ 2,41–21,51 ng/l [44].

l) Benzo[k]fluoranthene

Benzo[k]fluoranthene có nồng độ cao nhất tại điểm SN9 với nồng độ 7,4 ng/l, thấp nhất được tìm thấy ở khu vực SN4 với nồng độ 0,35ng/l. Nồng độ BkF ở sông Nhuệ cao hơn sông Minjiang (Trung Quốc) có nồng độ BkF giao động 0,33–4,3 ng/l [45] thấp hơn sông Tonghui (Bắc Kinh–Trung Quốc) có nồng độ BkF giao động từ 1,89–14,46 ng/l [44].

m) Benzo[a]pyrene

Benzo[a]pyrene chiếm 1% tổng hàm lượng PAHs, xuất hiện ở các các vị trí SN5, SN8, SN10, SN9 của nước mặt sông Nhuệ nhưng nồng độ thấp. Ở các vị trí còn lại của sông Nhuệ không tìm thấy sự có mặt của BaP. BaP có nồng độ cao nhất tại SN9 với nồng độ 7,4 ng/l,



thấp nhất tại SN8 với nồng độ 1,87 ng/l. Nồng độ BaP của khu vực sông Nhuệ giao động < 0,4–7,4 ng/l. Nồng độ BaP ở sông Nhuệ thấp hơn sông Minjiang (Trung Quốc) có nồng độ BaP giao động 0,64–166 ng/l [45] và thấp hơn sông Tonghui (Bắc Kinh–Trung Quốc) có nồng độ BaP giao động từ 2,4–23,89 ng/l [44].

n) Indeno[1,2,3-cd]pyrene

Indeno[1,2,3-cd]pyrene xuất hiện ở các các vị trí SN5, SN8, SN9 của nước mặt sông Nhuệ nhưng với nồng độ thấp. Nồng độ IP của khu vực nghiên cứu giao động từ < 0,4–7,4 ng/l, cao nhất tại điểm SN9 với nồng độ 5,1 ng/l, thấp nhất tại điểm SN5 với nồng độ 1,71 ng/l. Nồng độ IP ở sông Nhuệ thấp hơn sông Minjiang (Trung Quốc) có nồng độ IP giao động 0,62–126 ng/l [45] và thấp hơn sông Tonghui (Bắc Kinh–Trung Quốc) có nồng độ IP giao động từ 4,56–76,35 ng/l [44].

o) Dibenzo[a,h]anthracene

Dibenzo[a,h]anthracene chiếm 2% tổng hàm lượng PAHs, xuất hiện ở tất cả các vị trí của sông Nhuệ với nồng độ thấp. Trong đó DbahA tìm thấy nhiều nhất ở vị trí SN9 (6,34 ng/l), thấp nhất ở vị trí SN10 (0,4 ng/l). Nồng độ DbahA của khu vực sông Nhuệ giao động 0,4–6,34 ng/l, thấp hơn sông Minjiang (Trung Quốc 0,27–40,2 ng/l [45] và sông Tonghui (Bắc Kinh–Trung Quốc 2,75–88,05 ng/l [44] cao hơn sông JuiLong (Trung Quốc) có nồng độ giao động 0,37–6,03 ng/l [46].

p) Benzo[ghi]perylene

Benzo[ghi]perylene giao động từ < 0,5–4,48 ng/l, cao nhất tại SN5 với nồng độ 4,48 ng/l. Nồng độ BghiP ở sông Nhuệ thấp hơn sông Minjiang (Trung Quốc) có nồng độ giao động 0,6–11,9 ng/l [45] và thấp hơn sông Tonghui (Bắc Kinh–Trung Quốc) có nồng độ giao động từ 5,49–75,31 ng/l [44], cao hơn sông JuiLong (Trung Quốc) có nồng độ giao động 0,41–1,91 ng/l [46].

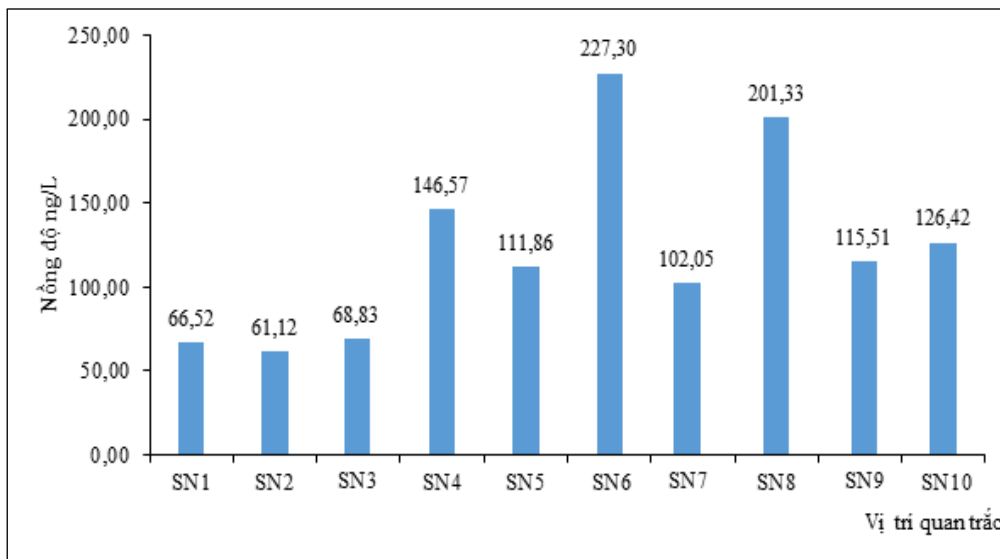
**Bảng 3.** So sánh nồng độ các hợp chất PAHs trong nước mặt sông Nhuệ và một số sông trên thế giới.

TT	PAHs	Sông Nhuệ (Hà Nội) (ng/l)	Sông Minjiang (Trung Quốc) (ng/l) [45]	Sông Tonghui (Trung Quốc) (ng/l) [44]	Sông Brisbane (Úc) (ng/l) [39]	Sông San Joaquin (Mỹ) (ng/l) [40]
1	Naphthalene	< 3–27,78	–	–	19–26	0,5–1,2
2	Acenaphthylene	< 0,3–6,26	–	–	–	0,1–0,2
3	Acenaphthene	< 0,3–9,29	–	–	6–11	0,1–0,5
4	Fluorene	59–110,34	–	–	9–15	–
5	Phenanthrene	9,65–37,33	–	–	12–16	–
6	Anthracene	<0,4–52,7	–	–	6–8	–
7	Fluoranthene	<0,2–29,91	–	–	10–16	0,4–100
8	Pyrene	4,9–24,01	–	–	7–11	–
9	Benz[a]anthracene	<0,4–9,91	–	–	5–6	0,4–43
10	Chrysene	2,05–11,79	–	3,29–26,34	7–10	–
11	Benzo[b]fluoranthene	0,75–2,83	–	2,41–21,51	–	–
12	Benzo[k]fluoranthene	0,35–7,4	0,33–4,3	1,89–14,46	5–7	–
13	Benzo[a]pyrene	<0,4–7,4	0,64–166	2,4–23,89	6–9	–
14	Indeno[1,2,3-cd]pyrene	<0,4–7,4	0,62–126	4,56–76,35	–	–

TT	PAHs	Sông Nhuệ (Hà Nội) (ng/l)	Sông Minjiang (Trung Quốc) (ng/l) [45]	Sông Tonghui (Trung Quốc) (ng/l) [44]	Sông Brisbane (Úc) (ng/l) [39]	Sông San Joaquin (Mỹ) (ng/l) [40]
15	Dibenzo[a,h]anthracene	0,4–6,34	0,27–40,2	2,75–88,05	–	–
16	Benzo[ghi]perylene	<0,5–4,48	0,6–11,9	5,49–75,31	–	–

### 3.2. Tổng hàm lượng PAHs

Tổng hàm lượng các hợp chất PAHs trong các mẫu nước thu thập dọc sông Nhuệ đoạn chạy qua các quận nội thành thành phố Hà Nội nằm trong khoảng từ 61,12 ng/l đến 227,30 ng/l.



**Hình 4.** Tổng nồng độ PAHs tại các vị trí quan trắc.

Trong đó tổng hàm lượng các hợp chất PAHs trong các mẫu nước mặt được thu thập từ cầu Sa Đồi khu vực Nam Từ Liêm là 227,30 ng/l, với hàm lượng chất Fluorene là 59,88 ng/l. Hàm lượng PAHs trong các mẫu nước mặt thuộc dọc sông Nhuệ có sự chênh lệch rất nhiều giữa các điểm lấy mẫu khác nhau. Chứng tỏ nước sông Nhuệ là nơi chứa của rất nhiều nguồn thải khác nhau.

Cao thứ hai là mẫu sông Nhuệ tại điểm SN8 khu vực cầu Đen. Tổng hàm lượng các chất PAHs trong mẫu là 201,33 ng/l. Khu vực này tập chung nhiều khu dân cư, khu vực gần chợ Hà Đông, những quán ăn gần khu vực.

Tại điểm SN4, khu vực Cầu Diên, nơi tập chung nhiều dân cư, chợ và giao thông đi lại nhiều ở khu vực này, Tổng hàm lượng các hợp chất PAHs là 146,57 ng/l.

Tại điểm SN10 được lấy tại vị trí Cầu Mậu Lương 1 – Hà Đông. Nơi tập chung nhiều dân cư sinh sống, tổng hàm lượng PAHs là 126,42 ng/l.

Tổng hàm lượng PAHs thấp nhất là vị trí SN2 tại vị trí cầu Phố Viên khu vực Bắc Từ Liêm với giá trị 61,12 ng/l. Sau đó là SN1 tại vị trí lấy mẫu là cống Liên Mạc với giá trị là 66,52 ng/l. Tại đây dân cư tập trung không nhiều.

So sánh tổng hàm lượng PAHs sông Nhuệ ta thấy: Nơi cao nhất của sông Nhuệ là khu vực Sa Đồi cao gấp 3,7 lần khu vực có lượng PAHs thấp nhất.

Có thể thấy rằng sự phân bố hàm lượng các hợp chất PAHs dọc sông Nhuệ chảy qua các quận nội thành Hà Nội là không đồng đều. Các nơi có nồng độ cao đều tập chung nhiều khu dân cư, và giao thông tập nập.

#### 4. Kết luận

Qua quá trình đánh giá nồng độ hợp chất PAHs tại sông Nhuệ đoạn chảy qua các quận nội thành Hà Nội, một số kết luận được rút ra như sau:

16 hợp chất PAHs nghiên cứu đều xuất hiện trong nước sông Nhuệ đoạn chảy qua các quận nội thành Hà Nội. Trong đó, 4 hợp chất PAHs phổ biến trong nước sông Nhuệ là Anthracen, Fluoren, Phenanthren, Pyren.

Tổng hàm lượng các hợp chất PAHs trong các mẫu nước thu thập dọc sông Nhuệ đoạn chảy qua các quận nội thành thành phố Hà Nội nằm trong khoảng từ 61,12 ng/l đến 227,30 ng/l.

Hàm lượng các hợp chất PAHs phân bố dọc sông Nhuệ không đồng đều tại từng vị trí quan trắc dọc sông Nhuệ. Hai điểm có tổng nồng độ PAHs cao là cầu Sa Đồi (227,3 ng/l) và cầu Đen (201,33 ng/l).

Nghiên cứu này chưa xác định được các nguồn thải của PAHs chảy vào sông Nhuệ, do đó cần có các nghiên cứu sâu hơn để xác định các nguồn thải.

**Đóng góp của tác giả:** Xây dựng ý tưởng và lựa chọn phương pháp nghiên cứu: Đ.H.T., V.K.T.; Thu thập, phân tích mẫu, tính toán xử lý số liệu: V.K.T., Đ.H.T., Viết bản thảo bài báo: Đ.H.T., V.K.T.; Chỉnh sửa bài báo: Đ.H.T.

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

#### Tài liệu tham khảo

1. Stading, R.; Gastelum, G.; Chu, C.; Jiang, W.; Moorthy, B. Molecular mechanisms of pulmonary carcinogenesis by polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs): Implications for human lung cancer. *Semin. Cancer Biol.* **2021**, *76*, 3–16.
2. Wang, R.; Huang, Q.; Cai, J.; Wang, J. Seasonal variations of atmospheric polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) surrounding Chaohu Lake, China: Source, partitioning behavior, and lung cancer risk. *Atmos. Pollut. Res.* **2021**, *12*(5), 101056.
3. Ali-Taleshi, M.S.; Squizzato, S.; Riyahi Bakhtiari, A.; Moeinaddini, M.; Masiol, M. Using a hybrid approach to apportion potential source locations contributing to excess cancer risk of PM<sub>2.5</sub>-bound PAHs during heating and non-heating periods in a megacity in the Middle East. *Environ. Res.* **2021**, *201*, 111617.
4. Krůmal, K.; Mikuška, P. Mass concentrations and lung cancer risk assessment of PAHs bound to PM<sub>1</sub> aerosol in six industrial, urban and rural areas in the Czech Republic, Central Europe. *Atmos. Pollut. Res.* **2020**, *11*(2), 401–408.
5. Verma, P.K.; Sah, D.; Satish, R.; Rastogi, N.; Kumari, K.M.; Lakhani, A. Atmospheric chemistry and cancer risk assessment of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) and Nitro-PAHs over a semi-arid site in the Indo-Gangetic plain. *Australas. J. Environ. Manage.* **2022**, *317*, 115456.
6. Zhang, Z.; Xing, X.; Jiang, S.; Qiu, C.; Mo, Z.; Chen, S.; Chen, L.; Wang, Q.; Xiao, Y.; Dong, G.; Zheng, Y.; Chen, W.; Li, D. Global H3K79 di-methylation mediates DNA damage response to PAH exposure in Chinese coke oven workers. *Environ. Pollut.* **2021**, *268*, 115956.
7. Huang, C.; Xu, X.; Wang, D.; Ma, M.; Rao, K.; Wang, Z. The aryl hydrocarbon receptor (AhR) activity and DNA-damaging effects of chlorinated polycyclic aromatic hydrocarbons (Cl-PAHs). *Chemosphere* **2018**, *211*, 640–647.
8. Yu, Z.; Lin, Q.; Gu, Y.; Du, F.; Wang, X.; Shi, F.; Ke, C.; Xiang, M.; Yu, Y. Bioaccumulation of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in wild marine fish from the coastal waters of the northern South China Sea: Risk assessment for human health. *Ecotoxicol. Environ. Saf.* **2019**, *180*, 742–748.

9. Zhang, J.; Zhang, X.; Hu, T.; Xu, X.; Zhao, D.; Wang, X.; Li, L.; Yuan, X.; Song, C.; Zhao, S. Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) and antibiotics in oil-contaminated aquaculture areas: Bioaccumulation, influencing factors, and human health risks. *J. Hazard. Mater.* **2022**, *437*, 129365.
10. Khanverdilu, S.; Talebi-Ghane, E.; Heshmati, A.; mehri, F. The concentration of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in mother milk: A global systematic review, meta-analysis and health risk assessment of infants. *Saudi J. Biol. Sci.* **2021**, *28(12)*, 6869–6875.
11. Zeng, Z.; Huo, X.; Wang, Q.; Wang, C.; Hylkema, M.N.; Xu, X. PM2.5-bound PAHs exposure linked with low plasma insulin-like growth factor 1 levels and reduced child height. *Environ. Int.* **2020**, *138*, 105660.
12. Xu, X.; Liu, J.; Huang, C.; Lu, F.; Chung, Y.M.; Huo, X. Association of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) and lead co-exposure with child physical growth and development in an e-waste recycling town. *Chemosphere* **2015**, *139*, 295–302.
13. Peng, C.; He, Y.; Zhang, K.; Zhang, Y.; Wan, X.; Wang, M.; Chen, W. Estimating accumulation rates and health risks of PAHs in residential soils of metropolitan cities. *Australas. J. Environ. Manage.* **2022**, *319*, 115699.
14. Tan, H.; Wu, Q.; Wang, C.; Wu, D.; Cui, Y.; Li, Q.; Wu, C. Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in surface soils of tropical reef islands in China under external plant and soil introduction: Occurrence, sources, risks, and relationships with soil properties, vegetation cover, and soil source. *Chemosphere* **2022**, *306*, 135556.
15. Adeyeye, E.I.; Ibigbami, O.A.; Adesina, A.J.; Popoola, O.K.; Olatoye, A.R.; Gbolagade, Y.A. Assessment of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) Distribution in Water, Sediments and Fish Parts from Ponds in Ado-Ekiti, Nigeria. *Polycyclic Aromat. Compd.* **2022**. <https://doi.org/10.1080/10406638.2022.2064884>.
16. Oyo-Ita, I.; Nkom, P.Y.; Ugim, S.U.; Basse, F.I.; Oyo-Ita, O.E. Seasonal Changes of PAHs in Water and Suspended Particulate Matter from Cross River Estuary, SE Nigeria in Response to Human-Induced Activity and Hydrological Cycle. *Polycyclic Aromat. Compd.* **2022**. <https://doi.org/10.1080/10406638.2021.1939070>.
17. Zhao, Y.; Li, J.; Qi, Y.; Guan, X.; Zhao, C.; Wang, H.; Zhu, S.; Fu, G.; Zhu, J.; He, J. Distribution, sources, and ecological risk assessment of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in the tidal creek water of coastal tidal flats in the Yellow River Delta, China. *Mar. Pollut. Bull.* **2021**, *173*, 113110.
18. Nubi, A.O.; Popoola, S.O.; Dada, O.A.; Oyatola, O.O.; Unyimadu, J.P.; Adekunbi, O.F.; Salami, A.M. Spatial distributions and risk assessment of heavy metals and PAH in the southwestern Nigeria coastal water and estuaries, Gulf of Guinea. *J. Afr. Earth. Sci.* **2022**, *188*, 104472.
19. Sun, N.; Yu, S.; Cai, Z.; Liu, J.; Wang, T.; Qi, B.; Wang, Z.; Wang, S.; Yang, A.; Zhu, G.; Gao, W.; Zhang, Y. Inhibition of polycyclic aromatic hydrocarbon (PAHs) release from sediments in an integrated rice and crab coculture system by rice straw biochar. *J. Cleaner Prod.* **2022**, *367*, 133058.
20. Zhu, C.; Li, J.; Liu, Z.; Wang, J.; Chen, J. Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in gas, PM2.5, and frost samples in a severely polluted rural site of the North China Plain: Distribution, source, and risk assessment. *Sci. Total Environ.* **2022**, *844*, 156919.
21. Neroda, A.S.; Goncharova, A.A.; Mishukov, V.F. PAHs in the atmospheric aerosols and seawater in the North–West Pacific ocean and sea of Japan. *Atmos. Environ.* **2020**, *222*, 117117.
22. Barrado, A.I.; García, S.; Sevillano, M.L.; Rodríguez, J.A.; Barrado, E. Vapor-phase concentrations of PAHs and their derivatives determined in a large city: Correlations

- with their atmospheric aerosol concentrations. *Chemosphere* **2013**, 93(9), 1678–1684.
23. Barrado, A.I.; Garcia, S.; Castrillejo, Y.; Perez, R.M. Hydroxy-PAH levels in atmospheric PM10 aerosol samples correlated with season, physical factors and chemical indicators of pollution. *Atmos. Pollut. Res.* **2012**, 3(1), 81–87.
  24. Barrado, A.I.; García, S.; Barrado, E.; Pérez, R.M. PM2.5-bound PAHs and hydroxy-PAHs in atmospheric aerosol samples: Correlations with season and with physical and chemical factors. *Atmos. Environ.* **2012**, 49, 224–232.
  25. Guo, X.; Chen, F.; Zhang, W. Pollution, source and risk assessment of PAHs in Chinese tea. *LWT.* **2022**, 113851.
  26. Franco, M.E.; Lavado, R. Applicability of in vitro methods in evaluating the biotransformation of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in fish: Advances and challenges. *Sci. Total Environ.* **2019**, 671, 685–695.
  27. Kha, P.T. Content of polycyclic aromatic hydrocarbon (PAHs) in the sediment of Thi Nai lagoon (Binh Dinh province). *Vietnam J. Mar. Sci. Technol.* **2015**, 15(3), 288–293.
  28. Kha, P.T. Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in coastal sediments in the north of Viet Nam. *Vietnam J. Mar. Sci. Technol.* **2014**, 13(3), 284–288.
  29. Chi, Đ.T.L. Nghiên cứu sự tồn lưu và rủi ro môi trường của các chất hữu cơ thơm đa vòng (PAHs) trong đất rừng ngập mặn xã Đồng Rui, huyện Tiên Yên, tỉnh Quảng Ninh. Luận án tiến sĩ, Trường Đại học Thủy Lợi, 2018.
  30. Ngọc, N.T.; Kim, T.T.; Anh, D.H.; Việt, P.H.; Anh, P.T.L.; Vĩ, P.T. Hàm lượng, sự biến thiên và mối tương quan tới phương tiện giao thông cơ giới đường bộ của PAHs trong bụi mặt đường ở Hà Nội. *Bản B của Tạp chí Khoa học và Công nghệ Việt Nam* **2022**, 64(6), 40–44.
  31. Anh, H.Q.; Takahashi, S.; Thao, D.T.; Thai, N.H.; Khiet, P.T.; Hoa, N.T.Q.; Quynh, L.T.P.; Da, L.N.; Minh, T.B.; Tri, T.M. Analysis and Evaluation of Contamination Status of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) in Settled House and Road Dust Samples from Hanoi. *VNU J. Sci: Na. Sci. Technol.* **2019**, 35(4), 63–71.
  32. Ngọc, N.T.; Kim, T.T.; Anh, P.T.L.; Anh, D.H.; Vi, P.T.; Viet, P.H. Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in road dust collected from Quang Ninh: Contamination levels and potential sources. *VNU J. Sci: Na. Sci. Technol.* 2021, 37(1), 19–27.
  33. Quang, P.Đ.; Vĩ, P.T.; Mai, T.T.; Ngọc, N.T.; Kim, T.T.; Việt, P.H.; Tuyền, L.H.; Bảo, Đ.L.H. Khảo sát sự có mặt các hợp chất Polycyclic Aromatic Hydrocarbon (PAHs) trong cá tại một số hồ thuộc khu vực Hà Nội. *Bản B của Tạp chí Khoa học và Công nghệ Việt Nam* **2017**, 59(11), 19–23.
  34. Hoang, T.T.T., Luu, P.T.; Loan, T.T.C.; Dong, N.V.; Bao, L.D.; Yen, T.T.H.; Huy, D.X. Bioaccumulation of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) in Green Mussels (*Perna viridis*) from Cangio Area, Hochiminh City. *VNU J. Sci: Na. Sci. Technol.* **2020**, 36(1), 38–45.
  35. Quỳnh, N.T.; Ngọc, N.T.; Kim, T.T.; Thành, N.V.; Anh, D.H.; Việt, P.H.; Anh, P.T.L. Hydrocacbon thơm đa vòng (PAHs) trong một số sản phẩm cà phê rang, cà phê hòa tan ở Việt Nam: Hàm lượng và đánh giá rủi ro đến sức khỏe con người. *Bản B của Tạp chí Khoa học và Công nghệ Việt Nam* **2020**, 62(3), 6–12.
  36. Community, E.E. Water Services Authorities for public water supplies. 2007, pp. 1–12.
  37. Organization, W.H. Guidelines for drinking water quality. 1998, pp. 495.
  38. Bithoven, S.W.; Matthijsen, A.J.C.M.; Montizaan, G.K.; Ros, J.P.M. National Institute of Public Health and Environmental Protection (RIVM) - Integrated Criteria Document PAHs. 1989.



39. Kayal, S.I.; Connell, D.W. Occurrence and distribution of polycyclic aromatic hydrocarbons in surface sediments and water from the Brisbane River estuary, Australia. *Estuarine Coastal Shelf Sci.* **1989**, *29*(5), 473–487.
40. Pereira, W.E.; Domagalski, J.L.; Hostettler, F.D.; Brown, L.R.; Rapp, J.B. Occurrence and accumulation of pesticides and organic contaminants in river sediment, water and clam tissues from the San Joaquin River and tributaries, California. *Environ. Toxicol. Chem.* **1996**, *15*(2), 172–180.
41. Schults, D.W.; Ferraro, S.P.; Ditsworth, G.R.; Sercu, K.A. Selected chemical contaminants in surface sediments of Commencement Bay and the Tacoma Waterways, Washington, USA. *Marine Environ. Res.* **1987**, *22*(4), 271–295.
42. Foster, G.D.; Wright, D.A. Unsubstituted polynuclear aromatic hydrocarbons in sediments, clams, and clam worms from Chesapeake Bay. *Mar. Pollut. Bull.* **1988**, *19*(9), 459–465.
43. Al-Saad, H.T. Distribution of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAH) in surficial sediments from Shatt Al-Arab River and the North-west region of the Arabian Gulf. *Mar. Pollut. Bull.* **1987**, *18*(5), 248–251.
44. Zhang, Z.; Huang, J.; Yu, G.; Hong, H. Occurrence of PAHs, PCBs and organochlorine pesticides in the Tonghui River of Beijing, China. *Environ Pollut.* **2004**, *130*(2), 249–61.
45. Zhang, Z.L.; Hong, H.S.; Zhou, J.L.; Yu, G. Phase association of polycyclic aromatic hydrocarbons in the Minjiang River Estuary, China. *Sci Total Environ.* **2004**, *323*(1-3), 71–86.
46. Maskaoui, K.; Zhou, J.L.; Hong, H.S.; Zhang, Z.L. Contamination by polycyclic aromatic hydrocarbons in the Jiulong River Estuary and Western Xiamen Sea, China. *Environ. Pollut.* **2002**, *118*(1), 109–122.

## **Assessment of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) concentration in the Nhue river water flowing through the inner districts of Hanoi City**

**Vu Kieu Trang<sup>1</sup>, Do Huu Tuan<sup>1\*</sup>**

<sup>1</sup> Faculty of Environmental Sciences, VNU University of Science, Vietnam National University, Hanoi; tuandh@vnu.edu.vn; vukieutrang\_t63@hus.edu.vn

**Abstract:** Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) are carcinogenic compounds, appearing in the air, dust, sediment, and water from human activities like burning fossil fuel and traffic. In this study, assessment of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) concentration in the Nhue river water flowing through the inner districts of Hanoi City was carried out by survey, sampling and analyzing, and comparison methods. The results indicated that 4 popular PAHs compounds of 16 PAHs compounds were Anthracene (22%), Fluorene (20%), Phenanthrene (20%), Pyrene (9%). The total concentration of 16 PAHs ranged from 61.1261.12 ng/l to 227.30 ng/l. The study also showed that two places with a high total concentration of PAHs were Sa Doi bridge (227.3 ng/l) and Den bridge (201.33 ng/l).

**Keywords:** Polycyclic Aromatic Hydrocarbons; PAHs; Nhue River; Hanoi.

Bài báo khoa học

## Một số nhận định ban đầu về nguyên nhân gây mất ổn định bờ sông ở huyện Châu Thành tỉnh Hậu Giang

Lâm Tấn Phát<sup>1</sup>, Đinh Văn Duy<sup>2</sup>, Cao Trung Hiếu<sup>1</sup>, Nguyễn Thái An<sup>2</sup>, Kim Lavane<sup>3</sup>, Trần Văn Tý<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup> Học viên cao học, Khoa Công nghệ, Trường Đại học Cần Thơ;

phatm4220016@gstudent.ctu.edu.vn; hieum4220005@gstudent.ctu.edu.vn

<sup>2</sup> Khoa Công nghệ, Trường Đại học Cần Thơ; dvduy@ctu.edu.vn; tvty@ctu.edu.vn;

anb1908310@student.ctu.edu.vn

<sup>3</sup> Khoa MT&TNTN, Trường Đại học Cần Thơ; klavane@ctu.edu.vn

\*Tác giả liên hệ: tvty@ctu.edu.vn; Tel.: +84-939501909.

Ban Biên tập nhận bài: 10/7/2022; Ngày phản biện xong: 23/8/2022; Ngày đăng bài: 25/8/2022

**Tóm tắt:** Sự mất ổn định bờ sông không chỉ gây thiệt hại lớn về tính mạng và tài sản của cư dân sống trong khu vực bị sạt lở mà còn gây ra những thiệt hại gián tiếp đến môi trường. Đã có nhiều nghiên cứu ở khu vực các sông lớn như sông Tiền và sông Hậu để tìm ra những nguyên nhân mất ổn định. Tại các sông rạch nhỏ sạt lở vẫn diễn ra và thiệt hại gây ra vẫn rất lớn nhưng lại chưa có nhiều nghiên cứu cho các trường hợp này. Do đó nghiên cứu này được thực hiện để phân tích các yếu tố ảnh hưởng đến ổn định mái bờ sông Mái Dầm và rạch Xẻo Chòi tại huyện Châu Thành, tỉnh Hậu Giang. Nghiên cứu sử dụng ảnh viễn thám Google Earth giai đoạn từ năm 2006 đến năm 2019 để đánh giá hiện trạng xây dựng và sạt lở ven sông. Phương pháp phân tích thứ bậc (*Analytic Hierarchy Process - AHP*) được sử dụng để xác định mức độ tác động của các yếu tố gây mất ổn định bờ sông. Sau đó tiến hành khảo sát thực địa để kiểm chứng kết quả AHP, từ đó tính toán ổn định bờ sông. Kết quả khảo sát và phân tích cho thấy địa chất là yếu tố tác động mạnh nhất trong các yếu tố, kết hợp với việc xây dựng lấn chiếm hành lang bảo vệ sông rạch tạo ra tải trọng làm giảm hệ số ổn định của mái bờ. Bên cạnh đó, độ cong và lưu tốc dòng chảy cũng là nguyên nhân gây xói lở và biến dạng lòng sông, dẫn đến tăng độ dốc mái bờ, ảnh hưởng đến ổn định bờ sông. Kết quả nghiên cứu sau khi áp dụng phương pháp AHP và khảo sát thực địa có thể mở rộng áp dụng cho các khu vực khác thuộc Đồng bằng sông Cửu Long để phân tích ổn định của bờ sông.

**Từ khóa:** Ảnh viễn thám; Mất ổn định mái bờ sông; AHP; Các yếu tố tác động; Hậu Giang.

### 1. Mở đầu

Đồng bằng sông Cửu Long (ĐBSCL) bắt đầu hình thành cách nay hơn 7000 năm và đến 2000 năm gần đây mới có hình dạng như ngày nay. Do đó, nền địa chất của khu vực này khá yếu và có nguồn gốc từ trầm tích sông, biển và đầm lầy [1]. Tuy đồng bằng có lịch sử non trẻ nhưng đến nay đã có khoảng 17,3 triệu cư dân (số liệu năm 2021) đang sinh sống chiếm 17,9% cả nước Việt Nam [2]. Khi cơ sở hạ tầng chưa phát triển, tập quán sinh sống của cư dân ĐBSCL là xây nhà ven sông để thuận tiện di chuyển bằng tàu thuyền nhỏ trong sinh hoạt hàng ngày [3]. Theo thời gian cư dân sinh sống ven sông càng nhiều, cùng với việc xây dựng thêm nhà cửa kiên cố và đường dân sinh ven bờ. Với cấu tạo địa chất ĐBSCL chủ yếu là đất sét với tính

chất cơ lý kém, ảnh hưởng từ tải trọng các công trình dân sinh đến ổn định mái bờ là rất lớn. Những báo cáo gần đây cho thấy số lượng các điểm sạt lở của ĐBSCL đang gia tăng rất nhanh [1, 4].

Hầu hết các nghiên cứu trên thế giới và Việt Nam về hiện tượng sạt lở bờ sông ngoài việc đề cập đến vị trí phân bố của mái dốc trượt thì cũng tập trung tìm ra cơ chế, mô tả đặc điểm địa hình, điều kiện địa chất thủy văn, đánh giá các yếu tố tác động, các yếu tố tự nhiên, nhân tạo tác động đến động lực và quy luật phát sinh, phát triển sạt lở [5-8]. Trong thập kỷ qua có rất nhiều nghiên cứu để tìm ra nguyên nhân gây mất ổn định dẫn đến sạt lở bờ sông như: địa chất, hình thái dòng chảy, lưu tốc, xây dựng cơ sở hạ tầng ven sông [9-13]. Trong đó có việc ứng dụng phương pháp phân tích thứ bậc (*Analytic Hierarchy Process - AHP*) và GIS để đánh giá tác động của các yếu tố ảnh hưởng đến sạt lở đang là hướng nghiên cứu mới, mang đến cái nhìn tổng quát hơn về hiện tượng sạt lở đồng thời đưa ra cảnh báo về nguy cơ sạt lở thông qua bản đồ nguy cơ của khu vực nghiên cứu. Phương pháp AHP tổng hợp được các ý kiến tham vấn từ chuyên gia trong lĩnh vực giúp tăng tính khách quan cho nghiên cứu [14].

Do đó, nghiên cứu này được thực hiện nhằm phân tích các yếu tố ảnh hưởng đến ổn định mái bờ sông, rạch bằng phương pháp AHP và khảo sát thực địa làm nền tảng để xây dựng bản đồ nguy cơ sạt lở cho khu vực huyện Châu Thành, tỉnh Hậu Giang sau này.

## 2. Phương pháp nghiên cứu

### 2.1. Khu vực nghiên cứu

Khu vực nghiên cứu là huyện Châu Thành, tỉnh Hậu Giang có lãnh thổ nằm trong tọa độ từ 9°30'35 đến 10°19'17 vĩ Bắc và từ 105°14'03 đến 106°17'57 kinh Đông với hệ thống sông rạch dày đặc [15]. Trong đó sông Mái Dầm (vị trí A ở Hình 1) là một nhánh sông lớn từ sông Hậu đổ vào Hậu Giang, đi qua khu vực thị trấn Mái Dầm với nhiều đoạn uốn cong gây sạt lở nghiêm trọng [16]. Đường bờ khu vực nhà máy giấy Lee & Man Việt Nam đã được bảo vệ bằng hệ thống kè dự ứng lực khá kiên cố. Tuy nhiên đoạn sông từ cầu Mái Dầm đến cầu Phú Hữu không được bảo vệ nên hiện tượng sạt lở vẫn đang diễn ra dọc đường bờ. Trung tâm huyện Châu Thành là khu vực chợ Ngã Sáu, nơi giao nhau của 6 con sông, rạch, trong đó có đoạn rạch Xẻo Chòi (vị trí B ở Hình 1) là điểm nóng sạt lở của khu vực.

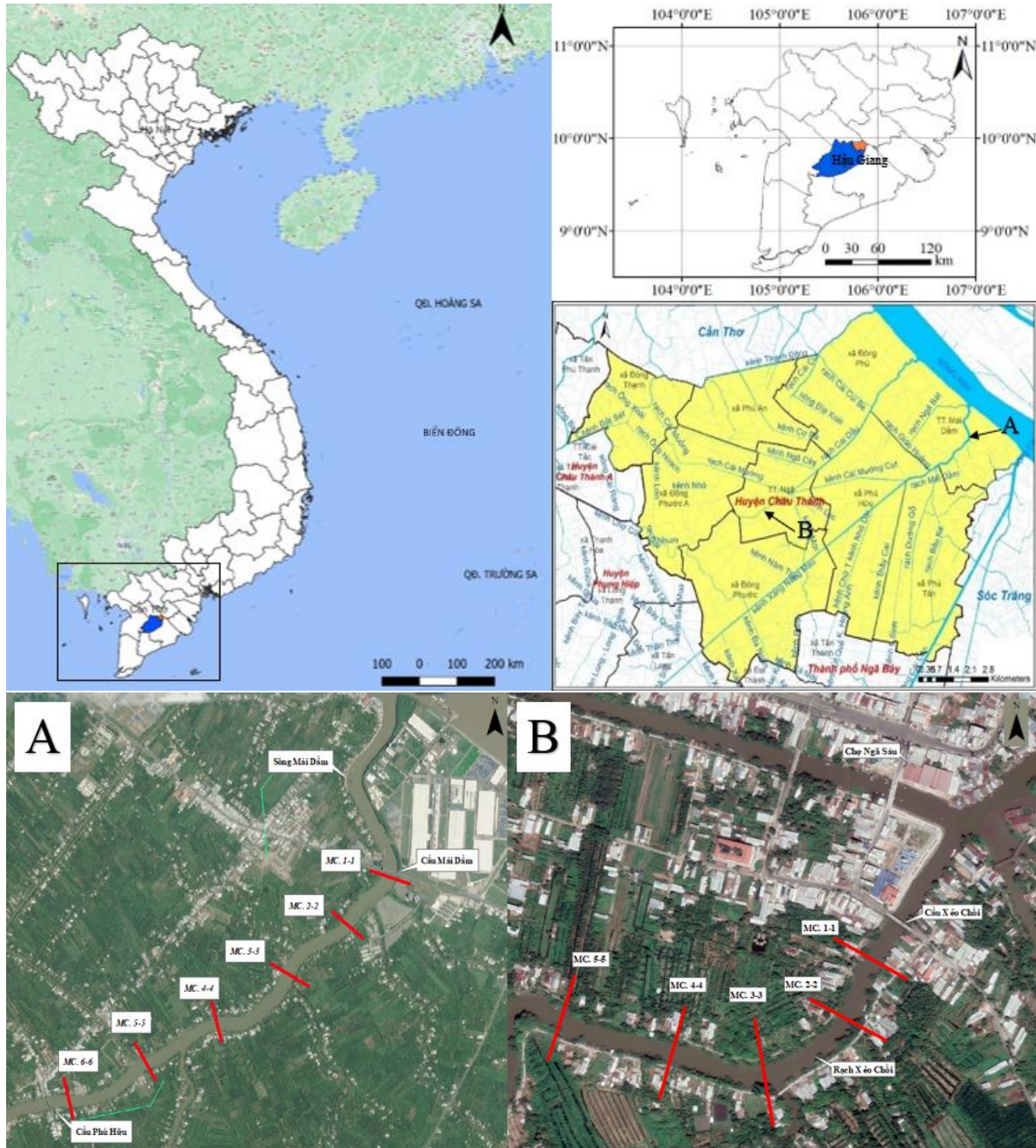
### 2.2. Phân tích ảnh viễn thám

Để đánh giá hiện trạng xây dựng ven bờ ở khu vực nghiên cứu, tác giả sử dụng ảnh viễn thám của Google để phân tích. Phương pháp phân tích ảnh viễn thám được mô tả như trong sơ đồ trên Hình 2.

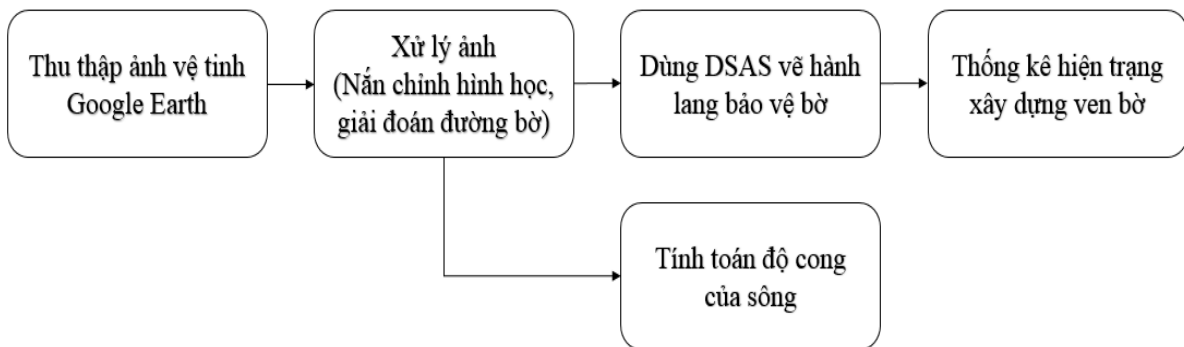
Ảnh vệ tinh Google Earth thuộc sở hữu của công ty Google LLC trụ sở tại Hoa Kỳ, có thể tải xuống miễn phí tại phần mềm Google Earth Pro. Các ảnh vệ tinh chất lượng cao với độ phân giải 0,3 m được tải và sử dụng để phân tích diễn biến đường bờ sông 2 vị trí Sông Mái Dầm (A) và Rạch Xẻo Chòi (B) thuộc khu vực nghiên cứu. Các ảnh Google Earth đã thu thập được trình bày trong Bảng 1.

**Bảng 1.** Số liệu ảnh Google Earth.

Thời gian	Vị trí	Nguồn ảnh	Độ phân giải (m)	Hệ tọa độ
12/04/2006	A	Maxar Technologies	0,3	UTM
26/12/2013	B	CNES/Airbus	0,3	UTM
09/02/2015	A và B	CNES/Airbus	0,3	UTM
28/02/2017	B	CNES/Airbus	0,3	UTM
15/02/2019	A và B	Maxar Technologies	0,3	UTM



Hình 1. Khu vực nghiên cứu.



Hình 2. Sơ đồ các bước thực hiện phân tích ảnh viễn thám.



Các ảnh Google Earth được tải về không có cùng khung hình học nên phải được nắn chỉnh hình học bằng công cụ Registration trong bộ công cụ Map trên phần mềm ENVI trước khi tiến hành chiết xuất đường bờ. Các điểm không chế được sử dụng để tiến hành nắn chỉnh hình học các ảnh. Sai số trung bình bình phương (RMSE) được sử dụng để đánh giá độ chính xác của việc nắn chỉnh ảnh theo công thức:

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

Trong đó  $y_i$  là tọa độ điểm không chế thứ  $i$ ;  $\bar{y}_i$  là giá trị ước đoán bằng mô hình hồi quy tuyến tính tại điểm không chế thứ  $i$ .

Phương pháp chiết xuất đường bờ của ảnh Google Earth và sai số của phương pháp này được tham khảo trong nghiên cứu của [17-19]. Nghiên cứu này sử dụng định nghĩa đường bờ là ranh giới giữ mặt nước với phần đất ven bờ hoặc cây cối nên không xét đến ảnh hưởng của dao động mực nước đến vị trí đường bờ.

### 2.2.1. Thống kê hiện trạng xây dựng trên hành lang bảo vệ sông, rạch

Khu vực sông Mái Dầm và rạch Xẻo Chồi có chiều rộng lần lượt khoảng 80 m và 35 m, căn cứ theo quyết định của Ủy ban nhân dân tỉnh Hậu Giang về hành lang bảo vệ sông, rạch [20] thì phạm vi bảo vệ sông Mái Dầm là 25 m và rạch Xẻo Chồi là 15 m từ đường bờ có mực nước lũ cao nhất. Trong nghiên cứu này tác giả tổng hợp đường bờ các năm 2006, 2015, 2019 tại sông Mái Dầm và các năm 2013, 2015, 2017, 2019 tại rạch Xẻo Chồi để tìm ra đường baseline bằng công cụ DSAS trong ARCMAP 10.4, từ đó vẽ được hành lang bảo vệ bờ là một đường polyline cách đường baseline một khoảng bằng phạm vi bảo vệ quy định. Sau đó lọc ra các đối tượng là công trình xây dựng và lộ dân sinh từ đường bờ trở vào đến hành lang bảo vệ bờ trong các ảnh thuộc khu vực nghiên cứu như Hình 2. Tiến hành thống kê diện tích của các công trình trên qua các năm, từ đó tính được mật độ xây dựng từng năm theo công thức:

$$M\text{ĐXD} = \frac{S_{CT} + S_{LDS}}{S} \quad (2)$$

Trong đó  $S_{CT}$  và  $S_{LDS}$  lần lượt là diện tích các công trình nhà dân và lộ dân sinh xây dựng trong hành lang bảo vệ ( $m^2$ );  $S$  là diện tích hành lang bảo vệ trong khu vực nghiên cứu ( $m^2$ ).





### 2.2.2. Tính toán độ cong của sông rạch

Tỷ số độ cong ( $L/L'$ ) giữa chiều dài uốn khúc của sông ( $L$ ) trên chiều dài đoạn thẳng nối giữa hai đầu sông ( $L'$ ) được đề cập trong nghiên cứu của Dave Rosgen [21] là yếu tố đánh giá xu hướng biến đổi dòng chảy của các con sông. Để tính được độ dài  $L$  của khu vực sông rạch nghiên cứu tác giả sử dụng ảnh Google Earth đã được thu thập rồi tiến hành vẽ đường trực của sông cách đều hai bờ sông. Độ dài  $L'$  được xác định dễ dàng hơn, đó là đường thẳng nối hai điểm đầu và cuối của đường  $L$  như Hình 3.



Hình 3. Phân tích mật độ cong rạch Xẻo Chồi trên ảnh Google Earth.

### 2.3. Phương pháp Analytical Hierarchy Process (AHP)

Thomas L. Saaty (1972) đã đề xuất phương pháp ra quyết định được biết với tên gọi là quy trình phân tích thứ bậc AHP nhằm hỗ trợ việc ra quyết định đa tiêu chuẩn phức tạp [22]. Phương pháp AHP cho phép người ra quyết định tập hợp được kiến thức của những chuyên gia trong lĩnh vực nghiên cứu của mình, tổng hợp lại được các dữ liệu khách quan và chủ quan trong một khuôn khổ thứ bậc logic. Phương pháp này đưa ra đánh giá về cả hai mặt định tính và định lượng: Định tính qua sự sắp xếp thứ bậc và định lượng qua sự mô tả các đánh giá qua các con số có thể dùng để mô tả nhận định của người được tham vấn về các vấn đề được đề cập. Ngày nay, AHP được sử dụng rất phổ biến trong các lĩnh vực quản lý tài nguyên đất đai, thương mại.

Qua quá trình lược khảo tài liệu, tác giả chọn ra sáu yếu tố chính ảnh hưởng đến sự ổn định mái bờ sông, rạch. Từ đó tiến hành khảo sát ý kiến của các chuyên gia trong lĩnh vực thủy lợi đợt 1 để đánh giá sơ bộ mức độ tác động của từng yếu tố đã nêu. Sau đó tiến hành chọn lọc và giữ lại những yếu tố quan trọng để tạo thành ma trận quản lý theo chiều dọc lẫn chiều ngang dưới sự phân cấp tiêu chuẩn của trọng số. Từ đó tính toán được mức độ ưu tiên giữa các yếu tố, giả sử ta có  $X_n$  yếu tố cần giả định thì một ma trận được giả thuyết như sau:

$$\begin{matrix}
 & X_1 & X_2 & & X_n \\
 X_1 & \left[ \begin{matrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \end{matrix} \right. \\
 X_2 & \left[ \begin{matrix} a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \end{matrix} \right. \\
 & \left[ \begin{matrix} \dots & \dots & \dots & \dots \end{matrix} \right. \\
 X_n & \left[ \begin{matrix} a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{n,n} \end{matrix} \right.
 \end{matrix}
 \tag{3}$$

Trong đó  $a_{ij}$  là mức độ đánh giá giữa chỉ tiêu thứ  $i$  so với thứ  $j$ :  $a_{ij} > 0$ ;  $a_{ij} = 1/a_{ji}$ ;  $a_{ii} = 1$ . Ví dụ như yếu tố  $X_1$  quan trọng hơn yếu tố  $X_2$  thì  $a_{12} > 1$  và  $a_{21} < 1$  và ngược lại. Nếu  $X_1$  và  $X_2$  quan trọng như nhau thì  $a_{12} = a_{21} = 1$ . Để điền vào ma trận trên, người ta dùng thang đánh giá từ 1-9 như trong Bảng 2.

Ở bước này, khảo sát đợt 2 được tiến hành nhờ các chuyên gia cho điểm các yếu tố trong ma trận so sánh đã lập gồm: Địa chất; Hình thái dòng chảy; Vận tốc dòng chảy và tải trọng công trình ven bờ sông. Các ma trận so sánh của các chuyên gia được tổng hợp lại để xác định trọng số cho từng yếu tố.

**Bảng 2.** Các trị số so sánh cặp thông minh của Saaty [23].

Mức độ quan trọng	Giá trị số	Giải thích
Quan trọng như nhau	1	Hai tiêu chí có đóng góp ngang nhau
Quan trọng hơn một ít	3	Có sự ưu tiên vừa phải cho một tiêu chí
Quan trọng hơn nhiều	5	Có sự ưu tiên mạnh cho một tiêu chí
Quan trọng hơn rất nhiều	7	Một tiêu chí rất quan trọng so với tiêu chí kia
Quan trọng hơn rất nhiều lần	9	Được ưu tiên ở mức độ cao nhất có thể

Cho mỗi yếu tố là một trọng số, đó cũng chính là mức độ quan trọng của từng yếu tố tác động mạnh như thế nào đến quá trình sạt lở, tổng của tất cả trọng số là 100% hay 1. Gọi  $w_{ii}$  là trọng số của yếu tố thứ  $i$ .  $w_{ii}$  được tính theo công thức sau:

$$w_{ii} = \frac{a_{ii}}{\sum_{i=1}^n a_{in}} \tag{4}$$

Kiểm tra tính nhất quán: Phương pháp AHP cho phép mâu thuẫn giữa các giữa yếu tố, nhưng phải có giới hạn của mâu thuẫn đó trong ý kiến của tập hợp. Ma trận về ý kiến của các chuyên gia có thể được xác định bằng tỉ số nhất quán (Consistency Ratio - CR):

$$CR = \frac{CI}{RI} \tag{5}$$

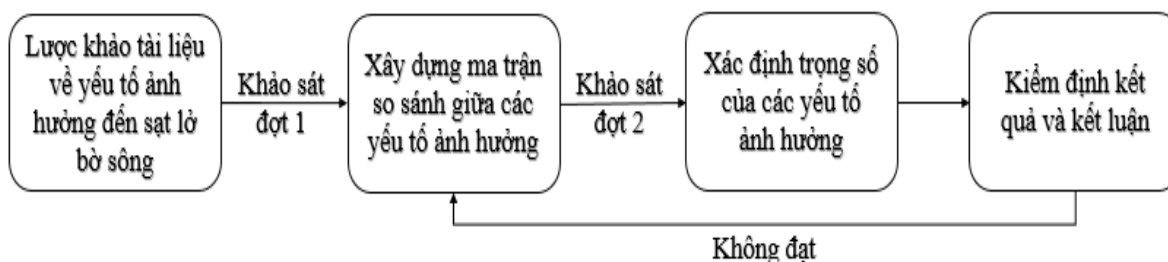
Trong đó RI (*Random Index*) là chỉ số ngẫu nhiên được xác định từ bảng cho sẵn; CI (Consistency Index) là chỉ số nhất quán với  $CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1}$ ;  $\lambda_{max}$  là giá trị riêng của ma trận so

sánh với:  $\lambda_{max} = \frac{1}{n} \cdot \left( \frac{\sum_{n=1}^4 w_{1n}}{w_{11}} + \frac{\sum_{n=1}^4 w_{2n}}{w_{22}} + \frac{\sum_{n=1}^4 w_{3n}}{w_{33}} + \frac{\sum_{n=1}^4 w_{4n}}{w_{44}} \right)$

**Bảng 3.** Các chỉ số ngẫu nhiên ứng với số lượng các yếu tố (RI) theo Berrittella [24].

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
RI	0,00	0,00	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49

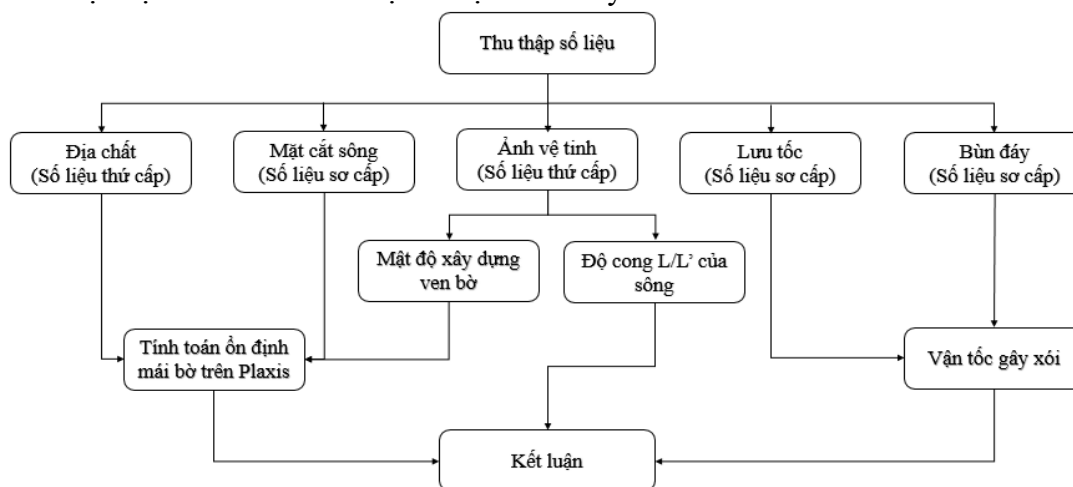
Tỷ số nhất quán CR phải nhỏ hơn 10%, nếu lớn hơn thì sự kết quả tham vấn chưa được xem là ngẫu nhiên và cần thực hiện lại. Trình tự các bước tiến hành phương pháp AHP được tóm tắt và thể hiện ở Hình 4.



**Hình 4.** Sơ đồ cấu trúc các bước tiến hành phương pháp AHP.

### 2.4. Khảo sát thực địa

Sau khi có kết quả đánh giá sự tác động của các yếu tố của các chuyên gia theo phương pháp AHP, khảo sát thực địa được tiến hành để kiểm định lại giả thuyết. Các bước thực hiện khảo sát thực địa và tính toán ổn định được trình bày thành sơ đồ như Hình 5.



Hình 5. Sơ đồ cấu trúc các bước tiến hành khảo sát thực địa.

#### 2.4.1. Thu thập số liệu

Các số liệu thứ cấp như địa chất của khu vực nghiên cứu, thống kê tình hình sạt lở của khu vực được thu thập từ các nguồn thể hiện ở Bảng 4.

Bảng 4. Số liệu và nguồn số liệu.

TT	Tên số liệu	Thời gian/Địa điểm	Nguồn
1	Địa chất	Năm 2018, khu vực sông Mái Dầm, Ngã Sáu, huyện Châu Thành	Sở TN&MT tỉnh Hậu Giang
2	Số liệu sạt lở	Năm 2019-2021	Tổng cục phòng chống thiên tai

Số liệu địa chất được tham khảo từ nguồn của Sở Tài nguyên và Môi trường tỉnh Hậu Giang [16], kết quả khảo sát địa chất khu vực sông Mái Dầm và rạch Xẻo Chòi được trình bày ở Bảng 5.

Bảng 5. Số liệu địa chất khu vực nghiên cứu.

Khu vực	Lớp đất	Chiều dày h (m)	Dung trọng tự nhiên $\gamma_{tn}$ (kN/m <sup>3</sup> )	Dung trọng bão hòa $\gamma_{sat}$ (kN/m <sup>3</sup> )	Lực dính C (kN/m <sup>2</sup> )	Góc nội ma sát $\phi$ (°)
Mái Dầm	Lớp 1 (OH)	11,0	14,219	14,922	8,434	3,350
	Lớp 2 (CL1)	12,0	18,612	19,316	19,809	15,250
	Lớp 3 (CL2)	2,0	19,896	20,385	28,635	17,567
Xẻo Chòi	Lớp 1 (OH)	11,0	15,003	15,307	7,649	4,683
	Lớp 2 (CH1)	12,0	18,425	18,739	19,025	17,050
	Lớp 3 (CL1)	4,0	18,602	18,916	17,260	15,883

#### 2.4.2. Đo đo mặt cắt ngang kết hợp đo vận tốc dòng chảy

Phương pháp đo mặt cắt ướt sông được xác định theo Tiêu chuẩn ngành 14TCN 141-2005 [25]. Trong đó, máy siêu âm cầm tay Hondex PS-7 trên Hình 6 được sử dụng để đo độ sâu. Độ sâu được đo từ mặt nước đến đáy sông tại các thủy trực và khoảng cách giữa các thủy trực là 5-10 m tính từ mép bờ phải. Ghi nhận và chỉnh lý số liệu cho phù hợp để vẽ mặt cắt sông.



**Hình 6.** Thiết bị đo độ sâu (Hondex PS-7) và vận tốc (Midas-ECM).

Trong nghiên cứu này, thiết bị được sử dụng để đo vận tốc dòng chảy là MIDAS-ECM (Hình 6 - thiết bị đo vận tốc tự ghi có thể đo được vận tốc dòng chảy theo hai phương. Vận tốc được đo tại các thủy trực đã đo vẽ mặt cắt.

#### 2.4.3. Thu mẫu bùn cát

Để xác định cấp phối hạt bùn cát ven bờ sông cần thu thập các mẫu và lưu trữ trong các hộp nhựa, sau đó chuyển đến phòng thí nghiệm để xác định cấp phối theo phương pháp rây sàng và lắng đọng như Hình 7. Vị trí lấy mẫu tại các vị trí đoạn sông bị uốn cong và những địa điểm thường xảy ra xói/sạt lở. Trên một mặt cắt sông, các vị trí lấy mẫu bùn cát được xác định như sau: vị trí 01: cách bờ phải 5 m và vị trí 02: cách bờ trái 5 m.



**Hình 7.** Thu mẫu bùn đáy và làm thí nghiệm thành phần hạt.

#### 2.4.4. Vận tốc không xói

Vận tốc không xói là vận tốc cho phép lớn nhất mà dòng chảy đạt tới trị số ấy không gây ra sự xói lở lòng sông rạch. Vận tốc không xói cho phép phụ thuộc vào tính chất cơ lý của đất nơi tuyến kênh đi qua, lượng ngậm phù sa và tính chất phù sa của dòng chảy trong kênh. Theo TCVN 4118:2012, vận tốc không xói được xác định dựa vào kích thước hạt trung bình ( $d_{50}$ ) và trình bày ở Bảng 6.

**Bảng 6.** Vận tốc không xói theo TCVN 4118:2012.

Kích thước hạt đất trung bình ( $d_{50}$ ) (mm)	Vận tốc không xói (m/s)
0,005 - 0,050	0,190 - 0,260
0,050 - 0,250	0,260 - 0,400
0,250 - 1,000	0,400 - 0,700



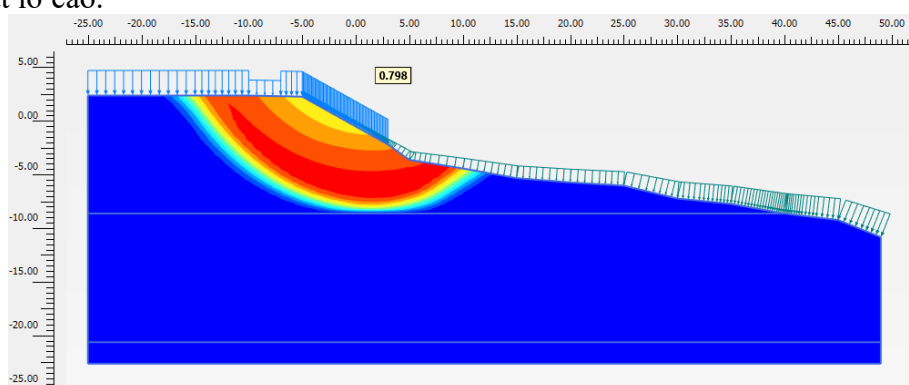
### 2.5. Tính toán hệ số ổn định mái bờ

Các dữ liệu về địa chất; mặt cắt sông; mực nước sông; mực nước ngầm và tải trọng của các công trình ven như đường dân sinh và nhà ở của cư dân được đưa vào mô hình phần tử hữu hạn để tính toán sự ổn định của mái bờ. Cụ thể theo Tiêu chuẩn Việt Nam TCVN 2737:2012 [26], tải trọng nhà cấp 4 và đường dân sinh được tính toán và khai báo vào mô hình phần tử hữu hạn lần lượt là  $P_1 = 0,85 \text{ T/m}$  và  $P_2 = 0,5 \text{ T/m}$ . Qua khảo sát thực tế rút ra các trường hợp tính toán là: (TH1) Mái bờ sông không có công trình; (TH2) Có nhà cấp 4 lấn xuống lòng sông; (TH3) Có nhà cấp 4 ở phía trong đường dân sinh; (TH4) Có cả nhà 4 lấn xuống lòng sông và ở phía trong đường dân sinh. Sau khi khai báo các đặc trưng về hình học; địa chất; mực nước sông; mực nước ngầm và tải trọng tác giả tính được hệ số ổn định FS theo phương pháp suy giảm sức kháng cắt [27-29] với:

$$FS = \sum M_{sf} = \frac{\tan \varphi}{\tan \varphi_r} = \frac{c}{c_r} \quad (6)$$

Trong đó  $c$  và  $\varphi$  lần lượt là lực dính và góc nội ma sát ở trạng thái bình thường (tham khảo số liệu địa chất khu vực nghiên cứu đã thu thập),  $c_r$  và  $\varphi_r$  là lực dính và góc nội ma sát suy giảm vừa đủ lớn để duy trì trạng thái cân bằng. Việc giảm các thông số  $c$  và  $\varphi$  được kiểm soát bởi tổng số nhân  $\sum M_{sf}$ , tham số này được tăng lên theo quy trình từng bước cho đến khi xảy ra trạng thái mất ổn định. Giá trị  $\sum M_{sf}$  cuối cùng đạt được trước khi trạng thái mất ổn định xảy ra là chính là hệ số an toàn của mái bờ FS.

Trong phương pháp suy giảm sức kháng cắt: Nếu  $FS > 1$  thì mái bờ ở trạng thái ổn định;  $FS = 1$  thì mái bờ đến giới hạn mất ổn định;  $FS < 1$  thì mái bờ ở trạng thái mất ổn định dẫn đến nguy cơ sạt lở cao.



Hình 8. Sơ đồ tính toán ổn định.

## 3. Kết quả và thảo luận

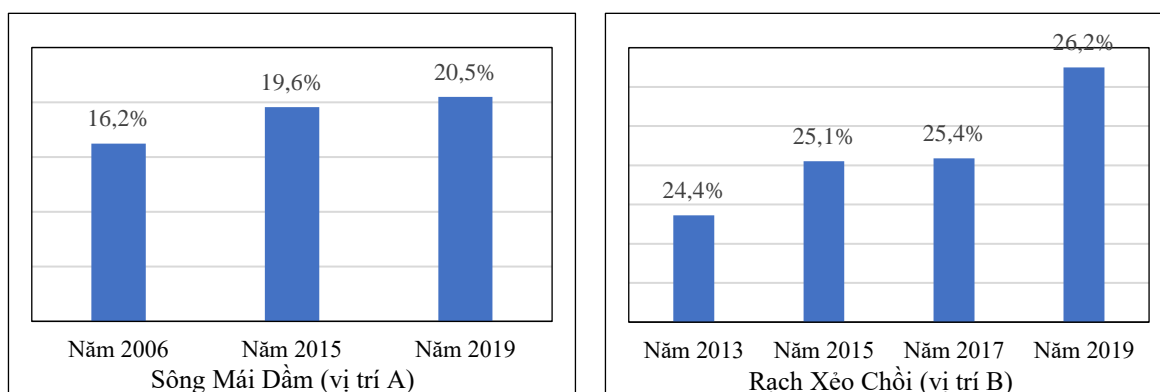
### 3.1. Kết quả phân tích ảnh viễn thám

Mật độ xây dựng trên hành lang bảo vệ bờ được thể hiện ở Hình 9 cho thấy quá trình xây dựng ở sông Mái Dầm từ năm 2006 đến năm 2019 diễn ra không quá nhanh, mật độ xây dựng tăng thêm 4,3% trong 13 năm (từ 16,2% lên 20,5%). Trường hợp mật độ xây dựng ở rạch Xẻo Chòi cũng không thay đổi đáng kể từ năm 2013 đến năm 2019 chỉ tăng thêm 1,8% (từ 24,4% lên 26,2%). Tuy nhiên mật độ xây dựng trên hành lang bảo vệ hai khu vực này rất cao đến 20,5% và 26,2%, làm tăng tải trọng lên mái bờ dẫn đến nguy cơ mất ổn định và sạt lở.

Kết quả tính toán độ cong dòng chảy cho hai vị trí A và B được thể hiện ở Bảng 6 cho thấy độ cong của sông Mái Dầm không lớn, tỉ số  $L/L' = 1,05$ . Trong khi đó đoạn rạch Xẻo Chòi trong khu vực nghiên cứu có độ rất lớn, với tỉ số  $L/L' = 1,22$ . Tham khảo nghiên cứu của Dave Rosgen [21] tại các con sông có nền đất sét và bùn, với độ dốc nhỏ hơn 0,02 - tương tự ĐBSCL, nếu



tỷ số độ cong giữa chiều dài uốn khúc của sông trên chiều dài đoạn thẳng nối giữa hai đầu sông  $L/L' > 1,2$  thì có hiện tượng xói bên bờ lõm và bồi bên bờ lồi. Như vậy với kết quả độ cong tại rạch Xẻo Chòi, ta có thể dự báo được mặt cắt (MC) 2-2 của rạch Xẻo Chòi có khả năng bị khoét sâu vào bờ trái (bên lõm).



**Hình 9.** Kết quả phân tích mật độ xây dựng trên hành lang bảo vệ bờ tại khu vực nghiên cứu.

**Bảng 6.** Kết quả tính toán độ cong dòng chảy.

Vị trí	Chiều dài L (m)	Chiều dài L' (m)	Tỉ số L/L'
Sông Mái Dầm (A)	2764,63	2629,36	1,05
Rạch Xẻo Chòi (B)	685,00	562,15	1,22

### 3.2. Kết quả khảo sát chuyên gia cho phương pháp AHP

Trong đợt khảo sát thứ nhất để xác định các yếu tố tác động mạnh đến quá trình sạt lở bờ sông, tác giả đã khảo sát 55 chuyên gia trong lĩnh vực quản lý, nghiên cứu, thiết kế và thi công công trình thủy lợi. Các chuyên gia đồng tình rất cao với sáu yếu tố được đề xuất trong cuộc khảo sát và để định lượng mức độ ảnh hưởng của sáu yếu tố đã nêu, tác giả đã nhờ các chuyên gia cho điểm từ 1 đến 6 cho mỗi yếu tố với (1 - ảnh hưởng mạnh nhất và 6 - ảnh hưởng yếu nhất). Sau đó tiến hành tính tổng điểm cho từng yếu tố, kết quả được trình bày trong Bảng 7.

**Bảng 7.** Tổng hợp điểm số của các yếu tố khảo sát đợt 1.

Yếu tố	Tổng điểm	Mức độ tác động
Địa chất	167	1
Hình thái dòng chảy sông, rạch	173	2
Lưu tốc của dòng chảy	176	3
Thủy triều và mưa	184	4
Tải trọng công trình ven bờ	185	5
Giao thông thủy	196	6

Trên cơ sở cuộc khảo sát thứ nhất, tác giả chọn ra bốn yếu tố đặc hữu tác động đến quá trình sạt lở sông rạch huyện Châu Thành, tỉnh Hậu Giang là: (1) Địa chất; (2) Hình thái dòng chảy; (3) Lưu tốc của dòng chảy; (4) Tải trọng ven bờ sông, rạch. Yếu tố “Thủy triều và mưa” thay đổi theo mùa và làm thay đổi mực nước trên sông cũng như mực nước ngầm trong đất dẫn đến sự thay đổi giữa trạng thái bão hòa và không bão hòa của lớp đất trong biên dao động mực nước. Sự thay đổi trạng thái này kéo theo sự suy giảm các chỉ tiêu cơ lý duy trì trạng thái ổn định của mái bờ [1]. Do đó yếu tố thủy triều tác động gián tiếp đến sự ổn định của mái bờ (thông qua thay đổi địa chất) nên khi đánh giá trọng số cho từng yếu tố, yếu tố “Thủy triều và mưa” đã được lược. Tiếp theo là tiến hành thiết lập ma trận so sánh giữa các yếu tố đã chọn theo phương pháp AHP và tiếp tục nhờ các chuyên gia cho điểm từng yếu tố trong ma trận trên. Kết quả khảo sát từ 44 chuyên gia đã cho ra ma trận so sánh sự tác động của bốn yếu tố đã đề cập trong Bảng 8.

**Bảng 8.** Ma trận các giá trị khảo sát và trọng số của 4 yếu tố khảo sát.

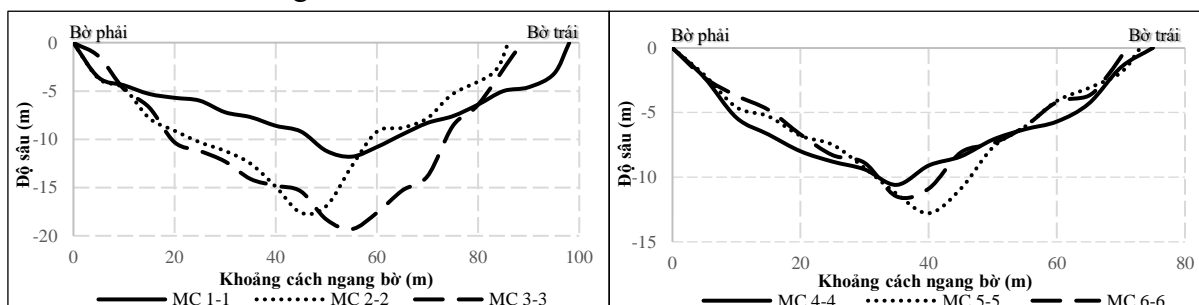
	Địa chất	Hình thái dòng chảy	Lưu tốc	Tải trọng ven bờ	Trọng số	Phần trăm
Địa chất		1,43	2,05	2,04	<b>0,371*</b>	<b>37,1%</b>
Hình thái dòng chảy	0,70		1,66	1,45	<b>0,271</b>	<b>27,1%</b>
Lưu tốc	0,49	0,60		1,28	<b>0,187</b>	<b>18,7%</b>
Tải trọng ven bờ	0,49	0,69	0,78		<b>0,171</b>	<b>17,1%</b>

\*Trọng số lớn nhất

Kiểm tra tính nhất quán của ma trận với các giá trị  $\lambda_{max} = 4,034$ ;  $CI = 0,011$ ; Tỷ số nhất quán  $CR = 0,012 < 0,1$ , ta có kết quả khảo sát đáp ứng sự nhất quán. Với trọng số đã xác định bên trên ta xác định được mức độ tác động của bốn yếu tố đến quá trình sạt lở bờ sông. Địa chất là yếu tố tác động mạnh nhất tới quá trình mất ổn định mái bờ với trọng số là 37,1%, kế đến hình thái dòng chảy hay độ cong của con sông được đánh giá là 27,1%, cuối cùng là lưu tốc và tải trọng với trọng số tương đương nhau lần lượt là 18,7% và 17,1%.

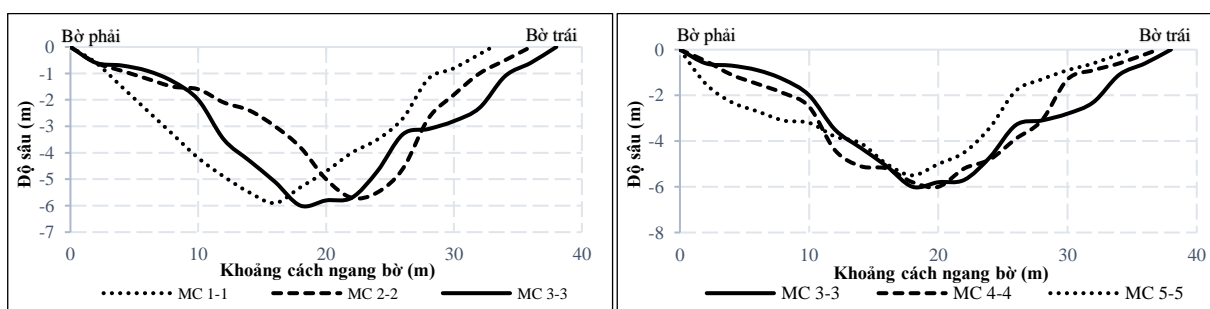
### 3.3. Phân tích mặt cắt lòng sông

Kết quả khảo sát sáu mặt cắt ở sông Mái Dầm trình bày ở Hình 10 cho thấy MC 1-1 có chiều rộng lớn hơn các mặt khác, nguyên nhân do các mố trụ cầu Mái Dầm xây dựng sát bờ tạo ra các xoáy nước khoét sâu vào bờ. Nhìn chung các MC ngang ở sông Mái Dầm có độ dốc mái khá cao, khi kết hợp với tải trọng công trình ven bờ có thể tạo ra cung trượt sát bờ sông rất nguy hiểm. Các đoạn cong của sông ở MC 3-3 và 4-4 cho thấy sự bất đối xứng giữa hai mái bờ sông với một bờ khá thoải và bờ còn lại có độ dốc lớn hơn. Tại MC 3-3, bờ phải có độ dốc  $i = 35\%$  trong khi đó bờ trái có độ dốc  $53,75\%$  lớn hơn 1,5 lần so với bờ phải. Tương tự tại MC 4-4 với bờ trái có độ dốc  $i = 27,69\%$  còn bờ phải là  $31\%$ . Độ dốc càng lớn dẫn đến sự mất ổn định tại mái bờ đó càng cao.



**Hình 10.** Mặt cắt ngang sông Mái Dầm.

Các mặt cắt ở rạch Xẻo Chòi trình bày ở Hình 11 cho thấy MC 2-2 rất bất đối xứng với 4 MC còn lại. Bờ trái của MC 2-2 có độ dốc lớn hơn bờ phải rất nhiều (độ dốc  $i = 41,67\%$  so với  $28,52\%$  tại bờ phải) điều này làm tăng nguy cơ sạt lở ở bờ trái MC 2-2.

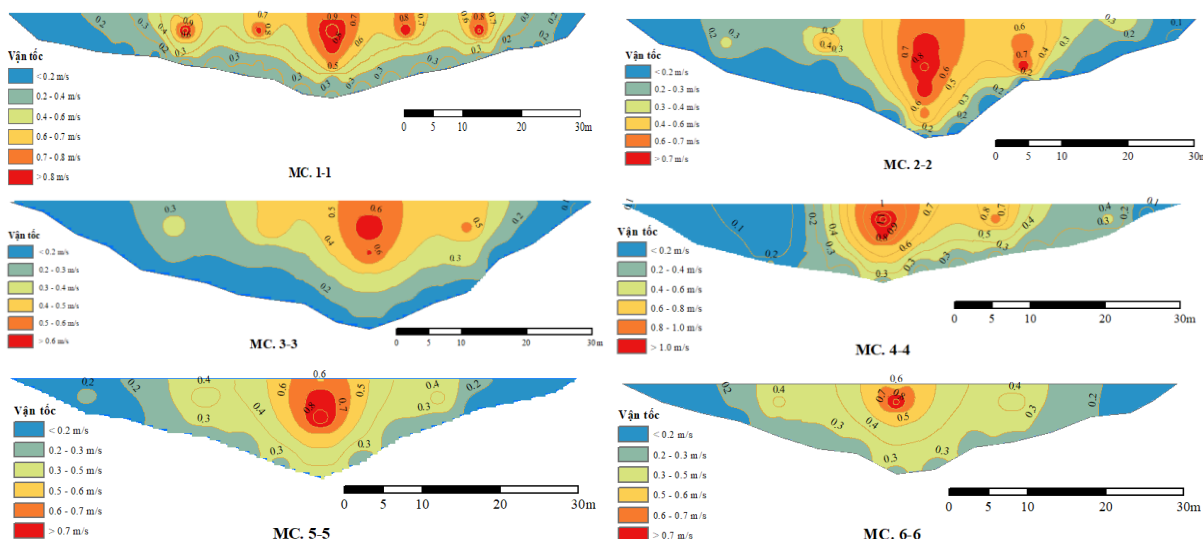


**Hình 11.** Mặt cắt ngang rạch Xẻo Chòi.

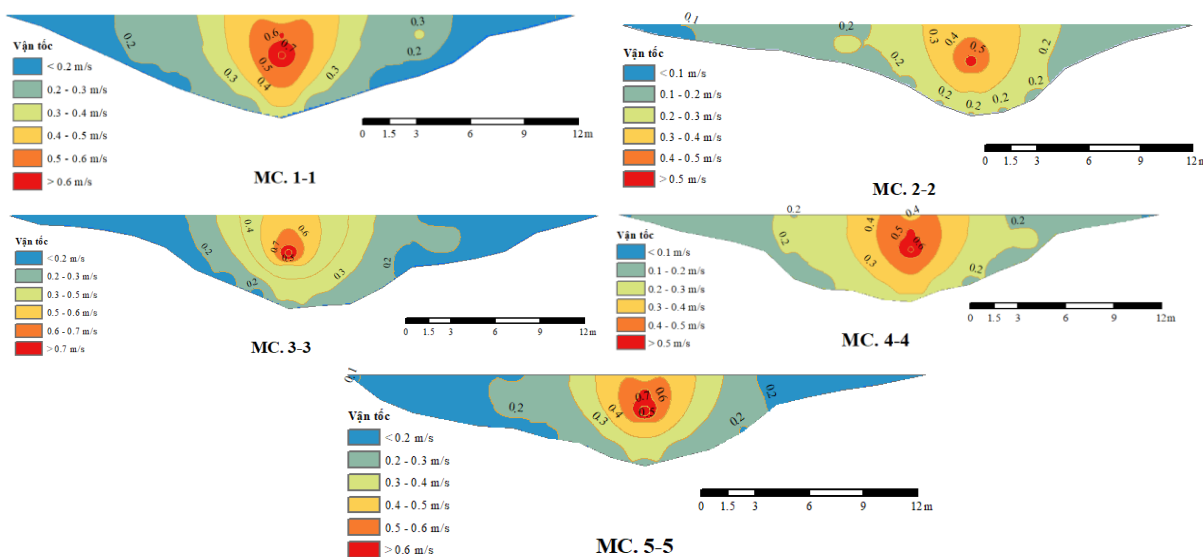
### 3.4. Phân tích vận tốc dòng chảy và vận chuyển bùn cát

Biểu đồ lưu tốc ở sáu MC đã khảo sát ở sông Mái Dầm thể hiện trên Hình 12, có thể thấy lưu tốc lớn nhất tập trung ở giữa dòng ngoài trừ MC 1-1 và MC 3-3. Trong đó MC 1-1 có bốn trụ cầu Mái Dầm bắt qua gây ra các xoáy nước gần bờ. Khi so sánh vị trí lưu tốc lớn nhất của MC 3-3 so với MC lân cận là 2-2 và 4-4 ta thấy sự lệch tâm làm cho vận tốc lớn nhất gần bờ trái MC 3-3 hơn.

Tại 4 MC 1-1, 3-3, 4-4 và 5-5 ở rạch Xèo Chồi có biểu đồ lưu tốc thể hiện ở Hình 12 tương đối đối xứng, lưu tốc lớn nhất tập trung ở giữa rạch. Đoạn cong ở MC 2-2 biểu đồ có lưu tốc lớn nhất lệch về phía bờ trái so với hai MC gần kề là 1-1 và 3-3 làm dòng chảy gần bờ trái có lưu tốc lớn.

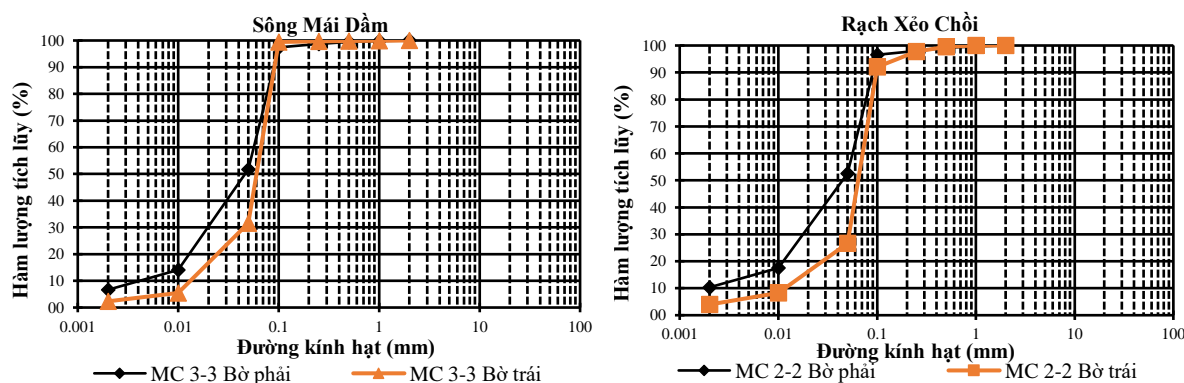


Hình 12. Phân bố lưu tốc dòng chảy tại các mặt cắt sông Mái Dầm.



Hình 13. Phân bố lưu tốc dòng chảy tại các mặt cắt rạch Xèo Chồi.

Vận tốc tại thời điểm khảo sát vẫn nằm trong khoảng cho phép để không xảy ra hiện tượng xói (Bảng 9). Khi so sánh cấp phối hạt ở hai bờ của hai MC như thể hình trên Hình 13, thành phần hạt trung bình ( $d_{50}$ ) của bờ trái lớn hơn bờ phải. Đây có thể do ảnh hưởng của lưu tốc lớn lệch về phía bờ trái đã cuốn các hạt có kích thước nhỏ đi trước, để lại các hạt có kích thước lớn, quá trình này diễn ra lâu dài và tạo cho mái bờ trái có độ dốc hơn mái bờ phải.



Hình 14. Cấp phối hạt tại các ở MC có độ cong lớn.

Bảng 9. Kích cỡ hạt, vận tốc không xói và vận tốc thực đo.

Vị trí	Mặt cắt	$d_{50}$ (mm)	$V_{kx}$ (m/s)	V (m/s)
Sông Mái Dầm	MC 3-3, bờ phải	0,046	0,19 - 0,26	< 0,20
Sông Mái Dầm	MC 3-3, bờ trái	0,061	0,26 - 0,40	0,20 - 0,30
Rạch Xẻo Chồi	MC 2-2, bờ phải	0,044	0,19 - 0,26	0,10 - 0,20
Rạch Xẻo Chồi	MC 2-2 bờ trái	0,063	0,26 - 0,40	0,10 - 0,20

### 3.5. Phân tích ổn định bờ sông

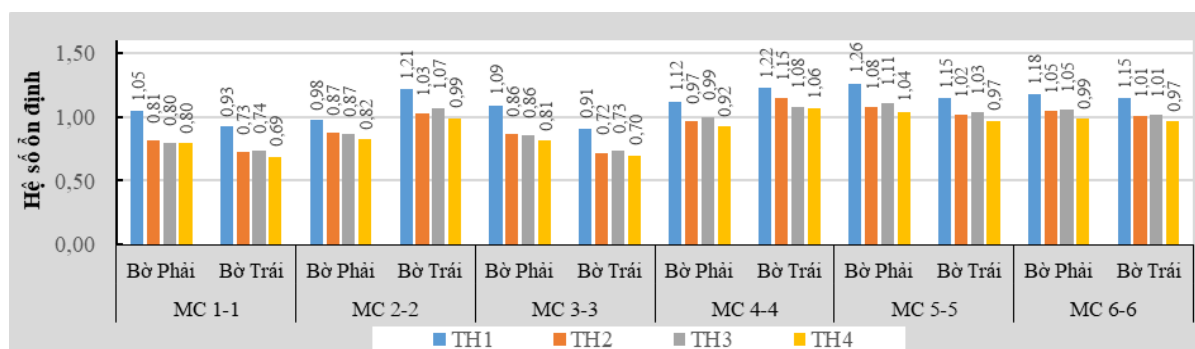
Kết quả tính toán hệ số ổn định FS tại sáu MC ở sông Mái Dầm trong bốn trường hợp được thể hiện trên Hình 15.

TH1: Mái bờ tự nhiên không có tải trọng, hệ số ổn định FS dao động từ 0,91 ÷ 1,26 chứng tỏ tính chất cơ lý đất của mái bờ rất thấp và đang mất ổn định dù chưa chịu thêm tác động nào.

TH2: Có tải trọng nhà cấp 4 lần xuống lòng sông, hệ số ổn định bắt đầu suy giảm (FS = 0,72 ÷ 1,15), các MC 1-1, 2-2, 3-3 gần như mất ổn định và có nguy cơ sạt lở rất cao.

TH3: Có tải trọng nhà cấp 4 ở phía trong đường dân sinh, hệ số ổn định cũng tương tự TH2 với (FS = 0,73 ÷ 1,11) xuất hiện nhiều trường hợp FS < 1,00.

TH4: Có cả tải trọng nhà 4 lần xuống lòng sông và ở phía trong đường dân sinh hệ số ổn định rất thấp (FS = 0,68 ÷ 1,06). Các mặt cắt đều có FS < 1,00 bờ sông mất ổn định nghiêm trọng và nguy cơ sạt lở rất cao.



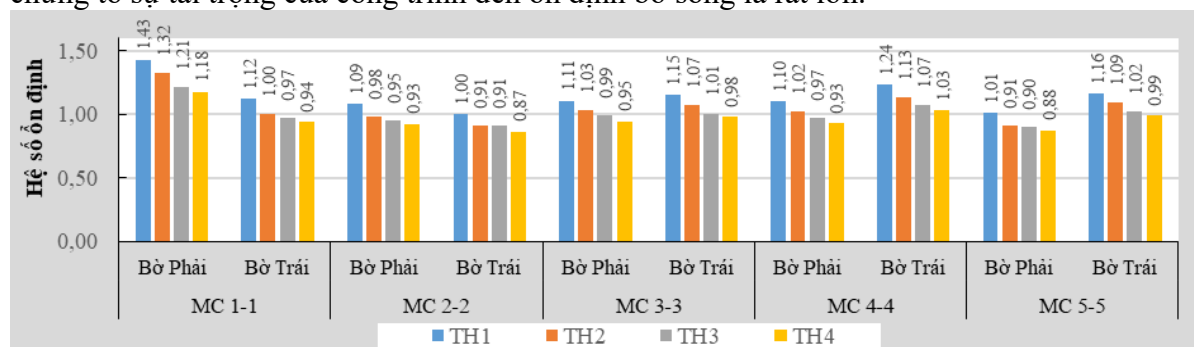
Hình 15. Hệ số ổn định các mặt cắt ở sông Mái Dầm.

Trường hợp ở rạch Xẻo Chồi được thể hiện trên Hình 16 cho thấy hệ số ổn định FS cao hơn ở sông Mái Dầm:

TH1: FS = 1,00 ÷ 1,43 nên bờ sông tương đối ổn định. Tuy địa chất khu vực yếu nhưng nếu không chịu bất cứ tải trọng nào thì tính ổn định của mái bờ vẫn đảm bảo.

TH2 và TH3:  $FS = 0,90 \div 1,32$  xuất hiện nhiều MC có  $FS < 1,00$  tại đoạn sông cong (MC 2-2 và 5-5).

TH4: Hệ số ổn định suy giảm đáng kể ( $FS = 0,87 \div 1,18$ ) và đa số  $FS < 1,00$  ở các MC, chứng tỏ sự tải trọng của công trình đến ổn định bờ sông là rất lớn.



Hình 16. Hệ số ổn định các mặt cắt ở rạch Xẻo Chòi.

Khu vực rạch Xẻo Chòi có hệ số ổn định cao hơn sông Mái Dầm, do rạch tương đối hẹp, lưu tốc không quá lớn và mái bờ không dốc như sông Mái Dầm. Tuy nhiên dưới tác dụng của tải trọng công trình ven bờ thì hệ số ổn định đều rất thấp, cảnh báo nguy cơ sạt lở bờ sông cao đe dọa đến cư dân sống trong các công trình xây dựng lấn chiếm hành lang bảo vệ. Tại các vị trí dòng chảy có độ cong lớn như MC 3-3 sông Mái Dầm và MC 2-2 rạch Xẻo Chòi, mái bờ có độ dốc lớn hơn các mặt cắt bình thường nên hệ số FS nhỏ hơn. Điều này cho thấy địa chất là một trong những yếu tố có tác động mạnh đến ổn định bờ sông. Tuy nhiên, yếu tố hình thái dòng chảy cong của sông nghiên cứu có khả năng tạo ra độ dốc cho mái bờ, dẫn đến mất ổn định cục bộ bờ sông.

#### 4. Kết luận

Mật độ xây dựng trên hành lang bảo vệ sông, rạch còn cao (hơn 20% diện tích) gây ra áp lực không nhỏ cho mái bờ. Do chưa có giải pháp di dời các công trình để giảm bớt nguy cơ sạt lở cũng như đảm bảo an toàn cho tài sản và tính mạng của người dân được đề xuất. Các ảnh vệ tinh Google Earth có độ phân giải cao ( $0,3 \times 0,3$  m/pixel) có thể chiết xuất được các công trình và đường bờ sông với sai số thấp hơn rất nhiều việc sử dụng ảnh Landsat hoặc Sentinel. Tuy nhiên các công trình xây dựng thấp tầng cũng như đường bờ sông có thể bị các cây cao với tán rộng che khuất dẫn đến sai số trong việc chiết xuất các thành phần trong ảnh. Số lượng ảnh miễn phí do Google cung cấp tương đối ít, không liên tục như hai loại ảnh vệ tinh khác đã đề cập. Bên cạnh đó các ảnh có thể xuất hiện mây che phủ khu vực nghiên cứu dẫn đến không chiết xuất được các đối tượng cần thiết.

Kết quả của phương pháp AHP kết hợp khảo sát thực địa đã mang lại cái nhìn tổng quát về quá trình sạt lở cũng như sự tác động của các yếu tố thành phần trong đó. Từ số liệu địa chất của khu vực đã thu thập cho thấy thành phần chủ yếu là đất sét ở trạng thái bão hòa với tính chất cơ lý kém là nguyên nhân chính gây ra sự mất ổn định với trọng số tác động được đánh giá là 37,1%. Lưu tốc lớn nhất của dòng chảy tập trung ở giữa dòng tuy nhiên tại các đoạn dòng chảy uốn cong, lưu tốc lớn có xu hướng di chuyển vào phía bờ (MC 3-3 sông Mái Dầm và MC 2-2 rạch Xẻo Chòi) làm xói lở lòng sông cũng tác động không nhỏ đến quá trình mất ổn định. Các trọng số đã xác định từ phương pháp AHP là cơ sở xây dựng bản đồ nguy cơ sạt lở cho khu vực nghiên cứu dưới sự tác động của các yếu tố đã khảo sát. Trong nghiên cứu này vận tốc dòng chảy chỉ được đo đạc trong thời gian ngắn (ngày 21 và 25/06/2022); do đó, cần được đo đạc thêm và đặc biệt trong mùa lũ để xác định được vận tốc lớn nhất để đánh giá được tác động của vận tốc dòng chảy đến xói lở bờ sông rạch.

Nhìn chung hệ số ổn định của mái bờ của khu vực nghiên cứu không cao, với sông Mái Dầm là rất thấp dù chưa chịu tác dụng của tải trọng cũng đã mất ổn định ( $FS < 1,0$ ). Tại rạch



Xèo Chòi, mái bờ tự nhiên hệ số ổn định cao hơn nhưng nếu có thêm công trình trên đó (TH2-TH4) thì vẫn mất ổn định và nguy cơ sạt lở rất cao.

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

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

### **Tài liệu tham khảo**

1. Hoài, H.C.; Bảy, N.T.; Khôi, Đ.N. Phân tích nguyên nhân gây gia tăng xói lở bờ sông ở đồng bằng sông Cửu Long. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* **2019**, 703, 42-50.
2. Toàn, H.T.; Bình, N.T.; Đăng Trí, V.P. Tiềm năng phát triển nông - lâm - thủy sản và kinh tế biển tỉnh Kiên Giang trong bối cảnh Đồng bằng sông Cửu Long. *Tạp Chí Khoa học Trường Đại học Cần Thơ* **2022**, 58(3), 115-125. doi: 10.22144/ctu.jvn.2022.065.
3. Búa, P.V. Tìm hiểu đặc điểm dân cư và tâm lý người dân Đồng bằng sông Cửu Long. *Tạp chí Khoa học Đại học Cần Thơ* **2010**, 13, 11-19.
4. Khanh, P.T.; Quân, N.H.; Toàn, T.Q. 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. *Tạp chí Khí tượng thủy văn* **2022**, 738, 34-48. doi:10.36335/VNJHM.2022(738).34-48.
5. Hossain, M.S.; Haque, M.A. Stability Analyses of Municipal Solid Waste Landfills with Decomposition. *Geotech. Geol. Eng.* **2009**, 27, 659. doi:10.1007/s10706-009-9265-0.
6. Watson, A.J.; Basher, L.R. Stream bank erosion: a review of processes of bank failure, measurement and assessment techniques, and modelling approaches. *Landcare ICM Rep.* **2006**, 2005-2006/01, pp. 35.
7. Griffiths, D.V.; Lane, P.A. Slope stability analysis by finite elements. *Geotechnique* **1999**, 49(3), 387-403.
8. Zhao, L.; You, G. Rainfall affected stability analysis of Maddingley Brown Coal eastern batter using Plaxis 3D. *Arab. J. Geosci.* **2020**, 13, 1071.
9. Bằng, L.H.; Thịnh, L.V.; Trí, L.H.; Duy, Đ.V.; Tỳ, T.V. Nghiên cứu ảnh hưởng của các yếu tố địa chất, thủy văn đến ổn định bờ sông Cái Vũng, huyện Hồng Ngự, tỉnh Đồng Tháp. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* **2021**, 731, 16-25. doi: 10.36335/VNJHM.2021(731).16-25.
10. An, N.T.; Thanh, P.Q.; Tỳ, T.V.; Trí, L.H.; Hồng, H.T.C. Nghiên cứu nguyên nhân gây sạt lở bờ sông Nhu Gia tại địa bàn huyện Mỹ Tú, tỉnh Sóc Trăng. *SCD* **2021**, 209-215.
11. Hoàn, T.P. Đánh giá thực trạng và nguyên nhân xói lở bờ sông Tiền đoạn chảy qua tỉnh Đồng Tháp. *Tạp chí Khoa học Tự nhiên và Công Nghệ* **2015**, 20(12), 61-67.
12. An, Đ.T. Xây dựng mô hình số mô phỏng biến đổi hình thái sông có địa hình đáy dốc. *Tạp chí Khí tượng thủy văn* **2021**, 727, 82-94. doi: 10.36335/vnjhm.2021(727).82-94.
13. Tú, L.H.; Duy, Đ.V.; Trí, L.H.; An, N.T.; Minh, H.V.T.; Tỳ, T.V. Phân tích các yếu tố ảnh hưởng đến thay đổi diện tích cù lao Long Khánh, huyện Hồng Ngự, tỉnh Đồng Tháp. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* **2021**, 732, 1-12. doi: 10.36335/VNJHM.2021(732).1-12.
14. Lan, P.T.H.; Long, N.L.; Minh, Đ.Q. Nghiên cứu phương pháp phân tích cấp bậc (AHP) đánh giá nguy cơ xói lở bờ sông vùng hạ du hệ thống sông Đồng Nai. *Khoa học*

*kỹ thuật thủy lợi và môi trường* **2020**, 70, 17-24.

15. Sở Tài nguyên và Môi trường tỉnh Hậu Giang. Nghiên cứu tổng quan hệ thống sông ngòi, chế độ dòng chảy, vận chuyển bùn cát ở ĐBSCL và chi tiết cho Hậu Giang. **2019**.
16. Sở Tài nguyên và Môi trường tỉnh Hậu Giang. Báo cáo chuyên đề Phân tích, đánh giá thực trạng và xác định nguyên nhân gây sạt lở bờ sông, kênh chính trên địa bàn tỉnh Hậu Giang. **2019**.
17. Tình, T.V.; Phong, D.H. Sử dụng ảnh viễn thám và GIS nghiên cứu biến động đường bờ biển khu vực mũi Cà Mau. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* **2017**, 684, 35-40.
18. Tiến, N.N.; Cường, Đ.H.; Ưu, Đ.V.; Sáo, N.T.; Tuấn, T.A.; Nam, L.Đ. Phân Tích Biến Động Đường Bờ Khu Vực Bờ Biển Cửa Sông Hậu Bằng Tư Liệu Viễn Thám. *Tạp chí Khoa học và Công nghệ Biển* **2018**, 17(4), 386-392. doi:10.15625/1859-3097/17/4/8858.
19. Thuận, N.N. Đánh giá hiệu quả của các công trình kè giảm sóng tại bờ biển Tây tỉnh Cà Mau. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* **2021**, 732, 93-105. doi: 10.36335/vnjhm.(732).93-105.
20. Ủy ban nhân dân tỉnh Hậu Giang. Quy định về hoạt động trong phạm vi hành lang bảo vệ sông, kênh, rạch; hành lang bảo vệ luồng giao thông đường thủy nội địa trên địa bàn tỉnh Hậu Giang. **2013**.
21. Rosgen, D.L. A practical method of computing streambank erosion rate. Proc. Seventh Fed. Interag. Sediment. Conf. March 25 through 29, **2001**, Reno, NV, 2001, pp. 9-18.
22. Saaty, T.L. Operations research: Some contributions to mathematics. *Science* **1972**, 178(4065), 1061-1070. doi: 10.1126/science.178.4065.1061.
23. Assad, A.A.; Gass, S.I. (ed.). Profiles in Operations Research. International Series in Operations Research and Management Science, Springer, number 978-1-4419-6281-2, **2011**, 147, 577-591. doi: 10.1007/978-1-4419-6281-2.
24. Berrittella, M.; Certa, A.; Enea, M.; Zito, P. An Analytic Hierarchy Process for the Evaluation of Transport Policies to Reduce Climate Change Impacts. *SSRN Electron. J.* **2011**, 1, pp. 25. doi:10.2139/ssrn.962379.
25. Bộ Nông nghiệp và phát triển nông thôn. Tiêu chuẩn ngành 14TCB 141-2005 Quy phạm đo vẽ mặt cắt, bình đồ địa hình công trình thủy lợi. **2005**.
26. Bộ Xây dựng. Tiêu chuẩn quốc gia 2737-2020 Tải trọng và tác động - Tiêu chuẩn thiết kế. **2020**, tr. 1-110.
27. Cheng, Y.M.; Lansivaara, T.; Wei, W.B. Two-dimensional slope stability analysis by limit equilibrium and strength reduction methods. *Comput. Geotech.* **2007**, 34(3), 137-150. doi:10.1016/j.compgeo.2006.10.011.
28. Tu, Y.; Liu, X.; Zhong, Z.; Li, Y. New criteria for defining slope failure using the strength reduction method. *Eng. Geol.* **2016**, 212, 63-71. doi: 10.1016/j.enggeo.2016.08.002.
29. Yuan, W.; Bai, B.; Li, X.C.; Wang, H.B. A strength reduction method based on double reduction parameters and its application. *J. Cent. South Univ.* **2013**, 20(9), 2555-2562. doi:10.1007/s11771-013-1768-4.

## Initial assessment on the causes of riverbank instability in Chau Thanh district, Hau Giang province

Lam Tan Phat<sup>1</sup>, Dinh Van Duy<sup>2</sup>, Cao Trung Hieu<sup>1</sup>, Nguyen Thai An<sup>2</sup>, Kim Lavane<sup>3</sup>, Tran Van Ty<sup>2,\*</sup>

<sup>1</sup> Master student, College of Engineering Technology, Can Tho University, phatm4220016@gstudent.ctu.edu.vn; hieum4220005@gstudent.ctu.edu.vn

<sup>2</sup> College of Engineering Technology, Can Tho University; dvduy@ctu.edu.vn; tvty@ctu.edu.vn; anb1908310@student.ctu.edu.vn

<sup>3</sup> College of Environment and Natural Resources, Can Tho University; klavane@ctu.edu.vn

**Abstract:** Riverbank instability not only causes great loss of life and property of residents living in the erosion area but also causes indirect damage to the environment. There have been many studies on large rivers such as Tien and Hau rivers to find out the causes of riverbank instability. In small rivers and canals, the instability of riverbanks still occurs and the damage caused large damage, but limited studies were investigated for these cases. Therefore, this study was conducted to analyze the factors affecting the stability of the riverbanks in Mai Dam river and Xeo Choi canal in Chau Thanh district, Hau Giang province. Google Earth remote sensing images from 2006 to 2019 were used to assess the current status of riverside construction and erosion. The Analytic Hierarchy Process (AHP) was used to determine the impact levels of factors that cause riverbank instability. A field survey was then conducted to verify AHP results, thereby riverbank stability was calculated. The survey and analysis results show that geology is the most affecting factor among the factors, and in combination with the encroaching construction of riversides to protection buffer areas, it creates the surcharge load reducing the stability coefficient of the riverbank. Besides, the curvature and flow velocity are also the causes of riverbed erosion and deformation, leading to an increase in the stiff slope which affects riverbank stability. Research results using the AHP method and field survey can be extended to other areas in the Mekong Delta to analyze riverbank stability.

**Keywords:** Remote sensing images; Riverbank instability; AHP; Affecting factors; Hau Giang.

Bài báo khoa học

## Cân bằng nước và một số kiến nghị về định hướng phát triển nông nghiệp bền vững ở tỉnh An Giang

Tô Quang Toàn<sup>1</sup>, Phan Trường Khanh<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup> Viện Khoa học Thủy lợi miền Nam; toan\_siwr@yahoo.com

<sup>2</sup> Khoa Kỹ Thuật Công Nghệ Môi Trường, Trường Đại học An Giang – Đại học Quốc gia TPHCM; ptkhanhagu@gmail.com

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

Ban Biên tập nhận bài: 12/6/2022; Ngày phản biện xong: 23/8/2022; Ngày đăng bài: 25/8/2022

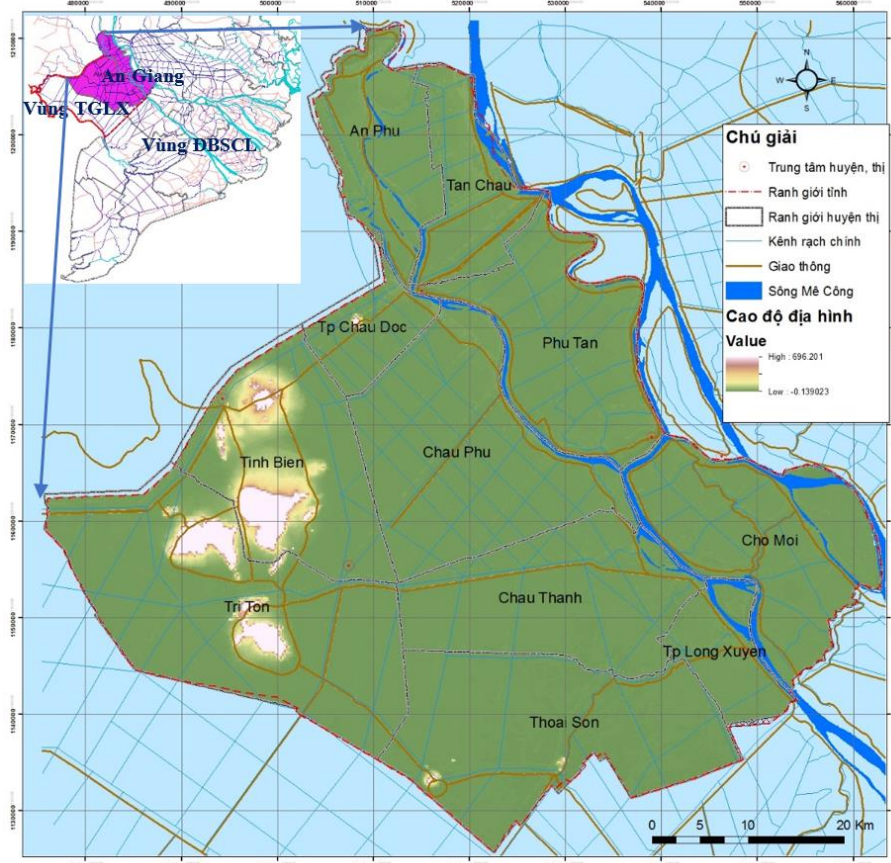
**Tóm tắt:** An Giang đứng thứ hai trong các tỉnh vùng đồng bằng sông Cửu Long về sản lượng lương thực và nuôi cá nước ngọt, ở năm 2021 An Giang đóng góp 17,03% tổng sản lượng lương thực và 21,82% tổng sản lượng cá nuôi vùng ĐBSCL. Biến đổi khí hậu, nước biển dâng cùng với các gia tăng phát triển nông nghiệp và thủy điện ở thượng nguồn đã làm ảnh hưởng lớn đến dòng chảy về đồng bằng cả mùa lũ và mùa kiệt những năm gần đây. Từ 2003 đến nay, ngoại trừ có lũ lớn ở 2011 còn lại liên tục là các năm lũ nhỏ và rất nhỏ. Hạn hán, thiếu nước và xâm nhập mặn ngày càng gia tăng, đặc biệt ở mùa khô 2015–2016 và 2019–2020. An Giang là tỉnh đầu nguồn được xem là có lợi thế hơn về nguồn nước nên còn ít nghiên cứu chỉ ra các mối đe dọa đến sản xuất cho tỉnh. Thông qua việc sử dụng một số phương pháp tính toán cân bằng nước cho An Giang: ứng dụng của các mô hình mô phỏng lưu vực IQQM để tính nhu cầu nước; ứng dụng mô hình MIKE 11 để tính thủy lực và xâm nhập mặn; tính toán chỉ số khai thác nguồn nước, nghiên cứu đã chỉ ra việc sử dụng nước như hiện nay ở các tháng kiệt ở mức 99,1÷187,6 m<sup>3</sup>/s đã đạt đến trạng thái bằng/vượt mức tới hạn ở ngưỡng khuyến cáo có căng thẳng về nước ở năm trung bình nước hay đến mức khá căng thẳng về nước vào tháng 2 và tháng 3 ở năm kiệt nước. Bài báo đưa ra một số kiến nghị về định hướng và giải pháp để phát triển nông nghiệp bền vững ở tỉnh An Giang.

**Từ khóa:** Cân bằng nước; An Giang; Tứ giác Long Xuyên; Nông nghiệp bền vững; Chỉ số khai thác nước.

### 1. Giới thiệu

An Giang là tỉnh nằm đầu nguồn sông Cửu Long với diện tích tự nhiên 353.667 ha và dân số 1.908.352 người [1], có địa hình tương đối bằng phẳng với hơn 80% diện tích có cao độ mặt đất dưới 1m+MSL, chỉ có dưới 10% diện tích có cao độ 1÷2 m+MSL và 10% diện tích là đồi núi thuộc các huyện Tri Tôn và Tịnh Biên, có độ cao từ 2÷700 m+MSL, An Giang là một trong 2 tỉnh có núi trên đất liền ở Đồng bằng sông Cửu Long (ĐBSCL). Đất nông nghiệp chiếm khoảng 79% diện tích của tỉnh, đất đai khá trù phú, hàng năm được phù sa bồi đắp từ sông Mê Công với nguồn nước ngọt dồi dào và điều kiện khí hậu nóng ẩm rất phù hợp cho phát triển nông nghiệp, là vựa lúa lớn thứ 2 đồng bằng sau Kiên Giang, với tổng sản lượng lương thực năm 2021 [2] đạt được 4.143 nghìn tấn, chiếm 17,03% tổng sản lượng lương thực vùng đồng bằng, là tỉnh đóng góp đáng kể vào việc xuất khẩu gạo cả nước. An Giang đứng thứ 2 về sản lượng cá nuôi, sản lượng cá năm 2021 đạt 505.092 tấn, chiếm 21,82% tổng sản lượng vùng đồng bằng.

Đồng bằng sông Cửu Long nói chung và An Giang nói riêng đã và đang đứng trước những thách thức lớn do biến đổi khí hậu và phát triển nông nghiệp và thủy điện trên lưu vực đã làm thay đổi dòng chảy về đồng bằng cả mùa lũ và mùa kiệt, liên tục các năm lũ nhỏ từ sau 2003 đến nay, ngoại trừ năm lũ lớn 2011, hạn và xâm nhập mặn ngày càng gia tăng trên đồng bằng, hạn mặn lịch sử trở lên gần hơn như ở 2015–2016 và 2019–2020 gây thiệt hại đáng kể cho sản xuất trên đồng bằng. Riêng ở năm hạn mặn lịch sử 2016, có đến 9 trên 13 tỉnh thành vùng đồng bằng công bố thiên tai hạn mặn, tổng thiệt hại ở năm 2016 lên đến 7.900 tỷ đồng [3], An Giang may mắn hơn chưa đến mức phải công bố thiên tai ở năm này. Mặc dù vậy, đã có những trường hợp mực nước trên các kênh rạch xuống thấp kèm theo nắng nóng, gây khó khăn công tác bơm tưới, ảnh hưởng đến sản xuất nông nghiệp ở các huyện vùng núi Tri Tôn, Tịnh Biên và ở các vùng đất gò cao thuộc vùng đồng bằng ở các huyện An Phú, Phú Tân, Châu Đốc, Tân Châu. Đã có những hiện tượng cá chết hàng loạt lên đến hàng trăm tấn ở An Giang năm 2016 [4] và 2022 [5], đây được xem là những vấn đề đáng lo ngại nguồn nước cho phát triển bền vững ở An Giang. Để chủ động ứng phó với những tác động bất lợi, một mặt tỉnh đã thực hiện nhiều biện pháp, như chuyển đổi cơ cấu cây trồng, phát triển thủy lợi, quy hoạch thủy lợi và sử dụng đất. Tuy nhiên về lâu dài để đảm bảo cho sản xuất bền vững rất cần có các nghiên cứu đánh giá sâu về cân bằng nước cho An Giang để chỉ ra các nguy cơ nếu có.



Hình 1. Bản đồ vị trí địa lý và địa hình tỉnh An Giang

Những nghiên cứu gần đây [6–16] đã chỉ ra các mối đe dọa đến sự đảm bảo về nguồn nước cho sản xuất ổn định trên đồng bằng: dòng chảy mùa kiệt thay đổi trái qui luật tự nhiên, hạn mặn đến sớm hơn đến cả tháng [11, 14] làm ảnh đến sản xuất ổn định trên đồng, làm gia tăng xâm nhập mặn; tần suất trở lại của các năm hạn mặn lịch sử gần hơn; xu thế lũ giảm, phù sa giảm và gia tăng xói lở các bờ sông kênh rạch [12, 14–16]. Tuy nhiên, các nghiên cứu thường đưa ra mối lo ngại chung cho đồng bằng và rõ rệt hơn cho các tỉnh, địa phương ven biển bị ảnh hưởng nặng nề do các tác động của thượng nguồn và nước biển dâng. Có thể do



vị trí địa lý là tỉnh đầu nguồn nên An Giang được coi là có thuận lợi hơn về nguồn nước so với các tỉnh khác trên đồng bằng và như vậy thường ít được quan tâm sâu, nên chưa chỉ ra các mối đe dọa cụ thể hay sự mất cân bằng nước đối với tỉnh.

Là tỉnh có đóng góp ở vị trí thứ nhất, thứ nhì về các sản lượng rau màu, lúa gạo và thủy sản so với các tỉnh vùng đồng bằng, do đó đảm bảo an toàn cho sản xuất bền vững ở An Giang là rất quan trọng, chính vì vậy nghiên cứu này sử dụng nhiều phương pháp tính toán cân bằng nước cho An Giang, với ứng dụng của các mô hình mô phỏng lưu vực IQQM để tính nhu cầu nước và ứng dụng mô hình MIKE 11 để tính thủy lực và xâm nhập mặn, kết hợp với tính toán chỉ số khai thác nguồn nước (*Water Exploitation Index – WEI*) được Cơ quan môi trường Châu Âu sử dụng để chỉ ra được các nguy cơ thiếu nước có thể làm ảnh hưởng đến sự phát triển bền vững trong vùng và từ đó kiến nghị một số định hướng và giải pháp để đảm bảo phát triển nông nghiệp bền vững ở tỉnh An Giang.

## 2. Số liệu và phương pháp nghiên cứu

### 2.1. Số liệu chính phục vụ nghiên cứu

#### 2.1.2. Số liệu về dân số, hiện trạng sản xuất và chăn nuôi

Nghiên cứu đã thu thập, tổng hợp các số liệu về dân số, các hoạt động sản xuất và chăn nuôi, thủy sản và diện tích các cây trồng chính tỉnh An Giang và vùng phụ cận thuộc Tứ Giác Long Xuyên (TGLX). Trong đó diện tích nông nghiệp được xem là quan trọng nhất bởi nó sử dụng nước nhiều nhất. Nghiên cứu lấy năm 2020 là năm nền để tính nhu cầu nước ở hiện tại, dân số và diện tích sản xuất được sử dụng ở năm này được cập nhật theo niên giám thống kê 2020 [17].

**Bảng 1.** Tổng hợp diện tích sản xuất một số loại cây trồng chính tỉnh An Giang năm 2020 (Đơn vị: ha).

Huyện /Thị trấn	Diện tích Lúa			Tổng DT Lúa	Cây hàng năm	Cây lâu năm
	Đông xuân	Hè Thu	Thu Đông			
Long Xuyên	5.165	4.902	4.954,6	15.021,6	785	1.015,9
Châu Đốc	6.741	6.566	4.761,1	18.068,1	429,3	775,3
An Phú	15.533	13.857	4.658,9	34.048,9	6.150	1.400,1
Tân Châu	10.773	10.699	5.648,6	27.120,6	6.380	1.620,8
Phú Tân	24.855	23.855	9.354,8	58.064,8	4601,1	870,9
Châu Phú	33.945	31.529	25.797,4	91.271,4	5.723,5	1.200,3
Tịnh Biên	16.938	16.974	29.173,8	63.085,8	5.307	2.474,1
Tri Tôn	40.822	42.479	37.052,1	120.353,1	2041,4	1.229,4
Châu Thành	26.055	28.056	14.277,7	68.388,7	1979,2	1.136,3
Chợ Mới	14.119	12.760	12.057,1	38.936,1	16.240	6.330,3
Thoại Sơn	38.727	38.586	15.327,9	92.640,9	663,5	1.146,6
Tổng	233.673	230.263	163.064	627.000	50.300	19.200

#### 2.1.2 Số liệu về khí tượng và thủy văn

Để tính toán nhu cầu nước, nghiên cứu đã thu thập và cập nhật các số liệu khí tượng, mưa và bốc hơi từ 1985 đến 2020 với các trạm KTTV thuộc An Giang và vùng TGLX: Long Xuyên, Châu Đốc, Chợ Mới, Tân Châu, Rạch Giá và Hà Tiên; các số liệu thủy văn là lưu lượng dòng chảy sông Mê Công về ĐBSCL qua Tân Châu và Châu Đốc từ 1980 đến 2020.

Có 95% nguồn nước đến vùng ĐBSCL là nguồn nước đến từ lưu vực sông Mê Công (SMC) nằm ngoài lãnh thổ Việt Nam, chỉ có 5% lượng nước đóng góp từ mưa nội vùng trên đồng bằng. Chính vì vậy nguồn nước đến từ SMC là rất quan trọng. Những năm gần đây do tác động của thủy điện ở thượng nguồn làm dòng chảy cả mùa lũ và mùa kiệt đã thay đổi đáng kể, chuỗi số liệu lịch sử về thủy văn trước năm 2010 được xem như không còn phản ánh đúng thực tế đến hiện tại và tương lai [12–14]. Chính vì vậy, nghiên cứu sử dụng chuỗi

số liệu thực đo từ 2011 đến nay làm cơ sở để đánh giá cân bằng nước cho An Giang nói riêng và vùng TGLX nói chung, nơi có ảnh hưởng trực tiếp lẫn nhau. Tổng hợp lưu lượng về ĐBSCL gộp chung và qua riêng ở Châu Đốc được đưa ra ở Bảng 2 và Bảng 3 dưới đây.

**Bảng 21.** Tổng Lưu lượng dòng chảy sông Mê Công về ĐBSCL (tổng ở Tân Châu và Châu Đốc) (Đơn vị: m<sup>3</sup>/s).

Tháng\Năm	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
1	6.387	9.773	5.795	9.990	6.803	4.297	8.336	8.241	7.304	3.993
2	3.890	6.372	3.708	6.325	4.532	3.435	5.236	5.576	4.716	2.489
3	2.971	4.585	3.088	4.884	3.430	2.681	4.820	4.056	5.247	2.265
4	3.147	3.607	2.799	4.607	4.243	3.511	5.285	4.494	5.152	2.663
5	4.601	4.309	4.406	4.899	4.267	3.396	7.129	6.292	5.246	3.157
6	9.640	9.292	7.271	8.590	5.301	5.741	12.915	11.272	7.224	
7	18.622	14.616	13.736	18.774	9.773	14.103	18.730	19.124	8.036	
8	25.854	20.004	23.652	27.131	19.065	16.664	24.994	29.774	17.200	
9	28.913	24.450	25.731	24.841	20.313	21.406	24.940	31.553	28.424	
10	31.023	22.159	28.678	22.396	18.893	23.266	24.263	24.804	19.185	
11	23.843	14.966	22.063	16.521	11.585	18.740	19.564	16.030	10.110	
12	15.737	9.789	15.165	10.888	6.758	13.275	13.669	9.972	6.167	
<b>Trung bình</b>	14.552	11.993	13.008	13.321	9.580	10.876	14.157	14.266	10.334	

**Bảng 3.** Lưu lượng dòng chảy bình quân tháng qua Châu Đốc (Đơn vị: m<sup>3</sup>/s).

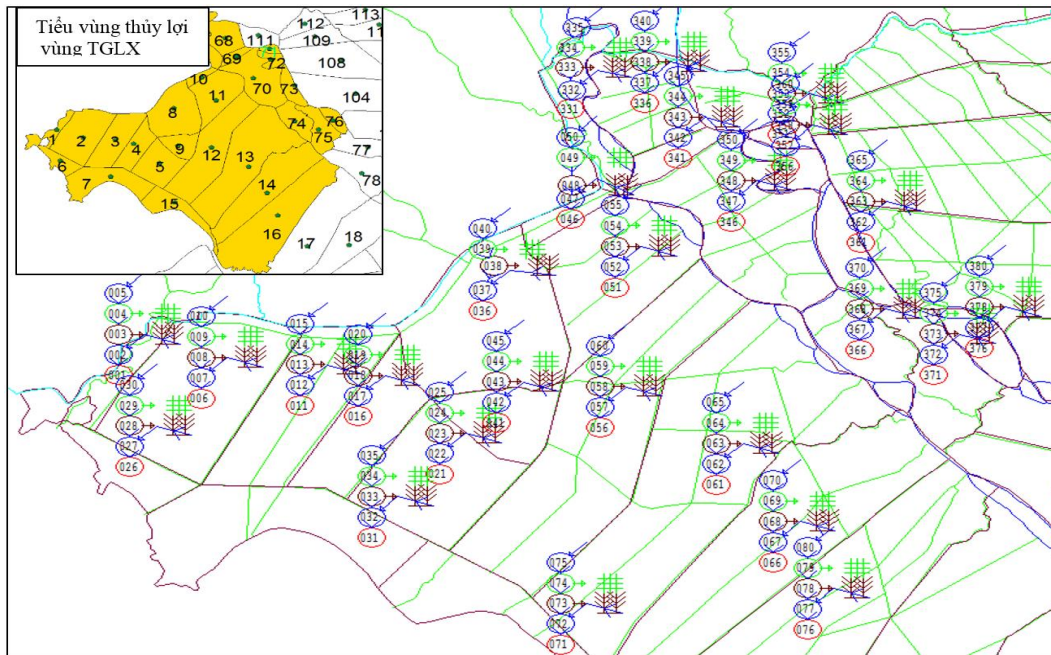
Tháng\Năm	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
1	1.016	1.811	923	1.621	1.031	697	1.260	1.164	967	512
2	599	1.056	577	951	641	520	761	750	616	353
3	468	664	459	712	495	397	638	497	626	317
4	503	564	446	684	605	474	714	572	610	357
5	705	662	668	736	597	478	964	782	637	407
6	1.457	1.410	1.039	1.340	771	824	1.928	1.532	906	
7	3.352	2.423	2.197	3.342	1.514	2.174	3.152	3.029	1.012	
8	5.466	3.735	4.605	5.729	3.453	2.880	5.103	6.228	2.244	
9	6.937	5.181	5.497	5.350	3.924	4.076	5.219	6.905	5.330	
10	7.880	4.836	6.695	5.045	3.483	4.720	4.967	4.916	3.324	
11	5.629	2.746	4.809	3.141	2.061	3.740	3.416	2.695	1.490	
12	3.182	1.581	2.752	1.806	1.105	2.238	2.142	1.437	816	
<b>Trung bình</b>	3.100	2.222	2.555	2.538	1.640	1.935	2.522	2.542	1.548	

## 2.2. Phương pháp nghiên cứu

### 2.2.1 Phương pháp ứng dụng mô hình mô phỏng lưu vực IQQM để tính nhu cầu nước

An Giang là tỉnh đầu nguồn khu vực ĐBSCL lại có mối liên hệ chặt chẽ với các tỉnh và vùng phụ cận thuộc khu vực TGLX vì vậy việc tính toán cân bằng nước tỉnh An Giang cần xem xét trong tổng thể nguồn nước đến và nước dùng ở vùng TGLX nói chung và An Giang nói riêng. Nghiên cứu ứng dụng mô hình IQQM để tính nhu cầu nước vùng TGLX và tỉnh An Giang, gọi là mô hình IQQM-TGLX. Diện tích sản xuất và thời vụ sản xuất theo các vụ mùa được cập nhật tính toán theo các tiểu vùng thủy lợi ứng với điều kiện sản xuất ở năm 2020.

IQQM được phát triển bởi NSW Úc [18], là mô hình mô phỏng lưu vực, tính toán cân bằng nước và sử dụng nước. Mô hình được ứng dụng để mô phỏng tác động của các kịch bản phát triển trên lưu vực như: gia tăng phát triển nông nghiệp, chuyên nước lưu vực, phát triển thủy điện, nông nghiệp, tổ hợp kịch bản phát triển nông nghiệp và thủy điện, vận hành thủy điện. IQQM được ứng dụng ở lưu vực SMC từ năm 2000 đến nay để tính toán ảnh hưởng của các kịch bản phát triển trên lưu vực SMC đến dòng chảy lưu vực xuống hạ lưu. Trong nghiên cứu này IQQM được ứng dụng để tính nhu cầu nước ứng với điều kiện sản xuất ở 2020 và khí tượng thủy văn thay đổi từ 1985 đến 2020.



Hình 2. Mô hình IQQM-TGLX tính nhu cầu nước vùng An Giang và vùng Tứ Giác Long Xuyên.

2.2.2. Phương pháp ứng dụng mô hình thủy lực và xâm nhập mặn để tính cân bằng nước, khả năng đảm bảo nguồn nước

Để đánh giá khả năng đảm bảo nước cho An Giang, nghiên cứu kế thừa mô hình MIKE11 để tính thủy lực và xâm nhập mặn ở vùng ĐBSCL ở Viện Khoa học thủy lợi miền Nam, gọi là MIKE11-ĐB. Minh họa mô hình MIKE11-ĐB được thể hiện trên Hình 3. Các biên chính cho mô hình bao gồm biên lưu lượng tại Kratie, khu vực hồ Tonle sap, Sài Gòn-Đồng Nai, các biên mực nước là triều biển và biên tưới là kết quả lấy từ mô hình IQQM.

Mô hình đã xét đến hầu hết các yếu tố ảnh hưởng có thể do lấy nước, vận hành hệ thống công trình, các thực tế đê bao, bờ bao, cống ngăn mặn và vận hành thực tế hệ thống công trình. Mô hình được hiệu chỉnh, kiểm định đảm bảo độ tin cậy. Mô hình đã ứng dụng trong nhiều nghiên cứu liên quan, dòng chảy lũ, dòng chảy kiệt và xâm nhập mặn và phục vụ dự báo mặn [11-14], [19]. Mô hình có khả năng mô phỏng tin cậy động thái mặn ĐBSCL và có thể sử dụng để xem xét, đánh giá các phương án thay đổi hạ tầng và điều kiện khí tượng, thủy văn đến lũ và xâm nhập mặn trên đồng bằng, cũng như mô phỏng tác động của các kịch bản phát triển thượng lưu từ kết quả đánh giá thay đổi về lưu lượng về Kratie. Trong nghiên cứu này mô hình được mô phỏng kiểm tra đánh giá khả năng nguồn nước về các vùng trên hệ thống sông kênh rạch ở An Giang ở hiện tại và khả năng ảnh hưởng xâm nhập mặn đến An Giang ứng với tần xuất trở lại P85% đến 2030 và 2050 có xét đến ảnh hưởng của biến đổi khí hậu, nước biển dâng và đất lún. Tóm tắt các điều kiện đầu vào ở mô hình theo các kịch bản tính toán được đưa ra ở Bảng 4 và Bảng 5.

Bảng 4. Tổng hợp các thông số phát triển trên lưu vực Mê Công theo các kịch bản đến 2030-2050.

Kịch bản	Phát triển nông nghiệp (triệu ha)	Hồ chứa, hồ thủy điện (Whi - tỷ m <sup>3</sup> )	Nước biển dâng	W_kratie kiệt (tỷ m <sup>3</sup> )	Hạ thấp lòng dẫn	Ghi chú
Qp85_2020 (KB nền)	5,8	65	Hiện nay	64,7	Địa hình hiện nay	
Qp85_2030	6,32	72,7	14	67,1	Sông Tiền – 1m, Sông Hậu – 0,7m	Giả thiết lún không đều
Qp85_2050	6,91	104,3	28	78,4	Sông Tiền – 2,4m, Sông Hậu – 1,8m	Giả thiết lún không đều



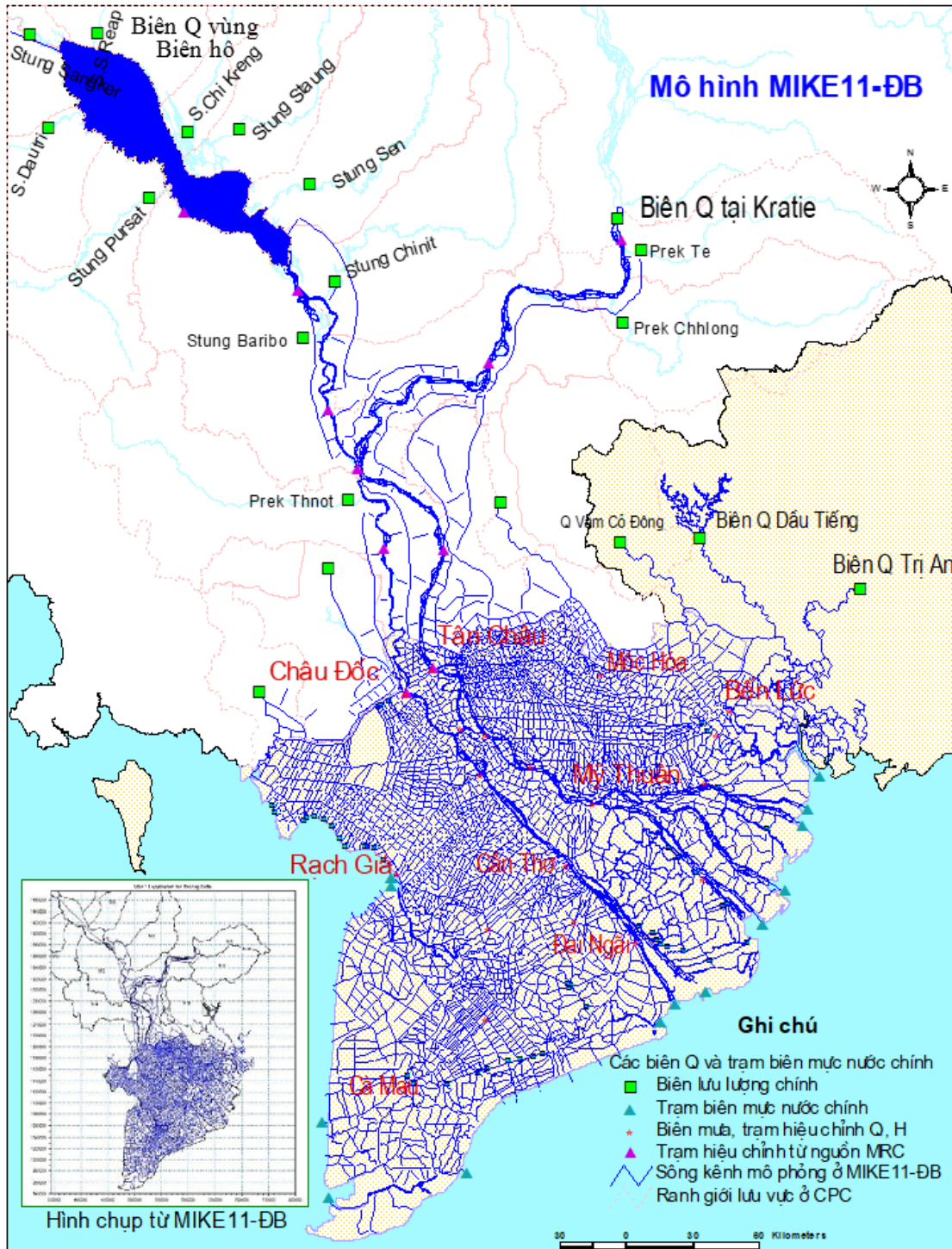
**Ghi chú:**

- Các số liệu về phát triển nông nghiệp và thủy điện được tổng hợp từ nguồn tài liệu của MRC qua các nghiên cứu [11–14, 19–22], nước biển dâng theo kịch bản quốc gia ở 2020 [7] và hạ thấp lòng dẫn theo tham khảo [23].

- Qp85–2020: là lưu lượng ứng với tần suất 85% ở điều kiện như hiện nay đến năm 2020, đã bị ảnh hưởng của các hồ chứa trên lưu vực với tổng dung tích 65 tỷ m<sup>3</sup>.

- Qp85–2030: là lưu lượng ứng với tần suất 85% ở điều kiện qui hoạch đến 2030, đã bị ảnh hưởng của các hồ chứa trên lưu vực với tổng dung tích 72,7 tỷ m<sup>3</sup>.

- Qp85–2050: là lưu lượng ứng với tần suất 85% ở điều kiện qui hoạch đến 2050, đã bị ảnh hưởng của các hồ chứa trên lưu vực với tổng dung tích 104,3 tỷ m<sup>3</sup>.



**Hình 3.** Mô hình MIKE11-ĐB tính thủy lực và xâm nhập mặn ở ĐBSCL.

Lưu lượng bình quân các tháng mùa kiệt tại Kratie theo các kịch bản tính toán ở hiện tại và tương lai đến 2030 và 2050 được đưa ra ở Bảng 5.

**Bảng 5.** Lưu lượng tại Kratie ứng với P85% ở hiện tại 2020 và theo các kịch bản đến năm 2030 và 2050.

Tháng	Qp85-2020	Qp85_2030	Qp85_2050
12	4,720	4,896	5,168
1	3,619	3,754	4,284
2	2,924	3,033	3,492
3	2,940	3,050	3,688
4	3,619	3,754	3,809
5	3,635	3,771	4,216

### 2.2.3. Phương pháp so sánh đối chứng dựa vào chỉ số khai thác nguồn nước

Song song với phương pháp tính toán thủy lực và xâm nhập mặn để đánh giá khả năng đảm bảo nước theo khả năng lấy nước và xâm nhập mặn nghiên cứu còn tính toán cân bằng nước dựa trên chỉ số khai thác nguồn nước WEI (*The Water Exploitation Index*) được Cơ quan môi trường Châu Âu sử dụng [24]. Chỉ số khai thác nguồn nước được tính bằng tỷ lệ giữa lượng nước dùng so với tiềm năng nguồn nước khả dụng. Theo khuyến cáo của Cơ quan môi trường Châu Âu, chỉ số khai thác nguồn nước được đánh giá như sau: <10%: không căng thẳng về nước; 10–20%: dưới mức căng thẳng về nước; 20–40%: căng thẳng về nước; ≥ 40%: khá căng thẳng về nước.

An Giang là tỉnh đầu nguồn khu vực ĐBSCL lại có mối liên hệ chặt chẽ với các tỉnh và vùng phụ cận thuộc khu vực TGLX vì cùng sử dụng chung nguồn nước đến trực tiếp từ sông Hậu. Vì vậy cân bằng nước tỉnh An Giang có mối liên hệ chặt chẽ với nguồn nước về ĐBSCL nói chung và đặc biệt là nguồn nước về qua Châu Đốc. Nghiên cứu tính toán chỉ số khai thác nguồn nước tỉnh An Giang và vùng TGLX thông qua nhu cầu nước của tỉnh và vùng TGLX so với nguồn nước đến qua Châu Đốc và tổng nguồn nước về ĐBSCL ứng với các điều kiện năm nhiều nước, trung bình nước và kiệt nước được xác định từ chuỗi số liệu thực đo, chuỗi số liệu lưu lượng về đồng bằng từ 2011 đến 2020 được sử dụng. Lưu lượng tháng kiệt nhất giai đoạn 2011–2020 còn lớn hơn nhiều so với lưu lượng ứng với tần suất 85% giai đoạn trước 2010. Do chuỗi số liệu mới còn ngắn (2011–2020), nghiên cứu này không phân cấp năm nhiều, trung bình hay ít nước theo tính tần suất lưu lượng mà phân cấp theo số liệu thực tế, cụ thể: dòng chảy năm nhiều nước là năm có các tháng nhiều nước nhất trong chuỗi 2011–2020; năm trung bình nước là năm có lưu lượng các tháng bằng trung bình lưu lượng của các tháng tương ứng; và năm kiệt nước là năm có lưu lượng bằng các tháng kiệt nhất tương ứng trong giai đoạn 2011–2020.

## 3. Kết quả tính cân bằng nước và một số kiến nghị định hướng và giải pháp phục vụ phát triển nông nghiệp bền vững vùng An Giang

### 3.1. Nhu cầu sử dụng nước ở An Giang và vùng TGLX.

Tính nhu cầu nước với điều kiện phát triển sản xuất năm 2020 cho từng tiểu vùng thủy lợi ứng với điều kiện khí tượng thủy văn khác nhau từ 1985 đến 2020. Tổng hợp kết quả phân tích tính toán nhu cầu nước tháng lớn nhất, trung bình và ứng với tần suất P85% ứng với giai đoạn 1985–2020 cho An Giang và vùng TGLX được trình bày trong Bảng 6.

**Bảng 6.** Nhu cầu nước (m<sup>3</sup>/s) ở An Giang và vùng TGLX ở điều kiện sản xuất năm 2020.

Tháng	Nhu cầu nước tỉnh An Giang (m <sup>3</sup> /s)			Nhu cầu nước vùng TGLX (m <sup>3</sup> /s)		
	Tháng Max	Tháng TB	P85%	Tháng Max	Tháng TB	P85%
1	179,2	157,3	170,5	303,8	266,6	288,9



Tháng	Nhu cầu nước tỉnh An Giang (m <sup>3</sup> /s)			Nhu cầu nước vùng TGLX (m <sup>3</sup> /s)		
	Tháng Max	Tháng TB	P85%	Tháng Max	Tháng TB	P85%
2	189,1	175,2	187,6	320,6	297,0	317,9
3	171,2	132,9	154,4	290,2	225,2	261,6
4	121,5	77,5	99,1	205,9	131,3	167,9
5	179,2	98,6	142,1	303,6	167,1	240,9
6	122,4	43,7	67,0	207,4	74,0	113,5
7	89,3	24,6	50,2	151,4	41,8	85,1
8	15,5	6,5	15,0	25,0	7,9	18,3
9	10,3	4,1	8,0	16,7	5,0	9,7
10	8,9	2,3	3,2	14,4	2,8	3,9
11	11,1	4,1	6,8	17,9	5,0	8,3
12	60,4	46,3	58,3	86,4	66,1	83,3
<b>TB tháng</b>	<b>96,5</b>	<b>64,4</b>	<b>80,2</b>	<b>161,9</b>	<b>107,5</b>	<b>133,3</b>

Kết quả tính toán cho thấy nhu cầu nước thay đổi khá lớn theo các năm phụ thuộc vào điều kiện khí tượng, năm mưa nhiều nhu cầu nước giảm và năm mưa ít nhu cầu nước tăng. Nhu cầu nước bình quân tháng lớn nhất, năm trung bình và ứng với tần suất 85% ở An Giang lần lượt là 96,5 m<sup>3</sup>/s 64,4 m<sup>3</sup>/s và 80,2 m<sup>3</sup>/s và nhu cầu nước vùng TGLX là 161,9 m<sup>3</sup>/s 107,5 m<sup>3</sup>/s và 133,3 m<sup>3</sup>/s. Nhu cầu nước tập trung cao vào mùa khô, nhu cầu nước tháng cao nhất ở tỉnh An Giang và vùng TGLX ứng với P85% lần lượt là 187,6 m<sup>3</sup>/s và 317,9 m<sup>3</sup>/s. Nhu cầu nước mùa mưa là không đáng kể, chủ yếu nước cho sinh hoạt và dân sinh.

3.2. *Tính cân bằng nước theo phân tích thủy văn và tính toán thủy lực.*

Kết quả tính toán thủy lực ứng với các kịch bản với tần suất P85% cho thấy tiềm năng lưu lượng bình quân theo các nhánh sông kênh trục từ Sông Hậu vào vùng TGLX là lớn hơn nhiều so với nhu cầu nước vùng TGLX nói chung và tỉnh An Giang nói riêng, tổng lưu lượng bình quân chảy vào qua 9 nhánh sông kênh rạch chính từ Vĩnh Tế đến Cái Sắn ở tháng kiệt cũng đạt hơn 500 m<sup>3</sup>/s là lớn hơn nhiều so với nhu cầu nước trong vùng. Mặt khác khi lưu lượng bơm hút tưới tăng thì tổng lượng nước có thể chảy vào sẽ càng lớn hơn. Vì vậy có thể xem như An Giang không thiếu về tổng lượng nước như các nghiên cứu đã có chỉ ra.

Nghiên cứu xem xét đến khả năng ảnh hưởng đến nguồn nước qua tính toán dự báo xâm nhập mặn ứng với kịch bản nền với Qp85\_2020 và ứng với điều kiện 2030 (Qp85\_2030) và 2050 (Qp85\_2050) có xét đến ảnh hưởng của phát triển thượng lưu và hạ thấp lòng dẫn như tóm tắt đưa ra ở Bảng 4, lưu lượng tại Kratie theo các kịch bản với tần suất P85% được đưa ra ở Bảng 5. Kết quả phân tích chiều sâu xâm nhập mặn các cửa sông chính được đưa ra ở Bảng 7, theo đó, trên nhánh sông Hậu mặn 1g/l có thể vào sâu 77,4 km ở điều kiện hiện tại, 79,2 km ở 2030 và 81,1km ở 2050. Như vậy có thể thấy An Giang khá an toàn với nhiễm mặn. Chưa thấy mối đe dọa nào đến xâm nhập mặn ngoại trừ việc lấy mặn nuôi thủy sản ở Kiên Giang thiếu kiểm soát có thể gây nhiễm mặn cục bộ sang An Giang.

**Bảng 7.** Chiều sâu xâm nhập mặn theo các cửa sông chính vùng ĐBSCL ở điều kiện hiện tại và đến năm 2030, năm 2050 có xét đến hạ thấp lòng dẫn (Đơn vị: km).

Tên nhánh	Mặn ứng với kịch bản Nền 2020 – P85%_2020			Mặn ứng với kịch bản 2030 – P85%_2030			Mặn ứng với kịch bản 2050 – P85%_2050		
	4g/l	2g/l	1g/l	4g/l	2g/l	1g/l	4g/l	2g/l	1g/l
Sông Tiền	52	59,5	74,7	55,5	79	83	62,5	81	87
Hàm Luông	65,9	72	75,4	68,2	TT	TT	68,8	TT	TT
Cổ chiên	51,6	57,4	71	53,8	64	72	56,5	66,6	73
Sông Hậu	55,8	65,7	77,4	57,8	68,2	79,2	61,4	70,6	81,1
Vàm cỏ	94,2	108,3	119,1	100,9	120,7	124,8	103,6	124,1	129,2

\*Ghi chú: TT: là toàn tuyến, mặn xâm nhập cả tuyến sông Hàm Luông.

Ngược lại với xu thế gia tăng dòng chảy bình quân mùa kiệt, do tác động điều tiết của các thủy điện ở thượng nguồn, nghiên cứu liên quan [14] đã chỉ ra mức độ lũ giảm do ảnh hưởng của các thủy điện ở thượng nguồn tại Tân Châu ở Bảng 8.

**Bảng 8.** Mức độ giảm mực nước đỉnh lũ tại Tân Châu theo các kịch bản (Đơn vị: m).

Năm & Kịch bản	Lũ lớn 2000	Năm tương ứng	Lũ TB 1999	Năm tương ứng	Lũ nhỏ 1998	Năm tương ứng
BL00	5,06	2000	4,18	1999	2,81	1998
C20	4,68	1991	3,80	2008	2,43	~ MN Max bình quân ở Tháng 12
KH40	4,46	1994	3,58	1992	2,21	~ MNMax BQ Th.12
TLQH	4,34	2005	3,46	2017	2,09	> MNMax BQ Th.6
TLQH+RCP6.0	4,72	2001	3,84	2014	2,47	2015
C20+RCP4.5	4,87	1996	3,99	2003	2,62	~ MNMax BQ Th.7

Ghi chú: BL00: thủy điện trên lưu vực ở điều kiện năm 2000; C20: thủy điện trên lưu vực ở điều kiện 2020; KH40: thủy điện trên lưu vực kế hoạch đến 2040; TLQH: thủy điện trên lưu vực ở tương lai qui hoạch, dự kiến 2060; TLQH+RCP6.0: thủy điện trên lưu vực ở tương lai qui hoạch kết hợp biến đổi khí hậu theo kịch bản RCP 6.0; C20+RCP4.5: thủy điện trên lưu vực ở tương lai qui hoạch kết hợp biến đổi khí hậu theo kịch bản RCP 4.5.

Kết quả cho thấy, giả thiết lập lại trận lũ lớn lịch sử như đã xảy ra ở năm 2000 thì ảnh hưởng do các thủy điện như kịch bản C20 và KH40 mực nước lớn nhất tại Tân Châu chỉ còn khoảng 4,68m và 4,46m. Giả thiết lập lại trận lũ trung bình như đã xảy ra ở năm 1999 thì ảnh hưởng do các thủy điện như kịch bản C20 và KH40 mực nước lớn nhất tại Tân Châu chỉ còn khoảng 3,8 m và 3,58m. Tương tự, lập lại trận lũ nhỏ như đã xảy ra ở năm 1998 thì ảnh hưởng do các thủy điện như kịch bản C20 và KH40 mực nước lớn nhất tại Tân Châu chỉ còn khoảng 2,43m và 2,21m, khi đó xem như không còn lũ vì mực nước lớn nhất trong năm chỉ tương đương mới mực nước lớn nhất bình quân ở tháng 12.

### 3.3. Đánh giá cân bằng nước ở An Giang và vùng TGLX qua chỉ số khai thác nguồn nước.

Đánh giá cân bằng nước qua chỉ số khai thác nguồn nước ở An Giang và vùng TGLX. Chỉ số khai thác nguồn nước được tính bằng tỷ số giữa nhu cầu nước (Bảng 6) với mức đảm bảo tần suất P85% so với điều kiện nguồn nước ở các năm nhiều nước, năm trung bình nước và năm kiệt nước, kết quả tính toán được đưa ra ở các bảng 9, 10 và 11. So sánh đánh giá cho 3 trường hợp: i) nhu cầu nước cả vùng TGLX so với tổng nguồn nước về ĐBSCL ở cột 6; ii) nhu cầu nước cả vùng TGLX so với nguồn nước về qua Châu Đốc ở cột 7; và iii) nhu cầu nước tỉnh An Giang so với nguồn nước về qua Châu Đốc ở cột 8.

Kết quả tính toán cho thấy, ứng với điều kiện năm nhiều nước (Bảng 9), sử dụng nước cả vùng TGLX được xem là còn rất an toàn so với tiềm năng nguồn nước về đồng bằng khi mà nhu cầu nước tháng lớn nhất ở mức 5% so với tiềm năng nguồn nước. So sánh độc lập với nguồn nước đến từ sông Hậu qua Châu Đốc thì các tháng sử dụng nước lớn nhất là Tháng 2 và Tháng 3 chỉ số sử dụng nước đã đạt tới 30,1% đến 36,7%, vượt quá 30% đối với vùng TGLX được xem là ở mức có căng thẳng về nước, tuy nhiên so với sử dụng nước ở An Giang thì tỷ lệ dùng nước này còn ở ngưỡng an toàn, tháng lớn nhất mới đạt 21,7%.

**Bảng 9.** So sánh nhu cầu nước ở điều kiện năm 2020 vùng TGLX và tỉnh An Giang so với tiềm năng nguồn nước về ĐBSCL và qua sông Hậu tại Châu Đốc ứng với năm nhiều nước.

Tháng	Lưu lượng về ĐBSCL năm nhiều nước (m <sup>3</sup> /s)	Q về qua Châu Đốc năm nhiều nước (m <sup>3</sup> /s)	NCN- TGLX-20 (m <sup>3</sup> /s)	NCN_ AG- 20 (m <sup>3</sup> /s)	% NCN TGLX so với nguồn về ĐBSCL	% NCN TGLX so với nguồn Châu Đốc	% NCN AG so với nguồn Châu Đốc
1	9.990	1.811	288,9	170,5	2,9	16,0	9,4
2	6.372	1.056	317,9	187,6	5,0	30,1	17,8

Tháng	Lưu lượng về ĐBSCL năm nhiều nước (m <sup>3</sup> /s)	Q về qua Châu Đốc năm nhiều nước (m <sup>3</sup> /s)	NCN–TGLX–20 (m <sup>3</sup> /s)	NCN_ AG–20 (m <sup>3</sup> /s)	% NCN TGLX so với nguồn về ĐBSCL	% NCN TGLX so với nguồn Châu Đốc	% NCN AG so với nguồn Châu Đốc
3	5.247	712	261,6	154,4	5,0	36,7	21,7
4	5.285	714	167,9	99,1	3,2	23,5	13,9
5	7.129	964	240,9	142,1	3,4	25,0	14,7
6	12.915	1.928	113,5	67,0	0,9	5,9	3,5
7	19.124	3.352	85,1	50,2	0,4	2,5	1,5
8	29.774	6.228	18,3	15,0	0,1	0,3	0,2
9	31.553	6.937	9,7	8,0	0,0	0,1	0,1
10	31.023	7.880	3,9	3,2	0,0	0,0	0,0
11	23.843	5.629	8,3	6,8	0,0	0,1	0,1
12	15.737	3.182	83,3	58,3	0,5	2,6	1,8
<b>Trung bình</b>	<b>14.552</b>	<b>3.100</b>	<b>133,3</b>	<b>80,2</b>	<b>0,9</b>	<b>4,3</b>	<b>2,6</b>

Ứng với điều kiện năm trung bình nước (Bảng 10), sử dụng nước cả vùng TGLX chỉ nhỏ hơn 6,9% so với tiềm năng nguồn nước về đồng bằng, được xem là vẫn rất an toàn. So sánh độc lập với nguồn nước đến từ sông Hậu qua Châu Đốc thì các tháng mùa khô từ tháng 1 đến tháng 5 chỉ số sử dụng nước dao động trong khoảng từ 26,3% đến 49,6%, được xem là mất an toàn, nguy cơ cao với vùng TGLX. Sử dụng nước riêng ở An Giang thì đã đạt đến ngưỡng khuyến cáo có căng thẳng về nước, chỉ số sử dụng nước từ 27,5% đến 29,3% nguồn nước ở các tháng 2 và 3.

**Bảng 10.** So sánh nhu cầu nước ở điều kiện năm 2020 vùng TGLX và tỉnh An Giang so với tiềm năng nguồn nước về ĐBSCL và qua sông Hậu tại Châu Đốc ứng với năm trung bình nước.

Tháng	Lưu lượng về ĐBSCL năm trung bình nước (m <sup>3</sup> /s)	Q về qua Châu Đốc năm TB nước (m <sup>3</sup> /s)	NCN–TGLX–20 (m <sup>3</sup> /s)	NCN_ AG–20 (m <sup>3</sup> /s)	% NCN TGLX so với nguồn về ĐBSCL	% NCN TGLX so với nguồn Châu Đốc	% NCN AG so với nguồn Châu Đốc
1	7.092	1.100	288,9	170,5	4,1	26,3	15,5
2	4.628	682	317,9	187,6	6,9	46,6	27,5
3	3.803	527	261,6	154,4	6,9	49,6	29,3
4	3.951	553	167,9	99,1	4,3	30,4	17,9
5	4.770	664	240,9	142,1	5,1	36,3	21,4
6	8.583	1.245	113,5	67,0	1,3	9,1	5,4
7	15.057	2.466	85,1	50,2	0,6	3,5	2,0
8	22.704	4.382	18,3	15,0	0,1	0,4	0,3
9	25.619	5.380	9,7	8,0	0,0	0,2	0,1
10	23.852	5.096	3,9	3,2	0,0	0,1	0,1
11	17.047	3.303	8,3	6,8	0,0	0,2	0,2
12	11.269	1.895	83,3	58,3	0,7	4,4	3,1
<b>Trung bình</b>	<b>11.500</b>	<b>2.099</b>	<b>133,3</b>	<b>80,2</b>	<b>1,2</b>	<b>6,3</b>	<b>3,8</b>

Ứng với điều kiện năm kiệt nước (Bảng 11), sử dụng nước cả vùng TGLX chỉ nhỏ hơn 12,8% so với tiềm năng nguồn nước về đồng bằng được xem là vẫn rất an toàn. So sánh độc lập với nguồn nước về Sông Hậu qua Châu Đốc thì các tháng mùa khô từ tháng 1 đến tháng 5 chỉ số sử dụng nước dao động trong khoảng từ 47,0% đến 90,0%, được xem là rất mất an toàn, nguy cơ cao với vùng TGLX. So với sử dụng nước ở An Giang dao động trong khoảng 27,7% đến 53,1% được xem là đã vượt ngưỡng an toàn đến mức khá căng thẳng về nước ở tháng 2 và tháng 3.

**Bảng 11.** So sánh nhu cầu nước ở điều kiện năm 2020 vùng TGLX và tỉnh An Giang so với tiềm năng nguồn nước về ĐBSCL và qua sông Hậu tại Châu Đốc ứng với năm kiệt nước.

Tháng	Lưu lượng về ĐBSCL năm kiệt nước (m <sup>3</sup> /s)	Q về qua Châu Đốc năm kiệt nước (m <sup>3</sup> /s)	NCN-TGLX-20 (m <sup>3</sup> /s)	NCN-AG-20 (m <sup>3</sup> /s)	% NCN TGLX so với nguồn về ĐBSCL	% NCN TGLX so với nguồn Châu Đốc	% NCN An Giang so với nguồn Châu Đốc
1	3.993	512	288,9	170,5	7,2	56,4	33,3
2	2.489	353	317,9	187,6	12,8	90,0	53,1
3	2.265	317	261,6	154,4	11,6	82,6	48,7
4	2.663	357	167,9	99,1	6,3	47,0	27,7
5	3.157	407	240,9	142,1	7,6	59,2	35,0
6	5.301	771	113,5	67,0	2,1	14,7	8,7
7	8.036	1.012	85,1	50,2	1,1	8,4	5,0
8	16.664	2.244	18,3	15,0	0,1	0,8	0,7
9	20.313	3.924	9,7	8,0	0,0	0,2	0,2
10	18.893	3.324	3,9	3,2	0,0	0,1	0,1
11	10.110	1.490	8,3	6,8	0,1	0,6	0,5
12	6.167	816	83,3	58,3	1,4	10,2	7,1
<b>Trung bình</b>	<b>2.913</b>	<b>389</b>	<b>133,3</b>	<b>80,2</b>	<b>4,6</b>	<b>34,2</b>	<b>20,6</b>

**3.4. Đề xuất định hướng và giải pháp phát triển nông nghiệp bền vững vùng An Giang**

Qua kết quả nghiên cứu tính toán nhu cầu nước và tính toán cân bằng nước tỉnh An Giang, một số bất cập đã chỉ ra là: sử dụng nước (Bảng 6) mất cân bằng giữa mùa khô và mùa mưa; chỉ số sử dụng nước đã đạt đến trạng thái bằng đèn vượt mức tới hạn vào các tháng mùa kiệt ở ngưỡng khuyến cáo có căng thẳng về nước ở năm trung bình nước (Bảng 10) đến mức khá căng thẳng về nước ở tháng 2 và tháng 3 ở năm kiệt nước (Bảng 11) có thể gây ra các vấn đề ô nhiễm môi trường. Chính vì vậy, định hướng phát triển nông nghiệp bền vững ở An Giang được đưa ra là: đẩy mạnh chuyển đổi cơ cấu sản xuất giảm phụ thuộc vào nguồn nước; khai thác triệt để các thuận lợi về vị trí địa lý, địa hình và thổ nhưỡng cùng các thuận lợi do thay đổi điều kiện tự nhiên như xu thế giảm ngập lũ (Bảng 8); giảm diện tích sản xuất và sử dụng nước ở mùa khô; ưu tiên phát triển cây trồng cạn, chuyển đổi một phần diện tích lúa ở những vùng cao được bảo vệ an toàn bởi đê bao, vừa tăng hiệu quả sản xuất lại giảm sử dụng nước góp phần giảm căng thẳng về nước ở tỉnh trong mùa kiệt lại góp phần chia sẻ những khó khăn về nguồn nước với các tỉnh hạ nguồn bị ảnh hưởng bởi hạn và xâm nhập mặn. Bố trí sản xuất quanh năm ở vùng ngập lũ trước đây, ưu tiên sản xuất cây có khả năng chịu ngập cao mùa mưa lũ (lúa và các cây chịu nước, nuôi thủy sản) vừa khai thác lợi thế lũ giảm, an toàn hơn cho sản xuất, vẫn đảm bảo duy trì vị trí tốp đầu về sản lượng lương thực của An Giang ở vùng ĐBSCL. Một số giải pháp công trình và phi công trình đóng góp cho sự phát triển nông nghiệp bền vững ở An Giang được đưa ra dưới đây:

*Giải pháp phi công trình cho sản xuất nông nghiệp bền vững tỉnh An Giang:*

- Cập nhật các thông tin dự báo lũ và nguồn nước hàng năm để chủ động bố trí sản xuất thích ứng với các thay đổi dòng chảy cho các huyện An Phú, Tri Tôn và Tịnh Biên.
- Rà soát qui hoạch sử dụng đất, chuyển đổi sản xuất vùng ngập lũ theo hướng thích nghi, giảm phụ thuộc vào nước, phù hợp với các thay dòng chảy, lũ giảm, dòng chảy kiệt trái qui luật.
- Tăng cường áp dụng khoa học công nghệ vào sản xuất và chuyển đổi sản xuất: kỹ thuật canh tác, giám sát độ ẩm, kỹ thuật tưới, giám sát dịch bệnh, giống tốt và thích nghi.
- Xây dựng các chuỗi giá trị hàng hóa và dịch vụ: xây dựng các sản phẩm chủ lực đặc thù ở địa phương gắn với phát triển du lịch sinh thái, tâm linh, lịch sử nhằm tăng thêm thu nhập cho người dân đặc biệt các huyện có tiềm năng du lịch cao như Châu Đốc, Tịnh Biên và Thoại Sơn.
- Tăng cường các chính sách hỗ trợ sản xuất, chuyển đổi sản xuất, liên kết, liên doanh, các giải pháp liên kết nhà nước-nhà nông-nhà thương nghiệp và nhà khoa học.

*Giải pháp công trình trên địa bàn tỉnh An Giang:*

- Nâng cấp cơ sở hạ tầng đê bao kiểm soát lũ vùng ngập lũ tháng 8 đảm bảo sản xuất cây hàng năm cho cả năm nhằm khai thác triệt để tiềm năng vùng lũ cũng như phù hợp với các thay đổi nguồn nước mùa lũ trong tương lai ở Tỉnh Biên, Tri Tôn và Châu Phú.

- Nghiên cứu hạ mức cao trình kiểm soát lũ cả năm phù hợp với xu thế lũ giảm, cao trình đê bao hiện có được xem là thiên cao, có thể góp phần giảm kinh phí duy tu, bù lún để duy trì cao trình thiết kế ban đầu lên tới hàng trăm tỷ đồng cho đê bao hiện hữu các huyện Tân Châu, Chợ Mới, Phú Tân, Châu Phú và Tp. Châu Đốc.

-- Duy trì nạo vét định kỳ đảm bảo dẫn nước các kênh trục, xây dựng các cống điều tiết, trạm bơm nhằm đảm bảo cấp, trữ nước khi mực nước xuống thấp.

- Ứng dụng KHCN 4.0 trong kiểm soát nguồn nước phục vụ sản xuất chủ động thích ứng với các thay đổi dòng chảy do tác động thượng lưu và BĐKH.

- Ứng dụng tưới tiết kiệm nước, chuyển đổi sang cây ăn trái, rau màu, chăn nuôi và cấp nước sinh hoạt nhằm đảm bảo nước cho các vùng khó khăn, khan hiếm nước ở Tri Tôn và Tỉnh Biên.

- Quy hoạch chỉnh trị sông và kiểm soát khai thác cát, chống sạt lở các khu vực ven Sông Tiền, Sông Hậu trên địa bàn tỉnh An Giang, bảo vệ an toàn các đê bao cho sản xuất.

- Phát triển hạ tầng đồng bộ: giao thông-thủy lợi, thương mại dịch vụ, công nghệ chế biến đi kèm để hỗ trợ chuyển đổi sản xuất một cách bền vững: công nghệ hỗ trợ thu hoạch, sau thu hoạch,... bao bì, nhà máy xay, bảo quản và chế biến cho các mô hình sản xuất trong tỉnh.

#### 4. Kết luận

Từ kết quả tính toán nhu cầu nước với ứng dụng mô hình IQQM và tính cân bằng nước tỉnh An Giang với ứng dụng mô hình thủy lực và chất lượng nước MIKE11 nghiên cứu đã chỉ ra với lưu lượng về ứng với Qp85\_2020 trên nhánh sông Hậu mặn 1g/l có thể vào sâu 77,4 km ở điều kiện hiện tại, 79,2 km ở 2030 và 81,1km ở 2050, chưa có mối đe dọa nào bởi xâm nhập mặn đến An Giang. Chỉ xét về tổng lượng nước dùng, ở điều kiện 2020 nhu cầu nước bình quân hàng năm vào khoảng 64,4 m<sup>3</sup>/s và 80,2 m<sup>3</sup>/s ứng với tần suất 85%, so với tổng lượng nước đến dao động từ 9.580 m<sup>3</sup>/s đến 14.552 m<sup>3</sup>/s có thể xem An Giang không thiếu về nguồn nước, nước đến và ra khỏi tỉnh lớn hơn nhiều so với nhu cầu nước nội vùng. Nhu cầu nước bình quân hàng năm ở An Giang và vùng TGLX so với nguồn nước về ĐBSCL và nguồn nước qua Châu Đốc dao động trong khoảng 0,9–4,3% ở năm nhiều nước, 1,2–6,3% ở năm trung bình nước, và 4,6–34,2% ở năm kiệt nước, được xem là nhỏ hơn rất nhiều so với tiềm năng nguồn nước về ĐBSCL và so với tiềm năng nguồn nước về theo nhánh sông Hậu. Về mùa lũ, nhu cầu nước lại càng nhỏ hơn rất nhiều so với lượng nước đến, chưa thấy mối đe dọa về môi trường chất lượng nước và an ninh nguồn nước mùa lũ.

Áp dụng tính chỉ số khai thác nguồn nước (WEI) được Cơ quan môi trường Châu Âu sử dụng, nghiên cứu đã chỉ ra một khả năng xảy ra căng thẳng về nước cho tỉnh An Giang nói riêng và vùng TGLX nói chung. Chỉ tính riêng An Giang, sử dụng nước ở các tháng mùa khô ở năm trung bình nước, từ tháng 1 đến tháng 5 đã sắp xỉ 30% tiềm năng nguồn nước đến, được xem là đã đạt ở ngưỡng khuyến cáo có căng thẳng về nước. Đặc biệt ở năm kiệt nước chỉ số khai thác nguồn nước ở các tháng mùa khô dao động từ 27,7% đến 53,1% được xem là đã vượt ngưỡng an toàn đến mức khá căng thẳng về nước ở tháng 2 và tháng 3, với mức sử dụng nước này có thể nảy sinh các vấn đề về môi trường. Các hoạt động sản xuất có thể gây ô nhiễm nguồn nước trên nhánh Sông Hậu, có thể làm cá chết, gây thiệt hại các bè cá nuôi trên sông này. Vì vậy cần giảm mật độ cá nuôi ở các năm hạn, hạn chế nuôi trên nhánh Sông Hậu, đặc biệt đoạn từ biên giới với Campuchia đến ngã ba giao với sông Vàm Nao. Các kiến nghị về định hướng cho phát triển nông nghiệp bền vững ở tỉnh An Giang vừa góp phần chủ động thích ứng với các thay đổi về nguồn nước, đảm bảo cân bằng nước ở tỉnh An Giang lại góp phần chia sẻ nguồn nước với các tỉnh ven biển khó khăn hơn về nguồn nước và bị ảnh



hường bởi xâm nhập mặn. Các kiến nghị các giải pháp công trình và phi công trình đã được đề xuất phục vụ cho phát triển nông nghiệp bền vững ở An Giang cần được xem xét ứng dụng đưa vào thực tiễn.

**Đóng góp của tác giả:** Xây dựng ý tưởng nghiên cứu và phương pháp luận: P.T.K.; T.Q.T.; Xử lý số liệu: T.Q.T.; P.T.K.; Phối hợp viết bài báo: T.Q.T.; P.T.K.; Chỉnh sửa bài báo: T.Q.T.; P.T.K.

**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 sao chép từ những nghiên cứu trước đây; không có sự tranh chấp lợi ích trong nhóm tác giả.

### Tài liệu tham khảo

1. Tổng cục thống kê. Kết quả toàn bộ tổng điều tra dân số và nhà ở năm 2019, Nhà xuất bản Thống kê, 2020.
2. <https://www.gso.gov.vn/>. Truy cập Tháng 7/2022.
3. Tổng cục thủy lợi. Tổng hợp tình hình hạn hán, xâm nhập mặn do ảnh hưởng của El Nino 2014–2016 và các giải pháp ứng phó trước mắt và lâu dài. Báo cáo, 2016.
4. <https://bnews.vn/ca-chet-hang-loat-o-an-giang-vi-dau/9071.html>. Truy cập T7/2022.
5. <https://www.vietnamplus.vn/an-giang-nguyen-nhan-co-the-khien-ca-chet-o-song-chau-doc/791053.vnp>. Truy cập tháng 7/2022.
6. Bộ TN&MT. Đánh giá các tác động của các bậc thang thủy điện đến Campuchia và Việt Nam (Mekong Delta Study, MDS), 2017.
7. Bộ NT&MT. Kịch bản biến đổi khí hậu. Nhà xuất bản tài nguyên môi trường và bản đồ Việt Nam, 2022.
8. BDP. Mekong basin planning: The BDP story. Mekong river commission, 2013.
9. Chính phủ Hà Lan. Kế hoạch châu thổ sông Cửu Long, Tầm nhìn dài hạn cho một khu vực đồng bằng an toàn, trù phú và bền vững, MDP, 2013.
10. Mekong River Commission, ICEM. MRC SEA for hydropower on the Mainstream, Impact assessment, ICEM Australia, 2010.
11. Hoạt, N.V, Thắng, T.Đ và cs., 2016, Một số vấn đề về sản xuất lúa vụ Thu Đông ở đồng bằng sông Cửu Long, Tạp chí Khoa học và Công nghệ Thủy lợi Số 34–2016, Viện Khoa học Thủy lợi Việt Nam.
12. Thắng, T.Đ. và cs. Nghiên cứu diễn biến nguồn nước, chất lượng nước và đề xuất các giải pháp khai thác thích hợp nhằm nâng cao hiệu quả và hạn chế rủi ro thiên tai (hạn mặn) vùng nuôi thủy sản, trồng trọt ven biển đồng bằng sông Cửu Long, Báo cáo tổng kết đề tài KC08.25/16–20, 2020.
13. Toàn, T.Q. và cs, Phân tích ảnh hưởng của các hồ đập thượng lưu đến thay đổi thủy văn dòng chảy mùa khô về châu thổ Mê Công, Tạp chí Khoa học và Công nghệ Thủy lợi, Số 31 (2/2016), Viện KHTL Việt Nam.
14. Toàn, T.Q. và cs. Nghiên cứu biến động nguồn nước thượng lưu, điều kiện khí hậu cực đoan ở đồng bằng sông Cửu Long và đề xuất các giải pháp chuyển đổi cơ cấu sản xuất. Báo cáo tổng kết đề tài KC08.04/16–20, 2020.
15. Västilä, K.; Kummu, M.; Sangmanee, C.; Chinvano, S. Modelling climate change impacts on the flood pulse in the Lower Mekong floodplains. J. Water Clim. Change 2010, 1(1), 67–86. doi: 10.2166/wcc.2010.008.

16. 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. Process. Landforms* **2010**, *36*(3), 296–308. doi:10.1002/esp.2036.
17. Niên giám thống kê An Giang, 2020.
18. Halcrow. MRC–DSF, Decision Support Framework – IQQM model, Laos PDR, 2004.
19. Kim, N.Q. và cs., 2009, Đánh giá biến đổi dòng chảy về Kratie theo các kịch bản phát triển thượng lưu, Tuyển tập *Kết quả KH&CN 2010*, Viện KHTLMN.
20. Mekong River Commission. Fast Track Scenarios of Basin Development Plan: Model Simulations Using DSF, Vientiane, Laos PDR, 2008.
21. Mekong River Commission. Assessment of Basin-wide Development Scenarios, Technical notes, Vientiane, Laos PDR, 2010.
22. Mekong River Commission. Basin Development Plan Programme phase 2. Hydropower project database, Laos PDR, 2009.
23. Hùng, N.N. và cs. Tác động của hạ thấp đáy sông đến chế độ thủy triều trên hệ thống sông Cửu Long và đề xuất một số giải pháp quản lý, Tạp chí Khí tượng Thủy văn 2020, 715, 59–67 doi:10.36335/VNJHM.2020(715).59–67.
24. European Environment Agency. <https://www.eea.europa.eu/>. The Water Exploitation Index. Truy cập tháng 7/2022.

## Water balance and some recommendations on sustainable agricultural development orientation for An Giang province

To Quang Toan<sup>1</sup>, Phan Truong Khanh<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup> Southern Institute of Water Resources Research; toan\_siwrr@yahoo.com

<sup>2</sup> Faculty of Environment Technology Engineering, University of An Giang, Vietnam National University, Ho Chi Minh City, Vietnam; ptkhanhagu@gmail.com

**Abstract:** An Giang ranks second among provinces in the Mekong Delta in terms of food production and freshwater fish farming, in 2021 An Giang contributes 17.03% of total food production and 21.82% of total farming fish production in the Mekong Delta. Climate change, sea level rise, and the extend upstream developments for agriculture and hydropower have greatly affected the flow to the delta in both the flood season and the dry season in recent years. From 2003 up to now, except a large flood in 2011, the remaining years are small and very small floods. Droughts, water shortages and saltwater intrusion are increasing, especially in the dry seasons of 2015–2016 and 2019–2020. An Giang is the first province to receive water from the Mekong River Basin, that is considered to have more advantages than other provinces, so there are few studies showing threats to production for An Giang. By using of a number of methods to calculate water balance for An Giang: application of IQQM, a basin simulation models to calculate water demand; applying MIKE 11 model to calculate hydraulics and saline intrusion; Calculating the water exploitation index, the study has shown that the current water use in the dry months at  $99.1 \div 187.6 \text{ m}^3/\text{s}$  has reached the critical state/excess at the threshold. It is recommended that there is water stress in the mean hydrological year or quite water stress in February and March in the drought year. The paper makes some recommendations on orientations and solutions for sustainable agricultural development in An Giang province.

**Keywords:** Water balance; An Giang; Long Xuyen Quadrangle; Sustainable agriculture; Water Exploitation Index.

Bài báo khoa học

## Dự báo nồng độ bụi PM<sub>2.5</sub> phát tán trong quá trình nổ mìn trên các mỏ lộ thiên sử dụng mạng nơ-ron nhân tạo và giải thuật tối ưu hóa bầy đàn cải tiến (APSO–MLP)

Nguyễn Hoàng<sup>1,2\*</sup>, Bùi Xuân Nam<sup>1,2</sup>, Trần Quang Hiếu<sup>1,2</sup>, Trần Khắc Hùng<sup>3</sup>, Nguyễn Tuấn Thành<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Bộ môn Khai thác lộ thiên, Khoa Mỏ, Trường Đại học Mỏ – Địa chất, Số 18 Phố Viên, phường Đức Thắng, quận Bắc Từ Liêm, Hà Nội; nguyenhoang@humg.edu.vn; buixuannam@humg.edu.vn; tranquanghieu@humg.edu.vn

<sup>2</sup> Nhóm nghiên cứu mạnh Những tiến bộ trong khai thác mỏ bền vững và có trách nhiệm (ISRM), Trường Đại học Mỏ – Địa chất, Số 18 Phố Viên, phường Đức Thắng, quận Bắc Từ Liêm, Hà Nội

<sup>3</sup> Viện Khoa học An toàn và Vệ sinh lao động (VNNIOSH); khachung722007@gmail.com

<sup>4</sup> Trường Đại học Mỏ – Địa chất, Số 18 Phố Viên, phường Đức Thắng, quận Bắc Từ Liêm, Hà Nội; nguyentuanthanh@humg.edu.vn

\* Tác giả liên hệ: nguyenhoang@humg.edu.vn; Tel.: +84–977218899

Ngày nhận bài: 6/02/2022; Ngày chấp nhận đăng: 16/03/2022; Ngày xuất bản: 25/8/2022

**Tóm tắt:** Trong bài báo này, bụi mịn PM<sub>2.5</sub> sinh ra do quá trình nổ mìn trên mỏ lộ thiên đã được dự báo bởi các mô hình trí tuệ nhân tạo dựa trên mạng nơ-ron truyền thẳng nhiều lớp (*Multi-layer Perceptron Neural Network – MLP*) và các giải thuật “tối ưu hóa bầy đàn” được cải tiến (*Accelerated Particle Swarm Optimization – APSO*), giải thuật di truyền (*Genetic Algorithm – GA*), có tên gọi APSO–MLP và GA–MLP. Các thông số nổ mìn và điều kiện khí tượng đã được xem xét trong nghiên cứu này. Một mạng MLP đã được thiết kế để dự báo nồng độ bụi mịn PM<sub>2.5</sub>. Các giải thuật tối ưu hóa APSO và GA đã được đưa vào để tối ưu hóa các trọng số của mô hình MLP nhằm cải thiện mức độ chính xác của mô hình MLP truyền thống trong quá trình dự báo. Các kết quả cho thấy cả hai mô hình được phát triển đều có khả năng dự báo nồng độ bụi mịn PM<sub>2.5</sub> sinh ra do nổ mìn với mức độ chính xác tương đối cao. Trong đó, mô hình APSO–MLP cung cấp mức độ chính xác cao hơn so với mô hình GA–MLP (RMSE = 5,102; R<sup>2</sup> = 0,900 và MAPE = 0,063). Trong khi đó, mô hình GA–MLP chỉ cung cấp mức độ chính xác với RMSE = 5,331, R<sup>2</sup> = 0,890 và MAPE = 0,073.

**Từ khóa:** Mỏ lộ thiên; Nổ mìn; PM<sub>2.5</sub>; Mạng nơ-ron nhân tạo; Giải thuật tối ưu; Phát triển bền vững.

### 1. Đặt vấn đề

Khai thác lộ thiên là một trong những phương pháp khai thác phổ biến nhất nhằm thu hồi tài nguyên khoáng sản có ích trong lòng đất. Tuy nhiên, các tác động tiêu cực của các hoạt động khai thác lộ thiên tới môi trường xung quanh là không hề nhỏ (bụi, khí độc, chiếm dụng diện tích đất đai, nhiễm bẩn nguồn nước, chấn động nổ mìn,...). Trong số các tác động đó, vấn đề ô nhiễm bụi trên các mỏ lộ thiên đang là mối quan tâm chính của các mỏ, đặc biệt là bụi mịn [1–2].

Một trong các hoạt động chính trên các mỏ lộ thiên gây phát sinh một lượng lớn bụi đó là hoạt động nổ mìn. Những đám mây bụi rất lớn xuất hiện sau mỗi vụ nổ mang theo nhiều bụi mịn [3–4]. Dưới tác động của các điều kiện khí tượng, đặc biệt là hướng gió và tốc độ

gió, bụi mịn sẽ gây tác động không nhỏ tới môi trường xung quanh và vùng ảnh hưởng có thể rất rộng [5–6]. Để giảm thiểu bụi trong quá trình nổ mìn, các giải pháp như: tưới nước bề mặt bãi nổ trước và sau khi nổ mìn, sử dụng phương pháp nổ mìn phân đoạn sử dụng búa nước,... Những giải pháp này tuy có hiệu quả trong việc giảm bụi phát sinh sau khi nổ mìn, nhưng chưa có khả năng dự báo và kiểm soát được nồng độ bụi mịn phát tán do các hoạt động nổ mìn. Nói cách khác, các giải pháp kỹ thuật trên mới chỉ là các giải pháp giảm bụi tức thời mà chưa có khả năng dự báo trước khi các vụ nổ xảy ra để đánh giá mức độ ô nhiễm bụi do các hoạt động nổ mìn gây ra và các giải pháp tiềm năng có thể áp dụng để xử lý hiệu quả nồng độ bụi phát tán.

Để dự báo nồng độ bụi mịn phát sinh khi nổ mìn trên các mỏ lộ thiên, các phương pháp truyền thống thường sử dụng các mô hình mô phỏng nồng độ bụi phát tán theo hướng gió và tốc độ gió như mô hình Sutton, Pasquill, Berliand,... [7]. Tuy nhiên, các mô hình trên còn tồn tại nhiều hạn chế với mức độ chính xác còn khiêm tốn do các đặc thù riêng và các yếu tố hình học của mỏ.

Trong những năm gần đây, khoa học máy tính với sự phát triển của công nghệ thông tin và sự ra đời của trí tuệ nhân tạo đã làm thay đổi cả thế giới, không ngoại trừ khai thác mỏ. Để dự báo nồng độ bụi phát sinh trên mỏ nói chung và do các hoạt động nổ mìn nói riêng, nhiều mô hình trí tuệ nhân tạo (*Artificial Intelligence*) và học máy (*Machine learning*) đã được phát triển cho mục đích này với mức độ chính xác được cải thiện đáng kể so với các phương pháp truyền thống. [8] đã phát triển một mô hình trí tuệ nhân tạo lai (*Hybrid model*) dựa trên mạng nơ-ron nhân tạo (*Artificial Neural Network – ANN*) và giải thuật di truyền (*Genetic Algorithm – GA*), gọi tắt là GA-ANN để dự báo nồng độ bụi PM<sub>10</sub> phát sinh do các hoạt động khoan trên mỏ với mức độ chính xác sai số bình quân phương gốc RMSE = 0,028, hệ số xác định R<sup>2</sup> = 0,979, sai số tuyệt đối bình quân MAE = 0,023 và tỉ lệ phần trăm lỗi tuyệt đối trung bình MAPE = 0,055. Trong một nghiên cứu khác, [9] đã sử dụng hệ thống mờ (*fuzzy system*) dựa trên các mô phỏng Monte Carlo kết hợp với lý thuyết xác suất và lập trình biểu hiện gen (*Genetic Expression Programming – GEP*) để dự báo nồng độ bụi phát sinh khi nổ mìn trên mỏ. Các kết quả cho thấy mô hình này đạt tới mức độ chính xác R<sup>2</sup> = 0,8754 và RMSE = 7,0181 trong quá trình thử nghiệm. Các mô phỏng Monte Carlo của nghiên cứu này cũng cho thấy khoảng cách phát tán bụi không vượt quá 199–212 m. [10] cũng đã đề xuất một mô hình lai để dự báo nồng độ bụi khi nổ mìn tại mỏ đá vôi sử dụng các phân tích hồi quy (*regression analysis*) và thứ nguyên (*dimensional analysis*). Các kết quả cung cấp mức độ chính xác rất cao với R<sup>2</sup> = 0,9357. Một mô hình trí tuệ nhân tạo lai khác cũng đã được phát triển bởi [11] nhằm dự báo bụi phát tán theo phương thẳng đứng trong quá trình nổ mìn trên các mỏ lộ thiên sử dụng mạng nơ-ron nhân tạo và bản đồ nhận thức mờ (*fuzzy cognitive map*). Các kết quả cung cấp mức độ chính xác rất cao với R<sup>2</sup> = 0,9933 và RMSE = 0,009. [12] trong một nghiên cứu khác cũng đã đề xuất một mô hình trí tuệ nhân tạo dựa trên phân tích thứ nguyên và mạng nơ-ron nhân tạo cho mục đích tương tự và các kết quả là rất khả quan với độ nhạy và độ chính xác cao.

Xem xét các khía cạnh và tổng quan các công trình cho thấy trí tuệ nhân tạo là một công cụ mạnh mẽ cung cấp mức độ chính xác cao trong việc dự báo nồng độ bụi phát sinh trong quá trình nổ mìn. Tuy nhiên, các mô hình trí tuệ nhân tạo chưa được xem xét phát triển để dự báo nồng độ bụi phát sinh hoặc phát tán trong quá trình nổ mìn tại các mỏ lộ thiên Việt Nam. Do đó, bài báo này nhằm trình bày các kết quả nghiên cứu phát triển mô hình trí tuệ nhân tạo lai dựa trên mạng nơ-ron truyền thẳng nhiều lớp MLP và các giải thuật tối ưu hóa bầy đàn được cải tiến APSO, giải thuật GA, gọi tắt là APSO-MLP và GA-MLP, để dự báo nồng độ bụi PM<sub>2.5</sub> phát tán trong quá trình nổ mìn.

## 2. Phương pháp nghiên cứu

Trong nghiên cứu này, mạng nơ-ron nhân tạo truyền thẳng nhiều lớp – MLP đã được xem xét để dự báo nồng độ bụi PM<sub>2.5</sub> phát tán trong quá trình nổ mìn trên mỏ lộ thiên. MLP

được xem là một trong những loại mạng nơ-ron nhân tạo phổ biến và được áp dụng rộng rãi trong những năm gần đây [13–15].

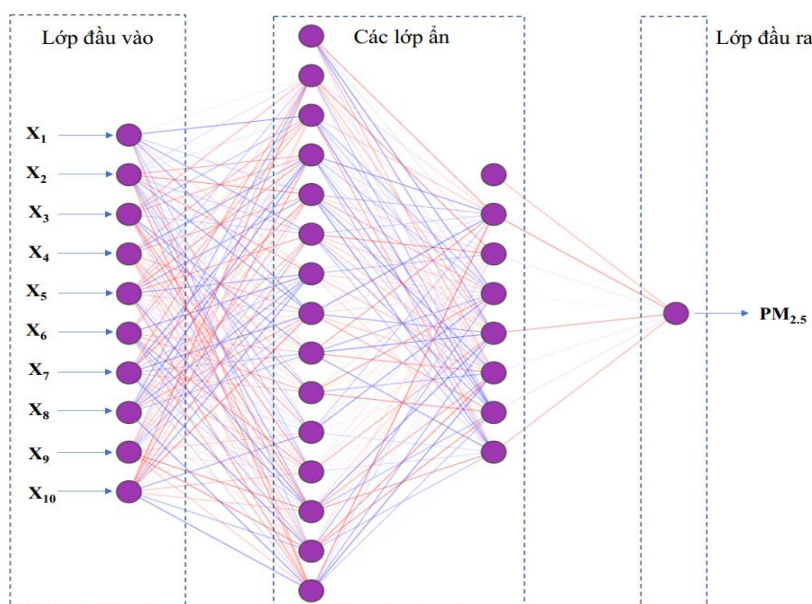
Cấu trúc của mạng MLP bao gồm lớp thông số đầu vào (*inputs*), một hoặc nhiều lớp ẩn, và lớp đầu ra (*output*). Các lớp này chứa các nơ-ron nhân tạo và chúng được liên kết với nhau để truyền tải và xử lý thông tin. Các nơ-ron được kết nối với nhau và được mã hóa dưới dạng các trọng số và độ lệch giữa các lớp. Chúng phản ánh mối liên hệ giữa các nơ-ron liên kết với nhau và được xử lý, tính toán thông qua các hàm kích hoạt giữa các tầng (lớp).

Ngoài ra, các hàm kích hoạt (*activation function*) được sử dụng để mô phỏng tỷ lệ truyền xung qua axon của một nơ-ron thần kinh và chúng thường đóng vai trò là thành phần phi tuyến tại các nút đầu ra của mạng nơ-ron [16]. Các hàm kích hoạt này có ảnh hưởng lớn tới mức độ chính xác của mạng nơ-ron trong quá trình huấn luyện.

Bên cạnh đó, một thành phần quan trọng không thể thiếu cho các mạng nơ-ron nhân tạo nói chung và mạng MLP nói riêng là giải thuật huấn luyện. Các giải thuật huấn luyện thường quyết định nhiều đến mức độ chính xác của mạng nơ-ron nhân tạo. Trong thực tế, có nhiều giải thuật có thể áp dụng để huấn luyện mạng nơ-ron nhân tạo như: giải thuật lan truyền ngược (*backpropagation algorithm*), giải thuật Levenberg–Marquardt, Adam,... [17–18].

Để đánh giá “mức độ tốt” của mạng nơ-ron nhân tạo, hàm mất mát (*Loss function*) được sử dụng nhằm tìm ra tập hợp trọng số và độ lệch tốt nhất giúp giảm thiểu hàm mất mát. Có rất nhiều hàm mất mát có sẵn có thể sử dụng để đánh giá hiệu suất huấn luyện của mạng MLP như MSE (sai số bình quân trung bình), RMSE,  $R^2$ , MAPE,...

Do đó, việc thiết kế và lựa chọn cấu trúc mạng, giải thuật huấn luyện cũng như hàm kích hoạt hợp lý cho mạng nơ-ron nhân tạo MLP được xem là một công việc quan trọng và chúng quyết định tới mức độ chính xác của mô hình dự báo. Cấu trúc cơ bản của mạng MLP dự báo nồng độ bụi  $PM_{2.5}$  phát tán do các hoạt động nổ mìn trên mỏ lộ thiên được minh họa trong hình 1.



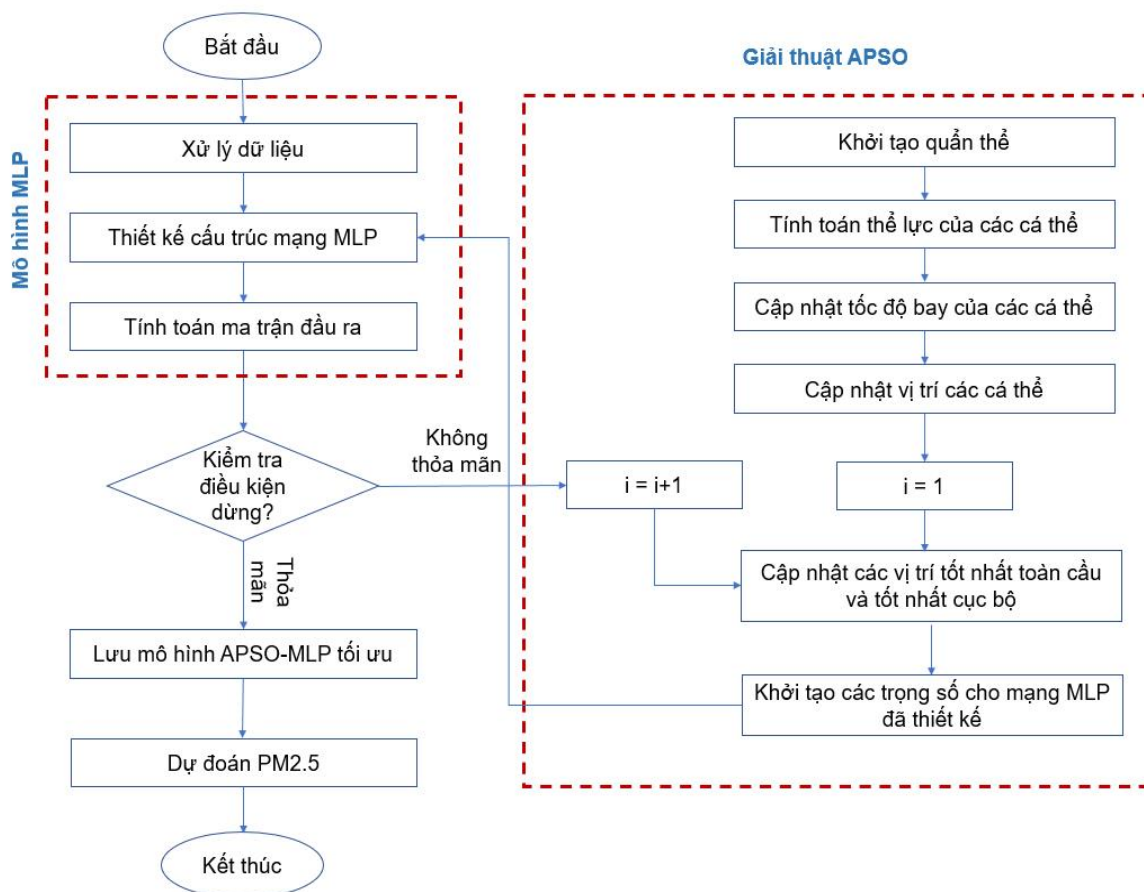
**Hình 1.** Mạng nơ-ron truyền thẳng nhiều lớp MLP dự báo  $PM_{2.5}$  phát tán do các hoạt động nổ mìn trên mỏ lộ thiên.

Trong những năm gần đây, các giải thuật tối ưu cũng đã được nghiên cứu, phát triển mạnh mẽ và chúng có xu thế được sử dụng thay cho các giải thuật truyền thống để huấn luyện mạng nơ-ron nhân tạo với hiệu suất được cải thiện đáng kể [19–21]. Trong số đó, các giải thuật tối ưu hóa bầy đàn (*Particle Swarm Optimization – PSO*) và giải thuật di truyền (*Genetic Algorithm – GA*) là những giải thuật tối ưu được sử dụng rộng rãi trong nhiều lĩnh vực khác nhau.



[22] là những người đầu tiên giới thiệu giải thuật tối ưu hóa PSO từ năm 1995 dựa trên cơ chế săn mồi của các đàn động vật trong thực tế (đàn chim, đàn cá,...). Mặc dù có nhiều ưu điểm trong quá trình tối ưu hóa các bài toán thực tế, tuy nhiên giải thuật PSO gốc vẫn gặp phải một số nhược điểm như dễ bị rơi vào tối ưu cục bộ đối với dữ liệu nhiều chiều (khoảng không gian tìm kiếm lớn) và tốc độ hội tụ chậm [23]. Do đó, đến năm 1999, [24] đã thực hiện một cải tiến nhỏ nhằm khắc phục các nhược điểm trên bằng cách thêm vào các trọng số  $w_{min}$  và  $w_{max}$  (trọng lượng tối thiểu và tối đa của cá thể) và nó được gọi là giải thuật tối ưu hóa bầy đàn thúc đẩy Accelerated Particle Swarm Optimization – APSO). Chi tiết về giải thuật PSO và APSO có thể tham khảo trong các tài liệu tham khảo [24–27]. Dựa trên các ưu điểm của những cải tiến đó, nghiên cứu này đã xem xét sử dụng giải thuật APSO để tối ưu hóa mô hình mạng nơ-ron nhân tạo MLP dự báo nồng độ bụi  $PM_{2.5}$  phát tán trong quá trình nổ mìn trên mỏ lộ thiên, được gọi là mô hình APSO–MLP. Sơ đồ làm việc của mô hình APSO–MLP được minh họa trong hình 2.

Trong nghiên cứu này, giải thuật GA cũng được xem xét sử dụng để tối ưu hóa mô hình MLP cho mục đích tương tự, gọi tắt là mô hình GA–MLP. Chi tiết về giải thuật GA có thể tham khảo trong các tài liệu [28–30]. Đồng thời, nó được sử dụng để so sánh với mô hình APSO–MLP trong quá trình dự báo nồng độ bụi  $PM_{2.5}$  phát tán do các hoạt động nổ mìn trên mỏ lộ thiên. Cơ chế tối ưu hóa mô hình MLP của giải thuật GA tương tự như giải thuật APSO trong hình 2.



Hình 2. Sơ đồ làm việc của mô hình APSO–MLP.

### 3. Dữ liệu sử dụng

Trong nghiên cứu này, các dữ liệu được thu thập tại mỏ than Cọc Sáu tại Quảng Ninh. Đây là mỏ than lộ thiên sâu nhất Việt Nam đến thời điểm hiện tại (–300 m so với mực nước biển). Ngoài ra, mỏ than Cọc Sáu nằm liền kề với các mỏ than Đèo Nai và Cao Sơn và cách khu vực dân cư khoảng hơn 600m về phía Nam. Do đó, ảnh hưởng của bụi mỏ là rất lớn.

Trong nghiên cứu này, 10 biến đầu vào đã được xem xét bao gồm: khối lượng thuốc nổ sử dụng ( $Q$ ), chỉ tiêu thuốc nổ ( $q$ ), chiều dài cột bua ( $L_b$ ), khoảng cách giữa các hàng lỗ khoan ( $b$ ), độ ẩm không khí ( $AH$ ), độ ẩm thành phần của đất đá ( $MC$ ), áp suất không khí ( $AP$ ), tốc độ gió ( $WS$ ), hướng gió ( $WD$ ), và khoảng cách quan trắc bụi tính từ vị trí nổ mìn ( $D$ ).

Để quan trắc nồng độ bụi  $PM_{2.5}$  phát tán trên mỏ do các hoạt động nổ mìn, các trạm quan trắc cố định (được thiết kế và chế tạo bởi nhóm nghiên cứu ISRM–Trường Đại học Mở – Địa chất) được đặt tại một số vị trí cần giám sát trên mỏ. Trong thực tế, các trạm quan trắc được đặt ở hướng Nam là hướng mà bụi mỏ có thể ảnh hưởng tới khu vực dân cư lân cận. Các vị trí đặt các trạm quan trắc có thể thay đổi tùy thuộc vào mỗi vụ nổ như được minh họa trong hình 3. Các giá trị nồng độ bụi được quan trắc theo thời gian thực với chu kỳ 1 giây. Tuy nhiên, chỉ giá trị nồng độ bụi lớn nhất được lựa chọn và sử dụng trong bộ dữ liệu như những biến đầu ra của mô hình (*output*). Thời gian quan trắc được tiến hành từ 04/2018 đến 12/2021 tùy thuộc vào điều kiện thực tại mỏ khi nổ mìn. Dữ liệu sử dụng trong nghiên cứu này được tóm tắt và mô phỏng trong bảng 1 và hình 4.

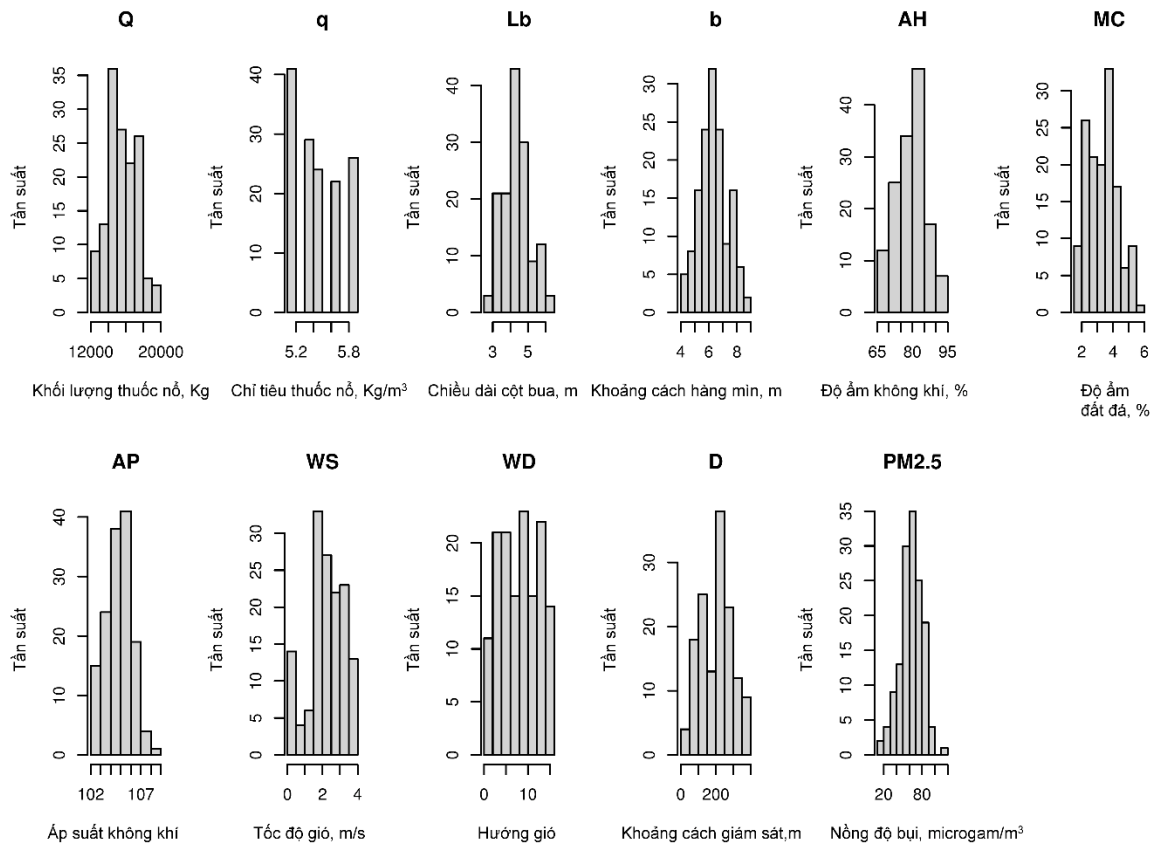


**Hình 3.** Mỏ than Cọc Sáu và các trạm quan trắc bụi trên mỏ.

**Bảng 1.** Tóm tắt dữ liệu sử dụng để dự báo  $PM_{2.5}$  phát tán do nổ mìn.

Phân loại	Q	q	$L_b$	b	AH	MC	AP	WS	WD	D	$PM_{2.5}$
Nhỏ nhất	12248	5,1	2,8	4	69	1,74	102	0,02	1	29,9	17
25% dữ liệu	14598	5,2	3,8	5,8	75	2,513	104	1,725	5	116,4	52
Trung vị	15404	5,5	4,3	6,4	80,5	3,455	105	2,3	9	215,1	65
Trung bình	15625	5,484	4,369	6,365	79,86	3,327	105,3	2,245	8,563	203,8	63,38
75% dữ liệu	16941	5,7	4,8	7	84	3,98	106	3,013	12,75	263,1	75
Lớn nhất	19688	5,9	6,3	8,7	95	5,54	109	3,97	15	386,2	114

Lưu ý, hướng gió đã được mã hóa dưới dạng số để phục vụ bài toán hồi quy một cách hiệu quả.



**Hình 4.** Mật độ phân bố của dữ liệu.

#### 4. Kết quả và thảo luận

Trước khi phát triển mô hình APSO–MLP và GA–MLP để dự báo PM<sub>2.5</sub>, bộ dữ liệu đã được xem xét, phân tích và tiền xử lý để loại bỏ các yếu tố có thể gây nhiễu hoặc giảm mức độ chính xác của mô hình. Sau đó, 142 dữ liệu được phân chia ngẫu nhiên thành 2 phần: 70% sử dụng để huấn luyện mô hình và 30% còn lại để kiểm tra mức độ chính xác của các mô hình đã huấn luyện.

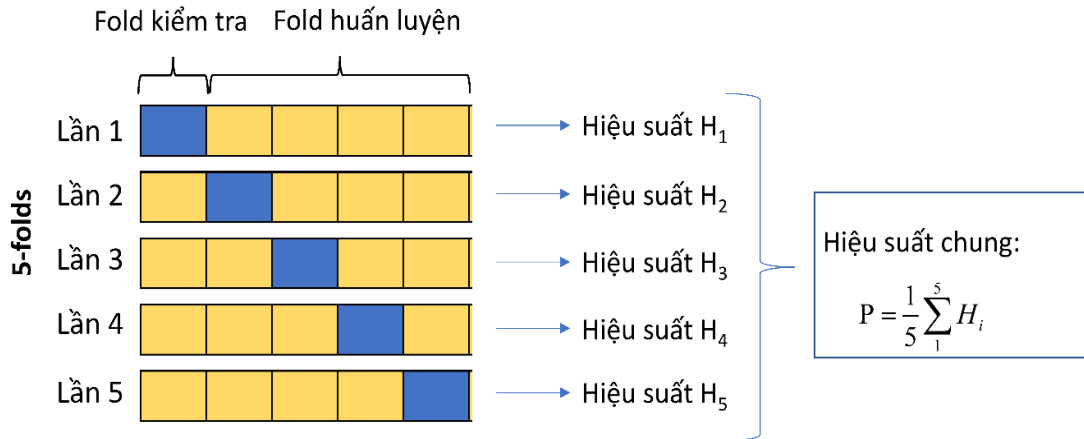
Để thiết kế cấu trúc mạng MLP, kỹ thuật thử và sai (*trial-and-error*) đã được áp dụng. Một cấu trúc MLP với một lớp ẩn và 25 nơ-ron ẩn đã được thiết lập trong mạng MLP. Một hàm mục tiêu (*loss function*) phức tạp MSE đã được sử dụng làm trong quá trình huấn luyện mạng MLP này. Quá trình huấn luyện, hàm kích hoạt ReLU đã được sử dụng. Bên cạnh đó, số lượng quần thể ban đầu được khởi tạo được thiết lập với 200 cá thể và quá trình huấn luyện được thực hiện với 1000 epoches và batch size là 16.

Đối với các tham số của giải thuật, 10 bộ tham số khác nhau của mỗi giải thuật được xem xét áp dụng để tham gia vào quá trình huấn luyện mô hình MLP. Để đánh giá và lựa chọn được bộ tham số tốt nhất của giải thuật, một hàm mục tiêu phức tạp dựa trên nhiều chỉ số hiệu suất (RMSE và MAPE) đã được sử dụng để đánh giá hiệu suất của các mô hình một cách toàn diện hơn như được trình bày trong phương trình (1).

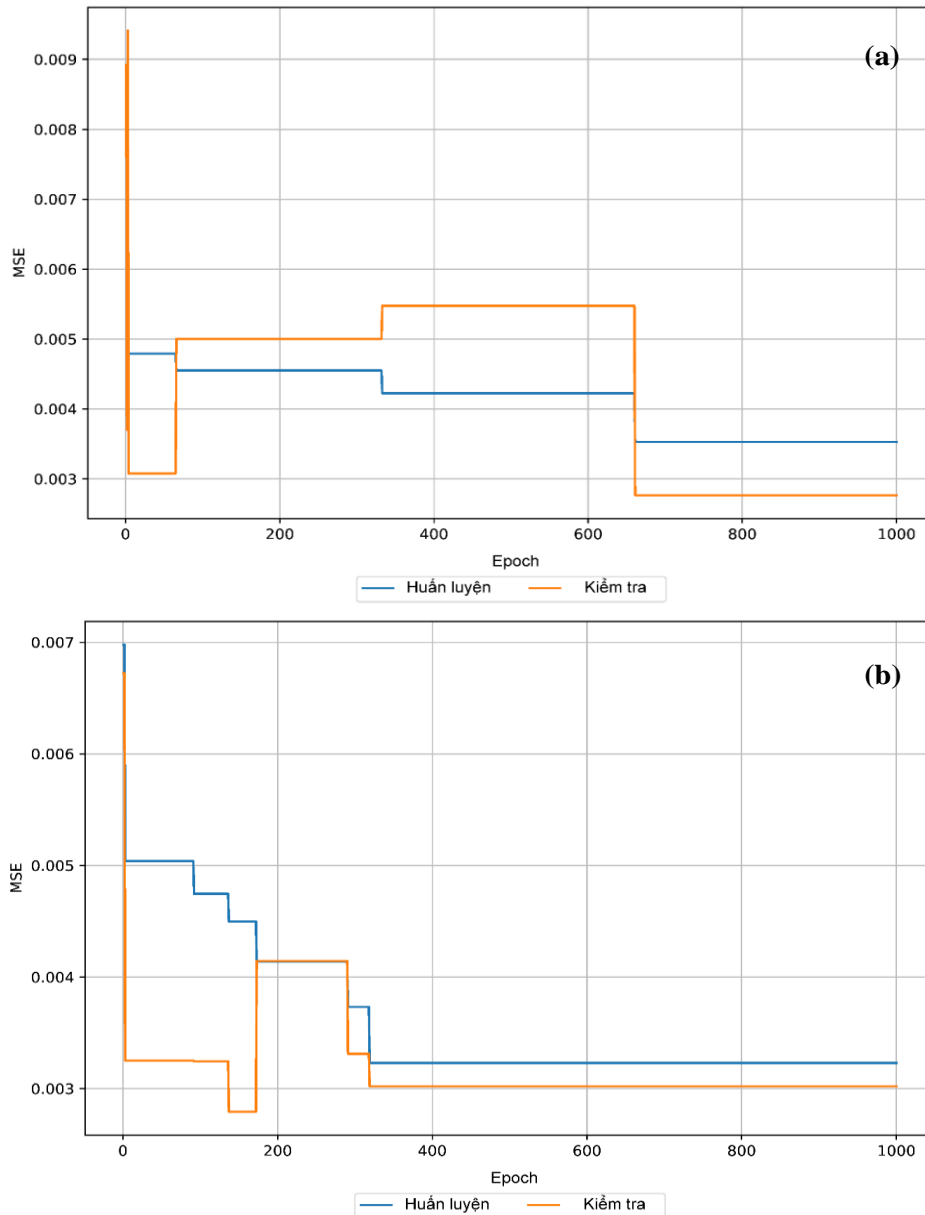
$$\text{fitness} = 0.5\text{RMSE} + 0.5\text{MAPE} \tag{1}$$

Trong quá trình huấn luyện mô hình, kỹ thuật kiểm tra chéo k–nếp gấp (*k-folds cross-validation*) đã được áp dụng để đánh giá hiệu suất của mô hình một cách khách quan, không thiên vị. Trong nghiên cứu này, 5 folds đã được sử dụng và lặp lại 3 lần trong quá trình huấn luyện mô hình. Theo đó, 70% dữ liệu huấn luyện được chia thành 5 folds và chúng lần lượt được huấn luyện và kiểm tra để xác định mức độ chính xác trung bình trong quá trình huấn luyện mô hình như được minh họa trong hình 5. Quá trình huấn luyện và chọn bộ tham số tốt

nhất cho các mô hình APSO-MLP và GA-MLP để dự báo nồng độ PM<sub>2.5</sub> phát tán do các hoạt động nổ mìn trên mỏ lộ thiên được minh họa trong hình 6.



**Hình 5.** Kỹ thuật kiểm tra chéo với 5 folds.



**Hình 6.** Hiệu suất huấn luyện và kiểm tra của các mô hình APSO-MLP và GA-MLP với các bộ tham số tốt nhất: (a) Mô hình APSO-MLP; (b) Mô hình GA-MLP.



Các kết quả huấn luyện mô hình MLP bằng các giải thuật tối ưu APSO và GA để dự báo PM<sub>2.5</sub> trong hình 6 cho thấy sai số của các mô hình rất nhỏ (MSE trên dưới 0,003) và không có sự khác biệt nhiều giữa hai mô hình. Các kết quả tương tự cũng được ghi nhận trên tập dữ liệu kiểm tra. Tuy nhiên, đối với mô hình GA-MLP, vùng hội tụ lại không phải vùng cung cấp mức độ chính xác cao nhất, như thể hiện trong hình 6. Trong khi đó, mô hình APSO-MLP cung cấp mức độ chính xác cao nhất tại vùng hội tụ nhất.

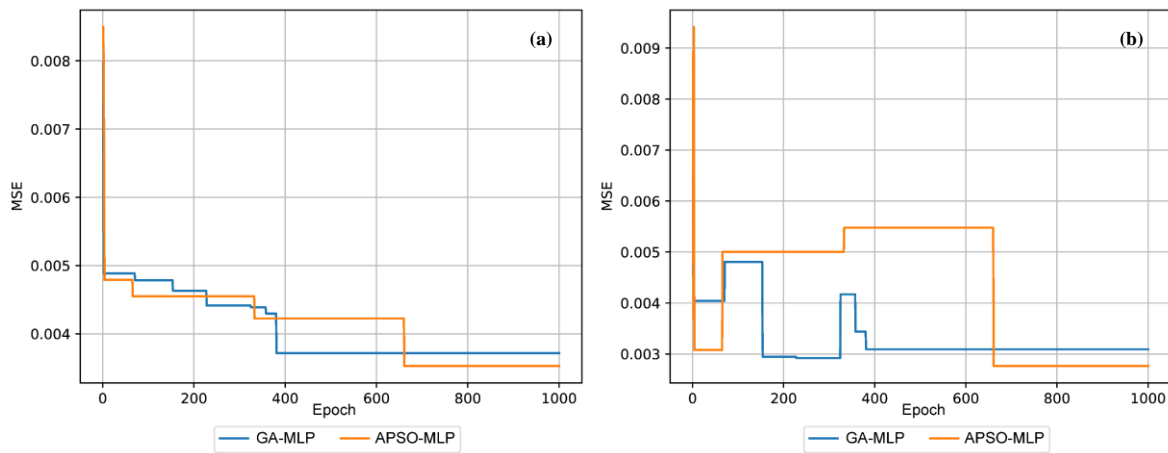
Lưu ý, các kết quả huấn luyện và kiểm tra trên được thực hiện trong quá trình tìm kiếm các bộ tham số tốt nhất cho các mô hình. Sau khi các bộ tham số tốt nhất của các mô hình APSO-MLP và GA-MLP đã được tìm thấy, quá trình huấn luyện lại các mô hình này với bộ tham số tốt nhất đã được tiến hành như sau:

- Mô hình APSO-MLP:  $C_1 = C_2 = 1,2$ ;  $W_{\min} = 0,5$ ;  $W_{\max} = 0,9$ ;

- Mô hình GA-MLP:  $P_c = 0,8$ ;  $P_m = 0,1$ ;

- Cả 2 mô hình này đều được huấn luyện dựa trên 200 cá thể khởi tạo ngẫu nhiên ban đầu và được thực hiện với 1000 epoch.

Hiệu suất huấn luyện lại và mức độ hội tụ của mạng nơ-ron nhân tạo MLP dựa trên các tham số tối ưu của các giải thuật tối ưu được minh họa trong hình 7.



**Hình 7.** Mức độ hội tụ của các mô hình APSO-MLP và GA-MLP trong dự báo PM<sub>2.5</sub>: (a) Quá trình huấn luyện; (b) Quá trình kiểm tra.

Nhìn vào hình 7, có thể thấy mô hình APSO-MLP dường như cung cấp mức độ chính xác cao hơn trên cả bộ dữ liệu huấn luyện và dữ liệu kiểm tra khi dự báo nồng độ PM<sub>2.5</sub> phát tán do nổ mìn trên mỏ. Mức độ hội tụ trên tập dữ liệu huấn luyện dường như rất tốt khi sai số MSE giảm dần theo biên độ mạnh và hội tụ dần ở mức dưới 0,004. Trên tập dữ liệu kiểm tra, mức độ sai số có thể khác nhau ở các vị trí epoch khác nhau, tuy nhiên, sai số thấp nhất vẫn được ghi nhận ở mô hình APSO-MLP ở mức dưới 0,003. Để đánh giá hiệu suất dự báo PM<sub>2.5</sub> của các mô hình đã phát triển, các chỉ số hiệu suất bao gồm: MAE, RMSE, R<sup>2</sup> và MAPE đã được sử dụng và tính toán dựa trên các giá trị thực tế và dự báo trong bảng 2.

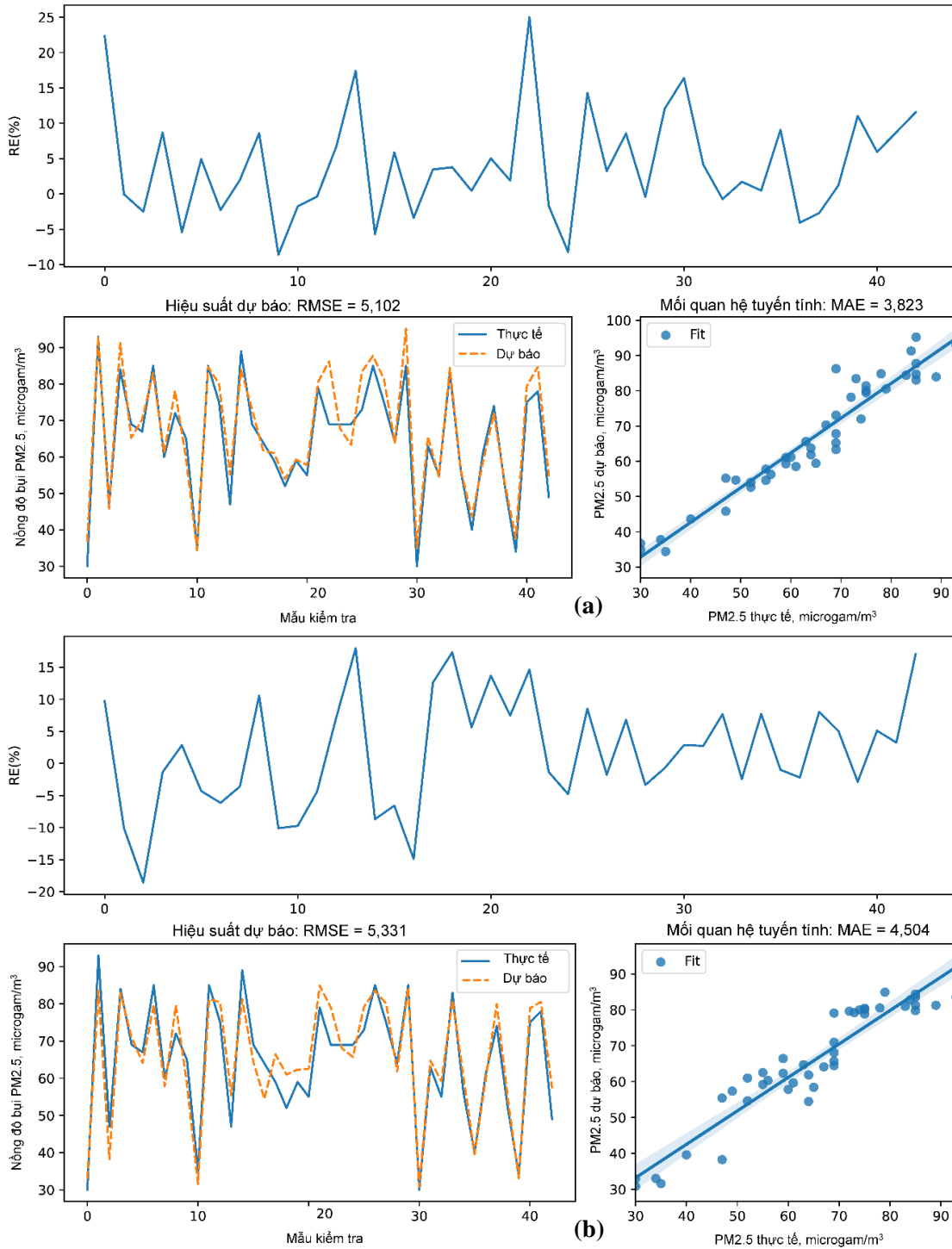
**Bảng 2.** Hiệu suất của các mô hình dự báo PM<sub>2.5</sub> phát tán do các hoạt động nổ mìn.

Mô hình	Số lượng quần thể	Dữ liệu huấn luyện				Dữ liệu kiểm tra			
		MAE	RMSE	R <sup>2</sup>	MAPE	MAE	RMSE	R <sup>2</sup>	MAPE
APSO-MLP	200	4,494	5,763	0,890	0,087	3,823	5,102	0,900	0,063
GA-MLP	250	4,259	5,513	0,899	0,080	4,504	5,331	0,890	0,073

Từ các kết quả trong bảng 2, có thể thấy hiệu suất của cả hai mô hình APSO-MLP và GA-MLP tương đối cao và không có sự chênh lệch lớn. Tuy nhiên, mô hình APSO-MLP cung cấp mức độ chính xác cao hơn một chút so với mô hình GA-MLP với MAE = 3,823;



RMSE = 5,102;  $R^2 = 0,900$  và MAPE = 0,063 trên tập dữ liệu kiểm tra. Để đánh giá thêm và trực quan hơn về mức độ chính xác của các mô hình trên, sai số tương đối (relative error – RE) và tương quan giữa các giá trị dự báo và thực tế đã được minh họa trong hình 8.



**Hình 8.** Sai số tương đối RE, tuyệt đối và tương quan của các mô hình dự báo PM<sub>2.5</sub>: (a) Mô hình APSO–MLP; (b) Mô hình GA–MLP.

Dựa trên các chỉ số sai số tương đối RE, tuyệt đối và tương quan của các mô hình dự báo PM<sub>2.5</sub> trên hình 8, có thể thấy rõ hơn sự khác biệt giữa hai mô hình APSO–MLP và GA–MLP trong dự báo nồng độ PM<sub>2.5</sub> phát tán khi nổ mìn. Trong khi biên độ dao động của RE trên mô hình APSO–MLP là từ –9 đến 25, mô hình GA–MLP cung cấp biên độ RE lớn hơn rất nhiều (từ –20 đến 20). Ngoài ra, các so sánh trên tập dữ liệu kiểm tra ở hình 8 cũng cho thấy mức độ chính xác của các dự đoán trên mô hình APSO–MLP là tốt hơn so với các dự đoán trên

mô hình GA–MLP. Do đó, mô hình APSO–MLP đã được lựa chọn làm mô hình chính thức để dự báo nồng độ bụi PM<sub>2.5</sub> phát tán trong quá trình nổ mìn tại mỏ này.

## 5. Kết luận và kiến nghị

Dự báo nồng độ bụi phát tán trong quá trình nổ mìn trên các mỏ lộ thiên là một bài toán tương đối khó do ảnh hưởng của các yếu tố hình học mỏ, các thông số nổ mìn và điều kiện khí tượng. Trong khi các thông số hình học của mỏ không (hoặc ít) thay đổi, các thông số nổ mìn có thể thay đổi được thì các thông số về điều kiện khí tượng là những thông số không thể kiểm soát/thay đổi được. Do đó, việc dự báo nồng độ bụi nói chung và PM<sub>2.5</sub> nói riêng là không đơn giản. Nghiên cứu này đã xem xét tổng thể các yếu tố về thông số nổ mìn trong các điều kiện khí tượng khác nhau với khoảng cách giám sát khác nhau để xây dựng hai mô hình trí tuệ nhân tạo có khả năng dự báo nồng độ bụi PM<sub>2.5</sub> phát tán do nổ mìn (APSO–MLP và GA–MLP). Các kết quả bước đầu cho thấy mức độ khả thi và độ chính xác có thể chấp nhận được cho các mô hình trí tuệ nhân tạo trong việc dự báo nồng độ PM<sub>2.5</sub> phát tán do nổ mìn. Trong đó, mô hình APSO được đánh giá là tốt hơn một chút so với mô hình GA–MLP trong nghiên cứu này với độ chính xác dao động ở mức 90%.

Mặc dù nghiên cứu này đã chỉ ra mức độ khả thi của các mô hình trí tuệ nhân tạo trong dự báo nồng độ bụi phát tán khi nổ mìn trên các mỏ lộ thiên, tuy nhiên, chúng cần được tiếp tục nghiên cứu mở rộng trong tương lai với việc xem xét dự báo nồng độ bụi trong không gian, tối ưu hóa số lượng biến đầu vào hoặc xem xét các mô hình trí tuệ nhân tạo khác với mục đích cải thiện mức độ chính xác trong quá trình dự báo. Các kết quả nghiên cứu là tiền đề để tối ưu hóa các thông số nổ mìn nhằm giảm thiểu hoặc kiểm soát bụi phát tán ra môi trường xung quanh, hướng tới khai thác bền vững và có trách nhiệm với môi trường.

**Đóng góp của các tác giả:** Lên ý tưởng, Điều tra, khảo sát, Viết và chỉnh sửa bản thảo: N.H., B.X.N.; Phân tích sơ bộ, xử lý dữ liệu, trực quan hóa các kết quả, viết bản thảo gốc: T.Q.H., T.K.H., N.T.T.

**Lời cảm ơn:** Nhóm tác giả xin gửi lời cảm ơn tới Trung tâm Nghiên cứu Cơ Điện Mỏ và các thành viên trong nhóm nghiên cứu mạnh “Những tiến bộ trong khai thác mỏ bền vững và có trách nhiệm” – ISRM của Trường Đại học Mỏ địa chất đã hỗ trợ nhóm nghiên cứu thu thập dữ liệu phục vụ nghiên cứu này.

## Tài liệu tham khảo

1. Silvester, S.; Lowndes, I.; Hargreaves, D. A computational study of particulate emissions from an open pit quarry under neutral atmospheric conditions. *Atmos. Environ.* **2009**, *43*(40), 6415–6424.
2. Alvarado, M.; Gonzalez, F.; Fletcher, A.; Doshi, A. Towards the development of a low cost airborne sensing system to monitor dust particles after blasting at open-pit mine sites. *Sensors* **2015**, *15*(8), 19667–19687.
3. Bhandari, S.; Bhandari, A.; Arya, S. Dust resulting from blasting in surface mines and its control. Proceedings of explosive conference. 2004.
4. Bhandari, S. Fines and dust generation and control in rock fragmentation by blasting. in *Rock Fragmentation by Blasting: The 10<sup>th</sup> International Symposium on Rock Fragmentation by Blasting, 2012 (Fragblast 10)*. Taylor & Francis Books Ltd, 2013.
5. Heo, S.; Kim, D.Y.; Kwoun, Y.; Lee, T.J.; Jo, Y.M. Characterization and source identification of fine dust in Seoul elementary school classrooms. *J. Hazard. Mater* **2021**, *414*, 125531.
6. Vanicela, B.D.; Nebel, M.; Stephan, M.; Riethmüller, C.; Gresser, G. Quantitative analysis of fine dust particles on moss surfaces under laboratory conditions using the example of *Brachythecium rutabulum*. *Environ. Sci. and Pollut. Res.* **2021**, *28*(37), 51763–51771.

7. Nam, C.t.k.t.đ.v.Y.V. Báo cáo đánh giá tác động môi trường "Dự án đầu tư cải tạo mở rộng nâng công suất mỏ đá hoa trắng Châu Cường, xã Châu Cường, huyện Quỳnh Hợp, Nghệ An. 2014.
8. Bui, X.N. et al. Utilizing a Novel Artificial Neural Network–Based Meta–heuristic Algorithm to Predict the Dust Concentration in Deo Nai Open–Pit Coal Mine (Vietnam). Cham: Springer International Publishing, 2021.
9. Bakhtavar, E. et al. Air Pollution Risk Assessment Using a Hybrid Fuzzy Intelligent Probability–Based Approach: Mine Blasting Dust Impacts. *Nat. Resour. Res.* **2021**, *30(3)*, 2607–2627.
10. Hosseini, S.; Mousavi, A.; Monjezi, M. Prediction of blast–induced dust emissions in surface mines using integration of dimensional analysis and multivariate regression analysis. *Arabian J. Geosci.* **2022**, *15(2)*, 163.
11. Bakhtavar, E. et al. Green blasting policy: Simultaneous forecast of vertical and horizontal distribution of dust emissions using artificial causality–weighted neural network. *J. Cleaner Prod.* **2021**, *283*, 124562.
12. Hosseini, S. et al. Prediction of Dust Emission Due to Open Pit Mine Blasting Using a Hybrid Artificial Neural Network. *Nat. Resour. Res.* **2021**, *30(6)*, 4773–4788.
13. Hyder, Z.; Siau, K.; Nah, F. Artificial intelligence, machine learning, and autonomous technologies in mining industry. *J. Database Manage.* **2019**, *30(2)*, 67–79.
14. Ali, D.; Frimpong, S. Artificial intelligence, machine learning and process automation: existing knowledge frontier and way forward for mining sector. *Artif. Intell. Rev.* **2020**, *53(8)*, 6025–6042.
15. Soofastaei, A. The application of artificial intelligence to reduce greenhouse gas emissions in the mining industry, in *Green Technologies to Improve the Environment on Earth*. IntechOpen London, UK, 2018.
16. Sharma, S.; Sharma, S.; Athaiya, A. Activation functions in neural networks. *Towards Data Sci.* **2017**, *6(12)*, 310–316.
17. Ghaffari, A. et al. Performance comparison of neural network training algorithms in modeling of bimodal drug delivery. *Int. J. Pharm.* **2006**, *327(1–2)*, 126–138.
18. Can, A. et al. Landslide susceptibility mapping at Ovacık–Karabük (Turkey) using different artificial neural network models: comparison of training algorithms. *Bull. Eng. Geol. Environ.* **2019**, *78(1)*, 89–102.
19. Abedinia, O.; Amjady, N.; Ghadimi, N. Solar energy forecasting based on hybrid neural network and improved metaheuristic algorithm. *Comput. Intell.* **2018**, *34(1)*, 241–260.
20. Chong, H.Y. et al. Advances of metaheuristic algorithms in training neural networks for industrial applications. *Soft Comput.* **2021**, *25(16)*, 11209–11233.
21. Khan, A. et al. An alternative approach to neural network training based on hybrid bio meta–heuristic algorithm. *J. Ambient Intell. Hum. Comput.* **2019**, *10(10)*, 3821–3830.
22. Kennedy, J.; Eberhart, R. Particle swarm optimization (PSO). Proc. IEEE International Conference on Neural Networks, Perth, Australia. 1995.
23. Li, M.; Du, W.; Nian, F. An adaptive particle swarm optimization algorithm based on directed weighted complex network. *Math. Probl. Eng.* **2014**, ID 434972.
24. Shi, Y.; Eberhart, R.C. Empirical study of particle swarm optimization. Proceedings of the 1999 congress on evolutionary computation–CEC99 (Cat. No. 99TH8406). IEEE, 1999.
25. Bui, X.N. et al. A novel Hybrid Model for predicting Blast–induced Ground Vibration Based on k–nearest neighbors and particle Swarm optimization. *Sci. Rep.* **2019**, *9(1)*, 1–14.

26. Ding, Z. et al. Computational Intelligence Model for Estimating Intensity of Blast-Induced Ground Vibration in a Mine Based on Imperialist Competitive and Extreme Gradient Boosting Algorithms. *Nat. Resour. Res.* **2020**, 29(2), 751–769.
27. Zhang, X. et al. Novel Soft Computing Model for Predicting Blast-Induced Ground Vibration in Open-Pit Mines Based on Particle Swarm Optimization and XGBoost. *Nat. Resour. Res.* **2020**, 29(2), 711–721.
28. Ahmadi, M.R.; Shahabi, R.S. Cutoff grade optimization in open pit mines using genetic algorithm. *Resour. Policy* **2018**, 55, 184–191.
29. Armaghani, D.J. et al. Airblast prediction through a hybrid genetic algorithm-ANN model. *Neural Comput. Appl.* **2018**, 29(9), 619–629.
30. El-Mihoub, T.A. et al. Hybrid Genetic Algorithms: A Review. *Eng. Lett.* **2006**, 13(2), 124–137.

## Forecasting PM<sub>2.5</sub> dust concentration induced by blasting in open pit mines using artificial neural network and improved swarm optimization algorithm (APSO-MLP)

Nguyen Hoang<sup>1,2\*</sup>, Bui Xuan Nam<sup>1,2</sup>, Tran Quang Hieu<sup>1,2</sup>, Tran Khac Hung<sup>3</sup>, Nguyen Tuan Thanh<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Department of Open-pit Mining, Faculty of Mining, University of Mining – Geology, No. 18 Pho Vien, Duc Thang ward, Bac Tu Liem district, Hanoi; [nguyenhoang@humg.edu.vn](mailto:nguyenhoang@humg.edu.vn); [buixuannam@humg.edu.vn](mailto:buixuannam@humg.edu.vn); [tranquanghieu@humg.edu.vn](mailto:tranquanghieu@humg.edu.vn)

<sup>2</sup> Research Group of Innovations in Sustainable and Responsible Mining (ISRM), Hanoi University of Mining and Geology, No. 18 Pho Vien, Duc Thang Ward, Bac Tu Liem District, Hanoi

<sup>3</sup> Vietnam National Institute of Occupational Safety and Health (VNNIOSH); [khachung722007@gmail.com](mailto:khachung722007@gmail.com)

<sup>4</sup> Department of Training, Hanoi University of Mining and Geology, No. 18 Pho Vien, Duc Thang Ward, Bac Tu Liem District, Hanoi. [nguyentuantthanh@humg.edu.vn](mailto:nguyentuantthanh@humg.edu.vn)

**Abstract:** In this paper, PM<sub>2.5</sub> induced by blasting operations in open-pit mines has been predicted by hybrid artificial intelligence models based on multi-layer perceptron neural network (MLP), accelerated particle swarm optimization (APSO), and genetic algorithm (GA), named as APSO-MLP and GA-MLP. Blasting parameters and meteorology conditions were considered for this aim. Subsequently, a MLP model was then designed for predicting PM<sub>2.5</sub> based on the inputs (blasting parameters and meteorology conditions). The optimization algorithms APSO and GA then were applied to optimize the weights of the designed MLP model, aiming to improve the accuracy of the MLP model for predicting PM<sub>2.5</sub>. The results showed that both hybrid models (APSO-MLP and GA-MLP) provided pretty high accuracies in predicting PM<sub>2.5</sub> (over 90%). Of those, the APSO-MLP model provided a slightly higher performance with RMSE = 5.102; R<sup>2</sup> = 0.900 and MAPE = 0.063. Meanwhile, the GA-MLP model provided lower performance with an RMSE = 5.331, R<sup>2</sup> = 0.890 and MAPE = 0.073.

**Keywords:** Open pit mine; Mine blasting; PM<sub>2.5</sub>; Artificial Neural Networks; Optimal Algorithm; Sustainable Development.

# Table of content

- 1** Huong, C.T.T.; Tan, N.V.T. Changes in the number of cold and extreme cold spells occurring in the Northern Delta region in the period 1981–2020. *VN J. Hydrometeorol.* **2022**, *740*, 1–12.
- 13** Quoc, P.N.; Khanh, P.D. A Model for Permeability Prediction from Core Analysis Data Using Hydraulic Flow Unit (HFU) and Mercury Injection Capillary Pressure (MICP) for Miocene Sandstone Reservoir, Alpha Gas field, Nam Con Son basin. *VN J. Hydrometeorol.* **2022**, *740*, 13–21.
- 22** Nu, H.T.T.; Quyen, T.T.; Anh, V.T.V.; Thao, N.T.H.; Van, C.T. Application of urban hydrological model to simulate inundation and drainage capacity due to increase in tidal water level for Tan Hoa – Lo Gom canal system in Ho Chi Minh City. *VN J. Hydrometeorol.* **2022**, *740*, 22–35.
- 36** Hanh, L.D.; Son, H.T.; Tuan, T.P.; Tuan, B.A.; Dang, V.H.; Yen, N.T.H.; Nga, T.V. Application remote sensing, RTK, GIS technology for flood mapping of Tuy Hoa delta – Phu Yen Province. *VN J. Hydrometeorol.* **2022**, *740*, 36–45.
- 46** Trang, V.K.; Tuan, D.H. Assessment of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) concentration in the Nhue River water flowing through the inner districts of Hanoi City. *VN J. Hydrometeorol.* **2022**, *740*, 46–56.
- 57** Phat, L.T.; Duy, D.V.; Hieu, C.T.; An, N.T.; Lavane, K.; Ty, T.V. Initial assessment on the causes of riverbank instability in Chau Thanh District, Hau Giang province. *VN J. Hydrometeorol.* **2022**, *740*, 57–73.
- 74** Toan, T.Q.; Khanh, P.T. Water balance and some recommendations on sustainable agricultural development orientation for An Giang Province. *VN J. Hydrometeorol.* **2022**, *740*, 74–87.
- 88** Hoang, N.; Nam, B.X.; Hieu, T.Q.; Hung, T.K.; Thanh, N.T. Forecasting PM<sub>2.5</sub> dust concentration induced by blasting in open pit mines using artificial neural network and improved swarm optimization algorithm (APSO–MLP). *VN J. Hydrometeorol.* **2022**, *740*, 88–99.