

**TẠP CHÍ**

# **KHÍ TƯỢNG THỦY VĂN**

**Journal of Hydro - Meteorology**

**ISSN 2525 - 2208**



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

**Số 773**  
**05-2025**



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

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

**Giấy phép xuất bản**

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

**Tòa soạn**

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

**Chế bản và In tại:**

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

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

Giá bán: 40.000 đồng

**TẠP CHÍ KHÍ TƯỢNG THỦY VĂN**  
**SỐ 773 - 5/2025**

**MỤC LỤC**

**Bài báo khoa học**

- Nguyễn Lợi Lộc, Nguyễn Thanh Sang, Nguyễn Thị Thu Thủy:** Biểu hiện hoạt động đứt gãy khu vực Kon Plong, tỉnh Kon Tum và lân cận
- Lê Việt Thắng:** Phân tích, đánh giá các nguồn gây ô nhiễm chất lượng nước mặt tỉnh Long An, Đồng bằng Sông Cửu Long
- Nguyễn Thanh Bằng, Trương Bá Kiên, Nguyễn Đức Nam, Trần Duy Thức:** Nghiên cứu ứng dụng kỹ thuật hoà hợp cải thiện trường ban đầu cho mô hình WRF dự báo bão trên biển Đông
- Lưu Văn Ninh, Nguyễn Thanh Toàn, Ngô Chí Tuấn, Phan Thị Thùy Dương, Nguyễn Hữu Tuấn, Cấn Thu Văn:** Nghiên cứu tính toán mức độ xói lở bờ sông bằng công thức kinh nghiệm: Thí điểm cho đoạn sông Tiền chảy qua huyện Chợ Mới, tỉnh An Giang
- Hồ Minh Dũng, Trương Tấn Quốc:** Đánh giá hiện trạng và đề xuất các giải pháp kỹ thuật kinh tế giảm thất thoát nước tại Công ty cổ phần cấp nước Tân Hòa (thuộc Sawaco)
- Lê Thị Thanh Tâm, Nguyễn Văn Sáng:** Ảnh hưởng của dịch chuyển vỏ Trái đất đến các tham số chuyển đổi tọa độ
- Trần Anh Đức, Phùng Tiến Dũng, Đặng Đình Quân, Hoàng Gia Nam, Nguyễn Thị Như Quỳnh, Phạm Trường Giang, Phạm Mỹ Linh, Mai Khánh Hưng, Dư Đức Tiến:** Dự báo dòng chảy dựa vào mô hình toàn cầu và khu vực tổ hợp phân giải cao dự báo lũ trên lưu vực sông Thao giai đoạn 2022-2023
- Phạm Thị Làn, Lê Văn Cảnh:** Ước tính hàm lượng diệp lục trong lá lúa bằng chỉ số thực vật chiết xuất từ dữ liệu ảnh UAV đa phổ

Bài báo khoa học

## Biểu hiện hoạt động đứt gãy khu vực Kon Plong, tỉnh Kon Tum và lân cận

Nguyễn Lợi Lộc<sup>1,2,3\*</sup>, Nguyễn Thanh Sang<sup>3</sup>, Nguyễn Thị Thu Thủy<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Khoa Địa chất, Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, TP. Hồ Chí Minh, Việt Nam; lynogec@gmail.com

<sup>2</sup> Đại học Quốc Gia TP. Hồ Chí Minh, Việt Nam; lynogec@gmail.com

<sup>3</sup> Liên đoàn Bản đồ Địa chất miền Nam; lynogec@gmail.com; sang1216222@gmail.com; thuykt0312@gmail.com

\*Tác giả liên hệ: lynogec@gmail.com; Tel.: +84–829029088

Ban biên tập nhận bài: 05/11/2024; Ngày phản biện xong: 04/12/2024; Ngày đăng bài: 25/5/2025

**Tóm tắt:** Các đứt gãy khu vực Kon Plong, tỉnh Kon Tum và lân cận đều biểu hiện hoạt động trong giai đoạn hiện đại. Bằng việc tổng hợp 10 tiêu chí đánh giá nhận dạng và đánh giá mức độ hoạt động của các đứt gãy khu vực nghiên cứu cho kết quả: (1) Đứt gãy biểu hiện hoạt động rất rõ gồm đứt gãy Đắk Rinh và đứt gãy Sông Đắk Kôi; (2) Các đứt gãy hoạt động rõ gồm đứt gãy Trà Xanh - Di Lăng, đứt gãy T-Meo và đứt gãy Đắk Nghệ; (3) Các đứt gãy có biểu hiện hoạt động gồm đứt gãy Sông Re, đứt gãy Ba Tơ - Kon Tum, đứt gãy Đắk Pnê - Kon Ka Rinh, đứt gãy Sông Giang, đứt gãy Đắk Răm - Măng Cảnh - Sơn Thượng, đứt gãy S. Hà Vinh - S. Cà Đú và đứt gãy Sơn Cao - Nghĩa Hòa, đứt gãy Ba Tơ - Củng Sơn. Dọc theo đới đứt gãy biểu hiện hoạt động này ghi nhận các tai biến như sạt, trượt lở, nứt đất và động đất. Chuỗi sinh chấn gần đây phân bố chủ yếu liên quan đến các hệ thống đứt gãy có biểu hiện hoạt động rất rõ và biểu hiện hoạt động rõ. Tần suất và cường độ động đất tăng cao tại nơi giao cắt của các hệ thống đứt gãy có biểu hiện hoạt động như tại vị trí các hồ thủy điện Kon Tum thượng và Đrăk Đring.

**Từ khóa:** Thượng Kon Tum; Đrăk Đring; Động đất; Đứt gãy hoạt động; Kon Plong.

### 1. Giới thiệu

Khu vực Kon Plong, tỉnh Kon Tum thuộc nằm hoàn toàn trong đới Kon Tum, phần lớn diện tích thuộc phần phụ đới Ngọc Linh, một phần nhỏ diện tích ở phía Đông Nam thuộc phụ đới Thu Bồn. Đới Kon Tum là khối nhô đá kết tinh Tiền Cambri, phần phía Bắc, phía Tây và phía Nam của đới đều còn bảo tồn ít nhiều lớp phủ có kiến trúc uốn nếp chờm vảy hoặc phối khảm với móng đá kết tinh của tổ hợp thạch - kiến tạo thềm lục địa thụ động tuổi từ Neoproterozoi muộn đến Paleozoi sớm. Ngoài ra, ở phía Nam còn là trường phân bố các trũng địa hào núi lửa Trias giữa [1–8]. Nghiên cứu [9] cho thấy dự báo phát sinh động đất cực đại khu vực không quá 5,5 độ Richter. Nghiên cứu [10] dự báo động đất cực đại bằng phương pháp hợp lý cực đại cho thấy khu vực tồn tại hai vùng nguồn phát sinh động đất là vùng nguồn Trà Bồng và vùng nguồn Ba Tơ - Củng Sơn có cấp phát sinh động đất lần lượt là  $M_{\max} 6,2 \pm 0,54$  độ Richter và  $5,8 \pm 0,54$  độ Richter.

Khu vực Kon Plong, tỉnh Kon Tum hiện có 02 dự án thủy điện Đak Dring và Thượng Kon Tum bắt đầu vận hành lần lượt từ năm 2013 và 2021. Sau gần hai tháng vận hành, thủy điện Thượng Kon Tum bắt đầu ghi nhận xuất hiện động đất với cường độ 2,5 độ Richter đến 4,0 độ Richter, có trận độ lớn lên đến 5,1 độ Richter (ngày 28/07/2024 - nguồn USGS). Tính đến tháng 08/2024 tổng số trận động đất quan sát được đã vượt hơn 600 trận. Hoạt động động



chuyên động nội mảng cấp I Việt Nam [9] như đứt gãy Sông Hồng trượt bằng phải, đứt gãy Ba Tháp trượt bằng trái có biểu hiện hoạt động ở các mức độ khác nhau trong hiện tại (chế độ nâng khối tảng ở đới Kon Tum, Đà Lạt kèm phun trào bazan Kainozoi muộn, động đất, trượt lở,...) do ảnh hưởng của các quá trình đụng độ Ấn Độ - Châu Á và các chuyển động hiện đại dọc theo các ranh giới mảng bao quanh Đông Nam Châu Á.

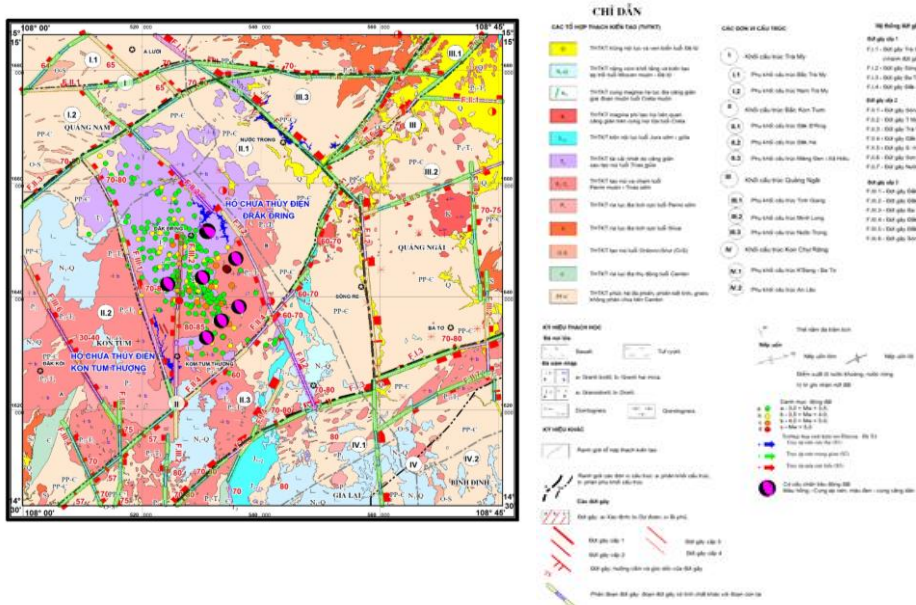
b) Đặc trưng địa chất

Cấu trúc khu vực Kon Plong, tỉnh Kon Tum và lân cận có thể chia làm 03 tầng cấu trúc chính [15–21]: (1) Tầng cấu trúc móng uốn nếp kết tinh tuổi Akei-Neoproterozoi không phân chia gồm chủ yếu các đá biến chất từ tương phiến lục đến granulit, đá phiến kết tinh, gneis là chính; (2) Tầng cấu trúc hoạt hóa magma - kiến tạo Paleozoi - Mesozoi gồm chủ yếu các đá granitoid tuổi Cambri đến Creta muộn và trầm tích - phun trào tuổi Mesozoi sớm - giữa; (3) Tầng cấu trúc lớp phủ Kainozoi gồm chủ yếu các đá bazan tuổi Miocen muộn đến Holocen và trầm tích Miocen giữa (hệ tầng Di Linh) đến Holocen. Bề dày lớp phủ không quá 110 m, bề dày trầm tích Đệ tứ không quá 10 m. Tầng cấu trúc này có thể chia ra 03 phụ tầng cấu trúc: (1) Phụ tầng cấu trúc trầm tích - phun trào bazan tholeit tuổi Miocen giữa - muộn; (2) Phụ tầng cấu trúc phun trào bazan tholeit-trầm tích tuổi Pliocen - Pleistocen giữa và (3) Phụ tầng cấu trúc trầm tích Pleistocen muộn - Holocen.

2. Số liệu sử dụng và phương pháp nghiên cứu

2.1. Số liệu sử dụng

Các dữ liệu trong bài báo bao gồm: 95 điểm khảo sát cấu trúc, kiến tạo (ĐKS) với hơn 202 mặt trượt vết xước (MTVX) đo đạc; 12 lộ trình địa chất với 106 điểm khảo sát đặc điểm khảo sát địa chất; 23 điểm khảo sát tại biển địa chất gồm sạt trượt lở, nứt đất, động đất; Danh mục trận động đất tính đến tháng 08/2024 với 08 trận động đất tính toán được cơ cấu chấn tiêu.



Hình 2. Sơ đồ kiến tạo và mức độ hoạt động đứt gãy khu vực Kon Plong, tỉnh Kon Tum và lân cận.

2.2. Phương pháp đánh giá và nhận dạng dấu hiệu hoạt động của đứt gãy

Các công trình của [22] đề cập đến vấn đề này, nghiên cứu [2] đã đưa ra 10 dấu hiệu phổ biến sau để nhận dạng đứt gãy đang hoạt động bao gồm:

1. Các đứt gãy thể hiện rõ trên địa hình hiện đại (DH1): Rất rõ (++), Rõ (+), có biểu hiện (-);
2. Thể hiện rõ trên ảnh vệ tinh (DH2): Rất rõ, liên tục (++); Rõ (+), không liên tục và mờ (-); Chưa rõ (?).

3. Biến đổi địa hình, địa mạo (DH3): Rất rõ (++), Rõ (+) Không rõ (-);
  4. Biến dạng trẻ (DH4): Kiểm soát và làm biến dạng các trũng Kainozoi (+), không kiểm soát (-);
  5. Hoạt động núi lửa Đệ tứ và hiện đại (DH5): Hoạt động mạnh (++++), Vừa (+++) và có hoạt động (++) , Neogen (+), không hoạt động (-);
  6. Nguồn nước nóng hoặc nước khoáng, địa nhiệt (DH6): Mạnh, tập trung (++) , Rời rạc (+), không có (-),
  7. Tai biến địa chất: trượt, sạt lở tự nhiên, nứt đất (DH7): Mạnh, tập trung: (++) , Rời rạc (+), không có (-);
  8. Dấu hiệu dị thường thoát khí radon, thủy ngân (DH8): dị thường bậc 3-mạnh (+++), bậc 2-vừa (++) , bậc 1- yếu (+).
  9. Chuyển động hiện đại (trắc địa, đo lặp thủy chuẩn, GPS, đo biến dạng, biến dạng Tân kiến tạo - hiện đại tương đối (DH9) được ký hiệu: Mạnh - tốc độ chuyển động hiện đại lớn hơn 5mm/năm (+++), vừa 2-5 mm/năm (++) , yếu hoặc không rõ nhỏ hơn 2 mm/năm (+).
  10. Chấn tiêu động đất (DH10): Mạnh ( $M_s \geq 7,0$ ) ký hiệu (++++), Cao ( $M_s = 6,0-6,9$ ) ký hiệu (++++), trung bình ( $M_s = 5,0-5,9$ ) ký hiệu (+++), thấp ( $M_s = 4,0-4,9$ ) ký hiệu (++) , Yếu ( $M_s = 2,5-4,0$ ) ký hiệu (+) và rất yếu (nhỏ hơn 2,5) có ký hiệu (-).
- Đứt gãy hoạt động rất rõ biểu hiện hoạt động phải thỏa mãn dấu hiệu 10 (DH10), dấu hiệu 9 (DH9); Đứt gãy hoạt động rõ cần thỏa mãn các dấu hiệu từ DH1 đến DH8; Đứt gãy có biểu hiện hoạt động cần thỏa mãn các dấu hiệu từ DH1 đến DH6; Đứt gãy chưa rõ mức độ hoạt động nghĩa là chưa rõ các dấu hiệu nói trên.

**Bảng 1.** Phương pháp đánh giá và nhận dạng dấu hiệu hoạt động của đứt gãy.

| STT | Dấu hiệu nhận dạng                             | Ký hiệu | Giá trị đánh giá                        |  |                                       |   |                          |
|-----|--|---------|---|--|---------------------------------------|---|--------------------------|
|     |  |         | Mức 4                                   | Mức 3                                  | Mức 2                                 | Mức 1   | -                        |
| 1   | Thể hiện trên địa hình hiện đại                | DH1     |   |  | Rất rõ                                | Rõ  | Có biểu hiện             |
| 2   | Thể hiện trên ảnh vệ tinh                      | DH2     |   |  | Rất rõ, liên tục                      | Rõ  | Không liên tục và mờ     |
| 3   | Dấu hiệu biến đổi địa hình, địa mạo            | DH3     |   |  | Rất rõ                                | Rõ  | Có biểu hiện             |
| 4   | Dấu hiệu về biến dạng trẻ                      | DH4     |   |  |                                       | Kiểm soát và làm biến dạng các trũng Kainozoi | Không kiểm soát          |
| 5   | Hoạt động núi lửa và hiện đại                  | DH5     | Hoạt động mạnh trong giai đoạn hiện đại | Hoạt động vừa trong giai đoạn hiện đại | Có hoạt động trong giai đoạn hiện đại | Hoạt động trong Neogen                        | Không ghi nhận hoạt động |
| 6   | Nguồn nước nóng hoặc nước khoáng, địa nhiệt    | DH6     |   |  | Hoạt động mạnh, tập trung             | Rời rạc                                       | Không có                 |
| 7   | Các hiện tượng trượt, sạt lở tự nhiên, nứt đất | DH7     |   |  | Hoạt động mạnh, tập trung             | Rời rạc                                       | Không có                 |
| 8   | Dấu hiệu dị thường thoát khí radon, thủy ngân  | DH8     |   | Dị thường bậc 3 - mạnh                 | Dị thường bậc 2 - vừa                 | Dị thường bậc 1 - yếu                         |                          |



+ Đới dị thường photolineament Thạch Nham (P8): Photolineament phương đông bắc - tây nam, kéo dài khoảng 30 km, bề rộng đới ảnh hưởng khoảng 5 km. Mật độ đạt 3,2 km/km<sup>2</sup>. Đới sánh đới có phương gần trùng với phương của đứt gãy Thạch Nham.

+ Đới dị thường photolineament Ba Tơ - Kỳ Lân (P9): Phương Bắc Tây Bắc- Nam Đông Nam, khoảng 45 km, bề rộng khoảng 1,5-2 km, đới photolineament có phương trùng với phương đới ảnh hưởng động lực của đứt gãy Ba Tơ - Củng Sơn. Mật độ đạt 2,6 km/km<sup>2</sup>.

Kết quả khảo sát thực địa cho thấy các đới photolineament nói trên đều có bản chất là các đới đứt gãy kiến tạo đã chi phối hướng phát triển địa hình, sông suối, có biểu hiện cà nát, đập vỡ, nước khoáng và nước nóng, dị thường trọng lực, dị thường khí (Rn, Th) ...[1, 4] ở các mức độ khác nhau (Hình 4 và Hình 5).

**Bảng 2.** Đặc trưng hình thái và động học các đứt gãy chính trong khu vực nghiên cứu.

| STT                  | Tên đứt gãy                      | Phương  | Cấp | HD/GD                                 | Độ dài (km) | BR, độ sâu AH (km) | DC trong N2-Q |
|----------------------|----------------------------------|---------|-----|---------------------------------------|-------------|--------------------|---------------|
| <b>Đứt gãy cấp 1</b> |                                  |         |     |                                       |             |                    |               |
| F.I.1                | Trà Xanh - Di Lăng               | TB-ĐN   | 1   | ĐB/ 70 <sup>0</sup> -75 <sup>0</sup>  | >45         | 7-10, XV           | Bp -Th        |
| F.I.2                | Sông Re                          | AKT     | 1   | Đ/ 70 <sup>0</sup> - 80 <sup>0</sup>  | >32         | 4, XV              | Bt-Th         |
| F.I.3                | Ba Tơ - Kon Tum                  | ĐB - TN | 1   | ĐN/ 60 <sup>0</sup> - 87 <sup>0</sup> | >35         | 8-13, XV           | B?-Th         |
| F.I.4                | Đắk Pnê - Kon Ka Rinh            | ĐB - TN | 1   | ĐN/ 40 <sup>0</sup> - 80 <sup>0</sup> | >20         | 25, XV             | B?Th          |
| <b>Đứt gãy cấp 2</b> |                                  |         |     |                                       |             |                    |               |
| F.II.1               | Sông Giang                       | AVT     | 2   | B/40-50 <sup>0</sup>                  | >66         | 4, V               | ?             |
| F.II.2               | T - Meo                          | TB- ĐN  | 2   | TN/70-80 <sup>0</sup>                 | >50         | 6-10, V            | Bp-Th         |
| F.II.3               | Trà Vân - Trà Nam                | ĐB- TN  | 2   | TB/70-75 <sup>0</sup>                 | >49         | 2.2, V             | Bt-Th         |
| F.II.4               | Đắk Răm - Măng Cành - Sơn Thượng | ĐB - TN | 2   | ĐN/ 45-71 <sup>0</sup>                | >60         | 12, V              | Bt-Th         |
| F.II.5               | S. Hà Vĩnh - S. Cà Đú            | AVT     | 2   | N 60 <sup>0</sup>                     | >60         | ?                  | ?             |
| F.II.6               | Sơn Cao - Nghĩa Hòa              | ĐB - TN | 2   | ĐN/70-85 <sup>0</sup>                 | >41         | , XV               | Bt-Th         |
| F.II.7               | Nước Đàng.                       | ĐB-TN   | 2   | TB/60-75 <sup>0</sup>                 | ~26         | , XV               | Bt - Th       |
| <b>Đứt gãy cấp 3</b> |                                  |         |     |                                       |             |                    |               |
| F.III.1              | Đắk Nghệ                         | BTB-NDN | 3   | ĐDB/70-80 <sup>0</sup>                | >47         | 3-5, V             | Bt - Th       |
| F.III.2              | Đắk Rinh                         | AKT     | 3   | Đ/85-89 <sup>0</sup>                  | >47         | 2, V               | Bt - Th       |
| F.III.3              | Ba Tơ - Củng Sơn                 | AKT     | 3   | Đ/70-80 <sup>0</sup>                  | >25         | 6, ?               | Bt-Ng         |
| F.III.4              | Đắk Grei                         | TB - ĐN | 3   | ĐB/70 <sup>0</sup>                    | >250        | 20, ?              | Bp - Th       |
| F.III.5              | Đắk Kôi - Đắk Bla                | AKT     | 3   | Đ/60 <sup>0</sup> - 70 <sup>0</sup>   | ~ 37        | 6, ?               | ?             |
| F.III.6              | Sông Đắk Kôi                     | TB - ĐN | 3   | ĐB/30-50 <sup>0</sup>                 | >38         | 2 - 3, V           | Bp -Th        |

Ghi chú: B - Bắc, N - Nam, Đ-Đông, T - Tây; BR- bề rộng, AH - ảnh hưởng, N2 - Q (Pliocen - Đệ tứ), Bt - Bằng trái; ? - Chưa rõ thông tin.

### 3.2. Kết quả phân tích đứt gãy hoạt động

Qua các đánh giá 181 phân đoạn đứt gãy tương ứng với 17 đứt gãy khu vực (Hình 4, Bảng 3) cho thấy:

#### a) Các đứt gãy phương Tây Bắc - Đông Nam

Các phân đoạn đứt gãy thuộc các đứt gãy T - Meo, đứt gãy Đắk Nghệ, đứt gãy Đắk Đrinh, đứt gãy sông Đắk Kôi xung quanh khu vực hồ chứa thủy điện Thượng Kon Tum và hồ thủy điện Đắk Đrinh có biểu hiện hoạt động từ rõ đến rất rõ. Đặc trưng hoạt động của các đứt gãy này thể hiện qua đới tập trung chấn tâm động đất kéo dài theo phương Bắc Tây Bắc - Nam Đông Nam, có Ms = 2,5-5,0 độ Richter, các ghi nhận về tai biến sạt trượt lở, nứt đất và dị thường bậc 1 của thoát khí Radon (Hình 5).

#### b) Các đứt gãy phương kinh tuyến - á kinh tuyến

Các phân đoạn đứt gãy Đắk Rinh kế cận khu vực hồ chứa Thượng Kon Tum và Đắk Đrinh có biểu hiện hoạt động rõ rệt, được nhận biết qua sự phân bố chấn tâm động đất và hiện tượng nứt đất. Ngoài ra, một số phân đoạn đứt gãy sông Re và đứt gãy Ba Tơ - Củng Sơn cũng thể hiện hoạt động với dấu hiệu nhận biết chính là các hiện tượng nứt đất.



c) Các đứt gãy phương Đông Bắc - Tây Nam.

Đa phần là các đứt gãy không có biểu hiện hoạt động hoặc hoạt động rất yếu. Một số phân đoạn đứt gãy thuộc đứt gãy Đắk Răm - Măng Cành - Sơn Thượng nằm xung quanh khu vực hồ chứa Thượng Kon Tum có biểu hiện hoạt động với biểu hiện nhận dạng là các chấn tâm động đất và các xuất lộ nước khoáng nước nóng.

d) Các đứt gãy phương vĩ tuyến chủ yếu không rõ mức độ hoạt động.

Nhìn chung, chuỗi sinh chấn gần đây phân bố chủ yếu liên quan đến các hệ thống đứt gãy có biểu hiện hoạt động rất rõ và biểu hiện hoạt động rõ; Đặc biệt, tần suất và cường độ động đất tăng cao tại nơi giao cắt của các hệ thống đứt gãy có biểu hiện hoạt động như tại vị trí các hồ thủy điện Thượng Kon Tum và Đrăk Đring.

**Bảng 3.** Đánh giá dấu hiệu hoạt động và mức độ hoạt động của các đoạn đứt gãy khu vực nghiên cứu dựa trên bộ tiêu chí.

| STT  | Tên đứt gãy                   | DH1 | DH2 | DH3 | DH4 | DH5 | DH6 | DH7 | DH8 | DH9 | DH10 | MD hoạt động |
|------|-------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|--------------|
| 1    | Đứt gãy Trà Xanh - Di Lăng    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |              |
| 1.1  | F.I.1-1                       | 1   | -   | 1   | 1   | -   | -   | -   | -   | 1   | 1    | Rõ           |
| 1.2  | F.I.1-2                       | 1   | -   | 1   | 1   | -   | -   | -   | -   | 1   | -    | Chưa rõ      |
| 1.3  | F.I.1-3                       | 2   | 1   | 1   | 1   | -   | -   | -   | -   | 1   | -    | Chưa rõ      |
| 1.4  | F.I.1-4                       | 2   | 1   | 1   | 1   | -   | -   | -   | -   | 1   | -    | Chưa rõ      |
| 1.5  | F.I.1-5                       | 2   | 1   | 1   | 1   | -   | -   | 1   | -   | 1   | 1    | Có biểu hiện |
| 1.6  | F.I.1-6                       | 1   | -   | -   | -   | -   | -   | -   | -   | 1   | -    | Chưa rõ      |
| 1.7  | F.I.1-7                       | 2   | 1   | 1   | 1   | -   | -   | -   | -   | 1   | -    | Chưa rõ      |
| 1.8  | F.I.1-8                       | 1   | -   | -   | -   | -   | -   | -   | -   | 1   | -    | Chưa rõ      |
| 2    | Đứt gãy Sông Re               |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |              |
| 2.1  | F.I.2-1                       | 1   | -   | -   | -   | -   | -   | -   | -   | 1   | -    | Chưa rõ      |
| 2.2  | F.I.2-2                       | 1   | -   | -   | -   | -   | -   | -   | -   | 1   | -    | Chưa rõ      |
| 2.3  | F.I.2-3                       | 1   | -   | -   | -   | -   | -   | -   | -   | 1   | -    | Chưa rõ      |
| 2.4  | F.I.2-4                       | 1   | -   | -   | -   | -   | -   | -   | -   | 1   | -    | Chưa rõ      |
| 2.5  | F.I.2-5                       | 1   | -   | -   | -   | -   | -   | -   | -   | 1   | -    | Chưa rõ      |
| 2.6  | F.I.2-6                       | 1   | -   | 1   | -   | -   | -   | -   | -   | 1   | -    | Chưa rõ      |
| 2.7  | F.I.2-7                       | 2   | 1   | 1   | 1   | -   | -   | -   | -   | 1   | -    | Chưa rõ      |
| 2.8  | F.I.2-8                       | 2   | 1   | 1   | 1   | -   | -   | -   | -   | 1   | -    | Chưa rõ      |
| 2.9  | F.I.2-9                       | 2   | 2   | 2   | 1   | -   | -   | 1   | -   | 1   | 1    | Có biểu hiện |
| 2.1  | F.I.2-10                      | 2   | 2   | 2   | 1   | -   | -   | -   | -   | 1   | -    | Có biểu hiện |
| 2.11 | F.I.2-11                      | 1   | 1   | 1   | 1   | -   | -   | 1   | -   | 1   | 1    | Có biểu hiện |
| 2.12 | F.I.2-12                      | 1   | 1   | 1   | -   | -   | -   | -   | -   | 1   | -    | Chưa rõ      |
| 3    | Đứt gãy Ba Tơ - Kon Tum       |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |              |
| 3.1  | F.I.3-1                       | 2   | 2   | 1   | 1   | -   | -   | 1   | -   | 1   | -    | Chưa rõ      |
| 3.2  | F.I.3-2                       | 2   | 2   | 1   | 1   | -   | -   | 1   | -   | 1   | -    | Có biểu hiện |
| 3.3  | F.I.3-3                       | 2   | 2   | 1   | 1   | -   | -   | -   | -   | 1   | 1    | Chưa rõ      |
| 3.4  | F.I.3-4                       | 2   | 1   | 1   | 1   | -   | -   | -   | -   | 1   | -    | Chưa rõ      |
| 3.5  | F.I.3-5                       | 1   | -   | 1   | -   | -   | -   | -   | -   | 1   | -    | Chưa rõ      |
| 3.6  | F.I.3-6                       | 1   | -   | 1   | -   | -   | -   | -   | -   | 1   | -    | Chưa rõ      |
| 3.7  | F.I.3-7                       | 1   | -   | 1   | -   | -   | -   | -   | -   | 1   | -    | Chưa rõ      |
| 3.8  | F.I.3-8                       | 1   | -   | 1   | -   | -   | -   | -   | -   | 1   | -    | Chưa rõ      |
| 3.9  | F.I.3-9                       | -   | -   | -   | -   | -   | -   | 1   | -   | 1   | -    | Có biểu hiện |
| 3.1  | F.I.3-10                      | 1   | 1   | -   | -   | -   | -   | -   | -   | 1   | -    | Chưa rõ      |
| 3.11 | F.I.3-11                      | 1   | 1   | -   | 1   | -   | -   | -   | -   | 1   | -    | Chưa rõ      |
| 3.12 | F.I.3-12                      | 1   | 1   | 1   | 1   | -   | -   | -   | -   | 1   | -    | Chưa rõ      |
| 4    | Đứt gãy Đắk Pnè - Kon Ka Rinh |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |              |
| 4.1  | F.I.4-1                       | 1   | 1   | 1   | -   | -   | -   | -   | -   | 1   | -    | Chưa rõ      |
| 4.2  | F.I.4-2                       | 1   | -   | -   | -   | -   | -   | 1   | -   | 1   | -    | Chưa rõ      |
| 4.3  | F.I.4-3                       | 1   | -   | -   | -   | -   | -   | -   | -   | 1   | -    | Chưa rõ      |
| 4.4  | F.I.4-4                       | 1   | -   | -   | -   | -   | -   | -   | -   | 1   | 1    | Có biểu hiện |
| 4.5  | F.I.4-5                       | 1   | 1   | 1   | 1   | -   | -   | -   | -   | 1   | 1    | Có biểu hiện |
| 5    | Đứt gãy sông Giang            |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |              |
| 5.1  | F.II.1-1                      | 2   | 2   | 1   | 1   | -   | 1   | -   | -   | 1   | -    | Chưa rõ      |
| 5.2  | F.II.1-2                      | 2   | 2   | 1   | 1   | -   | -   | -   | -   | 1   | -    | Có biểu hiện |
| 5.3  | F.II.1-3                      | 2   | 2   | 1   | 1   | -   | -   | -   | -   | 1   | -    | Chưa rõ      |
| 5.4  | F.II.1-4                      | -   | -   | -   | -   | -   | -   | -   | -   | 1   | -    | Chưa rõ      |
| 5.5  | F.II.1-5                      | -   | -   | -   | -   | -   | -   | -   | -   | 1   | -    | Chưa rõ      |
| 5.6  | F.II.1-6                      | 1   | 1   | -   | -   | -   | -   | -   | -   | 1   | -    | Chưa rõ      |
| 5.7  | F.II.1-7                      | 1   | 1   | 1   | -   | -   | -   | -   | -   | 1   | -    | Chưa rõ      |
| 5.8  | F.II.1-8                      | 1   | 1   | -   | -   | -   | -   | -   | -   | 1   | -    | Chưa rõ      |
| 5.9  | F.II.1-9                      | 1   | 1   | 1   | -   | -   | -   | 1   | -   | 1   | -    | Chưa rõ      |
| 5.1  | F.II.1-10                     | 1   | 1   | 1   | -   | -   | -   | -   | -   | 1   | -    | Chưa rõ      |
| 5.11 | F.II.1-11                     | 1   | 1   | -   | -   | -   | -   | -   | -   | 1   | -    | Chưa rõ      |

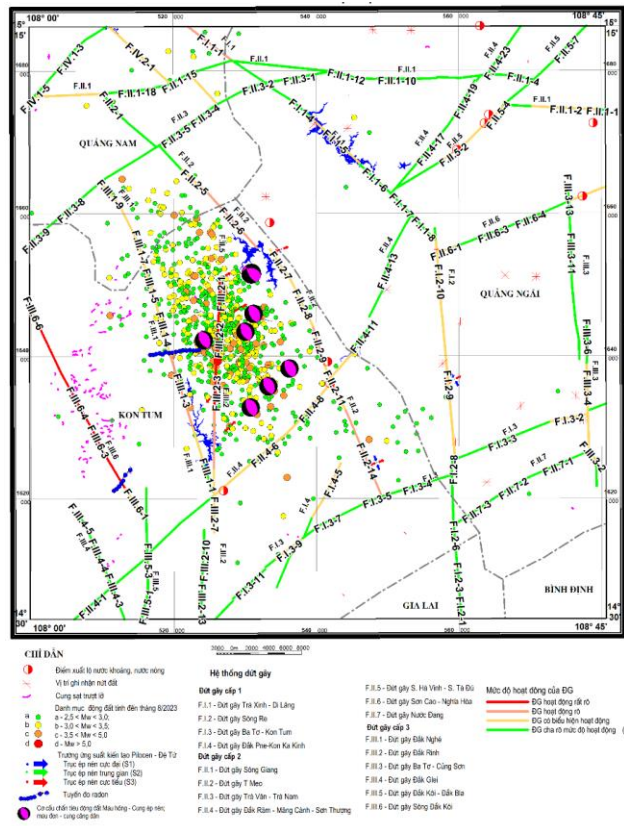
| STT  | Tên đứt gãy                              | DH1 | DH2 | DH3 | DH4 | DH5 | DH6 | DH7 | DH8 | DH9 | DH10 | MĐ hoạt động |
|------|--|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|--------------|
| 5.12 | F.II.1-12                                | -   | -   | -   | -   | -   | -   | -   | -   | 1   | -    | Chưa rõ      |
| 5.13 | F.II.1-13                                | 2   | 2   | 1   | 1   | -   | -   | -   | -   | 1   | -    | Chưa rõ      |
| 5.14 | F.II.1-14                                | -   | -   | -   | -   | -   | -   | -   | -   | 1   | -    | Chưa rõ      |
| 5.15 | F.II.1-15                                | -   | -   | -   | -   | -   | -   | -   | -   | 1   | -    | Chưa rõ      |
| 5.16 | F.II.1-16                                | -   | -   | -   | -   | -   | -   | -   | -   | 1   | -    | Chưa rõ      |
| 5.17 | F.II.1-17                                | -   | -   | -   | -   | -   | -   | -   | -   | 1   | -    | Chưa rõ      |
| 5.18 | F.II.1-18                                | -   | -   | -   | -   | -   | -   | -   | -   | 1   | -    | Chưa rõ      |
| 5.19 | F.II.1-19                                | -   | -   | -   | -   | -   | -   | -   | -   | 1   | -    | Chưa rõ      |
| 5.2  | F.II.1-20                                | 1   | 1   | -   | -   | -   | -   | -   | -   | 1   | -    | Chưa rõ      |
| 5.21 | F.II.1-21                                | 1   | 1   | 1   | -   | -   | -   | 1   | -   | 1   | 1    | Có biểu hiện |
| 6    | Đứt gãy T-Meo                            |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |              |
| 6.1  | F.II.2-1                                 | 2   | 2   | 2   | 1   | -   | -   | -   | -   | 1   | -    | Chưa rõ      |
| 6.2  | F.II.2-2                                 | 2   | 2   | 2   | -   | -   | -   | -   | -   | 1   | -    | Chưa rõ      |
| 6.3  | F.II.2-3                                 | 2   | 2   | 2   | -   | -   | -   | -   | -   | 1   | -    | Chưa rõ      |
| 6.4  | F.II.2-4                                 | 2   | 2   | 2   | -   | -   | -   | -   | -   | 1   | -    | Chưa rõ      |
| 6.5  | F.II.2-5                                 | 2   | 2   | 2   | -   | -   | -   | -   | -   | 1   | 1    | Có biểu hiện |
| 6.6  | F.II.2-6                                 | 2   | 2   | 2   | 1   | -   | 1   | -   | -   | 1   | 1    | Rõ           |
| 6.7  | F.II.2-7                                 | 1   | 1   | 1   | -   | -   | -   | -   | -   | 1   | -    | Có biểu hiện |
| 6.8  | F.II.2-8                                 | 1   | 1   | 1   | -   | -   | -   | -   | -   | 1   | 1    | Có biểu hiện |
| 6.9  | F.II.2-9                                 | 2   | 2   | 2   | 1   | -   | -   | -   | -   | 1   | 1    | Rõ           |
| 6.1  | F.II.2-10                                | 1   | 1   | 1   | -   | -   | -   | -   | -   | 1   | 1    | Có biểu hiện |
| 6.11 | F.II.2-11                                | 2   | 2   | 2   | 1   | -   | -   | -   | -   | 1   | 1    | Rõ           |
| 6.12 | F.II.2-12                                | 1   | 1   | 1   | -   | -   | -   | -   | -   | 1   | 1    | Có biểu hiện |
| 6.13 | F.II.2-13                                | 1   | 1   | 1   | -   | -   | -   | -   | -   | 1   | 1    | Rõ           |
| 6.14 | F.II.2-14                                | 1   | 1   | 1   | -   | -   | -   | -   | -   | 1   | 1    | Rõ           |
| 7    | Đứt gãy Trà Vân - Trà Nam                |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |              |
| 7.1  | F.II.3-1                                 | 1   | 1   | 1   | -   | -   | -   | -   | -   | 1   | -    | Chưa rõ      |
| 7.2  | F.II.3-2                                 | 1   | 1   | 1   | -   | -   | -   | -   | -   | 1   | -    | Chưa rõ      |
| 7.3  | F.II.3-3                                 | -   | -   | -   | -   | -   | -   | -   | -   | 1   | 1    | Chưa rõ      |
| 7.4  | F.II.3-4                                 | -   | ?   | -   | -   | -   | -   | -   | -   | 1   | -    | Chưa rõ      |
| 7.5  | F.II.3-5                                 | 1   | 1   | 1   | -   | -   | -   | -   | -   | 1   | -    | Chưa rõ      |
| 7.6  | F.II.3-6                                 | -   | -   | -   | -   | -   | -   | -   | -   | 1   | -    | Chưa rõ      |
| 7.7  | F.II.3-7                                 | -   | -   | -   | -   | -   | -   | -   | -   | 1   | -    | Chưa rõ      |
| 7.8  | F.II.3-8                                 | 1   | 1   | 1   | -   | -   | -   | -   | -   | 1   | -    | Chưa rõ      |
| 7.9  | F.II.3-9                                 | 1   | 1   | 1   | -   | -   | -   | -   | -   | 1   | -    | Chưa rõ      |
| 8    | Đứt gãy Đắc Răm - Mãng Cảnh - Sơn Thượng |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |              |
| 8.1  | F.II.4-1                                 | 1   | 1   | 1   | -   | -   | -   | -   | -   | 1   | -    | Chưa rõ      |
| 8.2  | F.II.4-2                                 | 1   | 1   | 1   | -   | -   | -   | -   | -   | 1   | -    | Chưa rõ      |
| 8.3  | F.II.4-3                                 | 1   | 1   | 1   | -   | -   | -   | -   | -   | 1   | -    | Chưa rõ      |
| 8.4  | F.II.4-4                                 | -   | ?   | -   | -   | -   | -   | -   | -   | 1   | -    | Chưa rõ      |
| 8.5  | F.II.4-5                                 | -   | -   | -   | -   | -   | 1   | -   | -   | 1   | -    | Có biểu hiện |
| 8.6  | F.II.4-6                                 | 1   | 2   | 1   | -   | -   | -   | -   | -   | 1   | 1    | Có biểu hiện |
| 8.7  | F.II.4-7                                 | 1   | 1   | 1   | -   | -   | -   | -   | -   | 1   | -    | Có biểu hiện |
| 8.8  | F.II.4-8                                 | -   | -   | -   | -   | -   | -   | -   | -   | 1   | 1    | Có biểu hiện |
| 8.9  | F.II.4-9                                 | -   | ?   | -   | -   | -   | 1   | -   | -   | 1   | -    | Có biểu hiện |
| 8.1  | F.II.4-10                                | 2   | 2   | 2   | 1   | -   | -   | -   | -   | 1   | 1    | Có biểu hiện |
| 8.11 | F.II.4-11                                | 2   | 2   | 2   | 1   | -   | -   | -   | -   | 1   | -    | Chưa rõ      |
| 8.12 | F.II.4-12                                | 1   | 1   | 1   | -   | -   | -   | 1   | -   | 1   | -    | Chưa rõ      |
| 8.13 | F.II.4-13                                | -   | -   | -   | -   | -   | -   | -   | -   | 1   | -    | Chưa rõ      |
| 8.14 | F.II.4-14                                | 1   | 1   | 1   | -   | -   | -   | -   | -   | 1   | -    | Chưa rõ      |
| 8.15 | F.II.4-15                                | 2   | 2   | 2   | -   | -   | -   | -   | -   | 1   | -    | Chưa rõ      |
| 8.16 | F.II.4-16                                | 1   | 1   | 1   | -   | -   | -   | -   | -   | 1   | -    | Chưa rõ      |
| 8.17 | F.II.4-17                                | 1   | 1   | 1   | -   | -   | -   | -   | -   | 1   | -    | Chưa rõ      |
| 8.18 | F.II.4-18                                | 1   | 1   | 1   | -   | -   | -   | -   | -   | 1   | -    | Chưa rõ      |
| 8.19 | F.II.4-19                                | 1   | 1   | 1   | -   | -   | -   | -   | -   | 1   | -    | Chưa rõ      |
| 8.2  | F.II.4-20                                | 1   | 1   | 1   | -   | -   | -   | -   | -   | 1   | -    | Chưa rõ      |
| 8.21 | F.II.4-21                                | -   | -   | -   | -   | -   | -   | -   | -   | 1   | -    | Chưa rõ      |
| 8.22 | F.II.4-22                                | -   | -   | -   | -   | -   | -   | -   | -   | 1   | -    | Chưa rõ      |
| 8.23 | F.II.4-23                                | 1   | 1   | 1   | -   | -   | -   | -   | -   | 1   | -    | Chưa rõ      |
| 8.24 | F.II.4-24                                | 1   | 2   | 2   | -   | -   | -   | -   | -   | 1   | -    | Chưa rõ      |
| 9    | Đứt gãy S. Hà Vinh - S. Cà Đú            |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |              |
| 9.1  | F.II.5-1                                 | 1   | 1   | 1   | -   | -   | -   | -   | -   | 1   | -    | Chưa rõ      |
| 9.2  | F.II.5-2                                 | 2   | 2   | 2   | -   | -   | 1   | 1   | -   | 1   | -    | Có biểu hiện |
| 9.3  | F.II.5-3                                 | 1   | 1   | 1   | -   | -   | 2   | -   | -   | 1   | -    | Có biểu hiện |
| 9.4  | F.II.5-4                                 | 2   | 2   | 2   | 1   | -   | 1   | -   | -   | 1   | -    | Có biểu hiện |
| 9.5  | F.II.5-5                                 | 2   | 2   | 2   | 1   | -   | -   | -   | -   | 1   | -    | Chưa rõ      |
| 9.6  | F.II.5-6                                 | 1   | 1   | 1   | -   | -   | -   | -   | -   | 1   | -    | Chưa rõ      |
| 9.7  | F.II.5-7                                 | 1   | 1   | 1   | -   | -   | -   | -   | -   | 1   | -    | Chưa rõ      |
| 9.8  | F.II.5-8                                 | 1   | 1   | 1   | -   | -   | -   | -   | -   | 1   | -    | Chưa rõ      |
| 10   | Đứt gãy Sơn Cao - Nghĩa Hòa              |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |              |
| 10.1 | F.II.6-1                                 | 1   | 1   | 1   | -   | -   | -   | 1   | -   | 1   | 1    | Có biểu hiện |

| STT   | Tên đứt gãy               | DH1 | DH2 | DH3 | DH4 | DH5 | DH6 | DH7 | DH8 | DH9 | DH10 | MĐ hoạt động |
|-------|---------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|--------------|
| 10.2  | F.II.6-2                  | -   | ?   | -   | -   | -   | -   | -   | -   | 1   | -    | Chưa rõ      |
| 10.3  | F.II.6-3                  | 1   | 1   | 1   | -   | -   | -   | -   | -   | 1   | -    | Chưa rõ      |
| 10.4  | F.II.6-4                  | 1   | 1   | 1   | -   | -   | -   | -   | -   | 1   | -    | Chưa rõ      |
| 10.5  | F.II.6-5                  | 1   | 1   | 1   | -   | -   | -   | -   | -   | 1   | -    | Chưa rõ      |
| 10.6  | F.II.6-6                  | 1   | 1   | 1   | -   | -   | 1   | -   | -   | 1   | -    | Có biểu hiện |
| 11    | Đứt gãy Nước Đàng         |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |              |
| 11.1  | F.II.7-1                  | 2   | 2   | 2   | 1   | -   | -   | -   | -   | 1   | -    | Chưa rõ      |
| 11.2  | F.II.7-2                  | 1   | 1   | 1   | -   | -   | -   | -   | -   | 1   | 1    | Chưa rõ      |
| 11.3  | F.II.7-3                  | 2   | 2   | 2   | 1   | -   | -   | 1   | -   | 1   | -    | Chưa rõ      |
| 12    | Đứt gãy Đắc Nghệ          |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |              |
| 12.1  | F.III.1-1                 | 2   | 2   | 2   | 1   | -   | -   | -   | -   | 1   | -    | Chưa rõ      |
| 12.2  | F.III.1-2                 | 1   | 1   | 1   | -   | -   | -   | -   | -   | 1   | 1    | Có biểu hiện |
| 12.3  | F.III.1-3                 | 1   | 1   | 1   | 1   | -   | -   | -   | -   | 3   | 1    | Rõ           |
| 12.4  | F.III.1-4                 | 2   | 2   | 2   | 1   | -   | -   | -   | -   | 3   | 1    | Có biểu hiện |
| 12.5  | F.III.1-5                 | 2   | 2   | 2   | 1   | -   | -   | -   | -   | 1   | 1    | Có biểu hiện |
| 12.6  | F.III.1-6                 | 1   | 1   | 1   | -   | -   | -   | -   | -   | 1   | 1    | Có biểu hiện |
| 12.7  | F.III.1-7                 | -   | -   | -   | -   | -   | -   | -   | -   | 1   | -    | Có biểu hiện |
| 12.8  | F.III.1-8                 | 1   | 1   | 1   | -   | -   | -   | -   | -   | 1   | 1    | Có biểu hiện |
| 12.9  | F.III.1-9                 | 1   | 1   | 1   | 1   | -   | -   | -   | -   | 1   | 1    | Có biểu hiện |
| 13    | Đứt gãy Đắc Ninh          |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |              |
| 13.1  | F.III.2-1                 | 2   | 2   | 2   | 1   | -   | -   | -   | -   | 1   | 1    | Rất rõ       |
| 13.2  | F.III.2-2                 | 2   | 2   | 2   | 1   | -   | -   | -   | -   | 1   | 1    | Rất rõ       |
| 13.3  | F.III.2-3                 | 1   | 1   | 1   | -   | -   | -   | -   | -   | 1   | 2    | Rất rõ       |
| 13.4  | F.III.2-4                 | 1   | 1   | 1   | -   | -   | -   | -   | -   | 1   | 1    | Rõ           |
| 13.5  | F.III.2-5                 | 1   | 1   | 1   | -   | -   | -   | -   | -   | 1   | 1    | Rõ           |
| 13.6  | F.III.2-6                 | -   | -   | -   | -   | -   | -   | -   | -   | 1   | -    | Có biểu hiện |
| 13.7  | F.III.2-7                 | 2   | 2   | 2   | 1   | -   | -   | -   | -   | 1   | -    | Có biểu hiện |
| 13.8  | F.III.2-8                 | 2   | 2   | 2   | -   | -   | -   | -   | -   | 1   | -    | Chưa rõ      |
| 13.9  | F.III.2-9                 | 1   | 1   | 1   | 1   | -   | -   | -   | -   | 1   | -    | Chưa rõ      |
| 13.1  | F.III.2-10                | 1   | 1   | 1   | -   | -   | -   | -   | -   | 1   | -    | Chưa rõ      |
| 13.11 | F.III.2-11                | 1   | 1   | 1   | -   | -   | -   | -   | -   | 1   | -    | Chưa rõ      |
| 13.12 | F.III.2-12                | 2   | 2   | 2   | 1   | -   | -   | -   | -   | 1   | -    | Chưa rõ      |
| 13.13 | F.III.2-13                | 2   | 2   | 2   | 1   | -   | -   | -   | -   | 1   | -    | Chưa rõ      |
| 13.14 | F.III.2-14                | -   | -   | -   | -   | -   | -   | -   | -   | 1   | -    | Chưa rõ      |
| 14    | Đứt gãy Ba Tư - Củng Sơn  |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |              |
| 14.1  | F.III.3-1                 | 2   | 2   | 2   | 1   | -   | -   | -   | -   | 1   | -    | Chưa rõ      |
| 14.2  | F.III.3-2                 | 2   | 2   | 2   | 1   | -   | -   | 1   | -   | 1   | -    | Có biểu hiện |
| 14.3  | F.III.3-3                 | 2   | 2   | 2   | 1   | -   | -   | 1   | -   | 1   | -    | Có biểu hiện |
| 14.4  | F.III.3-4                 | 2   | 2   | 2   | 1   | -   | -   | 1   | -   | 1   | -    | Có biểu hiện |
| 14.5  | F.III.3-5                 | 1   | 1   | 1   | 1   | -   | -   | -   | -   | 1   | -    | Chưa rõ      |
| 14.6  | F.III.3-6                 | 1   | 1   | 1   | -   | -   | -   | -   | -   | 1   | -    | Chưa rõ      |
| 14.7  | F.III.3-7                 | 1   | 1   | 1   | -   | -   | -   | -   | -   | 1   | -    | Chưa rõ      |
| 14.8  | F.III.3-8                 | 1   | 1   | 1   | -   | -   | -   | -   | -   | 1   | -    | Chưa rõ      |
| 14.9  | F.III.3-9                 | 1   | 1   | 1   | -   | -   | -   | -   | -   | 1   | -    | Chưa rõ      |
| 14.1  | F.III.3-10                | 2   | 2   | 2   | -   | -   | -   | -   | -   | 1   | -    | Chưa rõ      |
| 14.11 | F.III.3-11                | 2   | 2   | 2   | 1   | -   | -   | -   | -   | 1   | -    | Chưa rõ      |
| 14.12 | F.III.3-12                | 1   | 1   | 1   | 1   | -   | -   | -   | -   | 1   | -    | Chưa rõ      |
| 14.13 | F.III.3-13                | 1   | 1   | 1   | -   | -   | -   | -   | -   | 1   | -    | Chưa rõ      |
| 15    | Đứt gãy Đắc Grei          |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |              |
| 15.1  | F.III.4-1                 | 1   | 1   | 1   | -   | -   | -   | -   | -   | 1   | -    | Chưa rõ      |
| 15.2  | F.III.4-2                 | 1   | 1   | 1   | -   | -   | -   | -   | -   | 1   | -    | Chưa rõ      |
| 15.3  | F.III.4-3                 | 1   | 1   | 1   | -   | -   | -   | -   | -   | 1   | -    | Chưa rõ      |
| 15.4  | F.III.4-4                 | 1   | 1   | 1   | -   | -   | -   | 1   | -   | 1   | -    | Chưa rõ      |
| 15.5  | F.III.4-5                 | 1   | 1   | 1   | -   | -   | -   | -   | -   | -   | -    | Chưa rõ      |
| 16    | Đứt gãy Đắc Kôi - Đắc Bla |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |              |
| 16.1  | F.III.5-1                 | 1   | 1   | 1   | -   | -   | -   | -   | -   | 1   | -    | Chưa rõ      |
| 16.2  | F.III.5-2                 | 1   | 1   | 1   | -   | -   | -   | -   | -   | 1   | -    | Chưa rõ      |
| 16.3  | F.III.5-3                 | 2   | 2   | 2   | -   | -   | -   | -   | -   | 1   | -    | Chưa rõ      |
| 16.4  | F.III.5-4                 | 2   | 2   | 2   | -   | -   | -   | -   | -   | 1   | -    | Chưa rõ      |
| 16.5  | F.III.5-5                 | 1   | 1   | 1   | -   | -   | -   | -   | -   | 1   | -    | Chưa rõ      |
| 17    | Đứt gãy Sông Đắc Kôi      |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |              |
| 17.1  | F.III.6-1                 | 2   | 2   | 2   | 1   | -   | -   | -   | -   | 1   | 1    | Có biểu hiện |
| 17.2  | F.III.6-2                 | 2   | 2   | 2   | 1   | -   | -   | -   | 3   | 1   | 1    | Rõ           |
| 17.3  | F.III.6-3                 | 2   | 2   | 2   | 1   | -   | -   | 2   | -   | 1   | 2    | Rất rõ       |
| 17.4  | F.III.6-4                 | 2   | 1   | 2   | -   | -   | -   | 2   | -   | 1   | 2    | Rất rõ       |
| 17.5  | F.III.6-5                 | 1   | 1   | 1   | -   | -   | -   | -   | -   | 1   | 1    | Rất rõ       |
| 17.6  | F.III.6-6                 | 1   | 1   | 1   | -   | -   | -   | -   | -   | 1   | 1    | Có biểu hiện |
| 17.7  | F.IV.1-1                  | 2   | 1   | 2   | 1   | -   | -   | -   | -   | 1   | -    | Chưa rõ      |
| 17.8  | F.IV.1-2                  | 2   | 1   | 1   | -   | -   | -   | -   | -   | 1   | -    | Chưa rõ      |
| 17.9  | F.IV.1-3                  | 2   | 1   | 1   | -   | -   | -   | -   | -   | 1   | -    | Chưa rõ      |
| 17.1  | F.IV.1-4                  | 1   | -   | 1   | -   | -   | -   | 1   | -   | 1   | -    | Chưa rõ      |
| 17.11 | F.IV.1-5                  | 1   | -   | 1   | -   | -   | -   | -   | -   | 1   | -    | Chưa rõ      |

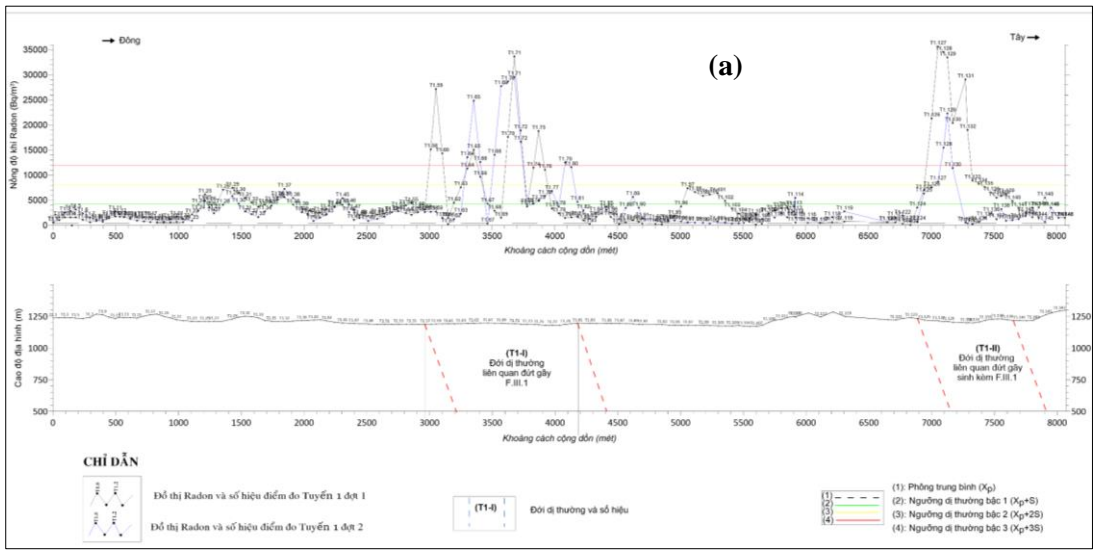
3.3. Thảo luận

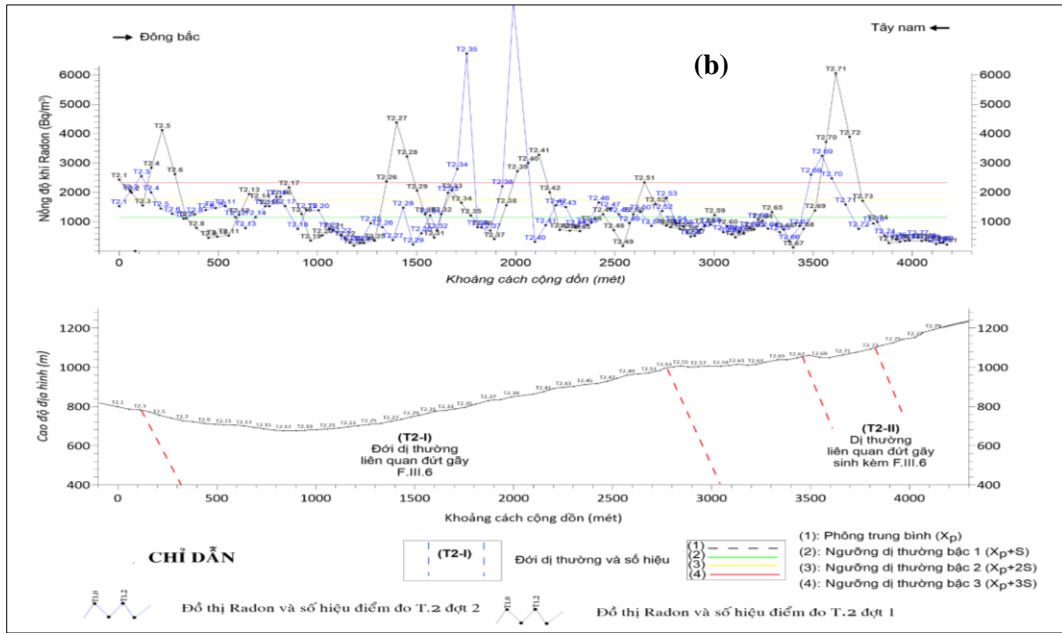
Bản chất động đất là hiện tượng liên quan đứt gãy dịch trượt, tái trượt và giải phóng ứng suất tích lũy gây ra [25]. Kết quả nghiên cứu tại khu vực Kon Plong, tỉnh Kon Tum và lân cận cho thấy mức độ hoạt động của các đứt gãy đóng vai trò quan trọng trong việc phát sinh động đất. Các đứt gãy có biểu hiện hoạt động rõ đến rất rõ trong giai đoạn hiện tại có xu hướng dễ tái trượt và giải phóng năng lượng nhanh hơn, dẫn đến chuỗi động đất xảy ra liên tiếp. Quan sát trên các hệ đứt gãy chính trong khu vực nghiên cứu, chuỗi động đất thường tập trung dọc theo các đoạn đứt gãy có biểu hiện hoạt động rõ đến rất rõ, điều này tương đồng với các nghiên cứu trước đây ở khu vực có điều kiện kiến tạo tương tự như khu vực Sông Tranh 2 [24], khu vực Tây Bắc Việt Nam [26].

Các đứt gãy có mức độ hoạt động rõ đến rất rõ tại khu vực nghiên cứu chủ yếu thuộc phương Tây Bắc - Đông Bắc và phương kinh tuyến, cho thấy sự tương thích cao với trường ứng suất kiến tạo hiện tại. Đây là các đứt gãy tối ưu với trường ứng suất kiến tạo khu vực với đặc trưng là trường trượt bằng đến bằng thuận, trong đó phương trục ép nén chính có hướng Bắc Tây Bắc - Nam Đông Nam [27]. Sự tối ưu hóa trượt giữa phương đứt gãy và phương ép nén chính cực đại của trường ứng suất kiến tạo chi phối khu vực Kon Plong, tỉnh Kon Tum cho thấy sự phù hợp với các nghiên cứu trước đây về cơ chế, xu hướng trượt của đứt gãy tại các khu vực có đặc điểm tương tự [23, 28]. Việc xác định rõ mối quan hệ này không chỉ giúp nhận diện các khu vực nguy cơ cao mà còn cung cấp dữ liệu đầu vào quan trọng cho các mô hình động lực học đứt gãy, từ đó nâng cao độ chính xác của các dự báo động đất trong tương lai.

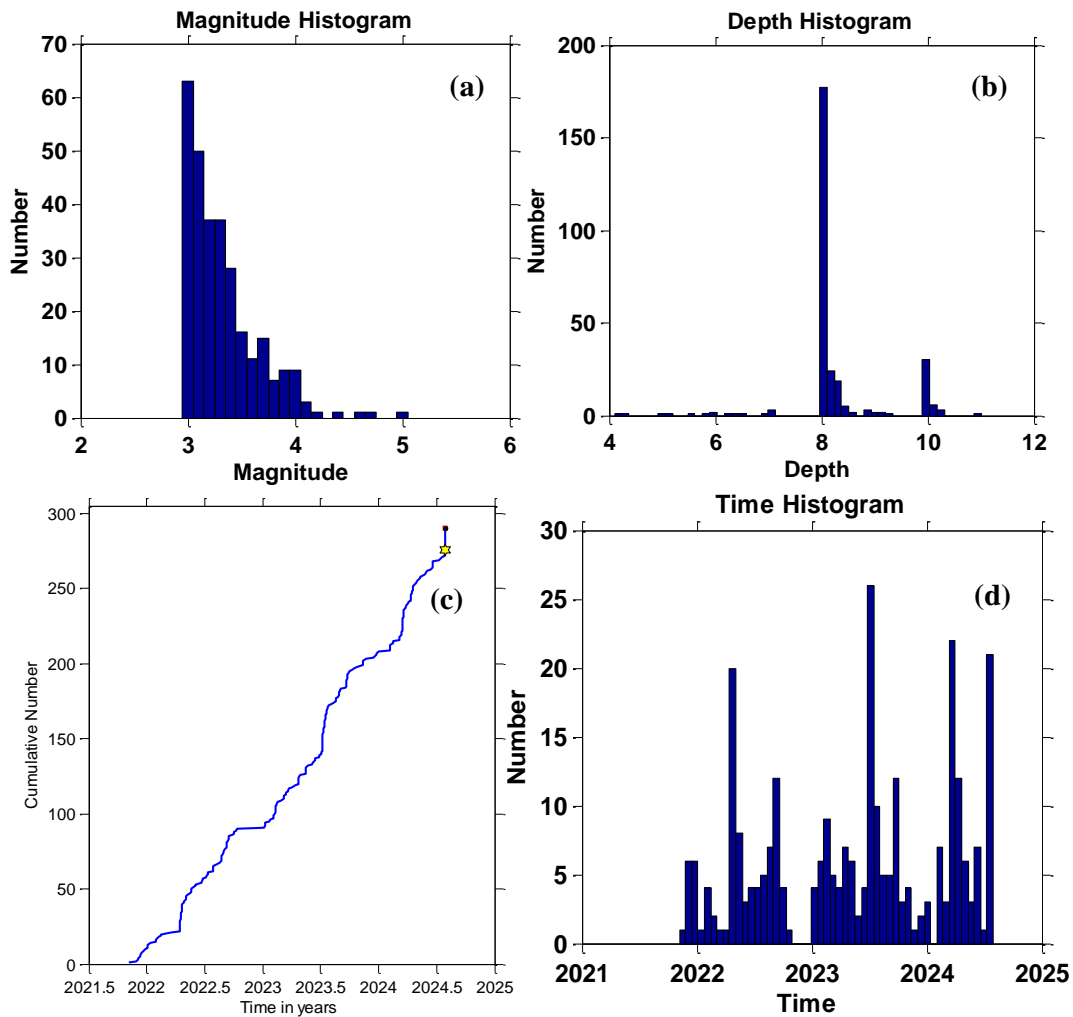


Hình 4. Sơ đồ biểu hiện hoạt động đứt gãy khu vực Kon Plong, tỉnh Kon Tum và lân cận.





Hình 5. Kết quả đo đặc tuyến Radon theo đứt gãy Đrăk Nghé (a) và đứt gãy sông Đrăk Kôi (b).



Hình 6. Các biểu đồ thể hiện đặc trưng động đất tại khu vực Kon Plong và lân cận: (a) Đồ thị biểu thị tương quan tần suất-độ lớn của các trận động đất ghi nhận được tại khu vực nghiên cứu thời kỳ 2021-2024; (b) Đồ thị biểu thị tương quan tần suất-độ sâu của các trận động đất khu vực nghiên cứu; (c) Đồ thị chuỗi thời gian xảy ra động đất tại khu vực nghiên cứu; (d) Đồ thị biểu thị tương quan tần suất hoạt động động đất theo thời gian khu vực nghiên cứu.

Dù nghiên cứu đã cung cấp bằng chứng quan trọng về mối liên hệ giữa mức độ hoạt động đứt gãy và chuỗi động đất khu vực Kon Plong, Kon Tum, tuy nhiên chưa xem xét vấn đề động đất kích thích liên quan đến các hồ chứa thủy điện khu vực. Các chấn tiêu khu vực được ghi nhận trong khoảng thời gian liên tục, vị trí chấn tiêu nông thường chủ yếu vào khoảng < 10 km; cường độ nhỏ chiếm ưu thế (Hình 6); điều này khác biệt so với các trận động đất tự nhiên do các đứt gãy sinh chấn tạo thành xảy ra ở khu vực phía Bắc lãnh thổ Việt Nam với đặc điểm là thường ở độ sâu lớn > 10 km, cường độ lớn, thời gian diễn ra không liên tục [29]. Đây là một trong những bằng chứng khách quan về nhận định các trận động đất có mối liên hệ trực tiếp đối với các hoạt động nhân sinh tại khu vực nghiên cứu.

#### 4. Kết luận

Khu vực Kon Plong tỉnh Kon Tum có mức độ hoạt động của các đứt gãy như sau: (1) Các đứt gãy hoạt động rất rõ gồm đứt gãy Đắc Rinh và đứt gãy Sông Đắc Kôi; (2) Các đứt gãy hoạt động rõ gồm đứt gãy Trà Xanh - Di Lăng, đứt gãy T - Meo và đứt gãy Đắc Nghệ; (3) Các đứt gãy có biểu hiện hoạt động gồm đứt gãy Sông Re, đứt gãy Ba Tơ - Kon Tum, đứt gãy Đắc Pnê - Kon Ka Rinh, đứt gãy Sông Giang, đứt gãy Đắc Răm - Măng Cành - Sơn Thượng, đứt gãy S. Hà Vinh - S. Cà Đú và đứt gãy Sơn Cao - Nghĩa Hòa, đứt gãy Ba Tơ - Củng Sơn; (4) Các đứt gãy chưa rõ hoạt động gồm đứt gãy Trà Vân - Trà Nam, đứt gãy Đắc Grei và đứt gãy Đắc Kôi - Đắc Bla.

Chuỗi sinh chấn gần đây phân bố chủ yếu liên quan đến các hệ thống đứt gãy có biểu hiện hoạt động rất rõ và biểu hiện hoạt động rõ; đặc biệt, tần suất và cường độ động đất tăng cao tại nơi giao cắt của các hệ thống đứt gãy có biểu hiện hoạt động như tại vị trí các hồ thủy điện Thượng Kon Tum và Đrăk Đring.

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

**Lời cảm ơn:** Bài báo hoàn thành nhờ vào kết quả của nhiệm vụ: “Nghiên cứu xây dựng mô hình toán - địa chất - tài nguyên nước dự báo, cảnh báo động đất kích thích. Áp dụng thử nghiệm tại khu vực Tây Nguyên”, mã số TNMT.2023.04.06.

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

#### Tài liệu tham khảo

1. Lĩnh, Đ.V. Trường ứng suất kiến tạo hiện đại khu vực Trung Trung Bộ. Báo cáo hội nghị khoa học, địa chất tài nguyên môi trường Nam Việt Nam, 2004.
2. Lĩnh, Đ.V. Lịch sử phát triển kiến tạo Kainozoi lãnh thổ Nam Trung Bộ và mối liên quan với động đất. Luận án Tiến sĩ, 2010.
3. Hoài, L.T.T.; Vượng, N.V. Đặc điểm đứt gãy và mối quan hệ với động đất kích thích khu vực hồ chứa thủy điện Sông Tranh 2, huyện Bắc Trà My, tỉnh Quảng Nam. *Tạp chí Khoa học Tự nhiên và Công Nghệ* 2014, 30(2S), 21–32.
4. Bao, N.X. và cs. Báo cáo Nghiên cứu kiến tạo và sinh khoáng Nam Việt Nam. Lưu trữ tại Viện thông tin Lưu trữ Địa chất, Hà Nội, 2000.
5. Bao, N.X.; Lương, T.Đ. Bản đồ Địa chất Việt Nam tỷ lệ 1:500.000, Hà Nội, 1992.
6. Hùng, P.V. Đánh giá hiện trạng và khoanh vùng cảnh báo nguy cơ nứt đất tỉnh Quảng Nam. *VN J. Earth Sci.* 2012, 32, 348–356.
7. Hùng, P.V. Risk assessment of damage caused by landslide in the mountainous districts of Quang Ngai province. *VN J. Earth Sci.* 2014, 36, 108–120.
8. Hùng, P.V.; Huyền, N.X. The risk assessment of loss due to landslides-cracks in the Tay Nguyen. *VN J. Earth Sci.* 2015, 37, 148–155.

9. Triều, C.Đ. Đề tài Dự báo cực đại động đất có thể xảy ra trên phạm vi lãnh thổ Việt Nam trên cơ sở dự báo theo đặc điểm cấu trúc vỏ Trái đất tỷ lệ 1:1.000.000. 2009.
10. Phương, N.H.; Truyen, P.T. Tập bản đồ xác suất nguy hiểm động đất Việt Nam và Biển Đông. *Tạp chí Khoa học và Công nghệ Biển* **2015**, 15(1), 77–90.
11. Zoback, M.D. New evidence of the state of stress of the San Andreas fault system. *Science* **1987**, 238, 1105–1111.
12. Zoback. Reservoir Geomechanics. Cambridge University Press, 2010.
13. Simpson, R.W.; Bakun, W.H.; Prescott, W.H. Earthquake-induced static stress changes on central California faults, in the Loma Prieta, California, earthquake of October 17, 1989. Tectonic processes and models, 1994, pp. 134.
14. Triều, C.Đ.; Long, P.H. Kiến Tạo Đứt gãy Việt Nam. Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật, 2006.
15. Duân, T. Báo cáo đo vẽ thành lập bản đồ địa chất và khoáng sản tỷ lệ 1:50.000 nhóm tờ Kon Plong. Lưu trữ Liên đoàn Bản đồ địa chất miền Nam, 2020.
16. Duyệt, T.Đ. Đo vẽ bản đồ Địa chất và điều tra Khoáng sản nhóm tờ Quảng Ngãi tỉ lệ 1/50.000. Lưu trữ địa chất, Hà Nội, 1999.
17. Tính, T. Báo cáo kết quả lập bản đồ địa chất và tìm kiếm khoáng sản nhóm tờ Kon Tum-Buôn Mê Thuột tỷ lệ 1:200.000. Lưu trữ Trung tâm Thông tin - Lưu trữ Địa chất, Hà Nội.
18. Trị, T.V. Địa chất và Tài nguyên Việt Nam. Nhà xuất bản Khoa học Tự nhiên và Công nghệ, 2023.
19. Trị, T.V.; Tâm, B.M. Tổng quan về tiến hóa địa chất Việt Nam và các vùng lân cận: những nhận thức mới. *Tạp chí Địa chất* **2020**, 371–372.
20. Quang, T. Đo vẽ lập bản đồ địa chất và khoáng sản nhóm tờ Trà My - Tác Pô, tỷ lệ 1/50.000. Lưu trữ thư viện Liên đoàn Bản đồ Địa chất miền Nam, 2004.
21. Cầu, D.V. Đo vẽ bản đồ địa chất và điều tra khoáng sản nhóm tờ Ba Tơ tỉ lệ 1/50.000, Lưu trữ địa chất Hà Nội, 2004.
22. Triều, C.Đ.; Hải, Đ.T.; Bách, M.X.; Thắng, N.G. Các đới đứt gãy hoạt động ở phần phía Bắc. *Tạp chí Địa chất* **2003**, 279, 8–19.
23. Duẩn, B.V.; Giang, H.T.; Duong, N.A.; Nguyen, P.D. Một số yếu tố liên quan đến sự xuất hiện của động đất khu vực hồ chứa thủy điện Sông Tranh 2 giai đoạn 2011-2014. *Tạp chí Các Khoa học về Trái đất* **2016**, 37(3), 228–240.
24. Trọng, C.D.; Bách, M.X.; Tuấn, T.A.; Hải, Đ.T.; Triều, C.Đ. Nhận dạng nguồn phát sinh động đất kích thích hồ thủy điện Sông Tranh 2 trên cơ sở phân tích kết hợp tài liệu địa chất - địa vật lý. *Tạp chí Khoa học và Công nghệ Việt Nam* **2022**, 64(8), 11–16.
25. Suzuki, Y. Active fault and earthquake disasters. *Adv. Geological Science* **2019**, 99–117.
26. Duan, B.V.; Duong, N.A. The relation between fault movement potential and seismic activity of major faults in Northwestern Vietnam. *VN J. Earth Sci.* **2017**, 39, 240–255.
27. Lĩnh, Đ.V. Báo cáo đề tài cấp Nhà nước: “Nghiên cứu đặc điểm kiến tạo và tác động của các hoạt động nhân sinh có khả năng làm thay đổi trường ứng suất kiến tạo liên quan với độ nguy hiểm động đất vùng biển từ Tuy Hòa tới Vũng Tàu”, mã số KC.09.38/16-20, Lưu trữ Quốc Gia. 2021.
28. Loc, N.L.; Sang, N.T.; Thuy, N.T.T.; Quyen, V.T.H. Characteristics of present tectonic stress field in Kon Plong, Viet Nam area and surrounding areas through geological indicators. *Int J. Sci. Technol.* **2024**, 12(9), 9–16.
29. Phương, N.H.; Truyen, P.T.; Nam, N.T. Investigation of long-term and short-term seismicity in Vietnam. *J. Seismol.* **2019**, 23, 951–966.

## **Fault activity in Kon Plong area, Kon Tum province and neighboring area**

**Nguyen Loi Loc<sup>1,2,3\*</sup>, Nguyen Thanh Sang<sup>3</sup>, Nguyen Thi Thu Thuy<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> Faculty of Geology, University of Science, Ho Chi Minh City, Vietnam; lynogec@gmail.com

<sup>2</sup> Vietnam National University, Ho Chi Minh City, Vietnam; lynogec@gmail.com

<sup>3</sup> South Vietnam Geological Mapping Division; lynogec@gmail.com; sang1216222@gmail.com; thuykt0312@gmail.com

**Abstract:** The faults in Kon Plong area, Kon Tum province and neighboring areas all show activity in the present period. Based on synthesizing 10 criteria for identifying and estimating active levels of faults in the study area. Study results show that (1) Evident active faults including Dak Rinh fault and Song Dak Koi fault; (2) The near evident active faults including Tra Xinh - Di Lang fault, T - Meo fault and Dak Nghe fault; (3) The active faults including Song Re fault, Ba To - Kon Tum fault, Dak Phe - Kon Ka Rinh fault, Song Giang fault, Dak Ram - Mang Canh - Son Thuong fault, S. Ha Vinh - S. Ca Du fault and Son Cao - Nghia Hoa fault, Ba To - Cung Son fault. Along these fault zones where have been recorded geological disasters such as landslides, landslips, cracks and earthquakes. The recent seismicity-generating cluster mainly related to active and evident active fault systems. The earthquake frequency and intensity increase in intersection of active fault systems such as locations of upper Kon Tum and Drak Dring hydropower reservoirs.

**Keywords:** Upper Kon Tum; Drak Dring; Earthquake; Active fault; Kon Plong.



Bài báo khoa học

# Phân tích, đánh giá các nguồn gây ô nhiễm chất lượng nước mặt tỉnh Long An, Đồng bằng Sông Cửu Long

Lê Việt Thắng<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> Viện Khoa học Công nghệ và Quản lý môi trường, Trường Đại học Công nghiệp thành phố Hồ Chí Minh; levietthangmt@gmail.com

\*Tác giả liên hệ: levietthangmt@gmail.com; Tel.: +84-908552201

Ban Biên tập nhận bài: 25/10/2024; Ngày phản biện xong: 17/12/2024; Ngày đăng bài: 25/5/2024

**Tóm tắt:** Nghiên cứu hiện tại nhằm phân tích theo không gian, thời gian và định lượng các nguồn gây ô nhiễm hệ thống nước mặt ở tỉnh Long An. Tổng cộng 1.736 mẫu nước mặt được lấy tại 62 điểm quan trắc phân bố trên 4 phân vùng không gian, tần suất 4 đợt mỗi năm vào mùa khô và mùa mưa từ năm 2017 đến năm 2023 và phân tích 15 thông số lý hóa, sinh học. Toàn bộ tập dữ liệu được phân tích thành phần chính (PCA/FA), phân tích phương sai hai chiều, và tính toán chỉ số chất lượng nước (WQI), đồng thời áp dụng phân tích hồi quy đa biến. Kết quả PCA/FA đã chỉ ra 05 nguồn ô nhiễm/nhân tố chính ảnh hưởng đến chất lượng nước mặt gồm: xâm nhập mặn; hoạt động nhân sinh; quá trình tích tụ/lắng đọng; dòng nước chảy tràn qua khu nông nghiệp; và các yếu tố thời tiết, thủy lực. Phân tích hồi quy đa biến chỉ ra rằng xâm nhập mặn, và hoạt động nhân sinh góp phần suy giảm đáng kể chất lượng nước ở khu vực. Tính toán cho thấy WQI giảm từ vùng nội địa ra ven biển, và mùa mưa cao hơn mùa khô. Nghiên cứu cung cấp cơ sở khoa học cho việc xây dựng các chiến lược quản lý chất lượng nước mặt hợp lý và chặt chẽ hơn trên địa bàn tỉnh Long An.

**Từ khóa:** Phân tích thống kê đa biến; Nguồn ô nhiễm; Long An; Chất lượng nước.

## 1. Mở đầu

Nước mặt có thể bị ô nhiễm vì nhiều lý do xuất phát từ hoạt động của con người và các yếu tố tự nhiên [1]. Các hoạt động của con người có thể bao gồm sản xuất công nghiệp và nông nghiệp, hoạt động dân cư và xả nước thải [2]. Các yếu tố tự nhiên có thể bao gồm biến đổi khí hậu (lượng mưa, độ ẩm và thoát hơi nước) và thiên tai (hạn hán, lũ lụt và lở đất) [3]. Đặc biệt, tài nguyên nước mặt ở các vùng ven biển có thể bị ảnh hưởng tổng hợp bởi các hoạt động của con người và các yếu tố tự nhiên [4]. Nước thải từ các khu vực nông nghiệp, công nghiệp và dân cư được xác định là một nguồn ô nhiễm quan trọng làm suy giảm chất lượng nước mặt ở nhiều vùng khác nhau [5, 6]. Chất lượng nước mặt cũng có thể thay đổi theo mùa, điều này liên quan đến chế độ thủy văn diễn ra ở vùng ven biển. Những điều đó chỉ ra rằng chất lượng nước mặt có thể thay đổi theo không gian và thời gian, điều này đòi hỏi nhiều nghiên cứu hơn. Hơn nữa, các nguồn ô nhiễm chính nước mặt cần được phân tích và đánh giá để phát triển các chiến lược quản lý phù hợp và xử lý ô nhiễm hiệu quả [7]. Phương pháp phân tích thống kê như (PCA/FA, ANOVA) đã được sử dụng nhiều trong các nghiên cứu trên thế giới về chất lượng nước mặt và xác định nguyên nhân gây ô nhiễm [8–13]. Những phát hiện này chỉ ra rằng nhiều nguồn ô nhiễm có thể góp phần làm suy thoái chất lượng nước mặt cần được phân tích và đánh giá để quản lý tốt hơn.

Tài nguyên nước mặt đóng vai trò quan trọng trong phát triển bền vững. Việt Nam là quốc gia có nguồn tài nguyên nước mặt dồi dào: với lượng mưa trung bình năm khoảng

2.000mm, hơn 3.500 con sông có chiều dài lớn hơn 10km, và 16 lưu vực sông chính [14]. Trong đó, lưu vực sông Cửu Long (LVSC) là lưu vực sông (LVS) quan trọng, chiếm tới 57% tổng lượng nước mặt của Việt Nam [14]. LVSC có tổng diện tích tự nhiên trong nước khoảng 39.945 km<sup>2</sup>, bao gồm: 13 tỉnh, thành phố vùng Tây Nam Bộ của Việt Nam. LVSC có tiềm năng nông nghiệp lớn, trong nhiều năm qua, LVSC luôn đóng góp khoảng 50% sản lượng lúa gạo, 70% lượng trái cây của cả nước, và đóng góp 90% sản lượng gạo xuất khẩu, 60% sản lượng thủy sản xuất khẩu [15].

Hiện nay, LVSC đã và đang đối mặt với nhiều thách thức nghiêm trọng do tác động của biến đổi khí hậu; khai thác, sử dụng quá mức tài nguyên nước tại lưu vực và thượng nguồn sông Mê Kông [16]. Ô nhiễm nước mặt ở ĐBSCL có thể đe dọa sức khỏe con người, động vật và hệ sinh thái do nguồn nước này được sử dụng đa mục đích, đặc biệt cho sinh hoạt [4]. Theo Word Bank [14], ô nhiễm nước là mối đe dọa lớn nhất đối với nền kinh tế tại Việt Nam, nghiên cứu chỉ ra rằng ô nhiễm nước ảnh hưởng lên sức khỏe con người, có thể làm giảm 3,5% GDP vào năm 2035. Nước thải đô thị và công nghiệp không qua xử lý xả thải vào môi trường, hoạt động nông nghiệp là những nguyên nhân chính gây ra ô nhiễm nguồn nước mặt tại Việt Nam [14]. Ngoài ra, do địa hình thấp của Đồng bằng sông Cửu Long (ĐBSCL), xâm nhập mặn là một mối quan tâm khác về chất lượng nước, đặc biệt là ảnh hưởng đến hoạt động nông nghiệp ở các vùng ven biển [17]. Nhiều nghiên cứu trong nước được thực hiện đã áp dụng công cụ phân tích thống kê đa biến để kiểm tra/đánh giá những thay đổi chất lượng nước theo không gian, thời gian tại các vùng nước mặt nội địa cũng như để phân bổ các nguồn ô nhiễm liên quan tại 12/13 tỉnh thuộc LV SCL gồm: Tiền Giang [18, 19], Đồng Tháp [20, 21], Vĩnh Long [22], Trà Vinh [23], thành phố Cần Thơ [24], Hậu Giang [25, 26], Sóc Trăng [27, 28], Bến Tre [29], An Giang [30], Kiên Giang [31], Bạc Liêu [32] và Cà Mau [33].

Long An là tỉnh còn lại thuộc LVSC vẫn chưa có các nghiên cứu về đánh giá chất lượng nước mặt trên toàn địa bàn tỉnh theo không - thời gian, và xác định các nguồn ô nhiễm tiềm tàng ảnh hưởng đến nguồn nước tại địa phương. Một số nghiên cứu chủ yếu đánh giá chất lượng nước mặt tại một số thủy vực nhỏ trên địa bàn tỉnh [34]. Trong khi đó, Long An là địa phương phát triển kinh tế mạnh mẽ nhất vùng ĐBSCL và là tỉnh trong vùng có thể tiệm cận với sự phát triển của vùng Đông Nam Bộ [15]. Với địa thế nằm ở vùng giao thoa giữa hai vùng kinh tế lớn của cả nước là Đông Nam Bộ và Tây Nam Bộ, Long An có cơ hội để phát triển nền kinh tế đa dạng về các lĩnh vực công nghiệp, dịch vụ và nông nghiệp. Do đó, cùng với sự tăng trưởng kinh tế của địa phương trong những năm qua đã tạo nên áp lực đối với môi trường nước mặt của tỉnh. Ghi nhận của Sở TNMT tỉnh [35] cho thấy nước mặt tiếp nhận nước thải từ các khu đô thị và công nghiệp thường bị ô nhiễm chất hữu cơ, dinh dưỡng, kim loại nặng. Một số tuyến kênh rạch nội đồng bị ô nhiễm bởi chất hữu cơ, dinh dưỡng từ mức trung bình đến cao. Đặc biệt, xâm nhập mặn có xu hướng gia tăng ở mức độ sâu hơn so với giai đoạn trước. Điều này chứng tỏ cần phải có những nghiên cứu sâu hơn về chất lượng nước, phục vụ xây dựng chiến lược bảo vệ và quản lý cho tỉnh. Nghiên cứu hiện tại được thực hiện nhằm: (1) đánh giá chất lượng nước mặt trên toàn địa bàn tỉnh theo không - thời gian, và (2) xác định và định lượng các nguồn ô nhiễm/nhân tố tiềm tàng tác động đến nguồn nước mặt của tỉnh.

## **2. Số liệu và Phương pháp nghiên cứu**

### *2.1. Khu vực nghiên cứu*

Nghiên cứu hiện tại được triển khai trên địa bàn tỉnh Long An thuộc vùng ĐBSCL, Việt Nam. Với tổng diện tích 4.494,74 km<sup>2</sup>, tỉnh Long An được chia thành 15 đơn vị cấp huyện, bao gồm 13 huyện, 01 thị xã và 1 thành phố. Mật độ dân số thay đổi từ 95 - 1.791 người/km<sup>2</sup>, có thể chia làm 02 vùng: vùng có mật độ dân số thấp nằm ở phía Tây của tỉnh và mật độ dân



đến vùng VI theo phân vùng chức năng nguồn nước của tỉnh, đây là vùng vùng tập trung các khu đô thị lớn, các khu - cụm công nghiệp, hoạt động trồng trọt và nuôi thủy sản nước lợ; Vùng 2: là vùng hầu như ít chịu ảnh hưởng bởi sự xâm nhập mặn nước biển và có mật độ dân số thấp, trung bình 219 người/km<sup>2</sup> thuộc vùng I đến vùng III theo phân vùng chức năng nguồn nước của tỉnh, đây là vùng chủ yếu phát triển nông nghiệp trồng trọt, chăn nuôi, nuôi thủy sản nước ngọt, và cũng chịu ảnh hưởng của nhiễm phèn vào mùa mưa (Hình 1) [15]. Ngoài ra, đối với không gian, chất lượng nước có thể chịu ảnh hưởng bởi các loại đường thủy khác nhau [19, 23], 02 loại đường thủy được thiết lập trong nghiên cứu này gồm: (1) Các sông chính có tính quyết định số lượng, chất lượng nước mặt của tỉnh (sông Vàm Cỏ Đông, sông Vàm Cỏ Tây, sông Vàm Cỏ, sông Bảo Định, kênh Thầy Cai và sông Cần Giuộc) [35]; (2) Các kênh, rạch nhánh nối các tuyến sông chính giúp dẫn tải và tiêu nước trong sản xuất và sinh hoạt. Như vậy, khu vực nghiên cứu được phân chia không gian thành 4 phân vùng thí nghiệm, bao gồm: Phân vùng KR1 (kênh rạch trong vùng 1 chịu ảnh hưởng mạnh của xâm nhập nước biển); phân vùng KR2 (kênh rạch trong vùng 2 ít chịu ảnh hưởng của xâm nhập nước biển); phân vùng SC1 (sông chính trong vùng 1 chịu ảnh hưởng mạnh của xâm nhập nước biển); và phân vùng SC2 (sông chính trong vùng 2 ít chịu ảnh hưởng của xâm nhập nước biển). Hơn nữa, chất lượng nước mặt tại các thủy hệ còn phụ thuộc vào sự biến đổi theo mùa (mưa và khô) [23, 37], đây là một yếu tố thực nghiệm khác của nghiên cứu hiện tại.

### 2.2.2. Phân tích thống kê

Trong nghiên cứu này, áp dụng 04 bước liên tiếp để xử lý thống kê số liệu: (1) Bước đầu tiên thực hiện phân tích thành phần chính (PCA/FA) trên bộ dữ liệu hoàn chỉnh để phân biệt các nguồn gây ô nhiễm; (2) Bước thứ hai là tính toán chỉ số chất lượng nước (WQI) để đánh giá; (3) Bước tiếp theo là thực hiện phân tích phương sai hai chiều (ANOVA) để so sánh chất lượng nước của bốn phân vùng thí nghiệm không gian; và (4) Phân tích hồi quy đa biến được thực hiện sau cùng để định lượng phần trăm đóng góp của các nguồn ô nhiễm khác nhau trên WQI.

Thực hiện PCA/FA để phân biệt các nguồn ô nhiễm trong nước mặt theo quy trình trong các nghiên cứu trước đây [24, 38]. Trước khi thực hiện PCA/FA, cần phải chuẩn hóa toàn bộ dữ liệu [38], Phương pháp chuẩn hóa min - max được sử dụng và phương pháp này có thể chia tỷ lệ dữ liệu thành 0-1 theo một tỷ lệ nhất định [39]. Kiểm tra tính chính xác của ma trận tương quan đối với PCA/FA bằng thử nghiệm Kaisere Meyere Olkin (KMO) và Bartlett's Sphericity [40]. KMO phải  $\geq 0,5$  và  $\leq 1$  thì PCA/FA mới thích hợp [40], trong đó ngưỡng KMO [0,8-0,9], [0,7-0,8], [0,5-0,7] và  $\geq 0,5$  lần lượt là tuyệt vời, tốt, trung bình và chấp nhận được. Theo nghiên cứu [41] mức ý nghĩa của Bartlett  $< 0,05$ , PCA/FA được thực hiện.

Dựa trên kết quả của PCA/FA, 15 thông số quan trắc được sử dụng để tính WQI [19, 42] theo phương trình (1). Phương pháp PCA/FA được sử dụng để tính WQI trong nghiên cứu hiện tại vì nó phản ánh tốt hơn chất lượng nước ở các vùng ven biển [31].

$$WQI = \sum_{i=1}^n w_i s_i \quad (1)$$

Trong đó  $n$  là số thông số quan trắc;  $w_i$  là trọng số của thông số thứ  $i$ ; và  $s_i$  là điểm của tham số thứ  $i$ .

$w_i$  được xác định theo kết quả của PCA/FA (Bảng 2) và  $s_i$  là giá trị tiêu chuẩn của tất cả các giá trị đo được của 15 thông số và được xác định bằng các phương trình 3 và 4. Các thành phần chính có giá trị riêng  $> 1$  được giữ lại để ước tính trọng số của các thông số quan trắc có giá trị tải cao ( $> 0,5$ ) với thành phần chính tương ứng [19]. Trọng số được tính theo công thức (2).

$$w_i = \frac{e_i}{\text{Sum}} \quad (2)$$

Trong đó  $e_i$  là giá trị riêng của thành phần chính  $i$ ; và Sum là tổng giá trị riêng của tất cả các thành phần chính còn lại sau PCA/FA.

Các thông số quan trắc được chia thành ba nhóm, bao gồm “càng nhiều càng tốt”, “càng ít càng tốt” và “trung tính”. Nhóm “càng nhiều càng tốt” chỉ bao gồm thông số DO; nhóm “trung tính” bao gồm độ pH (từ 5,5 đến 9) [43], và nhóm “càng ít càng tốt” bao gồm 13 thông số còn lại. Đối với các thông số “càng nhiều càng tốt” và “trung tính”, giá trị của  $s_i$  được tính theo phương trình 3.

$$S_i = \frac{X_i - X_{\min}}{X_{\max} - X_{\min}} \quad (3)$$

Đối với tham số “càng ít càng tốt”,  $s_i$  được xác định theo phương trình 4.

$$S_i = \frac{X_{\max} - X_i}{X_{\max} - X_{\min}} \quad (4)$$

Trong đó  $X_i$ ,  $X_{\min}$  và  $X_{\max}$  lần lượt là các giá trị được phân tích, tối thiểu và tối đa của thông số  $i$ .

Phân tích phương sai hai chiều (ANOVA) được thiết kế hoàn toàn ngẫu nhiên với hai yếu tố thực nghiệm theo không gian là vùng liên quan đến xâm nhập mặn (Vùng 1 và vùng 2) và vùng liên quan đến đường thủy (vùng sông chính và vùng kênh, rạch). Khi kết ANOVA chỉ ra tác động quan trọng ở  $p < 0,05$ , sử dụng phép kiểm định Tukey (*Tukey's Honest Significant Difference*) để phân biệt các giá trị trung bình. Phân tích hồi quy đa biến được thực hiện để xác định tỷ lệ phần trăm của 5 nhân tố tiềm ẩn ảnh hưởng đến chất lượng nước được chiết xuất từ PCA/FA góp phần tạo ra WQI [19, 44]. Xử lý số liệu Phần mềm Rstudio 2023.06.0 Build 421 và Excel 2016.

### 2.3. Số liệu sử dụng

Nước mặt của 62 vị trí chọn trước được lấy để phân tích hóa học trong vòng 7 năm, từ năm 2017 đến năm 2023 (Hình 1). Các phân vùng KR1, KR2, SC1 và SC2 lần lượt bao gồm 15, 4, 33, và 10 địa điểm. Trong mỗi năm, có bốn đợt lấy mẫu, 2 đợt mùa khô (tháng 3 và 11) và 2 đợt mùa mưa (tháng 6 và 9). Tổng số mẫu nước mặt được lấy là  $4 \times 62 \times 7 = 1.736$  mẫu; phân tích 15 chỉ tiêu: pH, oxy hòa tan (DO), nhiệt độ, độ dẫn điện (EC), độ mặn, độ đục, tổng chất rắn hoà tan (TDS), Tổng chất rắn lơ lửng (TSS), nhu cầu oxy sinh hóa (BOD<sub>5</sub>), nhu cầu oxy hóa học (COD), Amoni (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>), nitrat (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>), Nitrit (NO<sub>2</sub><sup>-</sup>), photphat (PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>), Clorua (Cl<sup>-</sup>). Phương pháp lấy mẫu và phân tích các thông số ô nhiễm được thực hiện theo quy định kỹ thuật quan trắc môi trường do Bộ Môi trường và Tài nguyên ban hành.

## 3. Kết quả và thảo luận

### 3.1. Đánh giá chất lượng nước tổng thể

Các số liệu thống kê mô tả như giá trị trung bình và độ lệch chuẩn của các chỉ tiêu chất lượng nước được tại Bảng 1. Kết quả cho thấy các thông số: DO, BOD<sub>5</sub>, COD, TSS, NH<sub>4</sub><sup>+</sup> và Cl<sup>-</sup> đều không đạt mức A, B, C và D của QCVN: 08:2023/BTNMT; pH, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> giá trị trung bình đạt mức A theo quy chuẩn, chất lượng nước tốt có thể cấp nước sinh hoạt sau khi áp dụng các biện pháp xử lý. Điều này chứng tỏ nước mặt trên địa bàn tỉnh đang có dấu hiệu ô nhiễm do các nguồn thải khác nhau.

**Bảng 1.** Giá trị trung bình và độ lệch chuẩn của 15 thông số quan trắc (từ năm 2017-2023).

| Thông số | Đơn vị | Giá trị    |               | Quy chuẩn nước mặt* |         |         |                |
|----------|--------|------------|---------------|---------------------|---------|---------|----------------|
|          |        | Trung bình | Độ lệch chuẩn | Mức A               | Mức B   | Mức C   | Mức D          |
| pH       | -      | 6,80       | 0,53          | 6,5-8,5             | 6,0-8,5 | 6,0-8,5 | <6,5 hoặc >8,5 |
| DO       | mg/L   | 3,95       | 0,76          | 6                   | 5       | 4       | 2              |
| Nhiệt độ | °C     | 30,3       | 1,1           | -                   | -       | -       | -              |

| Thông số                        | Đơn vị | Giá trị    |               | Quy chuẩn nước mặt* |       |                         |                   |
|---------------------------------|--------|------------|---------------|---------------------|-------|-------------------------|-------------------|
|                                 |        | Trung bình | Độ lệch chuẩn | Mức A               | Mức B | Mức C                   | Mức D             |
| TDS                             | mg/L   | 1.349      | 2.949         | -                   | -     | -                       | -                 |
| Độ đục                          | NTU    | 66,72      | 70,72         | -                   | -     | -                       | -                 |
| EC                              | mS/cm  | 2,15       | 4,75          | -                   | -     | -                       | -                 |
| Độ mặn                          | %      | 0,14       | 0,47          | -                   | -     | -                       | -                 |
| BOD <sub>5</sub>                | mg/L   | 13         | 20            | 4                   | 6     | 10                      | >10               |
| COD                             | mg/L   | 34         | 49            | 10                  | 15    | 20                      | >20               |
| TSS                             | mg/L   | 51         | 86            | 5                   | 15    | >15 và không có rác nổi | >15 và có rác nổi |
| NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> ** | mg/L   | 1,93       | 4,38          | 0,3                 | 0,9   | 0,9                     | >0,9              |
| NO <sub>3</sub> <sup>-**</sup>  | mg/L   | 0,38       | 0,66          | 5                   | 10    | 15                      | >15               |
| NO <sub>2</sub> <sup>-**</sup>  | mg/L   | 0,055      | 0,14          | 0,05                | 0,05  | 0,05                    | >0,05             |
| PO <sub>4</sub> <sup>3-**</sup> | mg/L   | 0,12       | 0,35          | 0,2                 | 0,3   | 0,5                     | >0,5              |
| Cl <sup>-**</sup>               | mg/L   | 561        | 1.421         | 250                 | 350   | 350                     | >350              |

Ghi chú: (\*) Quy chuẩn kỹ thuật quốc gia Việt Nam về chất lượng nước mặt QCVN 08:2023/BTNMT

(\*\*): Các thông số không có trong QCVN 08:2023/BTNMT, do đó tham khảo theo QCVN 08-MT:2015/BTNMT.

### 3.2. Xác định và định lượng các nguồn ô nhiễm/nhân tố chính ảnh hưởng đến CLN

#### 3.2.1. Xác định các nguồn ô nhiễm/nhân tố chính theo PCA/FA

PCA/FA của 15 thông số quan trắc nước mặt được sử dụng để xác định nguồn gốc của các chất ô nhiễm khác nhau. Giá trị của kiểm định KMO là 0,73 > 0,5, đạt ở mức tốt theo Kaiser [40], và mức ý nghĩa của Bartlett dưới 0,0001 chỉ ra rằng toàn bộ tập dữ liệu trong nghiên cứu hiện tại đều phù hợp với PCA/FA. Năm nhân tố chính (F1 - F5 có giá trị riêng lớn hơn 1 [41, 46] chiếm 70,4% tổng phương sai được giải thích bằng PCA/FA (Bảng 2). Các hệ số tải trọng [0,3-0,5], [0,5-0,75] và > 0,75 được coi là yếu, trung bình và mạnh [47].

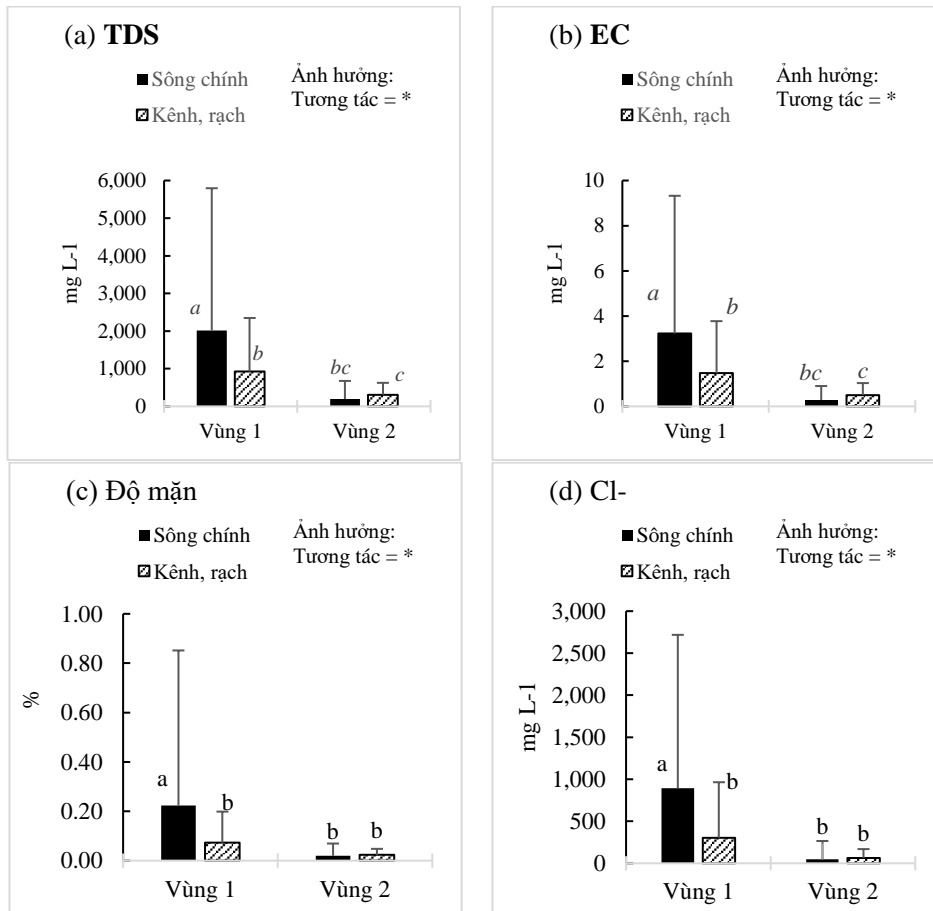
**Bảng 2.** Hệ số tải trọng của 15 thông số quan trắc trong phân tích PCA/FA. Chữ số tô đậm có giá trị lớn hơn 0,5.

| Thông số                  | Yếu tố chính |              |             |             |              | Trọng số của thông số |
|---------------------------|--------------|--------------|-------------|-------------|--------------|-----------------------|
|                           | F1           | F2           | F3          | F4          | F5           |                       |
| pH                        | 0,07         | -0,06        | 0,28        | 0,15        | <b>-0,56</b> | 0,03                  |
| DO                        | 0,24         | <b>-0,62</b> | 0,13        | 0,14        | 0,09         | 0,07                  |
| Nhiệt độ                  | 0,02         | -0,02        | 0,07        | 0,09        | <b>0,73</b>  | 0,03                  |
| TDS                       | <b>0,96</b>  | -0,03        | 0,17        | 0,03        | -0,02        | 0,10                  |
| Độ đục                    | 0,14         | 0,00         | <b>0,86</b> | 0,02        | -0,14        | 0,06                  |
| EC                        | <b>0,97</b>  | -0,03        | 0,15        | 0,03        | -0,01        | 0,10                  |
| Độ mặn                    | <b>0,72</b>  | -0,02        | 0,01        | 0,01        | 0,00         | 0,10                  |
| BOD <sub>5</sub>          | 0,10         | <b>0,80</b>  | 0,40        | -0,10       | 0,19         | 0,07                  |
| COD                       | 0,11         | <b>0,78</b>  | 0,42        | -0,10       | 0,21         | 0,07                  |
| TSS                       | 0,23         | 0,10         | <b>0,88</b> | -0,02       | 0,03         | 0,06                  |
| Amoni                     | -0,04        | <b>0,68</b>  | -0,09       | 0,34        | -0,02        | 0,07                  |
| Nitrat                    | -0,06        | -0,09        | 0,04        | <b>0,81</b> | 0,10         | 0,04                  |
| Nitrit                    | 0,11         | 0,06         | -0,03       | <b>0,80</b> | -0,12        | 0,04                  |
| Phosphat                  | -0,03        | <b>0,54</b>  | -0,11       | 0,00        | -0,39        | 0,07                  |
| Clo                       | <b>0,96</b>  | -0,06        | 0,18        | 0,00        | -0,01        | 0,10                  |
| Giá trị riêng             | 3,47         | 2,41         | 2,05        | 1,49        | 1,13         |                       |
| % Phương sai              | 23,1         | 16,1         | 13,7        | 9,9         | 7,6          |                       |
| % Phương sai cộng dồn     | 23,1         | 39,2         | 52,9        | 62,8        | 70,4         |                       |
| Trọng số của yếu tố chính | 0,33         | 0,23         | 0,19        | 0,14        | 0,11         |                       |

Nhân tố đầu tiên quan trọng nhất (F1), chiếm 23,1% tổng phương sai, có tải trọng dương mạnh trên TDS, EC, và Cl<sup>-</sup>, tải trọng dương trung bình trên độ mặn, các thông số này có thể đại diện cho nguồn ô nhiễm do nước biển xâm nhập mặn. Trong các hệ thống thủy sinh nội địa, độ mặn được thể hiện qua 3 thông số Cl<sup>-</sup> hoặc TDS) hay EC [48]. Nước ngọt có độ mặn

trung bình là 0,146‰, nước lợ có độ mặn từ 1-10 ‰, trong khi độ mặn của nước biển thường nằm trong khoảng từ 10-45‰ [49]. Nước mặt tỉnh Long An có độ mặn vào khoảng 0,14‰ (1.4‰) (Bảng 1) thuộc vùng nước lợ, chịu sự ảnh hưởng của thủy triều biển Đông. Xâm nhập mặn là nguyên nhân chính làm tăng nồng độ EC và Cl<sup>-</sup>, và độ mặn trong nước mặt ở các lưu vực sông [19, 31]. Từ đó, gây suy giảm chất lượng nước, ảnh hưởng đến đời sống và sản xuất của người dân, đặc biệt là ở vùng cửa sông ven biển và đồng bằng phía Nam ở lưu vực Đồng Nai và ĐBSCL [50]. Hiện nay, xâm nhập mặn có xu hướng gia tăng ở các vùng cửa sông đồng bằng ven biển [50, 51] và được ghi nhận nghiêm trọng hơn trong những năm gần đây tại tỉnh Long An [35].

Tác động tương tác đáng kể giữa các vùng ảnh hưởng bởi xâm nhập mặn và loại đường thủy tại các thông số của nhân tố F1 (nguồn ô nhiễm do nước biển xâm nhập: TDS, EC, độ mặn, Cl<sup>-</sup>) (Hình 2). Tại Vùng 1 kết quả đo các thông số trên cao hơn đáng kể so với vùng vùng 2, ghi nhận của các tác giả khác [19, 31] tại vùng ĐBSCL cũng thể hiện điều này. Giá trị của tất cả các thông số thuộc nhân tố F1 ở vùng sông chính, lớn hơn nhiều so với vùng kênh rạch, đặc biệt là tại khu vực gần biển sự ảnh hưởng này ghi nhận đáng kể ( $p < 0,05$ ) và giá trị trung bình EC, độ mặn tại phân vùng SC1 này lần lượt là 3,2 mS.cm<sup>-1</sup> và 2,2‰ - nước có độ mặn trung bình, không thích hợp cho tưới tiêu nông nghiệp theo FAO [52]. Trong khi đó tại Vùng 2 (xa biển) mức độ này không rõ ràng ( $p > 0,05$ ), do ít chịu ảnh hưởng của xâm nhập nước biển, minh chứng rõ hơn là 3 phân vùng còn lại KR1, SC2, KR2 đều có giá trị EC < 2mS.cm<sup>-1</sup>, độ mặn < 1,5‰ - nước hơi mặn, vẫn thích hợp để tưới tiêu nông nghiệp [52]. Điều này có thể hàm ý rằng nước biển đã xâm nhập vào khu vực nghiên cứu thông qua dòng chảy thuộc các sông chính trên địa bàn tỉnh, và nó cũng gợi ý rằng xâm nhập nước biển thường đóng góp quan trọng trong việc xác định chất lượng nước mặt tại khu vực ven biển [19, 31].

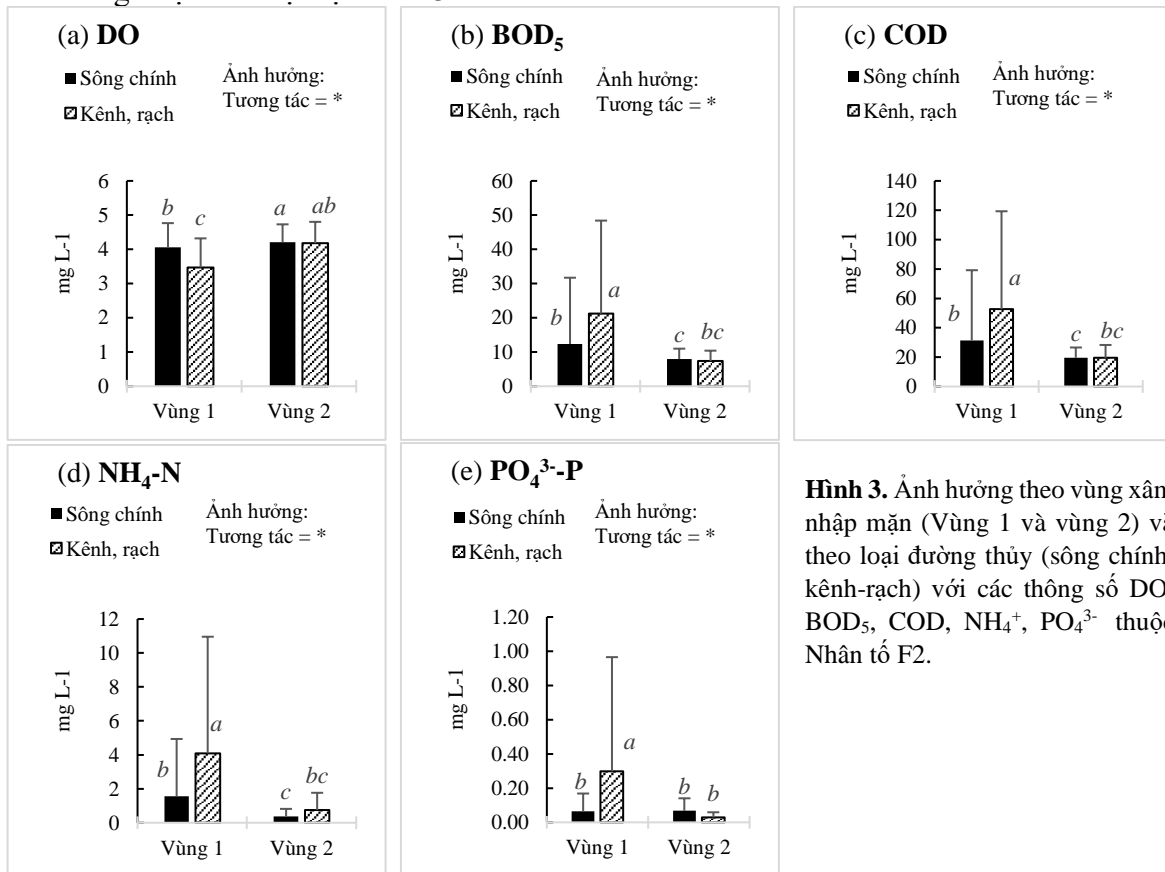


**Hình 2.** Ảnh hưởng theo vùng xâm nhập mặn (Vùng 1 và vùng 2) và theo loại đường thủy (sông chính, kênh - rạch) với các thông số TDS, EC, độ mặn, Cl<sup>-</sup> thuộc Nhân tố F1. Thanh error bar: độ lệch chuẩn của giá trị trung bình. Sự khác biệt có ý nghĩa thống kê ( $p < 0,05$ ): các chữ cái a, b, c, ...

Dấu hoa thị (\*): hiệu ứng tương tác giữa vùng và đường thủy được thử nghiệm có ý nghĩa thống kê và NS: hiệu ứng tương tác không có ý nghĩa thống kê ( $p < 0,05$ ). Lưu ý nếu hiệu ứng tương tác giữa vùng và đường thủy có ý nghĩa, hiệu ứng đơn lẻ của đường thủy và vùng không được thử nghiệm.

Nhân tố thứ hai (F2) có tải trọng dương mạnh đối với BOD<sub>5</sub>, COD tải trọng dương trung bình đối với NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>, và tải trọng âm trung bình đối với DO. VF2 giải thích được khoảng 16,1% tổng phương sai (Bảng 2). Yếu tố này với tải trọng cao tại các thông số dinh dưỡng và hữu cơ có thể liên quan đến nước thải sinh hoạt, sản xuất công nghiệp, nuôi trồng thủy sản. BOD<sub>5</sub> và COD có mối quan hệ chặt chẽ, đặc biệt hình thành từ các loại nước thải trên, [53, 54], từ đó làm giảm hàm lượng DO trong nước. NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> đại diện cho ô nhiễm chất dinh dưỡng từ các nước thải nuôi trồng thủy sản và sinh hoạt [55–57].

Kết quả từ Hình 3 cho thấy BOD<sub>5</sub>, COD, NH<sub>4</sub> và PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> ở vùng kênh rạch lớn hơn vùng sông, và ngược lại dẫn đến DO thấp hơn. Nguyên nhân có thể do vận tốc dòng chảy và thể tích thấp kết hợp với xả chất thải quá mức tại các kênh rạch dẫn đến sự tích tụ các chất ô nhiễm tại đây [4], đặc biệt là tại các kênh rạch vùng 1 - nơi có hoạt động kinh tế rất phát triển (dân cư, công nghiệp và dịch vụ) và là nơi tập trung phát triển thủy sản nước mặn của tỉnh với diện tích trên 4.000ha đất ngập mặn tập trung tại các huyện Châu Thành, Cần Giuộc và Cần Đức [15], dẫn đến mức độ ảnh hưởng khá rõ ràng ( $p < 0,05$ ). Điều này cũng giải thích cho chất lượng nước tại vùng 2 - nơi cách xa biển tốt hơn so với vùng 1 ở Hình 3. Sự tương tác đáng kể giữa 2 yếu tố thực nghiệm (vùng, và loại đường thủy) đến các thông số thuộc nhân tố F2 cũng được thể hiện tại Hình 3.



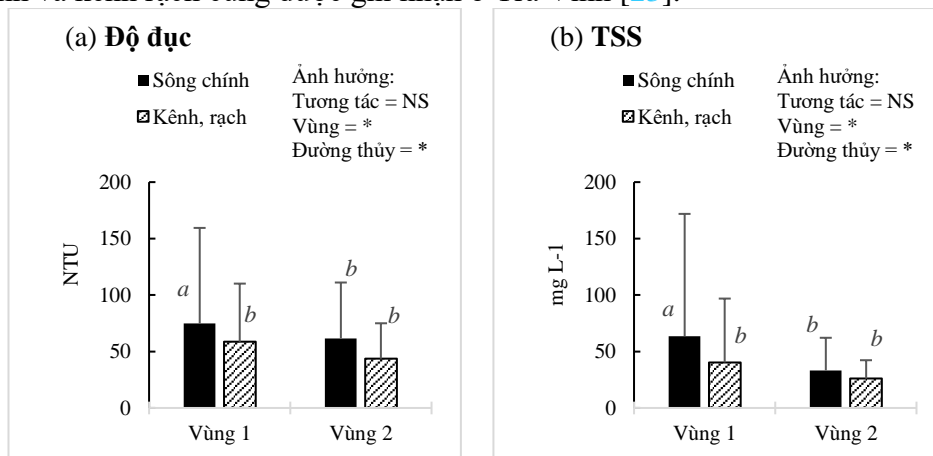
**Hình 3.** Ảnh hưởng theo vùng xâm nhập mặn (Vùng 1 và vùng 2) và theo loại đường thủy (sông chính, kênh-rạch) với các thông số DO, BOD<sub>5</sub>, COD, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> thuộc Nhân tố F2.

Nhân tố thứ 3 (F3), chiếm khoảng 13,7% tổng phương sai có tải trọng dương mạnh đối với Độ đục và TSS. Độ đục và TSS có thể đại diện cho kết quả xói mòn đất hoặc dòng nước thải dân cư, công nghiệp, nông nghiệp, thủy sản chảy vào [23, 24]. Chất rắn lơ lửng có nhiều trong nước thải sinh hoạt và nước thải nuôi trồng thủy sản có thể làm ô nhiễm nước mặt [54, 55]. Tại vùng ven biển ĐBSCL nuôi tôm là hoạt động chính dẫn đến nồng độ TSS lửng luôn ở mức cao [4], đây cũng là loài thủy sản chính tại khu vực nuôi trồng chính của tỉnh Long An [15]. Mùa mưa có thể làm tăng nồng độ TSS thông qua tác động dòng chảy từ đồng ruộng,



đường giao thông hoặc khu dân cư [58], trong khi mùa khô có thể làm tăng nồng độ chất rắn lơ lửng (hiệu ứng tích tụ/lắng đọng) do lượng nước đầu vào giảm [26]. Nghiên cứu tại tỉnh Tiền Giang cho thấy TSS là một trong những chỉ tiêu biến động theo mùa rõ rệt nhất của các khối nước, vào mùa mưa hàm lượng TSS cao hơn so với mùa khô, điều này có thể từ quá trình xói mòn đất do nước mưa [18]. Tuy vậy, kết quả của nghiên cứu này cho thấy thông tin ngược lại, với hàm lượng trung bình TSS, độ đục trong nước mặt trên địa bàn tỉnh Long An ở mùa khô cao hơn so với mùa mưa. Vào mùa khô giá trị TSS, độ đục lần lượt là 58 mg.L<sup>-1</sup>, 70,9 NTU và vào mùa mưa là 43 mg.L<sup>-1</sup> và 62,6 NTU, đồng thời sự biến động theo mùa này có ý nghĩa (p < 0,05). Chứng tỏ nhân tố F3 (độ đục, TSS) trong nghiên cứu này đặc trưng bởi dòng nước thải chảy vào hệ thống thủy văn từ hoạt động dân cư, sản xuất nông nghiệp, nuôi trồng thủy sản, công nghiệp, và liên quan đến hiệu ứng tích tụ/lắng đọng chất ô nhiễm trong khối nước.

Thông số độ đục và TSS liên quan đến nhân tố F3 không bị ảnh hưởng bởi sự tương tác giữa vùng và loại đường thủy, mà bởi ảnh hưởng riêng lẻ của vùng, và loại đường thủy (Hình 4). Dao động mực nước lên tới vài mét mỗi ngày do ảnh hưởng của thủy triều có thể là nguyên nhân gây ra tốc độ dòng chảy ở các sông kênh ven biển góp phần làm độ đục, TSS tại vùng 1 cao hơn vùng 2 [4]. Kết quả quan trắc của các thông số ở nhân tố F3 tại các sông chính cao hơn so với các kênh rạch, nguyên nhân có thể là do sự tích lũy các chất ô nhiễm trong các kênh rạch nhánh được vận chuyển vào sông chính [23], và chế độ thủy triều ảnh hưởng đến các sông chính cao hơn kênh rạch. Ảnh hưởng tương tự của hàm lượng TSS theo các tuyến sông chính và kênh rạch cũng được ghi nhận ở Trà Vinh [23].

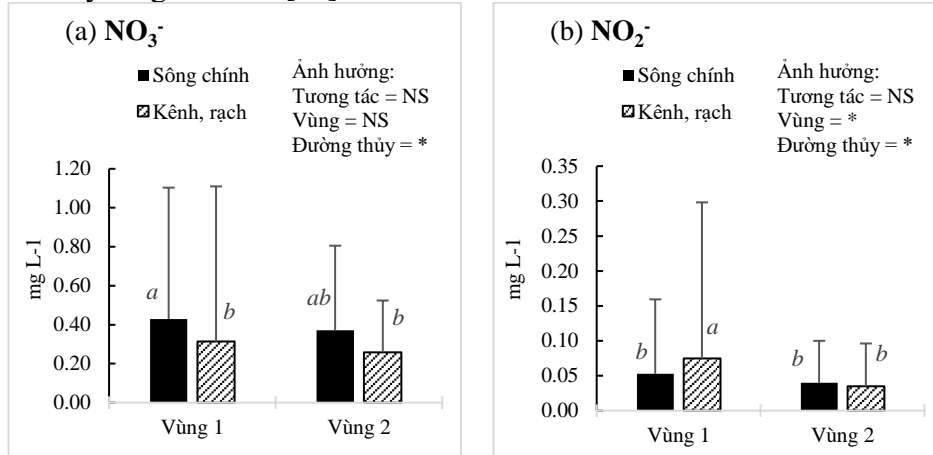


**Hình 4.** Ảnh hưởng theo vùng xâm nhập mặn (Vùng 1 và vùng 2) và theo loại đường thủy (sông chính, kênh - rạch) với các thông số Độ đục, TSS thuộc Nhân tố F3.

Nhân tố thứ 4 (F4), giải thích 9,9% tổng phương sai, có tải trọng dương mạnh trên NO<sub>3</sub><sup>-</sup> và NO<sub>2</sub><sup>-</sup>, liên quan đến các chất dinh dưỡng vô cơ nitơ. Nước bề mặt giàu chất dinh dưỡng là dấu hiệu của các khu vực có dòng chảy nông nghiệp [59]. Các nghiên cứu tại vùng ĐBSCL [21, 26, 31] cho thấy chất thải thủy sản và dòng chảy tràn hoặc xói mòn từ vùng nông nghiệp có thể làm tăng thêm chất dinh dưỡng vào nguồn nước mặt. Nghiên cứu [4] cũng chỉ ra rằng, ngoài nước chảy tràn từ đất nông nghiệp được bón phân thì nước thải (chưa qua xử lý) cũng là nguồn chính của các chất dinh dưỡng trong nước mặt vùng ĐBSCL. Tuy vậy, theo kết quả của nghiên cứu này cho thấy NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, NO<sub>2</sub><sup>-</sup> là các thông số có ý nghĩa ảnh hưởng theo mùa (p < 0,05), vào mùa mưa giá trị trung bình 2 thông số này lần lượt là 0,42 mg/l và 0,062 mg/L và cao hơn so với mùa khô (0,34 mg/L và 0,048 mg/L). Điều này chứng tỏ nhân tố F4 (NO<sub>3</sub><sup>-</sup> và NO<sub>2</sub><sup>-</sup>) trong nghiên cứu này đặc trưng bởi dòng chảy tràn của nước mưa qua khu vực sản xuất nông nghiệp.

Các thông số NO<sub>3</sub><sup>-</sup> và NO<sub>2</sub><sup>-</sup> liên quan đến nhân tố F4 không bị ảnh hưởng bởi sự tương tác giữa vùng và loại đường thủy, mà bởi ảnh hưởng riêng lẻ của loại đường thủy (đối với thông số NO<sub>3</sub><sup>-</sup>), và theo vùng, cũng như loại đường thủy (đối với thông số NO<sub>2</sub><sup>-</sup>) (Hình 5).

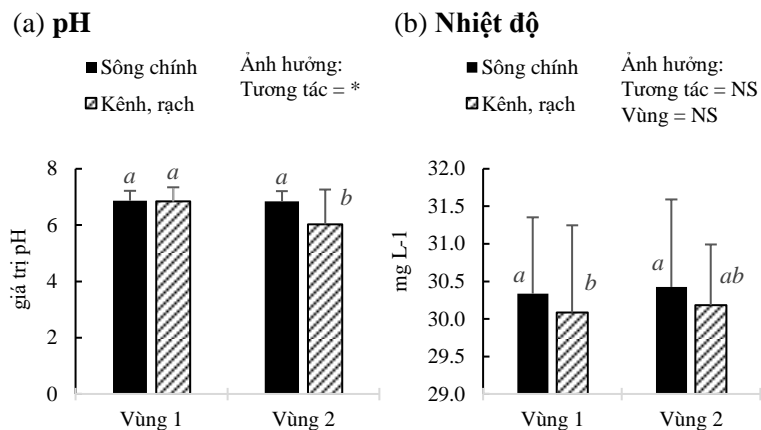
Tại khu vực sông chính giá trị  $\text{NO}_3^-$  cao hơn khu vực kênh rạch, trong khi giá trị  $\text{NO}_2^-$  ngược lại. Nguyên nhân, trong quá trình nitrat hóa,  $\text{NO}_2^-$  là chất trung gian không ổn định có xu hướng chuyển thành  $\text{NO}_3^-$  [4], quá trình nitrat hóa  $\text{NO}_2^-$  thành  $\text{NO}_3^-$  tại các kênh rạch nhánh, sau đó theo các dòng chảy đổ ra các vùng sông chính làm tăng nồng độ  $\text{NO}_3^-$  và giảm  $\text{NO}_2^-$  tại đây.  $\text{NO}_3^-$  và  $\text{NO}_2^-$  ở vùng 1 (gần biển), cao hơn vùng 2 (nội địa) trong nghiên cứu này, có thể liên quan đến dòng thải tại khu vực nuôi thủy sản chính của tỉnh ở vùng 1, kết quả tương tự được tìm thấy ở nghiên cứu [57].



**Hình 5.** Ảnh hưởng theo vùng xâm nhập mặn (Vùng 1 và vùng 2) và theo loại đường thủy (sông chính, kênh-rạch) với các thông số  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NO}_2^-$  thuộc Nhân tố F4.

Nhân tố chính cuối cùng (F5), chiếm khoảng 7,6% tổng phương sai, có tải trọng dương trung bình trên nhiệt độ và tải trọng âm trung bình trên pH. Các nguồn ảnh hưởng đến pH và nhiệt độ có thể là chế độ thủy văn và các yếu tố thời tiết [25]. Các nghiên cứu [27, 60] cho thấy pH, nhiệt độ là các thông số biến động theo mùa. Giá trị trung bình pH trong nghiên cứu này vào mùa mưa là 6,67 nhỏ hơn không nhiều so với mùa khô (6,78). Các nghiên cứu khác [4, 24] cũng cho thấy điều này, có thể là kết quả của dòng chảy tràn nước mặt cuốn theo lớp đất có tính axit (hay bị nhiễm phèn) trong mùa mưa cao hơn so với mùa khô tại khu vực [4]. Nhìn chung, pH trong nước mặt không dao động nhiều tại vùng nghiên cứu, giá trị pH ở mức trung tính và nằm trong phạm vi cho phép của quy chuẩn nước mặt cho mục đích cấp nước sinh hoạt. pH có tương quan nghịch với nhiệt độ khi ở mức trung tính theo ghi nhận của Ashton và cộng sự [61].

pH chịu sự ảnh hưởng tương tác giữa vùng và loại đường thủy, trong khi đó nhiệt độ chỉ chịu sự ảnh hưởng riêng lẻ của loại đường thủy (Hình 6). Nhiệt độ trong nước tại các kênh rạch thấp hơn không đáng kể, nhưng có ý nghĩa thống kê ( $p < 0,05$ ) so với các sông chính, đặc biệt tại vùng 1 gần biển. Điều này có thể giải thích do lưu lượng dòng chảy thấp hơn tại các kênh rạch so với sông chính [62]. Trong khi đó pH tại các kênh rạch thấp hơn so với sông chính và có ý nghĩa ( $p < 0,05$ ) tại vùng 2 nội địa. Điều này chứng tỏ tại khu vực Đồng Tháp Mười thuộc vùng 2 trên địa bàn tỉnh đã diễn ra



**Hình 6.** Ảnh hưởng theo vùng xâm nhập mặn (Vùng 1 và vùng 2) và theo loại đường thủy (sông chính, kênh-rạch) với các thông số pH, nhiệt độ thuộc Nhân tố F5.

quá trình rửa trôi đất phèn (có tính axit) đưa vào các kênh rạch làm giảm độ pH so với các sông chính - nơi dòng chảy đã trung hòa pH. Nguyên nhân này cũng giải thích cho pH thấp hơn ở vùng 2 so với vùng 1.

### 3.2.2. Định lượng phần trăm đóng góp vào WQI của các nguồn ô nhiễm

Phân tích hồi quy đa biến cho thấy 5 nhân tố được trích ra từ phân tích PCA/FA, lần lượt chiếm 81,3%, 12,8%, 2,8%, 1,0% và 2,1% có mối tương quan đáng kể với cả tổng phương sai của chỉ số WQI (Bảng 3). Tất cả năm nhân tố cùng nhau giải thích 100% tổng phương sai của WQI. Có năm nguồn ô nhiễm/nhân tố chính có khả năng ảnh hưởng đến chất lượng nước mặt tỉnh Long An được rút ra từ phân tích PCA/FA ở trên cùng với sử dụng hồi quy đa biến chỉ số WQI.

Xâm nhập mặn của nước biển ngày càng gia tăng tại vùng nghiên cứu là nhân tố chính giải thích tới 81,3% chỉ số WQI. Nhân tố thứ hai chiếm khoảng 12,8% tổng phương sai của WQI đến từ hoạt động nhân sinh, bao gồm các hoạt động dân cư, công nghiệp, dịch vụ, nông nghiệp (nuôi trồng thủy sản) đã gia tăng nước thải vào hệ thống nước mặt. Nhân tố thứ 03 có thể bắt nguồn từ quá trình tích tụ/lắng đọng chất ô nhiễm tại các vùng nước mặt làm gia tăng chất ô nhiễm tại thủy vực, nhân tố này chiếm khoảng 2,8%. Nhân tố thứ tư chiếm khoảng 1,0% đóng góp vào chỉ số WQI là dòng chảy tràn của nước mưa qua các khu vực nông nghiệp. Ngoài ra còn có các yếu tố về thời tiết và thủy văn cũng góp phần ảnh hưởng đến chất lượng nước mặt trong nghiên cứu hiện tại với khoảng 2,1%.

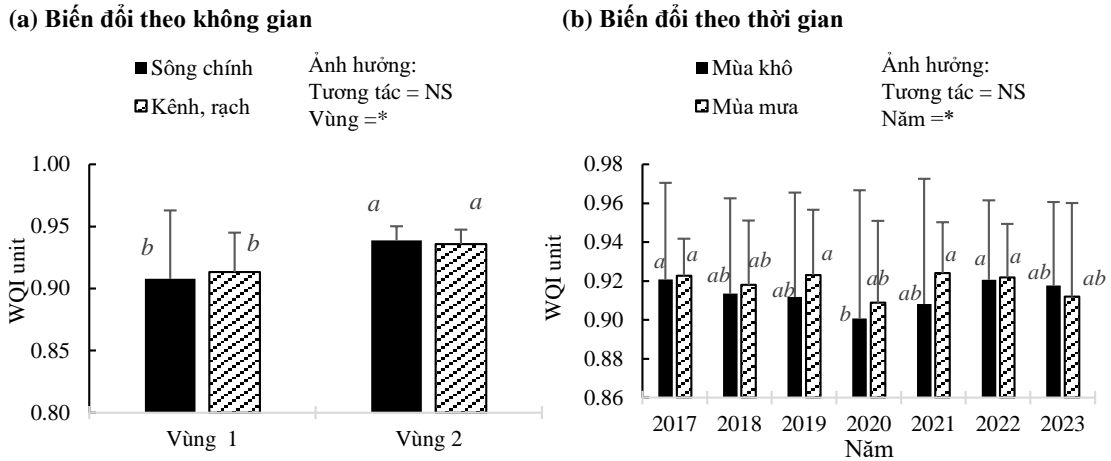
**Bảng 3.** Phần trăm đóng góp của các nhân tố chính từ PCA/FA giải thích tổng phương sai của WQI tại khu vực nghiên cứu ( $p < 0,05$ ).

| Nhân tố tiềm ẩn | Tổng bình phương | Đóng góp % | Giá trị p | Thông số ảnh hưởng   | Nguồn ô nhiễm/Nhân tố chính              |
|-----------------|------------------|------------|-----------|--|--|
| F1              | 2,48             | 81,3       | <0,0001   | TDS, EC, độ mặn, Clo   | Xâm nhập mặn nước biển                   |
| F2              | 0,39             | 12,8       | <0,0001   | DO, BOD <sub>5</sub> , COD, NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , PO <sub>4</sub> <sup>-3</sup> | Hoạt động nhân sinh                      |
| F3              | 0,09             | 2,8        | <0,0001   | Độ đục, TSS  | Quá trình tích tụ/lắng đọng chất ô nhiễm |
| F4              | 0,03             | 1,0        | <0,0001   | NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>                              | Dòng chảy tràn nông nghiệp               |
| F5              | 0,06             | 2,1        | <0,0001   | pH, nhiệt độ   | Yếu tố thời tiết, thủy văn               |
| Tổng Phương sai | 3,04             | 100,0      |           |  |  |

### 3.3. Sự thay đổi theo không gian và thời gian chỉ số chất lượng nước mặt (WQI)

Về sự thay đổi không gian, các mẫu nước được thu thập từ vùng 2 xa biển có WQI cao hơn so với các mẫu nước được thu thập từ vùng 1 (gần biển) (Hình 7a). Phân tích Anova cho thấy ảnh hưởng theo vùng không gian này có ý nghĩa thống kê ( $p < 0,05$ ). Nguyên nhân vì mỗi vùng không gian chịu tác động bởi các nguồn ô nhiễm khác nhau, có hai nguyên nhân chính: (1) Nguyên nhân quan trọng đầu tiên do xâm nhập mặn ở vùng 1 ón hơn so với vùng 2; (2) Nguyên nhân thứ hai là do tại khu vực vùng 1 có các hoạt động kinh tế xã hội diễn ra mạnh mẽ làm gia tăng phát thải vào vào hệ thống nước mặt nhiều hơn vùng 2 là nơi có mật độ dân số thấp, chủ yếu là đất nông nghiệp. Ngoài ra đóng góp ít hơn từ quá trình tích tụ/lắng đọng, dòng chảy tràn nước mưa, hay các yếu tố thời tiết, thủy văn nhưng không rõ ràng và cần được nghiên cứu sâu rộng hơn. Xu hướng giảm WQI từ vùng trên xuống vùng dưới cũng được thấy ở nhiều sông khác như sông Sài Gòn [63], sông Tiên [19], sông Hậu [23]. Mặt khác chỉ số WQI giữa khu vực sông chính và kênh rạch tại từng vùng không gian không có sự khác biệt có ý nghĩa thống kê ( $p > 0,05$ ). Điều này hàm ý rằng, trong quản lý chất lượng

nước, tỉnh nên chú trọng vào vùng không gian theo ảnh hưởng của yếu tố biển và hoạt động nhân sinh hơn là các tác nhân về thủy động lực khác nhau tại vùng sông chính và kênh rạch.



**Hình 7.** Biến đổi theo không và thời gian WQI tại khu vực nghiên cứu. Thanh error bar: độ lệch chuẩn của giá trị trung bình. Sự khác biệt có ý nghĩa thống kê ( $p < 0,05$ ): các chữ cái a, b; Dấu hoa thị (\*): hiệu ứng tương tác giữa vùng và đường thủy được thử nghiệm có ý nghĩa thống kê và NS: hiệu ứng tương tác không có ý nghĩa thống kê ( $p < 0,05$ ). Lưu ý nếu hiệu ứng tương tác giữa vùng và đường thủy có ý nghĩa, hiệu ứng đơn lẻ của đường thủy và vùng không được thử nghiệm.

Xét theo thời gian, chỉ số WQI mùa mưa cao hơn mùa khô (Hình 7b). Tuy nhiên, sự chênh lệch này không rõ ràng tại các mùa trong 07 năm quan trắc, thể hiện ở phân tích anova giữa hai mùa tại các năm đều không có ý nghĩa thống kê ( $p > 0,05$ ). Dù vậy, phân tích cũng cho thấy WQI vào mùa khô năm 2020 nhỏ nhất trong 7 năm, nguyên do mùa khô năm 2020 xâm nhập mặn xảy ra rất khốc liệt theo ghi nhận [15, 64]. Sự thay đổi về WQI trong 7 năm qua là không đáng kể (Hình 7b), ngụ ý rằng công tác quản lý môi trường của tỉnh trong giai đoạn này ngày càng tốt hơn giúp lượng phát ra môi trường tăng không nhiều. Tuy nhiên, trong tương lai môi trường nước mặt của tỉnh có thể tiếp tục suy giảm do ảnh hưởng hưởng của biến đổi khí hậu và các hoạt động phát triển kinh tế - xã hội mạnh mẽ của tỉnh làm gia tăng phát thải vào nguồn nước.

#### 4. Kết luận

Chất lượng nước mặt tại tỉnh Long An có thể bị ảnh hưởng bởi 5 nguồn ô nhiễm/nhân tố chính, trong đó nguồn quan trọng nhất có thể liên quan đến xâm nhập mặn, đóng góp khoảng 81,3% vào WQI trong nghiên cứu hiện tại. Nguồn thứ hai chiếm 12,8% có thể liên quan đến hoạt động nhân sinh, công nghiệp, nuôi trồng thủy sản. Bên cạnh đó còn ba nguồn khác có mức độ đóng góp thấp hơn liên quan đến sự tích tụ/lắng đọng trên hệ thống sông, kênh rạch; quá trình chảy tràn nước mưa qua khu vực đất nông nghiệp; và cuối cùng là các yếu tố thời tiết, thủy lực. Theo WQI, chất lượng nước mặt có xu hướng giảm rõ rệt từ vùng nội địa ra ven biển, và mùa mưa cao hơn mùa khô đặc biệt là vào năm 2020, trong khi đó ảnh hưởng tại khu vực sông chính và kênh rạch không rõ ràng. Nghiên cứu chỉ ra rằng các biện pháp quản lý chất lượng nước của tỉnh cần chú trọng vào vùng không gian theo ảnh hưởng của thủy triều và hoạt động nhân sinh. Bài báo chưa xem xét tác động của ô nhiễm nước mặt đến sức khỏe con người và cần được làm rõ trong các nghiên cứu tiếp theo.

**Lời cảm ơn:** Tác giả xin bày tỏ lời cảm ơn chân thành tới Sở Tài nguyên và Môi trường tỉnh Long An đã hỗ trợ, giúp đỡ, góp phần hoàn thành công trình nghiên cứu này.

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

### Tài liệu tham khảo

1. Lin, L.; Yang, H.; Xu, X. Effects of water pollution on human health and disease heterogeneity: A review. *Front. Environ. Sci.* **2022**, *10*, 880246.
2. Sasáková, N. et al. Pollution of surface and ground water by sources related to agricultural activities. *Front. Sustain. Food Sys.* **2018**, *2*, 1–11.
3. Akhtar, M.; Memon, M. Biomass and nutrient uptake by rice and wheat: A three-way interaction of potassium, ammonium and soil type. *Pak. J. Bot.* **2009**, *41(6)*, 2965–2974.
4. Wilbers, G.J.; Becker, M.; Sebesvari, Z.; Renaud, F.G. Spatial and temporal variability of surface water pollution in the Mekong Delta, Vietnam. *Sci. Total Environ.* **2014**, *485*, 653–665.
5. Al-Hussainin, S.N.H.; Obaidy, A.H.A.; Al-Mashhady, A. Environmental assessment of heavy metal pollution of Diyala River within Baghdad City. *Appl. Water Sci.* **2018**, *8*, 87.
6. Karbassi, A.R.; Monavari, S.; Nabi, R.; Nouri, J.; Nematpour, K. Metal pollution assessment of sediment and water in the Shur River. *Environ. Monit. Assess.* **2008**, *147*, 107–116.
7. Tirkey, P.; Bhattacharya, T.; Chakraborty, S. Water quality indices- important tools for water quality assessment: A review. *Int. J. Adv. Chem.* **2013**, *1*, 15–28.
8. Vega, M.; Pardo, R.; Barrado, E.; Deban, L. Assessment of seasonal and polluting effects on the quality of river water by exploratory data analysis. *Water Res.* **1998**, *32*, 3581–3592.
9. Shrestha, S.; Kazama, F. Multivariate statistical techniques for the assessment of surface water quality of Fuji River Basin, Japan. *Water Sci. Technol.* **2006**, *50*, 13–18.
10. Qadir, A.; Malik, R.; Husain, S. Spatio-temporal variations in water quality of nullah aik-tributary of the River Chenab, Pakistan. *Environ. Monit. Assess.* **2008**, *140*, 43–59.
11. Oketola, A.; Okekunle, M.; Osibanjo, O. Water quality assessment of river ogun using multivariate statistical techniques. *J. Environ. Prot.* **2013**, *4*, 466–479.
12. Tengku Ibrahim, T.N.; Othman, F.; Mahmood, N.; Abunama, T. Seasonal effects on spatial variations of surface water quality in a tropical river receiving anthropogenic influences. *Sains Malaysiana* **2021**, *50*, 571–593.
13. Yang, S.; Liang, M.; Zesheng, Q.; Qian, Y.; Li, M.; Cao, Y. A novel assessment considering spatial and temporal variations of water quality to identify pollution sources in urban rivers. *Sci. Rep.* **2021**, *11*, 8714.
14. Group, W.B. Vietnam: Toward a safe, clean, and resilient water system. World Bank, 2019.
15. UBND tỉnh Long An. Báo cáo quy hoạch tỉnh Long An thời kỳ 2021-2030, tầm nhìn đến năm 2050. Long An, 2023.
16. Trung tâm quy hoạch và điều tra tài nguyên nước quốc gia. Báo cáo tổng hợp quy hoạch tổng hợp lưu vực sông Cửu Long thời kỳ 2021-2030, tầm nhìn đến năm 2050. Hà Nội, 2022.
17. Kotera, A.; Sakamoto, T.; Nguyen, D.K.; Yokozawa, M. Regional consequences of seawater intrusion on rice productivity and land use in coastal area of the Mekong River Delta. *Jpn. Agric. Res. Q.* **2008**, *42(4)*, 267–274.
18. Giao, N.T.; Cong, N.V.; Nhien, H.T.H. Using remote sensing and multivariate statistics in analyzing the relationship between land use pattern and water quality in Tien Giang province, Vietnam. *Water* **2021**, *13(8)*, 1093.

19. Nguyen, B.T.; Le, L.B.; Le, A.H.; Thai, N.V. The interactive effects of the seawater intrusion-affected zones and types of waterways on the surface water quality from the coastal Tien Giang Province, Vietnam. *Environ. Monit. Assess.* **2021**, *193*(4), 224.
20. Quoc, P.N. Spatial and temporal analysis of surface water pollution indices using statistical methods. *Civil Eng. J.* **2024**, *10*(6), 1828–1841.
21. Giao, N.T.; Anh, P.K.; Nhien, H.T.H. Spatiotemporal analysis of surface water quality in Dong Thap province, Vietnam using water quality index and statistical approaches. *Water* **2021**, *13*(3), 336.
22. Giao, N.T.; Dan, T.H.; Ni, D.V.; Anh, P.K.; Nhien, H.T.H. Spatiotemporal variations in physicochemical and biological properties of surface water using statistical analyses in Vinh Long Province, Vietnam. *Water* **2022**, *14*(14), 2200.
23. Le, T.; Duong, N.P.T.; Nguyen, B. Spatial and temporal analysis and quantification of pollution sources of the surface water quality in a coastal province in Vietnam. *Environ. Monit. Assess.* **2023**, *195*, 408.
24. Phung, D. et al. Temporal and spatial assessment of river surface water quality using multivariate statistical techniques: a study in Can Tho City, a Mekong Delta area, Vietnam. *Environ. Monit. Assess.* **2015**, *187*, 4474.
25. Giao, N.T. Spatial variations of surface water quality in Hau Giang province, Vietnam using multivariate statistical techniques. *Environ. Nat. Res. J.* **2020**, *18*(4), 400–410.
26. Nguyen, B.; Long, V.D.; Tong, X.; Nguyen, T.; Quang, N. The Interactive Effects of Natural Factor and Pollution Source on Surface Water Quality in the Lower Mekong River Basin, Southwestern Vietnam. *Water Resources*, **2020**, *47*, 865-876.
27. Giao, N.T.; Ly, N.H.T. Evaluating Surface Water Quality in a Coastal Province of Vietnamese Mekong Delta Using Water Quality Index and Statistical Methods. *Polish Journal of Environmental Studies*, **2023**, *32*(3).
28. Giao, N.T.; Diem, M.L.T.; Huynh, N.T.H. Pollution and risk level assessment of pollutants in surface water bodies. *Civil Engineering Journal*, **2023**, *9*(8), 1851–1862.
29. Giao, N.T.; Vo, Q.M. The categorized of surface water quality variation using multivariate statistical approaches: A case study of Ben Tre Province, Vietnam. *Trends Sci.* **2022**, *19*(8), 3468–3468.
30. Hong, T.T.K.; Giao, N.T. Analysis of surface water quality in upstream province of Vietnamese Mekong Delta using multivariate statistics. *Water* **2022**, *14*(12), 1975.
31. Le, T.; Do, D.; Nguyen, B. Spatiotemporal assessment and pollution-source identification and quantification of the surface water system in a coastal region of Vietnam. *Hydrol. Sci. J.* **2023**, *68*, 782–793.
32. Giao, N.T.; Nhien, H.T.H. Using multivariate statistical methods to identify key surface water pollutants in the dry season in a coastal province, Vietnam: Multivariate statistical methods to identify surface water pollutants in the dry season in a coastal province. *VN J. Agric. Sci.* **2022**, *5*(2), 1480–1491.
33. Giao, N.T. Analysis of surface water quality using multivariate statistical approaches: A case study in Ca Mau Peninsula, Vietnam. *Pollution* **2022**, *8*(2), 463–477.
34. Nhân, P.Q.; Trâm, T.T.N.; Lê, T.T. Ứng dụng trọng số Entropy tính toán chỉ số chất lượng nước (EWQI) vùng khan hiếm nước tỉnh Long An. *Tap chí khoa học Tài nguyên và Môi trường* **2024**, *52*, 26–35.
35. Sở Tài nguyên và Môi trường tỉnh Long An. Báo cáo hiện trạng môi trường tỉnh Long An giai đoạn 2016-2020. Long An, 2020.
36. Quân, N.H.; Quế, T.N.C. Phân tích các hiện tượng cực đoan và xu hướng biến đổi của lượng mưa trong 30 năm gần đây ở tỉnh Long An bằng phương pháp thống kê. *Tap chí Khí tượng Thủy văn* **2014**, *638*, 6–11.

37. Gomes, P.I.; Fernando, B.A.; Dehini, G.K. Assessment of pollution sources, fate of pollutants, and potential instream interventions to mitigate pollution of earthen canals of urban to rural-urban fringe. *Water Air Soil Pollut.* **2019**, *230*(11), 262.
38. Fu, D.; Wu, X.; Chen, Y.; Yi, Z. Spatial variation and source apportionment of surface water pollution in the Tuo River, China, using multivariate statistical techniques. *Environ. Monit. Assess.* **2020**, *192*, 1–11.
39. Li, X.; Zhang, L.; Khan, F.; Han, Z. A data-driven corrosion prediction model to support digitization of subsea operations. *Process Saf. Environ. Prot.* **2021**, *153*, 413–421.
40. Kaiser, H.F. An index of factorial simplicity. *Psychometrika* **1974**, *39*(1), 31–36.
41. Hair, J.F.; Black, W.C.; Babin, B.J.; Anderson, R.E. Multivariate data analysis: Pearson new international edition PDF eBook. Pearson Higher Ed, 2013.
42. Mukherjee, A.; Lal, R. Comparison of soil quality index using three methods. *PLoS ONE* **2014**, *9*(8), e105981.
43. Bộ Tài nguyên và Môi trường. QCVN 08-MT:2015/BTNMT - Quy chuẩn kỹ thuật quốc gia về chất lượng nước mặt. Hà Nội, 2015.
44. Putri, M.; Lou, C.H.; Syai'in, M.; Ou, S.H.; Wang, Y.C. Long-term river water quality trends and pollution source apportionment in Taiwan. *Water* **2018**, *10*, 1394.
45. Bộ Tài nguyên và Môi trường. QCVN 08:2023/BTNMT - Quy chuẩn kỹ thuật quốc gia về chất lượng nước mặt. Thành phố Hà Nội, 2023.
46. Pekey, H.; Karakaş, D.; Bakoglu, M. Source apportionment of trace metals in surface waters of a polluted stream using multivariate statistical analyses. *Mar. Pollut. Bull.* **2004**, *49*(9-10), 809–818.
47. Huang, F.; Wang, X.; Lou, L.; Zhou, Z.; Wu, J. Spatial variation and source apportionment of water pollution in Qiantang River (China) using statistical techniques. *Water Res.* **2010**, *44*(5), 1562–1572.
48. Herbert, E.R.; et al. A global perspective on wetland salinization: ecological consequences of a growing threat to freshwater wetlands. *Ecosphere* **2015**, *6*(10), 1–43.
49. Nichkova, L.; Sigora, G.; Khomenko, T.; Biriuk, V. Optimization of the seawater desalination method for a certain region. *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.* **2019**, *264*(1), 012020.
50. Pham, Q.N.; Nguyen, N.H.; Ta, T.T.; Tran, T.L. Vietnam's water resources: Current status, challenges, and security perspective. *Sustainability* **2023**, *15*(8), 6441.
51. Minderhoud, P.; Coumou, L.; Erkens, G.; Middelkoop, H.; Stouthamer, E. Mekong delta much lower than previously assumed in sea-level rise impact assessments. *Nat. Commun.* **2019**, *10*(1), 3847.
52. Rhoades, D.; Kandiah, A.; Mashali, A. The use of saline waters for crop production-FAO irrigation and drainage paper 48. ed: Rome: The Food and Agriculture Organization of the United Nations, 1992.
53. Hamed, M.A.R. Application of surface water quality classification models using principal components analysis and cluster analysis. Available at SSRN 3364401, 2019.
54. Huang, M.; Li, Y.; Gu, G.W. Chemical composition of organic matter in domestic wastewater. *Desalination* **2010**, *262*, 36–42.
55. Dauda, A.B.; Ajadi, A.; Tola-Fabunmi, A.S.; Akinwale, A. O. Waste production in aquaculture: Sources, components and managements in different culture systems. *Aquac. Fish.* **2019**, *4*(3), 81–88.
56. Matta, G.; Nayak, A.; Kumar, A.; Kumar, P. Water quality assessment using NSFQI, OIP and multivariate techniques of Ganga River system, Uttarakhand, India. *Appl. Water Sci.* **2020**, *10*(9), 206.

57. Wehrheim, C.; Lübken, M.; Stolpe, H.; Wichern, M. Identifying key influences on surface water quality in freshwater areas of the Vietnamese Mekong Delta from 2018 to 2020. *Water* **2023**, *15*(7), 1295.
58. Rossi, L.; Fankhauser, R.; Chevre, N. Water quality criteria for total suspended solids (TSS) in urban wet-weather discharges. *Water Sci. Technol.* **2006**, *54*(6-7), 355–362.
59. Cooper, C. Biological effects of agriculturally derived surface water pollutants on aquatic systems - A review. *J. Environ. Quality* **1993**, *22*(3), 402–408.
60. Singh, K.P.; Malik, A.; Mohan, D.; Sinha, S. Multivariate statistical techniques for the evaluation of spatial and temporal variations in water quality of Gomti River (India) – A case study. *Water Res.* **2004**, *38*(18), 3980–3992.
61. Ashton, J.; Geary, L. The effects of temperature on pH measurement. *Tsp* **2011**, *1*(2), 1–7.
62. Booker, D.J.; Whitehead, A.L. River water temperatures are higher during lower flows after accounting for meteorological variability. *River Res. Appl.* **2022**, *38*(1), 3–22.
63. Nguyen, T.N.; Ha, N.; Sthiannopkao, S. Risk assessment of the Sai Gon river water quality for safety water supply to Ho Chi Minh city. *J. Sci. Technol.* **2011**, *9*, 1–10.
64. Lavane K.; et al. Nghiên cứu vận hành công trình thủy lợi trong điều kiện xâm nhập mặn: Trường hợp nghiên cứu tại huyện Vũng Liêm, tỉnh Vĩnh Long. *Tap chí Khoa học Đại học Cần Thơ* **2023**, *59*, 296–303.

## **Identification and qualification pollution sources of surface water in Long An province, Mekong Delta**

**Le Viet Thang**<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> Institute for Environmental Science, Engineering and Management, Industrial University of Ho Chi Minh City; levietthangmt@gmail.com

**Abstract:** This study aims to evaluate temporal, spatial variations and fractionate the pollution sources of the surface water system in Long An province. From 2017 to 2023, a total of 1,736 surface water samples were collected from 62 sites, divided into 4 zones. During dry and rainy seasons, water samples were collected 4 times per year and analyzed for 15 physical, chemical and biological parameters. The entire data set was subjected to principal component analysis (PCA/FA), two-way analysis of variance, multivariate regression analysis and used to calculate water quality index (WQI). The PCA/FA results showed 05 main sources of pollution/factors affecting surface water quality, including: saline intrusion; human activities; accumulation/sedimentation; runoff through agricultural areas; and weather and hydraulic factors. Multivariate regression analysis indicated that saline intrusion and human activities contribute significantly to the deterioration of water quality in this area. The values of WQI reduced from inland to coastal areas, and these indexes in the rainy season tends to be higher than the dry season. These findings provide a scientific fundamental for developing enhanced and rigorous water quality management strategies in Long An province.

**Keywords:** Multivariate statistical analysis; Pollution sources; Long An; Water quality.



Bài báo khoa học

# Nghiên cứu ứng dụng kỹ thuật hoà hợp cải thiện trường ban đầu cho mô hình WRF dự báo bão trên biển Đông

Nguyễn Thanh Bằng<sup>1\*</sup>, Trương Bá Kiên<sup>1</sup>, Nguyễn Đức Nam<sup>1</sup>, Trần Duy Thức<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Viện Khoa học Khí tượng Thủy văn và Biến đổi khí hậu; bangnt29@gmail.com; kien.cbq@gmail.com; ducnam.mi@gmail.com; tranduythuc1@gmail.com

\*Tác giả liên hệ: bangnt29@gmail.com; Tel.: +84-838734488

Ban Biên tập nhận bài: 28/10/2024; Ngày phản biện xong: 18/12/2024; Ngày đăng bài: 25/5/2025

**Tóm tắt:** Nghiên cứu ứng dụng kỹ thuật hòa hợp (blending) cải thiện trường ban đầu cho mô hình WRF trong dự báo bão trên Biển Đông, với thử nghiệm trên 4 cơn bão năm 2023 (Talim, Saola, Koinu, Sanba). Các cơn bão không đổ bộ trực tiếp vào Việt Nam nhưng gây ảnh hưởng gián tiếp như mưa lớn và gió mạnh trên biển. Kết quả cho thấy, về quỹ đạo, bão Talim có sai số tăng theo hạn thời gian, với CTL (*No-blending*) luôn tốt hơn blending, sai số lớn nhất 320 km ở hạn 60h. Bão Saola có blending dự báo tốt hơn ở hạn 20-40h, trong khi các hạn khác có sai số tương đương. Bão Koinu có sai số hướng di chuyển ở cả hai phương án, với CTL nhỉnh hơn. Bão Sanba có sai số nhỏ nhưng hướng di chuyển không chính xác. Về cường độ, cả hai phương án dự báo bão Talim mạnh hơn thực tế, sai số khí áp lớn nhất 25 mb ở hạn 42h, blending kém hơn CTL. Với Saola, dự báo yếu hơn thực tế ở hạn đầu nhưng mạnh hơn ở 36-48h, sai số tương đương nhau. Bão Koinu bị dự báo yếu hơn thực tế, sai số lớn nhất 30 mb ở hạn 6h. Bão Sanba mạnh hơn thực tế trong 36h đầu nhưng yếu hơn sau đó, CTL có sai số nhỏ hơn. Kỹ thuật hòa hợp cho thấy tiềm năng cải thiện dự báo quỹ đạo và cường độ bão trong một số tình huống cụ thể.

**Từ khóa:** Kỹ thuật hoà hợp; Dự báo bão; Mô hình WRF.

## 1. Giới thiệu

Xoáy thuận nhiệt đới (XTNĐ), bao gồm bão và áp thấp nhiệt đới (ATNĐ), là những hiện tượng thiên tai nguy hiểm, gây ra nhiều hệ quả nghiêm trọng như gió mạnh, mưa lớn, lũ lụt, sóng cao và nước biển dâng. Những tác động này không chỉ gây thiệt hại nặng nề về người và tài sản mà còn làm gián đoạn sâu sắc các hoạt động kinh tế và xã hội ở nhiều khu vực trên thế giới. Do đó, việc nâng cao độ chính xác trong dự báo quỹ đạo, cường độ, cấu trúc, và các hệ quả kèm theo của XTNĐ như mưa lớn và gió mạnh là một nhiệm vụ ưu tiên và mang tính toàn cầu, thách thức cả các quốc gia phát triển lẫn đang phát triển.

Trong những thập kỷ gần đây, Tổ chức Khí tượng Thế giới (WMO) cùng các nhà khoa học quốc tế đã triển khai nhiều hướng nghiên cứu nhằm nâng cao chất lượng dự báo XTNĐ. Các nghiên cứu chủ yếu tập trung vào ba hướng: dự báo quỹ đạo và cấu trúc bão, dự báo cường độ và năng lượng bão, cũng như đánh giá các hệ quả của XTNĐ như mưa lớn và gió mạnh [1-4]. Đồng hóa số liệu đã được áp dụng rộng rãi nhằm cải thiện trường ban đầu của mô hình dự báo, vốn là yếu tố quan trọng quyết định chất lượng dự báo số trị. Các nghiên cứu đã cho thấy rằng việc kết hợp các nguồn dữ liệu quan trắc phi truyền thống như radar, vệ tinh, và định vị sét vào quá trình đồng hóa có thể cải thiện đáng kể chất lượng dự báo [5, 6]. Các kỹ thuật hiện đại như biến phân ba chiều (3DVAR), biến phân bốn chiều (4DVAR), và lọc Kalman tổ hợp (EnKF) đã chứng minh hiệu quả trong nâng cao dự báo quỹ đạo, cường

độ và các hệ quả của XTNĐ [7–9]. Nghiên cứu [10] chỉ ra rằng đồng hóa các số liệu bán kính gió và khí áp mực biển cực tiểu đã cải thiện đáng kể dự báo quỹ đạo bão Talas (2011). Tương tự, việc đồng hóa số liệu radar Doppler và sét đã mang lại những kết quả vượt trội trong dự báo lượng mưa và cường độ mưa lớn cho các hệ thống đổi lưu mạnh [11–13].

Kỹ thuật ban đầu hóa xoáy cũng đã được áp dụng để tái tạo cấu trúc và cường độ bão thực tế hơn trong các mô hình. Các nghiên cứu [14, 15] đã chứng minh rằng việc chèn các xoáy lý tưởng ba chiều hoặc xoáy thực nghiệm vào trường ban đầu có thể cải thiện đáng kể dự báo quỹ đạo và cường độ bão.

Gần đây, các kỹ thuật hòa hợp (*blending techniques*) đã được nghiên cứu nhằm kết hợp thông tin quy mô lớn từ các mô hình toàn cầu với thông tin quy mô nhỏ tạo ra bởi các mô hình độ phân giải cao [17–19]. Tại Đài Loan, các kỹ thuật này đã được ứng dụng để cải thiện chất lượng dự báo quỹ đạo và cường độ bão trên khu vực Tây Bắc Thái Bình Dương và Biển Đông [16]. Cụ thể, nghiên cứu [20] chỉ ra rằng việc tích hợp thông tin quy mô nhỏ từ mô hình WRF với trường phân tích toàn cầu từ GFS đã cải thiện đáng kể chất lượng dự báo bão. Tương tự, tại châu Âu, các nghiên cứu [21, 22] đã sử dụng bộ lọc không gian gia tăng để kết hợp phân tích quy mô lớn từ ECMWF với các trường quy mô nhỏ từ HIRLAM. Phương pháp này đã được triển khai tại Viện Khí tượng Đan Mạch từ năm 2006 và mang lại kết quả khả quan trong việc cải thiện dự báo [23]. Mặc dù đã đạt được những tiến bộ đáng kể, việc cải thiện chất lượng trường ban đầu trong mô hình dự báo XTNĐ vẫn đối mặt với nhiều thách thức [24, 25]. Sự thiếu hụt thông tin quy mô lớn trong khởi tạo của các mô hình khu vực là một trở ngại lớn, đòi hỏi các nghiên cứu tiếp tục tập trung vào việc kết hợp thông tin đa quy mô để nâng cao độ chính xác của dự báo.

Bài báo này tập trung nghiên cứu ứng dụng kỹ thuật hòa hợp nhằm cải thiện trường ban đầu cho mô hình WRF, với mục tiêu nâng cao chất lượng dự báo bão trên Biển Đông.

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

### 2.1. Thiết kế thí nghiệm

Mô hình WRF phiên bản V4 được sử dụng với kỹ thuật blending technique với hai miền tính, độ phân giải 27 km, 9 km, 160×110, 124×208. Số mực thẳng đứng: 34, p\_top: 5000. Bước thời gian tích phân: 45s.

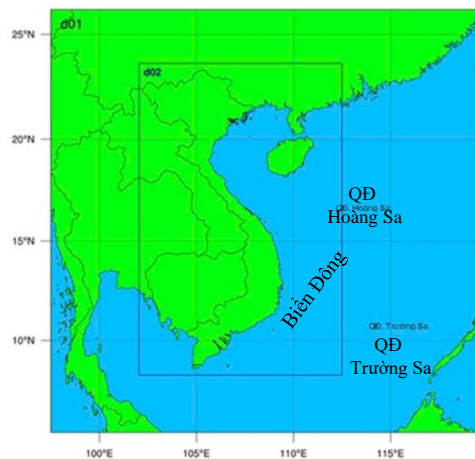
|                        |                    |   |                                       |
|------------------------|--------------------|---|---------------------------------------|
| Sơ đồ vi vật lý        | mp_physics         | 7 | WRF Single-Moment 6-Class (WSM6)      |
| Sơ đồ bức xạ sóng dài  | ra_lw_physics      | 1 | Rapid Radiative Transfer Model (RRTM) |
| Sơ đồ bức xạ sóng ngắn | ra_sw_physics      | 1 | Dudhia                                |
| Sơ đồ lớp bề mặt       | sf_sfclay_physics  | 1 | MM5 similarity                        |
| Sơ đồ bề mặt đất       | sf_surface_physics | 2 | Noah Land Surface Model               |
| Sơ đồ lớp biên         | bl_pbl_physics     | 1 | Yonsei University (YSU)               |
| Sơ đồ đổi lưu          | cu_physics         | 1 | Kain-Fritsch                          |

thực của hệ thống mô hình toàn cầu (GFS) của Trung tâm Dự báo môi trường quốc gia (NCEP) với độ phân giải 25 km, bước thời gian là 06h với 26 mực thẳng đứng. Dữ liệu bão được lấy từ dữ liệu của JTWC (*Joint Typhoon Warning Center*) dùng để đánh giá sai số cường độ và quỹ đạo bão.

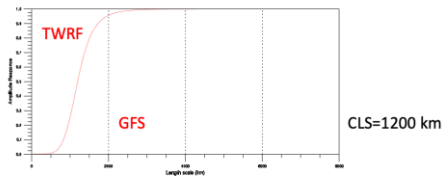
### 2.2. Phương pháp kỹ thuật hoà hợp trường

Việc cải thiện trường ban đầu thông qua kết hợp thông tin trường quy mô lớn từ mô hình toàn cầu với thông tin trường quy mô nhỏ tạo ra bởi mô hình độ phân giải cao giúp cải thiện chất lượng dự báo bão, đặc biệt là cường độ bão và mưa lớn gây ra do bão.

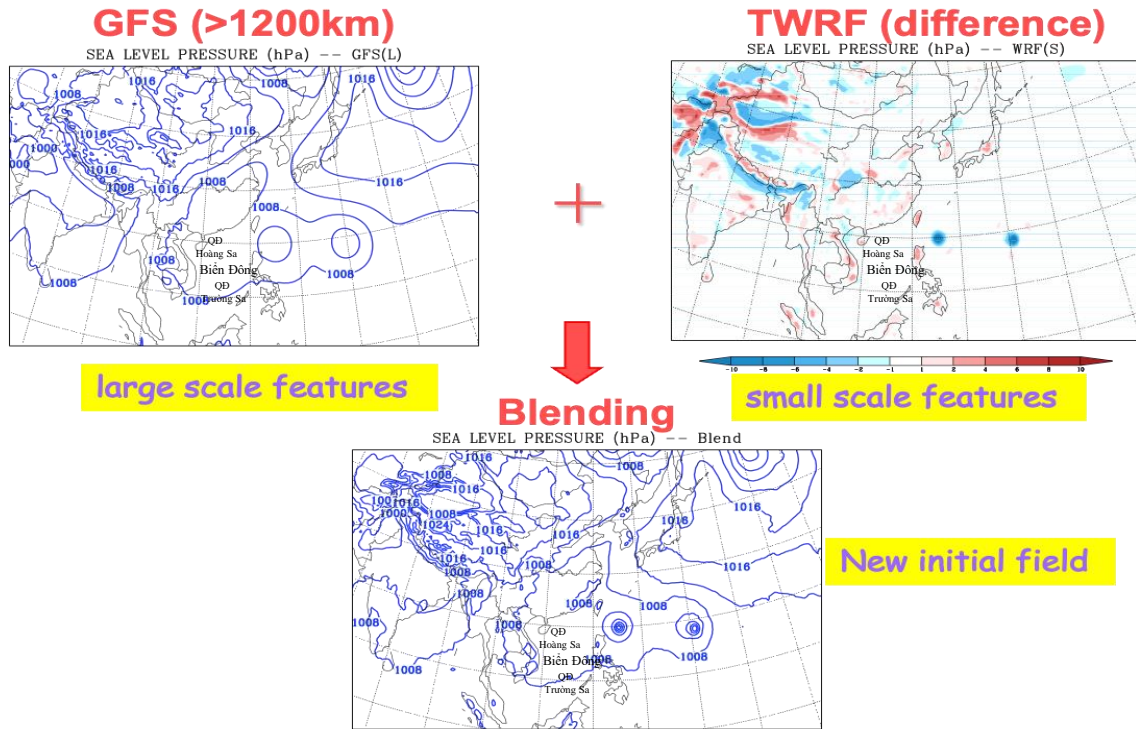
Điều kiện biên trong mô được sử dụng các phân tích và dự báo thời gian



$$BLD_{ana} = \underbrace{TWRF_{ana}}_{\text{Small scale from TWRF}} - \overline{TWRF_{ana}}^{RF} + \underbrace{GFS_{ana}}_{\text{Large scale from GFS}}$$

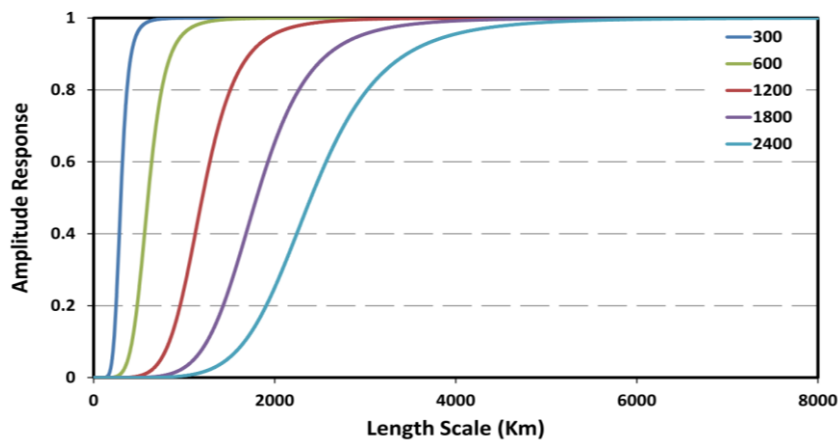


Blending the GFS analysis with TWRF to improve the IC



Hình 1. Kỹ thuật xây dựng trường ban đầu từ mô hình TWRF [12].

Kỹ thuật này sử dụng phương pháp của Yang (2005), sử dụng phương pháp lọc thông thấp tiếp tuyến bậc 6 (*low-pass filter*) theo nghiên cứu [26].



Hình 2. Biên độ của bộ phương pháp lọc thông thấp tiếp tuyến 6 bậc (*low-pass filter*) theo nghiên cứu [26] cho 300, 600, 1200, 1800 và 2400 km.

Sử dụng bộ lọc thông thấp (*LPF: Low Pass Filter*) để tính của các trường cơ bản gió ( $u_L, v_L$ ), nhiệt độ thế vị  $\theta_L$ , tỉ số xáo trộn hơi nước  $\gamma_L$ , khí áp bề mặt  $p_{sL}$  từ trường

phòng đoán ban đầu  $u, v, \theta, \gamma$  và  $p_s$  với điều kiện nhiễu động có bước sóng nhỏ hơn 1200 km trong phạm vi 4000 km quanh tâm XTNĐ. Sau đó, trường nhiễu động toàn phần được tính bằng hiệu số giữa trường toàn cầu với trường mô phỏng của WRF. Nghiên cứu [20] thì lọc hiệu quả sóng có bước sóng 1200km là phù hợp nhất. Trường ban đầu tại vị trí mới của xoáy được tạo ra trong module WRF-3DVAR, các biến dịch chuyển bao gồm gió ( $u_g, v_g$ ), nhiệt độ thể vị  $\theta_g$ , tỉ số xáo trộn hơi nước  $\gamma_g$ , khí áp bề mặt  $p_{sg}$  được tính theo công thức:

$$u_g = u - u_t + u_{td} = u + \tilde{u}$$

$$v_g = v - v_t + v_{td} = v + \tilde{v}$$

$$\theta_g = \theta - \theta_t + \theta_{td} = \theta + \tilde{\theta}$$

$$\gamma_g = \gamma - \gamma_t + \gamma_{td} = \gamma + \tilde{\gamma}$$

$$p_{sg} = p_s - p_{st} + p_{std} = p_s + \tilde{p}_s$$

Trong đó giá trị thay đổi do dịch chuyển xoáy là:

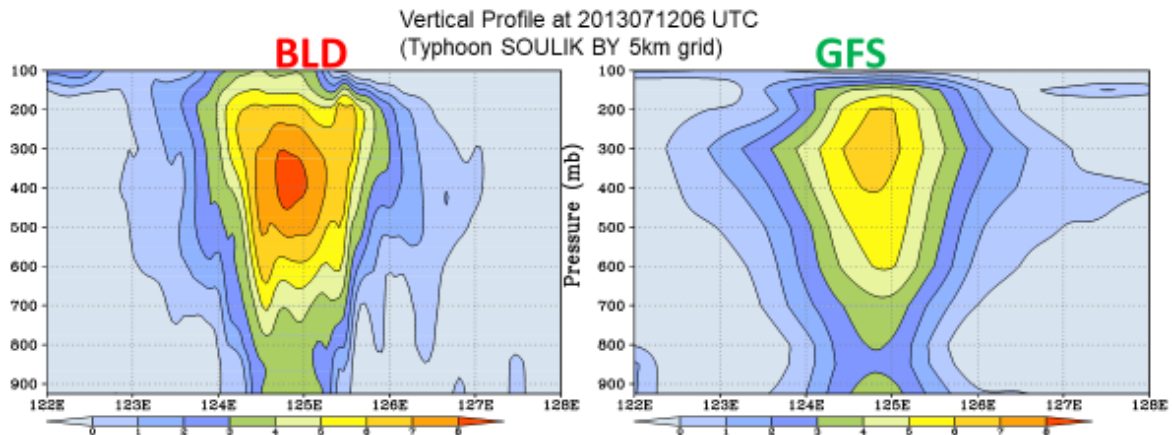
$$\tilde{u} = u_{td} - u_t$$

$$\tilde{v} = v_{td} - v_t$$

$$\tilde{\theta} = \theta_{td} - \theta_t$$

$$\tilde{\gamma} = \gamma_{td} - \gamma_t$$

$$\tilde{p}_s = p_{std} - p_{st}$$



Hình 3. So sánh cấu trúc lõi nóng của bão Soulik giữa trường ban đầu GFS và trường ban đầu mô hình TWRf (5km) được hòa hợp, cho thấy lõi nóng của bão trong TWRf cao hơn hẳn [20].

### 3. Kết quả và thảo luận

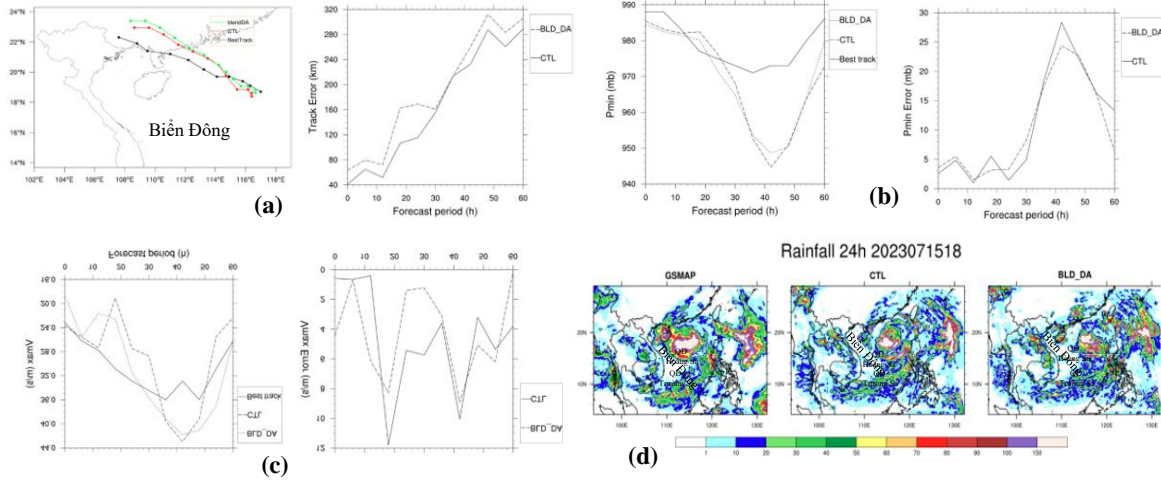
#### 3.1. Kết quả đánh giá độ chính xác và kiểm định thực tế

Nghiên cứu đã chạy thử nghiệm cho 4 cơn bão trong mùa bão năm 2023 thông qua so sánh giữa phương pháp đồng hóa (BLD\_DA), không đồng hóa (CTL).

Bảng 1. Danh sách các cơn bão chạy thử nghiệm.

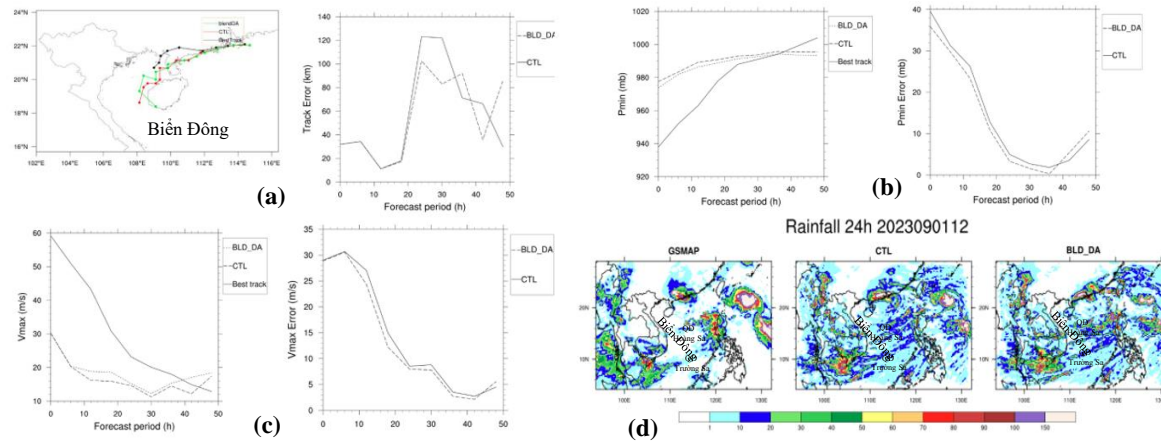
| TT | Tháng | Tên quốc tế | Số hiệu VN | $P_{min}$ | $V_{max}$ | Bắt đầu   | Kết thúc  |
|----|-------|-------------|------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 1  | 7     | TALIM       | Bão số 1   | 970       | 65        | 13h/15/7  | 13h/18/7  |
| 2  | 8     | SAOLA       | Bão số 3   | 935       | 100       | 13h/24/8  | 22h/02/9  |
| 3  | 9     | KOINU       | Bão số 4   | 940       | 90        | 01h/30/9  | 16h/09/10 |
| 4  | 10    | SANBA       | Bão số 5   | 1000      | 40        | 11h/18/10 | 10h/20/10 |

Với bão TALIM, Phương pháp BLD\_DA cho thấy khả năng dự báo quỹ đạo bão tốt hơn phương pháp CTL, đặc biệt là trong giai đoạn cuối. Đường dự báo của BLD\_DA gần sát với quỹ đạo thực tế hơn.

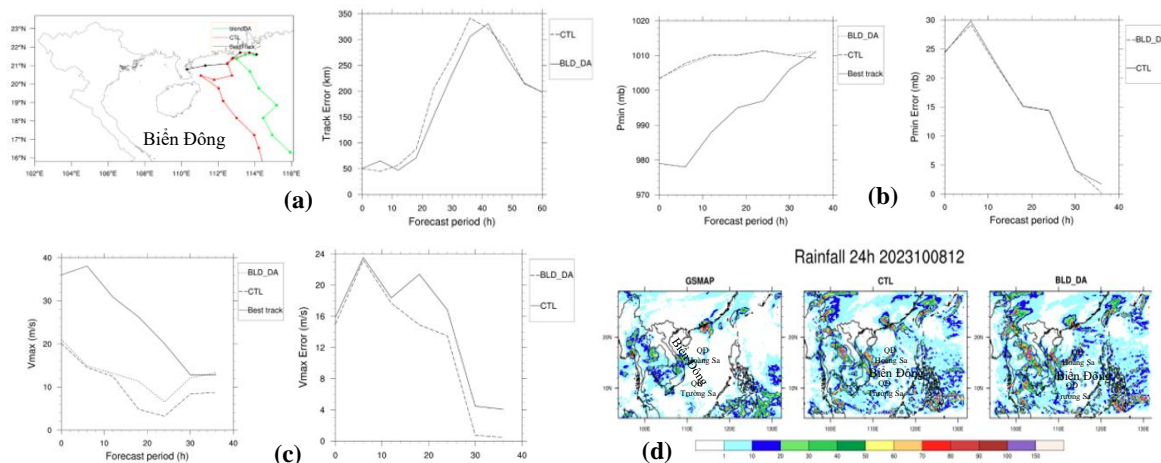


**Hình 4.** Kết quả thử nghiệm bão Talim: (a) Quỹ đạo bão và sai số dự báo; (b) Dự báo áp suất cực tiểu tại tâm bão; (c) Dự báo vận tốc gió cực đại  $V_{max}$ ; (d) Mô phỏng lượng mưa tích lũy 24h.

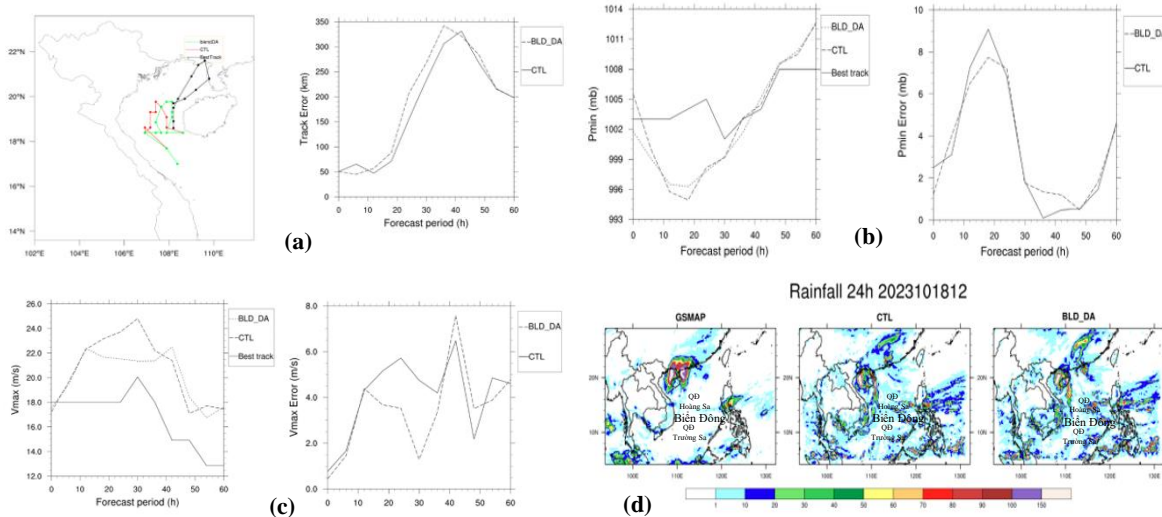
Phương pháp BLD\_DA cho thấy khả năng dự báo áp suất cực tiểu, vận tốc gió cực đại tốt hơn phương pháp CTL. Đường dự báo của BLD\_DA gần sát với đường thực tế (best track) hơn, đặc biệt là trong giai đoạn đầu. Về mô phỏng mưa tích lũy 24h, BLD\_DA có sự tương đồng cao hơn với dữ liệu vệ tinh (GSMAP) so với hình ảnh CTL, cho thấy việc đồng bộ hóa dữ liệu đã giúp cải thiện đáng kể độ chính xác của mô hình. Khi tiến hành chạy với bão Saola, bão Koinu và bão Sanba cũng cho kết quả tương quan hoàn toàn tương tự với bão Talim.



**Hình 5.** Kết quả thử nghiệm bão Saola: (a) Quỹ đạo bão và sai số dự báo; (b) Dự báo áp suất cực tiểu tại tâm bão; (c) Dự báo vận tốc gió cực đại  $V_{max}$ ; (d) Mô phỏng lượng mưa tích lũy 24h.



**Hình 6.** Kết quả thử nghiệm bão Koinu: (a) Quỹ đạo bão và sai số dự báo; (b) Dự báo áp suất cực tiểu tại tâm bão; (c) Dự báo vận tốc gió cực đại  $V_{max}$ ; (d) Mô phỏng lượng mưa tích lũy 24h.



**Hình 7.** Kết quả thử nghiệm bão Sanba: (a) Quỹ đạo bão và sai số dự báo; (b) Dự báo áp suất cực tiểu tại tâm bão; (c) Dự báo vận tốc gió cực đại  $V_{max}$ ; (d) Mô phỏng lượng mưa tích lũy 24h.

Có thể thấy rằng phương pháp BLD\_DA (đồng hóa dữ liệu) cho kết quả dự báo tốt hơn phương pháp CTL (không đồng hóa dữ liệu) về cả quỹ đạo, vận tốc gió cực đại, áp suất cực tiểu và lượng mưa của bão.

#### 4. Kết luận

Kết quả dự báo thử nghiệm và đánh giá được thể qua chất lượng mô phỏng dự báo đối với 4 cơn bão hoạt động trên Biển Đông trong năm 2023 gồm Talim, Saola, Koinu và Sanba. Đây đều là các cơn bão không đổ bộ trực tiếp vào Việt Nam mà chỉ ảnh hưởng gián tiếp, gây mưa lớn, gió mạnh hoặc thời tiết xấu trên biển.

##### a) Về quỹ đạo dự báo

Với mỗi cơn bão kết quả đánh giá có những điểm khác nhau. Với Talim, sai số dự báo quỹ đạo tăng dần theo hạn dự báo, phương án CTL (*No-blending*) luôn cho sai số nhỏ hơn hoặc bằng phương án Blending, sai số lớn nhất khoảng 300-320 km ở hạn dự báo 60h, sai số nhỏ nhất 30-80 km ở những thời điểm đầu. Bão Saola, sai số dự báo quỹ đạo lớn nhất đều ở hạn dự báo 20-40h trong đó CTL cho sai số lớn hơn (120 km), trong khi Blending cho sai số khoảng 80-100 km. Sai số ở các hạn dự báo đầu (dưới 20h) dao động trong khoảng 10-40 km và hai phương án cho sai số xấp xỉ nhau về giá trị. Ở hạn dự báo sau 48h, trong khi CTL cho sai số giảm thì Blending lại cho sai số có chiều hướng tăng. Với bão Koinu, phương án CTL cho sai số nhỏ hơn tuy nhiên cả hai phương án chưa dự báo đúng về hướng di chuyển. Bão Sanba, sai số tuy không quá lớn nhưng hướng di chuyển của bão, cả hai phương án đều không dự báo tốt.

##### b) Về dự báo cường độ

Kết quả dự báo cường độ bão Talim cho thấy cả hai phương án CTL và đồng hóa BlendingDA đều dự báo cường độ bão mạnh hơn so với thực tế (*best-track*). Sai số khí áp lớn nhất ở hạn dự báo 42h, khoảng 25mb, nhìn chung BlendingDA cho sai số Pmin lớn hơn CTL, tuy nhiên hơn ở mức xấp xỉ. Đối với Saola, hai phương án đều dự báo cường độ bão Saola yếu hơn so với thực tế ở hạn dự báo 36h, từ hạn dự báo 36-48h, hai phương án lại cho kết quả dự báo cường độ bão mạnh hơn thực tế. Cả hai phương án đều cho sai số Pmin khá tương đương nhau, giảm dần đến hạn dự báo 36h, sau đó tăng. Với bão Koinu, hai phương án CTL đều cho cường độ bão yếu hơn thực tế. Giá trị sai số thể hiện lớn nhất khoảng 30mb ở hạn dự báo 6h. Với bão Sanba hai phương án đều cho kết quả khá tương đồng, cường độ mạnh hơn thực tế trong 36h đầu, có cường độ tương đương từ 36-48h và có cường độ yếu hơn thực tế sau hạn 48h. CTL cho sai số nhỏ hơn.

c) Về dự báo gió mạnh

Với bão Talim, nhìn chung trường hợp CTL dự báo  $V_{max}$  lớn hơn trường hợp đồng hóa BlendingDA ở hạn dự báo 18-42h. Sai số  $V_{max}$  lớn nhất khoảng 12 m/s ở hạn 18h theo CTL. Với bão Saola, hai phương án cho kết quả  $V_{max}$  báo khá tương đương nhau về giá trị, sai số  $V_{max}$  tăng từ hạn 0-6h, sau đó giảm dần đến hạn 42h và lại tăng nhẹ. Giá trị sai số lớn nhất xấp xỉ 30 m/s ở hạn 6h, và nhỏ nhất là dưới 5 m/s ở hạn dự báo 42h. Trong bão Koinu, hai phương án đều cho kết quả dự báo  $V_{max}$  nhỏ hơn so với thực tế ở hạn dự báo 30h đầu, sau đó gần tương đương ở hạn 30-36 đối với trường hợp BlendingDA, và thấp hơn thực tế ở trường hợp CTL. Sai số dự báo trường hợp CTL luôn lớn hơn so với BlendingDA. Sai số  $V_{max}$  lớn nhất khoảng 23 m/s ở hạn dự báo 8h, và nhỏ nhất, từ 1-5 m/s ở hạn dự báo 30-36h. Bão Sanba, trong 12h đầu hai phương án có sai số tương đương, tăng theo hạn dự báo. Từ 12-36h, CTL cho sai số  $V_{max}$  lớn hơn khá nhiều so với BlendingDA. Từ 36-48h, hai phương án có sai số tương đương, giá trị sai số tăng lên 6-8 m/s rồi giảm còn 2-4 m/s.

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

**Lời cảm ơn:** Nhóm tác giả trân trọng cảm ơn sự hỗ trợ của Đề tài khoa học và công nghệ “Nghiên cứu ứng dụng kỹ thuật hoà hợp (blending techniques) kết hợp đồng hoá dữ liệu độ phân giải cao dự báo cường độ, quỹ đạo bão, gió mạnh và mưa lớn trong bão trên khu vực Biển Đông và Việt Nam”, Mã số TNMT.2023.06.05.

**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. Bui, H.H.; Smith, R.K.; Montgomery, M.T.; Peng, J.Y. Balanced and unbalanced aspects of tropical cyclone intensification. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.* **2009**, *135*, 1715–1731.
2. Stunder, B.J. An assessment of the quality of forecast trajectories. *J. Appl. Meteorol. Climatol.* **1996**, *35*(8), 1319–1331.
3. Leroux, M.D.; Wood, K.; Elsberry, R.L.; Cayan, E.O.; Hendricks, E.; Kucas, M.; Otto, P.; Rogers, R.; Sampson, B.; Yu, Z. Recent advances in research and forecasting of tropical cyclone track, intensity, and structure at landfall. *Trop. Cyclone Res. Rev.* **2018**, *7*(2), 85–105.
4. Heming, J.; Goerss, J. Track and structure forecasts of tropical cyclones. *Global Perspectives on Tropical Cyclones: From Science to Mitigation*, 2010, pp. 287–323.
5. Bennett, K.J.; Olsen, J.M.; Harris, S.; Mekar, S.; Livinski, A.A.; Brownstein, J.S. The perfect storm of information: combining traditional and non-traditional data sources for public health situational awareness during hurricane response. *PLoS Currents* **2013**, *5*.
6. Quon, H.; Jiang, S. Decision making for implementing non-traditional water sources: a review of challenges and potential solutions. *NPJ Clean Water* **2023**, *6*(1), 56.
7. Li, C.Y.R.; Zhou, W.; Lee, T.C. Climatological characteristics and observed trends of tropical cyclone-induced rainfall and their Influences on long-term rainfall variations in Hong Kong. *Mon. Wea. Rev.* **2015**, *143*, 2192–2206.
8. Tiwari, G.; Kumar, P. Predictive skill comparative assessment of WRF 4DVar and 3DVar data assimilation: An Indian Ocean tropical cyclone case study. *Atmos. Res.* **2022**, *277*, 106288.
9. Peng, Y.; Wang, T.; Wang, H.; Wang, L.; Zhang, H.; Wu, S. Impact of digital filtering as a weak constraint on 4DVar to predict and perturb typhoons in WRF model. *Atmos. Res.* **2023**, *284*, 106578.

10. Kunii, M.; Otsuka, M.; Shimoji, K.; Seko, H. Ensemble data assimilation and forecast experiments for the September 2015 heavy rainfall event in Kanto and Tohoku regions with atmospheric motion vectors from Himawari-8. *SOLA 12*, **2016**, 209–214.
11. Chen, L.S. Research progress on the structure and intensity change for the landfalling tropical cyclones. *J. Trop. Meteorol.* **2012**, *18*(2), 113–118.
12. Chang S.W.; Madala R.V. Numerical simulation of the influence of sea surface temperature on translating tropical cyclones. *J. Atmos. Sci.* **1980**, *37*, 2617–2630.
13. Zhang, Y.; Chen, Z.; Xiao, X.; Qie, X.; Chen, M.; Lu, J.; Liu, D. Combined assimilation of radar and lightning data for the short-term forecast of severe convection system. *Atmos. Res.* **2023**, *283*, 106562.
14. Kurihara.; Yoshio.; Morris A. Bender.; Ross, R.J. An initialization scheme of hurricane models by vortex specification. *Mon. Weather Rev.* **1993**, *121*(7), 2030–2045.
15. Kwon, I. H.; Cheong, H.B. Tropical cyclone initialization with a spherical high-order filter and an idealized three-dimensional bogus vortex. *Mon. Weather Rev.* **2010**, *138*(4), 1344–1367.
16. Chiang Yeh, T.; Feng Hsiao, L.; Chen, D.S.; Huang, K.N. A study on terrain-induced tropical cyclone looping in East Taiwan: case study of Typhoon Haitang in 2005. *Nat. Hazards* **2012**, *63*, 1497–1514.
17. Chevuturi, A.; Tanguy, M.; Facer-Childs, K.; Martínez-de la Torre, A.; Sarkar, S.; Thober, S.; Blyth, E. Improving global hydrological simulations through bias-correction and multi-model blending. *J. Hydrol.* **2023**, *621*, 129607.
18. Wang, H.; Huang, X.Y.; Xu, D.; Liu, J. A scale-dependent blending scheme for WRFDA: impact on regional weather forecasting. *Geosci. Model Dev.* **2014**, *7*(4), 1819–1828.
19. Li, Z.; Yang, D.; Hong, Y. Multi-scale evaluation of high-resolution multi-sensor blended global precipitation products over the Yangtze River. *J. Hydrol.* **2013**, *500*, 157–169.
20. Hsiao, L.F.; Huang, X.Y.; Kuo, Y.H.; Chen, D.S.; Wang, H.; Tsai, C.C.; Lee, C.S. Blending of global and regional analyses with a spatial filter: Application to typhoon prediction over the western North Pacific Ocean. *Weather Forecasting* **2015**, *30*(3), 754–770.
21. Durand, Y.; Bougeault, P. L'analyse objective PERIDOT. Dir. de la Meteorologie Nationale, 1987.
22. Ajjaji, R.; Issara, S. Introduction de l'analyse canari du modèle global arpège dans le modèle à domaine limité aladin. Master's Thesis, Ecole Nationale de la Météorologie, Toulouse, France, 1994.
23. Madsen, H.; Arnbjerg-Nielsen, K.; Mikkelsen, P.S. Update of regional intensity–duration–frequency curves in Denmark: Tendency towards increased storm intensities. *Atmos. Res.* **2009**, *92*(3), 343–349.
24. Marks, F.D.; Shay, L.K.; PDT-5. Landfalling tropical cyclones: Forecast problems and associated research opportunities. *Bull. Am. Meteorol. Soc.* **1998**, *79*(2), 305–323.
25. Ebert, E.; Wilson, L.; Weigel, A.; Mittermaier, M.; Nurmi, P.; Gill, P.; Watkins, A. Progress and challenges in forecast verification. *Meteorol. Appl.* **2013**, *20*(2), 130–139.
26. Raymond, W.H.; Garder, A. A review of recursive and implicit filters. *Mon. Weather Rev.* **1991**, *119*(2), 477–495.



## **Application of blending techniques to improve the initial conditions for the wrf model in typhoon forecasting over the bien dong sea**

**Nguyen Thanh Bang<sup>1\*</sup>, Truong Ba Kien<sup>1</sup>, Nguyen Duc Nam<sup>1</sup>, Tran Duy Thuc<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Vietnam institute of meteorology, Hydrology and Climate change;  
bangnt29@gmail.com; kien.cbg@gmail.com; ducnam.mi@gmail.com;  
tranduythuc1@gmail.com

**Abstract:** This study investigates the application of blending techniques to improve the initial conditions for the WRF model in tropical cyclone forecasting over the South China Sea, with experiments conducted on four typhoons in 2023 (Talim, Saola, Koinu, and Sanba). Although these typhoons did not make direct landfall in Vietnam, they caused indirect impacts such as heavy rainfall and strong winds offshore. For track forecasts, results show that Typhoon Talim exhibited increasing errors with forecast lead time, with the control run (CTL, no blending) outperforming the blending approach. The largest error reached 320 km at the 60-hour lead time. For Typhoon Saola, the blending technique provided better forecasts between 20-40 hours, while errors were comparable at other lead times. Typhoon Koinu showed track errors in both methods, with CTL performing slightly better. Typhoon Sanba had small track errors but exhibited significant direction inaccuracies. Regarding intensity forecasts, both methods overestimated Typhoon Talim's strength, with the largest pressure error reaching 25 mb at 42 hours, and the blending approach performing worse than CTL. For Typhoon Saola, forecasts underestimated intensity at early lead times but overestimated it between 36-48 hours, with similar errors in both methods. Typhoon Koinu was forecasted to be weaker than observed, with the largest error of 30 mb at the 6-hour lead time. For Typhoon Sanba, the forecast overestimated intensity during the first 36 hours but underestimated it afterward, with CTL showing smaller errors. The blending technique demonstrates potential for improving tropical cyclone track and intensity forecasts in specific scenarios.

**Keywords:** Blending technique; Typhoon forecasting; WRF model.

Bài báo khoa học

## Nghiên cứu tính toán mức độ xói lở bờ sông bằng công thức kinh nghiệm: Thí điểm cho đoạn sông Tiền chảy qua huyện Chợ Mới, tỉnh An Giang

Lưu Văn Ninh<sup>1</sup>, Nguyễn Thanh Toàn<sup>1</sup>, Ngô Chí Tuấn<sup>2</sup>, Phan Thị Thùy Dương<sup>3</sup>, Nguyễn Hữu Tuấn<sup>3</sup>, Cấn Thu Văn<sup>3\*</sup>

<sup>1</sup> Đài khí tượng thủy văn tỉnh An Giang; luuninhvt@gmail.com;  
ngthtoan8827@gmail.com

<sup>2</sup> Trường Đại học Khoa học tự nhiên, Đại học Quốc gia Hà Nội; ngochituan@gmail.com

<sup>3</sup> Trường Đại học Tài nguyên và Môi trường TP.HCM; pttduong@hcmunre.edu.vn;  
nhtuan@hcmunre.edu.vn; ctvan@hcmunre.edu.vn

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

Ban biên tập nhận bài: 28/10/2024; Ngày phản biện xong: 18/12/2024; Ngày đăng bài 25/5/2025

**Tóm tắt:** An Giang là tỉnh thuộc đầu nguồn sông Cửu Long, được đánh giá là một trong những tỉnh bị ảnh hưởng nghiêm trọng nhất do xói lở bờ sông. Theo thống kê năm 2023, toàn tỉnh An Giang đã xảy ra 129 điểm sạt lở bờ sông, kênh với tổng chiều dài khoảng 6,7km. Hiện nay, trước diễn biến ngày càng phức tạp của biến đổi khí hậu cùng với sự can thiệp quá mức của con người vào dòng chảy tự nhiên, xói lở bờ sông đã và đang trở thành mối đe dọa đến đời sống của người dân ở đây. Trong các nghiên cứu dự báo, tính toán mức độ xói, sạt lở bờ sông, có nhiều phương pháp được sử dụng như là: phương pháp phân tích tài liệu thực đo; mô hình vật lý; mô hình toán; công thức kinh nghiệm. Trong đó công thức kinh nghiệm được coi là phương pháp truyền thống và cũng đã được sử dụng từ lâu. Trong nghiên cứu này sử dụng số liệu thực đo mùa lũ (tháng 10/2024) và mùa kiệt (tháng 6/2024) và công thức kinh nghiệm để tính toán mức độ xói lở bờ sông chạy qua đoạn Chợ Mới tỉnh An Giang. Kết quả tính toán theo công thức cho thấy có sự phù hợp nhất định với kết quả thực đo, với hệ số tương quan là 0,87 và hệ số Nash là 0,86, sai số tương đối dưới 10% là 70% mặt cắt tính toán. Cho thấy khả năng có thể áp dụng công thức kinh nghiệm để thiết lập hệ số và tính toán cho các vùng khác thuộc bờ sông Tiền tỉnh An Giang nói riêng và cả vùng đồng bằng sông Cửu Long nói chung.

**Từ khóa:** An Giang; Công thức kinh nghiệm tính xói lở; Hệ số tương quan.

### 1. Mở đầu

Ở hầu hết tất cả các con sông trên lục địa, quá trình bồi lắng, xói lở xảy ra một cách tự nhiên và liên tục. Quá trình này đặc biệt là xói lở bờ sông, trở nên đáng quan tâm là khi nó gây ra thiệt hại về đất đai, tài nguyên, tài sản của con người. Thời gian qua đã có rất nhiều nhà khoa học trên thế giới nghiên cứu về hiện tượng bồi lắng, xói lở của các dòng sông, đặc biệt là các con sông lớn với hai hướng nghiên cứu chính là địa mạo học dòng sông và sự hiểu biết các cơ chế: xói lở, vận chuyển và bồi lắng của bùn cát do dòng chảy trong sông [1–3]. Nghiên cứu [4] đã phát triển các mô hình thực nghiệm bao gồm các phân tích về xói mòn nền và vỡ bờ bằng cách sử dụng số liệu thực đo cũng như dữ liệu quá khứ. Nghiên cứu này bao gồm phân tích mở rộng giữa từng biên đo lường trong việc biểu thị các yếu tố ảnh hưởng đến tốc độ xói lở bờ sông, phát triển các mô hình dự đoán theo kinh nghiệm trong việc định lượng

tốc độ xói lở bờ sông bằng cách sử dụng phương pháp thống kê và cải thiện hiệu suất dự đoán. Nghiên cứu này kết luận rằng các phương trình thực nghiệm đã phát triển sử dụng phép biến đổi logarit là công cụ dự đoán tốt nhất. Ngày nay, với sự phát triển mạnh mẽ của khoa học kỹ thuật, các nhà khoa học trên thế giới vẫn tiếp tục nghiên cứu về động lực học dòng sông và chỉnh trị sông, đặc biệt là ảnh hưởng của các công trình trên sông đến vấn đề diễn biến, xói lở và bồi lắng lòng dẫn [5].

Ở nước ta, các nghiên cứu về hoạt động xói lở, bồi lấp lòng bờ sông, biển cũng như các giải pháp chỉnh trị sông, biển được bắt đầu vào cuối những năm 60 của thế kỷ trước. Ở đồng bằng sông Cửu Long (ĐBSCL) đã có một số nghiên cứu về hiện tượng xói lở trong những năm gần đây. Nghiên cứu [6] trong nghiên cứu về xói cục bộ sông Tiền tại Tân Châu đã lý giải về cơ chế hình thành hố xói cục bộ trên lòng dẫn tự nhiên, là hiện tượng còn ít được nghiên cứu trên thế giới và trong nước. Dựa trên cơ sở lý thuyết của phép phân tích thứ nguyên, bằng định lý Releigh cũng như định lý Buckingham (định lý  $\pi$ ) và phân tích tính toán áp suất thủy động của dòng chảy tác động vào bờ dốc xây dựng được công thức tổng quát xác định chiều sâu lớn nhất của hố xói cục bộ ( $H_{\max}$ ) tại các đoạn sông có dòng chủ lưu xô ngang vào bờ sông, theo các yếu tố cơ bản của dòng chảy và lòng dẫn. Các yếu tố đó bao gồm lưu lượng tạo lòng ( $Q$ ), vận tốc tạo lòng ( $V$ ), bán kính thủy lực ( $R$ ) ứng với mực nước tạo lòng, tại đoạn sông trước hố xói, góc của hướng dòng chủ lưu và bờ sông ( $\beta$ ), hệ số độ dốc của bờ sông  $i$  và đường kính hạt cát lòng dẫn trung bình ( $d$ ) hoặc vận tốc cho phép không xói của lòng dẫn  $V_0$ . Công thức đã thiết lập phản ánh rõ ràng bản chất vật lý của hiện tượng, có tính tổng quát, có thể áp dụng cho các đoạn sông bất kỳ có dòng chủ lưu xô ngang bờ sông. Các nghiên cứu này đã chỉ ra một số nguyên nhân chính dẫn tới sự gia tăng xói lở tại một số điểm trong khu vực ĐBSCL, bao gồm: (i) sự mất cân bằng tải lượng bùn cát trong sông và thay đổi chế độ dòng chảy do hoạt động nhân sinh và ảnh hưởng của biến động môi trường; (ii) tác động của nước biển dâng và biến đổi khí hậu đến các yếu tố gây xói lở. Tuy nhiên, những nhận định trên vẫn chủ yếu mang tính chất định tính và vấn đề định lượng rõ vai trò của từng nguyên nhân và yếu tố ảnh hưởng tại các điểm xói lở trọng điểm và trên khu vực vẫn chưa được làm rõ. Điều này gây khó khăn trong công tác cảnh báo, dự báo và phòng chống xói lở bờ sông trong vùng.

Trong bối cảnh công nghiệp hóa, hiện đại hóa hiện nay, hệ thống máy tính tốc độ cao ngày càng phát triển cùng với rất nhiều nghiên cứu của các nhà khoa học trên thế giới đã được giải quyết được các vấn đề liên quan đến sự vận động phức tạp của các con sông và trầm tích. Bên cạnh đó, các số liệu đo đạc ngoài hiện trường kết hợp với các nghiên cứu bằng mô hình cũng đã và đang được thu thập để nghiên cứu một số vấn đề chưa được làm sáng tỏ về mặt lý luận. Ngày nay, với sự phát triển mạnh mẽ của khoa học kỹ thuật, động lực học dòng sông và chỉnh trị sông vẫn đang được các nhà khoa học trên thế giới quan tâm, đặc biệt là ảnh hưởng của các công trình trên sông đến vấn đề diễn biến, xói lở và bồi lắng lòng dẫn [7].

Vấn đề nghiên cứu diễn biến lòng sông có thể tiến hành theo 4 phương pháp sau: (1) Phương pháp phân tích các tài liệu thực đo: Sử dụng các tài liệu về địa hình, các tài liệu không ảnh, viễn thám, các số liệu có được trong nhiều năm tiến hành phân tích vị trí, quy mô, tốc độ xói, bồi trên mặt bằng, trên mặt cắt dọc, mặt cắt ngang, tìm ra quy luật thống kê và xu thế phát triển của đoạn sông nghiên cứu [8]; (2) Phương pháp mô hình vật lý: Mô phỏng thu nhỏ đoạn sông nghiên cứu lại trong một khu vực có trang thiết bị thí nghiệm, tái diễn dòng chảy trong sông thiên nhiên theo các định luật tương tự để quan sát, đo đạc và từ các số liệu đo đạc tìm ra quy luật diễn biến của đoạn sông [9]; (3) Phương pháp mô hình toán: Dựa vào các hệ phương trình toán lý mô tả quy luật của dòng chảy và bùn cát tại đoạn sông nghiên cứu, xác định các điều kiện biên, điều kiện ban đầu hợp lý, tìm các lời giải tích, lời giải số trị cho các vấn đề nghiên cứu [10–16]; (4) Phương pháp công thức kinh nghiệm: Sử dụng các công thức kinh nghiệm để tính toán diễn biến lòng dẫn. Phương pháp này thường được áp

dụng trong các trường hợp tính toán đơn giản hoặc gặp khó khăn cho việc giải bằng phương pháp mô hình số trị do không đủ hoặc số liệu [10, 16–21].

Trong lĩnh vực nghiên cứu diễn biến lòng sông hiện nay vẫn còn tồn tại một số vấn đề mà cả mô hình toán và mô hình vật lý đều chưa giải quyết được, đó là việc nghiên cứu vẫn dựa trên cơ sở các công thức kinh nghiệm đã được xây dựng tại một số nước như công thức Kickin-Wason của Canada, Pôpôp, Tbadzade của Liên Xô... Điều đó chứng tỏ rằng việc nghiên cứu diễn biến, bồi lắng, xói lở lòng dẫn vẫn còn là một môn khoa học kỹ thuật mới, còn nhiều vấn đề cần nghiên cứu tiếp và vẫn cần tiếp tục nghiên cứu phát triển. Những nghiên cứu biến hình lòng dẫn bằng mô hình vật lý đã thực hiện được những tiêu chuẩn tương tự khó, trên cơ sở xây dựng mô hình lòng động với các chất liệu mô phỏng bùn cát đáy, bùn cát lơ lửng đảm bảo độ chính xác cao [10]. Nghiên cứu này thực hiện việc áp dụng số liệu thực đo và công thức kinh nghiệm để tính toán mức độ xói lở bờ sông ở đoạn sông chảy qua huyện Chợ Mới tỉnh An Giang.

## 2. Dữ liệu và Phương pháp nghiên cứu

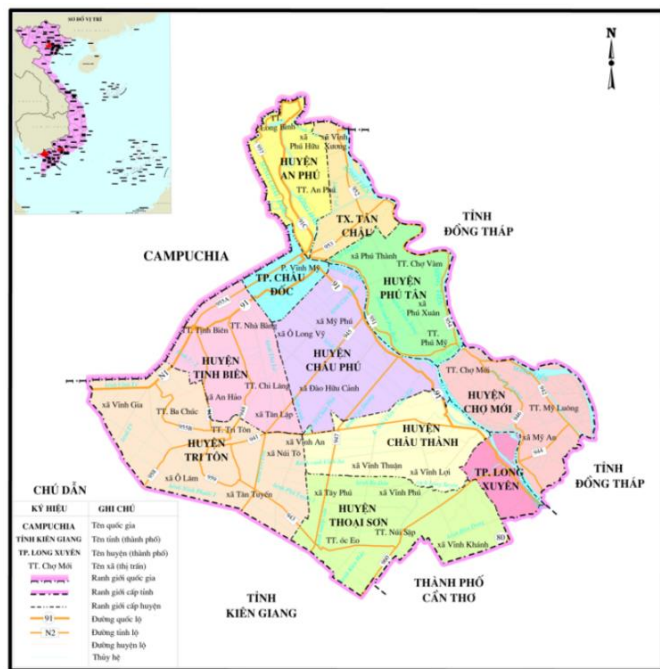
### 2.1. Giới thiệu khu vực nghiên cứu

An Giang có hệ thống sông kênh rạch dày đặc, có những dòng thủy lưu chính và rất quan trọng. Các sông kênh chính này đang có những biến chuyển lòng sông gây ra hiện tượng xâm thực và xói lở đất bờ sông phức tạp, làm mất hàng chục ha đất mỗi năm, gây ra các hậu quả lớn về tính mạng và tài sản tại các khu vực kinh tế, dân cư ven sông. Trong những năm gần đây, dưới các tác động bất lợi ngày càng gia tăng của chế độ dòng chảy cũng như các hoạt động của con người, xói lở bờ sông ngày càng diễn biến phức tạp và tần suất xảy ra nhiều hơn và vấn đề này sẽ còn nghiêm trọng hơn trong tương lai do ảnh hưởng của biến đổi khí hậu và tác động từ phát triển thượng nguồn [5, 22].

Hiện nay, bờ sông tiếp tục diễn ra xâm thực khá mạnh và phức tạp. Mức độ mạnh dần từ thượng nguồn về hạ nguồn, nhất là từ đoạn giữa xã về phía hạ nguồn, đây là đoạn xói lở diễn biến nhanh và mạnh. Trong số 65 xã ven sông Tiền, sông Hậu thuộc tỉnh An Giang, hiện có 33 khu vực xói lở bờ sông (14 khu vực ven sông Tiền và 19 khu vực ven sông Hậu). Dọc theo các đoạn xói lở hiện có 31 khu dân cư, với 13.837 hộ dân, khoảng 60.752 người dân đang sinh sống [1, 2]. Huyện Chợ Mới có các khu vực chịu ảnh hưởng xói lở bờ sông lớn nhất là phần hướng sông Hậu và phần sông Vàm Nao (nối sông Tiền và sông Hậu) với khoảng 80 hộ dân thuộc khu vực Mỹ Hội Đông, Long Điền A. Vì vậy, nghiên cứu tính toán mức độ xói lở bờ sông nhằm hạn chế những tác động có hại đến đời sống của người dân là thực sự cần thiết.

### 2.2. Dữ liệu nghiên cứu

- Tài liệu địa hình lòng sông: Hệ thống địa hình mặt cắt ngang được khảo sát hai đợt vào mùa lũ (tháng 10/2024) và mùa kiệt (tháng 6/2024). Hai đợt đo được thực hiện tại cùng một vị trí và dùng để so sánh sự khác nhau giữa hai đợt đo.



Hình 1. Bản đồ tỉnh An Giang

- Tài liệu Thủy văn: vận tốc thực đo trên từng thủy trực mặt cắt ngang và vận tốc tại vị trí thủy trực sâu nhất trên mặt cắt ngang từ tháng 6/2024 đến tháng 10/2024.

- Tốc độ khởi động của hạt bùn cát ở An Giang được lấy theo [10].

- Tài liệu mực nước giờ và mực nước lớn nhất được sử dụng và thu thập từ trạm thủy văn Chợ Mới (đo mực nước giờ) gần đoạn sông nghiên cứu từ tháng 6/2024 đến tháng 10/2024.

### 2.3. Phương pháp nghiên cứu

Lòng dẫn và dòng nước chảy trên nó là hai yếu tố cơ bản cấu thành một dòng sông. Hai yếu tố này không ngừng tác động lẫn nhau, thông qua lực cơ học, lý học, hoá học và luôn thay đổi theo không gian lẫn thời gian. Dưới tác động của dòng nước lòng dẫn bị thay đổi về hình dạng kích thước, độ lớn, ngược lại sau khi lòng dẫn đã thay đổi lại có tác động trở lại dòng nước làm thay đổi trạng thái, kết cấu của dòng nước... Điều này chứng tỏ rằng hiện tượng xói bồi biến hình lòng dẫn sông là một hiện tượng tự nhiên mà nguyên nhân chính là do sự tác động qua lại không ngừng giữa dòng chảy và lòng dẫn. Xác định tốc độ xói lở bờ sông thực chất là xác định tốc độ biến hình ngang của lòng sông, dưới tác dụng chính của các lực thủy động lực học, kết quả là khối đất bờ sông mất ổn định, sụp đổ xuống sông. Các nhà khoa học trên thế giới đã chỉ ra rằng tốc độ xói lở bờ sông phụ thuộc vào rất nhiều yếu tố, nhưng ba yếu tố chính cần được quan tâm đặc biệt đó là: dòng chảy, hình dạng lòng dẫn và tính ổn định của lòng dẫn tại đó. Với tính phức tạp của dòng chảy, tính đa dạng của lòng dẫn, tính nhiều vẻ của đất bờ sông đã dẫn đến cách đánh giá, hình thức biểu thị rất khác nhau về các yếu tố này trong công thức kinh nghiệm của các tác giả. Theo các nghiên cứu [10, 17, 22], tốc độ xói lở ngang của đoạn sông cong phụ thuộc vào lưu lượng dòng chảy  $Q$ , bán kính cong  $R$  của đoạn sông đang xét, chiều rộng lòng sông  $B$  và hệ số ổn định của đất bờ  $\gamma$ .

$$B_{xi} = f\left(Q, \frac{R_i}{B_i}, \gamma\right) \quad (1)$$

Trong đó  $B_{xi}$  là tốc độ xói ngang của mặt cắt (mm/năm);  $Q$  là lưu lượng dòng chảy qua mặt cắt ngang ( $m^3/s$ );  $R$  là bán kính cong của đoạn sông đang xét (m);  $B$  là độ rộng mặt cắt (m);  $\gamma$  là hệ số ổn định của bờ sông.

Trong các nghiên cứu của Pôpôp, nghiên cứu [22, 23] cũng đề cập tới ba yếu tố chính nêu trên trong công thức kinh nghiệm tính tốc độ xói lở bờ sông của mình. Công thức đều có dạng chung:

$$B_{xi} = \frac{\alpha \times F}{L \times T} \left[ \frac{H_{maxi} - H}{H_{max}} \right]^\beta \quad (2)$$

Trong đó  $B_{xi}$  là tốc độ xói lở ngang (m/năm) tại mặt cắt  $i$ ;  $F$  là diện tích khối đất bờ xói lở trong khoảng thời gian  $T$  năm ( $m^2$ );  $L$  là chiều dài đường bờ sạt lở của từng giai đoạn (m);  $T$  là thời gian xói lở (năm);  $H_{maxi}$  là độ sâu lớn nhất tại mặt cắt tính toán thứ  $i$  (m);  $H_{max}$  là độ sâu lớn nhất của đoạn xói lở nghiên cứu (m);  $H$  là độ sâu ổn định (tại mặt cắt quá độ) (m);  $\alpha$ ,  $\beta$  là các hệ số thực nghiệm.

Nhìn chung các công thức kinh nghiệm của các tác giả nêu trên đều có khả năng áp dụng tính tốc độ xói lở bờ sông Cửu Long nói chung và tỉnh An Giang nói riêng, khi xác định được các hệ số thực nghiệm từ tài liệu thực đo tại vị trí xem xét. Tuy vậy, khi áp dụng những công thức này vào các vị trí cụ thể sẽ có sai số cao và các công thức chưa đề cập tới khả năng và thời gian duy trì khả năng của dòng chảy gây ra xói lở bờ sông.

Khảo sát thực tế cho thấy đại lượng  $\frac{F}{L \times T}$  trong công thức PôPôp quan hệ khá chặt chẽ với tích số giữa khả năng và thời gian duy trì khả năng của dòng chảy gây xói lở. Bởi vậy, trong nghiên cứu này đã thay đại lượng  $\frac{F}{L \times T}$  trong (2) bằng đại lượng  $\Delta V_i, \Delta T_i$  [10].

Như vậy công thức kinh nghiệm được đề xuất có dạng:

$$B_{xi} = \beta \times (\Delta V_i \times \Delta T_i)^\gamma \times \left[ \frac{H_{maxi} - H}{H_{max} - H} \right]^\beta \quad (3)$$

Trong đó  $\Delta V_i = V_i - [V]_{kd}$ ;  $\Delta V_i$  là số gia vận tốc, biểu thị khả năng dòng chảy gây xói lòng dẫn tại mặt cắt thứ  $i$ ;  $V_i$  là vận tốc trung bình tại mặt cắt thứ  $i$  (m/s);  $[V]_{kd}$  là vận tốc khởi động của vật liệu cấu tạo lòng dẫn;  $\Delta T_i$  là thời gian duy trì vận tốc dòng chảy có vận tốc lớn hơn vận tốc khởi động của vật liệu cấu tạo lòng dẫn tại mặt cắt thứ  $i$ ;  $\alpha, \gamma, \beta$  là các hệ số thực nghiệm, được xác định trên cơ sở tài liệu thực đo nhiều năm.

Công thức (3), bao hàm 3 hệ số thực nghiệm cần xác định  $\alpha, \gamma, \beta$ , với cách tính thông thường khó khăn để tính toán, vì thế công thức sẽ được viết dưới một dạng khác:

$$B_{xi} = \alpha \times \left\{ (\Delta V_i \times \Delta T_i)^n \times \left[ \frac{H_{maxi} - H}{H_{max} - H} \right] \right\}^\beta \quad (4)$$

Trong đó  $n = \frac{\gamma}{\beta}$ . Với cách viết biểu thức dưới dạng (4), hai hệ số thực nghiệm  $\alpha, \beta$  sẽ được xác định theo phương pháp sai số bình phương trung bình nhỏ nhất khi  $n$  cho trước.

Ứng với mỗi trị số  $n$  cho trước sẽ xác định được hệ số tương quan giữa chiều rộng xói ngang  $B_{xi}$  tính toán trong các giai đoạn tính.

$$X_i = (\Delta V_i \times \Delta T_i)^n \times \left[ \frac{H_{maxi} - H}{H_{max} - H} \right] \quad (5)$$

Hai hệ số thực nghiệm cần xác định là hai hệ số tương ứng với trường hợp hệ số tương quan lớn nhất. Thiết lập công thức tính xói lở cho khu vực ở Chợ Mới, An Giang như sau:

$$\Delta H = \frac{H_{maxi} - H}{H_{max} - H} \quad (6)$$

Công thức (5) trở thành:

$$X_i = (\Delta V_i \times \Delta T_i)^n \times \Delta H \quad (7)$$

Công thức (3) trở thành:

$$B_{xi} = \alpha \times X_i^\beta \quad (8)$$

Dựa vào kết quả thử dần giá trị  $X_i$  so sánh với  $B_{xi}$  thực đo để xây dựng bộ giá trị đối với  $\alpha$  và  $\beta$  cho từng mặt cắt và từng thời đoạn khác nhau của đoạn sông tính toán. Giá trị  $[V]_{kd}$  được lấy đồng nhất cho mọi mặt cắt và bằng 0,41 m/s [10].

### 3. Kết quả nghiên cứu và thảo luận

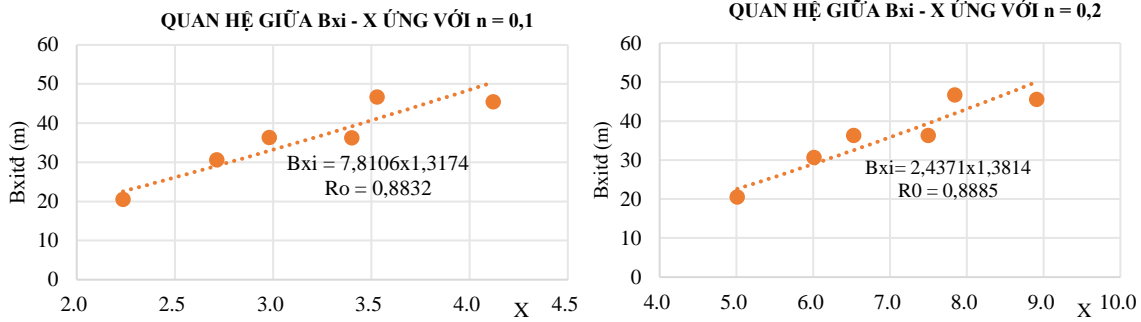
Với nguồn tài liệu thực đo trên 6 mặt cắt tại khu vực xói lở bờ sông đoạn Chợ Mới như Bảng 1. Cho trước một trị số  $n$ , khi đó ta sẽ chấm được các điểm thực nghiệm thể hiện quan hệ giữa chiều rộng xói ngang  $B_{xi}$  thực đo với đại lượng  $X$ , từ đó xác định được cặp hệ số thực nghiệm  $\alpha, \beta$  và hệ số tương quan tương ứng theo phương pháp sai số bình phương trung bình nhỏ nhất (Hình 3–5).

**Bảng 1.** Số liệu thực đo trên từng mặt cắt

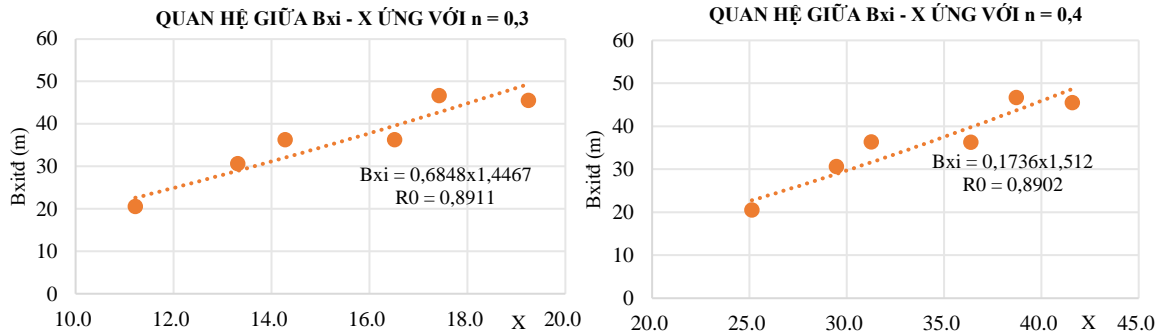
| MC tính<br>(2) | $B_{td}$<br>(3) | $\Delta V \cdot \Delta T$<br>(4) | $\Delta H$<br>(5) |
|----------------|-----------------|----------------------------------|-------------------|
| 1              | 46,67           | 2.930,4                          | 1,59              |
| 2              | 20,52           | 3.182,4                          | 1,00              |
| 3              | 30,62           | 2.838,6                          | 1,23              |
| 4              | 36,29           | 2.698,2                          | 1,54              |
| 5              | 36,31           | 2.525,4                          | 1,36              |
| 6              | 45,51           | 2.221,2                          | 1,91              |



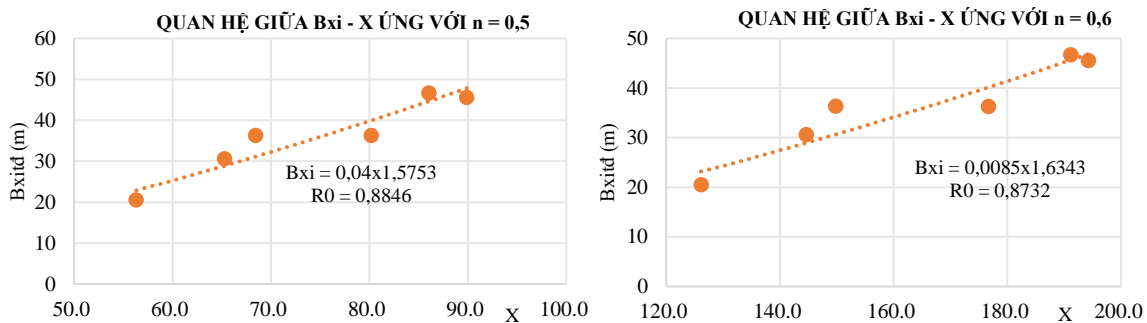
**Hình 2.** Vị trí các mặt cắt trong khu vực tính toán.



Hình 3. Quan hệ  $B_{xi}$  và X ứng với  $n = 0,1$  và  $n = 0,2$ .



Hình 4. Quan hệ  $B_{xi}$  và X ứng với  $n = 0,3$  và  $n = 0,4$ .

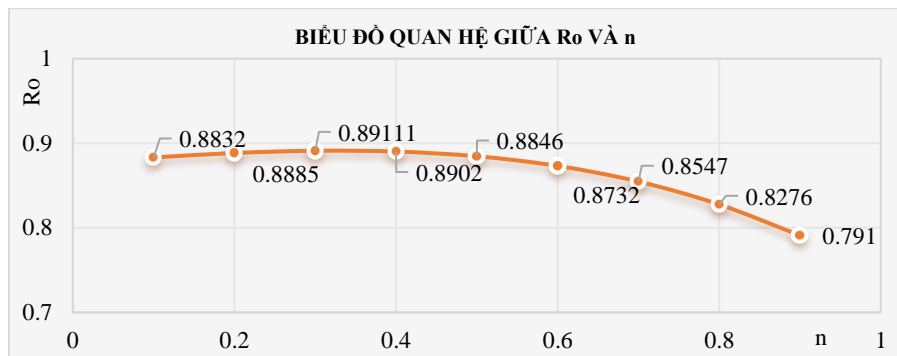


Hình 5. Quan hệ  $B_{xi}$  và X ứng với  $n = 0,5$  và  $n = 0,6$ .

Tương tự như vậy, nghiên cứu tính toán cho các giá trị  $n = 0,1$  đến  $n = 0,9$  và có được kết quả hệ số tương quan lớn nhất  $R_0$  được thể hiện trong bảng 2.

Bảng 2. Các hệ số thực nghiệm ứng với các giá trị n.

| n          | $\alpha$      | $\beta$       | $R_0$          | Ghi chú                    |
|------------|---------------|---------------|----------------|----------------------------|
| 0,1        | 7,8106        | 1,3174        | 0,8832         |                            |
| 0,2        | 2,4371        | 1,3814        | 0,8885         |                            |
| <b>0,3</b> | <b>0,6848</b> | <b>1,4467</b> | <b>0,89111</b> | <b>Tương quan lớn nhất</b> |
| 0,4        | 0,1736        | 1,512         | 0,8902         |                            |
| 0,5        | 0,04          | 1,5753        | 0,8846         |                            |
| 0,6        | 0,0085        | 1,6343        | 0,8732         |                            |
| 0,7        | 0,0017        | 1,6854        | 0,8547         |                            |
| 0,8        | 0,0004        | 1,7246        | 0,8276         |                            |
| 0,9        | 0,00008       | 1,7473        | 0,791          |                            |



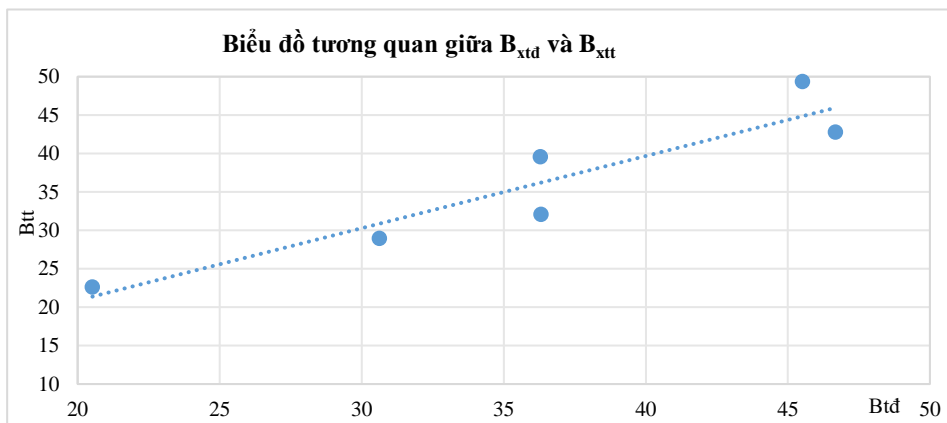
Hình 6. Quan hệ giữa R<sub>0</sub> và n.

Qua biểu đồ vẽ được ta có n = 0,3 đạt hệ số tương quan giữa hai đại lượng xem xét là lớn nhất. Như vậy công thức kinh nghiệm tính tốc độ xói lở bờ tối ưu nhất cho khu vực đoạn Chợ Mới có dạng:

$$B_{xi} = 0,6868 \left\{ (\Delta V \times \Delta T)^{0,3} \left[ \frac{H_{maxi} - H}{H_{max} - H} \right] \right\}^{1,4467} \quad (10)$$

Viết lại công thức với n = 0,3:

$$B_{xi} = 0,6868 \times (\Delta V \times \Delta T)^{0,43401} \times \Delta H^{1,4467} \quad (11)$$



Hình 7. Tương quan giữa tốc độ xói lở bờ thực đo và tính toán giữa hai đợt khảo sát năm 2024.

Nghiệm chứng lại kết quả tính toán cho thấy hệ số tương quan khá cao R<sup>2</sup> = 0,87 và hệ số Nash đạt 0,86. Sai số giữa chiều rộng xói lở tính toán và thực đo nhỏ hơn 10%. Kết quả này cho thấy có thể áp dụng công thức kinh nghiệm (11) để tính toán mức độ xói lở bờ sông ở các đoạn sông Tiền thuộc tỉnh An Giang.

#### 4. Kết luận

Nghiên cứu đã xác định được công thức kinh nghiệm và tính toán tốc độ xói lở bờ đoạn sông Tiền chạy qua Chợ Mới tỉnh An Giang, kết quả bước đầu là khá tốt, với sai số nhỏ hơn 10%. Điều này phần nào cho thấy có thể áp dụng công thức kinh nghiệm để tính toán mức độ xói lở bờ sông ở các khu vực khác thuộc đoạn sông Tiền tỉnh An Giang. Công thức đã xét đến các yếu tố chủ yếu gây ra xói lở bờ sông, đó là vận tốc dòng chảy, thời gian duy trì khả năng gây xói lở bờ, mặc dù vậy do nguồn tài liệu không dài, chưa chi tiết và thiếu sự đồng bộ do đó công thức vẫn chưa xét đến một yếu tố có ảnh hưởng lớn tới tốc độ xói lở bờ đó là hướng dòng chảy tác dụng vào bờ. Lưu ý, khi sử dụng công thức để dự báo xói lở bờ trong tương lai cần phải có tài liệu dự báo mực nước dài hạn ở các trạm thượng lưu và trạm lân cận khu vực nghiên cứu. Hơn nữa, cần phải có số liệu khảo sát ở nhiều năm, tương ứng với những năm nước lớn/nhỏ khác nhau để làm sáng tỏ hơn việc áp dụng công thức. Trong khi đó, trong



khuôn khổ của nghiên cứu này, cũng như giới hạn kinh phí khảo sát nên kết quả này cũng dừng lại ở mức tham khảo và cần nghiên cứu tính toán với các chuỗi dữ liệu dài hơn. Những hạn chế này sẽ được cải tiến trong các nghiên cứu sau. Hơn nữa, công thức cần được chứng minh ở những đoạn sông khác, có tính chất dòng chảy khác nhau để làm minh chứng cho độ tin cậy của phương pháp này.

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

**Lời cảm ơn:** Kết quả nghiên cứu này được hỗ trợ bởi đề tài khoa học và công nghệ cấp tỉnh An Giang 2024 “Nghiên cứu xây dựng thử nghiệm hệ thống cảnh báo sớm nguy cơ sạt lở do hiện tượng thời tiết cực đoan trên nền tảng trí tuệ nhân tạo”.

**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. Ninh, L.V. Nghiên cứu xây dựng cơ sở dữ liệu khí tượng thủy văn tỉnh An Giang trong bối cảnh biến đổi khí hậu. Báo cáo tổng hợp đề tài KHCN cấp tỉnh, 2018.
2. Ninh, L.V.; Giám, N.M. Đặc điểm khí hậu An Giang. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* **2017**, 648, 18–26.
3. Bravard, J.P.; Petit, F. Geomorphology of streams and rivers. *Encycl. Inland Waters* **2009**, 387–395. <https://doi.org/10.1016/B978-012370626-3.00043-0>.
4. Saadon, A.; Abdullahb, J.; Muhammadc, N.S.; Ariffinb, J.; Juliend, P.Y. Predictive models for the estimation of riverbank erosion rates. *CATENA* **2021**, 196, 104917. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2020.104917>.
5. Van, C.T.; Duong, P.T.T.; Nga, Đ.T.; Ninh, L.V. Study on assessing the impact of climate change (temperature and rainfall) on rice yield in the Long Xuyen Quadrangle region (LXQR) – Vietnam. *VN J. Hydrometeorol.* **2021**, 7, 20–31. [https://doi.org/10.36335/VNJHM.2021\(7\).20-31](https://doi.org/10.36335/VNJHM.2021(7).20-31).
6. Sản, Đ.C. Một số vấn đề về động lực học dòng chảy và quan hệ hình thái sông Cửu Long. Luận án Tiến sĩ kỹ thuật, Viện Khoa học Thủy lợi miền Nam, 2007.
7. Reid, I.; Bathurst, J.C.; Carling, P.; Walling, D.E. (Eds) Applied fluvial geomorphology for river engineering and management, Chapter Sediment erosion, transport, and deposition. *John Wiley and Sons* **1997**, 95–135.
8. Winterbottom, S.J.; Gilvear, D.J. A GIS-based approach to mapping probabilities of river bank erosion: regulated river Tummel, Scotland. *Regul. Rivers: Res. Manage.* **2000**, 16, 127–140.
9. Blazejewski, R.; Pilarczyk, K.W.; Przedwojski, B. River training techniques: Fundamentals, Design and Applications, Rotterdam, 1995.
10. Hùng, L.M. Nghiên cứu dự báo xói lở, bồi lắng lòng dẫn và đề xuất các biện pháp phòng chống cho hệ thống sông đồng bằng sông Cửu Long. Báo cáo tổng hợp đề tài KC08–15/01–05, 2004.
11. Stephen, H.S.; Jia, Y. Simulation of sediment transport and channel morphology change in large river systems US–China workshop on advanced computational modelling in hydroscience & engineering, September 19–21, Oxford, Mississippi, USA, 2002.
12. Wu, W.M. CCHE2D sediment transport model. Technical Report No. NCCHE–TR 2001–3, National Center for Computational Hydroscience and Engineering, The University of Mississippi, 2001.
13. Springer, G.S.; Rowe, H.D.; Hardt, B.; Cociana, F.G.; Edwards, R.L.; Cheng, H. Climate driven changes in river channel morphology and base level during the

- holocene and late pleistocene of Southeastern West Virginia. *J. Cave Karst Stud.* **2009**, 71(2), 121–129.
14. Rosgen, D.L. A practical method of computing streambank erosion rate. Proceedings of the Seventh Federal Interagency Sedimentation Conference, 2001, 2, pp. 9–15.
  15. Nga, T.N.Q.; Thuận, L.T.; Hoài, H.C.; Bầy, N.T. Nghiên cứu ứng dụng mô hình toán và công thức kinh nghiệm đánh giá sự phát triển của hố xói sâu hạ lưu sông Hậu và sông Vàm Nao. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* **2020**, 713, 1–10.
  16. Hùng, L.M.; Hoàng, T.B.; Khang, N.D.; Anh, T.T. Kết quả ứng dụng mô hình SWAT trong tính toán xói lở bề mặt lưu vực hạ lưu sông Mekong. *Tạp chí Khoa học và Công nghệ Thủy lợi* **2012**, 12, 25–32.
  17. Hùng, L.M.; Ngọc, Đ.T.B. Công thức kinh nghiệm tính tốc độ xói lở bờ đoạn sông Tiền khu vực Thường Phước, tỉnh Đồng Tháp. *Tạp chí Nông nghiệp và Phát triển nông thôn* **2004**, 6, 787–796.
  18. Giáp, N.Đ.; Hậu, L.P. Xây dựng công thức kinh nghiệm tính toán hiệu quả bồi lắng của hệ thống đảo chiều hoàn lưu trên sông Dinh tại Phan Rang. Trục tuyến: <http://www.vawr.org.vn>.
  19. Hải, H.Q.; Trinh, V.T.M. Tương quan xói lở – Bồi tụ một số khu vực lòng sông Tiền, sông Hậu. *Tạp chí các khoa học về Trái đất* **2011**, 33(1), 37–44.
  20. San, D.C. Research on river bed erosion and sedimentation prediction by MIKE21C model at Tan Chau–Hong Ngu area, in the Mekong River. Proc. Int. Symp. on Sustainable Dev. Mekong River basin, 2005, pp. 188–195.
  21. Hoàng, T.P.; Hùng, P.T. Mối quan hệ giữa khai thác cát với biến động bờ sông Tiền tại tỉnh Đồng Tháp. *J. Sci. Part D: Nat. Sci. Technol. Environ.* **2016**, 12(4), 92–103.
  22. Van, C.T.; Son, N.T.; Tuan, N.C.; Ninh, L.V.; Viet, C.T.; Tuan, L.A; Nghiên cứu khả năng áp dụng công thức kinh nghiệm để tính toán mức độ xói lở bờ sông ở đồng bằng sông Cửu Long – Thí điểm tại đoạn xói lở bờ sông Hậu ở Long Xuyên, tỉnh An Giang. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* **2021**, 728, 31–39. [https://doi.org/10.36335/VNJHM.2021\(728\).31-39](https://doi.org/10.36335/VNJHM.2021(728).31-39).
  23. Ibad-Zade Iu, A.; Kiacbeili, T.H. Biến hình lòng sông, Baku, 1966.
  24. Hùng, L.M.; Sản, Đ.C. Xói lở bờ sông Cửu Long và giải pháp phòng tránh cho các khu vực trọng điểm. Nhà xuất bản Nông nghiệp, 2002.

## **Researching the level of riverbank erosion using an empirical formula: A case study at Tien river section in Cho Moi, An Giang province**

**Luu Van Ninh<sup>1</sup>, Nguyen Thanh Toan<sup>1</sup>, Ngo Chi Tuan<sup>2</sup>, Phan Thi Thuy Duong<sup>3</sup>, Nguyen Huu Tuan<sup>3</sup>, Can Thu Van<sup>3\*</sup>**

<sup>1</sup> Hydro-Meteorology Center An Giang province; luuninh@vnu.edu.vn; ngthtoan8827@gmail.com

<sup>2</sup> Ha Noi University of Science, VNU; ngochituan@gmail.com

<sup>3</sup> Ho Chi Minh city University of Natural Resources and Environment; pttduong@hcmunre.edu.vn; nhtuan@hcmunre.edu.vn; ctvan@hcmunre.edu.vn

**Abstract:** An Giang is a province at the headwaters of the Mekong River, is considered one of the localities most seriously affected by riverbank erosion. In 2023, the entire An Giang province had 129 landslides, subsidence, and land cracks on river banks, canals, and creeks, with a total length of 6,764 m. Currently, climate change is increasingly complicated, along with excessive human intervention in nature, which are the causes of riverbank erosion and have been and are a threat to the lives of people here. In studies predicting river bank erosion, there are many methods used such as: analysis of measured data; physical model;

mathematical model; experience formula. This study uses field-measured data in the flood season (October 2024) and dry season (June 2024) and empirical formulas to estimate the riverbank erosion rate along the section passing through Cho Moi District, An Giang Province. The calculation results according to the formula and the actual measurements show that there is a certain agreement with the correlation coefficient of 0.86 and the Nash coefficient of 0.86, relative error less than 10% is 70% of calculated cross-section. Shows the ability to apply empirical formulas to establish coefficients and calculations for other regions on the banks of the Tien River, An Giang province in particular and the Mekong Delta in general.

**Keywords:** An Giang; Empirical formulas to estimate the riverbank erosion; Correlation coefficient.

Bài báo khoa học

# Đánh giá hiện trạng và đề xuất các giải pháp kỹ thuật kinh tế giảm thất thoát nước tại Công ty cổ phần cấp nước Tân Hòa (thuộc Sawaco)

Hồ Minh Dũng<sup>1\*</sup>, Trương Tấn Quốc<sup>1,2</sup>

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

<sup>2</sup> Công ty cổ phần cấp nước Bến Thành; ksquoc@yahoo.com.vn

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

Ban Biên tập nhận bài: 30/10/2024; Ngày phản biện xong: 19/12/2024; Ngày đăng bài: 25/5/2025

**Tóm tắt:** Công tác chống thất thoát nước tại Công ty cổ phần cấp nước Tân Hòa hiện nay vẫn còn mang tính bị động, chưa vận dụng tốt công nghệ cũng như quy trình chống thất thoát nước, chưa phát huy hết khả năng giảm thất thoát nước của đơn vị. Vì vậy, nghiên cứu này thực hiện nhằm mang lại hiệu quả kinh tế, ước tính mức nước thất thoát kinh tế (ELL) để có thể giảm thất thoát nước đến mức mà chi phí giảm thất thoát nước bằng với giá trị của lượng nước tiết kiệm được góp phần bảo vệ nguồn nước và môi trường. Nghiên cứu đã ứng dụng thành công mô hình Epanet để mô phỏng và phân tích thủy lực mạng lưới cấp nước. Kết quả của mô hình là cơ sở để phân tích, đánh giá các yếu tố về lưu lượng, áp lực, cũng như phân tích hiệu quả trong hoạt động kiểm soát rò rỉ mạng lưới cấp nước chủ động, khoanh vùng rò rỉ cho khu vực thí điểm và đưa ra các bài toán để phân tích đánh giá khi áp dụng vào thực tế nhanh chóng phát hiện kiểm soát thủy lực liên tục các nguy cơ rò rỉ trên mạng lưới cấp nước 24/7. Kết quả nghiên cứu này được ứng dụng rộng rãi sẽ giúp cho các đơn vị cấp nước giảm thất thoát nước bền vững một cách hiệu quả.

**Từ khóa:** Giảm thất thoát nước; Nước thất thoát kinh tế (ELL); Công ty cấp nước Tân Hòa.

## 1. Mở đầu

Hiện nay, tỷ lệ thất thoát nước (TTN) tại Công ty cổ phần cấp nước (CPCN) Tân Hòa khoảng 19,5% (năm 2019), tương ứng lượng nước thất thoát khoảng 33.000 m<sup>3</sup>/ngày, tương đương 306 triệu đồng/ngày. Nếu giảm tỷ lệ TTN hàng tháng xuống 12% thì mỗi ngày đơn vị sẽ tiết kiệm được 117 triệu đồng. Vì vậy, việc thực hiện nghiên cứu này là rất cần thiết, mang lại hiệu quả kinh tế nhằm giảm TTN trong hệ thống phân phối nước. TTN là một vấn đề đang rất được quan tâm đối với các công ty cấp nước, nó ảnh hưởng đến hệ thống MLCN, gây thất thoát lượng nước sạch sau xử lý và ảnh hưởng tới chất lượng cũng như số lượng nước sạch tới người dân. Nghiên cứu về rò rỉ trên MLCN ở Việt Nam trong những năm gần đây đã được thực hiện. Nghiên cứu [1] đã đưa ra các giải pháp khác nhau để giảm TTN trên địa bàn Thảo Điền, Quận 2 (TP.HCM), đồng thời tiến hành đánh giá giải pháp thích hợp nhất đối với khu vực nghiên cứu. Nghiên cứu [2] đã dự báo khả năng rò rỉ trên MLCN bằng một số kỹ thuật học máy cho hệ thống cấp nước Trung An (TP.HCM), kết quả cho thấy mô hình CatBoost cho hiệu quả dự đoán số lượng điểm rò rỉ trên mạng lưới là tốt nhất. Ngoài ra, còn có một số nghiên cứu sử dụng các công cụ để quản lý MLCN [3-5].

Trên thế giới, nhiều nhóm tác giả đã kết hợp nhiều phương pháp để đánh giá hiệu quả các biện pháp nhằm phát hiện điểm rò rỉ, nghiên cứu [6] đã nghiên cứu mối quan hệ giữa hình dạng điểm rò rỉ với lưu lượng và áp lực, tác giả tiến hành thí nghiệm để xác định mối

quan hệ giữa áp lực và lưu lượng rò rỉ. Dựa trên mô phỏng theo thời gian của phần mềm Epanet, nghiên cứu [7] đề xuất một cách thức xây dựng mô hình rò rỉ, tác giả tìm mối liên hệ giữa các yếu tố: nhu cầu dùng nước, lượng nước rò rỉ và hiệu quả của công tác quản lý áp lực. Nghiên cứu [8] tiến hành đánh giá lượng nước thất thoát trên DMA bằng phương pháp bottom-up dựa vào việc phân tích lưu lượng tối thiểu ban đêm, đồng thời kết hợp với mô phỏng thủy lực xác định lượng nước thất thoát [8]. Ngoài ra, còn có các nghiên cứu khác [9–16]

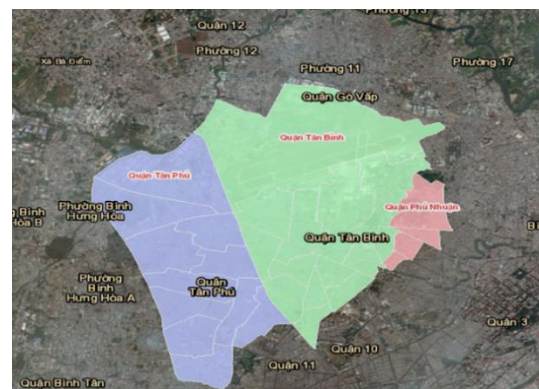
Việc kiểm soát được rò rỉ TTN thường phải có chi phí đầu tư rất lớn nên các công ty cấp nước thường phải cân đối giữa chi phí đầu tư và lợi ích kinh tế mang lại từ việc giảm tỷ lệ TTN. Do đó, việc xác định lượng nước thất thoát kinh tế (ELL) là rất cần thiết. Việc tính toán chỉ số ELL đã được nhiều nghiên cứu thực hiện với các phương pháp khác nhau phụ thuộc chủ yếu vào tỷ lệ sẵn có và chi tiết của dữ liệu kiểm toán nước tại các công ty cấp nước. Nghiên cứu tính toán xác định ELL bắt đầu được thực hiện từ thập niên 1990s. Năm 2005, Lambert và Fantozzi đã phát triển công thức cho tần suất can thiệp kinh tế dựa trên khái niệm tỷ lệ tự nhiên của sự gia tăng rò rỉ không được báo cáo [17]. Trong những năm gần đây, đã có một số nghiên cứu tính toán ELL dựa vào phương pháp chi phí cận biên [18–22]. Tuy nhiên, có một số nghiên cứu xác định giá trị kinh tế nhất cho tổng tổn thất (tổn thất thực và biểu kiến) được gọi là tỷ lệ tổn thất nước kinh tế (ELWL), sử dụng phương pháp tính hiệu quả về chi phí [23, 24]. Một vài nghiên cứu khác đã tính toán tỷ lệ thiệt hại kinh tế rõ ràng (ELAL), nhưng chỉ giới hạn trong việc tính toán tần suất thay thế tối ưu của đồng hồ nước [25].

Hiện nay, hầu hết các công ty đang gặp khó khăn trong việc xác định ELL. Một số công ty đã bắt đầu tính toán sơ bộ chỉ số ELL dựa trên số liệu kiểm toán nước rất hạn chế. Do vậy, kết quả tính toán chưa thực sự sát với giá trị thực tế của các công ty. Qua tổng quan các nghiên cứu cho thấy việc tăng cường đầu tư cải tạo nâng cấp hệ thống cùng với các giải pháp quản lý rò rỉ TTN tại các công ty cấp nước hiện nay để có thể giảm tỷ lệ TTN xuống thấp hơn 12-18%. Tuy nhiên, một điều dễ nhận thấy đó là chi phí đầu tư càng lớn thì lượng tiền thu được từ việc giảm tỷ lệ TTN lại giảm. Do vậy, câu hỏi đặt ra là các công ty cấp nước sẽ chấp nhận ở tỷ lệ hay mức TTN nào mà ở đó chi phí đầu tư giảm TTN đúng bằng giá trị mà lượng nước giảm thất thu đem lại. Việc xác định được ELL có ý nghĩa rất quan trọng đối với công tác quản lý vận hành hiệu quả MLCN, đặc biệt là tránh được những đầu tư không cần thiết cho công tác giảm nước không doanh thu.

## 2. Dữ liệu và phương pháp nghiên cứu

### 2.1. Giới thiệu khu vực nghiên cứu

Địa bàn Công ty CPCN Tân Hòa quản lý bao gồm: quận Tân Bình (15 phường), quận Tân Phú (10 phường) có tổng diện tích là 38,38 km<sup>2</sup> (Hình 1). Công ty CPCN Tân Hòa đang quản lý và phân phối nước sạch từ nguồn cung cấp từ 04 nhà máy nước (NMN) gồm 03 NMN khai thác nguồn nước mặt (NMN Tân Hiệp, NMN Kênh Đông và NMN BOO Thủ Đức) và NMN ngầm Tân Phú. Tình hình cấp nước tại địa bàn được thể hiện qua các chỉ số:



Hình 1. Bản đồ tổng thể khu vực nghiên cứu.

Tổng chiều dài mạng lưới đường ống cấp 3: 840.421 km; Số lượng đầu nối dịch vụ trong vùng: 147.784 đầu nối; Thời gian cung cấp dịch vụ cấp nước: 24/24 giờ; Lượng nước cung cấp bình quân: 171.066 m<sup>3</sup>/ngày; Lượng nước tiêu thụ bình quân: 131.756 m<sup>3</sup>/ngày; Lượng nước thất thoát bình quân: 39.309 m<sup>3</sup>/ngày; Tỷ lệ thất thoát nước trung bình (NRW): 22,98%.

Hiện nay, công tác quản lý MLCN trên các phần mềm Autocad, GIS, Billing,... nhằm theo dõi đồng hồ khách hàng, tuy nhiên, nhìn chung công cụ quản lý MLCN còn nhiều bất cập, dữ liệu còn thiếu. Để công tác quản lý mạng lưới được tốt cần phải xây dựng hệ thống quản lý thống nhất, chính xác đáp ứng được yêu cầu sử dụng hiện nay. Công tác vận hành mạng lưới đường ống và các công trình thiết bị trên đó được thực hiện bằng cách thường xuyên kiểm tra và sửa chữa theo kế hoạch đã vạch sẵn để phát hiện kịp thời các thiết bị không đáp ứng được điều kiện khai thác bình thường và có biện pháp sửa chữa. Tuy nhiên, công tác vận hành sửa chữa hệ thống MLCN còn nhiều bất cập và hạn chế ảnh hưởng tới chất lượng dịch vụ cấp nước. Thời gian sửa chữa còn chậm gây ra TTN. Nhiều thiết bị có trên mạng lưới ít được vận hành từ đó dẫn đến thời gian sử dụng ngắn và gây hư hỏng trên MLCN.

## 2.2. Cơ sở dữ liệu khu vực nghiên cứu

### 2.2.1. Thông tin dữ liệu về mạng lưới cấp nước

Công ty CPCN Tân Hòa hiện quản lý 92 DMA, tổng số van hiện hữu là 6.956 van, bao gồm nhiều loại van với các chức năng và công dụng khác nhau. Công ty CPCN Tân Hòa đang quản lý số lượng đầu nối khách hàng khá lớn nhưng sản lượng nước tiêu thụ lại không cao do đa số khách hàng vẫn còn sử dụng song song 02 nguồn nước (nước giếng khoan và nước máy). Tổng số giếng khoan trên địa bàn quản lý là 37.767 cái, chiếm 26,12% tổng số đầu nối khách hàng. Số lượng đầu nối có lượng nước tiêu thụ hàng tháng từ 0 đến 4 m<sup>3</sup> là 22.922 đầu nối, chiếm 18,68% tổng số đầu nối [26].

**Bảng 1.** Cơ cấu khách hàng sử dụng nước.

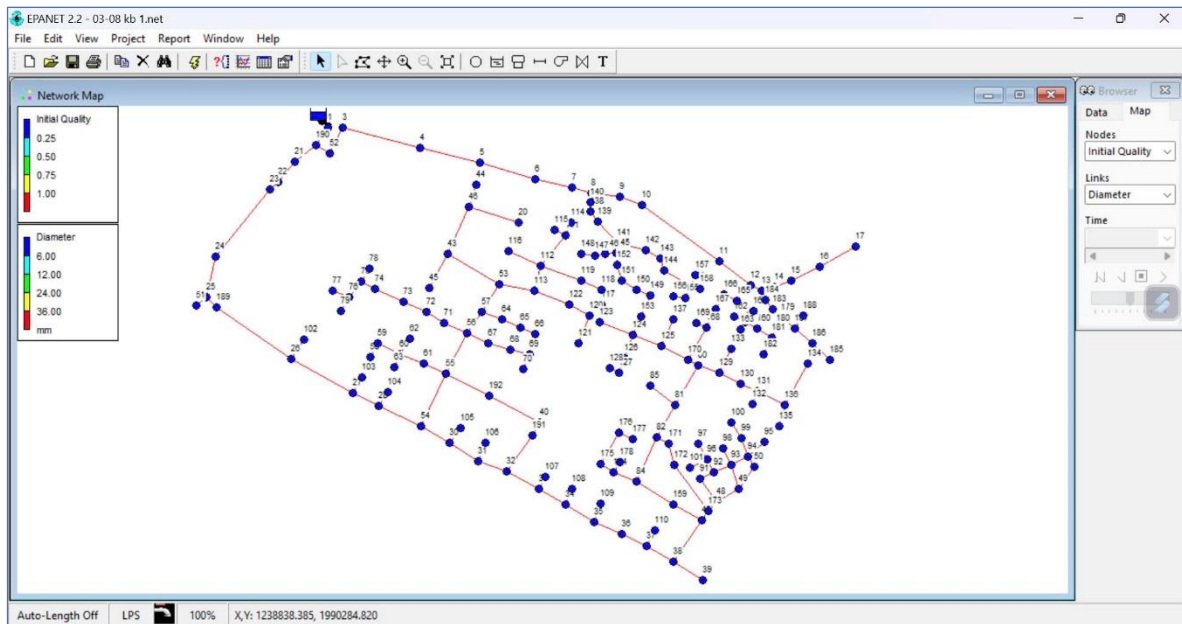
| Nội dung                         | Đơn vị         | Sinh hoạt | Hành chính sự nghiệp | Sản xuất | Dịch vụ | Tổng cộng |
|----------------------------------|----------------|-----------|----------------------|----------|---------|-----------|
| Sản lượng tiêu thụ               | m <sup>3</sup> | 3.355.397 | 322.558              | 9.693    | 78.814  | 3.766.462 |
| Số lượng đầu nối                 | Đầu nối        | 142.138   | 1.341                | 40       | 840     | 144.359   |
| Tỷ trọng theo sản lượng tiêu thụ | %              | 89,09     | 8,56                 | 0,26     | 2,09    | 100       |

### 2.2.2. Thông tin dữ liệu về khách hàng

Địa bàn quản lý của công ty rộng, hiện tại đang quản lý 144.359 đồng hồ khách hàng bao gồm nhiều loại đồng hồ nước khác nhau, khách hàng phân bố chủ yếu ở khu vực quận Tân Bình (53,2%) và quận Tân Phú (46,8%). Trong công tác quản lý, khách hàng được chia thành các loại đối tượng sử dụng nước khác nhau bao gồm: đối tượng sử dụng nước cho sinh hoạt, sản xuất, kinh doanh, hành chính sự nghiệp. Trong công tác quản lý dữ liệu thông tin về khách hàng được quản lý theo từng khu vực, mỗi khách hàng sẽ được đánh số danh bộ, với số danh bộ này việc quản lý tốt hơn.

## 2.3. Giới thiệu mô hình thủy lực Epanet

Hiện nay, một số phần mềm dùng cho tính toán thủy lực cho mạng lưới cấp nước đang được sử dụng như: Epanet, WaterCAD, WaterGEMS, H2OMAP Water, ... Trong đó, phần mềm Epanet là một trong những phần mềm mô phỏng thủy lực cho MLCN được sử dụng phổ biến. Epanet là chương trình tính toán MLCN, được phát triển bởi US-EPA, có khả năng mô phỏng thủy lực và chất lượng nước theo thời gian. Epanet mô phỏng mạng lưới cấp nước bao gồm các đoạn ống, các nút, các máy bơm, các van, các bể chứa và đài nước, tính được lưu lượng trên mỗi đoạn ống, áp suất tại các nút, chiều cao nước ở từng bể chứa, đài nước, nồng độ của các chất trên mạng theo thời gian làm việc mô phỏng của mạng lưới. So với các phần mềm khác thì khả năng mô phỏng thủy lực một cách chính xác là điều kiện tiên quyết cho sự mô phỏng rò rỉ, mô phỏng chất lượng nước. Epanet chứa các công cụ phân tích thủy lực rất mạnh: Có thể phân tích được mạng lưới cấp nước không giới hạn về quy mô; Tính toán tổn thất ma sát thủy lực. Epanet cho phép tính tới sự biến đổi lưu lượng, áp lực tại các nút để cân chỉnh mô hình, phát hiện rò rỉ [27].



Hình 2. Giao diện mô hình Epanet.

Các bước xây dựng mô hình: Xây dựng mô hình cơ sở (gồm có: Đường kính, chiều dài, hệ số nhám ban đầu; Gán lưu lượng đồng hồ nước vào lưu lượng nút); Giả định rò rỉ theo áp lực giờ và mỗi nút đều có rò rỉ; Hiệu chỉnh mô hình (Hiệu chỉnh hệ số nhám C) và kiểm định mô hình (Kiểm định mô hình bằng bộ thông số giá trị của ngày khác). Với các thông tin số liệu liên quan đến mô hình sẽ được lấy từ nguồn dữ liệu SCADA.

Mạng lưới đường ống cấp nước: Bao gồm các thông tin về các loại ống cấp nước, chiều dài, năm lắp đặt, sơ đồ mạng lưới, cao trình khu vực, thông tin về các loại tài sản có trên mạng lưới (van, đồng hồ tổng, đồng hồ khách hàng...). Trong đó, yếu tố về các vị trí đầu nối cần phải được cập nhật chính xác, đảm bảo việc mô phỏng dòng chảy đúng so với thực tế.

Bảng cân bằng nước: Xây dựng bảng cân bằng nước để xác định được từng thành phần nước có trong mô hình, phân tích các thành phần như: lượng nước được cấp vào mạng lưới, lượng nước tiêu thụ khách hàng, nước không doanh thu, lượng nước đi ra khỏi mạng lưới (cung cấp cho khu vực khác).

Bảng 2. Bảng cân bằng nước theo khu vực.

| STT | Ký hiệu khu vực | Sản lượng đồng hồ tổng (m <sup>3</sup> /h) | Sản lượng đồng hồ khách hàng (m <sup>3</sup> /h) | Lượng nước thất thoát (m <sup>3</sup> /h) | Tỷ lệ thất thoát nước (%) |
|-----|-----------------|--|--|---|---------------------------|
| 1   | th1004          | 77,83                                      | 54,90  | 22,93                                     | 29,46                     |
| 2   | th1005          | 68,33                                      | 61,34  | 6,99                                      | 10,23                     |
| 3   | th1006          | 71,85                                      | 70,58  | 1,27                                      | 1,76                      |
| 4   | th1008          | 370,65                                     | 230,53   | 140,12                                    | 37,80                     |
| 5   | th1010          | 183,05                                     | 177,20   | 5,85                                      | 3,19                      |
| 6   | th1011          | 62,21                                      | 57,47  | 4,74                                      | 7,62                      |
| 7   | th1013          | 186,87                                     | 148,61   | 38,26                                     | 20,47                     |
| 8   | th1014          | 1.331,42                                   | 1141,81  | 189,60                                    | 14,24                     |
| 9   | th1015          | 41,87                                      | 30,83  | 11,04                                     | 26,37                     |
| 10  | th1018          | 589,43                                     | 453,26   | 136,18                                    | 23,10                     |
| 11  | th1019          | 409,10                                     | 366,84   | 42,26                                     | 10,33                     |
| 12  | th1021          | 386,46                                     | 284,83   | 101,63                                    | 26,30                     |
| 13  | th1024          | 94,74                                      | 79,74  | 15,00                                     | 15,83                     |
| 14  | th1025          | 106,79                                     | 100,02   | 6,76                                      | 6,33                      |
| 15  | th1026          | 57,57                                      | 55,61  | 1,96                                      | 3,40                      |
| 16  | th1027          | 566,22                                     | 412,18   | 154,03                                    | 27,20                     |
| 17  | th1028          | 755,97                                     | 608,92   | 147,06                                    | 19,45                     |

| STT | Ký hiệu khu vực | Sản lượng đồng hồ tổng (m <sup>3</sup> /h) | Sản lượng đồng hồ khách hàng (m <sup>3</sup> /h) | Lượng nước thất thoát (m <sup>3</sup> /h) | Tỷ lệ thất thoát nước (%) |
|-----|-----------------|--|--|---|---------------------------|
| 18  | th1029          | 54,17                                      | 21,59  | 32,58                                     | 60,15                     |
| 19  | th1030_0901     | 168,88                                     | 146,09   | 22,78                                     | 13,49                     |
| 20  | th1031          | 278,29                                     | 159,94   | 118,34                                    | 42,53                     |
| 21  | th1032          | 46,71                                      | 40,23  | 6,47                                      | 13,86                     |
| 22  | th1033_0201     | 85,25                                      | 61,14  | 24,11                                     | 28,28                     |
| 23  | th1034_0906     | 92,00                                      | 88,27  | 3,73                                      | 4,06                      |
| 24  | pt2018          | 43,16                                      | 42,85  | 0,31                                      | 0,71                      |
| 25  | th4002          | 688,50                                     | 515,01   | 173,49                                    | 25,20                     |
| 26  | th4004          | 311,92                                     | 217,63   | 94,29                                     | 30,23                     |
| 27  | th4005          | 231,17                                     | 163,09   | 68,08                                     | 29,45                     |

Xây dựng hệ số sử dụng nước: Dựa vào thiết bị ghi nhận dữ liệu được lắp đặt cho từng khu vực, từ đó sẽ có các thông tin về thời gian, lưu lượng, áp lực nước. Sau khi có các dữ liệu tiến hành xây dựng hệ số sử dụng nước cho từng khu vực khác nhau.

Xây dựng hệ số rò rỉ: Trên từng khu vực trong mạng lưới cấp nước đều có tỷ lệ TTN khác nhau và áp lực nước cũng thay đổi theo từng khu vực. Từ những dữ liệu về lưu lượng nước thất thoát và áp lực khu vực sẽ xây dựng hệ số rò rỉ cho từng vùng.

Hiệu chỉnh và kiểm định mô hình: Các thông số sử dụng để hiệu chỉnh kiểm định mô hình là áp lực và lưu lượng trên các tuyến ống truyền dẫn chính được ghi nhận trên hệ thống SCADA của SAWACO và Công ty CPCN Tân Hòa. Cụ thể, khi lưu lượng hay độ nhám trong đường ống càng lớn, thì tổn thất áp lực sẽ càng cao. Chỉ số sử dụng đánh giá kết quả kiểm định mô hình là hệ số tương quan R<sup>2</sup>.

2.4. Xác định lượng nước/ tỷ lệ nước thất thoát kinh tế (ELL) tại DMA 03-08

Phương pháp tổng chi phí để tính toán ELL đối với các mức tổn thất vật chất khác nhau, chi phí hàng năm về lượng nước bị mất được cộng với tổng chi phí kiểm soát rò rỉ chủ động để có được đường cong tổng chi phí. Điểm thấp nhất trên đường tổng chi phí được coi là ELL ngắn hạn. Phương pháp tổng chi phí này sẽ được sử dụng để tính toán ELWL. Chi phí TTN hàng năm và chi phí hàng năm để giảm TTN được yêu cầu để tính tổng chi phí. Chi phí nước thất thoát hàng năm được tính từ lượng nước thất thoát (không chỉ lượng nước thất thoát thực tế). Trong khi đó, chi phí được sử dụng hàng năm để giảm TTN, cụ thể là chi phí kiểm soát TTN, bao gồm chi phí đầu tư và chi phí vận hành và bảo trì hàng năm. Ba đường cong (chi phí nước bị mất, chi phí kiểm soát TTN và tổng chi phí) được vẽ trong biểu đồ với chi phí là trục Y và lượng nước thất thoát là trục X. Lượng nước thất thoát khi tổng chi phí ở mức tối thiểu được xác định bằng ELL.

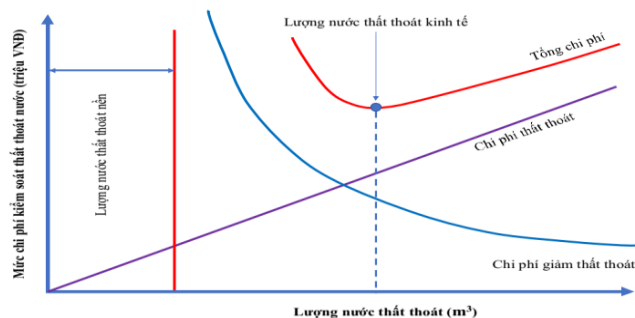
Tỉ lệ TTN kinh tế được tính theo phương pháp hàm tổng chi phí (C):

$$C = C_1 + C_2 \tag{1}$$

Trong đó C<sub>1</sub> là hàm chi phí nước thất thoát (hàm số bậc nhất): Đơn giá mua sỉ x Lượng nước thất thoát theo thời gian; C<sub>2</sub> là hàm chi phí đầu tư giảm TTN (hàm số bậc 2): Xây dựng dựa trên phương pháp hồi quy tuyến tính qua mối quan hệ giữa chi phí đầu tư và lượng nước thất thoát [7].

Đồ thị các hàm chi phí giảm TTN: C<sub>1</sub>: y = a<sub>1</sub>x + b<sub>1</sub>

Trong đó a<sub>1</sub> là giá mua bán sỉ nước sạch (đ/m<sup>3</sup>); b<sub>1</sub> là lượng nước thất thoát vô hình + UBL, với: UBL = [(20 × L<sub>m</sub>) + (1.25 × N<sub>c</sub>)] × (AZNP/50)<sup>1.5</sup> (2)



Hình 3. Sơ đồ xác định mức nước thất thoát kinh tế [22]



UBL (*Unavoidable Background Losses/* Thất thoát nền không thể tránh khỏi),  $L_m$  là chiều dài đường ống (km);  $N_c$  là số đầu nối ống dịch vụ; AZNP là áp lực trung bình ban đêm của khu vực tính toán ( $mH_2O$ ).

Lượng nước thất thoát vô hình = lượng nước thất thoát - lượng nước thất thoát hữu hình  
 Lượng nước thất thoát hữu hình:

$$Q_{Li} = Q_{L0} \times \left( \frac{H_i}{H_0} \right)^n \quad (3)$$

Trong đó  $Q_{Li}$  là lượng nước rò rỉ tại giờ  $i$ ;  $H_i$  là áp lực nước tại giờ  $i$ ;  $H_0$  là áp lực nước trung bình;  $C_2: y = a_2x^2 + b_2x + c$  xây dựng dựa trên phương pháp hồi quy tuyến tính qua mối quan hệ giữa chi phí đầu tư và lượng nước thất thoát, trong đó, chi phí đầu tư bao gồm: chi phí dò tìm, sửa chữa điểm bể và chi phí duy trì kim hãm [8].

### 3. Kết quả và thảo luận

#### 3.1. Đánh giá hiện trạng và nguyên nhân gây ra thất thoát nước tại khu vực nghiên cứu

Trong những năm qua, công tác giảm TTN tại Công ty CPCN Tân Hòa luôn được quan tâm và chú trọng. Các giải pháp giảm TTN đã được đưa ra và áp dụng thực tiễn, tiến hành thay thế cải tạo nâng cấp MLCN. Tuy tỷ lệ TTN có giảm theo từng năm nhưng nhìn chung tỷ lệ giảm chậm và đang ở mức cao, đòi hỏi phải có các giải pháp cần thiết để đưa tỷ lệ TTN xuống thấp hơn, đảm bảo yêu cầu về áp lực, lưu lượng, chất lượng cấp nước tới khách hàng. Có nhiều nguyên nhân gây ra TTN hiện nay, trong đó có một số nguyên nhân chính gây ra TTN như: Đặc thù hệ thống MLCN vẫn còn tồn tại nhiều chủng loại ống và phụ tùng có vật liệu, tiêu chuẩn khác nhau. Hệ thống cấp nước chưa thật đồng bộ, còn tình trạng mất cân đối giữa nguồn và mạng lưới tiếp nhận. Trong khi đó, chất lượng thi công các công trình cấp nước còn hạn chế, không đảm bảo yêu cầu kỹ thuật. Trình độ tay nghề công nhân thi công còn thấp, gây nên tình trạng một số tuyến ống sau khi đưa vào vận hành sử dụng đã gặp sự cố, thời gian sử dụng không đúng so với thiết kế. Ngoài ra, việc thi công các công trình hạ tầng kỹ thuật khác làm tác động đến đường ống cấp nước, gây ra sự cố hư hỏng, xì bể ống ... góp phần làm tăng lượng nước thất thoát. Tải trọng động do các phương tiện lưu thông trên đường tác động lên đường ống đã góp phần gây nên sự cố bể ống làm tăng thất thoát hữu hình; Tình trạng đầu nối bất hợp pháp, can thiệp vào đồng hồ nước và gian lận trong sử dụng nước của một bộ phận khách hàng diễn biến phức tạp và ngày càng tinh vi hơn đã góp phần không nhỏ làm gia tăng lượng nước thất thoát; Việc đưa các nhà máy nước mới vào hoạt động và biện pháp tăng áp lực đường ống đã cải thiện được tình hình lưu lượng, gia tăng áp lực ở nhiều khu vực nhưng cũng làm gia tăng lượng nước thất thoát do tăng xì bể ống.

#### 3.2. Các giải pháp giảm thất thoát nước

##### 3.2.1. Thiết lập khu vực cấp nước DMA để kiểm soát lượng nước

DMA là một khu vực đã được cô lập khỏi MLCN tổng thể bằng cách đóng các van biên và thường chỉ có từ 1-2 nguồn vào. DMA được thiết lập để đo đếm lượng nước vào khu vực, phần nước chênh lệch giữa lượng nước vào và lượng nước tiêu thụ được xem là lượng nước thất thoát. Khu vực DMA được kiểm soát từ 1 đến 2 đồng hồ tổng, đồng hồ tổng sẽ ghi nhận các thông tin về nguồn nước cung cấp vào DMA. Tùy vào từng khu vực để xác định giới hạn số đồng hồ khách hàng trong mỗi DMA (thường trong mỗi DMA có số đồng hồ khách hàng từ 1.000 đến 3.000 đồng hồ).

##### 3.2.2. Các giải pháp phát hiện rò rỉ

Điểm rò rỉ trên MLCN được chia làm hai loại là điểm bể nổi và điểm bể ngầm. Hai phương pháp áp dụng cho công tác dò tìm rò rỉ là thủ công và sử dụng các thiết bị máy móc

để dò các điểm bể. Phương pháp thủ công là việc các nhân viên thường xuyên kiểm tra hệ thống mạng lưới bằng mắt thường, các tuyến ống được kiểm tra luân phiên. Trong quá trình kiểm tra phát hiện các vị trí bất thường thì tiến hành khắc phục. Ngoài ra, còn sử dụng các thiết bị nghe âm thanh đơn giản (thanh nghe cơ); Phương pháp sử dụng máy móc là việc sử dụng các thiết bị để ghi nhận âm thanh điểm bể hay rò rỉ tồn tại trên hệ thống mạng lưới, nhiều thiết bị phục vụ cho công tác dò tìm rò rỉ hiện nay khá đa dạng về mặt chủng loại cũng như cách sử dụng nhưng để phục vụ tốt cho công tác dò tìm rò rỉ chủ động trong khu vực DMA. Một số thiết bị cơ bản như: Thiết bị khoanh vùng điểm rò rỉ, thiết bị tiên định vị điểm rò rỉ, thiết bị khuếch đại âm thanh để định vị chính xác điểm rò rỉ và thanh nghe điện tử.

### 3.2.3. Công tác sửa chữa rò rỉ

Sau khi có kết quả từ quá trình dò tìm điểm bể thì sẽ chuyển danh sách đi xin phép đơn vị quản lý đường bộ để được thi công, đối với các trường hợp bể có xi nước lên mặt đường thì đơn vị sửa chữa sẽ được thực hiện mà không cần phải xin phép. Trong quá trình thi công sửa chữa luôn có bộ phận giám sát hiện trường, bộ phận này chịu trách nhiệm về chất lượng công trình sau sửa chữa, an toàn vệ sinh môi trường. Sau khi công tác sửa chữa điểm bể được hoàn thành thì thông tin về điểm bể sẽ được cập nhật và được quản lý vào trung tâm thông tin của mạng lưới để theo dõi.

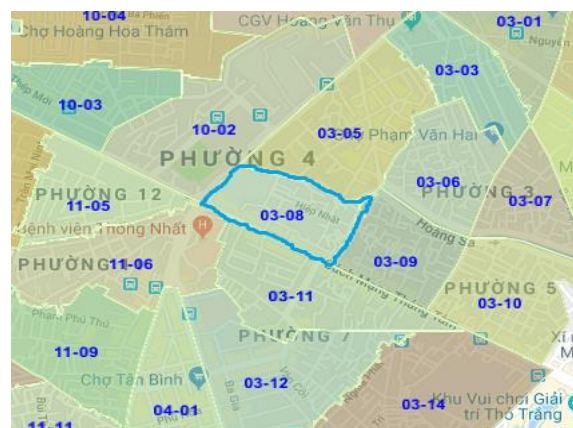
### 3.2.4. Phân tích đánh giá các giải pháp giảm TTN

Một trong những yếu tố ảnh hưởng lớn tới tỷ lệ TTN chính là việc áp dụng các phương pháp giảm TTN, việc giám sát MLCN, sử dụng các thiết bị máy móc, nâng cao công tác quản lý. Phương pháp phân vùng tách mạng thiết lập các khu vực cấp nước DMA, bước đầu đã mang lại hiệu quả tích cực trong công tác quản lý mạng lưới cũng như xác định được những khu vực có tỷ lệ TTN cao. Từ đó, việc giảm TTN sẽ được tập trung vào các DMA có tỷ lệ cao. Phương pháp phát hiện các điểm rò rỉ bằng phương pháp thủ công được áp dụng thường xuyên. Đây là phương án chủ yếu được áp dụng bằng kinh nghiệm để đánh giá các điểm rò rỉ, do đó độ chính xác khi tìm kiếm các điểm rò rỉ là chưa cao. Do đó, giải pháp này chỉ nên được áp dụng khi mạng lưới có tỷ lệ TTN cao. Phương pháp áp dụng bằng các thiết bị dò bể chuyên dụng đã mang lại nhiều hiệu quả tích cực, với việc áp dụng các thiết bị máy móc tiên tiến thì độ chính xác khi dò tìm điểm bể sẽ được nâng cao, đảm bảo việc giảm TTN sẽ hiệu quả. Để có được kết quả tốt đòi hỏi phải có đội ngũ nhân viên được đào tạo bài bản, có kỹ năng. Tuy nhiên, với địa bàn quản lý rộng, MLCN được vận hành lâu năm còn nhiều tuyến ống cũ, đội ngũ nhân viên chuyên môn còn hạn chế, thì việc áp dụng các phương pháp trên còn nhiều bất cập. Do đó, cần có giải pháp tốt hơn để mang lại hiệu quả cao trong công tác quản lý vận hành MLCN.

## 3.3. Áp dụng các phương pháp giảm thất thoát nước vào khu vực thí điểm

### 3.3.1. Giới thiệu khu vực thí điểm DMA 03-08

Khu vực nghiên cứu nằm ở phường 4, Quận Tân Bình thuộc địa bàn quản lý của Công ty CPCN Tân Hòa. Tính đến tháng 6/2019, khu vực đạt tỷ lệ 100% hộ dân được cấp nước sạch. Số lượng đồng hồ nước là 1.018, sản lượng tiêu thụ trung bình của một đồng hồ là 0,93 m<sup>3</sup>/ngày. Tỷ lệ TTN kỳ 9/2019 là 38,9% với lượng nước thất thoát 18,090 m<sup>3</sup>/tháng. Thời gian cung cấp dịch vụ cấp nước liên tục 24/7. Khu vực nghiên cứu gồm 1 đồng hồ tổng có tích hợp data logger để theo dõi lưu lượng và áp lực theo giờ.



**Hình 4.** Vị trí khu vực DMA 03–08.

### 3.3.2. Áp dụng các phương pháp giảm thất thoát nước vô hình

Thất thoát thương mại bao gồm lượng nước được tiêu thụ và sử dụng nhưng không được thanh toán đúng do hệ thống quản lý hay do người sử dụng. Trong nhiều trường hợp, nước chảy qua đồng hồ nhưng chỉ số ghi lại không đúng. Một lợi ích quan trọng trong việc giảm thất thoát thương mại là thực hiện một cách nhanh chóng và hiệu quả với chi phí tương đối thấp. Các giải pháp được đưa ra để giảm thất thoát nước vô hình:

Xây dựng dữ liệu cơ sở cho từng DMA: Có được đầy đủ dữ liệu cơ sở của DMA, luôn cập nhật và đồng nhất là điều rất quan trọng trong việc xác định khả năng của thất thoát thương mại. Nên tiến hành thường xuyên các bước: Đảm bảo các họa đồ được cập nhật đầy đủ trên bản vẽ và trên GIS để thể hiện tất cả các đầu nối. Những bản vẽ này phải ghi rõ địa chỉ và số khách hàng của từng hộ và từng đồng hồ, cũng như vị trí tương ứng; Đảm bảo thông tin khách hàng trong hệ thống hoá đơn của DMA được cập nhật đầy đủ và tối thiểu phải bao gồm những mục sau: tên, địa chỉ, số doanh bộ, số đồng hồ, loại khách hàng, cỡ đồng hồ, cấp đồng hồ, ngày gắn đồng hồ và sản lượng hàng tháng và mã đọc số của 12 tháng trước; Kiểm tra sự đồng nhất giữa bản vẽ kỹ thuật và thông tin khách hàng trong hệ thống hoá đơn. Kiểm tra khi có bất kỳ sự khác biệt nào giữa thông tin về kỹ thuật và thương mại.

Phân tích dữ liệu hóa đơn khách hàng trong DMA 03-08: Với dữ liệu cơ sở cần thực hiện nhiều loại phân tích để hiểu rõ về DMA và các khách hàng cần tập trung nhằm xác định thất thoát thương mại. Những dữ liệu phân tích bao gồm: Số lượng và tỷ lệ từng loại khách hàng; Khách hàng có sản lượng tiêu thụ cao, vì một lỗi nhỏ về sai số đồng hồ có thể dẫn đến lượng thất thu đáng kể; Khách hàng có sản lượng tiêu thụ thấp, nếu sản lượng khách hàng thường xuyên hay có nhiều tháng thấp hơn mức này thì cần tìm hiểu nguyên do; Khách hàng có sản lượng tiêu thụ bằng không, những trường hợp này cần phải liệt kê ra và kiểm tra; Khách hàng có sản lượng tiêu thụ thay đổi đáng kể, đặc biệt là giảm nhiều, cần tìm hiểu tại sao vì đây có thể là do đồng hồ chạy không đúng hay gian lận nước; Khách hàng có mã đọc số khác thường so với định mức có thể hiểu rằng nhân viên đọc số không theo dõi, kiểm tra đồng hồ khách hàng. Trong trường hợp lưu lượng trung bình theo giờ thấp hơn lưu lượng tham chiếu tối thiểu thì đồng hồ đó đọc thấp hơn lượng tiêu thụ. Công ty cấp nước cần xem xét hạ cỡ đồng hồ theo sự lựa chọn của khách hàng và lượng tiêu thụ dự đoán trong tương lai.

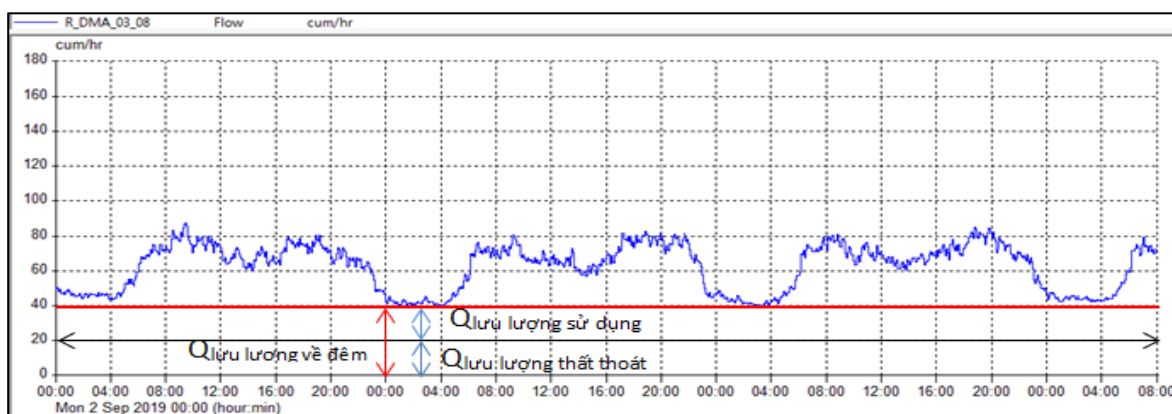
Khảo sát khách hàng: Tiến hành khảo sát khách hàng trong DMA. Kiểm tra tất cả địa chỉ, tòa nhà, khách hàng đã được chọn ra trong DMA: Kiểm tra từng đồng hồ để xem cách lắp đặt và tình trạng đồng hồ; Nhân viên đọc số nên xác nhận kiểm tra xem có giếng hay không, hoặc hỏi những nhà dân xung quanh xem khách hàng này đã ở đó được bao lâu; Lập danh sách tất cả những tòa nhà có mức tiêu thụ cao theo công năng sử dụng, nếu có sản lượng thấp hoặc những bất thường khác cần kiểm tra những khách hàng này; Lập danh sách tất cả những địa chỉ không có đồng hồ và tất cả khách hàng có sử dụng giếng; Cập nhật vào dữ liệu cơ sở hoá đơn tất cả những lỗi đã xác nhận trong quá trình khảo sát. Kết quả của cuộc khảo sát được cập nhật lên họa đồ GIS/AutoCAD.

**Bảng 3.** Kết quả khảo sát loại khách hàng.

| DMA<br>03-08 | Tổng<br>khách hàng | Loại khách hàng |            |      |      |         |
|--------------|--------------------|-----------------|------------|------|------|---------|
|              |                    | Sinh hoạt       | Kinh doanh | HCSN | DVSX | SH+khác |
| Khảo sát     | 1018               | 663             | 339        | 3    | 14   | 13      |
| Tỷ lệ (%)    | 100 %              | 65,1            | 33,3       | 0,29 | 1,38 | 1,28    |

### 3.3.3. Áp dụng các phương pháp giảm thất thoát nước hữu hình

Bố trí đồng hồ đo nước ở đầu và cuối mỗi đoạn ống để kiểm soát thất thoát, tính toán thủy lực vận tốc phải thỏa mãn vận tốc kinh tế  $v = 0,5-1,5$  m/s. Để xác định được rò rỉ đang diễn ra ở đâu trên mạng phân phối cần phải thông thạo các loại rò rỉ và nắm được ảnh hưởng của rò rỉ theo thời gian với lượng nước thất thoát cơ học.



**Hình 5.** Biểu đồ tiêu thụ nước DMA 03-08.

**Quản lý rò rỉ chủ động:** là giải pháp theo dõi TTN nhanh bằng cách xây dựng các hệ thống data logger trên toàn bộ DMA. Khi có hệ thống data logger việc theo dõi áp lực, lưu lượng sẽ được liên tục cập nhật và ổn định. Khi trên mạng lưới có các vấn đề áp lực, lưu lượng hệ thống sẽ ghi nhận và cảnh báo tới người dùng, từ đó có tác động cụ thể để giảm tỷ lệ TTN.

**Kiểm tra lưu lượng về đêm:** Khi thực hiện kiểm tra lưu lượng về đêm mỗi khu vực khoanh vùng sẽ có số liệu lưu lượng về đêm, các số liệu được ghi nhận tại đồng hồ tổng hoặc dữ liệu từ data logger. Sau khi đã xác định các khu vực có khả năng rò rỉ cao tiến hành sử dụng các thiết bị dò bề (như tương quan âm, khuếch đại âm, ...) để dò tìm các điểm rò rỉ. Ngoài ra, thời gian thực hiện cần dựa vào số liệu ghi nhận lưu lượng về đêm từ data logger, khoảng thời gian thích hợp là thời điểm lưu lượng tiêu thụ thấp nhất (từ 1 giờ đến 4 giờ 30 sáng).

**Quản lý áp lực:** Việc giảm áp lực nước sẽ làm giảm nước rò rỉ, qua đó cũng tiết kiệm được nguồn tài nguyên và chi phí sản xuất nước. Để đánh giá sự phù hợp của việc quản lý áp lực trong hệ thống, tiến hành thực hiện các nhiệm vụ sau: Xác định vùng cần thiết, đặc điểm và lượng khách hàng; Xác định loại khách hàng và các hạn chế thông qua việc phân tích yêu cầu; Tập hợp các dữ liệu về lưu lượng và áp lực (tại điểm vào, áp lực trung bình và điểm quan trọng); Phân tích lợi ích và tính khả thi; Chọn lựa van giảm áp, thiết bị và chế độ điều khiển để có kết quả mong muốn; Phân tích chi phí và lợi ích. Có nhiều cách để giảm áp lực nước trên mạng lưới, bao gồm thay đổi chế độ vận hành bơm hay đặt các điểm phá áp. Tuy nhiên, phương pháp được sử dụng nhiều và kinh tế nhất chính là đặt van giảm áp tự động. Van giảm áp sẽ duy trì áp lực sau nó bất kể áp lực trước nó hay sự biến thiên của lưu lượng. Van giảm áp được lắp đặt trong DMA, sau vị trí đồng hồ tổng, và phải đảm bảo chiều dài lắp đặt tránh tạo dòng chảy rối ảnh hưởng đến đồng hồ tổng.

**Sửa chữa nhanh chóng và chất lượng:** Thời gian kéo dài của một điểm rò rỉ sẽ ảnh hưởng đến tổng lượng nước thất thoát cơ học, do đó việc sửa chữa nên hoàn thành càng sớm càng tốt ngay khi điểm rò rỉ được tìm thấy. Chất lượng của việc sửa chữa cũng làm ảnh hưởng lớn cho dù điểm rò rỉ đã được sửa chữa.

**Chương trình quản lý tài sản:** là điều thiết yếu cho quản lý tài chính lâu dài và là phương thức để xử lý rò rỉ có hiệu quả kinh tế. Nó yêu cầu sự ưu tiên và quyết định trong việc sửa chữa, thay thế, cải tạo hay di dời những tài sản. Việc thực hiện đồng thời với chương trình quản lý áp lực sẽ cải thiện quá trình vận hành và bảo dưỡng. Đặc biệt liên quan đến việc phát triển chiến lược giảm NRW là tuổi thọ của đường ống và thực hiện các quyết định để thay thế hay phục hồi hạ tầng MLCN. Điều này đòi hỏi hiểu biết về điều kiện làm việc và tuổi thọ của tài sản. Ngoài ra, chương trình dò tìm chủ động cũng sẽ nhận ra các đường ống trên mạng xảy ra liên tục bể ống hay sửa chữa. Khi các chương trình hành động nêu trên không làm giảm thất thoát, người quản lý nên thực hiện chương trình đánh giá các điều kiện để quyết định xem nên thay thế ống hay là vẫn tiếp tục sửa chữa.

Sau khi có kết quả khảo sát khách hàng về khu vực DMA 03-08, tiến hành phân tích số liệu thu thập được. Trong đó, các trường hợp về đồng hồ đứt chì, chỉ số không ổn định tiến hành lập danh sách bám chì và thay đồng hồ mới. Các trường hợp có định mức thay đổi sẽ cấp đổi định mức mới, tiến hành phân loại khách hàng và cung cấp giá biểu hợp lý cho từng khách hàng, tránh thất thu cho công ty. Khi tiến hành kiểm tra lưu lượng tối thiểu về đêm đối với các khu vực nghi ngờ có TTN, tiến hành ưu tiên dò bể các khu vực có tiêu thụ về đêm cao. Kết quả dò bể phân tích ở bảng 4.

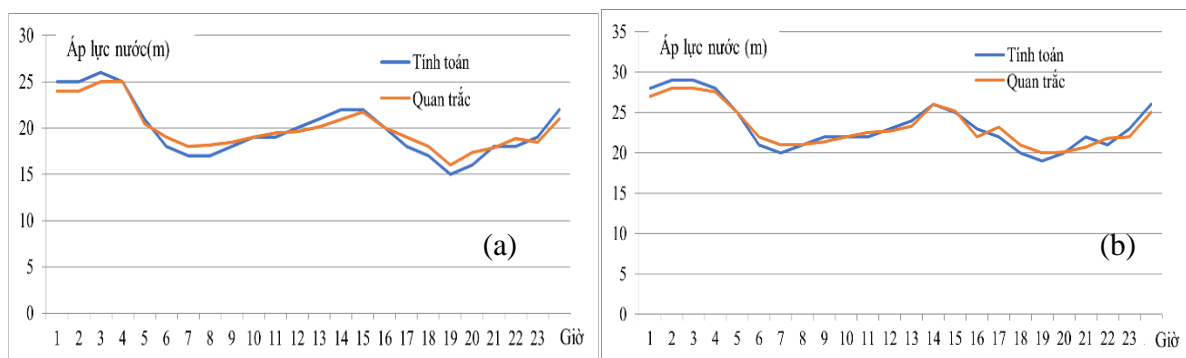
**Bảng 4.** Bảng phân tích số liệu điểm bể.

| STT | Ngày sửa chữa | Nguyên nhân          | Đường kính ống | Hình thức phát hiện | Khu vực phát hiện |
|-----|---------------|----------------------|----------------|---------------------|-------------------|
| 1   | 9/10/2019     | Tét, gãy ống dịch vụ | 25             | Bể ngầm             | KV2               |
| 2   | 9/10/2019     | Tét, gãy ống dịch vụ | 25             | Bể ngầm             | KV2               |
| 3   | 9/10/2019     | Tét, gãy ống dịch vụ | 25             | Bể ngầm             | KV2               |
| 4   | 9/10/2019     | Tét, gãy ống dịch vụ | 25             | Bể ngầm             | KV1               |
| 5   | 04/11/2019    | Tét, gãy ống dịch vụ | 25             | Bể ngầm             | KV1               |
| 6   | 04/11/2019    | Tét, gãy ống dịch vụ | 25             | Bể ngầm             | KV5               |
| 7   | 04/11/2019    | Tét, gãy ống dịch vụ | 25             | Bể ngầm             | KV5               |
| 8   | 04/11/2019    | Tét, gãy ống dịch vụ | 25             | Bể ngầm             | KV3               |

Trước thời điểm chưa áp dụng các phương pháp kỹ thuật thì tỷ lệ TTN khu vực ở kỳ 9/2019 là 38,9% với lượng nước thất thoát trên 10.090 m<sup>3</sup>/tháng. Sau khi tiến hành phân tích đánh giá khu vực, sử dụng phương pháp kiểm tra lưu lượng về đêm và thực hiện các bước dò bể đã thu được một số kết quả: Trong khoảng thời gian dò bể hai ngày đã phát hiện được tổng cộng 8 điểm bể trên ống D25mm thuộc các khu vực ưu tiên. Sau khi tính toán lượng nước thất thoát đã giảm còn 3,120 m<sup>3</sup>/tháng và tương ứng tỷ lệ TTN mới là 9,7%. Như vậy, việc áp dụng các phương pháp kỹ thuật và sử dụng giải pháp kiểm tra lưu lượng về đêm đã mang lại kết quả tích cực trong công tác giảm TTN.

**3.4. Xây dựng mô hình Epanet cho khu vực DMA 03-08 với tỷ lệ thất thoát nước mới**

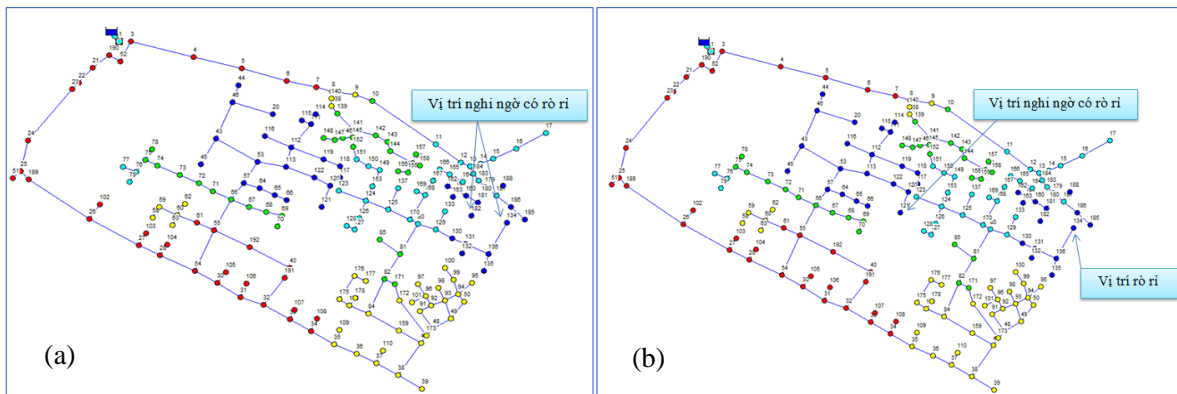
Sau khi áp dụng các giải pháp giảm TTN, tỷ lệ TTN khu vực DMA 03-08 đã giảm còn 9,7%, với tỷ lệ thất thoát này ta có bộ số liệu mới về áp lực và lưu lượng đầu nguồn cấp vào mạng lưới. Số liệu lấy từ dữ liệu hóa đơn kỳ 12/2019 của Công ty CPCN Tân Hòa, được gán vào nút theo phương pháp nút nào gần đồng hồ nước nhất thì lưu lượng của đồng hồ nước sẽ được gán vào nút đó. Tổng lượng nước tiêu thụ trong khu vực trong 24 giờ sau khi gán vào nút bằng 947 m<sup>3</sup>/ngày. Gán lưu lượng rò rỉ vào nút với giả định tại mỗi nút đều có một lượng rò rỉ nào đó, lượng rò rỉ này được xác định bằng cách lấy lượng TTN của toàn khu vực giờ tương ứng chia cho tổng số nút của mạng lưới. Tại mỗi nút sẽ tồn tại 2 hệ số Pattern, 1 hệ số dành cho sinh hoạt và 1 hệ số dành cho rò rỉ. Kết quả kiểm định tương đối tốt với R<sup>2</sup> = 0,95 (tại TCH 1) và R<sup>2</sup> = 0,93 (tại TCH 2), nên ta sẽ sử dụng mô hình này để tối ưu hóa tìm rò rỉ (Hình 6a, 6b).



**Hình 6.** (a) So sánh áp lực mô hình tính toán và quan trắc tại TCH 1 sau 24h; (b) So sánh áp lực mô hình tính toán và quan trắc tại TCH 2 sau 24h.

3.5. Bài toán dò tìm rò rỉ

Bài toán dò tìm rò rỉ thực chất là bài toán tối ưu MLCN bằng cách phân bổ thêm hệ số K để tối ưu giá trị áp lực và lưu lượng mạng lưới sao cho bằng giá trị quan trắc. Ở kịch bản 1 (tối ưu theo hiện trạng mạng lưới - Hình 7a) mô hình phát hiện 2 điểm rò rỉ có khả năng tại đoạn ống trên có xảy ra rò rỉ; Ở kịch bản 2 (tối ưu khi giả thiết có rò rỉ trên mạng lưới - Hình 7b) sau khi giả thiết có rò rỉ trên nút sau đó xuất dữ liệu và đưa vào mô hình để kiểm tra thì phát hiện 2 điểm rò rỉ. Một trong 2 vị trí mô hình xác định đúng với vị trí có rò rỉ ban đầu, ở vị trí còn lại đoạn ống trên có khả năng xảy ra rò rỉ. Việc lắp đặt các thiết bị theo dõi dữ liệu là điều kiện cần thiết để cung cấp dữ liệu áp lực và lưu lượng cho mạng lưới. Có thể lắp đặt thêm một số thiết bị quan trắc các vị trí trong các tuyến hẻm bên trong mạng lưới để các giá trị áp lực được cân chỉnh phân bố đều mạng lưới hơn. Số liệu tại một thời điểm để phân tích các điểm rò rỉ có khả năng xảy ra vào thời điểm đó, do vậy để có thể dự báo cũng như đánh giá rò rỉ cần phải liên tục cập nhật các bộ thông số dữ liệu mới cho mô hình.



Hình 7. (a) Vị trí nghi ngờ có điểm rò rỉ (theo kịch bản 1); (b) Vị trí nghi ngờ có điểm rò rỉ (theo kịch bản 2).

3.6. Xác định lượng nước/ tỷ lệ thất thoát nước kinh tế (ELL) tại DMA 03-08

Bảng 5. Dữ liệu phục vụ cho tính toán ELL tại DMA 03-08.

| Nội dung                                 | Đơn vị               | Giá trị |
|--|----------------------|---------|
| Số đầu nối có đồng hồ                    | đồng hồ              | 1018    |
| Số lượng đầu nối không có đồng hồ đo đếm | đồng hồ              | 02      |
| Chiều dài ống phân phối                  | km                   | 7,500   |
| Chiều dài ống nhánh                      | km                   | 1,96    |
| Áp lực trung bình                        | m                    | 10,373  |
| Áp lực trung bình ban đêm                | m                    | 14,167  |
| Sản lượng nguồn vào                      | m <sup>3</sup> /ngày | 658     |
| Sản lượng tiêu thụ                       | m <sup>3</sup> /ngày | 551     |
| Lượng nước thất thoát                    | m <sup>3</sup> /ngày | 107     |
| Tỉ lệ TTN                                | %                    | 16,26   |

Từ những dữ liệu trên ta tính toán được giá trị UBL:  $UBL = 2,12 \text{ m}^3/\text{ngày}$ .

Bảng 6. Bảng tính thất thoát hữu hình cập nhật theo ngày.

| Thời gian | Q (m <sup>3</sup> /h) | H (m) | Q rò rỉ ống | Thời gian | Q (m <sup>3</sup> /h) | H (m) | Q rò rỉ ống |
|-----------|-----------------------|-------|-------------|-----------|-----------------------|-------|-------------|
| 0:00      | 19,90                 | 14,13 | 3,820       | 12:00     | 35,30                 | 9,83  | 2,764       |
| 1:00      | 14,80                 | 14,13 | 3,820       | 13:00     | 33,40                 | 12,33 | 3,384       |
| 2:00      | 11,80                 | 14,17 | 3,830       | 14:00     | 24,30                 | 10,83 | 3,014       |
| 3:00      | 12,10                 | 14,00 | 3,790       | 15:00     | 22,70                 | 8,29  | 2,374       |
| 4:00      | 12,80                 | 12,25 | 3,364       | 16:00     | 32,00                 | 8,71  | 2,480       |
| 5:00      | 16,50                 | 10,04 | 2,817       | 17:00     | 35,80                 | 8,42  | 2,406       |
| 6:00      | 29,60                 | 6,83  | 1,997       | 18:00     | 45,10                 | 8,75  | 2,491       |
| 7:00      | 29,80                 | 6,92  | 2,019       | 19:00     | 44,70                 | 9,08  | 2,575       |

| Thời gian | Q (m <sup>3</sup> /h) | H (m) | Q rò rỉ ống | Thời gian | Q (m <sup>3</sup> /h) | H (m) | Q rò rỉ ống |
|-----------|-----------------------|-------|-------------|-----------|-----------------------|-------|-------------|
| 8:00      | 32,10                 | 8,13  | 2,331       | 20:00     | 41,10                 | 10,67 | 2,973       |
| 9:00      | 34,90                 | 9,21  | 2,607       | 21:00     | 34,20                 | 10,25 | 2,869       |
| 10:00     | 33,80                 | 8,71  | 2,480       | 22:00     | 33,70                 | 11,88 | 3,272       |
| 11:00     | 34,80                 | 8,58  | 2,448       | 23:00     | 26,50                 | 12,83 | 3,506       |

Với các dữ liệu và giá trị tính toán như trên, dựa vào phương pháp đồ thị ta tìm được mối quan hệ giữa Q và H như sau:  $y = 1,1623 \times 0,893$ ;  $R^2 = 0,9414 \rightarrow n = 0,893$ .

Xác định giá trị hàm (C1): chi phí hao tổn do thất thoát nước DMA 03-08.

**Bảng 7.** Chi phí dò tìm, sửa chữa điểm rò rỉ và kết quả tính toán ELL trên DMA 03-08.

| Nội dung                               | Đơn vị tính          | Giá trị    |
|--|----------------------|------------|
| Đơn giá mua sỉ nước sạch               | đồng/m <sup>3</sup>  | 6.504,45   |
| Lượng nước thất thoát hữu hình         | m <sup>3</sup> /năm  | 25.343     |
| Lượng nước thất thoát                  | m <sup>3</sup> /năm  | 39.062     |
| Lượng nước thất thoát vô hình +UBL     | m <sup>3</sup> /năm  | 13.720     |
| Q rò rỉ 1 điểm rò rỉ                   | m <sup>3</sup> /h    | 2,07       |
| Số lượng điểm rò rỉ                    | điểm                 | 1          |
| Chi phí sửa chữa                       | đồng/điểm            | 5.000.000  |
| Chi phí dò tìm                         | đồng/điểm            | 880.000    |
| Chi phí duy trì Q thất thoát hiện tại  | đồng/năm             | 70.560.000 |
| Lượng nước thất thoát hữu hình kinh tế | m <sup>3</sup> /năm  | 24.683     |
| Lượng nước thất thoát kinh tế          | m <sup>3</sup> /ngày | 105        |
| Tỉ lệ TTN kinh tế                      | %                    | 16,03      |

Lượng nước thất thoát rò rỉ vô hình chiếm khoảng 1,69% và lượng thất thoát nước nền khoảng 13.720 m<sup>3</sup>/năm chiếm 0,45% tổng lượng nước tiêu thụ. Để duy trì mức rò rỉ kinh tế (ELL) khoảng 16,03% như trên thì hàng năm cần tiến hành khảo sát trên 70% tuyến ống của mạng lưới với chi phí khoảng 70,56 triệu đồng/năm. Cần lưu ý rằng, mức thất thoát nước kinh tế là một đại lượng biến động theo thời gian phụ thuộc vào điểm cân bằng giữa chi phí đầu tư giảm thất thoát nước và thu nhập tăng thêm từ lượng nước thất thoát nước thu được. Do vậy, kết quả tính toán ở trên đây chỉ là thông số tham khảo cho đơn vị quản lý vận hành ở một thời điểm nhất định. Việc cập nhật các số liệu tính toán cần thiết về mạng lưới, chi phí đầu tư sửa chữa nâng cấp mạng lưới và kiểm toán nước cần phải được thực hiện thường xuyên để tính toán dự báo cập nhật mức độ thất thoát nước theo từng năm và từng giai đoạn.

Ngoài ra, khi so sánh với kết quả nghiên cứu [22] thực hiện tại MLCN Gia Định (năm 2020) cho thấy ELL là 15% trong khi tỷ lệ thất thoát nước là 16,79%. Điều này cho thấy rằng việc giảm thất thoát nước ở MLCN Gia Định gần đạt tới mức ELL. Trong khi đó, mức giảm thất thoát nước ở MLCN Tân Hòa cân bằng mức ELL. Với nghiên cứu ở thành phố Malang, Indonesia thì mức ELL là 21,76% vào năm 2016 [23]. Điều này phản ánh sự khác biệt về đặc điểm hạ tầng mạng lưới và mô hình quản lý TTN ở các thành phố thuộc các quốc gia khác nhau.

Đề xuất các giải pháp kỹ thuật kinh tế giảm TTN tại Công ty CPCN Tân Hòa:

- Rút ngắn thời gian và tăng hiệu quả trong việc giám sát, quản lý và xử lý rò rỉ trên mạng lưới cấp nước bằng kỹ thuật học máy đã được ứng dụng nhiều trong những năm qua tại các nước trên thế giới và đem lại những hiệu quả hết sức tích cực.

- Xây dựng phần mềm chủ động cảnh báo có rò rỉ trên MLCN tích hợp với các đồng hồ tổng DMA, khi có được các thông tin cảnh báo thì việc đưa ra các giải pháp sẽ nhanh chóng và kịp thời.

- Mô hình thủy lực được theo dõi và chạy biến động theo thời gian thực kịp thời cập nhật đánh giá xác định ngay lập tức các rủi ro lưu lượng áp lực trên mạng lưới cảnh báo thực thi xử lý nhanh các sự cố xì bê trên MLCN.

- Tính toán thất thoát kinh tế ELL để nhanh chóng thay đổi các tuyến ống cũ mục nát nhằm tăng khả năng hồi phục thay thế vật liệu tuyến ống cấp nước trên mạng lưới bền vững cho các thất thoát nước vô hình và hữu hình thay đổi liên tục theo thời gian và không gian (trong các mùa của các năm).

#### 4. Kết luận

Nghiên cứu đã đánh giá được hiện trạng công tác giảm TTN tại Công ty CPCN Tân Hòa, xác định nguyên nhân gây ra TTN tại khu vực nghiên cứu; Đánh giá các giải pháp giảm TTN đang được áp dụng; Đề xuất các giải pháp phù hợp giảm TTN. Nghiên cứu đã ứng dụng thành công phần mềm Epanet để mô phỏng và phân tích thủy lực mạng lưới cấp nước. Kết quả của mô hình là cơ sở để phân tích, đánh giá các yếu tố về lưu lượng, áp lực, cũng như phân tích hiệu quả trong quản lý MLCN, khoanh vùng rò rỉ cho khu vực thí điểm và đưa ra các bài toán để phân tích đánh giá khi áp dụng vào thực tế nhanh chóng phát hiện kiểm soát thủy lực liên tục các nguy cơ rò rỉ trên mạng lưới cấp nước 24/7; Rút ngắn thời gian và tăng hiệu quả trong việc giám sát, quản lý và xử lý rò rỉ trên MLCN. Tuy đã có kết quả tích cực trong công tác giảm TTN nhưng để áp dụng cho toàn địa bàn đòi hỏi phải thu thập đầy đủ các số liệu cơ sở, đồng thời phải có những thay đổi trong cách quản lý mới có thể đưa tỷ lệ TTN xuống thấp. Ngoài ra, nghiên cứu chỉ thực hiện trong một khu dân cư mà nhu cầu dùng nước chỉ phục vụ sinh hoạt nên chưa đánh giá được toàn bộ bức tranh về nhu cầu dùng nước, điều này có thể ảnh hưởng đến việc xác định hệ số sử dụng nước. Vì vậy, cần có những nghiên cứu ở quy mô rộng hơn để hoàn thiện và phát triển mô hình thủy lực nhằm phục vụ cho việc giảm rò rỉ được hiệu quả hơn; Xây dựng phần mềm chủ động cảnh báo có rò rỉ trên MLCN tích hợp với các đồng hồ tổng DMA, khi có được các thông tin cảnh báo thì việc đưa ra các giải pháp sẽ nhanh chóng và kịp thời; Tính toán ELL để nhanh chóng thay đổi các tuyến ống cũ nhằm khả năng hồi phục thay thế vật liệu tuyến ống cấp nước trên mạng lưới bền vững cho các TTN vô hình và hữu hình thay đổi liên tục.

**Đóng góp của tác giả:** Tổng hợp, viết bản thảo, hoàn chỉnh bản thảo: H.M.D.; Thu thập số liệu, tính toán, mô phỏng: T.T.Q.

**Lời cảm ơn:** Nghiên cứu được tài trợ bởi Đại học Quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh (ĐHQG-HCM) trong khuôn khổ nhiệm vụ thường xuyên theo chức năng mã số TX2025-24-01.

**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. Tuấn, V.A. Nghiên cứu giải pháp kỹ thuật - công nghệ nhằm chống thất thoát nước cho hệ thống cung cấp nước sạch TP.HCM. *Tạp chí Phát triển Khoa học và Công nghệ* **2013**, 16, 49–53.
2. Tuấn, N.H.; Anh, T.Đ.; Ngọc, T.A.; Linh, H.D. Dự báo khả năng rò rỉ trên mạng lưới cấp nước bằng một số kỹ thuật học máy: nghiên cứu điển hình cho hệ thống cấp nước Trung An - Thành phố Hồ Chí Minh. *Tạp chí Khoa Học Kỹ Thuật Thủy Lợi và Môi Trường* **2022**, 78, 44–52.
3. Dục, L.V. Tích hợp công nghệ thông tin địa lý và mô hình toán thủy lực - HYDGIS để quản lý một mạng lưới cấp nước thành phố lớn. *Tạp chí Phát triển Khoa học và Công nghệ* **2008**, 5(11), 1–10.
4. Dung, N.T.N.; Hiền, N.V.; Công, N.T.; Bằng, P.H. Ứng dụng công nghệ thông tin trong quản lý hệ thống cấp nước đô thị thông minh tại Việt Nam. *Tạp chí Xây dựng*, **2022**, 2, 114–116.
5. Hùng, L.V.; Chi, T.T.; Linh, P.T. Đề xuất giải pháp giảm thiểu lượng nước thất thoát cho mạng lưới cấp nước thành phố Bắc Giang. *Tạp chí Khoa học Tài nguyên và Môi trường* **2019**, 28.



6. Giugni, F.D.P.a.M. Leakages and pressure relation: An experimental research. *Drink Water Eng. Sci.* **2012**, 5, 59–65.
7. Shan Wu, L.Y.; Zhou, C.; Zhang, J. Leakage modeling and leakage control analysis by pressure management in water supply system of DMA. Trenchless Technology, 2013.
8. Covas, D.; Jacob, A.; Ramos, H. Bottom-up analysis for assessing water losses: A case study. Proceeding of the 8<sup>th</sup> Annual Water Distribution Systems Analysis Symposium 2006. 2007, pp. 34.
9. Zajkowski, A.; Wysocki, Ł.; Tuz, P.; Bartkowska, I.; Kruszyński, W. Use of hydraulic model in real water loss reduction and water distribution network operational cost lowering. *Ekonomia i Środowisko - Economics Environ.* **2022**, 81(2), 186–202.
10. Taha AL–Washalia.; Sharma, S.; Lupoja, R.; Fadh AL–Nozaily.; Mansour Haidera.; Maria Kennedy. Assessment of water losses in distribution networks: Methods, applications, uncertainties, and implications in intermittent supply. *Resour. Conserv. Recycl.* **2020**, 152, 104515.
11. Luis Romero–Ben, D.A.; Blesa, J.; Cembrano, G.; Puig, V.; Duviella, E. Leak detection and localization in water distribution networks: Review and perspective. *Ann. Rev. Control* **2023**, 55, 392–419.
12. Burak Kizilöz, M.E.B.; Gazioğlu, Ş.A.; Şişman, E. Prediction of non-revenue water ratio in water distribution systems. *Sigma J. Eng. Nat. Sci.* **2024**, 42(3), 653–666.
13. Ociepa, E. Analysis and assessment of water losses reduction effectiveness using examples of selected water distribution systems. *Desalin. Water Treat.* **2021**, 211, 196–209.
14. Jang, D. A parameter classification system for nonrevenue water management in water distribution networks. *Adv. Civ. Eng.* **2018**, 3841979, 1–10.
15. Karnaningroem, M.S.A.N. Evaluation of Water Losses: Study Case in Intan Banjar Water Supply Company. Proceeding of the 1<sup>st</sup> International Conference on Business and Management of Technology (IConBMT), 2019.
16. Kanakoudis, V.; S.T.; Demetriou, G. Applying an integrated methodology toward non-revenue water reduction: the case of Nicosia. *Cyprus. Desalin. Water Treat.* **2016**, 57, 11447–11461.
17. Lambert, A.O.; Fantozzi, M. Recent advances in calculating economic intervention frequency for active leakage control, and implications for calculation of economic leakage levels. Proceeding of the WA International Conference on Water Economics, Statistics, and Finance. Rethymno, Greece, 2005, pp. 1–8.
18. Pearson, D. Standard definitions for water losses. Donnelly, A. Editor, IWA Publishing, 2019.
19. Islam, M.S.; Babel, M.S. Economic analysis of leakage in the bangkok water distribution system. *J. Water Resour. Plann. Manage.* **2013**, 139(2), 209–216.
20. Firat, M.; Ateş, A.; Yılmaz, S.; Özdemir, Ö. Economic analysis and economic leakage level in water loss management and paths for future evaluation: A review. *Civ. Eng. Infrastruct. J.* **2022**, 52(2), 195–209.
21. Muñoz–Trochez, C.; Smout, I.; Colombia, S.K. Economic level of leakage (ELL) calculation with limited data: An application in Zaragoza. Proceeding of the 35<sup>th</sup> WEDC International Conference. Loughborough, UK, 2011.
22. An, T.Đ.; Hoà, P.T.D. Nghiên cứu xác định lượng nước thất thoát kinh tế trong hệ thống cấp nước đô thị: áp dụng tính toán cho mạng lưới cấp nước Gia Định, Thành phố Hồ Chí Minh. *Tạp chí Khoa Học Kỹ Thuật Thủy Lợi và Môi Trường* **2022**, 81, 18–25.

23. Heryanto, T.; Sharma, S.K.; Daniel, D.; Kennedy, M. Estimating the economic level of water losses (ELWL) in the water distribution system of the City of Malang, Indonesia. *Sustainability* **2021**, *13*(12), 6604.
24. Yilmaz, S.; Firat, M.; Ateş, A.; Ö. Özdemir. Analyzing the economic water loss level with a discrete stochastic optimization algorithm by considering budget constraints. *Water Infrastruct. Ecosyst. Soc.* **2022**, *71*(7), 835–848.
25. Arregui, F.J.; Cobacho, R.; Soriano, J.; Jimenez-Redal, R. Calculation proposal for the economic level of apparent losses (ELAL) in a water supply system. *Water* **2018**, *10*, 1809.
26. Công ty cổ phần cấp nước Tân Hòa. Báo cáo tỷ lệ thất thoát nước năm 2020 của Công ty cổ phần cấp nước Tân Hòa. 2020.
27. Safitri, A.; Wahyudi, S.I.; Soedarsono. Simulation of pipe networks using EPANET to optimize water supply: A case study for Arjawinangun area, Indonesia. *Arch. Hydro-Eng. Environ. Mech.* **2023**, *70*, 17–28.

## **Assessing the current situation and proposing economic technical solutions to reduce water loss at Tan hoa water supply Joint Stock company (belong to Sawaco)**

**Ho Minh Dung<sup>1\*</sup>, Truong Tan Quoc<sup>1,2</sup>**

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

<sup>2</sup> Ben Thanh Water Supply Joint Stock Company; ksquoc@yahoo.com.vn

**Abstract:** The current water loss reduction work at Tan Hoa Water Supply Company is still passive, not applying well the technology as well as the water loss reduction process, not fully promoting the unit's ability to reduce water loss. Therefore, this study is conducted to bring economic efficiency, estimate the Economic Level of Leakage (ELL) level to reduce water loss to the level where the cost of reducing water loss is equal to the value of the amount of water saved, contributing to protecting water resources and the environment. The study has successfully applied Epanet model to control water supply network hydraulics to simulate and analyze the hydraulics of the water supply network. The results of the model are the basis for analyzing and evaluating factors on flow, pressure, as well as analyzing the effectiveness of the active water supply network leakage control of the water supply network management, zoning leakage for the case study area and providing problems for analysis and evaluation when applied in practice to quickly detect continuous hydraulic control of leakage risks on the 24/7 water supply network. The result of this research is widely applied and will help reduce clean water loss in other water supply companies to effectively and sustainably reduce water loss.

**Keywords:** Reduce water loss; Economic Level of Leakage (ELL); Tan Hoa water supply Co.

Bài báo khoa học

# Ảnh hưởng của dịch chuyển vỏ Trái đất đến các tham số chuyển đổi tọa độ

Lê Thị Thanh Tâm<sup>1</sup>, Nguyễn Văn Sáng<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> Trường Đại học Mở - Địa chất; thanhtamtdcc@gmail.com;  
nguyenvansangtd40@gmail.com

\*Tác giả liên hệ: nguyenvansangtd40@gmail.com; Tel.: +84-947368825

Ban Biên tập nhận bài: 5/11/2024; Ngày phản biện xong: 20/12/2024; Ngày đăng bài: 25/5/2025

**Tóm tắt:** Bài báo trình bày kết quả xác định ảnh hưởng của dịch chuyển vỏ Trái đất đến các tham số chuyển đổi tọa độ giữa hệ tọa độ tĩnh (VN2000) và hệ tọa độ động (ITRF). Phương pháp xác định tốc độ thay đổi của các tham số chuyển đổi tọa độ theo véc tơ vận tốc chuyển dịch vỏ Trái đất đã được xây dựng. Tốc độ thay đổi của 7 tham số chuyển đổi tọa độ trên lãnh thổ Việt Nam đã được tính toán theo vận tốc dịch chuyển vỏ Trái đất tại 21 điểm Geodetic CORS. Tốc độ này được kiểm tra bằng cách so sánh với phương pháp tính theo tọa độ ở 2 chu kỳ. Kết quả kiểm tra cho thấy chênh lệch giữa hai phương pháp: về tọa độ nhỏ hơn 0,11 mm; về hướng nhỏ hơn  $0,38'' \times 10^{-5}$ ; về tỷ lệ chiều dài là  $0,004 \times 10^{-9}$ . Điều này chứng tỏ phương pháp xác định ảnh hưởng của dịch chuyển vỏ Trái đất đến các tham số chuyển đổi tọa độ của bài báo và kết quả tính toán hoàn toàn chính xác.

**Từ khóa:** Dịch chuyển vỏ Trái đất; Tham số chuyển đổi tọa độ; Geodetic CORS.

## 1. Giới thiệu

Theo thuyết kiến tạo mảng, lớp vỏ cứng của Trái đất gọi là thạch quyển nằm trên lớp quyển mềm. Thạch quyển được chia ra làm nhiều phần được gọi là các mảng. Các mảng chuyển động theo các hướng khác nhau với vận tốc từ 1,0 cm/năm đến 16,0 cm/năm, ranh giới giữa các mảng gọi là đứt gãy. Trên lãnh thổ Việt Nam có hai khối kiến tạo liền kề: khối Nam Trung Hoa (*South China Block*) và khối Sunda (*Sundaland Block*). Ranh giới của hai khối này là đứt gãy Sông Hồng [1]. Lãnh thổ Việt Nam lại được chia ra các khối cấu trúc kiến tạo như: Khối Mường Tè, khối Đông Bắc, khối Tây Bắc - Bắc Trung Bộ ... Mỗi khối có đặc điểm hình thành và phát triển riêng. Giữa các khối là các đứt gãy như: Đứt gãy Sông Hồng, đứt gãy Lai Châu - Điện Biên ... [2].

Do các hoạt động kiến tạo mảng, tâm vật lý của Trái đất và cực trái đất bị dịch chuyển. Do đó, hệ tọa độ, khung tọa độ cũng bị thay đổi theo thời gian. Khung quy chiếu quốc tế (ITRF) là hiện thực hoá hệ quy chiếu ITRS tại một thời điểm cụ thể. Thế giới đã xây dựng khung tọa độ quốc tế ITRF theo các phiên bản khác nhau: ITRF1992 [3], ITRF1996 [4], ITRF1997 [5], ITRF2000 [6], ITRF2005 [7], ITRF2008 [3], ITRF2014 [8] và gần đây nhất là ITRF2020 [9]. Khi xây dựng ITRF, những công nghệ đo đạc và xử lý số liệu tiên tiến như VIBL [10] và phép lọc Kalman [11] đã được sử dụng. Những năm gần đây, nhiều quốc gia đã nghiên cứu ảnh hưởng của hoạt động kiến tạo đến hệ tọa độ quốc gia và hiện đại hóa hệ tọa độ quốc gia gắn với ITRF ví dụ như: năm 2020, Malaysia đã xây dựng khung quy chiếu trắc địa bán động học dựa trên ITRF2014 cho Malaysia (GDM2020) [12]. Ở Việt Nam, có một số công trình nghiên cứu kết nối hệ tọa độ quốc gia với ITRF như: nghiên cứu [3] đã xây dựng được phần mềm tính chuyển tọa độ giữa hệ quy chiếu VN2000 với khung quy chiếu trái đất

quốc tế (ITRF); nghiên cứu [13] đã xác định được các tham số chuyển đổi tọa độ giữa hệ quy chiếu VN-2000 và ITRF2005; nghiên cứu [14] đã tổng hợp một số kết quả nghiên cứu quốc tế liên quan đến ITRF, phương pháp xác định độ lệch tâm của Trái đất, và ảnh hưởng của sự dịch chuyển tâm của Trái đất đến ITRF; nghiên cứu [15] đã nghiên cứu khả năng thích ứng của VN-2000 với ITRF.

Ở Việt Nam, nhiều công trình nghiên cứu xác định vận tốc dịch chuyển vỏ Trái đất bằng công nghệ GNSS đã được thực hiện, ví dụ như: Trong nghiên cứu [16] đã xử lý số liệu lưới GPS tại đứt gãy Sông Hồng, quan trắc từ năm 1994 đến 2007. Kết quả cho thấy rằng: các điểm dịch chuyển về phía Đông - Đông - Nam với vận tốc trung bình  $34,5 \pm 1,0$  mm/năm. Trong nghiên cứu [17] đã sử dụng số liệu GPS để nghiên cứu chuyển động hiện đại vỏ Trái đất tại vùng Sơn La. Nghiên cứu [18] đã xác định chuyển động hiện đại đứt gãy Lai Châu - Điện Biên từ số liệu đo GPS đo trong giai đoạn 2002-2004. Năm 2014, số liệu của 5 trạm GNSS quan trắc liên tục ở Việt Nam từ năm 2005 đến 2013 đã được xử lý với số liệu các trạm IGS quốc tế để tính ra vận tốc dịch chuyển [19]. Số liệu lưới VNGEONET đã được xử lý trong ITRF2014 bằng phần mềm BERNESE và tính ra vận tốc dịch chuyển của các điểm trong hệ tọa độ địa diện chân trời [20]. Kết quả cho thấy chuyển dịch ngang các trạm là theo hướng Đông - Đông - Nam, có giá trị từ 2,7 cm/năm đến 4,0 cm/năm. Như vậy, do hoạt động kiến tạo mảng, lãnh thổ Việt Nam dịch chuyển theo hướng Đông - Đông - Nam với vận tốc trung bình khoảng 3 cm/năm.

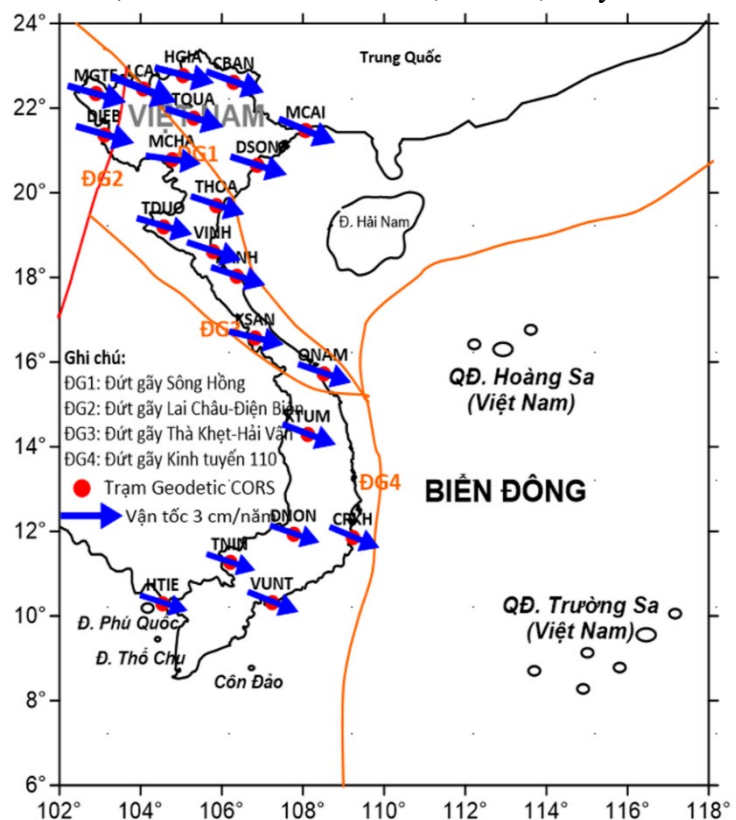
Hệ tọa độ VN2000 được xây dựng năm 2000 là hệ tọa độ tĩnh. Tọa độ của các điểm trong hệ này không thay đổi theo thời gian [21]. ITRF là khung quy chiếu trái đất động. Tọa độ của các điểm trong ITRF thay đổi theo thời gian [9]. Như vậy, các tham số chuyển đổi tọa độ từ VN2000 sang ITRF sẽ thay đổi theo thời gian. Tốc độ thay đổi này có thể được tính dựa vào tọa độ của các điểm khống chế ở các chu kỳ đo trong 2 hệ tọa độ. Tuy nhiên, không phải lúc nào cũng có được giá trị tọa độ này. Các công trình nghiên cứu thường chỉ công bố các giá trị vận tốc dịch chuyển của các điểm. Vậy, vận tốc chuyển dịch vỏ trái đất ảnh hưởng thế nào đến các tham số chuyển đổi giữa hệ tọa độ tĩnh sang hệ tọa độ động. Hay nói cách khác, từ các giá trị vận tốc chuyển dịch của các điểm, làm thế nào để tính được tốc độ thay đổi của các tham số chuyển đổi giữa hệ tọa độ tĩnh sang hệ tọa độ động. Đây là vấn đề mà bài báo này tập trung nghiên cứu.

## 2. Khu vực và số liệu nghiên cứu

### 2.1. Khu vực nghiên cứu

Nghiên cứu này được thực hiện trên lãnh thổ Việt Nam (Hình 1). Đặc điểm của khu vực này là nằm trên hai khối kiến tạo liền kề: khối Nam Trung Hoa và khối Sundaland, có ranh giới là đứt gãy Sông Hồng.

Xung quanh khu vực nghiên cứu, mảng Ấn Độ xô vào lục địa Trung Hoa ở phía Tây Bắc; Mảng Philipin bị hút chìm xuống dưới khối Sundaland theo hướng Tây Bắc với tốc độ khoảng 7 cm/năm ở khu vực gần Đài Loan và trên 9 cm/năm ở khu vực Mindanao.



Hình 1. Khu vực nghiên cứu và vị trí các điểm Geodetic CORS [20].

Mảng Australia bị hút chìm xuống dưới khối Sundaland với tốc độ trên 9 cm/năm ở phía Nam theo hướng Bắc - Đông Bắc [22]. Theo các kết quả nghiên cứu địa chất và địa kiến tạo ở Việt Nam, khu vực nghiên cứu được chia ra các khối cấu trúc kiến tạo như: Khối Mường Tè, khối Đông Bắc, khối Biển Đông, khối Tây Bắc - Bắc Trung Bộ, và khối Nam Trung Bộ - Nam Bộ. Các khối này có những đặc trưng riêng về lịch sử hình thành và phát triển. Giữa các khối này là các đứt gãy nhỏ [2].

### 2.2. Số liệu nghiên cứu

Trong nghiên cứu này, số liệu vận tốc dịch chuyển của 21 điểm lưới Geodetic CORS trên lãnh thổ Việt Nam được sử dụng. Số liệu này được đo đạc từ năm 2019 đến 2021, được xử lý bằng phần mềm BERNESE trong ITRF 2014, được công bố trong tài liệu [20]. Vị trí và vận tốc dịch chuyển trong hệ tọa độ địa diện của các điểm này được trình bày trên Hình 1 và Bảng 1 [20].

**Bảng 1.** Số liệu vận tốc dịch chuyển của 21 điểm lưới Geodetic CORS trên lãnh thổ Việt Nam [20].

| STT | Trạm | V <sub>E</sub><br>(mm/năm) | V <sub>N</sub><br>(mm/năm) | V <sub>U</sub><br>(mm/năm) | STT | Trạm              | V <sub>E</sub><br>(mm/năm) | V <sub>N</sub><br>(mm/năm) | V <sub>U</sub><br>(mm/năm) |
|-----|------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|-----|-------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
| 1   | CBAN | 33,7                       | -11,6                      | 3,6                        | 12  | MCAI              | 32,7                       | -13,2                      | 0,2                        |
| 2   | CRKH | 28,9                       | -11,6                      | 1,5                        | 13  | MCHA              | 32,1                       | -4,4                       | 2,1                        |
| 3   | DIEB | 33,8                       | -9,3                       | 2,1                        | 14  | MGTE              | 34,0                       | -9,1                       | 1,9                        |
| 4   | DNON | 28,6                       | -9,4                       | -0,3                       | 15  | QNAM              | 30,9                       | -10,2                      | -1,2                       |
| 5   | DSON | 32,8                       | -10,0                      | 1,6                        | 16  | TDUO              | 32,2                       | -9,0                       | 2,4                        |
| 6   | HGIA | 34,5                       | -8,4                       | 4,6                        | 17  | THOA              | 31,1                       | -9,9                       | 0,9                        |
| 7   | HTIE | 27,5                       | -8,5                       | -1,6                       | 18  | TNIN              | 28,3                       | -9,0                       | 1,7                        |
| 8   | KANH | 31,4                       | -9,9                       | 3,0                        | 19  | TQUA              | 33,7                       | -10,1                      | 4,1                        |
| 9   | KSAN | 31,8                       | -7,1                       | 0,1                        | 20  | VINH              | 31,5                       | -9,9                       | 1,5                        |
| 10  | KTUM | 31,0                       | -11,3                      | -0,9                       | 21  | VUNT              | 29,5                       | -11,2                      | -0,5                       |
| 11  | LCAI | 38,0                       | -14,2                      | 2,6                        |     | <b>Trung bình</b> | <b>31,81</b>               | <b>-9,87</b>               | <b>1,40</b>                |

### 2.3. Xây dựng phương pháp xác định tốc độ thay đổi của các tham số chuyển đổi tọa độ theo véc tơ vận tốc chuyển dịch vỏ Trái đất

#### 2.3.1. Phương pháp xác định các tham số chuyển đổi giữa hai hệ tọa độ

Gọi tọa độ vuông góc không gian trong hệ tọa độ thứ nhất ( $X^{(1)}, Y^{(1)}, Z^{(1)}$ ). Tọa độ này được tính chuyển sang hệ tọa độ thứ 2 ( $X^{(2)}, Y^{(2)}, Z^{(2)}$ ) theo công thức sau [23]:

$$\begin{bmatrix} X^{(2)} \\ Y^{(2)} \\ Z^{(2)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_0 \\ Y_0 \\ Z_0 \end{bmatrix} + m \begin{bmatrix} 1 & e_z & -e_y \\ -e_z & 1 & e_x \\ e_y & -e_x & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X^{(1)} \\ Y^{(1)} \\ Z^{(1)} \end{bmatrix} \quad (1)$$

Trong đó  $X_0, Y_0, Z_0$  là tham số lệch gốc giữa hai hệ tọa độ (tọa độ của gốc hệ tọa độ thứ nhất trong hệ tọa độ thứ 2);  $e_x, e_y, e_z$  là các tham số góc xoay Ôle, xoay cho các trục tọa độ của hai hệ về tương ứng song song với nhau;  $m$  là tham số tỷ lệ chiều dài giữa hai hệ tọa độ. Đây chính là 7 tham số chuyển đổi giữa hai hệ tọa độ.

Để xác định 7 tham số trên cần có ít nhất 3 điểm song trùng (có tọa độ vuông góc không gian trong cả hai hệ tọa độ). Nếu số điểm song trùng nhiều hơn 3, các tham số sẽ được xác định theo nguyên lý số bình phương nhỏ nhất [23, 24]. Khi đó, với điểm  $j$  ta có phương trình số hiệu chỉnh:

$$\begin{bmatrix} v_x \\ v_y \\ v_z \end{bmatrix}_j = \begin{bmatrix} X_0 \\ Y_0 \\ Z_0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} dm & e_z & -e_y \\ -e_z & dm & e_x \\ e_y & -e_x & dm \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X^{(1)} \\ Y^{(1)} \\ Z^{(1)} \end{bmatrix}_j + \begin{bmatrix} X^{(1)} - X^{(2)} \\ Y^{(1)} - Y^{(2)} \\ Z^{(1)} - Z^{(2)} \end{bmatrix}_j \quad (2)$$

Trong đó  $j = 1, 2, 3 \dots n$ ,  $n$  là số điểm song trùng ( $n \geq 3$ );  $dm = m - 1$ . Biến đổi ta được:

$$\begin{bmatrix} V_x \\ V_y \\ V_z \end{bmatrix}_j = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & -Z^{(1)} & Y^{(1)} & X^{(1)} \\ 0 & 1 & 0 & Z^{(1)} & 0 & -X^{(1)} & Y^{(1)} \\ 0 & 0 & 1 & Y^{(1)} & X^{(1)} & 0 & Z^{(1)} \end{bmatrix}_j \begin{bmatrix} X_0 \\ Y_0 \\ Z_0 \\ e_x \\ e_y \\ e_z \\ dm \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} l_x \\ l_y \\ l_z \end{bmatrix}_j \quad (3)$$

Trong đó:

$$\begin{bmatrix} l_x \\ l_y \\ l_z \end{bmatrix}_j = \begin{bmatrix} X^{(1)} - X^{(2)} \\ Y^{(1)} - Y^{(2)} \\ Z^{(1)} - Z^{(2)} \end{bmatrix}_j \quad (4)$$

Giải hệ phương trình (3) sẽ xác định được 7 tham số chuyển đổi tọa độ.

### 2.3.2. Xây dựng phương pháp xác định ảnh hưởng của dịch chuyển vỏ Trái đất đến các tham số chuyển đổi tọa độ

Dịch chuyển vỏ Trái đất được biểu thị bằng các véc tơ vận tốc dịch chuyển tọa độ  $V_x, V_y, V_z$ . Ảnh hưởng của dịch chuyển này sẽ làm cho các tham số chuyển đổi tọa độ bị thay đổi. Trong phần này sẽ xây dựng phương pháp xác định tốc độ thay đổi của các tham số chuyển đổi tọa độ theo các véc tơ dịch chuyển vỏ Trái đất. Đây là vấn đề lý thuyết mới, chưa được trình bày trong các tài liệu trong và ngoài nước.

Giả sử hệ tọa độ thứ nhất là hệ tọa độ tĩnh  $(X, Y, Z)_1$ , không thay đổi theo thời gian; hệ tọa độ thứ hai là hệ tọa độ động  $(X, Y, Z)_2$ , thay đổi theo thời gian. Ở thời điểm khởi đầu  $t_1$ , hệ tọa độ thứ nhất và thứ hai trùng nhau. Như vậy, tại điểm  $j$ , tọa độ của nó trong cả 2 hệ là như nhau, đều là  $(X^{(1)}, Y^{(1)}, Z^{(1)})_j$ . Các tham số chuyển đổi giữa hệ tọa độ thứ nhất và thứ hai đều bằng không.

Đến thời điểm  $t_2$ , do hoạt động kiến tạo (chuyển dịch vỏ Trái đất) nên hệ tọa độ động  $(X, Y, Z)_2$  thay đổi, làm cho hệ tọa độ thứ 2 khác hệ tọa độ thứ nhất bởi 7 tham số. Tọa độ điểm  $j$  trong hệ tọa độ thứ 2 là  $(X^{(2)}, Y^{(2)}, Z^{(2)})_j$ . Các tham số để chuyển đổi từ hệ tọa độ thứ nhất sang hệ tọa độ thứ hai được xác định theo lý thuyết trình bày ở mục 2.3.1.

Nếu  $t_2 - t_1 = 1$  năm thì các tham số chuyển đổi chính là tốc độ thay đổi của các tham số đó trên năm ( $V_{X0}, V_{Y0}, V_{Z0}, V_{ex}, V_{ey}, V_m$ ); độ lệch tọa độ của điểm  $j$  trong hệ tọa độ thứ 2 giữa thời điểm  $t_1$  và  $t_2$  chính là tốc độ thay đổi tọa độ (chính là vận tốc chuyển dịch của điểm trong hệ tọa độ vuông góc không gian địa tâm)  $V_x, V_y, V_z$ . Nghĩa là:

$$\begin{bmatrix} l_x \\ l_y \\ l_z \end{bmatrix}_j = \begin{bmatrix} X^{(1)} - X^{(2)} \\ Y^{(1)} - Y^{(2)} \\ Z^{(1)} - Z^{(2)} \end{bmatrix}_j = - \begin{bmatrix} V_x \\ V_y \\ V_z \end{bmatrix} \quad (5)$$

Thay vào phương trình (3), phương trình số hiệu chỉnh để xác định tốc độ thay đổi 7 tham số là:

$$\begin{bmatrix} V_x \\ V_y \\ V_z \end{bmatrix}_j = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & -Z^{(1)} & Y^{(1)} & X^{(1)} \\ 0 & 1 & 0 & Z^{(1)} & 0 & -X^{(1)} & Y^{(1)} \\ 0 & 0 & 1 & Y^{(1)} & X^{(1)} & 0 & Z^{(1)} \end{bmatrix}_j \begin{bmatrix} V_{X0} \\ V_{Y0} \\ V_{Z0} \\ V_{ex} \\ V_{ey} \\ V_{ez} \\ V_m \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} V_x \\ V_y \\ V_z \end{bmatrix}_j \quad (6)$$

Giải hệ phương trình này, sẽ xác định được tốc độ thay đổi của 7 tham số. Đặt:

$$V_j = \begin{bmatrix} V_x \\ V_y \\ V_z \end{bmatrix}_j; A_j = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & -Z^{(1)} & Y^{(1)} & X^{(1)} \\ 0 & 1 & 0 & Z^{(1)} & 0 & -X^{(1)} & Y^{(1)} \\ 0 & 0 & 1 & Y^{(1)} & X^{(1)} & 0 & Z^{(1)} \end{bmatrix}_j \quad (7)$$

$$L_j = - \begin{bmatrix} V_x \\ V_y \\ V_z \end{bmatrix}_j; \Delta X = \begin{bmatrix} V_{X0} \\ V_{Y0} \\ V_{Z0} \\ V_{ex} \\ V_{ey} \\ V_{ez} \\ V_m \end{bmatrix}$$

Ta có hệ phương trình dạng ma trận đối với điểm j.

$$V_j = A_j \Delta X + L_j \tag{8}$$

Khi có n điểm ta sẽ lập được hệ 3n phương trình có dạng

$$V = A \Delta X + L \tag{9}$$

Trong đó:

$$A = \begin{bmatrix} A_1 \\ A_2 \\ \dots \\ A_n \end{bmatrix}; \quad V = \begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \\ \dots \\ V_n \end{bmatrix}; \quad L = \begin{bmatrix} L_1 \\ L_2 \\ \dots \\ L_n \end{bmatrix} \tag{10}$$

Ta có hệ phương trình chuẩn với P là ma trận trọng số:

$$(A^T P A) \Delta X + (A^T P L) = 0 \tag{11}$$

Giải ra ta được:

$$\Delta X = -(A^T P A)^{-1} (A^T P L) \tag{12}$$

Kết quả xác định được tốc độ thay đổi của 7 tham số chuyển đổi giữa hai hệ tọa độ:  $V_{X0}, V_{Y0}, V_{Z0}, V_{ex}, V_{ey}, V_{ez}, V_m$ . Tốc độ này biểu thị ảnh hưởng của dịch chuyển vỏ Trái đất đến các tham số chuyển đổi tọa độ.

### 3. Kết quả và thảo luận

#### 3.1. Kết quả tính chuyển vận tốc dịch chuyển từ hệ tọa độ địa diện sang hệ tọa độ địa tâm

Để tính được tốc độ thay đổi 7 tham số, trước hết cần tính chuyển vận tốc dịch chuyển từ hệ tọa độ địa diện  $V_E, V_N, V_U$  sang hệ tọa độ địa tâm  $V_X, V_Y, V_Z$ . Phương pháp tính chuyển vận tốc đã được trình bày chi tiết trong tài liệu [25]. Kết quả tính chuyển vận tốc từ hệ tọa độ địa diện sang hệ tọa độ địa tâm được trình bày trên Bảng 2.

**Bảng 2.** Kết quả tính chuyển vận tốc từ hệ tọa độ địa diện sang hệ tọa độ địa tâm.

| STT | Điểm | $V_x$<br>(mm/năm) | $V_y$<br>(mm/năm) | $V_z$<br>(mm/năm) | STT               | Điểm | $V_x$<br>(mm/năm) | $V_y$<br>(mm/năm) | $V_z$<br>(mm/năm) |              |
|-----|------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|------|-------------------|-------------------|-------------------|--------------|
| 1   | CBAN | -34,5             | -1,9              | -9,3              | 12                | MCAI | -32,7             | -5,3              | -12,2             |              |
| 2   | CRKH | -28,6             | -5,8              | -11,0             | 13                | MCHA | -31,9             | -4,7              | -3,4              |              |
| 3   | DIEB | -34,1             | -2,4              | -7,9              | 14                | MGTE | -34,3             | -2,4              | -7,7              |              |
| 4   | DNON | -27,8             | -7,1              | -9,3              | 15                | QNAM | -29,8             | -8,2              | -10,1             |              |
| 5   | DSON | -32,9             | -4,7              | -8,8              | 16                | TDUO | -32,5             | -3,0              | -7,7              |              |
| 6   | HGIA | -35,3             | -1,7              | -6,0              | 17                | THOA | -31,1             | -4,4              | -9,0              |              |
| 7   | HTIE | -26,6             | -6,9              | -8,6              | 18                | TNIN | -28,1             | -4,5              | -8,5              |              |
| 8   | KANH | -31,8             | -3,1              | -8,5              | 19                | TQUA | -34,5             | -1,5              | -7,9              |              |
| 9   | KSAN | -31,1             | -7,1              | -6,8              | 20                | VINH | -31,6             | -4,1              | -8,9              |              |
| 10  | KTUM | -30,1             | -7,8              | -11,2             | 21                | VUNT | -28,6             | -7,2              | -11,1             |              |
| 11  | LCAI | -38,8             | -1,6              | -12,1             | <b>Trung bình</b> |      |                   | <b>-31,75</b>     | <b>-4,54</b>      | <b>-8,86</b> |

#### 3.2. Kết quả tính tốc độ thay đổi các tham số chuyển đổi tọa độ theo vận tốc dịch chuyển vỏ Trái đất

Theo phương pháp được xây dựng trong mục 2.3, tốc độ thay đổi của 7 tham số chuyển tọa độ được tính toán theo vận tốc dịch chuyển vỏ Trái đất của 21 điểm Geodetic CORS. Kết quả thành lập hệ phương trình số hiệu chỉnh được trình bày trên Bảng 3.

**Bảng 3.** Hệ phương trình số hiệu chỉnh.

| STT | V <sub>X0</sub> | V <sub>Y0</sub> | V <sub>Z0</sub> | V <sub>ex</sub> | V <sub>ey</sub> | V <sub>ez</sub> | V <sub>m</sub> | L        |
|-----|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|----------------|----------|
| 1   | 1.00E+00        | 0.00E+00        | 0.00E+00        | 0.00E+00        | -2.44E+06       | 5.65E+06        | -1.64E+06      | 3.45E-02 |
| 2   | 0.00E+00        | 1.00E+00        | 0.00E+00        | 2.44E+06        | 0.00E+00        | 1.64E+06        | 5.65E+06       | 1.90E-03 |
| 3   | 0.00E+00        | 0.00E+00        | 1.00E+00        | -5.65E+06       | -1.64E+06       | 0.00E+00        | 2.44E+06       | 9.30E-03 |
| 4   | 1.00E+00        | 0.00E+00        | 0.00E+00        | 0.00E+00        | -1.31E+06       | 5.90E+06        | -2.05E+06      | 2.86E-02 |
| 5   | 0.00E+00        | 1.00E+00        | 0.00E+00        | 1.31E+06        | 0.00E+00        | 2.05E+06        | 5.90E+06       | 5.80E-03 |
| 6   | 0.00E+00        | 0.00E+00        | 1.00E+00        | -5.90E+06       | -2.05E+06       | 0.00E+00        | 1.31E+06       | 1.10E-02 |
| 7   | 1.00E+00        | 0.00E+00        | 0.00E+00        | 0.00E+00        | -2.32E+06       | 5.79E+06        | -1.34E+06      | 3.41E-02 |
| 8   | 0.00E+00        | 1.00E+00        | 0.00E+00        | 2.32E+06        | 0.00E+00        | 1.34E+06        | 5.79E+06       | 2.40E-03 |
| 9   | 0.00E+00        | 0.00E+00        | 1.00E+00        | -5.79E+06       | -1.34E+06       | 0.00E+00        | 2.32E+06       | 7.90E-03 |
| 10  | 1.00E+00        | 0.00E+00        | 0.00E+00        | 0.00E+00        | -1.32E+06       | 5.95E+06        | -1.89E+06      | 2.78E-02 |
| 11  | 0.00E+00        | 1.00E+00        | 0.00E+00        | 1.32E+06        | 0.00E+00        | 1.89E+06        | 5.95E+06       | 7.10E-03 |
| 12  | 0.00E+00        | 0.00E+00        | 1.00E+00        | -5.95E+06       | -1.89E+06       | 0.00E+00        | 1.32E+06       | 9.30E-03 |
| 13  | 1.00E+00        | 0.00E+00        | 0.00E+00        | 0.00E+00        | -2.24E+06       | 5.71E+06        | -1.72E+06      | 3.29E-02 |
| 14  | 0.00E+00        | 1.00E+00        | 0.00E+00        | 2.24E+06        | 0.00E+00        | 1.72E+06        | 5.71E+06       | 4.70E-03 |
| 15  | 0.00E+00        | 0.00E+00        | 1.00E+00        | -5.71E+06       | -1.72E+06       | 0.00E+00        | 2.24E+06       | 8.80E-03 |
| 16  | 1.00E+00        | 0.00E+00        | 0.00E+00        | 0.00E+00        | -2.46E+06       | 5.68E+06        | -1.52E+06      | 3.53E-02 |
| 17  | 0.00E+00        | 1.00E+00        | 0.00E+00        | 2.46E+06        | 0.00E+00        | 1.52E+06        | 5.68E+06       | 1.70E-03 |
| 18  | 0.00E+00        | 0.00E+00        | 1.00E+00        | -5.68E+06       | -1.52E+06       | 0.00E+00        | 2.46E+06       | 6.00E-03 |
| 19  | 1.00E+00        | 0.00E+00        | 0.00E+00        | 0.00E+00        | -1.14E+06       | 6.08E+06        | -1.57E+06      | 2.66E-02 |
| 20  | 0.00E+00        | 1.00E+00        | 0.00E+00        | 1.14E+06        | 0.00E+00        | 1.57E+06        | 6.08E+06       | 6.90E-03 |
| 21  | 0.00E+00        | 0.00E+00        | 1.00E+00        | -6.08E+06       | -1.57E+06       | 0.00E+00        | 1.14E+06       | 8.60E-03 |
| 22  | 1.00E+00        | 0.00E+00        | 0.00E+00        | 0.00E+00        | -1.97E+06       | 5.82E+06        | -1.70E+06      | 3.18E-02 |
| 23  | 0.00E+00        | 1.00E+00        | 0.00E+00        | 1.97E+06        | 0.00E+00        | 1.70E+06        | 5.82E+06       | 3.10E-03 |
| 24  | 0.00E+00        | 0.00E+00        | 1.00E+00        | -5.82E+06       | -1.70E+06       | 0.00E+00        | 1.97E+06       | 8.50E-03 |
| 25  | 1.00E+00        | 0.00E+00        | 0.00E+00        | 0.00E+00        | -1.81E+06       | 5.85E+06        | -1.76E+06      | 3.11E-02 |
| 26  | 0.00E+00        | 1.00E+00        | 0.00E+00        | 1.81E+06        | 0.00E+00        | 1.76E+06        | 5.85E+06       | 7.10E-03 |
| 27  | 0.00E+00        | 0.00E+00        | 1.00E+00        | -5.85E+06       | -1.76E+06       | 0.00E+00        | 1.81E+06       | 6.80E-03 |
| 28  | 1.00E+00        | 0.00E+00        | 0.00E+00        | 0.00E+00        | -1.57E+06       | 5.88E+06        | -1.91E+06      | 3.01E-02 |
| 29  | 0.00E+00        | 1.00E+00        | 0.00E+00        | 1.57E+06        | 0.00E+00        | 1.91E+06        | 5.88E+06       | 7.80E-03 |
| 30  | 0.00E+00        | 0.00E+00        | 1.00E+00        | -5.88E+06       | -1.91E+06       | 0.00E+00        | 1.57E+06       | 1.12E-02 |
| 31  | 1.00E+00        | 0.00E+00        | 0.00E+00        | 0.00E+00        | -2.43E+06       | 5.72E+06        | -1.42E+06      | 3.88E-02 |
| 32  | 0.00E+00        | 1.00E+00        | 0.00E+00        | 2.43E+06        | 0.00E+00        | 1.42E+06        | 5.72E+06       | 1.60E-03 |
| 33  | 0.00E+00        | 0.00E+00        | 1.00E+00        | -5.72E+06       | -1.42E+06       | 0.00E+00        | 2.43E+06       | 1.21E-02 |
| 34  | 1.00E+00        | 0.00E+00        | 0.00E+00        | 0.00E+00        | -2.32E+06       | 5.65E+06        | -1.83E+06      | 3.27E-02 |
| 35  | 0.00E+00        | 1.00E+00        | 0.00E+00        | 2.32E+06        | 0.00E+00        | 1.83E+06        | 5.65E+06       | 5.30E-03 |
| 36  | 0.00E+00        | 0.00E+00        | 1.00E+00        | -5.65E+06       | -1.83E+06       | 0.00E+00        | 2.32E+06       | 1.22E-02 |
| 37  | 1.00E+00        | 0.00E+00        | 0.00E+00        | 0.00E+00        | -2.25E+06       | 5.77E+06        | -1.51E+06      | 3.19E-02 |
| 38  | 0.00E+00        | 1.00E+00        | 0.00E+00        | 2.25E+06        | 0.00E+00        | 1.51E+06        | 5.77E+06       | 4.70E-03 |
| 39  | 0.00E+00        | 0.00E+00        | 1.00E+00        | -5.77E+06       | -1.51E+06       | 0.00E+00        | 2.25E+06       | 3.40E-03 |
| 40  | 1.00E+00        | 0.00E+00        | 0.00E+00        | 0.00E+00        | -2.41E+06       | 5.75E+06        | -1.31E+06      | 3.43E-02 |
| 41  | 0.00E+00        | 1.00E+00        | 0.00E+00        | 2.41E+06        | 0.00E+00        | 1.31E+06        | 5.75E+06       | 2.40E-03 |
| 42  | 0.00E+00        | 0.00E+00        | 1.00E+00        | -5.75E+06       | -1.31E+06       | 0.00E+00        | 2.41E+06       | 7.70E-03 |
| 43  | 1.00E+00        | 0.00E+00        | 0.00E+00        | 0.00E+00        | -1.72E+06       | 5.82E+06        | -1.94E+06      | 2.98E-02 |
| 44  | 0.00E+00        | 1.00E+00        | 0.00E+00        | 1.72E+06        | 0.00E+00        | 1.94E+06        | 5.82E+06       | 8.20E-03 |
| 45  | 0.00E+00        | 0.00E+00        | 1.00E+00        | -5.82E+06       | -1.94E+06       | 0.00E+00        | 1.72E+06       | 1.01E-02 |
| 46  | 1.00E+00        | 0.00E+00        | 0.00E+00        | 0.00E+00        | -2.09E+06       | 5.83E+06        | -1.50E+06      | 3.25E-02 |
| 47  | 0.00E+00        | 1.00E+00        | 0.00E+00        | 2.09E+06        | 0.00E+00        | 1.50E+06        | 5.83E+06       | 3.00E-03 |



| STT | V <sub>X0</sub> | V <sub>Y0</sub> | V <sub>Z0</sub> | V <sub>ex</sub> | V <sub>ey</sub> | V <sub>ez</sub> | V <sub>m</sub> | L        |
|-----|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|----------------|----------|
| 48  | 0.00E+00        | 0.00E+00        | 1.00E+00        | -5.83E+06       | -1.50E+06       | 0.00E+00        | 2.09E+06       | 7.70E-03 |
| 49  | 1.00E+00        | 0.00E+00        | 0.00E+00        | 0.00E+00        | -2.14E+06       | 5.78E+06        | -1.63E+06      | 3.11E-02 |
| 50  | 0.00E+00        | 1.00E+00        | 0.00E+00        | 2.14E+06        | 0.00E+00        | 1.63E+06        | 5.78E+06       | 4.40E-03 |
| 51  | 0.00E+00        | 0.00E+00        | 1.00E+00        | -5.78E+06       | -1.63E+06       | 0.00E+00        | 2.14E+06       | 9.00E-03 |
| 52  | 1.00E+00        | 0.00E+00        | 0.00E+00        | 0.00E+00        | -1.25E+06       | 6.01E+06        | -1.73E+06      | 2.81E-02 |
| 53  | 0.00E+00        | 1.00E+00        | 0.00E+00        | 1.25E+06        | 0.00E+00        | 1.73E+06        | 6.01E+06       | 4.60E-03 |
| 54  | 0.00E+00        | 0.00E+00        | 1.00E+00        | -6.01E+06       | -1.73E+06       | 0.00E+00        | 1.25E+06       | 8.50E-03 |
| 55  | 1.00E+00        | 0.00E+00        | 0.00E+00        | 0.00E+00        | -2.36E+06       | 5.72E+06        | -1.55E+06      | 3.45E-02 |
| 56  | 0.00E+00        | 1.00E+00        | 0.00E+00        | 2.36E+06        | 0.00E+00        | 1.55E+06        | 5.72E+06       | 1.50E-03 |
| 57  | 0.00E+00        | 0.00E+00        | 1.00E+00        | -5.72E+06       | -1.55E+06       | 0.00E+00        | 2.36E+06       | 7.80E-03 |
| 58  | 1.00E+00        | 0.00E+00        | 0.00E+00        | 0.00E+00        | -2.03E+06       | 5.82E+06        | -1.63E+06      | 3.16E-02 |
| 59  | 0.00E+00        | 1.00E+00        | 0.00E+00        | 2.03E+06        | 0.00E+00        | 1.63E+06        | 5.82E+06       | 4.10E-03 |
| 60  | 0.00E+00        | 0.00E+00        | 1.00E+00        | -5.82E+06       | -1.63E+06       | 0.00E+00        | 2.03E+06       | 8.90E-03 |
| 61  | 1.00E+00        | 0.00E+00        | 0.00E+00        | 0.00E+00        | -1.14E+06       | 6.00E+06        | -1.85E+06      | 2.86E-02 |
| 62  | 0.00E+00        | 1.00E+00        | 0.00E+00        | 1.14E+06        | 0.00E+00        | 1.85E+06        | 6.00E+06       | 7.20E-03 |
| 63  | 0.00E+00        | 0.00E+00        | 1.00E+00        | -6.00E+06       | -1.85E+06       | 0.00E+00        | 1.14E+06       | 1.11E-02 |

Như vậy, với 21 điểm dịch chuyển, chúng ta lập được 63 phương trình số hiệu chỉnh. Từ hệ phương trình này, để giải ra 7 ẩn số, ta lập được hệ 7 phương trình chuẩn (Bảng 4).

**Bảng 4.** Hệ phương trình chuẩn.

| V <sub>X0</sub> | V <sub>Y0</sub> | V <sub>Z0</sub> | V <sub>ex</sub> | V <sub>ey</sub> | V <sub>ez</sub> | V <sub>m</sub> | L <sup>TPL</sup> |
|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|----------------|------------------|
| 2.10E+01        | 0.00E+00        | 0.00E+00        | 0.00E+00        | -4.07E+07       | 1.22E+08        | -3.50E+07      | 6.67E-01         |
|                 | 2.10E+01        | 0.00E+00        | 4.07E+07        | 0.00E+00        | 3.50E+07        | 1.22E+08       | 9.56E-02         |
|                 |                 | 2.10E+01        | -1.22E+08       | -3.50E+07       | 0.00E+00        | 4.07E+07       | 1.86E-01         |
|                 |                 |                 | 7.95E+14        | 2.04E+14        | 6.67E+13        | -1.30E-03      | -9.13E+05        |
|                 |                 |                 |                 | 1.43E+14        | -2.36E+14       | 7.00E-04       | -1.63E+06        |
|                 |                 |                 |                 |                 | 7.70E+14        | -1.60E-03      | 4.04E+06         |
|                 |                 |                 |                 |                 |                 | 8.54E+14       | -1.90E+05        |
|                 |                 |                 |                 |                 |                 |                | 2.36E-02         |

Giải hệ phương trình chuẩn, tốc độ thay đổi của 7 tham số do dịch chuyển của vỏ Trái đất được xác định. Kết quả tính toán được trình bày trên Bảng 5 (dòng thứ 2). Từ kết quả này cho thấy: do dịch chuyển vỏ Trái đất làm cho 7 tham số chuyển đổi tọa độ từ hệ tọa độ tĩnh (VN2000) sang hệ tọa độ động (ITRF) thay đổi. Tốc độ thay đổi theo trục X là 6,68 mm/năm, theo trục Y là 5,04 mm/năm, theo trục Z là 15,79 mm/năm. Các tham số về hướng và tỷ lệ chiều dài cũng thay đổi.

**Bảng 5.** Kết quả xác định tốc độ thay đổi của 7 tham số chuyển tọa độ do ảnh hưởng của dịch chuyển vỏ Trái đất.

| Phương án tính toán          | V <sub>X0</sub><br>(mm/năm) | V <sub>Y0</sub><br>(mm/năm) | V <sub>Z0</sub><br>(mm/năm) | V <sub>ex</sub><br>(0.001"/năm) | V <sub>ey</sub><br>(0.001"/năm) | V <sub>ez</sub><br>(0.001"/năm) | V <sub>m</sub><br>(ppb/năm) |
|------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|-----------------------------|
| Theo phương pháp của bài báo | 6,68                        | 5,04                        | 15,79                       | 0,4241                          | 1,3334                          | -0,9753                         | -0,9777                     |
| Theo tọa độ 2 chu kỳ         | 6,57                        | 5,06                        | 15,79                       | 0,4212                          | 1,3342                          | -0,9751                         | -0,9816                     |
| Chênh lệch                   | -0,11                       | 0,02                        | -0,08                       | -0,0029                         | 0,0003                          | -0,0038                         | -0,0040                     |

Để kiểm tra phương pháp cũng như kết quả tính toán, chúng tôi tính toán tốc độ thay đổi của 7 tham số theo phương pháp khác đã có như sau: từ tọa độ của các điểm trong hai hệ tọa độ ở 2 chu kỳ tính ra 2 bộ tham số chuyển đổi. Sau đó, lấy hiệu 2 bộ tham số này và chia cho thời gian giữa 2 chu kỳ. Chi tiết về phương pháp tính này được trình bày trong các tài liệu như [3, 13, 15]. Kết quả tính theo phương pháp tọa độ này được trình bày ở dòng 3, Bảng 3. Chênh lệch giữa 2 phương pháp tính được trình bày trên Bảng 3 (dòng 4).

### 3.3. Thảo luận

Bảng 2 cho thấy: các điểm dịch chuyển theo các trục tọa độ không bằng nhau: dịch chuyển theo trục X là nhiều nhất, sau đó đến trục Z, ít nhất là trục Y. Trên mỗi trục, các điểm cũng dịch chuyển khác nhau: Theo trục X, dịch chuyển nhiều nhất là điểm LCAI (-38,8 mm/năm), ít nhất là điểm HTIE (-26,6 mm/năm). Theo trục Y, dịch chuyển nhiều nhất là điểm QNAM (-8,2 mm/năm), ít nhất là điểm TQUA (-1,5 mm/năm). Theo trục Z, dịch chuyển nhiều nhất là điểm MCAI (-12,2 mm/năm), ít nhất là điểm MCHA (-3,4 mm/năm). Mỗi năm tọa độ các điểm dịch chuyển trung bình theo trục X là -31,75 mm/năm, trục Y là -4,54 mm/năm, trục Z là -8,86 mm/năm. Sự dịch chuyển này sẽ ảnh hưởng đến tốc độ thay đổi của 7 tham số tính chuyển tọa độ.

Từ các kết quả tính toán trong Bảng 3, 4 và 5 thấy rằng: theo phương pháp của bài báo này xây dựng, chúng ta có thể tính ngay được ảnh hưởng của dịch chuyển vỏ Trái đất ( $V_x$ ,  $V_y$ ,  $V_z$ ) đến các tham số chuyển đổi tọa độ mà không cần phải tính theo từng chu kỳ. Điều này rất thuận lợi khi sử dụng các kết quả nghiên cứu chuyển dịch trong quá khứ khi không còn lưu trữ được tọa độ hoặc không cần phải tính chuyển tọa độ sang hệ tọa độ mới. Kết quả xác định tốc độ dịch chuyển của các tham số sẽ được sử dụng để tính chuyển tọa độ giữa VN2000 và ITRF cho các điểm khác trên lãnh thổ Việt Nam theo từng thời điểm mà tại đó chỉ có tọa độ ở một trong hai hệ tọa độ.

Kết quả kiểm tra trong Bảng 5 cho thấy: chênh lệch giữa 2 phương pháp tính rất nhỏ: chênh lệch về tọa độ lớn nhất chỉ là 0,11 mm; chênh lệch về hướng lớn nhất là  $0,38'' \times 10^{-5}$ ; chênh lệch về tỷ lệ chiều dài chỉ là 0,004 phần trăm. Chênh lệch này chỉ ở mức sai số tính toán, làm tròn. Điều này chứng tỏ phương pháp tính ảnh hưởng của dịch chuyển vỏ Trái đất đến các tham số chuyển đổi tọa độ mà bài báo xây dựng và kết quả tính toán là hoàn toàn đúng đắn, chính xác.

## 4. Kết luận

Bài báo đã nghiên cứu và xây dựng được phương pháp xác định trực tiếp tốc độ thay đổi của các tham số chuyển đổi tọa độ theo véc tơ vận tốc chuyển dịch vỏ Trái đất. Tốc độ thay đổi của 7 tham số chuyển đổi tọa độ được tính theo vận tốc dịch chuyển vỏ Trái đất tại 21 điểm Geodetic CORS trên lãnh thổ Việt Nam. Kiểm tra bằng cách so sánh với phương pháp tính theo tọa độ ở 2 chu kỳ cho thấy phương pháp mà bài báo xây dựng và kết quả tính toán hoàn toàn chính xác.

Phương pháp mà bài báo đưa ra có ưu điểm là có thể tính ngay được ảnh hưởng của dịch chuyển vỏ Trái đất đến các tham số chuyển đổi tọa độ mà không cần phải tính theo từng chu kỳ. Điều này rất thuận lợi khi sử dụng các kết quả nghiên cứu chuyển dịch đã có.

Phương pháp này sẽ được ứng dụng để nghiên cứu xác định ảnh hưởng của dịch chuyển vỏ Trái đất đến các tham số chuyển đổi tọa độ từ hệ tọa độ tĩnh sang hệ tọa độ động.

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

**Lời cảm ơn:** Nghiên cứu này được sự hỗ trợ của đề tài cấp bộ của Bộ Tài nguyên và Môi trường, mã số: TNMT.2024.04.09.

**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. Simons, W.J.F.; Socquet, A.; Vigny, C.B.; Ambrosius, A.C.; Haji Abu, S.; Chaiwat P.; Subarya, C.; Sarsito, D.A.; Matheussen, S.; Morgan, P.; Spakman, W. A decade of GPS in Southeast Asia: Resolving Sundaland motion and boundaries. *J. Geophys. Res.* **2007**, *112*, 96–108.

2. Tô, T.Đ.; Hùng, P.V. Xây dựng lưới GNSS thường trực tại Việt Nam dưới góc nhìn địa kiến tạo. *Tap chí Khoa học kỹ thuật Mỏ - Địa chất* **2013**, 41, 58–64.
3. Hoa, P.T.; Quang, N.V.; Huynh, P.T.; Thu, T.T.H.; Khánh, Đ.V.; Thảo, N.T.P.; Hương, P.T.H.; Bình, N.V. Xây dựng phần mềm phục vụ tính chuyển tọa độ giữa hệ quy chiếu VN2000 với khung quy chiếu trái đất quốc tế (ITRF). *Tap chí Khoa học Kỹ thuật Mỏ - Địa chất* **2019**, 60(5), 100–108.
4. Boucher, C.; Altamimi, Z.; Sillard, P. Results and analysis of the ITRF96. Technical Note 24. Paris, France, Central Bureau of the IERS, Observatoire de Paris, 1998.
5. Boucher, C.; Altamimi, Z.; Sillard, P. The 1997 international terrestrial reference frame (ITRF97). Technical Note 27. Paris, France, Central Bureau of the IERS, Observatoire de Paris, 1999.
6. Altamimi, Z.; Sillard, P.; Boucher, C. ITRF2000: A new release of the international terrestrial reference frame for earth science application. *J. Geophys. Res.* **2002**, 107(B10).
7. Altamimi, Z.; Collilieux, X.; Legrand, J.; Garayt, B.; Boucher, A.C. ITRF2005: A new release of the international terrestrial reference frame based on time series of station positions and earth orientation parameters. *J. Geophys. Res.* **2007**, 112, B09401.
8. Altamimi, Z.; Rebischung, P.; Metivier, L.; Collilieux, X. ITRF2014: A new release of the International Terrestrial Reference Frame modeling nonlinear station motions. *J. Geophys. Res.* **2016**, 121(8), 6109–6131.
9. Altamimi, Z.; Rebischung, P.; Collilieux, X.; Metivier, L.; Chanard, K. ITRF2020: an augmented reference frame refining the modeling of nonlinear station motions. *J. Geod.* **2023**, 97, 47. <https://doi.org/10.1007/s00190-023-01738-w>.
10. Nothnagel, A.; Artz, T.; Behrend, D.; Malkin, Z. International VLBI service for geodesy and astrometry. *J. Geod.* **2017**, 91, 711–721.
11. Abbondanza, C.; Chin, T.M.; Gross, R.S.; Heflin, M.B.; Parker, J.W.; Soja, B.S.; van Dam, T.; Wu, X. ITRF2014, the JPL Kalman filter and smoother realization of the international terrestrial reference system. *J. Geophys. Res. Solid Earth* **2017**, 122(10), 8474–8510.
12. Azhari, M.; Altamimi, Z.; Azman, G.; Kadir, M.; Simons, W.J.F.; Sohaime, R.; Yunus, M.Y.; Irwan, M.J.; Asyran, C.A.; Soeb, N.; Fahmi, A. and Saiful, A. Semi-kinematic geodetic reference frame based on the ITRF2014 for Malaysia. *J. Geod. Sci.* **2020**, 10, 91–109.
13. Chinh, D.N.; Trong, N.G. Determination of coordinate transformation parameters between Vietnam reference system (VN-2000) and ITRF-2005. International Mining Conference: Advanced mining for sustainable development, Ha Long 23-25 Sep. 2010, pp. 652–659.
14. Son, N.C.; Hằng, N.T.T.; Tân, V.D.; Long, P.D.T.; Hoàn, B.T.L.; Thành, V.T.; Hồng, D.T.B. Bàn về sự dịch chuyển tâm Trái đất trong việc xây dựng khung quy chiếu quốc tế. *Tap chí Khoa học Đo đạc và bản đồ* **2021**, 48, 59–64.
15. Nam, L.H.; Hà, H.N. Khả năng thích ứng của hệ tọa độ quốc gia VN-2000 với khung quy chiếu quốc tế ITRF dựa trên bài toán xác định bộ tham số tính chuyển tọa độ. *Tap chí Khí tượng Thủy văn* **2024**, 767, 1–9.
16. Tô, T.Đ.; Yem, N.T.; Cong, D.C.; Hai, V.Q.; Zuchiewicz, W.; Cuong, N.Q.; Nghia, N.V. Recent crustal movements of northern Vietnam from GPS data. *J. Geodyn.* **2013**, 69, 5–10.
17. Tô, T.Đ. Chuyển động hiện đại vỏ Trái đất vùng Sơn La qua kết quả đo GPS. *Tap chí Các khoa học về Trái đất* **2008**, 30 (2), 170–175.
18. Tô, T.Đ.; Hai, V.Q. Xác định chuyển động hiện đại đới đứt gãy Lai Châu - Điện Biên từ số liệu đo GPS (2002-2004). *Tap chí Các khoa học về Trái đất* **2005**, 1, 6–13.

19. Minh, L.H.; Frédéric, M.; Alain, B.; Rolland, F.; Far-Ching, H.; Hùng, V.T.; Thanh, L.T.; Thắng, N.C.; Thành, N.H. Chuyển động hiện đại vỏ trái đất theo số liệu GPS liên tục tại Việt Nam và khu vực Đông Nam Á. *Tạp chí các Khoa học về Trái đất* 2014, 36(1), 1-13.
20. Quân, N.V.; Trung, V.Đ.; Nam, T.V. Ứng dụng mạng lưới trạm định vị vệ tinh quốc gia (VNGEONET) trong hoạt động đo đạc bản đồ, nghiên cứu khoa học trái đất và một số lĩnh vực khác trong thời kỳ chuyển đổi số. Hội nghị khoa học toàn quốc: Công nghệ địa không gian trong khoa học trái đất và môi trường, Hà Nội, 2021.
21. Tổng cục Địa chính. Xây dựng hệ quy chiếu và Hệ tọa độ quốc gia VN2000. Báo cáo khoa học, 2000.
22. Simons, W.J.F.; Socquet, A.; Vigny, C.; Ambrosius, B.A.C.; Haji Abu, S.; Promthong, C.; Subarya, C.; Sarsito, D.A.; Matheussen, S.; Morgan, P.; Spakman, W. A decade of GPS in Southeast Asia: Resolving Sundaland motion and boundaries. *J. Geophys. Res.* 2007, 112, B06420.
23. Chinh, Đ.N. Hệ quy chiếu trắc địa. Bài giảng cao học. Trường Đại học Mỏ - Địa chất, 2013.
24. Chinh, Đ.N.; Bắc, N.X.; Thắm, B.T.H.; Trang, T.T.T.; Anh, N.T.K. Giáo trình lý thuyết sai số. Trường Đại học Tài nguyên và môi trường, 2015.
25. Tâm, L.T.T.; Sáng, N.V.; Đông, D.K.; Tới, D.Đ.; Anh, N.T.; Lê, N.T. Tính chuyển vận tốc dịch chuyển vỏ trái đất và sai số tương ứng từ hệ tọa độ địa diện sang hệ tọa độ địa tâm. *Tạp chí Khoa học Đo đạc và Bản đồ* 2024, 61, 1-8.

## The effect of the crustal motion on the coordinate transformation parameters

Le Thi Thanh Tam<sup>1</sup>, Nguyen Van Sang<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> Hanoi University of Mining and Geology; thanhtamtdcc@gmail.com;  
nguyenvansangtd40@gmail.com

**Abstract:** The paper presents the results of determining the effect of the crustal motion on the coordinate transformation parameters between static coordinate systems (VN2000) and dynamic coordinate systems (ITRF). A method for determining the velocity of coordinate transformation parameters according to the velocity vector of the crustal motion has been developed. The velocities of 7 coordinate transformation parameters in Vietnam territory have been calculated according to the crustal motion velocities at 21 Geodetic CORS points. These calculated velocities are checked by comparing with the results of calculation method according to the coordinates at two cycles. The test results show that the differences between the velocities of two calculation methods are: in coordinates less than 0.11 mm; in direction less than  $0.38'' \times 10^{-5}$ ; in length ratio is  $0.004 \times 10^{-9}$ . This proves that the method of determining the effect of the crustal motion on the coordinate transformation parameters in this paper and the calculation results are completely accurate.

**Keywords:** Crustal motion; Coordinate transformation parameters; Geodetic CORS.

Bài báo khoa học

## Dự báo dòng chảy dựa vào mô hình toàn cầu và khu vực tổ hợp phân giải cao dự báo lũ trên lưu vực sông Thao giai đoạn 2022-2023

Trần Anh Đức<sup>1</sup>, Phùng Tiên Dũng<sup>1</sup>, Đặng Đình Quân<sup>1</sup>, Hoàng Gia Nam<sup>1</sup>, Nguyễn Thị Như Quỳnh<sup>1</sup>, Phạm Trường Giang<sup>1</sup>, Phạm Mỹ Linh<sup>1</sup>, Mai Khánh Hưng<sup>1</sup>, Dư Đức Tiến<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> Trung tâm Dự báo khí tượng thủy văn quốc gia, Tổng cục Khí tượng Thủy văn; ducbarca88@gmail.com; ptdung77@gmail.com; quandangdinh.92@gmail.com; namhoangkt95@gmail.com; quynh.ntn.1984@gmail.com; phtrgiang@gmail.com; linhpm250595@gmail.com; maikhanhhung18988@gmail.com; duductien@gmail.com

\*Tác giả liên hệ: ducbarca88@gmail.com; Tel.: +84-916106558

Ban biên tập nhận bài: 30/10/2024; Ngày phản biện xong: 20/12/2024; Ngày đăng bài: 25/5/2025

**Tóm tắt:** Nghiên cứu áp dụng hệ thống đồng hóa tổ hợp dựa trên bộ lọc chuyển dạng địa phương Kalman (*LETKF - Local Ensemble Transformation Kalman Filter*) phát triển cho mô hình khu vực WRF-ARW và kết hợp với dự báo phân giải cao (1km × 1km, kí hiệu LETKF\_WRF-1km) để tăng cường chất lượng dự báo mưa cho các lưu vực trên lãnh thổ Việt Nam. Nghiên cứu trình bày các kết quả dự báo dòng chảy bằng mô hình thủy văn cho lưu vực sông Thao với đầu vào từ số liệu dự báo của mô hình toàn cầu của Châu Âu (IFS), Mỹ (GFS), Nhật Bản (GSM) và phân giải cao (LETKF\_WRF-1km) cho các đợt lũ điển hình trong năm 2022 và 2023.

**Từ khóa:** Dự báo dòng chảy; Lưu vực sông thao; Dự báo mưa mô hình số trị.

### 1. Mở đầu

Thông tin dự báo định lượng về mưa và đặc biệt là mưa lớn cực đoan trên lãnh thổ Việt nam sẽ cho phép tăng cường dự báo chính xác hơn về thủy văn (cảnh báo lũ, lũ quét, dòng chảy, sạt lở đất...) và qua đó tăng cường công tác phòng chống thiên tai giảm nhẹ thiệt hại do mưa lớn, lũ quét gây ra. Trong dự báo nghiệp vụ, vấn đề dự báo mưa, đặc biệt dự báo định lượng mưa QPF (*Quantitative Precipitation Forecast*) là một bài toán vô cùng phức tạp không chỉ ở Việt Nam, mà còn của nhiều nước có nền khoa học công nghệ tiên tiến như Hoa Kỳ, Đức, Nhật Bản [1, 2].

Bên cạnh phương pháp Synop truyền thống cho dự báo mưa định tính, các phương pháp thống kê và phương pháp số (gọi tắt là mô hình số hay *NWP - Numerical Weather Prediction*) dự báo QPF đã được phát triển từ những năm 50 của thế kỷ trước và đến nay đã trở thành phương pháp dự báo QPF chính thống tại nhiều trung tâm dự báo lớn trên thế giới. Với những phát triển trong công nghệ tính toán hiệu năng cao đã cho phép ứng dụng NWP ở quy mô không gian rất nhỏ, đặc biệt trên các lưu vực sông ứng dụng trong lĩnh vực thủy văn. Để nâng cao độ chính xác của trường ban đầu cho các NWP là phương pháp đồng hóa số liệu trong đó thực hiện những phân tích tối ưu lại trường ban đầu từ số liệu thám sát bổ sung ở quy mô địa phương qua đó giảm thiểu được tối đa những phát sinh do sai số ban đầu gây ra [3-6].

Tại Việt Nam, bên cạnh các mô hình toàn cầu GSM của Cơ quan khí tượng Nhật Bản (JMA) và GFS của Trung tâm Dự báo môi trường quốc gia Hòa Kỳ (NCEP), được sự đầu tư

*Tạp chí Khí tượng Thủy văn* **2025**, 773, 75-87; doi:10.36335/VNJHM.2025(773).75-87 <http://tapchikttv.vn/>

của Bộ Tài Nguyên và Môi Trường, từ cuối năm 2011, Trung tâm Dự báo KTTV quốc gia đã thu nhận dữ liệu dự báo gốc từ Trung tâm Dự báo hạn vừa Châu Âu với độ phân giải theo chiều ngang 14 km cho mô hình tất định IFS và 28 km cho hệ thống dự báo tổ hợp, hạn dự báo đến 10 ngày. Hiện tại, độ phân giải của IFS xấp xỉ 9 km và đây là một trong những mô hình quy mô toàn cầu có độ tin cậy cao nhất về dự báo các yếu tố khí tượng hiện nay theo hầu hết các nghiên cứu và đánh giá trên thế giới. Ngoài các hệ thống mô hình khu vực trước đây ứng dụng tại Trung tâm Dự báo KTTV quốc gia như HRM, COSMO của Cơ quan khí tượng liên bang Đức (DWD), mô hình WRF-ARW đã được ứng dụng trong nghiệp vụ từ năm 2005 (trong hệ thống dự báo tổ hợp hạn ngắn SREPS, độ phân giải 16 km). Trong khuôn khổ Dự án “Tăng cường hệ thống dự báo thời tiết và cảnh báo sớm” do Ngân hàng thế giới tài trợ, hệ thống tính toán đã được nâng cấp lên siêu máy tính CrayXC40 từ cuối năm 2018, mô hình WRF-ARW phiên bản 3.9.1.1 đã được thiết lập chạy nghiệp vụ với độ phân giải ngang là 3km x 3km sử dụng điều kiện biên từ mô hình IFS (độ phân giải 9km) với miền tính bao phủ toàn bộ lãnh thổ Việt Nam và Biển Đông, thời gian tích phân dự báo hạn 72 giờ sử dụng toàn bộ năng lực của hệ thống (~ 70-80Tflops) hết 45 phút [1]. Trong nghiên cứu [1] cũng đã đưa ra các kết quả đánh giá kết quả dự báo mưa của mô hình IFS, WRF3kmIFS và WRF3kmIFS-DA trong năm 2020 cho khu vực Việt Nam và chi tiết cho khu vực Bắc Bộ (khu vực chứa lưu vực sông Thao) cho thấy khả năng tăng cường kỹ năng dự báo của các mô hình phân giải cao WRF3kmIFS đặc biệt ở các phân cấp mưa lớn trên 20 mm/24h và các ngưỡng lớn (50 mm và 100 mm) so với hệ thống toàn cầu IFS. Bên cạnh đó, việc bổ sung quá trình đồng hóa số liệu cũng cho phép tăng được khả năng phát hiện hiện tượng mưa cực trị hơn so với IFS và WRF3kmIFS.

Đối với hạn dài hơn đến 10 ngày, việc các thông tin điều kiện biên từ các mô hình toàn cầu chứa nhiều sai số lớn sẽ dẫn tới sản phẩm QPF cực đoan ở hạn đến 10 ngày có sai số rất lớn và chủ yếu được khai thác trực tiếp từ các mô hình quy mô toàn cầu. Gần đây, hướng tiếp cận kết hợp hạ quy mô phân giải cao từ các thành phần chính (control) hoặc trung bình (mean) từ các hệ thống dự báo tổ hợp trong đó không gian nghiệm của hệ dự báo tổ hợp được cập nhật phù hợp với quan trắc có được sao cho phù sát nhất với không gian nghiệm thực tế là tiền đề cho việc triển khai các hệ thống tăng cường chất lượng dự báo mưa hạn đến 10 ngày [4].

Mục tiêu của nghiên cứu là việc ứng dụng hệ thống đồng hóa tổ hợp dựa trên bộ lọc chuyển dạng địa phương Kalman (LETKF - *Local Ensemble Transformation Kalman Filter*) phát triển cho mô hình khu vực WRF-ARW và kết hợp với dự báo phân giải cao (1km x 1km, kí hiệu LETKF\_WRF-1km) để tăng cường chất lượng dự báo mưa cho các lưu vực trên lãnh thổ Việt Nam. Nghiên cứu trình bày các kết quả dự báo dòng chảy bằng mô hình thủy văn MIKE-NAM cho lưu vực sông Thao với đầu vào từ số liệu dự báo của mô hình toàn cầu của Châu Âu (IFS), Mỹ (GFS), Nhật Bản (GSM) và phân giải cao (LETKF\_WRF-1km) cho một số đợt lũ điển hình trong năm 2022 và 2023.

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

### 2.1. Hệ thống dự báo khí tượng LETKF\_WRF-1km

Nghiên cứu áp dụng hệ thống đồng hóa tổ hợp dựa trên bộ lọc chuyển dạng địa phương Kalman (LETKF) phát triển cho mô hình khu vực WRF-ARW [3, 4, 6]. Để mở rộng, nghiên cứu đã nâng cấp sử dụng hệ thống mô hình khu vực WRF với nhân động lực ARW phiên bản 3.9.1.1 do Trung tâm dự báo môi trường quốc gia Mỹ (NCEP) phát triển (gọi tắt là WRF-ARW). Để tạo ra dự báo tổ hợp (ensemble) nghiên cứu dựa trên việc thay đổi các lựa chọn vật lý trong mô hình WRF-ARW gồm: (a) Sơ đồ tham số hóa đối lưu: sơ đồ Kain-Fritsch (KF) hoặc Betts-Miller-Janjic (BMJ); (b) Sơ đồ bức xạ sóng ngắn Goddard hoặc Dudhia; (c) Sơ đồ tham số hóa lớp biên của Yonsei University (YSU) hoặc Mellor-Yamada-Janjic (MYJ), (d) Sơ đồ vi vật lý mây từ đơn giản đến phức tạp gồm sơ đồ Lin, WSM3, WSM5 đến WSM6 (khép kín 6 bậc). Dự báo trung bình tổ hợp sẽ được sử dụng làm điều kiện biên cho dự báo

phân giải cao 1km trên từng lưu vực nghiên cứu. Một số nghiên cứu ứng dụng mô hình WRF-ARW cho khu vực Việt Nam trong dự báo mưa được chi tiết trong các công trình [7–11].

## 2.2. Mô hình tại lưu vực sông Thao

Mô hình MIKE là bộ mô hình về tài nguyên nước do viện Thủy lực Đan Mạch xây dựng [12–16]. MIKE đã chứng minh được tính ưu việt của mình trong một thời gian dài và được sử dụng rộng rãi trong rất nhiều nghiên cứu tại các lưu vực sông của Việt Nam [17–27]. Bộ mô hình gồm rất nhiều mô hình nhỏ giúp mô phỏng các quá trình thủy văn, thủy động lực học, vận chuyển bùn cát, chất lượng nước,... trong đó mô hình MIKE-NAM là mô hình mưa rào - dòng chảy dạng tát định, thông số tập trung, giúp mô phỏng quá trình dòng chảy tại cửa ra các tiểu lưu vực sông. Mô hình MIKE-NAM là mô hình cải tiến của mô hình Nielsen-Hansen được Viện Thủy lực Đan Mạch. Mô hình gồm 4 bể chứa, nguyên lý tính toán trong mỗi bể chứa là giải phương trình cân bằng nước. Điều khác biệt so với mô hình TANK là dòng chảy từ các bể vào sông, tính theo mô hình TANK là theo quy luật tuyến tính còn tính theo mô hình MIKE-NAM là theo quy luật phi tuyến (dạng đường cong nước rút) [28–30].

Mô hình MIKE-NAM là mô hình thủy văn mô phỏng quá trình mưa - dòng chảy diễn ra trên lưu vực. Đây là một mô hình toán thủy văn bao gồm một tập hợp các biểu thức toán học đơn giản để mô phỏng các quá trình trong chu trình thủy văn. Mô hình MIKE-NAM là mô hình nhận thức, tát định, thông số tập trung. Mô hình MIKE-NAM mô phỏng quá trình mưa - dòng chảy một cách liên tục thông qua tính toán cân bằng nước ở bốn bể chứa thẳng đứng, có tác dụng qua lại lẫn nhau để diễn tả các tính chất vật lý của lưu vực.

Dữ liệu đầu vào cho mô hình là mưa, bốc hơi tiềm năng, nhiệt độ (đối với những vùng có tuyết). Kết quả đầu ra của mô hình là dòng chảy trên lưu vực, mực nước ngầm và các thông tin khác trong chu trình thủy văn, như sự thay đổi tạm thời của độ ẩm của đất và khả năng bổ sung nước ngầm. Dòng chảy trên lưu vực được phân gạn đúng thành dòng chảy mặt, dòng chảy sát mặt và dòng chảy ngầm.

Quá trình ứng dụng trong nghiên cứu sẽ thực hiện theo trình tự: (1) Thực hiện thiết lập dữ liệu mưa từ các mô hình; (2) Thiết lập dữ liệu địa hình, dữ liệu quan trắc khí tượng thủy văn; (3) Thiết lập mô hình thủy văn MIKE-NAM: hiệu chỉnh, kiểm định mô hình; (4) Thực hiện dự báo, đánh giá kết quả dự báo dòng chảy.

Sông Thao là dòng chính của sông Hồng bắt nguồn từ dãy núi Ngụy Sơn, Vân Nam Trung Quốc cao 1.766 m, chảy theo hướng Tây Bắc - Đông Nam. Sông Thao chảy qua địa phận tỉnh Yên Bái với chiều dài 100km bắt đầu từ Lang Thíp (Văn Yên) đến Văn Tiến (Trần Yên) và diện tích lưu vực là 2.700 km<sup>2</sup>, có 48 ngòi là các phụ lưu trong đó có 4 phụ lưu lớn là: Ngòi Thia, Ngòi Hút, Ngòi Lâu, Ngòi Lao.

Chế độ mưa gây lũ trên sông Thao có liên quan mật thiết với các hoàn lưu lớn phía Đông, phía Tây, phía Bắc và phía Nam, điển hình là các hình thế dải hội tụ nhiệt đới, xoáy thuận nhiệt đới, rãnh thấp nóng phía Tây, xoáy thấp trên cao, front lạnh và tổ hợp phức tạp của chúng. Lượng mưa trung bình nhiều năm mùa hè (tháng 6 đến 10) trên lưu vực có xu hướng giảm dần từ thượng lưu về hạ lưu phần lưu vực sông Thao thuộc Việt Nam: tại Sa Pa là 1853 mm, Bảo Hà là 1550 mm, Yên Bái là 1512 mm và Phú Thọ là 1192 mm, trung bình của phần lưu vực thuộc Việt Nam là 1448 mm. Lũ trên sông Thao chủ yếu là lũ từ thượng nguồn về (từ phần lưu vực thuộc Trung Quốc) kết hợp với gia nhập khu giữa khá lớn ở địa phận Lào Cai - Phú Thọ.

Để thiết lập mô hình MIKE-NAM cho lưu vực sông Thao, nghiên cứu sử dụng các thông tin chính sau:

- + Bản đồ DEM 30m×30m phục vụ phân chia tiểu lưu vực bộ phận và tính diện tích các tiểu lưu vực;
- + Số liệu bốc hơi tại các trạm khí tượng;
- + Số liệu mưa - dòng chảy phục vụ hiệu chỉnh, kiểm định mô hình bao gồm số liệu mưa của 98 trạm mưa tự động trên lưu vực sông Thao (Hình 1, Bảng 1).

**Bảng 1.** Danh sách các trạm mưa tự động phục vụ nghiên cứu.

| STT | Tên Trạm        | STT | Tên Trạm      | STT | Tên Trạm     | STT | Tên Trạm   |
|-----|-----------------|-----|---------------|-----|--------------|-----|------------|
| 1   | Bao Ha 1        | 26  | Muong Vi      | 51  | Nghia An     | 76  | My Luong   |
| 2   | Kien Lao        | 27  | Ngoi Phat     | 52  | Lang Nhi     | 77  | Ba Khe     |
| 3   | Hong Ca         | 28  | Ban Khoang    | 53  | Ta Xi Lang   | 78  | Yen Lap    |
| 4   | Tan Dong        | 29  | Trung Leng Ho | 54  | Gia Hoi      | 79  | Cam Khe    |
| 5   | Co Phuc         | 30  | A Mu Sung     | 55  | Tuc Dan      | 80  | Trung Son  |
| 6   | Chau Que Thuong | 31  | Y Ty          | 56  | Son Thinh    | 81  | Xuan Thuy  |
| 7   | Lam Giang       | 32  | Trinh Tuong   | 57  | Yen Bai      | 82  | Dong Linh  |
| 8   | Mau A           | 33  | Sa Pa         | 58  | Nghia Lo     | 83  | Chi Cuc TL |
| 9   | Yen Bai         | 34  | O Quy Ho      | 59  | Ngoi Thia TV | 84  | Phuc Khanh |
| 10  | Pho Lu          | 35  | Muong Hum     | 60  | AMuSung      | 85  | Hien Luong |
| 11  | Sa Pa           | 36  | Lao Cai       | 61  | Nam Chay     | 86  | Tien Luong |
| 12  | Ta Thang        | 37  | Hoang Lien    | 62  | Trinh Tuong  | 87  | Ha Hoa     |
| 13  | Gia Phu         | 38  | Tu Le         | 63  | Coc My Hai   | 88  | Cam Khe    |
| 14  | Nam Xe          | 39  | Lang Cang     | 64  | Ban Cam      | 89  | Phu Ho     |
| 15  | Seo Chong Ho    | 40  | Nam Co        | 65  | Ban Lau      | 90  | Phu Tho    |
| 16  | Cam Duong       | 41  | Nam Xay       | 66  | Ban Xen      | 91  | Lam Thao   |
| 17  | Kim Son         | 42  | Duong Quy     | 67  | Muong Khuong | 92  | Di Nau     |
| 18  | Ta Van          | 43  | Hoa Mac       | 68  | Cao Son      | 93  | Xuan Dai   |
| 19  | Muong Hoa       | 44  | Ban Ho        | 69  | Y Ty         | 94  | Thach Kiet |
| 20  | Ban Ho 1        | 45  | Ngoi Nhu TV   | 70  | Ngoc Dong    | 95  | Dong Cuu 1 |
| 21  | Lao Chai        | 46  | Ngu Chi Son   | 71  | Quang Huc    | 96  | Tan Minh   |
| 22  | Ban Ho 2        | 47  | Nam Cuong     | 72  | Thanh Son    | 97  | Thu Cuc    |
| 23  | Muong Hum       | 48  | Tram Tau      | 73  | Phu Tho      | 98  | Tan Son    |
| 24  | Coc My 1        | 49  | An Luong      | 74  | Ha Hoa       |     |            |
| 25  | Bat Xat         | 50  | Tram Tau      | 75  | Thanh Ba     |     |            |

| Tìm kiếm |                     | Sông Thao TL (144.14 mm)   |                       |                      |                      |                     |                                 |                                 |       |
|----------|---------------------|----------------------------|-----------------------|----------------------|----------------------|---------------------|---------------------------------|---------------------------------|-------|
| STT      | Thời gian           | Sông Thao - TL (138.56 mm) | Ngoi Thia (212.59 mm) | Ngoi Nhu (217.67 mm) | Ngoi Hut (185.54 mm) | Lao Cai (199.24 mm) | KG Lao Cai - Bao Ha (147.15 mm) | KG Bao Ha - Yen Bai (167.09 mm) |       |
| 1        | 07/09/2024 19:00:00 | 2.77                       | 8.55                  | 6.87                 | 6.05                 | 4.73                |                                 |                                 | 7.32  |
| 2        | 07/09/2024 22:00:00 | 5.4                        | 10.58                 | 11.99                | 7.84                 | 6.94                |                                 |                                 | 10.85 |
| 3        | 08/09/2024 01:00:00 | 8.1                        | 19.37                 | 12.46                | 10.54                | 7.84                |                                 |                                 | 13.92 |
| 4        | 08/09/2024 04:00:00 | 8.87                       | 22.45                 | 16.36                | 12.8                 | 11.5                |                                 |                                 | 14.57 |
| 5        | 08/09/2024 07:00:00 | 8.36                       | 15.67                 | 17.77                | 15.02                | 11.99               |                                 |                                 | 13.05 |
| 6        | 08/09/2024 10:00:00 | 7.93                       | 15.05                 | 15.14                | 15.34                | 16.29               |                                 |                                 | 12.77 |
| 7        | 08/09/2024 13:00:00 | 9.8                        | 13.15                 | 14.69                | 14.38                | 11.32               |                                 |                                 | 11.55 |
| 8        | 08/09/2024 16:00:00 | 8.11                       | 11.02                 | 10.23                | 9.46                 | 9.54                |                                 |                                 | 7.4   |
| 9        | 08/09/2024 19:00:00 | 5.73                       | 8.37                  | 7.8                  | 8.55                 | 6.64                |                                 |                                 | 4.89  |
| 10       | 08/09/2024 22:00:00 | 5.7                        | 9.4                   | 12.96                | 14.32                | 8.6                 |                                 |                                 | 6.61  |
| 11       | 09/09/2024 01:00:00 | 7.74                       | 12.91                 | 17.49                | 10.77                | 9.34                |                                 |                                 | 8.16  |
| 12       | 09/09/2024 04:00:00 | 8.05                       | 10.14                 | 11.07                | 9.38                 | 8                   |                                 |                                 | 6.12  |
| 13       | 09/09/2024 07:00:00 | 6.64                       | 6                     | 3.95                 | 5.79                 | 7.19                |                                 |                                 | 3.44  |
| 14       | 09/09/2024 10:00:00 | 8.6                        | 4.04                  | 3.46                 | 3.25                 | 5.08                |                                 |                                 | 2.79  |
| 15       | 09/09/2024 13:00:00 | 5.79                       | 2.62                  | 6.74                 | 2.61                 | 3.76                |                                 |                                 | 3.53  |
| 16       | 09/09/2024 16:00:00 | 3.2                        | 6.03                  | 5.34                 | 5.91                 | 4.48                |                                 |                                 | 4.93  |
| 17       | 09/09/2024 19:00:00 | 2.2                        | 2.79                  | 3.43                 | 4.69                 | 2.94                |                                 |                                 | 2.7   |
| 18       | 09/09/2024 22:00:00 | 2.88                       | 3.81                  | 4.81                 | 4.12                 | 3.15                |                                 |                                 | 3.57  |
| 19       | 10/09/2024 01:00:00 | 3.06                       | 4.79                  | 6.32                 | 4.07                 | 3.15                |                                 |                                 | 4.79  |
| 20       | 10/09/2024 04:00:00 | 3.74                       | 6.1                   | 6.54                 | 5.1                  | 2.72                |                                 |                                 | 5.81  |
| 21       | 10/09/2024 07:00:00 | 4.39                       | 6.12                  | 7.06                 | 3.91                 | 2.57                |                                 |                                 | 4.54  |
| 22       | 10/09/2024 10:00:00 | 4.54                       | 5.5                   | 5.6                  | 3.3                  | 3.41                |                                 |                                 | 4.2   |
| 23       | 10/09/2024 13:00:00 | 4.06                       | 5.1                   | 4.45                 | 4.49                 | 4.7                 |                                 |                                 | 5.23  |
| 24       | 10/09/2024 16:00:00 | 2.88                       | 3.03                  | 5.15                 | 3.86                 | 3.35                |                                 |                                 | 4.41  |

**Hình 1.** Các trạm đo mưa trong các tiêu lưu vực sử dụng trong mô hình Mike-Nam trên lưu vực sông Thao.

Nghiên cứu thử nghiệm các đợt mưa, lũ giai đoạn 2022-2023 tại lưu vực sông Thao, được chi tiết trong Bảng 2.



**Bảng 2.** Các đợt mưa lũ thử nghiệm giai đoạn 2022-2023.

| TT | Ngày/tháng       | Hình thế gây mưa  |
|----|------------------|---|
| 1  | 20-25/05/2022    | Rãnh áp thấp có trục đi qua khu vực Nam Đồng bằng Bắc Bộ và Bắc Trung Bộ nâng trục lên phía Bắc, kết hợp hội tụ gió lên đến 5000m   |
| 2  | 06-15/06/2022    | Rãnh áp thấp bị nén có trục qua khu vực Bắc Bộ kết hợp với hội tụ gió lên đến 5000m   |
| 3  | 29/06-02/07/2022 | Rãnh áp thấp có trục đi qua khu vực Bắc Bộ nối với ATNĐ trên Biển Đông, kết hợp hội tụ gió lên đến 5000m.   |
| 4  | 19-22/07/2022    | Ria Tây áp cao cận nhiệt đới lần Tây, hội tụ gió lên đến mực 5000m  |
| 5  | 05-13/08/2022    | Rãnh áp thấp có trục đi qua Bắc Bộ, sau chịu ảnh hưởng của bão số 2   |
| 6  | 19-27/08/2022    | Rãnh áp thấp có trục đi qua khu vực Bắc Bộ, kết hợp với hội tụ gió rìa Tây áp cao cận nhiệt đới lên đến 5000m, Vùng áp thấp suy yếu từ bão số 3   |
| 7  | 03-05/09/2022    | Ria phía Bắc rãnh áp thấp kết hợp với nhiễu động trong đới gió Đông trên cao  |
| 8  | 08-12/09/2022    | Ria phía Bắc rãnh áp thấp có trục đi qua khu vực Trung Trung Bộ kết hợp với nhiễu động trong đới gió Đông trên cao  |
| 9  | 28/09-03/10/2022 | Bão số 4 đi vào khu vực Trung Bộ, ITCZ nối với vùng áp thấp suy yếu từ bão số 4 nâng trục lên phía Bắc, sau đó áp cao cận nhiệt đới lần Tây, gió Đông Nam dày trên khu vực Bắc Bộ và Bắc Trung Bộ   |
| 10 | 12-15/06/2023    | Rãnh áp thấp có trục qua Bắc Trung Bộ bị đẩy xuống phía Nam do áp cao lạnh lục địa ở phía Bắc kết hợp với rìa Tây áp cao cận nhiệt đới lần Tây.   |
| 11 | 23-25/06/2023    | Rãnh áp thấp có trục qua Bắc Bộ bị nén bởi áp cao lục địa ở phía Bắc kết hợp với hội tụ gió lên đến 5000m   |
| 12 | 27/07-09/08/2023 | Ria Nam ITCZ qua Trung Trung Bộ nối với cơn bão số 2. Gió mùa Tây Nam có cường độ mạnh và Rãnh áp thấp có trục đi qua khu vực Nam đồng bằng Bắc Bộ và Bắc Trung Bộ kết hợp hội tụ gió lên đến 5000m |
| 13 | 26/09-29/09/2023 | ITCZ có trục đi qua khu vực Trung Trung Bộ nối với vùng áp thấp suy yếu từ cơn ATNĐ đi vào khu vực Trung Trung Bộ kết hợp KKLTC vào ngày 28-29/9  |

### 3. Kết quả

#### 3.1. Đánh giá dự báo lũ

Để đánh giá chất lượng dự báo lũ, tùy thuộc và mục đích và nhu cầu mà người ta thường sử dụng một hay một số phương pháp đánh giá sau [28–39]:

- Đánh giá theo hình dạng đường quá trình lũ: Đường quá trình lũ là biểu đồ biểu diễn sự biến đổi của mực nước tại một vị trí trên sông trong một khoảng thời gian dự kiến. Dạng đường quá trình lũ cho ta thấy trận lũ là lũ một đỉnh hay nhiều đỉnh, dạng lũ đỉnh nhọn (mực nước lên nhanh, xuống nhanh) hay dạng lũ đỉnh tù (mực nước lên chậm và xuống chậm), lũ lớn hay lũ nhỏ (so sánh đỉnh lũ với các cấp báo động và với lũ cùng kì hoặc lũ lịch sử...).

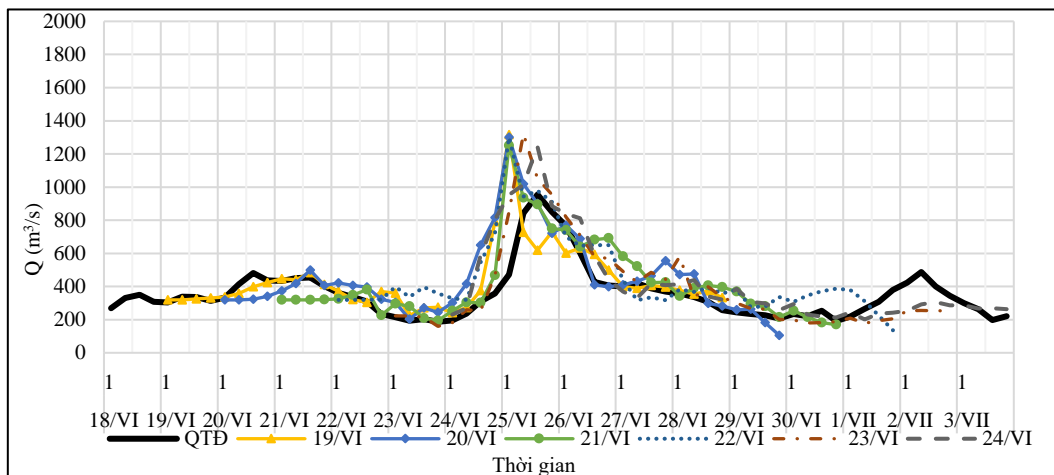
- Đánh giá dự báo lũ theo sai số đỉnh lũ (thời gian xuất hiện đỉnh và sai số đỉnh lũ): Đỉnh lũ có thể được xem là yếu tố quan trọng nhất trong dự báo lũ. Khi dự báo một đợt lũ, cần phải xác định được độ lớn của đỉnh lũ cũng như thời gian xuất hiện đỉnh lũ để phục vụ tốt công tác phòng chống thiên tai do lũ. Giá trị đỉnh lũ có thể được so sánh thông qua tỷ lệ phần trăm (%) sai số tương đối so với giá trị đỉnh lũ thực đo. Đánh giá thời gian xuất hiện đỉnh được xác định thông qua độ lệch (theo giờ hoặc phút) giữa thời gian xuất hiện đỉnh lũ dự báo và thực đo.

- Đánh giá theo tổng lượng lũ: Tổng lượng lũ hay là tổng lượng dòng chảy lũ qua một mặt cắt ngang sông trong một khoảng thời gian nhất định. Khi dự báo lũ, yếu tố tổng lượng dòng chảy lũ cũng thường được sử dụng để đánh giá dự báo lũ khi so sánh tổng lượng dòng chảy lũ dự báo với tổng lượng dòng chảy thực đo trong cùng khoảng thời gian. Có thể sử dụng sai số tuyệt đối hoặc sai số tương đối của giá trị tổng lượng dòng chảy để đánh giá.

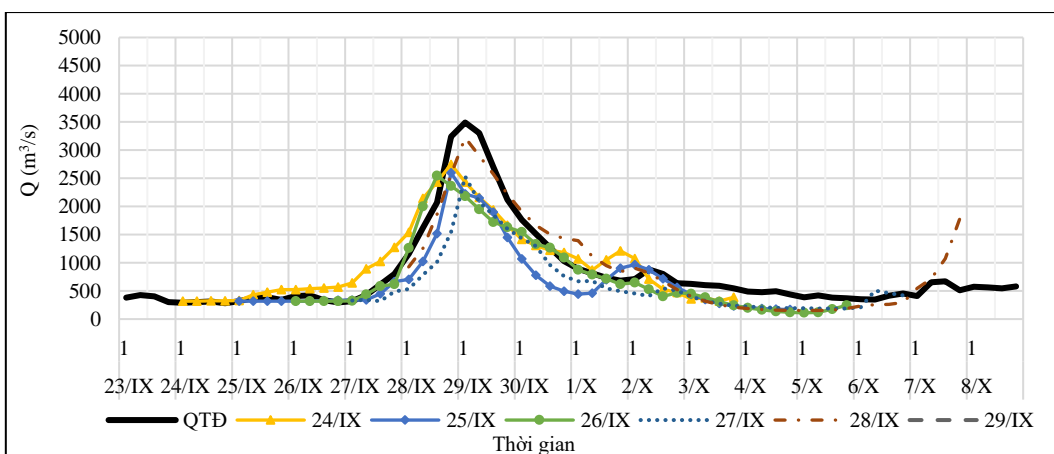
- Đánh giá đường quá trình lũ bằng sai số tương đối so với giá trị thực đo.

3.2. Kết quả dự báo dòng chảy bằng mô hình thủy văn cho lưu vực sông Thao với đầu vào từ số liệu dự báo của 4 mô hình LETKF\_WRF-1km, GFS, GSM và IFS cho các đợt lũ điển hình trong năm 2022 và 2023

Trong mục này, chúng tôi tiến hành dự báo dòng chảy bằng mô hình thủy văn MIKE-NAM, với đầu vào sử dụng số liệu dự báo mưa từ các mô hình gồm: LETKF\_WRF-1km, GFS, GSM và IFS cho các trận lũ điển hình trên lưu vực Thao trong hai năm 2022-2023. Việc lựa chọn bộ thông số của mô hình MIKE-NAM dựa trên bộ thông số đã được tối ưu cho các trận lũ diễn ra vào các năm trước và hiện đang được ứng dụng trong công tác nghiệp vụ dự báo thủy văn trên lưu vực sông Thao. Kết quả mô hình được so sánh với kết quả thực đo tại trạm đo và được đánh giá bằng tiêu chuẩn NASH, sai số đỉnh lũ và thời gian xuất hiện đỉnh. Kết quả dự báo cho một số các trận lũ điển hình trên lưu vực sông Thao lần lượt đưa ra thông qua các Hình 2 đến Hình 9. Trong đó hai hình 2 và 3, thể hiện kết quả dự báo dựa trên số liệu mưa của mô hình LETKF\_WRF-1km cho các trận lũ từ 19-24/06/2023 và 24-28/09/2023.

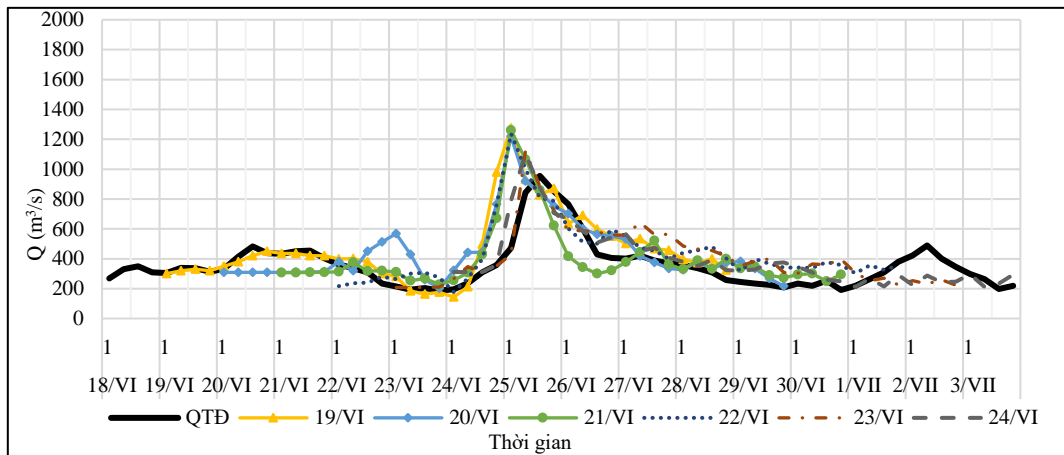


**Hình 2.** Kết quả dự báo trận lũ từ ngày 19-24/VI/2023 theo mô hình mưa LETKF\_WRF-1KM cho lưu vực sông Thao tại Yên Bái.

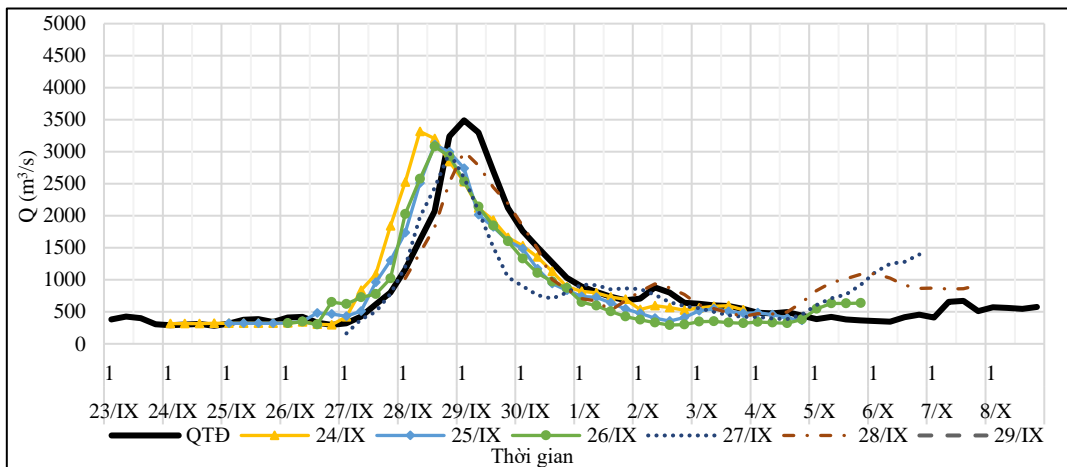


**Hình 3.** Kết quả dự báo trận lũ từ ngày 24-28/IX/2023 theo mô hình mưa LETKF\_WRF-1KM cho lưu vực sông Thao tại Yên Bái.

Hình 4 và 5 thể hiện kết quả dự báo các trận lũ từ 19-24/06/2023 và 24-28/09/2023 cho lưu vực sông Thao từ mô hình MIKE-NAM, sử dụng số liệu dự báo mưa từ mô hình GFS.

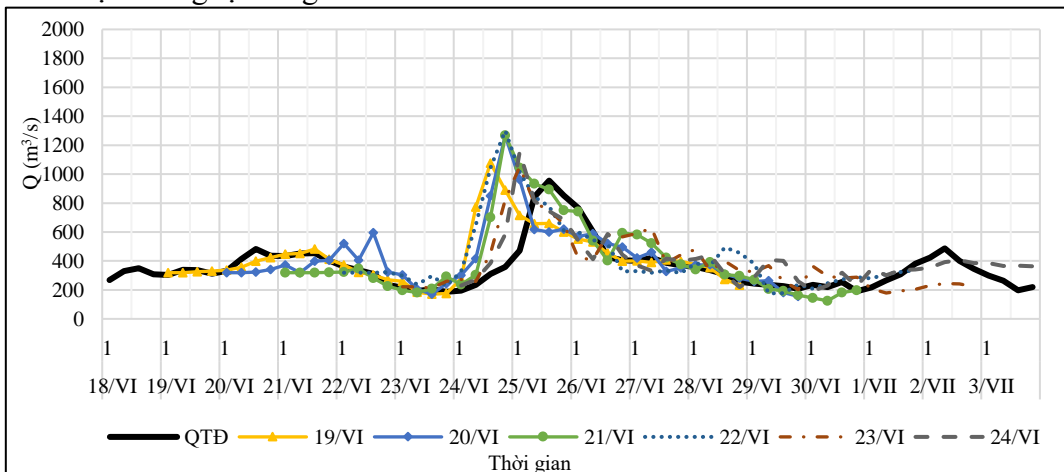


**Hình 4.** Kết quả dự báo trận lũ từ ngày 19-24/VI/2023 theo mô hình mưa GFS cho lưu vực sông Thao tại Yên Bái.

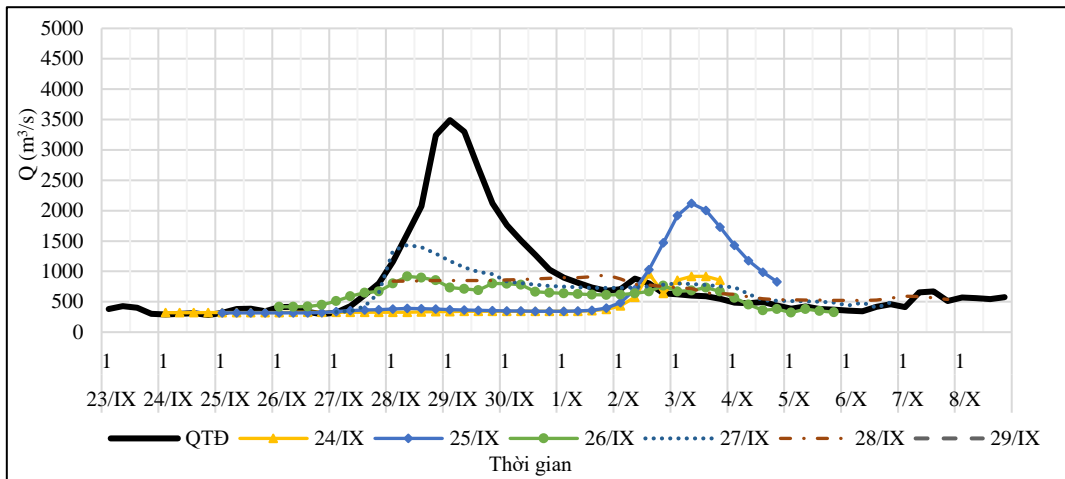


**Hình 5.** Kết quả dự báo trận lũ từ ngày 24-28/IX/2023 theo mô hình mưa GFS cho lưu vực sông Thao tại Yên Bái.

Đối với các trận lũ diễn ra từ 19-24/06/2023 và 24-28/09/2023 trên lưu vực sông Thao, kết quả dự báo bằng mô hình MIKE-NAM, sử dụng số liệu dự báo mưa từ mô hình GSM được thể hiện tương tự trong Hình 6 và hình 7.

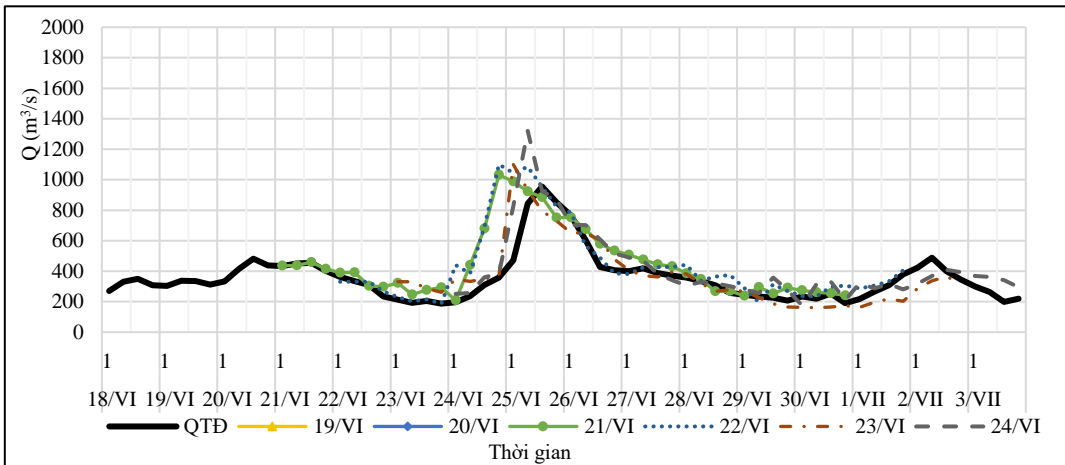


**Hình 6.** Kết quả dự báo trận lũ từ ngày 19-24/VI/2023 theo mô hình mưa GSM cho lưu vực sông Thao tại Yên Bái.

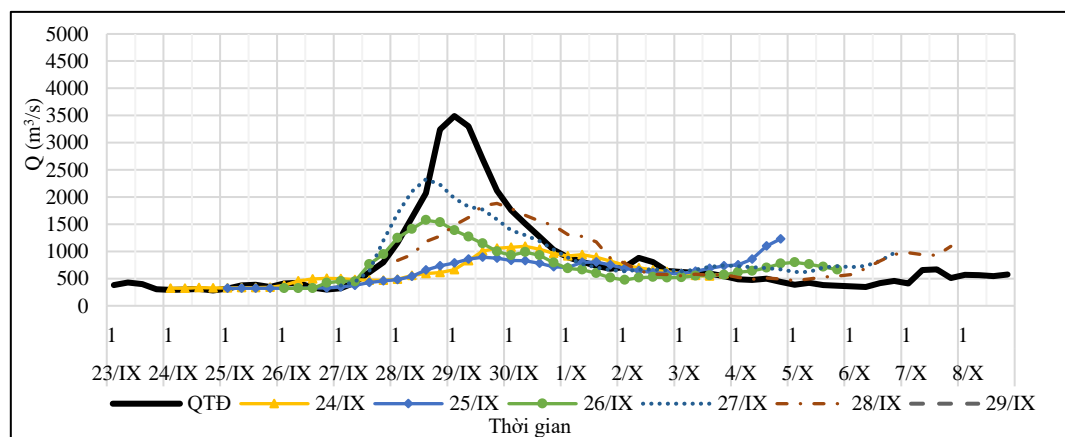


**Hình 7.** Kết quả dự báo trận lũ từ ngày 24-28/IX/2023 theo mô hình mưa GSM cho lưu vực sông Thao tại Yên Bái.

Tương tự, với việc sử dụng mô hình MIKE-NAM với số liệu dự báo mưa từ mô hình IFS cho lưu vực sông Thao, các kết quả dự báo cho các trận lũ từ 19-24/06/203 và 24-28/09/2023 được đưa ra trong Hình 8 và Hình 9.



**Hình 8.** Kết quả dự báo trận lũ từ ngày 19-24/VI/2023 theo mô hình mưa IFS cho lưu vực sông Thao tại Yên Bái.



**Hình 9.** Kết quả dự báo trận lũ từ ngày 24-28/IX/2023 theo mô hình mưa IFS cho lưu vực sông Thao tại Yên Bái.

Các kết quả đánh giá tổng hợp so sánh giữa 4 đầu vào được đưa ra chi tiết trong Bảng 3.

**Bảng 3.** Tổng hợp kết quả đánh giá kết quả dự báo theo mưa từ 4 mô hình tại trạm Yên Bái - sông Thao cho các trận lũ điển hình giai đoạn 2022-2023.

| Thời kỳ dự báo trước lũ | Chỉ tiêu đánh        | LETKF_WRF-1KM |           | GFS        |            | GSM        |                   | IFS        |            |
|-------------------------|----------------------|---------------|-----------|------------|------------|------------|-------------------|------------|------------|
|                         |                      | 19-           | 24-       | 19-        | 24-        | 19-        | 24-               | 19-        | 24-        |
|                         |                      | 24/VI/202     | 28/IX/202 | 24/VI/2023 | 28/IX/2023 | 24/VI/2023 | 28/IX/2023        | 24/VI/2023 | 28/IX/2023 |
| 6 ngày                  | Nash                 | 0,05          |           | 0,00       |            | -0,19      |                   |            |            |
|                         | $\Delta Q_{max}$ (%) | 38            |           | 34         |            | 13         |                   |            |            |
|                         | $\Delta t$ (giờ)     | 12            |           | 12         |            | 24         |                   |            |            |
| 5 ngày                  | Nash                 | 0,04          | 0,8       | 0,00       | 0,64       | -0,42      |                   |            | 0,02       |
|                         | $\Delta Q_{max}$ (%) | 36            | 21        | 28         | 5          | 33         |                   |            | 68         |
|                         | $\Delta t$ (giờ)     | 12            | 12        | 12         | 18         | 18         |                   |            | 24         |
| 4 ngày                  | Nash                 | 0,31          | 0,72      | 0,12       | 0,77       | -0,07      |                   | 0,26       | -0,05      |
|                         | $\Delta Q_{max}$ (%) | 31            | 25        | 32         | 10         | 33         |                   | 8          | 74         |
|                         | $\Delta t$ (giờ)     | 12            | 6         | 12         | 12         | 18         | Không dự báo được | 18         | 12         |
| 3 ngày                  | Nash                 | 0,02          | 0,76      | 0,15       | 0,71       | -0,54      |                   | 0,13       | 0,4        |
|                         | $\Delta Q_{max}$ (%) | 36            | 26        | 30         | 12         | 36         |                   | 15         | 54         |
|                         | $\Delta t$ (giờ)     | 12            | 12        | 12         | 12         | 18         |                   | 18         | 12         |
| 2 ngày                  | Nash                 | 0,46          | 0,65      | 0,49       | 0,43       | 0,14       |                   | 0,52       | 0,69       |
|                         | $\Delta Q_{max}$ (%) | 38            | 27        | 17         | 14         | 10         |                   | 15         | 33         |
|                         | $\Delta t$ (giờ)     | 6             | 6         | 6          | 6          | 12         |                   | 12         | 12         |
| 1 ngày                  | Nash                 | 0,37          | 0,85      | 0,62       | 0,79       | 0,34       |                   | 0,59       | 0,47       |
|                         | $\Delta Q_{max}$ (%) | 30            | 8         | 16         | 14         | 21         |                   | 38         | 46         |
|                         | $\Delta t$ (giờ)     | 0             | 0         | 6          | 0          |            |                   | 6          | 18         |

Đối với dự báo từ mô hình MIKE-NAM, sử dụng số liệu dự báo mưa từ mô hình LETKF\_WRF\_1km, kết quả dự báo trận lũ 19-24/VI/2023 cho thấy, hệ số tương quan Nash tại trạm không chế Yên Bái là khá thấp, càng gần ngày xuất hiện đỉnh lũ thì mô hình dự báo mưa có xu hướng tốt hơn, tuy nhiên kết quả vẫn chưa đáng kể, sai số đỉnh lũ từ 30-40%; sai số thời gian xuất hiện đỉnh lũ từ 0-12 giờ. Như vậy kết quả dự báo trận lũ này là khá hạn chế, tuy nhiên có thể xem đây là một trong những phương pháp tham khảo bên cạnh các phương pháp dự báo lũ khác. Kết quả dự báo trận lũ 24-28/IX/2023 cho thấy, hệ số tương quan Nash tại trạm không chế Yên Bái là khá tốt, càng gần ngày xuất hiện đỉnh lũ thì mô hình dự báo mưa có xu hướng tốt hơn, sai số đỉnh lũ từ 10-30%; sai số thời gian xuất hiện đỉnh lũ từ 0-12 giờ. Như vậy, kết quả dự báo trận lũ này là khá tốt và có thể tham khảo trong dự báo tác nghiệp.

Đối với dự báo, sử dụng số liệu dự báo mưa từ mô hình GFS, kết quả dự báo trận lũ 19-24/VI/2023 cho thấy, hệ số tương quan Nash tại trạm không chế Yên Bái là khá thấp, tuy nhiên chất lượng tốt hơn mô hình mưa dự báo WRF, càng gần ngày xuất hiện đỉnh lũ thì mô hình dự báo mưa có xu hướng tốt hơn đáng kể, sai số đỉnh lũ từ 15-50%; sai số thời gian xuất hiện đỉnh lũ từ 0-12 giờ. Như vậy kết quả dự báo trận lũ này là khá hạn chế, tuy nhiên có thể xem đây là một trong những phương pháp tham khảo bên cạnh các phương pháp dự báo lũ khác. Kết quả dự báo trận lũ 24-28/IX/2023 cho thấy, hệ số tương quan Nash tại trạm không chế Yên Bái là khá, càng gần ngày xuất hiện đỉnh lũ thì mô hình dự báo mưa có xu hướng tốt hơn, sai số đỉnh lũ từ 10-20%; sai số thời gian xuất hiện đỉnh lũ từ 0-12 giờ. Như vậy kết quả dự báo trận lũ này là khá tốt và có thể tham khảo trong dự báo tác nghiệp.

Đối với dự báo, sử dụng số liệu dự báo mưa từ mô hình GSM, kết quả dự báo trận lũ 19-24/VI/2023 cho thấy, hệ số tương quan Nash tại trạm không chế Yên Bái là khá thấp, càng gần ngày xuất hiện đỉnh lũ thì mô hình dự báo mưa có xu hướng tốt hơn tuy nhiên kết quả vẫn nhiều hạn chế, sai số đỉnh lũ từ 10-30%; sai số thời gian xuất hiện đỉnh lũ từ 12-24 giờ. Như vậy kết quả dự báo trận lũ này là khá hạn chế, tuy nhiên có thể xem đây là một trong những phương pháp tham khảo bên cạnh các phương pháp dự báo lũ khác. Kết quả dự báo trận lũ 24-28/IX/2023 cho thấy mô hình mưa không mô phỏng được trận lũ sẽ xảy ra trong thời gian dự báo.

Đối với dự báo, sử dụng số liệu dự báo mưa từ mô hình IFS, kết quả dự báo trận lũ 19-24/VI/2023 và 24-28/IX/2023 cho thấy, hệ số tương quan Nash tại trạm khống chế Yên Bái là khá thấp, càng gần ngày xuất hiện đỉnh lũ thì mô hình dự báo mưa có xu hướng tốt hơn tuy nhiên kết quả vẫn nhiều hạn chế, sai số đỉnh lũ từ 10-60%; sai số thời gian xuất hiện đỉnh lũ từ 6-24 giờ. Như vậy kết quả dự báo trận lũ này là khá hạn chế, tuy nhiên có thể xem đây là một trong những phương pháp tham khảo bên cạnh các phương pháp dự báo lũ khác.

#### **4. Kết luận**

Trong bài báo trên, chất lượng dự báo lũ hạn đến 10 ngày bằng mô hình MIKE-NAM sử dụng số liệu mưa dự báo từ các hệ thống dự báo toàn cầu cũng như hệ thống mô hình phân giải cao LETKF\_WRF\_1km tại lưu vực sông Thao của Việt Nam đã được đánh giá trong các đợt mưa lớn giai đoạn 2022-2023.

Kết quả dự báo lũ theo 4 đầu vào từ 3 mô hình toàn cầu và 1 dự báo phân giải cao cho thấy kết quả nhận được khá phân tán. Dựa theo chỉ số Nash trong bảng 4, nghiên cứu nhận thấy, với hạn dự báo dưới 3 ngày các chỉ số này gần như đều dương, có giá trị trong khoảng từ 0.02 đến 0.85 (có kỹ năng dự báo), mô hình sử dụng dự báo mưa từ LETKF\_WRF\_1km và IFS có chỉ số Nash cao nhất (kỹ năng dự báo tốt nhất), trong đó với đợt thử nghiệm thứ hai, mô hình LETKF\_WRF\_1km cho chỉ số Nash cao nhất, đạt tới 0.76. Trong khi đó với hạn dự báo trên 4-5 ngày, ngoài mô hình sử dụng dự báo mưa từ LETKF\_WRF\_1km và GFS, các chỉ số Nash đều mang giá trị rất thấp, xấp xỉ 0.0 (không có kỹ năng dự báo). Với hạn dự báo 6 ngày, các mô hình đều có chỉ số Nash xấp xỉ bằng 0, tức là không có kỹ năng dự báo. Như vậy mô hình sử dụng dự báo mưa từ LETKF\_WRF\_1km vượt trội so với các mô hình còn lại về kỹ năng dự báo tại tất cả các hạn dự báo từ 1-5 ngày.

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

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

**Lời cảm ơn:** Nghiên cứu được hoàn thành dựa trên sự hỗ trợ của Đề tài nghiên cứu khoa học “Nghiên cứu xây dựng hệ thống dự báo định lượng mưa hạn 10 ngày phục vụ bài toán dự báo thủy văn”, mã số TNMT.2023.06.01.

#### **Tài liệu tham khảo**

1. Nga, N.T.; Thanh, C.; Hung, M.K.; Tiến, D.D. Đánh giá kỹ năng dự báo mưa định lượng từ mô hình quy mô toàn cầu và khu vực phân giải cao cho khu vực Bắc Bộ. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* **2021**, 730, 79–92.
2. Tăng, B.M. Báo cáo tổng kết đề tài “Nghiên cứu xây dựng công nghệ dự báo mưa lớn thời hạn 2-3 ngày phục vụ công tác cảnh báo sớm lũ lụt khu vực miền Trung Việt Nam”, 2014.
3. Tiến, T.T.; Mai, H.T.; Thanh, C. Ứng dụng phương pháp lọc Kalman tổ hợp vào dự báo cường độ bão 5 ngày”, *Tạp chí khoa học Đại học Quốc gia Hà Nội. Tạp chí Khoa học Tự nhiên và Công nghệ* **2013**, 29(2S), 201–206.
4. Chánh, K.Q. Ước lượng sai số mô hình trong bộ lọc Kalman bằng phương pháp lực nhiễu động. *Tạp chí Khoa học ĐHQGHN, Khoa học Tự nhiên và Công nghệ* **2010**, 26(3S), 310–316.
5. Chánh, K.Q. Xây dựng hệ thống đồng hóa lọc Kalman tổ hợp địa phương cho mô hình dự báo thời tiết WRF. *Tạp chí Khoa học ĐHQGHN, Khoa học Tự nhiên và Công nghệ* **2011**, 27(1S), 17–28.

6. Tiến, D.Đ.; Thành, N.Đ.; Chánh, K.Q. Sử dụng đồng thời quan trắc quy mô lớn và quy mô bão trong việc tăng cường thông tin ban đầu cho bài toán dự báo xoáy thuận nhiệt đới bằng mô hình số trị. *VNU J. Sci. Earth Environ. Sci.* **2016**, *S.1(32)*, n. 3S.
7. Cường, H.Đ. Nghiên cứu ứng dụng mô hình WRF phục vụ dự báo thời tiết và bão ở Việt Nam. Báo cáo tổng kết đề tài NCKH cấp Bộ, 2011.
8. Tiến, T.T.; Thanh, C.; Phương, N.T. Dự báo cường độ bão bằng mô hình WRF hạn 5 ngày trên khu vực biển Đông. *Tap chí Khoa học ĐHQGHN* **2012**, *T28(3S)*, 155–160.
9. Tiến, T.T.; Thanh, N.T. Đồng hóa dữ liệu vệ tinh MODIS trong mô hình WRF để dự báo mưa lớn ở khu vực Trung Bộ. *Tap chí Khoa học ĐHQGHN, Khoa học Tự nhiên và Công nghệ* **2011**, *27*, 90–95.
10. Tien, D.D.; Cuong, H.D.; Hole, L.R.; Lam, H.P.; Huyen, L.T.T.; Hung, M.K. Impacts of different physical parameterization configurations on widespread heavy rain forecast over the northern area of Vietnam in WRF-ARW Model. *Adv. Meteorol.* **2019**, *1010858*, 1–24. <https://doi.org/10.1155/2019/1010858>.
11. Saito, K.; Hung, M.K.; Hung, N.V.; Vinh, N.Q.; Tien, D.D. Heavy rainfall in central Viet Nam in December 2018 and modification of precipitation analysis at VNMHA. *VN. J. Hydro-Meteorol.* **2020**, *5*, 65–79.
12. Danish Hydraulic Institute (DHI). MIKE SHE User Manual, Volume 1: User Guide, 2014a, pp. 370.
13. Danish Hydraulic Institute (DHI). MIKE SHE User Manual, Volume 2: Reference Guide, 2014b, pp. 444.
14. Abbott, M.B.; Bathurst, J.C.; Cunge, J.A.; O’Connell, P.E.; Rasmussen, J. An introduction to the European hydrological system-systeme hydrologique Europeen, “SHE”, 1: history and philosophy of a physically-based, distributed modelling system. *J. Hydrol.* **1986a**, *87*, 45–59.
15. Abbott, M.B.; Bathurst, J.C.; Cunge, J.A.; O’connell, P.E.; Rasmussen, J. An introduction to the European hydrological system systeme hydrologique Europeen, “SHE”, 2: Structure of a physically-based, distributed modelling system. *J. Hydrol.* **1986b**, *87*, 61–77.
16. DHI. MIKE 11, A modelling system for rivers and channel, user guide. 2017. [http://manuals.mikepoweredbydhi.help/2017/Water\\_Resources/MIKE11\\_UserManual.pdf](http://manuals.mikepoweredbydhi.help/2017/Water_Resources/MIKE11_UserManual.pdf).
17. Tinh, Đ.N. Báo cáo tổng kết đề tài “Nghiên cứu ứng dụng số liệu vệ tinh, mưa dự báo số trị kết hợp số liệu bề mặt trong dự báo lũ hệ thống sông Hồng- Thái Bình”, 2012.
18. Lập, B.Đ. Báo cáo tổng kết đề tài “Nghiên cứu xây dựng công nghệ dự báo dòng chảy lũ đến các hồ chứa lớn trên hệ thống sông Hồng”, 2017.
19. Thái, T.H.; Trí, Đ.Q.; Hoàng, Đ.V. Nghiên cứu mô phỏng tác động của sóng và nước dâng bão khu vực ven biển miền Trung. *Tap chí Khí tượng Thủy văn* **2018**, *687*, 1–14.
20. Dat, T.T.; Truong, D.D.; Tri, D.Q.; Tien, T.Q. Applications of numerical modelling for the study on storm surge in typhoon Xangsane in the central coast of Vietnam. *Tropical Cyclone Res. Rev.* **2018**, *7(3)*, 179–192.
21. Dat, T.T.; Tri, D.Q.; Truong, D.D.; Hoa, N.N. Application of Mike Flood Model in Inundation Simulation with the Dam-break Scenarios: a Case Study of DakDrinh Reservoir in Vietnam. *Int. J. Earth Sci. Eng.* **2019**, *12(01)*, 60–70.
22. Dự án nhiệm vụ chuyên môn (2013-2015). Xây dựng công nghệ dự báo lũ hạn ngắn phục vụ điều tiết hồ chứa cho lưu vực sông Vu Gia - Thu Bồn và lưu vực sông Ba.
23. Long, V.Đ. Nghiên cứu xây dựng công nghệ cảnh báo, dự báo lũ và cảnh báo ngập lụt cho các sông chính ở Quảng Bình, Quảng Trị, 2014.

24. Long, V.Đ. Báo cáo tổng kết đề tài “Nghiên cứu ứng dụng thử nghiệm mô hình TELEMAC 2D tính toán lũ và cảnh báo ngập lụt cho vùng hạ lưu sông Trà Khúc - Sông Vệ”, 2015.
25. Linh, N.T.M.; Tri, D.Q.; Thai, T.H.; Don, N.C. Application of a two-dimensional model for flooding and floodplain simulation: Case study in Tra KhucSong Ve river in Viet Nam. *Lowland Technol. Int.* **2018**, 20(3), 367–378.
26. Huy, H.A. Nghiên cứu khả năng ứng dụng mô hình MIKE-SHE để mô phỏng độ ẩm trong đất, áp dụng thí điểm cho dòng chính khu vực sông La, 2016.
27. Thái, T.H.; Trí, Đ.Q.; Tuyên, T.Đ.T.; Tâm, N.T.; Dịu, B.T. Áp dụng mô hình MIKE SHE kết hợp sử dụng sản phẩm mưa dự báo IFS dự báo lưu lượng đến hồ lưu vực sông Trà Khúc-Sông Vệ. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* **2019**, 697, 1–12.
28. Anh, N.K.N.; Anh, T.N.; Tài, N.Q.; Nhật, L.M. Ứng dụng mô hình MIKE 11 tính toán dòng chảy mặt phục vụ công tác cấp phép khai thác tài nguyên nước lưu vực sông Cả. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* **2022**, 740(1), 50–61.
29. Thục, T. Xây dựng công nghệ tính toán dự báo lũ lớn hệ thống sông Hồng – Thái Bình. Đề tài cấp Bộ, 2011.
30. Hải, Đ.V.; Vân, Đ.T.; Trí, Đ.Q. Nghiên cứu xây dựng công cụ dự báo lưu lượng nước đến hồ sông hình phục vụ dự báo lũ hạ lưu sông Ba. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* **2020**, 710, 70–77.
31. Moriasi, D.N.; Arnold, J.G.; Liew, M.W. et al. Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations. *Trans. ASABE* **2007**, 50, 885–900.
32. Moriasi, D.; Wilson, B. Hydrologic and water quality models: use, calibration, and validation. *Trans. ASABE* **2012**, 55, 1241–1247.
33. Mustafa, Y.M.; Amin, M.S.M.; Lee, T.S.; Shariff, A.R.M. Evaluation of land development impact on a tropical watershed hydrology using remote sensing and GIS. *J. Spat. Hydrol.* **2012**, 5, 16–30.
34. Bathurst, J.C.; Ewen, J.; Parkin, G.; O’Connell, P.E.; Cooper, J.D. Validation of catchment models for predicting land-use and climate change impacts. 3. Blind validation for internal and outlet responses. *J. Hydrol.* **2004**, 287, 74–94.
35. Engel, B.A.; Flanagan, D.C. Modeling and risk analysis of nonpoint-source pollution caused by atrazine using SWAT. *Trans. ASABE* **2006**, 49, 667–678.
36. McCuen, R.H.; Knight, Z.; Cutter, A.G. Evaluation of the Nash-Sutcliffe efficiency Index. *J. Hydrol. Eng.* **2006**, 11, 597–602.
37. Nash, J.E.; Sutcliffe, J.V. River flow forecasting through conceptual models part I-a discussion of principles. *J. Hydrol.* **1970**, 10, 282–290.
38. Andersen, J.; Refsgaard, J.C.; Jensen, K.H. Distributed hydrological modelling of the Senegal River basin Model construction and validation. *J. Hydrol.* **2001**, 247, 200–214.
39. Gupta, H.V.; Sorooshian, S.; Yapo, P.O. Status of automatic calibration for hydrologic models: comparison with multilevel expert calibration. *J. Hydrol. Eng.* **1999**, 4, 135–143.



## **On the uses of input from forecasts of high-resolution global and regional ensemble models for flow forecasting in the Thao river basin in the period 2022-2023**

**Tran Anh Duc<sup>1</sup>, Phung Tien Dung<sup>1</sup>, Dang Dinh Quan<sup>1</sup>, Hoang Gia Nam<sup>1</sup>, Nguyen Thi Nhu Quynh<sup>1</sup>, Pham Truong Giang<sup>1</sup>, Pham My Linh<sup>1</sup>, Mai Khanh Hung<sup>1</sup>, Du Duc Tien<sup>1\*</sup>**

<sup>1</sup>National Center for Hydrometeorological Forecasting; ducbarca88@gmail.com; ptdung77@gmail.com; quandangdinh.92@gmail.com; namhoangkt95@gmail.com; quynh.ntn.1984@gmail.com; phtrgiang@gmail.com; linhpm250595@gmail.com; maikhanhhung18988@gmail.com; duductien@gmail.com

**Abstract:** This study employs the ensemble assimilation system based on the Local Ensemble Transform Kalman Filter (LETKF), which was developed for the WRF-ARW regional model. The system is integrated with its dynamic downscaling capabilities to generate high-resolution forecasts (1km x 1km, denoted LETKF\_WRF-1km), with the objective of enhancing the accuracy of rainfall forecasts for Thao river basin in Vietnam. Subsequently, the hydrological model, named MIKE-NAM, was employed for flow forecasting in typical floods in 2022 and 2023, utilizing inputs derived from forecast data of the ECMWF (IFS), NCEP (GFS), JMA (GSM) global models and high-resolution forecasts (LETKF\_WRF-1km). The findings illustrate that the hydrological model utilizing the LETKF\_WRF\_1km model as an input displays enhanced performance in flow forecasting in comparison to the hydrological model employing the global models across all lead times, from one to five days.

**Keywords:** Flow forecast; Thao river basin; Rainfall forecasts; Ensemble models.

Bài báo khoa học

# Ước tính hàm lượng diệp lục trong lá lúa bằng chỉ số thực vật chiết xuất từ dữ liệu ảnh UAV đa phổ

Phạm Thị Làn<sup>1\*</sup>, Lê Văn Cảnh<sup>1</sup>

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

\*Tác giả liên hệ: phamthilan@humg.edu.vn; Tel.: +84-983321882

Ban Biên tập nhận bài: 10/11/2024; Ngày phản biện xong: 27/12/2024; Ngày đăng bài: 25/5/2025

**Tóm tắt:** Việc ước tính hàm lượng diệp lục của lá là việc rất thiết yếu để giám sát tăng trưởng cây lúa, giúp quản lý phân bón nhằm nâng cao năng suất cây lúa. Trong bài báo này, hàm lượng diệp lục được ước tính bằng các chỉ số thực vật (VIs) tính từ ảnh UAV đa phổ. Chỉ số NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*), OSAVI (*Optimized Soil Adjusted Vegetation Index*) và NSRI (*NIR Shoulder Region Index*) là các chỉ số tối ưu được lựa chọn bằng phương pháp đánh giá tương quan với hàm lượng diệp lục (giá trị SPAD) mà đã được đo đạc trên lá lúa ngoài thực tế. Hàm lượng diệp lục trên lá lúa được ước tính bằng VIs thông qua các mô hình học máy, bao gồm mô hình Hồi quy tuyến tính - *Linear Regression* (LR), cây quyết định ngẫu nhiên - *Random Forest* (RF), hồi quy điểm láng giềng gần nhất - *KNN Regression* (KNN) và hồi quy hỗ trợ vector - *Support Vector Regression* (SVR). Phương án kết hợp chỉ số NSRI và OSAVI cho kết quả tốt nhất và mô hình LR đạt độ chính xác cao hơn so với các mô hình KNN, SVR và RF. Kết quả nhận được cho thấy rằng kết hợp VIs từ ảnh UAV đa phổ bằng mô hình LR đã cải thiện độ chính xác của kết quả ước tính hàm lượng diệp lục trên lá lúa. Kết quả bài báo cũng là cơ sở tin cậy để ứng dụng phương pháp này cho cánh đồng có diện tích lớn trong định hướng sử dụng phân bón tối ưu năng suất cây lúa.

**Từ khóa:** Hàm lượng diệp lục (giá trị SPAD); Chỉ số thực vật; UAV, Cây lúa.

## 1. Đặt vấn đề

Sức khỏe cây lúa có thể được đánh giá trên cơ sở các yếu tố đặc trưng của lá, bao gồm độ ẩm, hàm lượng diệp lục, cấu trúc bề mặt lá và khả năng chuyển hóa các dưỡng chất. Những yếu tố này không chỉ ảnh hưởng đến mức độ quang hợp mà còn phản ánh thực trạng dinh dưỡng và khả năng thích nghi của cây trồng trước các điều kiện môi trường. Diệp lục là loại sắc tố quan trọng đóng vai trò chủ yếu trong chu trình quang hợp của cây trồng nói chung và cây lúa nói riêng. Hàm lượng diệp lục cao thường phản ánh sức khỏe tốt và ngược lại. Khi lúa chịu ảnh hưởng của các yếu tố môi trường như ô nhiễm không khí hoặc thiếu nước, hàm lượng diệp lục có thể giảm, dẫn đến sự suy giảm hiệu quả quang hợp [1–2] và làm giảm năng suất cây lúa [2–3]. Việc theo dõi mức độ diệp lục trên lá lúa có thể giúp người dân điều chỉnh các giải pháp bón phân phù hợp nhằm tối ưu hóa tăng trưởng và năng suất cây lúa.

Có một số phương pháp được áp dụng để xác định hàm lượng diệp lục trên lá lúa, như phương pháp lấy mẫu và chiết xuất trong phòng thí nghiệm với máy quang phổ. Các phương pháp đạt độ chính xác cao nhưng đòi hỏi cần có cơ sở vật chất cần thiết trong phòng thí nghiệm [4]. Bên cạnh đó, nhiều nghiên cứu đã áp dụng phương pháp đo hàm lượng chất diệp lục qua giá trị SPAD bằng máy đo SPAD cầm tay. Giá trị SPAD có mối quan hệ thuận và cao với hàm lượng diệp lục [5–6]. Tuy nhiên, phương pháp đo quang phổ trong phòng thí

nghiệm và phương pháp đo giá trị SPAD bị hạn chế về mặt không gian, hàm lượng diệp lục chỉ được xác định ở phạm vi các điểm mẫu. Để giải quyết hạn chế này, ảnh viễn thám nói chung và ảnh UAV nói riêng kết hợp với giá trị đo SPAD để ước tính hàm lượng diệp lục trong lá. Ví dụ chỉ số thực vật tỉ số tính từ ảnh Sentinel-2 kết hợp với giá trị SPAD để ước tính hàm lượng diệp lục trên lá khoai tây [7]. Chỉ số thực vật chuẩn hóa (*NDVI - Normalized Difference Vegetation Index*), chỉ số thực vật chuẩn hóa xanh (*GNDVI - Green Normalized Difference Vegetation Index*) và chỉ số diệp lục tán cây (*CCCI - Canopy Chlorophyll Content Index*) tính từ ảnh UAV cũng được áp dụng trong ước tính hàm lượng diệp lục một cách hữu hiệu [8]. Cũng với dữ liệu ảnh UAV, chỉ số NDVI, Difference Vegetation Index (DVI), Ratio Vegetation Index (RVI), GNDVI cũng được mô hình hóa trong ước tính hàm lượng diệp lục trên lá lúa mì, ngô và lúa mạch [9–11].

Quan hệ giữa VIs với giá trị SPAD là cơ sở để áp dụng các mô hình học máy trong ước tính hàm lượng diệp lục của cây trồng. Một số mô hình học máy như mô hình hồi quy tuyến tính đa biến - *Multiple Linear Regression* (MLR), hồi quy hỗ trợ vector - *Support Vector Regression* (SVR), rừng ngẫu nhiên - *Random Forest* (RF), tăng cường độ dốc cực đại - *Extreme Gradient Boosting* (XGBoost) và mạng nơ ron lan truyền ngược - *Back Propagation Neural Network* (BP-NN). Những mô hình này đều được nhận định là có độ chính xác cao [9–15]. Bên cạnh đó, phương pháp KNN cũng được cho là mô hình hiệu quả trong ước tính hàm lượng diệp lục của cây trồng [16]. Việc lựa chọn mô hình phù hợp mà có khả năng cải thiện được độ chính xác là cần thiết khi nghiên cứu ước tính hàm lượng diệp lục trên lá của cây trồng. Mô hình SVR cũng được chứng minh là tốt hơn mô hình BP-NN khi ước tính hàm lượng diệp lục của cây táo [17]. Thêm nữa, mô hình RF được nhận định là tốt hơn các mô hình hồi quy tuyến tính đơn biến - *Univariate Linear Regression* (ULR), MLR và SVR trong ước tính hàm lượng diệp lục trên lá cây táo [18]. Tuy nhiên, hiện còn hạn chế về các nghiên cứu so sánh độ chính xác của các phương pháp học máy này trong ước tính hàm lượng diệp lục trên lá lúa [19].

Do đó, bài báo này có các mục tiêu chính sau: (1) Chứng minh hiệu quả của việc kết hợp VIs trong ước tính hàm lượng diệp lục trên lá lúa từ dữ liệu ảnh UAV đa phổ; (2) Đánh giá, lựa chọn mô hình học máy tốt nhất trong ước tính hàm lượng diệp lục trên lá lúa.

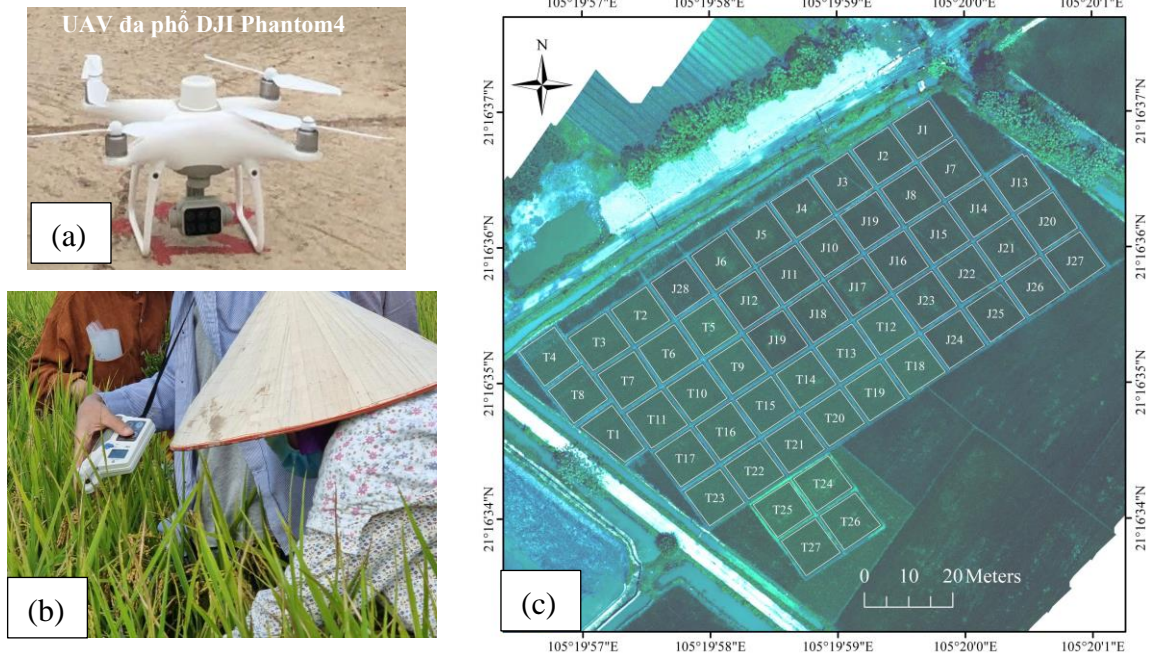
## 2. Phương pháp nghiên cứu và dữ liệu

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

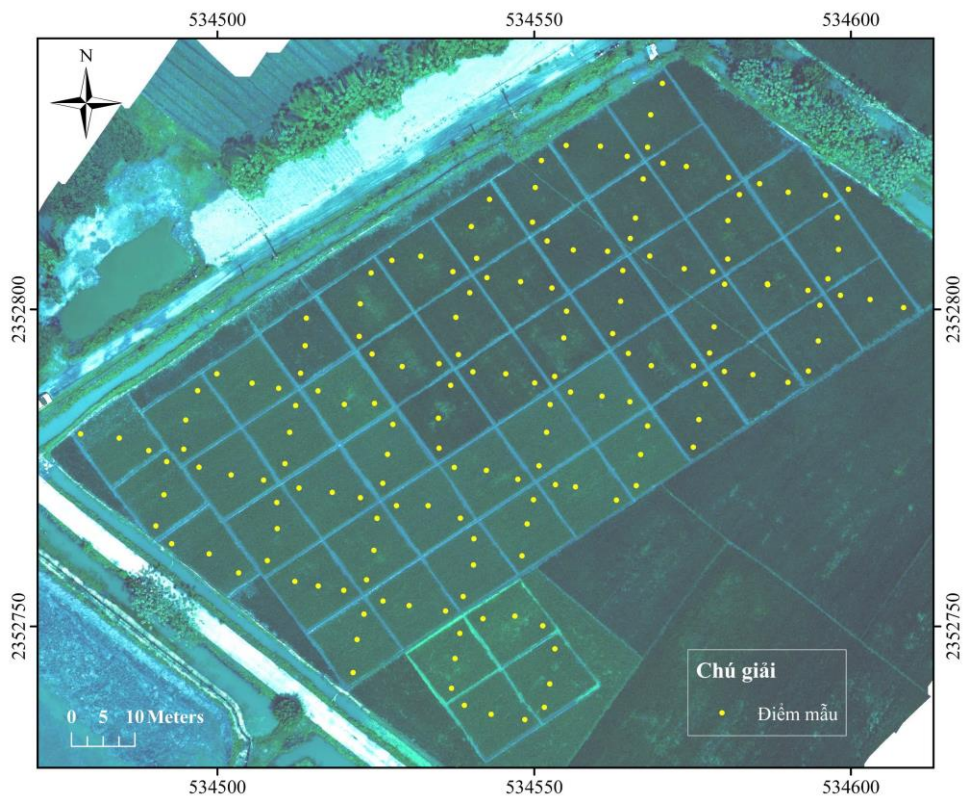
Khu vực thực nghiệm có diện tích 6500m<sup>2</sup>, thuộc khu vực xã Vĩnh Lại, huyện Lâm Thao, tỉnh Phú Thọ. Khu vực thực nghiệm là diện tích đất chuyên trồng lúa, có địa hình bằng phẳng, nằm cạnh mương nước nên thuận tiện cho việc tưới tiêu. Các ô mẫu được thiết kế dạng hình vuông 10m × 10m. Các ô mẫu liền kề được ngăn cách với nhau bởi các bờ có chiều rộng 1m. Trong tổng số 55 ô mẫu, 27 ô trồng giống lúa của địa phương TBR225 (T) và được ký hiệu lần lượt từ T1-T27. Bên cạnh đó, giống lúa Japonica 02 (J) của Nhật Bản được trồng ở 28 ô mẫu và được ký hiệu lần lượt từ J1-J28 (Hình 1c). Ảnh UAV được thu nhận bằng bộ cảm đa phổ, bao gồm các kênh: xanh lục (Blue: 450nm±16nm); xanh lá cây (Green: 560nm±16nm); đỏ (red: 650nm±16nm); rìa đỏ (Red Edge: 730nm±16nm) và cận hồng ngoại (Near - Infrared: 840nm±26nm). Ảnh UAV được thu nhận ngày 19/05/2022 tương ứng với giai đoạn chín sữa của cây lúa. Tuyến bay UAV được thiết kế song song với trục dọc ô ruộng mẫu (từ hướng Tây - Nam sang Đông - Bắc), độ phủ trùm ảnh dọc và ngang đều là 75%, chiều cao bay chụp ảnh 76m, độ phân giải ảnh mặt đất đạt 4cm. Ca bay chụp ảnh UAV được thực hiện trong 09 phút bay (từ 10 giờ 45 phút đến 10 giờ 54 phút) trong điều kiện thời tiết nắng, trời quang mây. Ảnh UAV được nắn chỉnh hình học và chuẩn hóa phản xạ phổ, xử lý và thành lập ảnh trực giao trên phần mềm Agisoft Metashape.

Bên cạnh đó, ở cùng thời điểm chụp ảnh UAV, dữ liệu hàm lượng diệp lục (giá trị SPAD) được đo trực tiếp bằng máy Chlorophyll Meter LCPM-A10 cầm tay (Hình 1b). Các điểm đo

SPAD trên lá lúa được phân bố đều ở các ô mẫu với trị đo ba điểm (Hình 2), giá trị SPAD tại mỗi điểm đo là giá trị trung bình đo được của 03 lá lúa. Máy Chlorophyll Meter LCPM-A10 hoạt động dựa trên nguyên lý đo mức độ hấp thụ ánh sáng của chất diệp lục trong lá tại vùng ánh sáng đỏ (650-660 nm) và gần vùng hồng ngoại (850-880 nm). Do vậy, giá trị SPAD được tính toán dựa trên tỷ lệ mức độ phản xạ giữa kênh đỏ và kênh hồng ngoại, biểu thị hàm lượng diệp lục trong lá cây. Để có cơ sở xác định điểm tương đồng trên ảnh UAV, vị trí lấy mẫu được xác định tọa độ bằng công nghệ GNSS động (Hình 2).



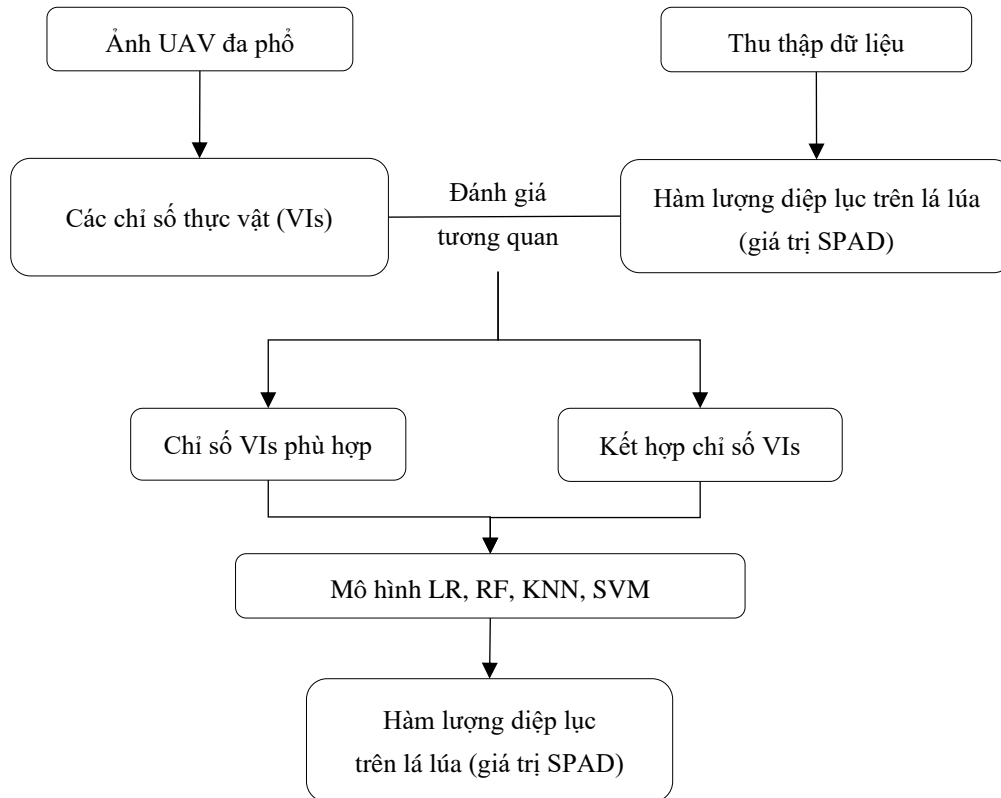
**Hình 1.** Dữ liệu và khu vực nghiên cứu: (a) UAV đa phổ DJI phantom4; (b) đo diệp lục trên lá bằng máy Chlorophyll Meter LCPM-A10; (c) Ảnh UAV chụp ngày 19/05/2022.



**Hình 2.** Phân bố các điểm mẫu.

2.2. Quy trình nghiên cứu

Hình 3 thể hiện chu trình ước tính hàm lượng diệp lục trên lá lúa sử dụng dữ liệu ảnh UAV đa phổ. Ảnh UAV đa phổ được sử dụng để tính VIs. Bên cạnh đó, việc khảo sát thực địa nhằm thu thập hàm lượng chất diệp lục (giá trị SPAD) trên lá bằng máy Chlorophyll Meter LCPM-A1. Tiếp theo đó, phương pháp phân tích tương quan được áp dụng để xác định mối quan hệ giữa VIs với giá trị SPAD nhằm lựa chọn những chỉ số phù hợp trong ước tính hàm lượng diệp lục cho toàn bộ khu vực thực nghiệm. Dựa trên chỉ số đã được lựa chọn, các mô hình học máy LR, KNN, SVR và RF được áp dụng để ước tính hàm lượng diệp lục trên lá lúa. Kết quả ước tính bởi các mô hình được đánh giá mức độ chính xác thông qua hệ số tương quan  $R^2$  của tập mẫu huấn luyện,  $R^2$  tập kiểm tra và sai số trung phương RMSE.



Hình 3. Quy trình ước tính hàm lượng diệp lục trên lá lúa từ dữ liệu ảnh UAV đa phổ.

2.3. Chỉ số thực vật (VIs)

Trong khả năng thu nhận các kênh phổ của ảnh UAV đa phổ, bài báo này sử dụng 17 chỉ số thực vật (Bảng 1).

Bảng 1. Chỉ số VIs.

| TT | Chỉ số                                       | Công thức  | Tham khảo |
|----|--|--|-----------|
| 1  | NIR Shoulder Region Index                    | $NSRI = R_{NIR} / R_{RE}$  | [21]      |
| 2  | Difference Vegetation Index                  | $DVI = R_{NIR} - R_R$  | [22]      |
| 3  | Enhanced Vegetation Index                    | $EVI = 2,5(R_{NIR} - R_R) / (R_{NIR} + 6R_R - 7,5R_B + 1)$             | [23]      |
| 4  | False Color Vegetation Index                 | $FCVI = 1,5(2R_{NIR} + R_B - 2R_G) / (2R_G + 2R_B - 2R_{NIR} + 127,5)$ | [24]      |
| 5  | Green Normalized Difference Vegetation Index | $GNDVI = (R_{NIR} - R_G) / (R_{NIR} + R_G)$                            | [25]      |
| 6  | Leaf Chlorophyll Index                       | $LCI = (R_{NIR} / R_{RE}) - 1$   | [26]      |

|    |  |  |      |
|----|--|--|------|
| 7  | Modified Chlorophyll Absorption in Reflectance Index | $MCARI = R_{RE} - R_R - 0,2(R_{RE} - R_G)R_{RE}/R_R$                     | [27] |
| 8  | Modified Soil Adjusted Vegetation Index              | $MSAVI = 0,5(2R_{NIR} + 1 - \sqrt{(2R_{NIR} + 1)^3 - 8(R_{NIR} - R_R)})$ | [28] |
| 9  | Modified Simple Ratio                                | $MSR = ((R_{NIR}/R_R) - 1)/((R_{NIR}/R_R) + 1)$                          | [29] |
| 10 | Normalized Difference Red Edge Index                 | $NDRE = (R_{NIR} - R_{RE})/(R_{NIR} + R_{RE})$                           | [30] |
| 11 | Normalized Difference Vegetable Index                | $NDVI = (R_{NIR} - R_R)/(R_{NIR} + R_R)$                                 | [31] |
| 12 | Optimized Soil Adjusted Vegetation Index             | $OSAVI = (R_{NIR} - R_R)/(R_{NIR} + R_R + 0,16)$                         | [32] |
| 13 | Photochemical Reflectance Index                      | $PRI = (R_G - R_B)/(R_G + R_B)$  | [33] |
| 14 | Red Edge Chlorophyll Index                           | $RECI = (R_{NIR} - R_{RE})/R_{RE}$                                       | [34] |
| 15 | Ratio Vegetation Index                               | $RVI = R_{NIR}/R_R$  | [22] |
| 16 | Optimized Soil Adjusted Vegetation Index             | $TVI = (R_G - R_R)/(R_G + R_R)$  | [35] |
| 17 | Structure Intensive Pigment Index                    | $SIPI = (R_{NIR} - R_B)/(R_{NIR} + R_B)$                                 | [36] |

Trong đó:  $R_R, R_B, R_G, R_{RE}$  và  $R_{NIR}$  - Giá trị phổ phản xạ tương ứng trên ảnh UAV của các kênh màu đỏ (Red), xanh lục (Blue), xanh dương (Green), kênh rìa đỏ (Rededge) và cận hồng ngoại (Near infrared).

#### 2.4. Mô hình ước tính hàm lượng chất diệp lục

##### 1. Hồi quy tuyến tính (LR)

LR là một trong những mô hình học máy được ứng dụng để mô hình hóa mối quan hệ tuyến tính giữa hàm lượng diệp lục trong lá lúa với các chỉ số thực vật được xây dựng từ ảnh UAV đa phổ. Mô hình hồi quy tuyến tính nhằm mục đích tính toán các hệ số hồi quy mà đảm bảo sai số giữa giá trị mà mô hình ước tính được với giá trị khảo sát thực tế được tối thiểu hóa.

Công thức mô hình hồi quy tuyến tính được thể hiện bằng công thức (1):

$$y = \beta_0 + \sum_{i=1}^n \beta_i x_i + \epsilon \tag{1}$$

Trong đó  $y$  là hàm lượng chất diệp lục được ước tính - giá trị SPAD ước tính;  $x_i$  là chỉ số thực vật đã được lựa chọn;  $\beta_0$  là hằng số;  $\beta_i$  là hệ số hồi quy của chỉ số thực vật đã được lựa chọn;  $\epsilon$  là sai số ngẫu nhiên, phản ánh sự biến thiên không thể giải thích từ các chỉ số thực vật.

##### 2. Mô hình KNN Regression (KNN)

KNN là một thuật toán phi tham số dự đoán biến mục tiêu (hàm lượng diệp lục) dựa trên  $k$  lân cận gần nhất trong không gian các yếu tố độc lập (chỉ số thực vật) [37]. Trong việc ước tính hàm lượng diệp lục trong lá lúa, KNN tìm kiếm  $k$  điểm dữ liệu gần nhất với điểm cần dự đoán và lấy trung bình cộng của các giá trị hàm lượng chất diệp lục từ các láng giềng này nhằm đưa ra kết quả ước tính.

Công thức tổng quát của mô hình KNN được mô tả như sau:

$$y = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^n y_i \tag{2}$$

Trong đó  $y$  là hàm lượng chất diệp lục được ước tính (giá trị SPAD ước tính);  $k$  là số lượng láng giềng gần nhất;  $y_i$  là giá trị hàm lượng chất diệp lục của láng giềng gần nhất.

##### 3. Support Vector Regressor (SVR)

Trong mô hình SVR, mục tiêu là tìm một hàm số  $f(x)$  sao cho sai số giữa giá trị ước tính hàm lượng diệp lục trong lá lúa và giá trị thực tế đã được đo bằng máy Chlorophyll Meter LCPM-A10 (giá trị SPAD) nằm trong một phạm vi chấp nhận được. Mô hình SVR tìm cách xây dựng một hàm hồi quy dưới dạng:

$$f(x) = (w, x) + b = w_1x_1 + w_2x_2 + \dots + w_nx_n + b \tag{3}$$

Trong đó  $f(x)$  là giá trị ước tính hàm lượng chất diệp lục (giá trị SPAD ước tính) dựa trên đặc trưng  $x$ ;  $x = (x_1, x_2, \dots, x_n)$  là vector đặc trưng ứng với các chỉ số thực vật đã lựa chọn;  $w = (w_1, w_2, \dots, w_n)$  là vector trọng số tương ứng với các chỉ số thực vật đã lựa chọn;  $b$  là độ lệch (bias), một tham số điều chỉnh.

4. Random Forest Regressor (RF)

Để ước tính hàm lượng chất diệp lục trong lá lúa, mô hình RF có thể dựa vào một tập hợp các yếu tố như độ ẩm, nhiệt độ, hoặc các chỉ số quang phổ. Dữ liệu về chỉ số thực vật và giá trị SPAD được chia thành các tập con ngẫu nhiên. Dữ liệu được chia làm hai phần: một phần dùng để làm mẫu huấn luyện mô hình, phần còn lại được sử dụng để kiểm tra và tính toán độ tin cậy của mô hình.

$$y = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M f_i(x) \tag{4}$$

Trong đó  $y$  là hàm lượng chất diệp lục ước tính (giá trị SPAD ước tính);  $M$  là số lượng tập con;  $f_i(x)$  là dự đoán của cây  $i$  dựa vào dữ liệu đầu vào  $x$  (các chỉ số thực vật).

5. Đánh giá độ chính xác

Độ chính xác của mô hình được đánh giá bằng hệ số hồi quy bình phương ( $R^2$ ) của tập mẫu huấn luyện và của tập mẫu kiểm tra. Bên cạnh đó, sai số trung phương (RMSE) cũng được sử dụng để đánh giá độ chính xác của mô hình. RMSE được tính theo công thức sau đây:

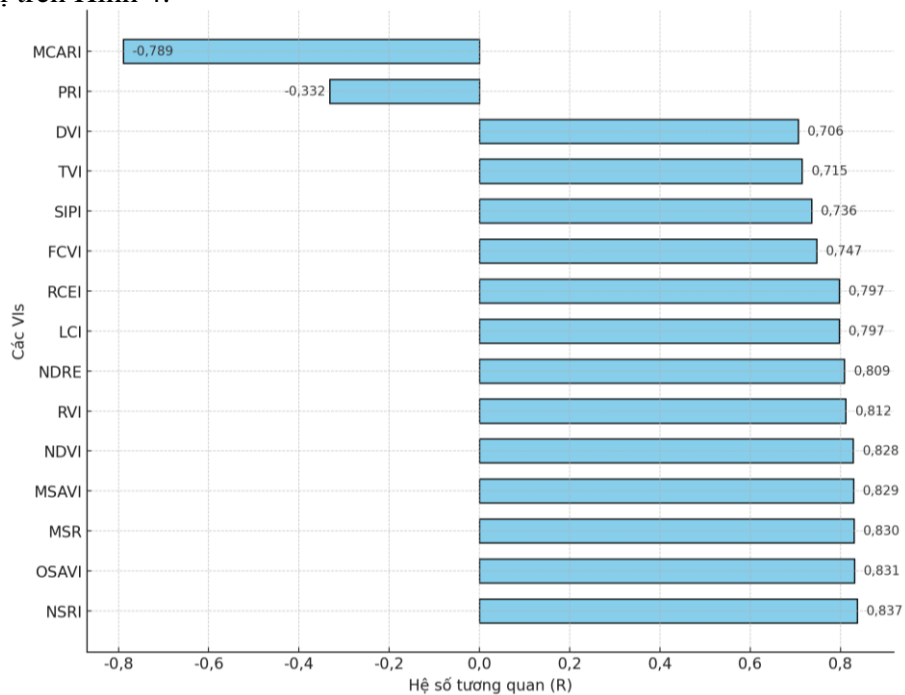
$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - X_i)^2}{n}} \tag{5}$$

Trong đó  $X_i$  là giá trị SPAD đo được trên mẫu thực địa;  $Y_i$  là giá trị SPAD ước tính bằng các mô hình LR, KNN, SVR và RF;  $n$  là số lượng mẫu.

3. Kết quả

3.1. Lựa chọn chỉ số

Hệ số hồi quy là thông số được áp dụng để đánh giá, lựa chọn chỉ số VIs phù hợp nhất trong ước tính hàm lượng diệp lục trong lá lúa. Các hệ số này được xác định dựa trên mức độ tương quan giữa chỉ số VIs với giá trị SPAD thu thập được ở 165 mẫu thực địa, kết quả được biểu thị trên Hình 4.



Hình 4. Hệ số tương quan của các chỉ số VIs với hàm lượng diệp lục.

Hình 4 cho thấy mức độ tương quan giữa từng yếu tố VIs với giá trị SPAD có sự khác biệt. Các chỉ số như NRSI, OSAVI, MSR, MSAVI, NDVI, EVI, RVI, NDRE, LCI, và RCEI đều biểu thị mối tương quan mạnh với hàm lượng chất diệp lục, với các giá trị hệ số tương quan thay đổi trong khoảng từ 0,79 đến 0,84. Điều này chỉ ra rằng khi các chỉ số này gia tăng, hàm lượng diệp lục cũng tăng. Hệ số tương quan cao này cho thấy các chỉ số trên có vai trò đáng kể trong việc ước tính hàm lượng diệp lục. Bên cạnh đó, các chỉ số GNDVI, FCVI, SIPI, TVI, và DVI có mối tương quan trung bình với hàm lượng chất diệp lục, với các hệ số tương quan trong phạm vi từ 0,71 đến 0,79. Mặc dù sự ảnh hưởng của chúng đối với hàm lượng chất diệp lục không mạnh như các chỉ số trong nhóm trước, nhưng chúng vẫn có cần thiết trong việc giải thích sự thay đổi của hàm lượng diệp lục. Ngược lại, các chỉ số PRI, và MCARI lại có mối quan hệ nghịch với hàm lượng diệp lục, với các giá trị tương quan lần lượt là -0,332, và -0,789. Điều này chứng tỏ khi các chỉ số này gia tăng, giá trị hàm lượng chất diệp lục sẽ giảm. Từ những đánh giá kết quả trên, dựa vào hệ số tương quan của giá trị SPAD với các chỉ số VIs có thể xác định được hàm lượng chất diệp lục trên lá lúa bằng chỉ số VIs phù hợp.

Các chỉ số đã được chọn bao gồm NDVI, OSAVI và NSRI, sự lựa chọn này dựa trên cơ sở sau: (1) Chỉ số thực vật phổ biến đã được sử dụng trong các nghiên cứu về diệp lục cây trồng NDVI. Từ Hình 4 có thể thấy được hệ số tương quan của NDVI với hàm lượng diệp lục ở mức cao (0,828). Chỉ số NDVI được đặc biệt áp dụng rất nhiều trong các nghiên cứu đánh giá hàm lượng diệp lục và sự phát triển của thực vật do NDVI rất nhạy với sự thay đổi hàm lượng diệp lục đối với các sự biến đổi trạng thái thực vật; (2) Hai chỉ số thực vật có tương quan mạnh nhất, nhì với hàm lượng chất diệp lục, bao gồm NSRI và OSAVI, hệ số tương quan ở mức rất cao, lần lượt là 0,837 và 0,831. NSRI là một chỉ số phổ biến và hiệu quả trong việc đánh giá sức khỏe thực vật, đặc biệt là trong các môi trường có độ che phủ thực vật cao. Chỉ số này sử dụng các bức xạ trong dải phổ đỏ và đỏ cạnh (*Red-Edge*), nơi có sự thay đổi rõ rệt khi hàm lượng chất diệp lục thay đổi. Bên cạnh đó, OSAVI là một chỉ số tối ưu, điều chỉnh sự tác động của yếu tố khí quyển và giúp tăng độ chính xác khi đánh giá sức khỏe thực vật. OSAVI giảm ảnh hưởng của đất nền trong các vùng có mật độ thực vật thấp hoặc trung bình. Bên cạnh đó, OSAVI có thể được liên kết với các thông số sinh lý khác của cây trồng như hàm lượng diệp lục [38]; (3) Kết hợp hai chỉ số VIs có tương quan cao nhất và nhì với giá trị SPAD - NSRI và OSAVI. Sự kết hợp này nhằm cải thiện chính xác của kết quả ước tính hàm lượng chất diệp lục.

### 3.2. Mô hình ước tính hàm lượng chất diệp lục

Các mô hình học máy LR, KNN, SVR và RF được áp dụng để ước tính hàm lượng diệp lục trên lá lúa bằng các chỉ số NDVI, OSAVI và NSRI đã được lựa chọn. Các mô hình được chạy với bộ dữ liệu gồm 165 mẫu (Hình 2), được chia theo tỉ lệ mẫu huấn luyện: mẫu kiểm tra là 80:20. Các mẫu được trộn ngẫu nhiên để đảm bảo rằng các giá trị điểm mẫu được phân phối đều trong cả mẫu huấn luyện và mẫu kiểm tra. Việc ước tính hàm lượng chất diệp lục trên lá lúa được thực nghiệm với bốn kịch bản tương ứng với 3 nhóm tiêu chí chọn chỉ số đã phân tích trên mục 3.1. Bảng 2 là độ chính xác tương ứng với từng mô hình trong mỗi kịch bản.

**Bảng 2.** Độ chính xác của các mô hình.

| TT | Chỉ số VIs | Tên mô hình | Hệ số tương quan (R <sup>2</sup> ) |                  | RMSE |
|----|------------|-------------|------------------------------------|------------------|------|
|    |            |             | Dữ liệu huấn luyện                 | Dữ liệu kiểm tra |      |
| 1  | NDVI       | LR          | 0,677                              | 0,723            | 2,14 |
|    |            | KNN         | 0,759                              | 0,682            | 2,29 |
|    |            | SVM         | 0,680                              | 0,642            | 2,43 |
|    |            | RF          | 0,947                              | 0,675            | 2,31 |
| 2  | NSRI       | LR          | 0,704                              | 0,680            | 2,44 |
|    |            | KNN         | 0,812                              | 0,668            | 1,94 |



| TT | Chỉ số VIs    | Tên mô hình | Hệ số tương quan (R <sup>2</sup> ) |                  | RMSE |
|----|---------------|-------------|------------------------------------|------------------|------|
|    |               |             | Dữ liệu huấn luyện                 | Dữ liệu kiểm tra |      |
| 3  | OSAVI         | SVM         | 0,742                              | 0,661            | 2,28 |
|    |               | RF          | 0,955                              | 0,593            | 0,94 |
|    |               | LR          | 0,684                              | 0,724            | 2,13 |
|    |               | KNN         | 0,756                              | 0,713            | 2,18 |
|    |               | SVM         | 0,686                              | 0,643            | 2,43 |
|    |               | RF          | 0,945                              | 0,708            | 2,20 |
| 4  | NSRI và OSAVI | LR          | 0,720                              | 0,734            | 2,10 |
|    |               | KNN         | 0,791                              | 0,671            | 2,33 |
|    |               | SVM         | 0,735                              | 0,683            | 2,29 |
|    |               | RF          | 0,957                              | 0,707            | 2,20 |

Trong kịch bản chỉ áp dụng NDVI để ước tính hàm lượng diệp lục, mô hình LR thể hiện có độ chính xác hơn cả, với giá trị R<sup>2</sup> kiểm tra đạt 0,723, đồng thời có sai số RMSE thấp nhất (2,14). Do vậy, mô hình chỉ ra khả năng ước tính tốt và ổn định trên tập mẫu kiểm tra. Mặc dù mô hình KNN có R<sup>2</sup> huấn luyện cao hơn (0,759), nhưng độ chính xác kiểm tra lại thấp hơn so với LR (R<sup>2</sup> kiểm tra chỉ đạt 0,682). Hơn nữa, RMSE của KNN là 2,29, cao hơn so với LR, SVR và RF mặc dù có độ chính xác huấn luyện tốt, nhưng lại gặp hạn chế trong việc tổng quát hóa khi áp dụng trên dữ liệu kiểm tra, với R<sup>2</sup> kiểm tra lần lượt là 0,642 và 0,675, và RMSE lần lượt là 2,43 và 2,31, cao hơn so với LR.

Kịch bản ước tính hàm lượng diệp lục bằng chỉ số NSRI cho thấy R<sup>2</sup> huấn luyện khá cao, lên tới 0,945 với mô hình RF. Tuy nhiên, R<sup>2</sup> lại không cao, giá trị giao động từ 0,593 tới 0,680. Bên cạnh đó, RMSE cao nhất đối với mô hình LR (2,44) và thấp nhất với mô hình RF (0,944). Mô hình RF trong kịch bản này có kết quả RMSE tốt nhất nhưng có R<sup>2</sup> kiểm tra lại thấp nhất nên cũng không được xem là giải pháp tốt trong ước tính hàm lượng diệp lục.

Tương tự như trong kịch bản đầu tiên, kịch bản sử dụng chỉ số thực vật OSAVI, mô hình LR cũng cho thấy độ chính xác tốt nhất khi có R<sup>2</sup> kiểm tra cao nhất (0,724) và RMSE thấp nhất (2,13). Mặc dù mô hình KNN cho thấy độ chính xác kiểm tra khá cao (R<sup>2</sup> kiểm tra = 0,713), nhưng sai số RMSE của mô hình này (2,18) vẫn cao hơn so với LR. RF và SVR tiếp tục không đạt được kết quả cao về độ chính xác kiểm tra, với R<sup>2</sup> kiểm tra lần lượt là 0,708 và 0,643, và RMSE cao hơn (2,20 và 2,43).

Trong kịch bản cuối cùng, hàm lượng chất diệp lục được ước tính khi kết hợp chỉ số NSRI và OSAVI. Trong kịch bản này, LR tiếp tục duy trì vị trí có độ chính xác tốt nhất với R<sup>2</sup> kiểm tra cao nhất (0,734) và RMSE thấp nhất (2,10). RF có R<sup>2</sup> huấn luyện cao (0,957), nhưng độ chính xác của mô hình này trên mẫu kiểm tra lại không tốt, khi R<sup>2</sup> kiểm tra chỉ đạt 0,707 và RMSE là 2,20. KNN và SVR có hiệu suất kiểm tra thấp hơn nhiều so với LR, với R<sup>2</sup> kiểm tra lần lượt là 0,671 và 0,683, cùng RMSE lần lượt là 2,33 và 2,29, cho thấy các mô hình này không phù hợp với mẫu kiểm tra.

### 3.3. Đánh giá hàm lượng chất diệp lục trong lá lúa

Từ phân tích ở mục 3.2, hàm lượng diệp lục tương đối trên lá lúa được xác định tốt nhất khi kết hợp OSAVI với NSRI, bằng phương pháp LR. Bảng 3 là kết quả phân tích LR đối với kịch bản kết hợp chỉ số OSAVI với chỉ số NSRI.

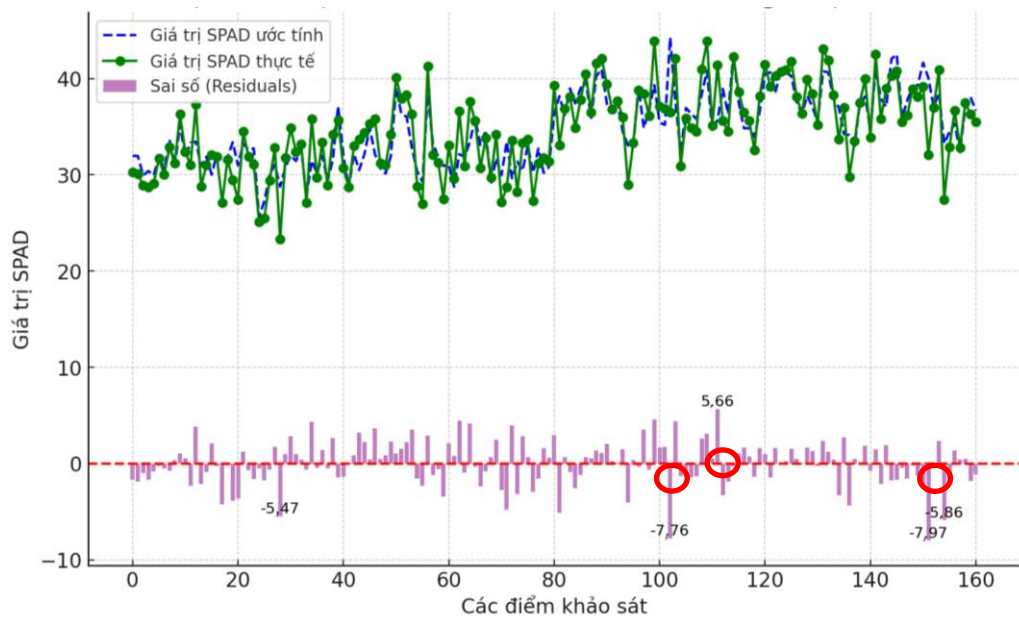
**Bảng 3.** Kết quả mô hình LR trong ước tính hàm lượng diệp lục.

|                           | Hệ số hồi quy (β) | Độ lệch chuẩn (Std.Err) | Thống kê kiểm định t | Giá trị xác suất: P> t | Khoảng tin cậy 95% ([0,025, 0,975]) |          |
|---------------------------|-------------------|-------------------------|----------------------|------------------------|-------------------------------------|----------|
|                           |                   |                         |                      |                        | [0,025                              | 0,975]   |
| Hằng số (β <sub>0</sub> ) | -22,2815          | 4,4586                  | -4,9973              | 1,5269                 | -31,0878                            | -13,4752 |
| OSAVI                     | 40,3567           | 11,4467                 | 3,5256               | 0,0006                 | 17,7483                             | 62,9650  |
| NSRI                      | 36,6640           | 8,5554                  | 4,2854               | 0,0000                 | 19,7663                             | 53,5617  |

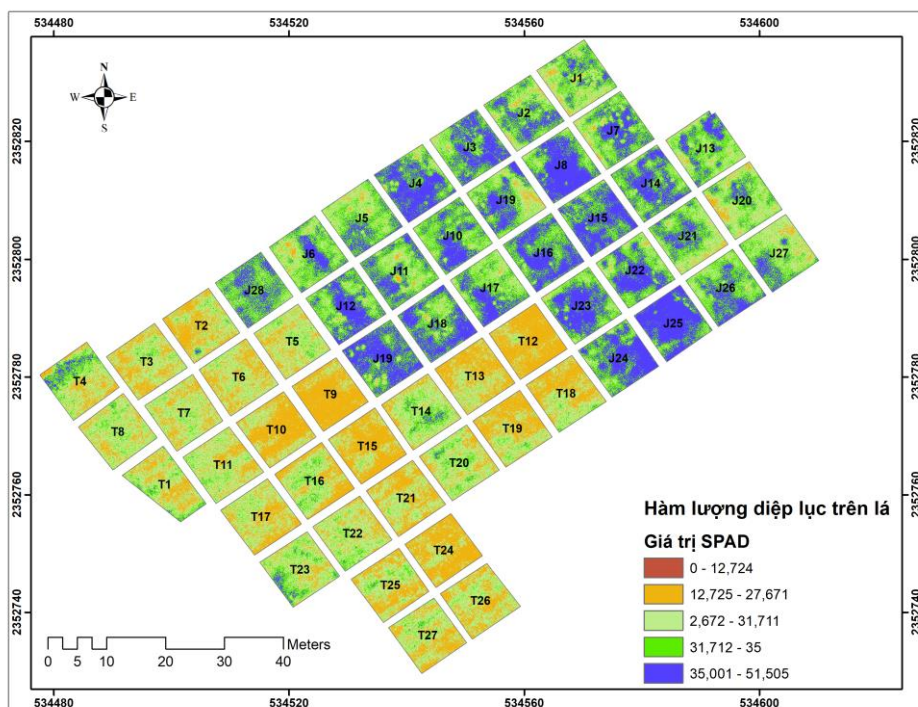
Ngoài giá trị  $R^2$  và RMSE của mô hình LR với kịch bản kết hợp OSAVI và NSRI đạt giá trị cao (Bảng 2), Bảng 3 còn thể hiện rằng, giá trị Std.Er, t, p và khoảng tin cậy trong mô hình LR ước tính hàm lượng diệp lục cũng đạt độ chính xác cao, đảm bảo có ý nghĩa về mặt thống kê. Do vậy, với kết quả có trong Bảng 3, hàm lượng diệp lục trên lá lúa được ước tính theo hàm hồi quy sau đây:

$$\text{Hàm lượng diệp lục} = -22,2815 + 36,6640 \times \text{NSRI} + 40,3567 \times \text{OSAVI} \quad (6)$$

Mô hình LR đạt độ chính xác thống kê và sai số trung phương tổng thể của cả mô hình RMSE (2,1), sai số của các điểm khảo sát cũng được đánh giá như trên Hình 5. Trong Hình 5 chúng ta có thể thấy đa số các điểm khảo sát có sai số thấp, ngoại trừ một số điểm như điểm 102: Sai số lớn (-7,76), điểm 111: Sai số đáng kể (5,66) và điểm 151: Sai số lớn (-7,97). Ở vị trí những điểm này, lúa bị đập do công tác đi thực địa lấy mẫu lá và đo phổ mặt đất tại các lần đo trước.



Hình 5. Sai số các điểm khảo sát.



Hình 6. Hàm lượng diệp lục trên lá lúa ở giai đoạn chín sủa.

Hình 6 thể hiện kết quả ước tính hàm lượng diệp lục trên lá lúa ở giai đoạn chín sữa, qua đây có thể chỉ ra rằng giống lúa J có hàm lượng diệp lục cao hơn giống lúa T. Giống lúa J có hàm lượng diệp lục trên lá có giá trị nằm trong khoảng 31,7112 - 51,505. Trong khi đó, giống lúa T có giá trị diệp lục chỉ khoảng 12,725 - 31,711.

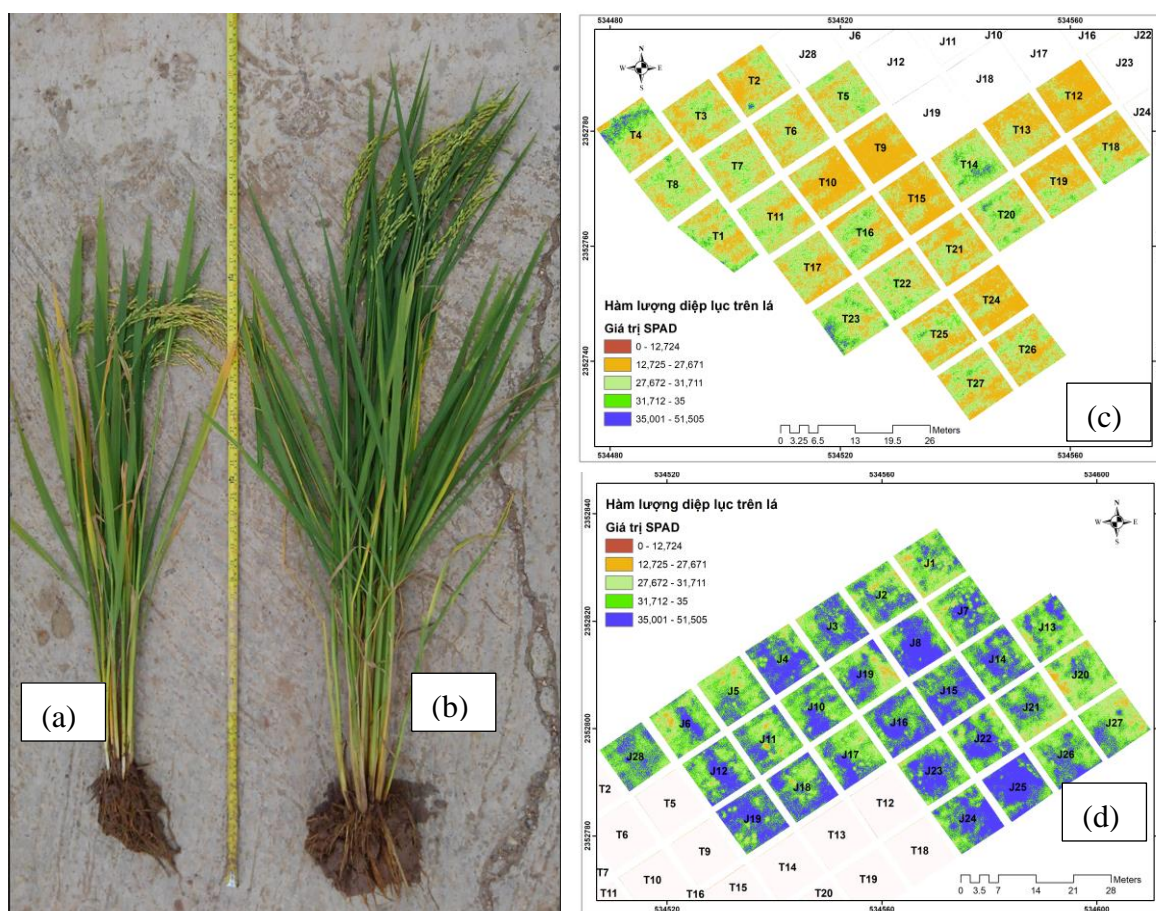
#### 4. Thảo luận

Việc kết hợp chỉ số VIs có vai trò thiết yếu trong việc nâng cao độ chính xác của các mô hình ước tính hàm lượng diệp lục trên lá lúa. Các chỉ số NDVI và OSAVI đã được nhiều nghiên cứu sử dụng để ước tính hàm lượng diệp lục [39–41]. Trong khi đó, chưa có nghiên cứu nào sử dụng chỉ số NSRI. Kịch bản tích hợp NSRI với OSAVI trong việc ước tính hàm lượng diệp lục bằng các mô hình LR, KNN, SVR và RF đã chỉ ra rằng chỉ số NSRI giúp tối ưu hóa hàm lượng diệp lục cần ước tính và nâng cao khả năng khái quát của mô hình. Kết hợp NSRI với chỉ số OSAVI trong kịch bản nghiên cứu giúp tăng độ chính xác của mô hình trên tập mẫu kiểm tra. Cụ thể, trong trường hợp của LR, mô hình sử dụng NSRI cho kết quả cao hơn trong việc ước tính các giá trị kiểm tra với  $R^2$  đạt 0,734 và RMSE là 2,10, thấp hơn so với các kịch bản chỉ sử dụng NDVI hoặc OSAVI. Trong các mô hình, mặc dù RF có thể đạt được độ chính xác huấn luyện rất cao, nhưng khi áp dụng vào mẫu kiểm tra, mô hình này đôi khi gặp phải vấn đề về khả năng tổng quát, thể hiện qua  $R^2$  kiểm tra và RMSE không đạt mức tối ưu. Tuy nhiên, khi kết hợp NSRI vào mô hình, có thể làm giảm hiện tượng overfitting (quá khớp với dữ liệu huấn luyện), từ đó nâng cao khả năng ước tính chính xác trên dữ liệu kiểm tra. Hơn nữa, việc kết hợp NSRI với OSAVI làm phong phú thêm các đặc trưng biểu thị đến hàm lượng diệp lục được sử dụng đối với các mô hình LR, KNN, SVR và RF. Điều này tạo ra một tập hợp đặc trưng đa dạng, giúp mô hình có thể được học tốt hơn, nhất là khi phải xử lý các dữ liệu phức tạp hoặc có tính chất không tuyến tính. Các mô hình như KNN và SVR có thể gặp hạn chế khi xử lý dữ liệu với tính đa dạng cao, sẽ trở lên hiệu quả hơn khi bổ sung thêm NSRI, giúp tăng độ chính xác của mô hình. Như vậy, kịch bản kết hợp chỉ số NSRI và OSAVI giúp nâng cao độ chính xác của việc ước tính hàm lượng diệp lục trên lá lúa.

Khi đánh giá các mô hình dựa trên các thông số như  $R^2$  và RMSE, mô hình LR có giá trị cao nhất trong bốn kịch bản thử nghiệm. Cụ thể, đối với NDVI, OSAVI, NSRI và NSRI kết hợp OSAVI, LR đều có độ chính xác cao trên mẫu kiểm tra ( $R^2$  kiểm tra) và sai số RMSE thấp nhất, phản ánh khả năng tổng quát và ước tính tốt. Trong khi đó, mặc dù RF và KNN đạt độ chính xác huấn luyện cao hơn, nhưng  $R^2$  trên dữ liệu kiểm tra và RMSE của chúng lại không tốt bằng LR. Đặc biệt, mô hình RF mặc dù có  $R^2$  huấn luyện rất cao, nhưng lại không đạt được kết quả tốt đối với dữ liệu kiểm tra với  $R^2$  thấp hơn và RMSE cao hơn. Do đó, mô hình LR là lựa chọn phù hợp nhất vì có khả năng ước tính chính xác trên cả mẫu huấn luyện và kiểm tra.

Hàm lượng diệp lục có thể thay đổi đáng kể giữa các giống lúa khác nhau với các điều kiện môi trường khác nhau [42]. Hình 7c chỉ ra rằng giống lúa T có hàm lượng diệp trên lá thấp hơn ngưỡng phù hợp trong giai đoạn chín sữa, giá trị SPAD đã xác định rằng giá trị SPAD dưới 35 đơn vị thường được cho là là giá trị quan trọng cho thấy nhu cầu bón đạm cho lúa để đạt sự phát triển tối ưu của hạt [43]. Giá trị SPAD của giống lúa T thấp có thể do giống lúa T đang ở giai đoạn chín sữa muộn, gần bước sang giai đoạn thu hoạch (Hình 7a). Giá trị SPAD của giống lúa T cũng có thể biểu hiện sức khỏe của lúa đang trong tình trạng thiếu phân bón cần thiết và phù hợp trong giai đoạn này. Ngược với giống lúa T, Hình 7d lại cho ta thấy giống lúa J đạt ngưỡng tốt, với giá trị SPAD của giống Japonica vùng ôn đới lớn hơn 37,2 [42]. Bên cạnh đó, nghiên cứu [44] cho rằng giá trị SPAD là 45,57 đối với sữa sớm và 35,91 đối với giai đoạn sữa muộn. Hình 5b cho thấy lúa J đang ở giai đoạn chín sữa sớm. Giá trị SPAD ở ngưỡng này là điều kiện quan trọng để đảm bảo mức nitơ đầy đủ và tăng cường sự phát triển của hạt khỏe mạnh [44]. Với sự khác biệt về hàm lượng diệp lục của hai giống lúa T và J, người nông dân cần bón đạm đối với giai đoạn chín sữa sớm để duy trì hàm lượng

diệp lục cần thiết trước khi bước sang giai đoạn chuyên hóa và tích lũy tinh bột của hạt. Bên cạnh đó, lúa cũng cần được bón kali với giai đoạn chín sữa muộn để tối ưu hóa sự tích lũy tinh bột của hạt hướng tới năng suất lúa cao nhất. Giống lúa J có tích lũy diệp lục cao hơn cũng là cơ sở quan trọng để người nông dân lựa chọn giống J được trồng rộng rãi cho những khu vực tương tự về yếu tố tự nhiên, môi trường của khu vực xã Vĩnh Lại, huyện Lâm Thao, tỉnh Phú Thọ.



Hình 7. Lúa ở giai đoạn chín sữa: (a) giống lúa TBR225 (T), (b) giống lúa Japonica 02 (J).

## 5. Kết luận

Nhờ có kênh ảnh cận hồng ngoại, ảnh UAV đa phổ đã trở thành dữ liệu hiệu quả trong ước tính hàm lượng diệp lục trên lá thông qua các ảnh chỉ số VIs. Trong số các chỉ số VIs mà bài báo thực nghiệm, chỉ số NSRI được xác định là chỉ số mới hiệu quả trong ước tính hàm lượng diệp lục trên lá lúa của giống J và T tại khu vực thực nghiệm tại xã Vĩnh Lại, huyện Lâm Thao, tỉnh Phú Thọ. Bên cạnh đó, sử dụng kết hợp chỉ số VIs, cụ thể là chỉ số OSAVI kết hợp với NSRI giúp cải thiện độ chính xác khi ước tính hàm lượng diệp lục trên lá lúa từ ảnh UAV đa phổ.

Mô hình LR là mô hình tối ưu nhất trong số các mô hình học máy LR, KNN, SVR, và RF được sử dụng để ước tính hàm lượng diệp lục tại khu vực thực nghiệm. Kết quả của bài báo này chỉ ra rằng giống lúa J có hàm lượng diệp lục trên lá cao hơn giống lúa T, giá trị SPAD giao động từ 31,7112 - 51,505. Điều này cho thấy các giống lúa J có hiệu quả sản xuất diệp lục cao hơn giống lúa T.

Kết quả của bài báo là cơ sở tin cậy để ứng dụng các chỉ số VIs từ ảnh UAV trong xác định hàm lượng diệp lục cho các khu vực trồng lúa với diện tích lớn. Hàm lượng diệp lục trên lá khác nhau ở từng giống lúa cũng giúp việc lựa chọn giống lúa và quản lý việc bón phân hiệu quả nhằm tối ưu hóa năng suất lúa.

Bên cạnh những kết quả mà bài báo đạt được, bài báo còn tồn tại những hạn chế khi chỉ thực nghiệm ước tính được hàm lượng diệp lục trên lá thời kỳ chín sữa của vụ mùa trên hai giống lúa T và J. Để khắc phục được tồn tại này ở các nghiên cứu trong tương lai, dữ liệu mẫu diệp lục, ảnh bay chụp và phương pháp cần được thu thập và thực nghiệm ở nhiều giai đoạn sinh trưởng và phát triển của những giống lúa khác nhau.

**Đóng góp của tác giả:** Xây dựng ý tưởng nghiên cứu; Thu thập, xử lý số liệu: P.T.L., L.V.C.; Phân tích kết quả; Viết bản thảo bài báo, chỉnh sửa bài báo: P.T.L.

**Lời cảm ơn:** Nghiên cứu này được hỗ trợ bởi đề tài mã số T24–30 của Trường đại học Mở - Địa chất do NCS. Lê Văn Cảnh chủ trì.

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

### Tài liệu tham khảo

1. Sikuku, P.; Onyango, G.N.C.; Musyimi, P.D.M. Chlorophyll fluorescence, protein and chlorophyll content of three nerica rainfed rice varieties under varying irrigation regimes. *ARPN J. Agric. Biol. Sci.* **2010**, *2*, 19–25.
2. Shimono, H.; Hasegawa, T.; Fujimura, S.; Iwama, K. Responses of leaf photosynthesis and plant water status in rice to low water temperature at different growth stages. *Field Crops Res.* **2004**, *89(1)*, 71–83.
3. Mina, U.; Chandrashekara, T.K.; Kumar, S.N.; Meena, M.C.; Yadav, S.; Tiwari, S.; Singh, D.; Kumar, P.; Kumar, R. Impact of particulate matter on basmati rice varieties grown in Indo–Gangetic Plains of India: Growth, biochemical, physiological and yield attributes. *Atmos. Environ.* **2018**, *188*, 174–184.
4. Feng, H.; Chen, G.; Xiong, L.; Liu, Q.; Yang, W. Accurate Digitization of the Chlorophyll Distribution of Individual Rice Leaves Using Hyperspectral Imaging and an Integrated Image Analysis Pipeline. *Front Plant Sci.* **2017**, *8*, 1238.
5. Duan, B.; Fang, S.; Zhu, R.; Wu, X.; Wang, S.; Gong, Y.; Peng, Y. Remote Estimation of Rice Yield With Unmanned Aerial Vehicle (UAV) Data and Spectral Mixture Analysis. *Front Plant Sci.* **2019**, *10*, 204.
6. Jia, Y.; Zhang, H.; Zhang, X.; Su, Z. Quantitative analysis and hyperspectral remote sensing inversion of rice canopy SPAD in a cold region. *Eng. Agric.* **2022**, *42(4)*, e20220030.
7. Kooistra, L.; Clevers, J.G.P.W. Estimating potato leaf chlorophyll content using ratio vegetation indices. *Remote Sens. Lett.* **2016**, *7(6)*, 611–620.
8. Ban, S.; Liu, W.; Tian, M.; Wang, Q.; Yuan, T.; Chang, Q.; Li, L. Rice leaf chlorophyll content estimation using UAV-based spectral images in different regions. *Agronomy* **2022**, *12(11)*, 2832.
9. Deng, L.; Mao, Z.; Li, X.; Hu, Z.; Duan, F.; Yan, Y. UAV-based multispectral remote sensing for precision agriculture: A comparison between different cameras. *ISPRS J. Photogramm. Remote Sens.* **2018**, *146*, 124–136.
10. Zhang, S.; Zhao, G.; Lang, K.; Su, B.; Chen, X.; Xi, X.; Zhang, H. Integrated satellite, unmanned aerial vehicle (UAV) and ground inversion of the SPAD of winter wheat in the reviving stage. *Sensors* **2019**, *19(7)*, 1485.
11. Wang, J.; Zhou, Q.; Shang, J.; Liu, C.; Zhuang, T.; Ding, J.; Xian, Y.; Zhao, L. Wang, W.; Zhou, G.; Tan, C.; Huo, Z. UAV– and machine learning–based retrieval of wheat SPAD values at the overwintering stage for variety screening. *Remote Sens.* **2021**, *13(24)*, 5166.
12. Nio, S.A.; Pirade, M.; Ludong, D.P.M. Leaf chlorophyll content in North Sulawesi (Indonesia) local rice cultivars subjected to polyethylene glycol (PEG) 8000–induced water deficit at the vegetative phase. *Biodiversitas J. Biological Diversity.* **2019**, *20(9)*, 2462–2467.

13. Meher; Shivakrishna, P.; Ashok Reddy, K.; Manohar Rao, D. Effect of PEG–6000 imposed drought stress on RNA content, relative water content (RWC), and chlorophyll content in peanut leaves and roots. *Saudi J Biol Sci.* **2018**, *25*(2), 285–289.
14. Ziyang, Y.; Zhang, X.; Liu, H.; Zhang, Z.; Meng, L.; Han, Y.; Lu, L. Improving SPAD spectral estimation accuracy of rice leaves by considering the effect of leaf water content. *Crop Sci.* **2022**, *62*(6), 2382–2395.
15. Yin, Q.; Zhang, Y.; Li, W.; Wang, J.; Wang, W.; Ahmad, I.; Zhou, G.; Huo, Z. Estimation of winter wheat SPAD values based on UAV multispectral remote sensing. *Remote Sens.* **2023**, *15*(14), 3595.
16. Kumar, C.; Mubvumba, P.; Huang, Y.; Dhillon, J.; Reddy, K. Multi-stage corn yield prediction using high-resolution UAV multispectral data and machine learning models. *Agronomy* **2023**, *13*(5), 1277.
17. Li, C.; Zhu, X.; Wei, Y.; Cao, S.; Guo, X.; Yu, X.; Chang, C. Estimating apple tree canopy chlorophyll content based on Sentinel-2A remote sensing imaging. *Sci Rep.* **2018**, *8*(1), 3756.
18. Ta, N.; Chang, Q.; Zhang, Y. Estimation of apple tree leaf Chlorophyll content based on machine learning methods. *Remote Sens.* **2021**, *13*(19), 3902.
19. An, G.; Xing, M.; He, B.; Liao, C.; Huang, X.; Shang, J.; Kang, H. Using machine learning for estimating rice Chlorophyll content from in situ hyperspectral data. *Remote Sens.* **2020**, *12*(18), 3104.
20. Gao, B.C. NDWI—A normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space. *Remote Sens. Environ.* **1996**, *58*(3), 257–266.
21. Liu, L.Y.; Huang, W.J.; Pu, R.L.; Wang, J.H. Detection of internal leaf structure deterioration using a new spectral ratio index in the near-infrared shoulder region. *J. Integr. Agric.* **2014**, *13*(4), 760–769.
22. Jordan, C.F. Derivation of leaf-area index from quality of light on the forest floor. *Ecol.* **1969**, *50*(4), 663–666.
23. Huete, A.; Didan, K.; Miura, T.; Rodriguez, E.P.; Gao, X.; Ferreira, L.G. Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices. *Remote Sens. Environ.* **2002**, *83*(1), 195–213.
24. Jiang, J.; Cai, W.; Zheng, H.; Cheng, T.; Tian, Y.; Zhu, Y.; Ehsani, R.; Hu, Y.; Niu, Q.; Gui, L.; Yao, X. Using Digital Cameras on an Unmanned Aerial Vehicle to Derive Optimum Color Vegetation Indices for Leaf Nitrogen Concentration Monitoring in Winter Wheat. *Remote Sens.* **2019**, *11*(22), 2667.
25. Buschmann, C.; Nagel, E. In vivo spectroscopy and internal optics of leaves as basis for remote sensing of vegetation. *Int. J. Remote Sens.* **1993**, *14*(4), 711–722.
26. Gitelson, A.A.; Gritz, Y.; Merzlyak, M.N. Relationships between leaf chlorophyll content and spectral reflectance and algorithms for non-destructive chlorophyll assessment in higher plant leaves. *J. Plant Physiol.* **2003**, *160*(3), 271–282.
27. Daughtry, C.S.T.; Walthall, C.L.; Kim, M.S.; de Colstoun, E.B.; McMurtrey, J.E. Estimating corn leaf chlorophyll concentration from leaf and canopy reflectance. *Remote Sens. Environ.* **2000**, *74*(2), 229–239.
28. Qi, J.; Chehbouni, A.; Huete, A.R.; Kerr, Y.H.; Sorooshian, S. A modified soil adjusted vegetation index. *Remote Sens. Environ.* **1994**, *48*(2), 119–126.
29. Chen, J.M. Evaluation of vegetation indices and a modified simple ratio for boreal applications. *Can. J. Remote Sens.* **1996**, *22*(3), 229–242.
30. Gamon, J.A.; Surfus, J.S. Assessing leaf pigment content and activity with a reflectometer. *New Phytol.* **1999**, *143*(1), 105–117.
31. Rouse, J.W.; Haas, R.H.; Schell, J.A.; Deering, D.W. Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS (Earth Resources Technology Satellite). Proceedings

- of 3<sup>rd</sup> Earth Resources Technology Satellite Symposium. NASA: Greenbelt, 1973, pp. 309–317.
32. Rondeaux, G.; Steven, M.; Baret, F. Optimization of soil-adjusted vegetation indices. *Remote Sens. Environ.* **1996**, *55*(2), 95–107.
  33. Gamon, J.A.; Serrano, L.; Surfus, J.S. The photochemical reflectance index: an optical indicator of photosynthetic radiation use efficiency across species, functional types, and nutrient levels. *Oecologia.* **1997**, *112*(4), 492–501.
  34. Gitelson, A.; Merzlyak, M.N. Quantitative estimation of chlorophyll-a using reflectance spectra: Experiments with autumn chestnut and maple leaves. *J. Photochem. Photobiol., B: Biology.* **1994**, *22*(3), 247–252.
  35. Broge, N.H.; Leblanc, E. Comparing prediction power and stability of broadband and hyperspectral vegetation indices for estimation of green leaf area index and canopy chlorophyll density. *Remote Sens. Environ.* **2001**, *76*(2), 156–172.
  36. Peñuelas, J.; Gamon, J.A.; Fredeen, A.L; Merino, J.; Field, C.B. Reflectance indices associated with physiological changes in nitrogen- and water-limited sunflower leaves. *Remote Sens. Environ.* **1994**, *48*(2), 135–146.
  37. Kutylowska, M. K-nearest neighbours method as a tool for failure rate prediction. *Periodica Polytechnica Civil Eng.* **2018**, *62*(2), 318–322.
  38. Vincini, M.; Frazzi, E. Comparing narrow and broad-band vegetation indices to estimate leaf chlorophyll content in planophile crop canopies. *Precis. Agric.* **2010**, *12*(3), 334–344.
  39. Xu, X.; Gu, X.; Song, X.; Li, C.; Huang, W. Assessing rice chlorophyll content with vegetation indices from hyperspectral data. Computer and Computing Technologies in Agriculture IV (CCTA 2010). 2010.
  40. Wu, C.; Niu, Z.; Tang, Q.; Huang, W. Estimating chlorophyll content from hyperspectral vegetation indices: Modeling and validation. *Agric. For. Meteorol.* **2008**, *148*(8–9), 230–241.
  41. Zarco-Tejada, P.J.; Miller, J.R.; Morales, A.; Berjón, A.; Agüera, J. Hyperspectral indices and model simulation for chlorophyll estimation in open-canopy tree crops. *Remote Sens. Environ.* **2004**, *90*(4), 463–476.
  42. Karn, E.; De Leon, T.; Espino, L.; Al-Khatib, K.; Brim-DeForest, W. Phenotypic diversity of weedy rice (*Oryza sativa*f.spontanea) biotypes found in California and implications for management. *Weed Sci.* **2020**, *68*(5), 485–495.
  43. Tao, Y.; Zhang, J.; Song, L.; Cai, C.; Wang, D.; Wei, W.; Gu, X.; Yang, X.; Zhu, C. Projected elevated [CO<sub>2</sub>] and warming result in overestimation of SPAD-based rice leaf nitrogen status for nitrogen management. *Atmosphere* **2021**, *12*(12), 1571.
  44. Wan, W.; Zhao, Y.; Xu, J.; Liu, K.; Guan, S.; Chai, Y.; Cui, H.; Wu, P.; Diao, M. Reducing and delaying nitrogen recommended by leaf critical SPAD value was more suitable for nitrogen utilization of spring wheat under a new type of drip-irrigated system. *Atmosphere* **2022**, *12*(10), 2331.

## **Estimating chlorophyll content in rice leaves using vegetation indices derived from multispectral UAV imagery**

**Lan Pham Thi<sup>1\*</sup>, Canh Le Van<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Hanoi University of Mining and Geology; phamthilan@humg.edu.vn;  
levancanh@humg.edu.vn

**Abstract:** Estimating chlorophyll content in rice leaves is crucial for monitoring crop growth and optimizing fertilizer management to enhance rice yield. In this study, chlorophyll content was estimated using vegetation indices (VIs) derived from UAV multispectral imagery. NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), OSAVI (Optimized Soil Adjusted Vegetation Index), and NSRI (NIR Shoulder Region Index) were identified as optimal indices based on their correlation with chlorophyll content (SPAD values) measured in the field. Chlorophyll content was estimated using VIs through various machine learning models, including Linear Regression (LR), Random Forest (RF), K-Nearest Neighbor Regression (KNN), and Support Vector Regression (SVR). The combination of NSRI and OSAVI yielded the best results, with the LR model demonstrating higher accuracy compared to other models. The findings indicate that combining VIs from UAV multispectral imagery with the LR model improves the accuracy of chlorophyll content estimation in rice leaves. These results provide a reliable basis for applying this method to large-scale areas, guiding fertilizer management to optimize rice productivity.

**Keywords:** Chlorophyll content (SPAD value); Vegetation indices (VIs); UAV; Rice.



# Table of content

- 1** Loc, N.L.; Sang, N.T.; Thuy, N.T.T. Fault activity in Kon Plong area, Kon Tum Province and neighboring area. *J. Hydro-Meteorol.* **2025**, *773*, 1–14.
- 15** Thang, L.V. Identification and qualification pollution sources of surface water in Long An Province, Mekong Delta. *J. Hydro-Meteorol.* **2025**, *773*, 15–30.
- 31** Bang, N.T.; Kien, T.B.; Nam, N.D.; Thuc, T.D. Application of blending techniques to improve the initial conditions for the wrf model in typhoon forecasting over the bien dong sea. *J. Hydro-Meteorol.* **2025**, *773*, 31–39.
- 40** Ninh, L.V.; Toan, N.T.; Tuan, N.C.; Duong, P.T.T.; Tuan, N.H.; Van, C.T. Researching the level of riverbank erosion using an empirical formula: A case study at Tien River section in Cho Moi, An Giang Province. *J. Hydro-Meteorol.* **2025**, *773*, 40–49.
- 50** Dung, H.M.; Quoc, T.T. Assessing the current situation and proposing economic technical solutions to reduce water loss at Tan hoa water supply Joint Stock company (belong to Sawaco). *J. Hydro-Meteorol.* **2025**, *773*, 50–64.
- 65** Tam, L.T.T.; Sang, N.V. The effect of the crustal motion on the coordinate transformation parameters. *J. Hydro-Meteorol.* **2025**, *773*, 65–74.
- 75** Duc, T.A.; Dung, P.T.; Quan, D.D.; Nam, H.G.; Quynh, N.T.N.; Giang, P.T.; Linh, P.M.; Hung, M.K.; Tien, D.D. An the uses of input from forecasts of high-resolution global and regional ensemble models for flow forecasting in the Thao River basin in the period 2022-2023. *J. Hydro-Meteorol.* **2025**, *773*, 75–87.
- 88** Lan, P.T.; Canh, L.V. Estimating chlorophyll content in rice leaves using vegetation indices derived from multispectral UAV imagery. *J. Hydro-Meteorol.* **2025**, *773*, 88–102.