

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 755

11-2023



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 TNHH Đầu Tư Nông Nghiệp Việt Nam
ĐT: 0243.5624399

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

Giá bán: 40.000 đồng

TẠP CHÍ KHÍ TƯỢNG THỦY VĂN
SỐ 755 - 11/2023

MỤC LỤC

Bài báo khoa học

- Nguyễn Vinh Thư, Bùi Thị Khánh Hòa, Nguyễn Minh Cường, Hoàng Thị Thanh Thuật, Nguyễn Thị Hoàng Anh:** Ước tính lượng mưa sử dụng dữ liệu vệ tinh Himawari-8 dựa trên mô hình học máy Random Forest
- Nguyễn Hoàng Khuyên, Nguyễn Thị Nụ, Bùi Trường Sơn:** Phân tích khả năng mất ổn định đường bờ sông Tiền qua huyện Cái Bè, tỉnh Tiền Giang
- Vũ Thị Minh Nguyệt, Đoàn Thế Anh:** Ứng dụng phương pháp muối hòa tan xác định lưu lượng dòng chảy trên các vùng núi cao miền Bắc Việt Nam
- Ngô Nam Thịnh, Nguyễn Thị Bẩy:** Nghiên cứu xác định trường sóng ven bờ khu vực Bãi Dài – Cam Ranh bằng mô hình toán
- Văn Hữu Huệ:** Nghiên cứu đánh giá và đề xuất giải pháp công trình chống sạt lở bờ sông Bến Tre
- Nguyễn Thị Quỳnh Trang, Nguyễn Thị Hoa:** Nghiên cứu xác định hàm lượng As (III), As (V) trong bụi đường khu vực nhà máy phối trộn bê tông tại thành phố Hồ Chí Minh bằng phương pháp chiết lỏng – lỏng dựa trên cơ chế tạo phức với thuốc thử APDC
- Nguyễn Trần Linh, Bùi Đức Sơn, Vũ Ngọc Linh, Nguyễn Nam Dương:** Nghiên cứu xây dựng quy trình thử nghiệm lồng ghép kết quả giám sát biến đổi khí hậu vào kế hoạch triển khai quy hoạch mạng lưới trạm khí tượng thủy văn quốc gia giai đoạn 2021-2030, tầm nhìn đến 2050
- Phạm Thị Hương Lan, Nguyễn Hoàng Sơn, Ngô Khánh Linh:** Nghiên cứu xây dựng bộ tiêu chí, chỉ số xác định chức năng nguồn nước dựa trên giá trị lợi ích kinh tế và bảo vệ môi trường nước mặt cho lưu vực sông Đồng Nai

Bài báo khoa học

Ước tính lượng mưa sử dụng dữ liệu vệ tinh Himawari-8 dựa trên mô hình học máy Random Forest

Nguyễn Vinh Thu¹, Bùi Thị Khánh Hòa^{1*}, Nguyễn Minh Cường¹, Hoàng Thị Thanh Thuật¹, Nguyễn Thị Hoàng Anh¹

¹ Trung tâm Mạng lưới khí tượng thủy văn quốc gia, Tổng cục Khí tượng Thủy văn, Hà Nội, Việt Nam; vinhthu73@gmail.com; nguyeminhcuong30596@gmail.com; hoangthithanhthuathuat99@gmail.com; khanghoa303@gmail.com; hoanganhck@gmail.com

*Tác giả liên hệ: khanghoa303@gmail.com; Tel.: +84-916591270

Ban Biên tập nhận bài: 5/9/2023; Ngày phản biện xong: 2/10/2023; Ngày đăng bài: 25/11/2023

Tóm tắt: Bài báo sử dụng phương pháp học máy Random Forest (RF) để nghiên cứu ước tính lượng mưa từ dữ liệu vệ tinh Himawari-8. Dữ liệu được sử dụng là 09 kênh ảnh riêng lẻ và 36 kênh ảnh tổ hợp của vệ tinh Himawari-8 và dữ liệu đo mưa bề mặt để ước tính lượng mưa cho khu vực Việt Nam. Phương pháp RF được áp dụng thử nghiệm cho 04 đợt mưa lớn xảy ra trong các năm 2019, 2020 và 2023. Kết quả nghiên cứu cho thấy rằng phương pháp RF đã mô phỏng được trọng tâm của các đợt mưa lớn. Hệ số tương quan giữa lượng mưa ước tính từ vệ tinh và lượng mưa quan trắc (R) đều đạt từ 0,8 trở lên, giá trị sai số tuyệt đối trung bình (MAE) dưới 1,1 mm và sai số bình phương trung bình gốc (RMSE) dưới 2,17 mm. Tuy nhiên phương pháp RF có xu hướng cho kết quả ước tính lượng mưa thiên thấp hơn so với lượng mưa quan trắc thực tế.

Từ khóa: Ước tính lượng mưa; Vệ tinh Himawari-8; Random Forest.

1. Giới thiệu

Độ chính xác của số liệu quan trắc lượng mưa đóng vai trò rất quan trọng trong việc khai thác, quản lý tài nguyên nước và dự báo khí tượng thủy văn. Các quan trắc bằng trạm đo mưa bề mặt thường được sử dụng để đo trực tiếp lượng mưa trên bề mặt Trái Đất. Tuy nhiên, các phép đo bằng trạm đo mưa này cũng có một số nhược điểm, chẳng hạn như chúng không có khả năng mô phỏng chính xác sự phân bố của trường lượng mưa theo không gian, vì thiết bị đo mưa bề mặt chỉ cung cấp phạm vi quan trắc theo từng vị trí điểm trong khu vực. Việc sử dụng radar để quan trắc thời tiết hiện nay cho phép ước tính lượng mưa trên các khu vực rộng hơn, nhưng phạm vi quan trắc vẫn bị giới hạn ở bề mặt đất liền và các vùng ven biển [1]. Với tốc độ phát triển nhanh chóng của các công cụ đo đạc lượng mưa gián tiếp, các quan trắc từ vệ tinh viễn thám đã trở thành một công cụ thích hợp để cải thiện những nhược điểm trên bằng cách cung cấp phạm vi quan trắc không gian đồng nhất hơn và có độ phân giải gần thời gian thực. Ngày nay, vệ tinh địa tĩnh Himawari-8 được sử dụng khá rộng rãi và phổ biến. Vệ tinh Himawari-8 được phóng vào ngày 07/10/2014 và được vận hành phát triển bởi Cơ quan Khí tượng Nhật Bản (JMA), nó bắt đầu hoạt động và phân phối dữ liệu từ ngày 07/07/2015 [2]. Vệ tinh Himawari-8 cung cấp dữ liệu từ 16 kênh ảnh bao gồm 03 kênh ảnh thị phổ (VIS), 03 kênh cận hồng ngoại (NIR) và 10 kênh ảnh hồng ngoại (IR). Quá trình hình thành và phát triển của các đám mây đối lưu gây ra mưa thường xảy ra trong thời gian ngắn và dữ liệu từ vệ tinh Himawari-8 ngoài việc có thể quan trắc bao phủ cả một khu vực rộng lớn thì nó cũng cung cấp thông tin hữu ích để ước tính định lượng mưa.

Trong những năm gần đây, đã có khá nhiều nghiên cứu ứng dụng dữ liệu vệ tinh vào việc ước tính lượng mưa. Các nghiên cứu này chủ yếu sử dụng dữ liệu của kênh ảnh IR trong dữ liệu vệ tinh theo thời gian thực để truy xuất các sản phẩm mưa dựa trên mối quan hệ lượng mưa với nhiệt độ thu được từ các kênh hồng ngoại. Từ những năm 1997, tác giả [3] đã nghiên cứu sử dụng chênh lệch nhiệt độ đỉnh mây của các kênh IR trong dữ liệu vệ tinh địa tĩnh của Nhật Bản Geostationary Meteorological Satellite-5 (GMS-5) để ước tính lượng mưa. Kết quả nghiên cứu cho thấy sai số và mức độ phân tán lượng mưa tương đối lớn nhưng lượng mưa cực đại và lượng mưa tích lũy ước tính cho kết quả tương đối tốt. Trong nghiên cứu [4–5] cũng đã sử dụng các kênh ảnh IR của vệ tinh địa tĩnh Phong Vân 2 và Himawari-8 để đưa ra bộ dữ liệu lượng mưa trên khu vực Trung Quốc và Hàn Quốc. Các đặc điểm phát xạ của mây và các tham số vật lý như độ dày quang học, độ cao đỉnh mây và pha của đám mây, nhiệt độ đỉnh mây có thể được khai thác một cách hiệu quả để xác định sự hình thành và phát triển của đám mây. Năm 2020, tác giả [1] đã trình bày về thuật toán học máy dùng để ước tính các tham số đám mây và năng lượng bức xạ bề mặt từ dữ liệu vệ tinh Himawari-8. Có thể thấy các thuật toán học máy đã trở thành một công cụ mạnh mẽ liên kết dữ liệu vệ tinh với việc ước tính lượng mưa trong những năm gần đây. Hiện nay, nhiều nghiên cứu về các kỹ thuật học máy khác nhau đã được cung cấp rộng rãi, do đó nó mở ra một hướng mới cho việc mô phỏng các mối quan hệ giữa dữ liệu vệ tinh với việc khôi phục trường lượng mưa, ví dụ như kỹ thuật sử dụng mạng thần kinh nhân tạo (ANN) [1, 6–10]; thuật toán học máy có giám sát dạng vector hỗ trợ (SVM) [11–13], cây quyết định (DT) [14–15], học sâu (DL) [16–17]. Bên cạnh đó, thuật toán rừng ngẫu nhiên (RF) [18], cũng được sử dụng rộng rãi và rất thích hợp sử dụng trong việc ước tính lượng mưa viễn thám [19–24]. RF là một thuật toán học máy đồng bộ, RF có thể xử lý hiệu quả trên các tập dữ liệu lớn và cũng có thể dễ dàng tính toán song song. Hơn nữa nó không yêu cầu đặc tả của một mô hình dữ liệu cơ bản, nó cung cấp khả năng nắm bắt các mô hình liên kết phi tuyến tính và có thể xử lý các biến dự báo có độ tương quan cao [19]. Năm 2014, tác giả [21] đã sử dụng dữ liệu vệ tinh MSG-SEVIRI và thuật toán RF để xác định cường độ mưa của các sự kiện mưa một cách liên tục (trong thời gian ban ngày, khi hoàng hôn và đêm), kết quả nghiên cứu cho thấy mô hình cho kết quả rất tốt trong việc phát hiện khu vực mưa. Trong nghiên cứu sử dụng thuật toán RF để phát hiện các sự kiện mưa lớn [22] thì RF với thời gian dự báo cố định là 30 phút và 60 phút cho kết quả hoạt động khá tốt (xác suất phát hiện tất cả các loại điều kiện thời tiết lên tới gần 90%). Tác giả [23] đã tích hợp dữ liệu Himawari-8 và sản phẩm thời tiết số (NWP) để đưa ra phân loại các điểm ảnh có mưa và không có mưa bằng phương pháp phân loại RF, sau đó mô phỏng thành công ước tính cường độ mưa.

Dữ liệu vệ tinh Himawari-8 đã được sử dụng rộng rãi trong những nghiên cứu tại Việt Nam từ năm 2015 đến nay. Điển hình là công trình nghiên cứu [25] đã ứng dụng số liệu ảnh mây vệ tinh Himawari-8 trong dự báo, cảnh báo mưa dông cho khu vực Đồng bằng sông Cửu Long. Tác giả [26] đã nghiên cứu tính toán được lượng mưa bằng việc sử dụng dữ liệu vệ tinh, radar và đo mưa tại trạm; kết quả của nghiên cứu này cũng được cho là tương đối khả quan hơn so với việc đơn thuần chỉ sử dụng một loại thông tin. Tác giả [27] đã tính toán định lượng mưa sử dụng dữ liệu vệ tinh địa tĩnh MTSAT áp dụng cho khu vực Việt Nam; mô hình tính toán mô phỏng lượng mưa là mô hình mạng ANN. Nhìn chung, kết quả chỉ ra rằng phương pháp ANN đã nâng cao được độ chính xác của việc ước lượng mưa từ vệ tinh MTSAT. Nghiên cứu [28] đã đánh giá và so sánh các dữ liệu mưa vệ tinh cho lưu vực sông Cả, kết quả cho thấy khả năng nhận diện ngày mưa và ngày không mưa là khá tốt. Tuy nhiên, tương quan về lượng mưa ngày giữa lượng mưa quan trắc và lượng mưa ước tính từ vệ tinh còn tương đối thấp. Nói chung, các kết quả nghiên cứu tại Việt Nam cũng đã khả quan và cải thiện hơn giai đoạn trước, tuy nhiên thông tin về lượng mưa đưa ra chưa đạt độ tin cậy cao, các phương pháp ước tính chủ yếu áp dụng với lượng mưa ngày mà chưa đề cập tới vấn đề chạy nghiệp vụ trong thời gian thực vì bản chất mô hình mạng ANN còn phức tạp. Vì vậy,

trong nghiên cứu này đề xuất phương pháp RF đơn giản và dễ dàng tính toán hơn trong việc ước tính lượng mưa từ vệ tinh tạm cận thời gian thực.

Như vậy rõ ràng là các phương pháp học máy khác nhau đã được sử dụng rộng rãi trong các ứng dụng viễn thám, khí tượng và thủy văn để mô hình hóa hiệu quả các mối quan hệ phi tuyến tính giữa các yếu tố dự báo và biến khí tượng. Hơn nữa, các thuật toán học máy cũng thể hiện là rất hiệu quả khi xử lý dữ liệu đa chiều và phức tạp. Ở Việt Nam hiện nay, các nghiên cứu về phương pháp RF sử dụng trong ước tính lượng mưa từ vệ tinh vẫn còn khá mới mẻ và chưa có nhiều tác giả nghiên cứu, đề cập đến. Vì vậy, trong nghiên cứu này kỹ thuật học máy RF được sử dụng để tính toán định lượng mưa từ vệ tinh Himawari cho khu vực Việt Nam. Việc ứng dụng thuật toán RF này trong ước tính lượng mưa từ vệ tinh hy vọng sẽ thúc đẩy hiệu quả hơn nữa ứng dụng khôi phục lượng mưa trong dự báo thời tiết.

2. Số liệu và phương pháp

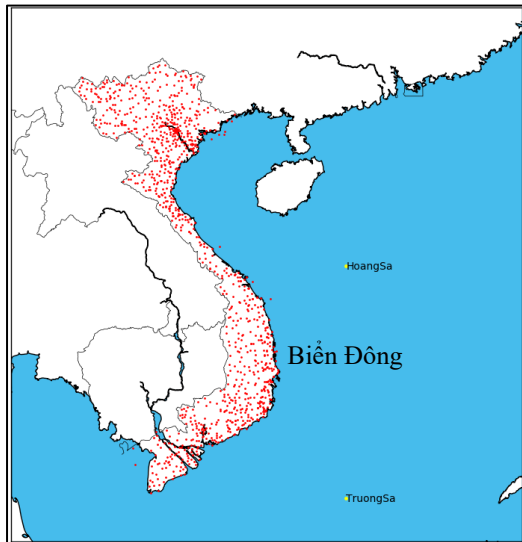
2.1. Số liệu

Số liệu vệ tinh: dữ liệu vệ tinh địa tĩnh Himawari-8, có độ phân giải không gian và thời gian cao với tần suất được ghi lại sau mỗi 10 phút, các dữ liệu quan trắc giai đoạn 2019-2020 đã được sử dụng để tạo bộ số liệu nghiên cứu trong bài báo này. Bài báo sử dụng các bước sóng trung tâm của ba kênh ảnh hơi nước WV (6,2; 6,9; và 7,3 μm), có thể thấy ba dải kênh ảnh WV này nhạy cảm với tầng đối lưu từ tầng trung đến tầng cao và các dải này cho phép ước tính sự phân bố lượng ẩm theo chiều thẳng đứng từ sự khác biệt về nhiệt độ chói giữa các dải phổ 6,2; 6,9; và 7,3 μm . Bên cạnh đó, sáu kênh ảnh hồng ngoại IR (8,6; 9,6; 10,4; 11,2; 12,4 và 13,3 μm) được sử dụng để theo dõi bức xạ IR từ các đỉnh đám mây. Sự chênh lệch nhiệt độ ΔT đại diện cho sự chênh lệch nhiệt độ chói giữa hai kênh ảnh. Để tính toán lượng mưa từ vệ tinh Himawari-8 trong nghiên cứu này sử dụng tổ hợp chênh lệch nhiệt độ chói của 2 kênh ảnh khác nhau, như đã nêu ra ở trên ta đã lựa chọn 09 kênh ảnh vậy ta sẽ có $C_9^2 = 36$ kênh ảnh tổ hợp và 9 kênh ảnh riêng lẻ được sử dụng và được thể hiện trong bảng 1.

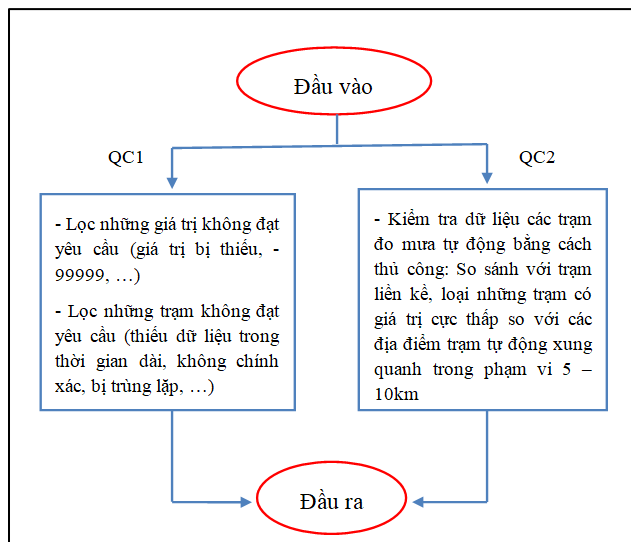
Bảng 1. Tổ hợp các kênh ảnh quan trắc bằng vệ tinh Himawari-8 được sử dụng để ước tính cường độ mưa.

μm	6,2	6,9	7,3	8,6	9,6	10,4	11,2	12,4	13,3
6,2	6,2	6,2-6,9	6,2-7,3	6,2-8,6	6,2-9,6	6,2-10,4	6,2-11,2	6,2-12,4	6,2-13,3
6,9		6,9	6,9-7,3	6,9-8,6	6,9-9,6	6,9-10,4	6,9-11,2	6,9-12,4	6,9-13,3
7,3			7,3	7,3-8,6	7,3-9,6	7,3-10,4	7,3-11,2	7,3-12,4	7,3-13,3
8,6				8,6	8,6-9,6	8,6-10,4	8,6-11,2	8,6-12,4	8,6-13,3
9,6					9,6	9,6-10,4	9,6-11,2	9,6-12,4	9,6-13,3
10,4						10,4	10,4-11,2	10,4-12,4	10,4-13,3
11,2							11,2	11,2-12,4	11,2-13,3
12,4								12,4	12,4-13,3
13,3									13,3

Số liệu đo mưa bề mặt: là số liệu của khoảng 2000 trạm khí tượng tự động/ đo mưa tự động trong giai đoạn 2019-2020. Trong số liệu đo mưa tự động này luôn tiềm ẩn các sai số, vì vậy cần phải thực hiện việc kiểm soát chất lượng dữ liệu này (QC) để phát hiện và loại bỏ các giá trị sai số trong dữ liệu. Sau khi loại bỏ toàn bộ những trạm không đạt yêu cầu, kết quả thu được 866 trạm đo mưa bề mặt với tần suất 10 phút trong giai đoạn 2019-2020 đạt yêu cầu để đưa vào mô hình RF (Hình 1). Hình 2 đưa ra sơ đồ các bước thực hiện của phương pháp QC để loại bỏ các trạm khí tượng tự động/ đo mưa tự động có chất lượng dữ liệu chưa tốt.



Hình 1. Mạng lưới trạm đo mưa bề mặt tại Việt Nam.



Hình 2. Sơ đồ phương pháp kiểm soát chất lượng dữ liệu trạm đo mưa bề mặt.

2.2. Phương pháp nghiên cứu

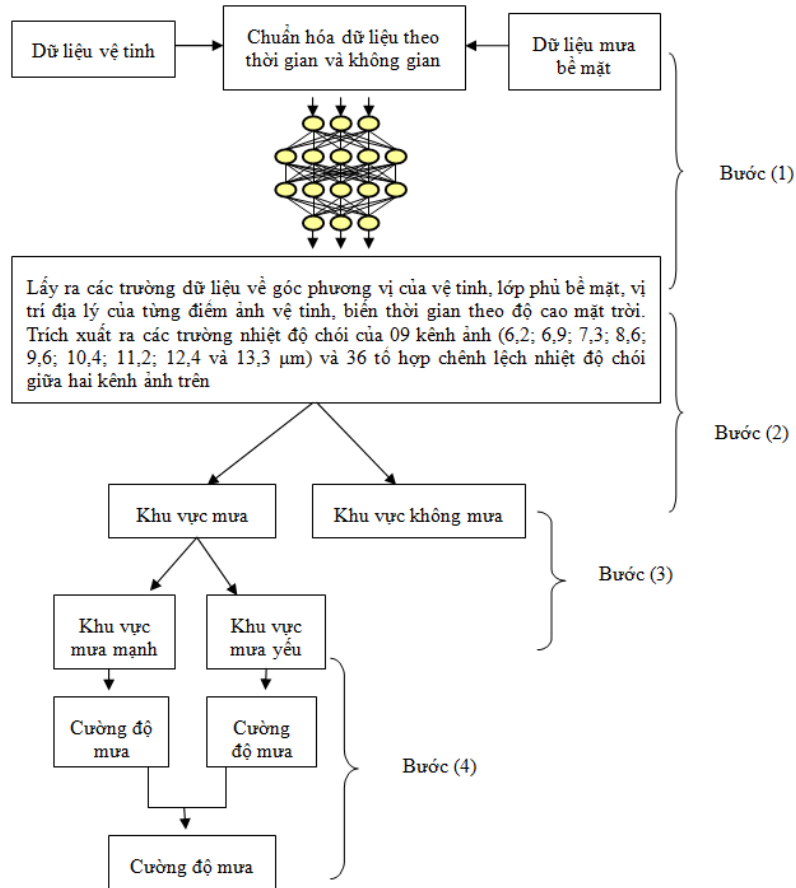
Nghiên cứu này sử dụng thuật toán RF để ước tính định lượng mưa từ các kênh ảnh của vệ tinh Himawari-8. Nguyên tắc cơ bản của phương pháp RF trước tiên là tạo ra nhiều cây phân loại và hồi quy dựa trên dữ liệu huấn luyện để thu được kết quả dự đoán cuối cùng theo số phân loại nhiều nhất (phân loại: mưa hay không mưa; mưa mạnh hay mưa yếu) hoặc lấy trung bình (hồi quy, cường độ mưa) của từng cây.

Đầu vào của mô hình RF bao gồm 09 kênh ảnh riêng lẻ (6,2; 6,9; 7,3; 8,6; 9,6; 10,4; 11,2; 12,4 và 13,3) và 36 kênh ảnh tổ hợp từ 09 kênh ảnh này được lấy từ các kênh ảnh của vệ tinh Himawari-8; ngoài ra các dữ liệu về góc phương vị của vệ tinh, lớp phủ bề mặt, vị trí địa lý của từng điểm ảnh vệ tinh, biến thời gian theo độ cao mặt trời cũng được thu thập để ước tính định lượng mưa. Hình 3 trình bày tổng quan các bước của thuật toán RF để ước tính lượng mưa từ vệ tinh Himawari-8.

Thuật toán ước tính lượng mưa từ vệ tinh Himawari-8 được thực hiện theo các bước sau:

Bước 1 (xử lý dữ liệu đầu vào): Dữ liệu đầu vào gồm 09 kênh ảnh riêng lẻ của vệ tinh Himawari trong giai đoạn 2019-2020 được đưa vào chuẩn hóa và đồng bộ về thời gian và không gian với bộ dữ liệu đo mưa bề mặt của 866 trạm cùng giai đoạn. Ở bước này từ số liệu gốc của các kênh ảnh sẽ được đồng bộ về thời gian là 10 phút và không gian lưới tính là từ $-5^{\circ}\text{N} - 40^{\circ}\text{N}$, $95^{\circ}\text{E} - 140^{\circ}\text{E}$ bao gồm kích thước 1125×1125 điểm lưới, độ phân giải 4km. Số liệu lượng mưa được căng lên lưới này và nội suy ra giá trị điểm mưa theo lưới vệ tinh để đồng nhất, được sử dụng làm cờ hiệu để xác nhận là có mưa hay không mưa, mưa lớn hay mưa nhỏ. Bộ dữ liệu ban đầu sẽ được tía thưa bớt các trường hợp mà giá trị lượng mưa bề mặt bằng 0 để bộ dữ liệu đưa vào training sẽ được giảm kích thước, quy mô bộ số liệu tính toán và tối ưu máy tính chạy (lọc khoảng 10%). Sau đó, kích thước của bộ dữ liệu training được tính bằng tỉ lệ giữa tổng số trường hợp có mưa nhân với 1.5 trên tổng số trường hợp không mưa (lượng mưa = 0), còn lại là bộ dữ liệu test. Các trọng số của mỗi thành phần trong mô hình training được xác định thông qua quá trình luyện mạng từ các bộ dữ liệu training được thành lập.

Bước 2 (phân loại khu vực có mưa và không có mưa): Từ dữ liệu gốc ở bước 1 thì sẽ trích xuất ra được trường dữ liệu nhiệt độ chói của 14 kênh ảnh này và độ chênh lệch nhiệt độ chói của 10 kênh ảnh tổ hợp. Sau đó được đưa vào mô hình training để phân loại ra vùng có mưa/ không mưa, vùng có mưa được gán bằng 1 và ngược lại không mưa bằng 0. Bộ dữ liệu sau khi đã xác định được vùng có mưa sẽ được chia theo tỉ lệ 80:20 cho bộ dữ liệu training và bộ dữ liệu test để xác định vùng mưa mạnh và mưa yếu.



Hình 3. Sơ đồ thuật toán ước tính lượng mưa từ vệ tinh Himawari-8.

Bước 3 (phân loại khu vực mưa mạnh và mưa yếu): sẽ tiến hành phân loại các ô pixel mây gây mưa thành ô pixel mây gây mưa mạnh và mưa yếu. Nghiên cứu sử dụng ngưỡng mưa 0-1,2 mm/ 10 phút để phân loại khu vực mưa yếu và trên 1,2 mm/ 10 phút là khu vực mưa mạnh. Sau đó xây dựng được 04 mô hình đó là mô hình mưa, không mưa, mưa mạnh, mưa yếu dựa trên tập số liệu vệ tinh Himawari-8 và đo mưa bề mặt giai đoạn 2019-2020.

Bước 4 (ước tính cường độ mưa): Cường độ mưa của các ô pixel điểm ảnh mưa mạnh và mưa yếu được ước tính từ 04 mô hình xây dựng được ở bước 3. Ở bước 4 sẽ xử lý làm trơn để trường lượng mưa được mịn hơn khi sử dụng các phép nội suy ở các bước trên.

2.3. Phương pháp đánh giá

Để đánh giá khả năng ước tính lượng mưa từ vệ tinh Himawari-8 của phương pháp RF, nghiên cứu đã sử dụng các chỉ số thống kê để thực hiện việc so sánh kết quả ước tính định lượng mưa của phương pháp RF với số liệu đo mưa bề mặt như: ME (cho biết xu hướng lệch trung bình của dự báo so với quan trắc, không thể hiện độ lớn của sai số, ME = 0 là hoàn hảo), MAE (thể hiện biên độ trung bình của sai số mô hình nhưng không nói lên xu hướng lệch của dự báo và quan trắc, MAE = 0 là hoàn hảo), RMSE (thể hiện độ lớn trung bình của sai số, khi giá trị RMSE càng gần MAE thì sai số dự báo càng ổn định), MAPE (thể hiện sai số phần trăm tuyệt đối trung bình giữa quan trắc và dự báo, nó dùng để đánh giá hiệu suất dự báo), R (dùng để đánh giá mối quan hệ tuyến tính giữa tập giá trị dự báo và tập giá trị quan trắc, R = 1 là hoàn hảo), R² (thể hiện tỉ lệ phương sai (mức độ biến thiên) của một biến phụ thuộc được giải thích bởi một biến độc lập hay xác định mức độ mà một hoặc nhiều biến độc lập ảnh hưởng đến một biến phụ thuộc, tuy nhiên nó không có biết mô hình dự báo là tốt hay xấu cũng như không biết được dự báo và quan trắc có sai lệch hay không, ví dụ R² = 0,5 thì

nghĩa là một nửa mức độ thay đổi giá trị dự báo được có thể được giải thích bằng các giá trị quan trắc).

$$\text{Chỉ số ME: } ME = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (S_i - G_i) \tag{1}$$

$$\text{Chỉ số MAE: } MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |S_i - G_i| \tag{2}$$

$$\text{Chỉ số RMSE: } RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (S_i - G_i)^2} \tag{3}$$

$$\text{Chỉ số MAPE: } MAPE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{|S_i - G_i|}{G_i} \tag{4}$$

$$\text{Hệ số tương quan R: } R = \frac{\sum_{i=1}^n (S_i - \bar{S})(G_i - \bar{G})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (S_i - \bar{S})^2 \sum_{i=1}^n (G_i - \bar{G})^2}} \tag{5}$$

$$\text{Hệ số xác định R}^2: R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (S_i - G_i)^2}{[\sum_{i=1}^n (S_i - \bar{G})^2 + \sum_{i=1}^n (S_i - G_i)^2]} \tag{6}$$

Trong các công thức trên, n là số điểm có dữ liệu, S_i là lượng mưa ước lượng từ vệ tinh theo phương pháp RF được nghiên cứu, G_i là mưa quan trắc bề mặt, \bar{S} là lượng mưa ước lượng trung bình từ vệ tinh và \bar{G} là lượng mưa trung bình quan trắc từ bề mặt.

3. Kết quả và thảo luận

Phương pháp RF được sử dụng để ước tính lượng mưa từ vệ tinh và đo mưa bề mặt để tạo ra trường lượng mưa có chất lượng cao với độ phân giải không gian cao bằng cách kết hợp ưu điểm của các quan trắc đo mưa bề mặt và ước tính định lượng mưa từ vệ tinh. Kết quả đánh giá của phương pháp RF với ước tính định lượng mưa từ vệ tinh và đo mưa bề mặt, thời gian ước tính 10 phút cho 04 trường hợp mưa: trường hợp thứ nhất từ ngày 01/08/2019 đến ngày 04/08/2019; trường hợp thứ hai từ ngày 02/09/2019 đến ngày 05/09/2019; trường hợp thứ ba từ ngày 02/03/2020 đến ngày 04/03/2020 và trường hợp cuối cùng xảy ra từ ngày 24/06/2023 đến ngày 27/06/2023.

Áp dụng phương pháp RF, một vài kết quả ước tính lượng mưa từ vệ tinh Himawari-8 tại một vài ô dự báo điển hình của 04 trường hợp mưa cụ thể được đánh giá thông qua các chỉ số thống kê (Bảng 2).

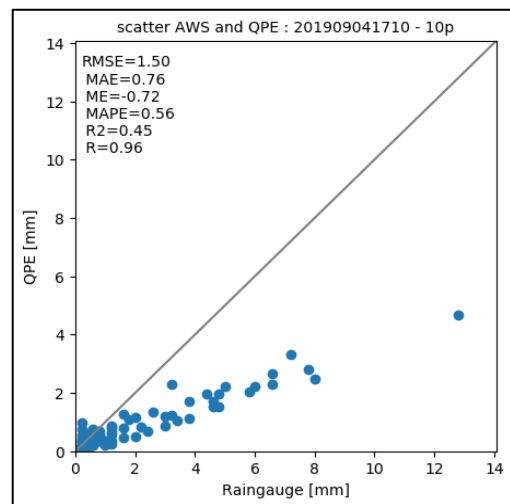
Bảng 2. Kết quả đánh giá ước tính lượng mưa 10 phút của 04 trường hợp mưa.

Thời gian	RMSE	MAE	ME	MAPE	R ²	R
Trường hợp 1: từ 10h00 đến 10h50 UTC ngày 03/08/2019						
10h00	1,05	0,62	-0,11	1,07	0,50	0,83
10h10	1,26	0,68	-0,14	1,03	0,48	0,80
10h20	1,13	0,68	-0,16	1,18	0,49	0,81
10h30	1,09	0,61	-0,13	1,11	0,49	0,84
10h40	1,33	0,69	-0,16	1,26	0,44	0,82
10h50	1,06	0,59	-0,14	1,01	0,48	0,84
Trường hợp 2: từ 17h00 đến 17h50 UTC ngày 04/09/2019						
17h00	1,94	0,95	-0,86	0,61	0,36	0,91
17h10	1,50	0,76	-0,72	0,56	0,45	0,96
17h20	1,35	0,77	-0,74	0,53	0,41	0,94
17h30	1,29	0,71	-0,66	0,60	0,37	0,91

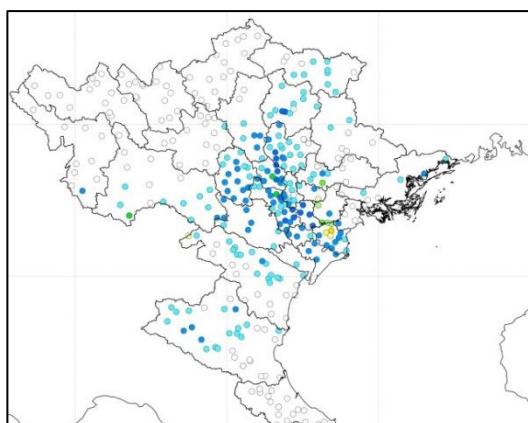
Thời gian	RMSE	MAE	ME	MAPE	R ²	R
17h40	1,48	0,78	-0,66	1,09	0,27	0,83
17h50	1,35	0,69	-0,62	0,57	0,30	0,89
Trường hợp 3: từ 04h00 đến 04h40 UTC ngày 04/03/2020						
04h00	1,55	0,87	-0,84	0,68	0,21	0,93
04h10	1,71	0,86	-0,85	0,62	0,25	0,91
04h20	2,14	1,05	-0,98	0,67	0,26	0,89
04h30	2,17	1,10	-1,02	0,62	0,29	0,91
04h40	1,79	0,89	-0,85	0,63	0,27	0,93
Trường hợp 4: từ 19h00 đến 19h50 UTC ngày 26/06/2023						
19h00	1,74	0,79	-0,69	0,64	0,43	0,85
19h10	1,74	0,76	-0,51	0,89	0,41	0,81
19h20	1,81	0,79	-0,63	0,80	0,43	0,91
19h30	1,42	0,61	-0,48	0,72	0,40	0,88
19h40	1,31	0,64	-0,53	0,73	0,32	0,87
19h50	1,08	0,57	-0,46	0,82	0,33	0,85

Kết quả đánh giá 04 trường hợp cụ thể của đợt mưa nghiên cứu cho thấy rằng, đối với tất cả các thời điểm ở các trường hợp khác nhau thì chỉ số ME đều nhỏ hơn 0, điều này cho thấy mưa ước lượng từ vệ tinh luôn được đánh giá thấp hơn so với mưa bề mặt. Các giá trị RMSE biểu thị độ lớn trung bình của sai số, trong các trường hợp nghiên cứu, độ lớn trung bình của sai số dao động từ 1,05 (10h00 ngày 03/08/2019) đến 2,17 (04h30 ngày 04/03/2020), MAE dao động từ 0,57 (19h50 ngày 26/6/2023) đến 1,1 (4h30 ngày 04/03/2020). Chỉ số MAPE dao động trong khoảng từ 0,5-1,3, MAPE có giá trị thấp nhất là vào 17h20 ngày 04/09/2019 với MAPE bằng 0,53. Giá trị hệ số xác định R² cho biết mức độ phụ thuộc của biến dự báo được giải thích bởi biến độc lập, trong các trường hợp trên R² dao động trong khoảng từ 0,2 đến 0,5, cho thấy có khoảng từ 20 đến 50% mức độ biến thiên dự báo được có thể được giải thích bằng các giá trị quan trắc. Mối quan hệ tương quan giữa lượng mưa ước tính được từ vệ tinh và lượng mưa quan trắc đạt giá trị rất tốt với R đều đạt trên 0,8. Tại 17h10 ngày 04/09/2019 giá trị hệ số tương quan đạt giá trị cao nhất với R lên tới 0,96. Hình 4 đưa ra biểu đồ scatter mưa vệ tinh và mưa bề mặt tại thời điểm 17h10 ngày 04/09/2019, ta thấy với lượng mưa lớn hơn 2mm/10 phút, phương pháp vẫn chưa thể cho kết quả ước lượng mưa tốt, với các điểm không nằm tập trung xung quanh đường chéo chính mà có sự phân tán lệch về một phía.

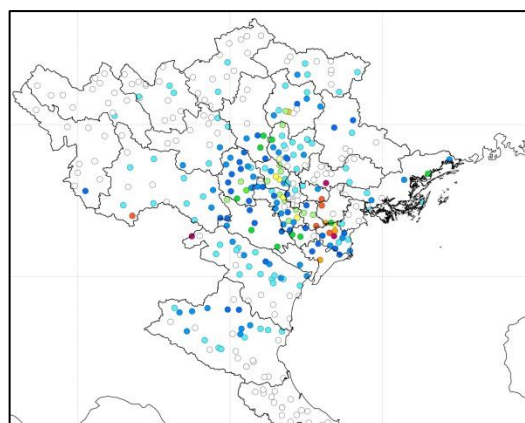
Mô phỏng trường lượng mưa cho 04 trường hợp mưa được ước tính. Kết quả chỉ ra rằng, phương pháp đã nắm bắt được trọng tâm của khu vực xảy ra mưa lớn. Ước tính lượng mưa từ vệ tinh cho dự báo không tại một số điểm trạm, bên cạnh đó, tại một số trạm đo mưa bề mặt trong thực tế xảy ra mưa nhưng phương pháp vẫn chưa thể nắm bắt được. Giá trị ước tính lượng mưa từ vệ tinh tại một số điểm vẫn có sự sai lệch nhất định so với thực tế. Tại điểm mưa cực trị lượng mưa ước lượng đều cho thấy xu hướng thiên thấp hơn so với mưa tại trạm quan trắc. Dưới đây, trình bày một trường hợp cụ thể về trường lượng mưa được mô phỏng theo không gian giữa ước tính lượng mưa từ vệ tinh Himawari-8 sử dụng phương pháp RF so với trạm đo mưa bề mặt tại thời điểm từ 10h00 đến 10h50 UTC ngày 03/08/2019 với thời gian ước tính 10 phút (Hình 5). Kết quả ước tính lượng mưa thu được từ vệ tinh được quy về các điểm trạm để so sánh với lượng mưa thực tế tại điểm trạm.



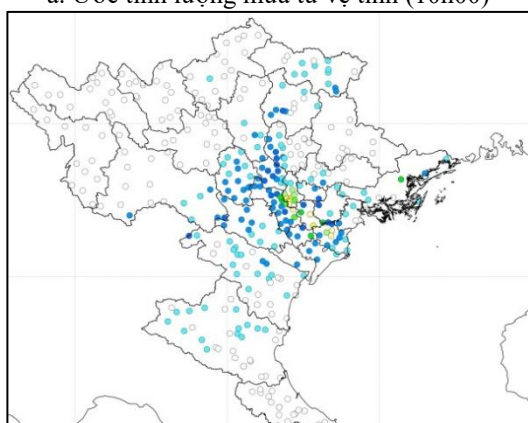
Hình 4. Biểu đồ scatter mưa vệ tinh và mưa bề mặt tại thời điểm 17h10 UTC ngày 04/09/2019.



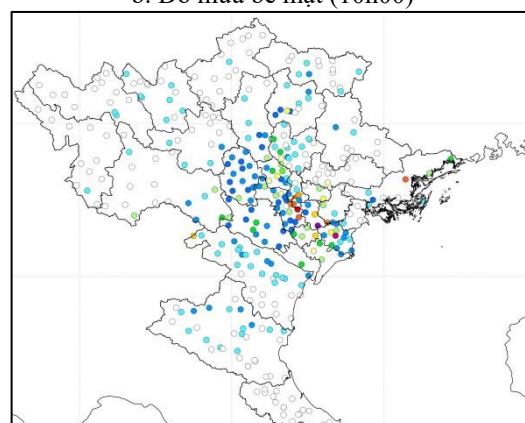
a. Ước tính lượng mưa từ vệ tinh (10h00)



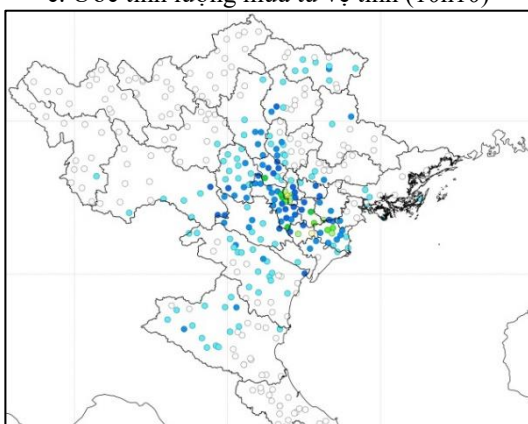
b. Đo mưa bề mặt (10h00)



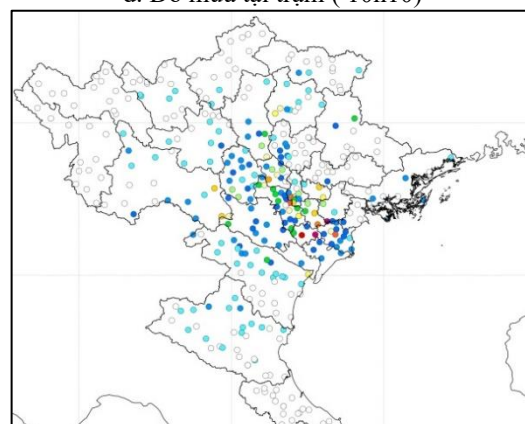
c. Ước tính lượng mưa từ vệ tinh (10h10)



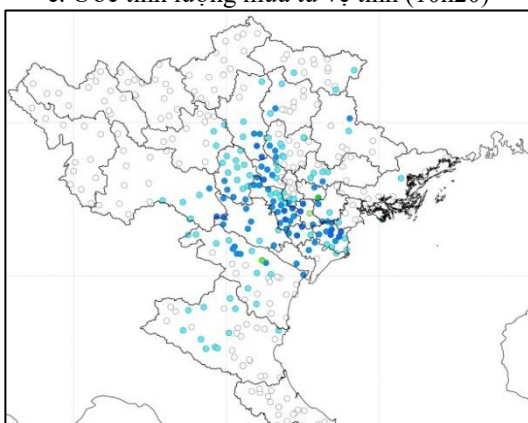
d. Đo mưa tại trạm (10h10)



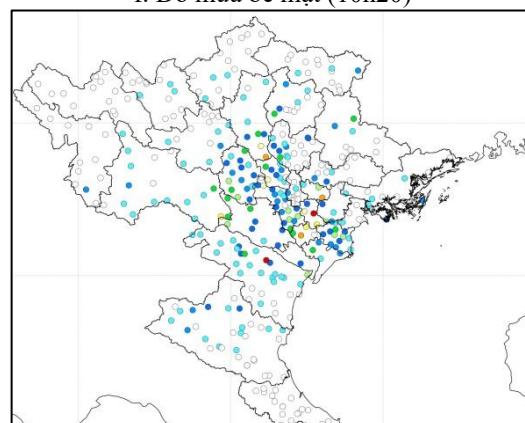
e. Ước tính lượng mưa từ vệ tinh (10h20)



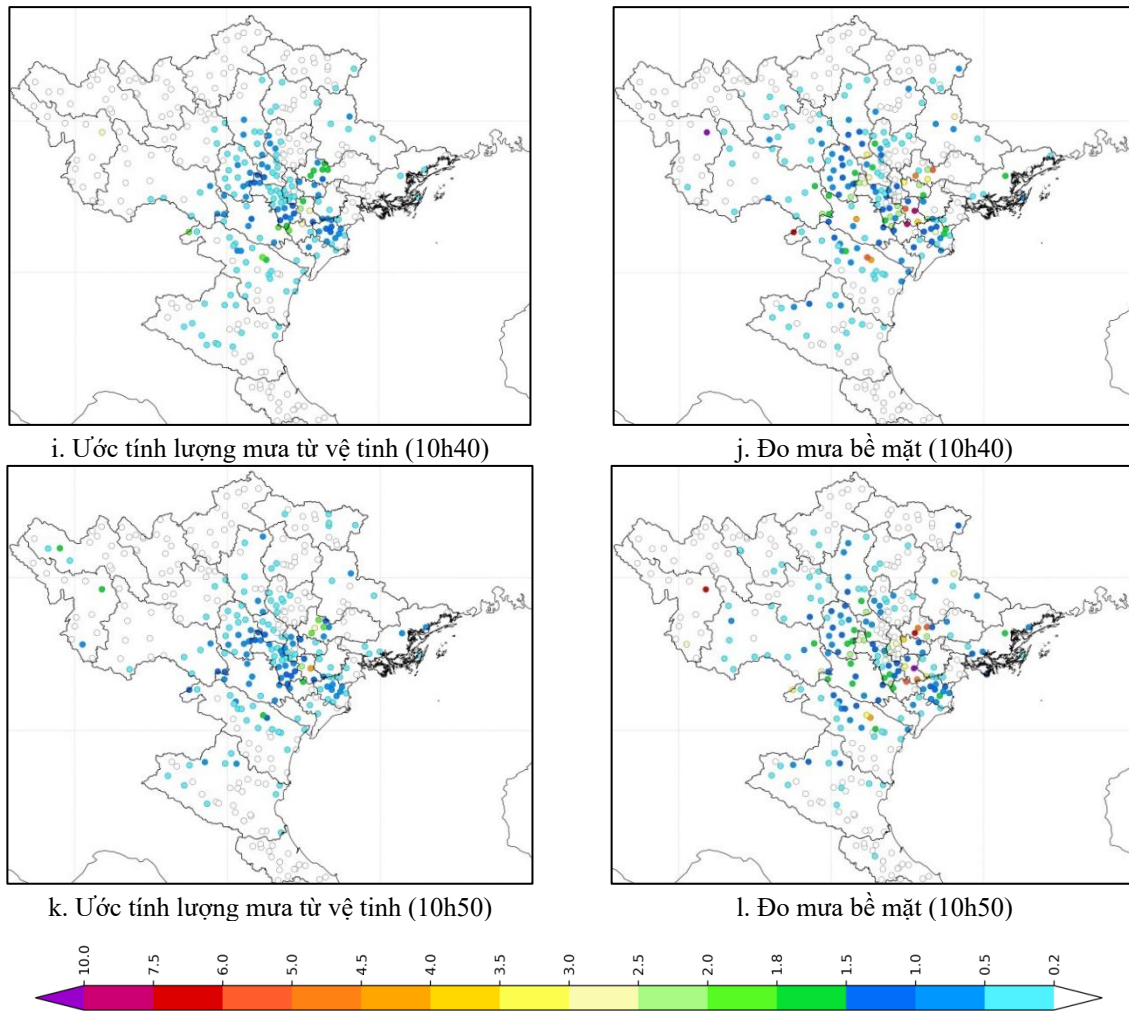
f. Đo mưa bề mặt (10h20)



g. Ước tính lượng mưa từ vệ tinh (10h30)



h. Đo mưa bề mặt (10h30)



Hình 5. Kết quả mô phỏng trường lượng mưa ước tính từ vệ tinh và trạm đo mưa bề mặt với thời gian ước tính 10 phút từ 10h00 đến 10h50 UTC ngày 03/08/2019.

Tại thời điểm ước tính định lượng mưa 10 phút từ 10h00 đến 10h50 ngày 03/08/2019, số liệu mưa thực tế cho thấy các điểm xảy ra mưa vừa đến mưa to, tập trung tại các tỉnh thuộc khu vực Bắc Bộ, tỉnh Thanh Hóa và tỉnh Nghệ An. Kết quả mô phỏng của trường lượng mưa từ vệ tinh cho thấy phương pháp RF đã nắm bắt được trọng tâm của đợt mưa lớn ở quanh khu vực đồng bằng Bắc Bộ. Tuy nhiên, so sánh từ hình 5a đến 5l thì có thể thấy rằng, giá trị của các điểm mưa cực trị được ước tính từ vệ tinh nhỏ hơn so với điểm mưa xảy ra ở thực tế. Ngoài ra, dự báo không xảy ra ở một số điểm trạm trên các khu vực các tỉnh Lạng Sơn, Cao Bằng. Tại một số điểm trạm thuộc khu vực các tỉnh Lào Cai, Lai Châu, Điện Biên, Sơn La phương pháp ước lượng mưa từ vệ tinh chưa nắm bắt được một số điểm trạm xảy ra mưa.

4. Kết luận

Trong nghiên cứu này, một phương pháp ước tính định lượng mưa dựa trên mô hình thuật toán RF đã được đề xuất thử nghiệm. Nghiên cứu đã trình bày về thuật toán RF sử dụng trong ước tính lượng mưa từ dữ liệu vệ tinh Himawari-8 với dữ liệu của 09 kênh ảnh (6,2; 6,9; 7,3; 8,6; 9,6; 10,4; 11,2; 12,4; và 13,3 μm), 36 tổ hợp từ các kênh ảnh đó và số liệu của 866 trạm đo mưa bề mặt. Phương pháp RF được đề xuất trong nghiên cứu trên đã đạt được những tiến bộ trong việc truy xuất ước tính lượng mưa từ vệ tinh. Với 04 trường hợp mưa được nghiên cứu, kết quả chỉ ra rằng: nghiên cứu thành công trong việc xác định trọng tâm của đợt mưa lớn. Tuy nhiên vẫn có những điểm trạm mưa ước lượng từ vệ tinh cho dự báo không và có những điểm mưa ước lượng vẫn chưa thể nắm bắt được chính xác điểm mưa.

Tại các điểm mưa cực trị, giá trị của lượng mưa ước tính từ vệ tinh cho kết quả thiên thấp hơn so với thực tế. Mối quan hệ tuyến tính giữa lượng mưa quan trắc và lượng mưa mô phỏng từ vệ tinh đạt ở mức đánh giá rất tốt với giá trị hệ số tương quan R đạt từ 0,8 trở lên; với giá trị chỉ số MAE dưới 1,1mm và RMSE dưới 2,17 mm.

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

Lời cảm ơn: Tập thể tác giả trân trọng cảm ơn sự hỗ trợ của đề tài nghiên cứu khoa học cấp quốc gia “Nghiên cứu ứng dụng dòng quang để ước lượng và dự báo định lượng mưa cho toàn lãnh thổ Việt Nam trên cơ sở số liệu vệ tinh Himawari và Radar thời tiết”, mã số ĐTDL.CN-58/21.

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. Hsu, K.; Gao, X.; Sorooshian, S.; Gupta, H.V. Precipitation Estimation from Remotely Sensed Information Using Artificial Neural Networks. *J. Appl. Meteor.* **1997**, *36*(9), 1176–1190. Doi:10.1175/1520-0450(1997)036<1176:PEFRSI>2.0.CO;2.
2. Bessho, K.; Date, K.; Hayashi, M.; Ikeda, A.; Imai, T.; Inoue, H.; Kumagai, Y.; Miyakawa, T.; Murata, H.; Ohno, T.; Okuyama, A.; Oyama, R.; Sasaki, Y.; Shimazu, Y.; Shimoji, K.; Sumida, Y.; Suzuki, M.; Taniguchi, H.; Tsuchiyama, H.; Uesawa, D.; Yokota, H.; Yoshida, R. An Introduction to Himawari-8/9 – Japan’s New-Generation Geostationary Meteorological Satellites. *J. Meteorolog. Soc. Jpn.* **2016**, *94*(2), 151–183. Doi:10.2151/jmsj.2016-009.
3. Kurino, T. A satellite infrared technique for estimating “deep/shallow” precipitation. *Adv. Space. Res.* **1997**, *19*(3), 511–514. doi:10.1016/s0273-1177(97)00063-x.
4. Wang, C.; Tang, G.; Xiong, W.; Ma, Z.; Zhu, S. Infrared Precipitation Estimation using Convolutional neural network for FengYun satellites. *J. Hydrol.* **2021**, *603*(22), 127113. Doi: 10.1016/j.jhydrol.2021.127113.
5. Yuko, K.; Keiji, I.; Hidenori, S.; Kakuji, O. Study on Extracting Precipitation Information Using Infrared Bands of Himawari-8. The 40th Asian Conference on Remote Sensing (ACRS 2019), October 14-18, 2019, Daejeon Convention Center (DCC), Daejeon, Korea, 2019.
6. Bellerby, T.; Todd, M.; Kniveton, D.; Kidd, C. Rainfall Estimation from a Combination of TRMM Precipitation Radar and GOES Multispectral Satellite Imagery through the Use of an Artificial Neural Network. *J. Climate Appl. Meteor.* **2000**, *39*(12), 2115–2128. Doi:10.1175/1520-0450(2001)040<2115:REFACO>2.0.CO;2.
7. Grimes, D.I.F.; Coppola, E.; Verdecchia, M.; Visconti, G. A Neural Network Approach to Real-Time Rainfall Estimation for Africa Using Satellite Data. *J. Hydrol.* **2003**, *4*(6), 1119–1133. doi:10.1175/1525-7541(2003)004<1119:annatr>2.0.co;2.
8. Hong, Y.; Hsu, K.; Sorooshian, S.; Gao, X. Precipitation Estimation from Remotely Sensed Imagery Using an Artificial Neural Network Cloud Classification System. *J. Climate Appl. Meteor.* **2004**, *43*(12), 1834–1853. doi:10.1175/jam2173.1.

9. Rivolta, G.; Marzano, F.S.; Coppola, E.; Verdecchia, M. Artificial neural-network technique for precipitation nowcasting from satellite imagery, *Adv. Geosci.* **2006**, 7, 97–103. Doi: 10.5194/adgeo-7-97-2006.
10. Abhishek, K.; Kumar, A.; Ranjan, R.; Kumar, S. A rainfall prediction model using artificial neural network. 2012 IEEE Control and System Graduate Research Colloquium (ICSGRC), Shah Alam, Selangor, Malaysia (2012.07.16-2012.07.17), 82–87. Doi:10.1109/ICSGRC.2012.6287140.
11. Mountrakis, G.; Im, J.; Ogole, C. Support vector machines in remote sensing: A review. *ISPRS J. Photogramm. Remote Sens.* **2011**, 66(3), 247–259. doi:10.1016/j.isprsjprs.2010.11.001.
12. Hamidi, O.; Poorolajal, J.; Sadeghifar, M.; Abbasi, H.; Maryanaji, Z.; Faridi, H.R.; Tapak, L. A comparative study of support vector machines and artificial neural networks for predicting precipitation in Iran. *Theor. Appl. Climatol.* **2015**, 119, 723–731.
13. Yin, G.; Yoshikane, T.; Yamamoto, K.; Kubota, T.; Yoshimura, K. A support vector machine-based method for improving real-time hourly precipitation forecast in Japan. *J. Hydrol.* **2022**, 612, 128125. Doi: 10.1016/j.jhydrol.2022.128125.
14. Chaudhary, S.; Dhanya, C.T. Decision tree-based reduction of bias in monthly IMERG satellite precipitation dataset over India. *H2Open J.* **2020**, 3(1), 236–255. Doi:10.2166/h2oj.2020.124.
15. Ma, L.; Zhang, G.; Lu, E. Using the gradient boosting decision tree to improve the delineation of hourly rain areas during the summer from advanced Himawari imager data. *J. Hydrometeorol.* **2018**, 19, 761–776.
16. Tao, Y.; Gao, X.; Ihler, A.; Sorooshian, S.; Hsu, K. Precipitation Identification with Bispectral Satellite Information Using Deep Learning Approaches. *J. Hydrometeorol.* **2017**, 18(5), 1271–1283. Doi:10.1175/jhm-d-16-0176.1.
17. Moraux, A.; Dewitte, S.; Cornelis, B.; Munteanu, A. Deep learning for precipitation estimation from satellite and rain gauges measurements. *Remote Sens.* **2019**, 11(21), 2463. doi:10.3390/rs11212463.
18. Breiman, L. Random Forests. *Mach. Learn.* **2001**, 45, 5–32. <https://doi.org/10.1023/A:1010933404324>.
19. Kühnlein, M.; Appelhans, T.; Thies, B.; Nauss, T. Improving the accuracy of rainfall rates from optical satellite sensors with machine learning — A random forests-based approach applied to MSG SEVIRI. *Remote Sens. Environ.* **2014**, 141, 129–143. Doi:10.1016/j.rse.2013.10.026.
20. Hirose, H.; Shige, S.; Yamamoto, M.K.; Higuchi, A. High Temporal Rainfall Estimations from Himawari-8 Multiband Observations Using the Random-Forest Machine-Learning Method. *J. Meteorolog. Soc. Jpn.* **2019**, 97(3), 689–710. doi:10.2151/jmsj.2019-040.
21. Kühnlein, M.; Appelhans, T.; Thies, B.; Nauß, T. Precipitation Estimates from MSG SEVIRI Daytime, Nighttime, and Twilight Data with Random Forests. *J. Appl. Meteorol. Climatol.* **2014**, 53(11), 2457–2480. Doi:10.1175/jamc-d-14-0082.1.
22. Das, S. A random forest algorithm for nowcasting of intense precipitation events. *Adv. Space Res.* **2017**, 60(6), 1271–1282. Doi:10.1016/j.asr.2017.03.026.
23. Min, M.; Bai, C.; Guo, J.; Sun, F.; Liu, C.; Wang, F.; Xu, H.; Tang, S.; Li, B.; Di, D.; Dong, L.; Li, J. Estimating Summertime Precipitation from Himawari-8 and Global Forecast System Based on Machine Learning. *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.* **2019**, 57(5), 2557–2570. doi:10.1109/TGRS.2018.2874950.
24. Nazli, T.; Boris, T.; Natalia, H.; Jörg, B. Random forest-based rainfall retrieval for Ecuador using GOES-16 and IMERG-V06 data. *Eur. J. Remote Sens.* **2021**, 54(1), 117–139. Doi:10.1080/22797254.2021.1884002.

25. Công, T.T.; Quyền L.N.; Gián, N.M.; Quyết L.Đ. Ứng dụng số liệu ảnh vệ tinh Himawari trong dự báo và cảnh báo mưa dông cho khu vực Đồng bằng sông Cửu Long. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* **2020**, 719, 1–13.
26. Thắng, N.V.; Cường, H.Đ.; Mậu, N.Đ.; Thư, N.V.; Quốc, P.K. Xác định lượng mưa kết hợp từ thông tin vệ tinh radar và đo mưa tại trạm. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* **2013**, 631, 28–34.
27. Thư, N.V. Nghiên cứu phương pháp xác định lượng mưa trên cơ sở ảnh mây vệ tinh địa tĩnh MTSAT cho khu vực Việt Nam. Đề tài Nghiên cứu khoa học cấp Bộ, 2010.
28. Hải, B.T.; Tuấn, N.V. Nghiên cứu đánh giá và so sánh các dữ liệu mưa vệ tinh độ phân giải cao lưu vực sông Cả. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* **2018**, 695, 17–28.

Quantitative Estimating Precipitation using Himawari-8 satellite data based on the Random Forest machine learning

Nguyen Vinh Thu^{1*}, Bui Thi Khanh Hoa¹, Nguyen Minh Cuong¹, Hoang Thi Thanh Thuat¹, Nguyen Thi Hoang Anh¹

¹ National Center for Meteorological and Hydrological Network, Vietnam Meteorological and Hydrological Administration; vinhthu73@gmail.com; nguyenminhcuong30596@gmail.com; hoangthithanhthuat99@gmail.com; khanghoa303@gmail.com; hoanganhck@gmail.com

Abstract: The paper uses the Machine Learning Random Forest (RF) method for quantitative precipitation estimation based on Himawari -8 satellite data. The data used are 09 individual image channels and 36 combined image channels of Himawari-8 satellite data and rain gauge data to estimate rainfall for the Vietnam area. The RF method is experimentally applied to 04 heavy rainfall events occurring in 2019, 2020, and 2023. The results show that the RF method has simulated the center of heavy rain areas. The correlation coefficient between the estimated rainfall from the satellite and the observed rainfall (R) reaches 0.8 or more, with the Mean Absolute Error value (MAE) is less than 1.1 mm and the Root Mean Squared Error (RMSE) is less than 2.17mm. However, the RF method shows the estimated rainfall which tends to be lower than the observed rainfall.

Keywords: Rainfall estimation; Himawari-8 satellite; Random Forest.

Bài báo khoa học

Phân tích khả năng mất ổn định đường bờ sông Tiền qua huyện Cái Bè, tỉnh Tiền Giang

Nguyễn Hoàng Khuyên^{1*}, Nguyễn Thị Nụ², Bùi Trường Sơn³

¹ Sở Kế hoạch Đầu tư Tỉnh Tiền Giang; nhk.skh@gmail.com

² Trường Đại học Mỹ - Địa chất; nguyenthinu@humg.edu.vn

³ Trường Đại học Mỹ - Địa chất; buitruongson@humg.edu.vn

*Tác giả liên hệ: nhk.skh@gmail.com; Tel.: +84-918328583

Ban Biên tập nhận bài: 1/9/2023; Ngày phản biện xong: 7/10/2023; Ngày đăng: 25/11/2023

Tóm tắt: Cấu trúc địa chất bờ sông Tiền đoạn qua huyện Cái Bè, tỉnh Tiền Giang gồm nhiều loại đất yếu có thành phần khác nhau, cùng với chế độ dòng chảy sông phức tạp đã gây nên hiện tượng mất ổn định. Nội dung của bài báo đề cập đến khả năng mất ổn định bờ sông Tiền đoạn qua huyện Cái Bè, tỉnh Tiền Giang. Bằng phương pháp số và ứng dụng phần mềm GEO-SLOPE, bài báo đã mô phỏng đường bờ và các yếu tố tác động, đề xuất hai bước phân tích ổn định ở trạng thái tự nhiên và bị xói với diện tích khác nhau (18 m^2 , $18+20\text{ m}^2$, $18+20+25\text{ m}^2$ và $18+20+25+25\text{ m}^2$), kết quả nghiên cứu cho thấy, hệ số ổn định bị suy giảm rõ rệt khi diện tích xói tăng và giảm từ 1,070 xuống 0,896. Như vậy, có thể thấy ngay ở trạng thái tự nhiên, đường bờ có hệ số ổn định không cao, khi bị xói lở đặc biệt diện tích xói tăng, bờ bị mất ổn định.

Từ khóa: Mất ổn định; Huyện Cái Bè; Đất yếu.

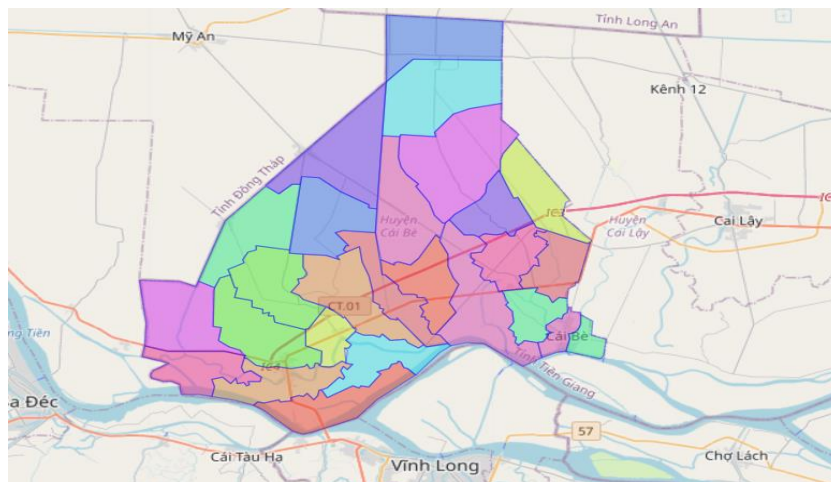
1. Mở đầu

Trên thế giới, tác giả [1] là người đầu tiên đưa ra chỉ tiêu ổn định lòng sông là tỉ số giữa sức cản chống lại sự chuyển động của cát và áp lực thủy động của dòng nước tác động lên cát lòng. Nghiên cứu các yếu tố gây mất ổn định lòng sông, tác giả [2] cho rằng phương pháp cân bằng giới hạn cũng có những sai số đáng kể khi tính ổn định dòng sông do phương pháp tiếp nhận động học và tính đều chưa thực sự hợp lý. Tác giả [3] đã nghiên cứu cơ chế phá hoại của mái dốc trong các loại đất chịu bất kỳ loại ngập úng nào, đặc biệt, khi đất chuyển từ trạng thái không bão hòa sang trạng thái bão hòa, và khẳng định nghiên cứu thực địa là một phương pháp khá hiệu quả để cung cấp thông tin chính xác nhất. Tác giả [4] cho rằng xói mòn bờ sông là một quá trình địa mạo tự nhiên xảy ra ở tất cả các kênh khi điều chỉnh kích thước và hình dạng kênh để vận chuyển lưu lượng và phù sa. Các cơ chế phá hoại xảy ra ở hai phần của bờ sông dọc theo sông Arno, miền Trung nước Ý, được nghiên cứu chi tiết bằng một loạt các quan sát hiện trường định kỳ và đo đạc hồ sơ bờ [5]. Áp lực nước lỗ rỗng (dương và âm) được theo dõi trong bốn năm (1996-1999) bằng cách sử dụng một loại máy đo áp suất căng ở các độ sâu tại một bờ sông Sieve, Tuscany, nước Ý, để khảo sát sự thay đổi áp lực nước lỗ rỗng và ảnh hưởng đến sự ổn định của bờ sông [6]. Tác giả [7] khẳng định sự cố công trình bờ sông phụ thuộc vào tính chất của đất và sự dao động của mực nước sông. Tác giả [8] đã phân tích các nguyên nhân có thể xảy ra, cơ chế, phương pháp dự báo phá hủy bờ và đề ra các biện pháp bảo vệ bờ khác nhau.

Tại Việt Nam, các vấn đề về sạt lở bờ sông được đánh giá bằng nhiều phương pháp khác nhau như công nghệ viễn thám [9], phương pháp phân tích thứ bậc AHP và GIS [10], phân tích ảnh vệ tinh [11]. Tác giả [12] đã nghiên cứu diễn biến xói lở - bồi tụ lòng sông Tiền đoạn

Trên địa phận tỉnh Tiền Giang, hiện tượng mất ổn định bờ cũng chủ yếu là sạt lở, ở giai đoạn từ năm 2000 đến năm 2005 đã mất đi 451 ha, giai đoạn 2009 đến năm 2014 sạt lở với diện tích 909,15 ha (tăng hơn 100%), còn ở các giai đoạn khác thì diện tích sạt lở thấp hơn. Tốc độ sạt lở tại các bờ sông thuộc tỉnh Tiền Giang cũng rất nhanh, lên đến 90,2 ha/năm ở giai đoạn 2000-2005.

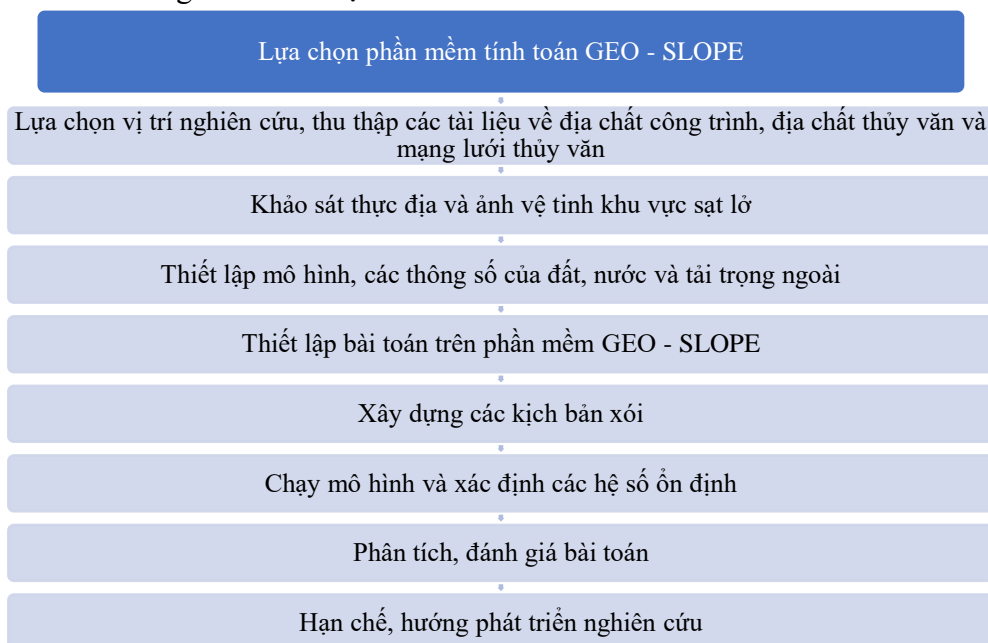
Trên đoạn sông qua địa bàn huyện Cái Bè, tỉnh Tiền Giang (Hình 2), sạt lở diễn ra với tốc độ lớn và nghiêm trọng. Sạt lở diễn ra thường không theo qui luật và xảy ra ở bất kỳ thời điểm nào trong năm. Tuy nhiên, sạt lở với nguy cơ cao ở thời điểm trước và sau mỗi mùa lũ hàng năm. Bằng các số liệu thống kê từ năm 2016 đến năm 2020, tỉnh Tiền Giang đã phải tiến hành xử lý 547 điểm sạt lở, với tổng chiều dài 51139 m. Chỉ riêng năm 2019, tổng chiều dài sạt lở là 4700 m và chi phí khắc phục lên đến 48 tỷ đồng. Trong đó, huyện Cái Bè có 42 điểm sạt lở với tổng chiều dài 2550 m. Năm 2020, tỉnh có 132 điểm sạt lở với tổng chiều dài 8.527 m, ước kinh phí xử lý khoảng 114,4 tỷ đồng. Cho đến nay vẫn còn 39 điểm sạt lở chưa được xử lý, có tổng chiều dài trên 2255 m với tổng kinh phí xử lý ước trên 39,6 tỷ đồng.



Hình 2. Vị trí đoạn sông Tiền thuộc Huyện cái Bè.

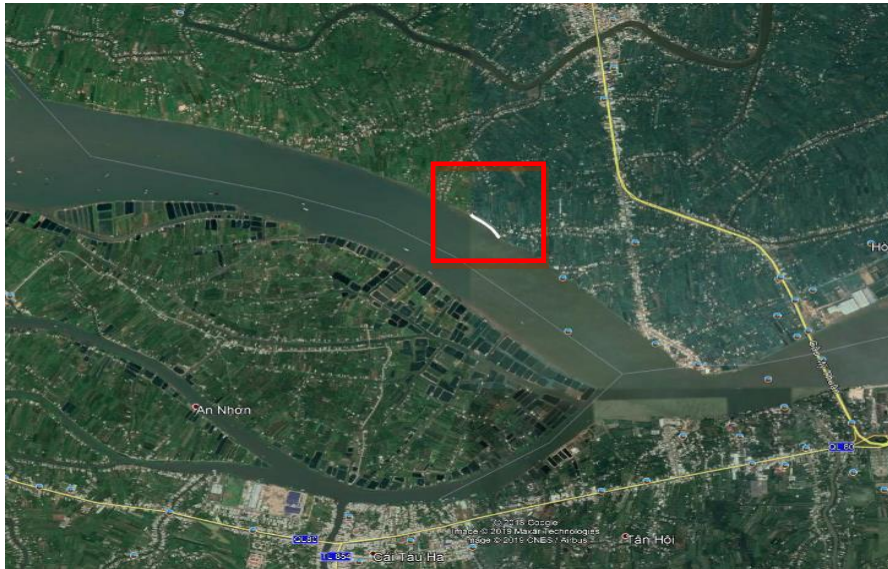
2.2. Phương pháp nghiên cứu và thu thập số liệu

Sơ đồ cấu trúc nghiên cứu được tóm tắt theo sơ đồ hình 3.

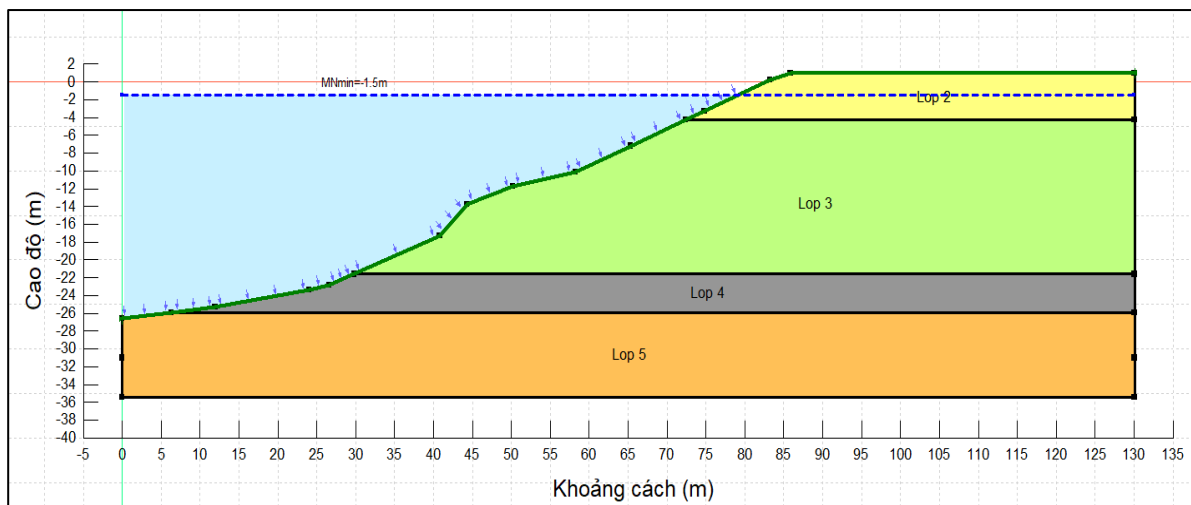


Hình 3. Sơ đồ cấu trúc nghiên cứu.

Lựa chọn mặt cắt tại K0+25m thuộc dự án “Xử lý sạt lở đê ven Sông Tiền” [20] tại 3 xã Hòa Hưng, An Hữu, Tân Thanh. Dự án nằm trên huyện Cái Bè, tỉnh Tiền Giang, vị trí dự án thuộc bờ trái của cửa sông Tiền, chiều dài tuyến 300m và được thể hiện ở hình 4. Sơ họa mặt cắt tính toán tại K0+25m được thể hiện tại hình 5.



Hình 4. Vị trí mặt cắt tính toán.



Hình 5. Mặt cắt tính toán K 0+25m.

Để tính toán ổn định bờ sông Tiền đoạn qua huyện Cái Bè, tỉnh Tiền Giang, sử dụng phần mềm GEO-SLOPE. Phần mềm GEO-SLOPE là một phần mềm Địa kỹ thuật của Canada. Trong đó, môđun SLOPE/W - trong phần mềm GEO-SLOPE sử dụng để tính toán ổn định mái dốc tự nhiên, ta luy của đường đắp, taluy của đường đào, đập đất, đê chắn sóng, các loại tường chắn, cũng như ổn định của các mái dốc hay sườn dốc trong trường hợp có gia cố như đất chèn cốt như neo, đất có cốt thêm vải địa kỹ thuật và lưới thép. Việc tính toán hệ số ổn định trong phần mềm dựa vào phương pháp cân bằng giới hạn LEM. Phương pháp tính toán lựa chọn là phương pháp Bishop. Khi tính toán ổn định, giả thiết mặt trượt là cung tròn hình trụ, chia khối trượt ra nhiều các mảnh khác nhau và tính toán hệ số ổn định (FOS) bằng tỷ số giữa lực chống trượt và lực gây trượt. Nếu $FOS = 1$, mái dốc ở trạng thái cân bằng giới hạn, $FOS > 1$, mái dốc ổn định và $FOS < 1$, mái dốc bị mất ổn định. Các thông đầu vào các lớp đất được thể hiện trong bảng 1.

Bảng 1. Thông số đầu vào các lớp đất cho phần mềm GEO-SLOPE.

Lớp đất	Lớp số 2 (Layer 2)	Lớp số 3 (Layer 3)	Lớp số 4 (Layer 4)	Lớp số 5 (Layer 5)
Mô tả	Sét trạng thái chảy đến dẻo chảy	Cát hạt mịn lẫn sét trạng thái chảy đến dẻo	Đất sét trạng thái dẻo mềm	Cát mịn lẫn sét trạng thái dẻo
Cao độ đỉnh lớp, m	1,0	-4,2	-21,6	-25,9
Mô hình	Mohr - Coulomb	Mohr - Coulomb	Mohr - Coulomb	Mohr - Coulomb
Khối lượng thể tích, γ , kN/m ³	16,2	18,4	17,4	19,5
Lực dính kết, C, kPa	7	7,1	14	8
Góc nội ma sát, ϕ , độ	5,2	15,2	9,0	19,7

Theo báo cáo khảo sát thủy văn, mực nước thấp nhất tại khu vực này là $M_{\min} = -1,5$ m, tương ứng với tần suất thiết kế $P = 95\%$. Mực nước này sẽ được lấy để phân tích ổn định bờ sông.

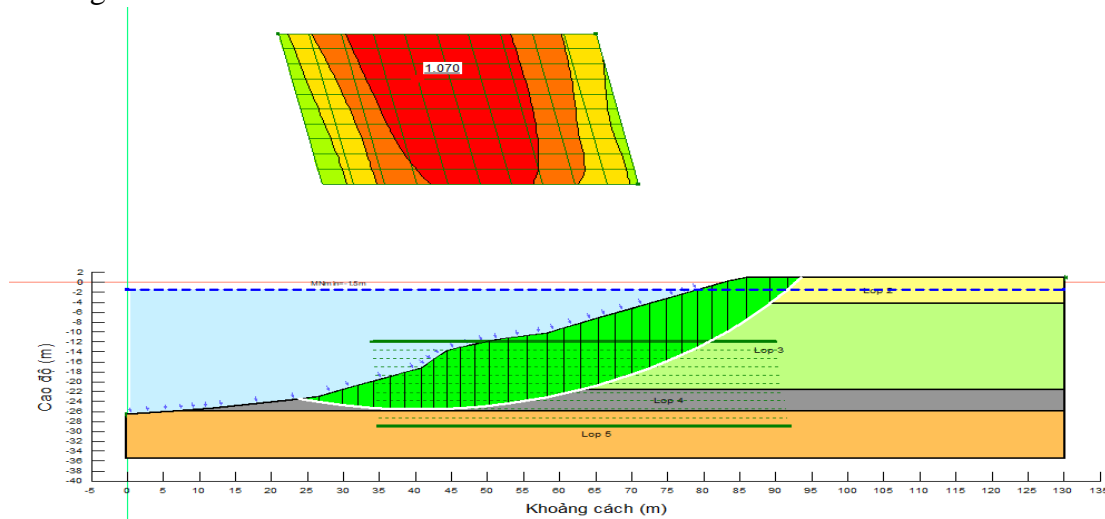
Quá trình nghiên cứu mất ổn định được tuân theo hai bước:

Bước 1: Phân tích ổn định bờ sông ở trạng thái hiện trạng (trạng thái tự nhiên). Trường hợp tính toán không có hoạt tải giao thông được thể hiện tại hình 6 và có hoạt tải giao thông với tải trọng 10kPa tại hình 7.

Bước 2: Khảo sát ảnh hưởng của tiến trình xói lòng sông đến ổn định của bờ sông. Quá trình nghiên cứu với 4 mức độ xói khác nhau (giai đoạn 1: diện tích xói là 18 m², giai đoạn 2: diện tích xói tiếp sau giai đoạn 1 là 20 m² (tổng diện tích xói là 18 m² + 20 m²), giai đoạn 3: diện tích xói tiếp sau giai đoạn 2 là 25 m² (tổng diện tích xói là 18 m² + 20 m² + 25 m²), giai đoạn 4: diện tích xói tiếp sau giai đoạn 3 là 25 m² (tổng diện tích xói là 18 m² + 20 m² + 25 m² + 25 m²).

3. Kết quả và thảo luận

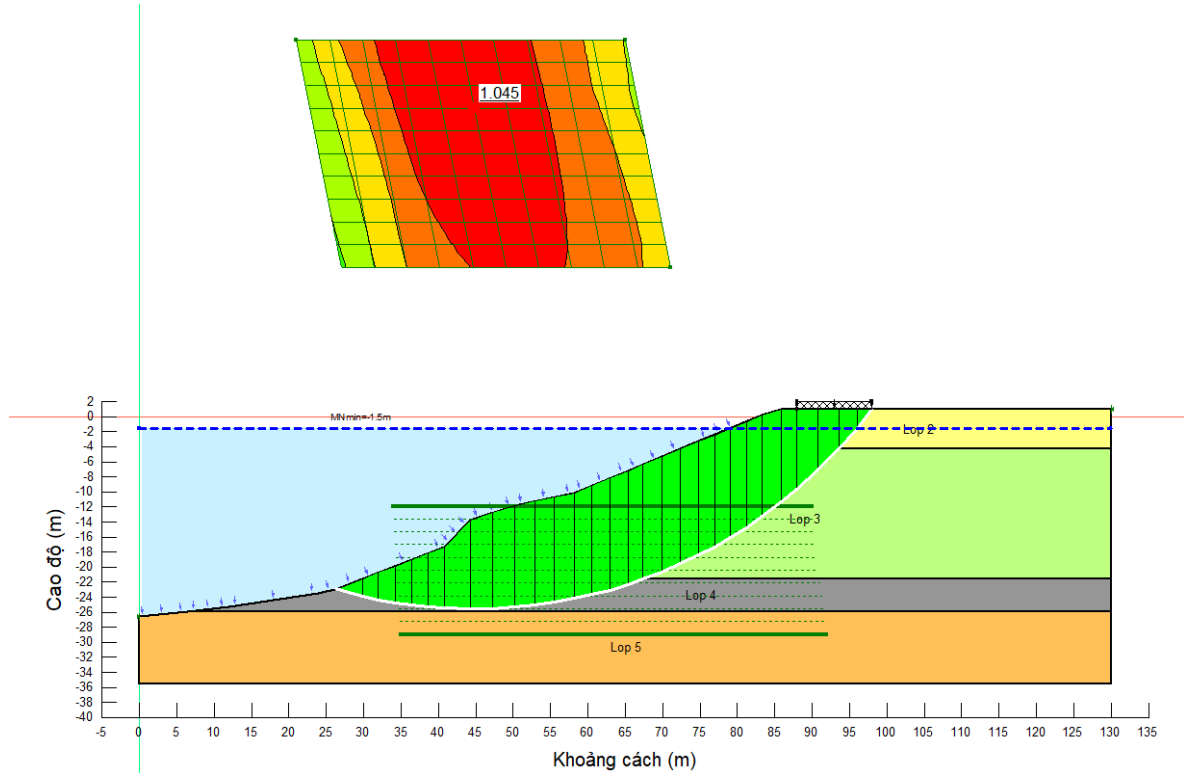
Kết quả phân tích ổn định bờ sông bằng phần mềm GEO-SLOPE ở bước 1 được thể hiện ở hình 6 và hình 7. Hình 6 thể hiện cung trượt và hệ số ổn định khi bờ sông không có hoạt tải tác dụng. Hình 7 thể hiện cung trượt và hệ số ổn định khi bờ sông có hoạt tải là tải trọng giao thông 10 kPa.



Hình 6. Phân tích ổn định khi không có hoạt tải phía trên, hệ số ổn định FOS = 1,070.

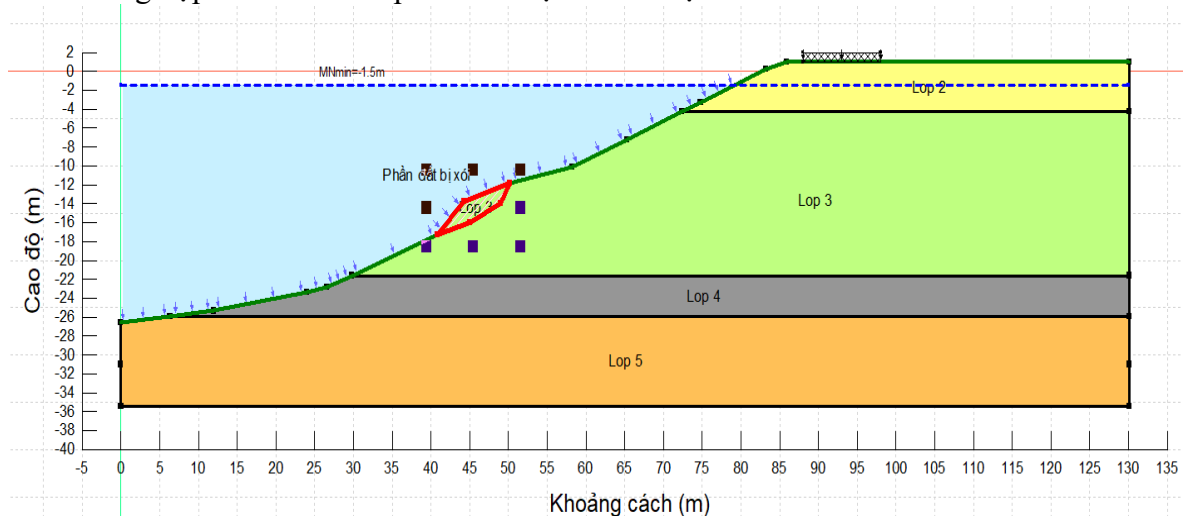
Theo kết quả ở hình 6 cho thấy hệ số ổn định của bờ sông $FOS = 1,070$ và theo kết quả ở hình 7 cho thấy, khi có hoạt tải 10 kPa thì hệ số ổn định của bờ sông giảm xuống và chỉ còn $FOS = 1,045$. Từ kết quả phân tích tính toán ở hình 6 và hình 7 có thể thấy với hiện trạng

bờ sông khá thoải ở vị trí mặt cắt thì bờ sông ổn định. Tuy nhiên, khi bờ sông có hoạt tải hay không có hoạt tải giao thông sát bờ thì hệ số ổn định bờ sông là rất thấp, chỉ lớn hơn 1 một chút. Các hệ số ổn định này cho thấy bờ sông sắp tới trạng thái cân bằng tới hạn, có thể dễ dàng bị sạt lở khi có tác động. Điều này có thể nhận định là do các lớp đất đá dọc bờ sông khá yếu, nên tính ổn định của bờ sông không cao.

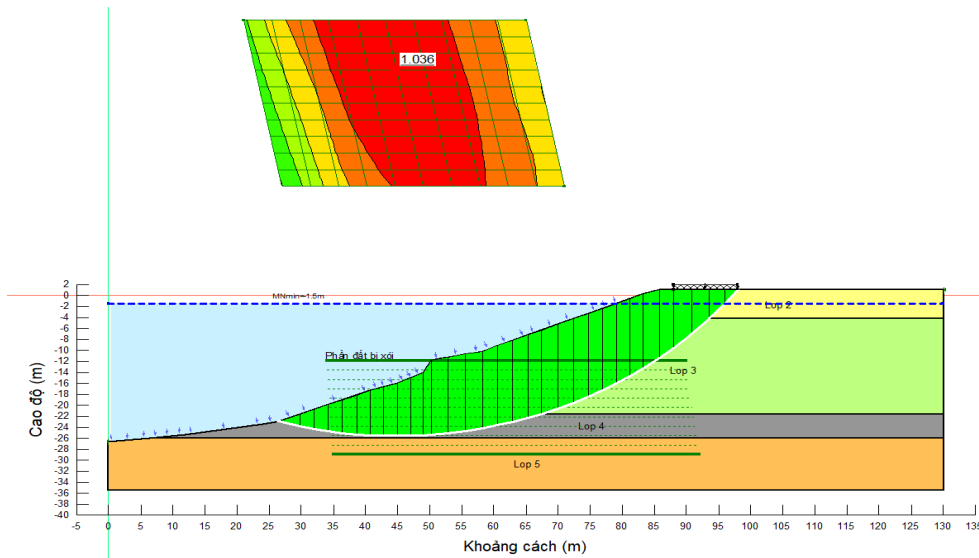


Hình 7. Phân tích ổn định khi có hoạt tải giao thông 10 kPa, hệ số ổn định FOS = 1,045.

Có thể nhận thấy lớp đất số 3 là lớp cát mịn lẫn sét rất dễ bị xói do tác động của dòng chảy. Việc xói bờ sông sẽ làm giảm tính ổn định của bờ sông gây ra sạt lở. Dưới đây sẽ tiến hành phân tích diễn biến xói để khảo sát sự ảnh hưởng của nó đến ổn định bờ sông. Mô phỏng bài toán với lớp đất 3 bị xói với các diện tích khác nhau. Các giai đoạn sau bị xói nhiều hơn các giai đoạn trước. Các diễn biến xói và phân tích ổn định được thể hiện từ các hình 8 đến hình 13. Mô hình thiết lập có hoạt tải giao thông 10kPa và các thông số của mô hình giống như trường hợp ở hình 7 và lớp đất số 3 bị xói với diện tích khác nhau.

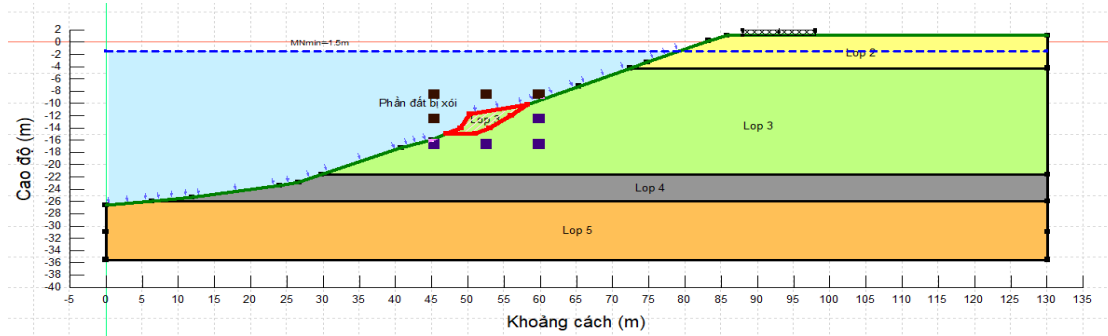


Hình 8. Giai đoạn xói 1 (diện tích xói 18 m²).

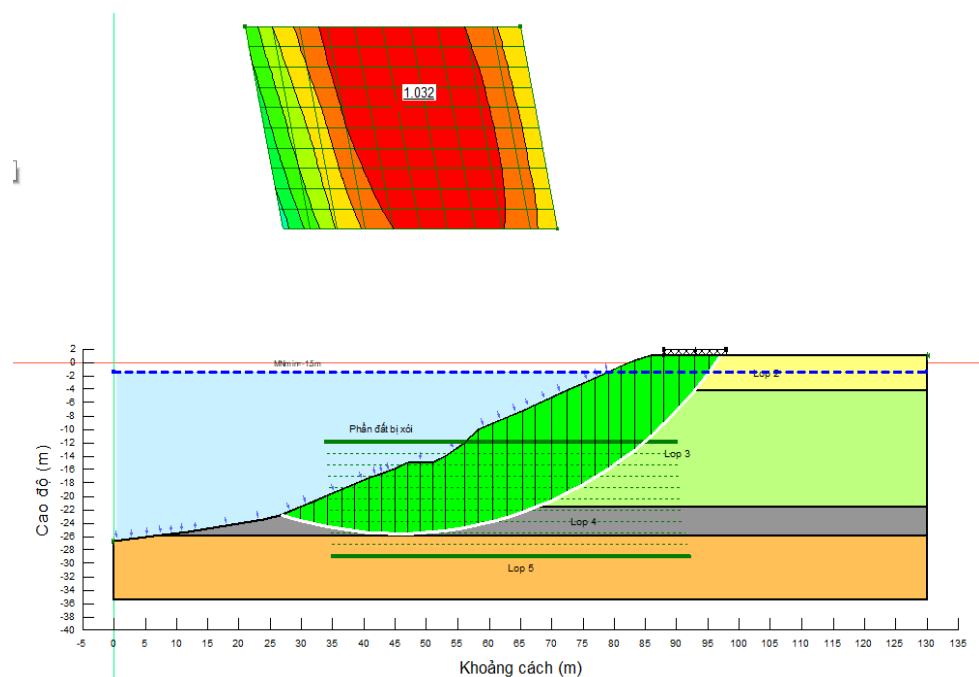


Hình 9. Hệ số ổn định ở giai đoạn xói 1. FoS = 1,036.

So sánh hình 8, hình 9 với các hình 6 và hình 7 cho thấy, khi lớp đất số 3 bị xói với diện tích là 18 m^2 , hệ số ổn định đã bị giảm từ 1,070 và 1,045 xuống còn 1,036, bờ sông dần dần bị mất ổn định.

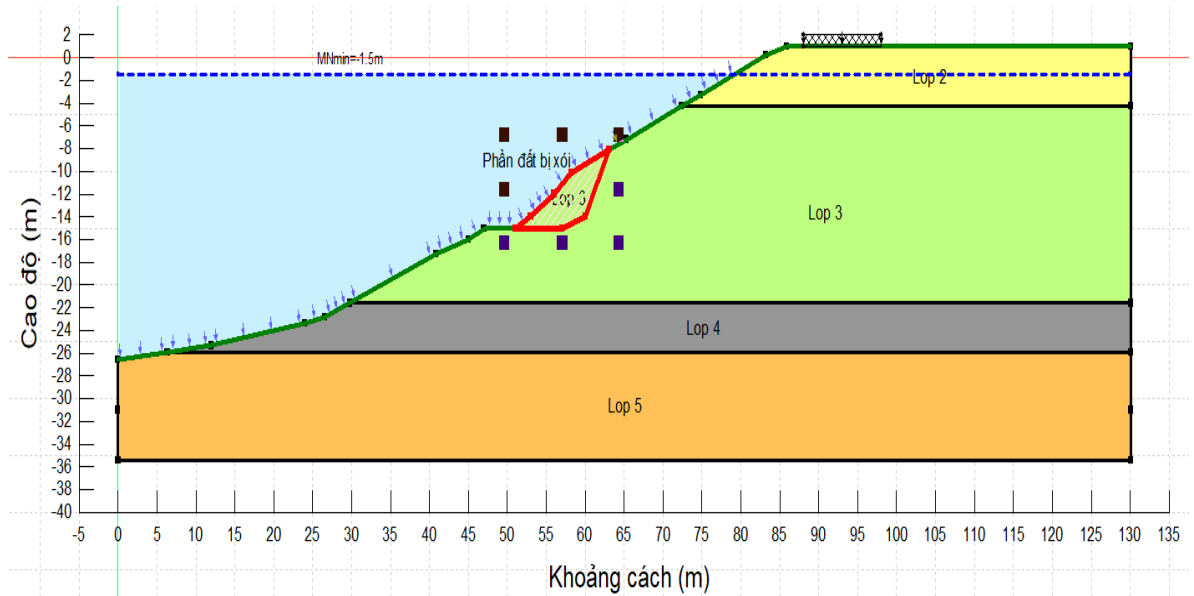


Hình 10. Giai đoạn xói 2 (diện tích xói 20 m^2 , tổng diện tích xói sau giai đoạn 2 là $18 \text{ m}^2 + 20 \text{ m}^2$).

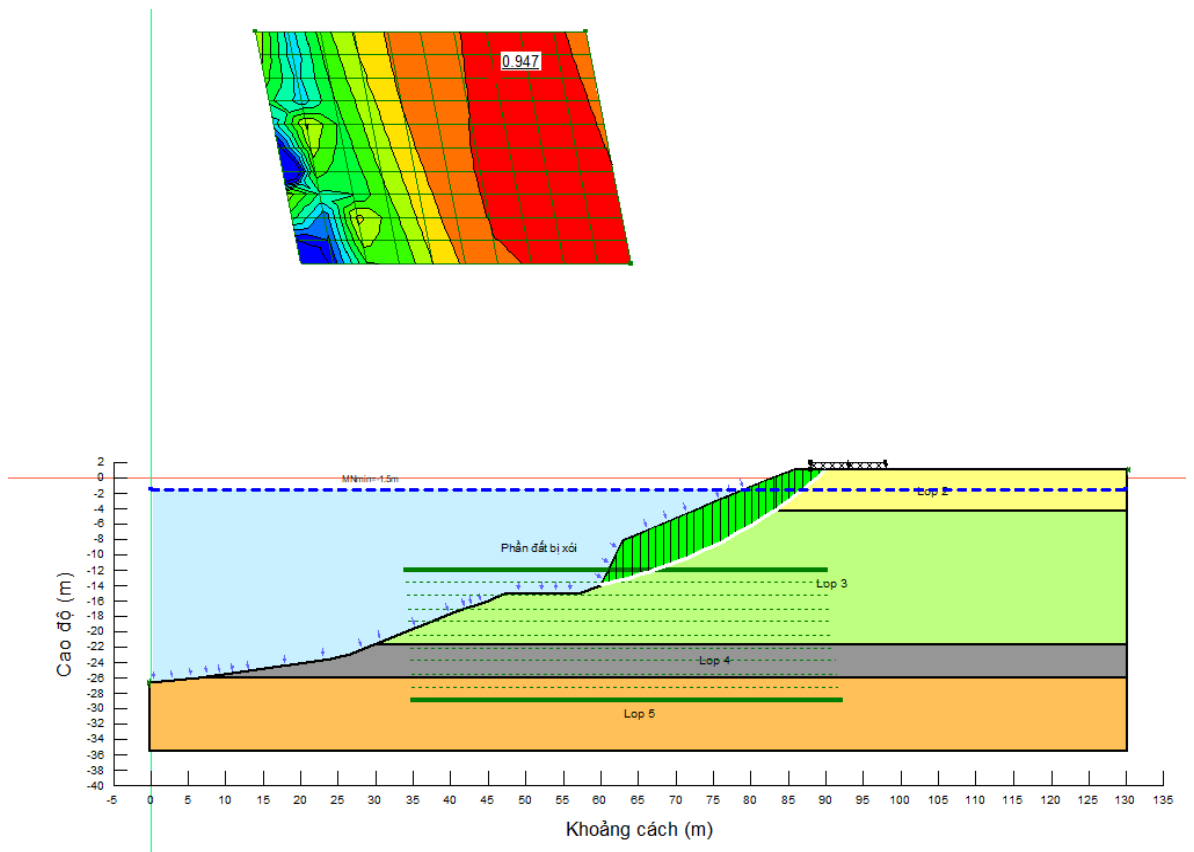


Hình 11. Hệ số ổn định ở giai đoạn xói 2, FOS = 1,032.

So sánh hình 10, hình 11 với các hình 6 và hình 7 cho thấy, khi lớp đất số 3 bị xói với diện tích là 20 m^2 (tổng diện tích xói là $18 + 20 \text{ m}^2$), hệ số ổn định đã bị giảm từ 1,070 và 1,045 xuống còn 1,032, bờ sông dần dần bị tiến tới trạng thái cân bằng giới hạn, mặt trượt có sự thay đổi so với giai đoạn 1.

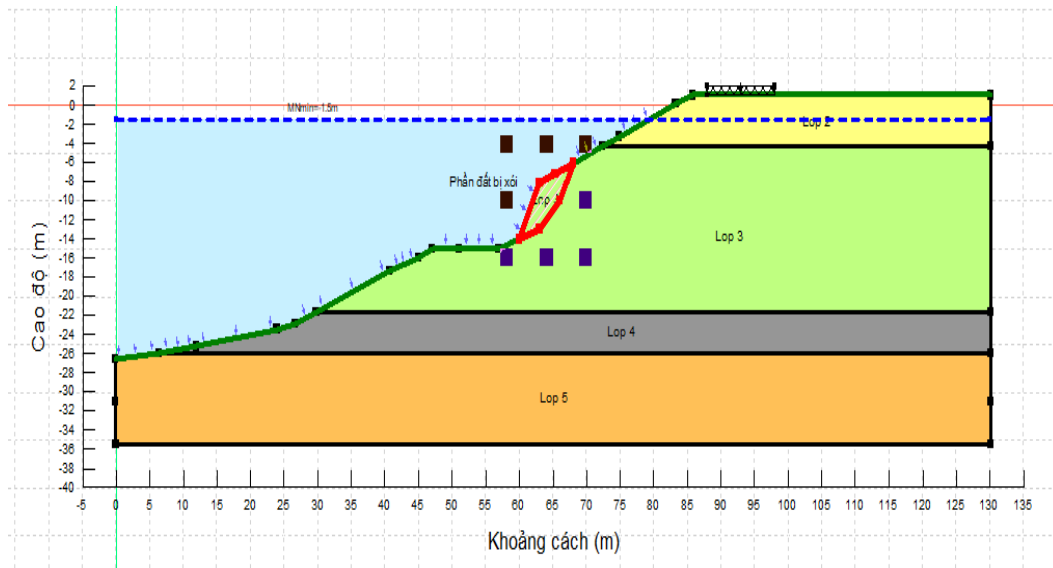


Hình 12. Giai đoạn xói 3 (diện tích xói 25 m^2 , tổng diện tích xói sau giai đoạn 3 là $18\text{m}^2+20\text{m}^2+25\text{m}^2$).

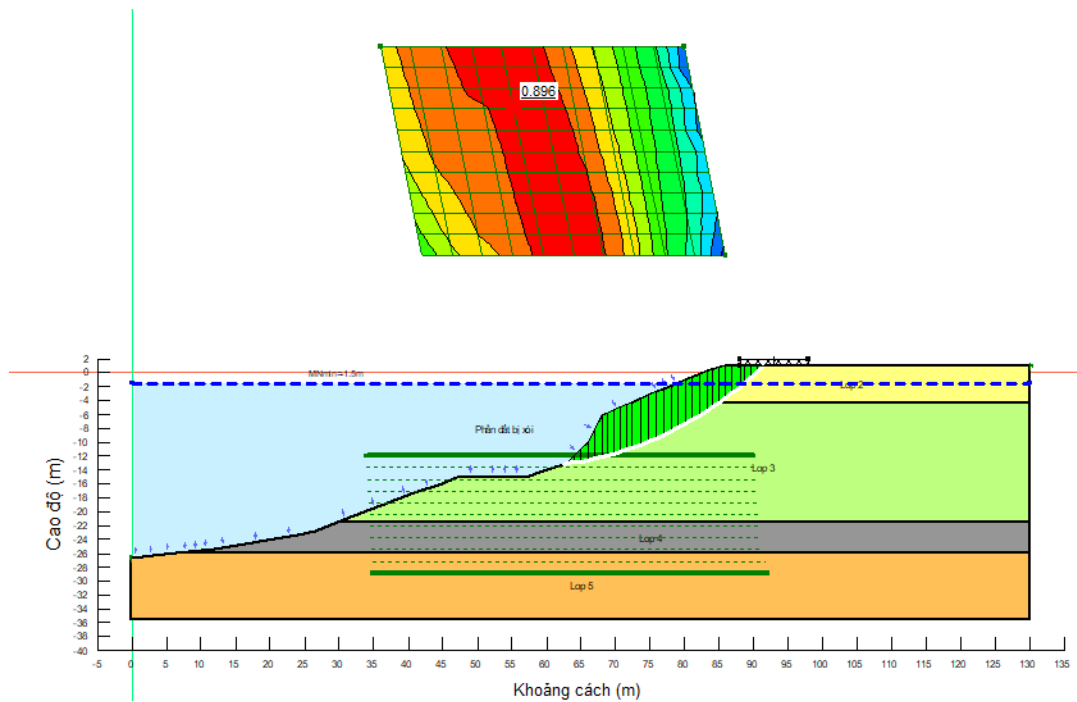


Hình 13. Hệ số ổn định ở giai đoạn xói 3, FOS = 0,947.

So sánh hình 12, hình 13 với các hình 6 và hình 7 cho thấy, khi lớp đất số 3 bị xói với diện tích là 25 m^2 (tổng diện tích xói là $18 + 20 + 25 \text{ m}^2$), hệ số ổn định đã bị giảm từ 1,070 và 1,045 xuống còn $0,947 < 1$, bờ sông bị mất ổn định. Mặt trượt chỉ còn trong lớp 1 và lớp 2, nhỏ hơn so với giai đoạn 2.



Hình 14. Giai đoạn xói 4 (diện tích xói 25m², tổng diện tích xói sau 4 giai đoạn là (18m²+20m²+25m² + 25m²)

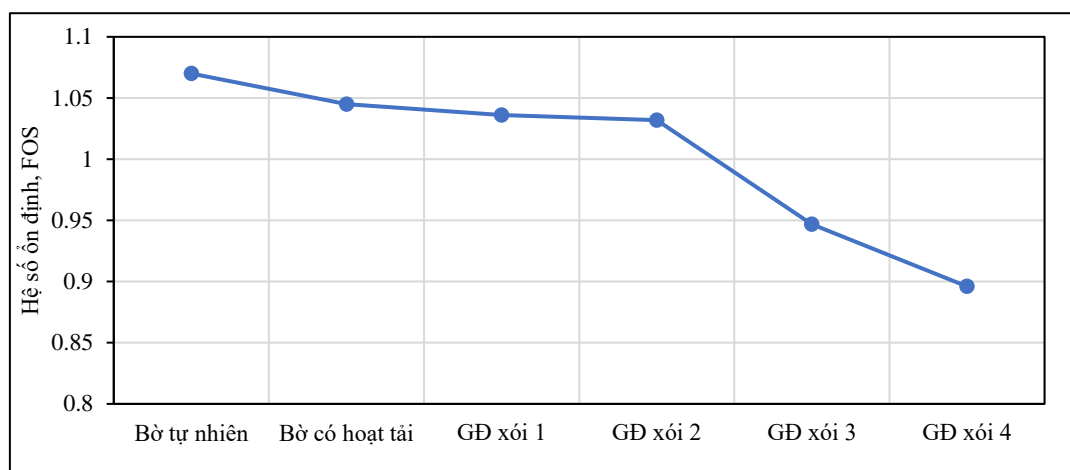


Hình 15. Hệ số ổn định ở giai đoạn xói 4, FOS = 0,896.

So sánh hình 14, hình 15 với các hình 6 và hình 7 cho thấy, khi lớp đất số 3 bị xói với diện tích là 25m² (tổng diện tích xói là 18 + 20 + 25 + 25 m²), hệ số ổn định đã bị giảm từ 1,070 và 1,045 xuống còn 0,896 < 1, bờ sông bị mất ổn định. Mặt trượt chỉ còn trong lớp 1 và lớp 2, nhỏ hơn so với giai đoạn 3. Tổng kết hệ số ổn định ở các giai đoạn phân tích được thể hiện ở bảng 2 và hình 16.

Bảng 2. Hệ số ổn định ở các giai đoạn khác nhau.

Giai đoạn xói	Bờ tự nhiên	Bờ có hoạt tải	Giai đoạn xói 1	Giai đoạn xói 2	Giai đoạn xói 3	Giai đoạn xói 4
Tổng diện tích xói, m ²	-	-	18	18+20	18+20+25	18+20+25+25
Hệ số ổn định, FOS	1,070	1,045	1,036	1,032	0,947	0,896



Hình 16. Hệ số ổn định ở các giai đoạn khác nhau.

Như vậy, theo diễn biến xói lòng sông dưới sự tác động của dòng nước có thể thấy tính ổn định của bờ sông giảm đi rõ rệt. Hệ số ổn định của bờ sông giảm từ 1,070 xuống 0,896 ở giai đoạn xói 4 theo kết quả phân tích. Điều này có nghĩa bờ sông có thể sạt lở bất cứ lúc nào và nguy cơ tiềm ẩn rất nhiều rủi ro.

Có thể thấy bờ sông đoạn qua hiện Cái Bè có nền địa chất yếu, ngay cả khi ở trạng thái hiện tại, sự ổn định của đường bờ là không cao, cộng với việc xói lở do dòng nước nghịch sẽ làm tăng nguy cơ sạt lở. Điều này có nghĩa cần phải có các giải pháp kết hợp giữa giải pháp công trình (làm kè sông) và giải pháp chống xói lở lòng sông (trả thảm đá...) để giảm nguy cơ sạt lở bờ sông. Cần nghiên cứu kỹ để đưa ra được giải pháp tối ưu cho trường hợp này.

4. Kết luận

Từ kết quả nghiên cứu có thể rút ra một số kết luận sau:

Bằng phương pháp số sử dụng phần mềm GEO - SLOPE, mô phỏng đường bờ và các yếu tố tác động, đề xuất hai bước phân tích ở trạng thái tự nhiên và phân tích ở đoạn bờ bị xói với diện tích khác nhau, kết quả nghiên cứu cho thấy, hệ số ổn định bị suy giảm rõ rệt khi diện tích xói tăng, làm mất ổn định bờ.

Qua phân tích tính toán có thể thấy xói bờ sông là một trong những nguyên nhân chính gây mất ổn định bờ sông. Để ổn định bờ sông cần có những giải pháp chống xói kết hợp các giải pháp khác bằng kết cấu công trình.

Nội dung của bài báo mới đề cập đến hiện tượng mất ổn định bờ sông Tiền do xói lớp số 3, chưa đề cập đến ảnh hưởng của chế độ dòng chảy động tới sự ổn định, xói lòng và xói đáy. Hướng tiếp theo của nghiên cứu sẽ phân tích đầy đủ các nguyên nhân gây mất ổn định cũng như đề xuất phương pháp phòng chống hiện tượng mất ổn định bờ.

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

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. Nga, N.T.; Thục, T. Động lực học sông. Nhà xuất bản Đại học Quốc Gia, 2003.
2. Lechchinsky, D. Limit Analysis versus Limit Equilibrium for Slope Stability. *J. Geotech. Geoenviron. Eng.* **1998**, *124(1)*, 1–11.
3. Yang, R.; Xiao, P.; Qi, S. Analysis of Slope Stability in Unsaturated Expansive Soil: A Case Study. *Earth Sci.* **2019**, *7*, 292.

4. Watson, A.; Basher, L. Stream bank erosion: a review of processes of bank failure, measurement and assessment techniques, and modelling approaches. In A Report Prepared for Stakeholders of the Motueka Integrated Catchment Management Programme and the Raglan Fine Sediment Study; Landcare Research: Hamilton, New Zealand, 2006.
5. Dapporto, S.; Rinaldi, M.; Casagli, N. Failure mechanisms and pore pressure condition analysis of Riverbank along the Arno River (Central Italy). *Eng. Geology* **2001**, 61, 221–242.
6. Rinaldi, M.; Casagli, N.; Dapporto, S.; Gargini, A. Monitoring and modeling of pore water pressure changes and river-bank stability during flow events. *Earth Surf. Process. Landf.* **2004**, 29, 237–254.
7. Hui, L. Yangtze. Riverbank slope stability by water level change in the three gorges reservoir. *Electron. J. Geotech. Eng.* **2015**, 20, 1847–1856.
8. Shofiul Islam, M.S. River bank erosion and sustainable protection strategies. Fourth International Conference on Scour and Erosion, 2008, 316–323.
9. Thủy, V.T.T. Ứng dụng công nghệ viễn thám và GIS nghiên cứu tại biến xói lở, bồi tụ đối ven biển Hải Phòng Trường Đại học Khoa học Tự nhiên. Luận văn thạc sĩ, 2012.
10. Phát, L.T.; Duy, Đ.V.; Hiếu, C.T.; An, N.T.; Lavane, K.; Tỳ, T.V. Một số nhận định ban đầu về nguyên nhân gây mất ổn định bờ sông ở huyện Châu Thành tỉnh Hậu Giang. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* **2022**, 740, 57–73.
11. Điệp, N.T.H.; Minh, V.Q.; Trường, P.N.; Thành, L.K.; Vinh, L.T.Q. Diễn tiến tình hình sạt lở ven bờ sông Tiền và sông Hậu, vùng Đồng bằng Sông Cửu Long. *Tạp chí Khoa học Trường Đại học Cần Thơ* **2019**, 55, 125–133.
12. Hải, H.Q. Tai biến xói lở - bồi tụ lòng sông Tiền đoạn Tân Châu - Hồng Ngự từ góc nhìn của địa mạo học. *Tạp chí địa chất* **2007**, A-302/9-10, 21–32.
13. Tỳ, T.V.; Tiến, P.H.; Thịnh, L.V.; Hồng, H.T.C.; Thắng, C.N.; Duy, Đ.V.; An, N.T.; Anh, L.Q.; Liêm, N.T. Phân tích các yếu tố ảnh hưởng đến ổn định bờ sông: Trường hợp nghiên cứu tại đoạn sông Chà Và, tỉnh Vĩnh Long. *Tạp chí Khoa học Đại học Cần Thơ* **2022**, 58(5A), 14–21.
14. Lộc, N.Đ.; Linh, L.T.C.; Minh, H.V.T.; Luận, T.C.; Tho, N.V.; Hưng, V.V.; Tỳ, T.V. Xác định nguyên nhân sạt lở bờ sông theo phương pháp khảo sát thực địa: nghiên cứu tại sông Cái Sắn, thành phố Cần Thơ. *Tạp chí Xây dựng* **2020**, 7, 146–151.
15. Bằng, L.H.; Thịnh, L.V.; Trí, L.H.; Duy, Đ.V.; Tỳ, T.V.; Minh, H.V.T. Nghiên cứu ảnh hưởng của các yếu tố địa chất, thủy văn đến ổn định bờ sông Cái Vũng, huyện Hồng Ngự, tỉnh Đồng Tháp. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* **2021**, 731, 16–25.
16. Viện Khoa học Công nghệ. Nghiên cứu ứng dụng công nghệ phòng chống xói lở bờ sông Vu Gia - Thu Bồn tỉnh Quảng Nam. Đề tài nghiên cứu khoa học. 2019.
17. 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.
18. Dũng, P.V. Nghiên cứu dự báo sạt lở tại khu vực cù lao Long Khánh trên sông Tiền và đề xuất các giải pháp bảo vệ. Luận văn Thạc sĩ, Đại học Thủy lợi, 2015.
19. Trí, L.H.; Thành, Đ.T.; Linh, L.T.C.; Thịnh, L.H.; Tỳ, T.V. Phân tích ảnh hưởng của các yếu tố đến ổn định bờ sông: Trường hợp nghiên cứu tại sông Cái Lân, huyện Cái Bè, tỉnh Tiền Giang. *Tạp chí Nông nghiệp & Phát triển Nông thôn* **2021**, 15, 25–34.
20. Viện Khoa học Thủy lợi Miền Nam. Hồ sơ khảo sát địa chất dự án Xử lý sạt lở khu vực xã Đông Hòa Hiệp, huyện Cái Bè (đoạn từ K0 ÷ K0+560), 2021.

Analysis the possibility of destabilization of the Tien river bank line through Cai Be district, Tien Giang province

Nguyen Hoang Khuyen^{1*}, Nguyen Thi Nu², Bui Truong Son³

¹ Tien Giang Department of Planning and Investment; nhk.skh@gmail.com

² Hanoi University of Mining and Geology; nguyenthinu@humg.edu.vn

³ Hanoi University of Mining and Geology; buitruongson@humg.edu.vn

Abstract: The bank of Tien River in Cai Be district, Tien Giang province has stratigraphic characteristics including soft soils with different compositions, along with the complex river's flow regime, causing bank instability. The article refers to the analysis of the possibility of instability of the Tien river bank line through Cai Be district, Tien Giang province. Using numerical methods of GEO -SLOPE software, simulating the shoreline and impact factors, proposing two steps of analysis in the natural state and analysis of the eroded shore with different areas (18 m^2 , $18+20 \text{ m}^2$, $18+20+25 \text{ m}^2$ and $18+20+25+25 \text{ m}^2$), the research results shows that the stability coefficient is clearly reduced as the erosion area increases, destabilizing the bank of river and decreases from 1.070 to 0.896. Thus, it can be seen that in the natural state, the shoreline has a low stability coefficient and if the bank river eroded, the shoreline becomes unstable.

Keywords: Unstability; Cai Be District; Soft soil.

Bài báo khoa học

Ứng dụng phương pháp muối hòa tan xác định lưu lượng dòng chảy trên các vùng núi cao miền Bắc Việt Nam

Vũ Thị Minh Nguyệt^{1*}, Đoàn Thế Anh²

¹ Viện Địa chất, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam;
vtmnguyet@igs.vn.vast.vn

² Viện Khoa học Địa chất và Khoáng sản, Bộ Tài nguyên và Môi trường;
theanhdoan79@gmail.com

*Tác giả liên hệ: vtmnguyet@igs.vn.vast.vn; Tel.: +84–904411938

Ban Biên tập nhận bài: 7/9/2023; Ngày phản biện xong: 10/10/2023; Ngày đăng bài: 25/11/2023

Tóm tắt: Dòng chảy mặt trên các vùng núi cao thường có sườn dốc, vận tốc dòng chảy lớn, chảy rối với nhiều cuội-tảng lăn do vậy rất khó thậm chí không áp dụng được các phương pháp đo lưu lượng thông thường. Phương pháp muối hòa tan dựa trên nguyên lý bảo toàn trọng lượng của chất chỉ thị được sử dụng hữu hiệu trong xác định lưu lượng dòng chảy tại nhiều vùng núi cao trên thế giới. Phương pháp muối hòa tan đã được áp dụng thành công xác định lưu lượng dòng chảy tại khu vực vùng núi Phong Thổ (Lai Châu), Mèo Vạc (Hà Giang) và Hà Quảng (Cao Bằng). Chất chỉ thị muối với trọng lượng đã biết được thả xuống dòng chảy tại một điểm và đo đặc giá trị độ dẫn điện của nước (EC) tại một điểm khác dưới hạ nguồn. Lưu lượng (Q) của 17 dòng chảy đã được xác định trên cơ sở đường cong biến thiên EC theo thời gian và hệ số tương quan giữa hàm lượng muối hòa tan và EC. Các kết quả áp dụng tại 3 khu vực miền Bắc Việt Nam cho thấy đây là phương pháp xác định lưu lượng ưu việt, phù hợp với điều kiện tự nhiên của vùng núi cao, dễ triển khai và không đòi hỏi các thiết bị chuyên dụng, do đó cần được áp dụng rộng rãi hơn ở Việt Nam.

Từ khóa: Muối hòa tan; Xác định lưu lượng; Vùng núi cao Việt Nam.

1. Mở đầu

Lưu lượng dòng chảy mặt và lưu lượng nguồn lộ nước dưới đất (NDD) là một trong những thông tin quan trọng cần được đo đạc, xác định ngoài thực địa trong nghiên cứu và quản lý tài nguyên nước. Trong các nghiên cứu thủy văn - địa chất thủy văn, lưu lượng là thông tin đầu vào quan trọng để xác định tương tác nước mặt - nước ngầm, tính toán cân bằng nước, mô hình thủy văn... Trong lĩnh vực quản lý tài nguyên nước, việc xác định lưu lượng dòng chảy định kỳ hoặc thường xuyên cung cấp thông tin cần thiết giúp các nhà quản lý quy hoạch, sử dụng hợp lý tài nguyên nước cho nhiều mục đích khác nhau (thủy điện, nông nghiệp, kiểm soát ô nhiễm, phòng tránh thiên tai...) đồng thời giảm thiểu suy thoái và cạn kiệt nguồn tài nguyên quan trọng này.

Để xác định lưu lượng, phương pháp xác định vận tốc dòng chảy theo tiết diện và phương pháp thiết kế đập ngăn, máng dẫn dòng chảy thường được áp dụng phổ biến [1–3]. Các phương pháp trên cần có thiết bị lưu tốc kế; hoặc cần xây dựng các đập ngăn, máng dẫn dòng chảy. Ngoài ra một số phương pháp khác cũng đòi hỏi việc đầu tư thiết bị như phương pháp đo vận tốc siêu âm, phương pháp màng điện từ. Các phương pháp vừa kể đến này phù hợp với điều kiện dòng chảy tương đối ổn định. Trong vài thập niên gần đây, phương pháp muối hòa tan đã được áp dụng thành công xác định lưu lượng dòng chảy trong các vùng núi cao

hiếm trở tại nhiều nước trên thế giới [4–5]. Với ưu điểm như dễ áp dụng, đảm bảo độ tin cậy, phương pháp muối hòa tan ngày càng được sử dụng rộng rãi và rất phù hợp trong các khu vực có địa hình phức tạp [6–8].

Tại Việt Nam, quy chuẩn kỹ thuật quan trắc thủy văn nói chung và lưu lượng dòng chảy nói riêng đã được [9] ban hành. Gần đây, nghiên cứu của [10] ứng dụng công nghệ Rada quan trắc lưu lượng tự động và [11] giới thiệu một số phương pháp cụ thể tính toán dòng chảy trong điều kiện thiếu hoặc không có số liệu. Phương pháp muối hòa tan được [12] sử dụng lần đầu tiên khi xác định lưu lượng các nguồn lộ karst ở thị xã Tam Đường (nay là thành phố Lai Châu) và [13] áp dụng phương pháp dung dịch hóa học xác định lưu lượng nguồn lộ nước dưới đất tại thị xã Tam Điệp (nay là thành phố Tam Điệp, tỉnh Ninh Bình). Tuy nhiên, phương pháp muối hòa tan hiện còn rất ít được áp dụng tại Việt Nam và cần được phổ biến hơn. Đặc biệt trong các vùng núi cao hiếm trở phía Bắc Việt Nam nơi các dòng chảy thường có vận tốc lớn, chảy siết, trên bề mặt có nhiều tầng lẩn và lòng sông- suối dốc và gồ ghề rất cần thiết sử dụng rộng rãi phương pháp muối hòa tan.

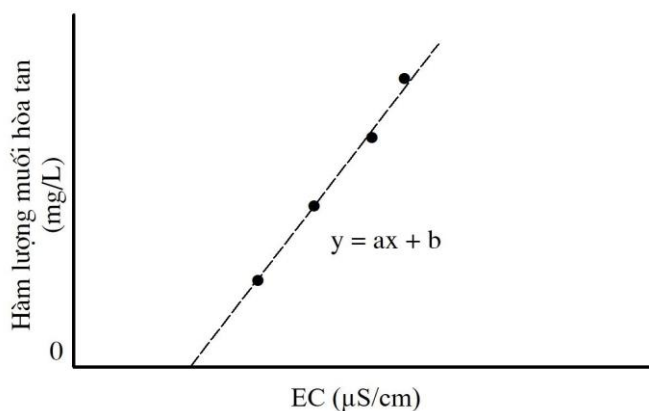
Bài báo này trình bày áp dụng phương pháp muối hòa tan xác định lưu lượng dòng chảy mặt và nguồn lộ trong các khu vực karst tại Phong Thổ (Lai Châu), Mèo Vạc (Hà Giang) và Hà Quảng (Cao Bằng). Đây đều là các khu vực khan hiếm nước nằm trong vùng cao biên giới có địa hình phức tạp, việc sử dụng các phương pháp đo đạc lưu lượng bằng lưu tốc kế hay đập ngăn rất khó thậm chí không khả thi. Các kết quả xác định lưu lượng dòng chảy đã cũng cấp thông tin hữu ích phục vụ nghiên cứu khai thác và quản lý tài nguyên nước ở khu vực đồng thời minh chứng cho sự phù hợp của phương pháp khi áp dụng tại Việt Nam.

2. Phương pháp nghiên cứu

2.1. Phương pháp muối hòa tan

Phương pháp muối hòa tan dựa trên nguyên lý bảo toàn trọng lượng của chất chỉ thị trước và sau khi được thả hòa tan vào dòng chảy [5]. Chất chỉ thị muối với trọng lượng đã biết được thả xuống dòng chảy để xác định lưu lượng. Có hai cách để thả chất chỉ thị muối vào dòng chảy: 1) thả muối liên tục trong một khoảng thời gian xác định; 2) thả muối một lần xuống dòng chảy trong thời gian tức thì. Trong cả hai cách trên, chất chỉ thị muối đều được thả xuống dòng chảy tại một vị trí ở thượng nguồn và được hòa tan, di chuyển xuôi theo dòng chảy. Lưu lượng của dòng chảy được tính toán dựa trên hàm lượng muối hòa tan trong nước tại một vị trí ở hạ nguồn trên cơ sở xác định giá trị độ dẫn điện của nước (EC) theo thời gian.

Tương quan giữa hàm lượng muối hòa tan trong nước và giá trị EC được xác định bằng thực nghiệm và được thể hiện theo hình 1.



Hình 1. Tương quan hàm lượng muối hòa tan và giá trị EC.

Trọng lượng của chất chỉ thị muối thả xuống dòng chảy bằng trọng lượng muối hòa tan vào dòng chảy và được xác định theo công thức:

$$M = \int_0^T Q \cdot c \cdot dt \tag{1}$$

Trong đó M là trọng lượng của chất chỉ thị muối thả xuống dòng chảy (g); c là hàm lượng muối hòa tan tại thời điểm t (g/L); Q là lưu lượng dòng chảy (L/s); dt là khoảng thời gian (s). Hàm lượng muối hòa tan tại thời điểm t được xác định như sau:

$$c_t = (EC_t - EC_0)k \tag{2}$$

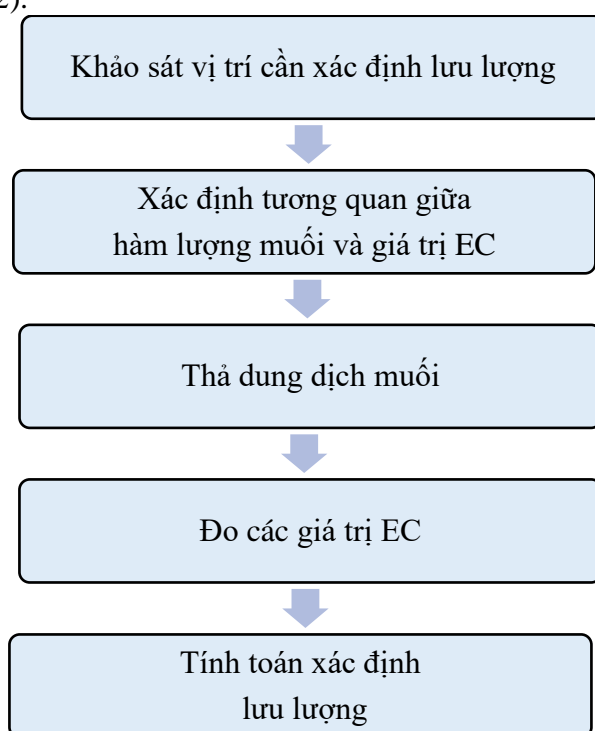
Trong đó EC_t là giá trị độ dẫn điện của nước tại thời điểm t; EC_0 là giá trị độ dẫn điện nền; k là hệ số tương quan giữa hàm lượng muối và giá trị EC.

Lưu lượng Q (L/s) được xác định như sau:

$$Q = \frac{M}{\int_0^T c \cdot dt} = \frac{M}{k \int_0^T (EC_t - EC_0) \cdot dt} = \frac{M}{A} \tag{3}$$

Trong đó A là diện tích của đồ thị biểu diễn hàm lượng muối hòa tan theo thời gian (g.s/L).

Việc triển khai xác định lưu lượng bằng phương pháp muối hòa tan được thực hiện theo các bước sau (Hình 2).



Hình 2. Sơ đồ các bước tiến hành xác định lưu lượng bằng phương pháp muối hòa tan.

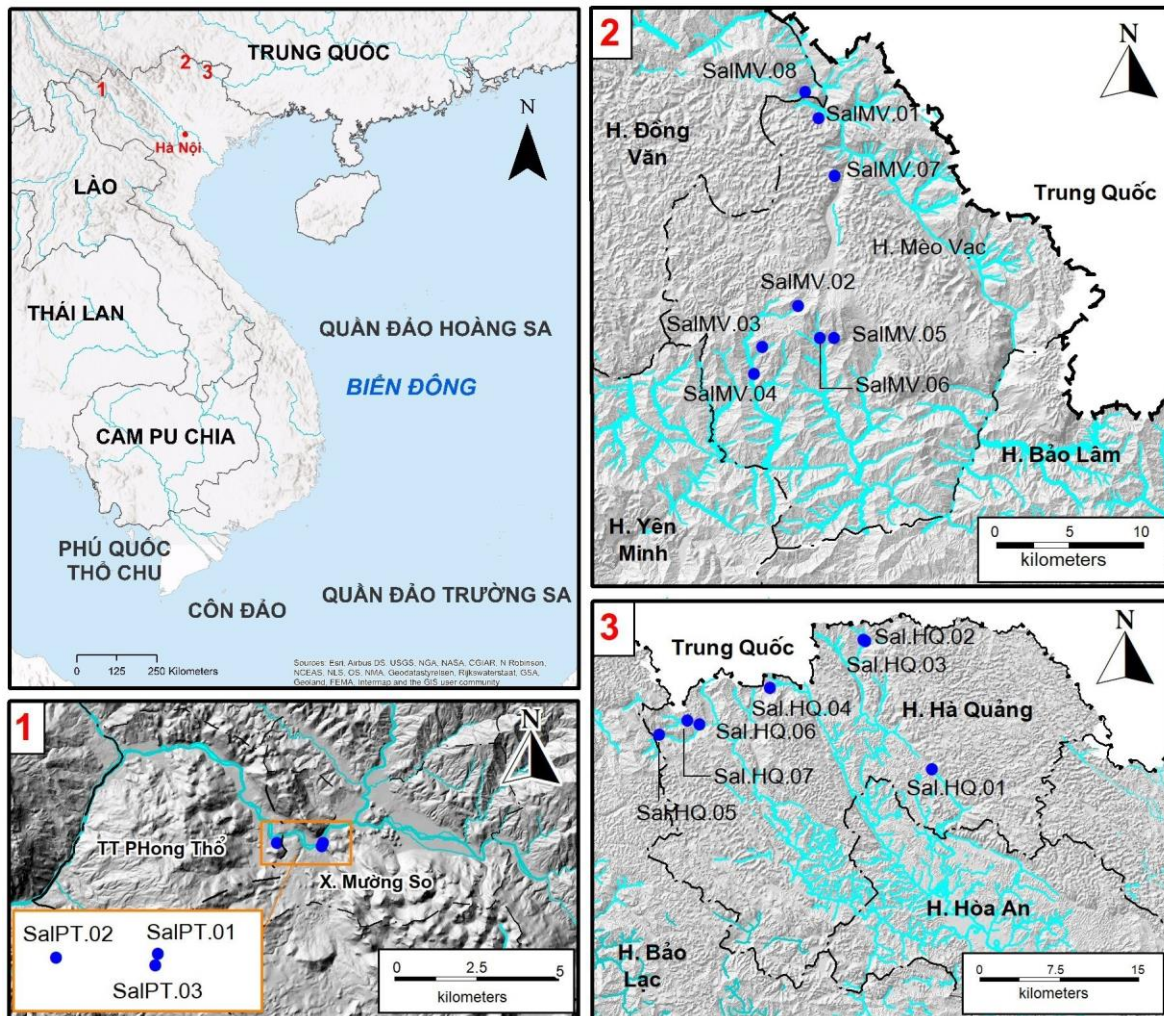
2.2. Áp dụng tại vùng núi cao miền Bắc Việt Nam

2.2.1. Khu vực nghiên cứu

Phương pháp dung dịch muối hòa tan đã được áp dụng xác định lưu lượng dòng chảy tại 3 khu vực núi cao biên giới: Huyện Phong Thổ (tỉnh Lai Châu), huyện Mèo Vạc (tỉnh Hà Giang) và huyện Hà Quảng (tỉnh Cao Bằng) (Hình 3).

Phong Thổ là huyện vùng cao biên giới của tỉnh Lai Châu, cách trung tâm tỉnh Lai Châu 30 km. Là huyện có địa hình phức tạp, chủ yếu là núi cao thấp dần từ đông bắc xuống tây nam và các thung lũng hẹp xen kẽ phân chia địa hình thành các vùng núi cao và vùng núi thấp. Khu vực này có độ cao trung bình trên 1.000 m so với mực nước biển, điểm cao nhất là 1.800 m, thấp nhất là 270 m. Hệ thống dòng chảy trên mặt rất ít và chủ yếu chỉ xuất hiện vào mùa mưa. Đây là khu vực có khoảng 30% diện tích được bao phủ bởi đá carbonate hệ tầng Đồng Giao (T₂đg). Các nguồn lộ NĐĐ karst xuất lộ rải rác, tạo thành dòng chảy mặt

chảy về hướng Tây Bắc chảy vào sông Mường So. Số lượng các nguồn lộ và lưu lượng cũng thay đổi theo mùa trong năm.



Hình 3. Sơ đồ vị trí nghiên cứu và đo đạc tại Phong Thổ (1), Mèo Vạc (2) và Hà Quảng (3).

Mèo Vạc là huyện vùng cao biên giới của tỉnh Hà Giang, nằm trong địa bàn Công viên Địa chất Toàn cầu Cao Nguyên đá Đồng Văn, cách thành phố Hà Giang 164 km. Địa hình khu vực chủ yếu là núi đá, hiểm trở, có sự chia cắt mạnh. Độ cao trung bình trên mực nước biển xấp xỉ 1.150 m với độ dốc trung bình từ 25°-35°, đỉnh cao nhất là 1.900 m, thấp nhất là 275 m. Trong diện tích nghiên cứu chủ yếu được tạo thành bởi đá vôi hệ tầng Bắc Sơn (C-P bs), có độ cao 800-1.100 m, hoạt động kiến tạo xảy ra mạnh mẽ, bề mặt địa hình bị phân cắt mạnh. Đây là vùng thiếu nước sinh hoạt và sản xuất nghiêm trọng. Hệ thống suối tồn tại ở phía bắc huyện Mèo Vạc thuộc các xã Thượng Phùng, Xín Cái, Sơn Vĩ, và các xã phía nam huyện: Tát Ngà, Nậm Ban, Niêm Sơn, Niêm Toòng, Khâu Vai. Đặc điểm chung của các suối là dòng chảy uốn lượn quanh co, động thái tương quan chặt chẽ với các yếu tố khí tượng. Các xã thuộc huyện Mèo Vạc: Sùng Trà, Sùng Máng, Lũng Chình, Tà Lũng, thị trấn Mèo Vạc, Cán Chu Phìn, Giàng Chu Phìn chỉ tồn tại các dòng mặt tạm thời trong mùa mưa.

Hà Quảng là huyện vùng cao biên giới của tỉnh Cao Bằng, cách trung tâm tỉnh Cao Bằng 40km. Địa hình khu vực rất phức tạp, chủ yếu là đồi núi và được chia làm 02 phân vùng: thấp và cao. Phân vùng thấp là vùng có các thung lũng tương đối bằng phẳng, có hệ thống sông suối đáp ứng được nhu cầu về cung cấp nước cho sinh hoạt và tưới tiêu của nhân dân. Phân vùng cao là vùng hầu vắng mặt hoặc rất ít hệ thống sông suối, khan hiếm nước cho sinh hoạt và sản xuất. Phần lớn các sông suối chính trong vùng xuất lộ dọc theo các đứt gãy kiến

tạo, tạo nên những vùng địa hình thấp, những rãnh xâm thực sâu và thuận lợi cho việc tiếp nhận nước mưa cấp cho các tầng chứa nước dưới đất [14].

2.2.2. Các bước tiến hành xác định lưu lượng

Việc triển khai xác định lưu lượng dòng chảy (Q) bằng phương pháp muối hòa tan tại 3 khu vực nghiên cứu được tiến hành như sau:

Bước 1: Khảo sát vị trí cần xác định lưu lượng.

Khảo sát điều kiện địa hình vị trí cần xác định lưu lượng, tìm điểm phù hợp có thể thả muối xuống dòng chảy và điểm đo giá trị EC (tối thiểu cách xa điểm thả muối tương đương 25 lần chiều rộng dòng chảy).

Xác định trọng lượng muối sẽ thả theo lưu lượng ước lượng trực quan và kinh nghiệm của người đo. Với dòng chảy lưu lượng nhỏ, trọng lượng muối thả thường dao động từ 0,3 kg - 0,5 kg.

Bước 2: Xác định tương quan giữa hàm lượng muối và giá trị EC

Đo xác định giá trị EC của dòng chảy trước khi tiến hành thả muối (EC nền).

Đo xác định các giá trị EC của nước (được lấy từ dòng chảy cần xác định lưu lượng) tương ứng với hàm lượng muối được hòa tan; đo EC tương ứng với tối thiểu 05 hàm lượng muối hòa tan khác nhau. Xác định tương quan giữa EC và hàm lượng theo hình 1.

Bước 3: Thả dung dịch muối.

Hòa tan lượng muối với trọng lượng đã biết vào dụng cụ xô hoặc chậu chứa nước được lấy từ dòng chảy cần xác định lưu lượng.

Đổ hết lượng muối đã được hòa tan vào dòng chảy trong thời gian tức thì.

Bước 4: Đo giá trị EC theo thời gian tại điểm đo hạ nguồn dòng chảy. Giá trị EC được đo liên tục theo 5 giây/lần đo; dừng đo khi EC đo được ~ EC nền.

Bước 5: Tính toán xác định lưu lượng. Lưu lượng của dòng chảy được tính toán theo công thức 3.

3. Kết quả và thảo luận

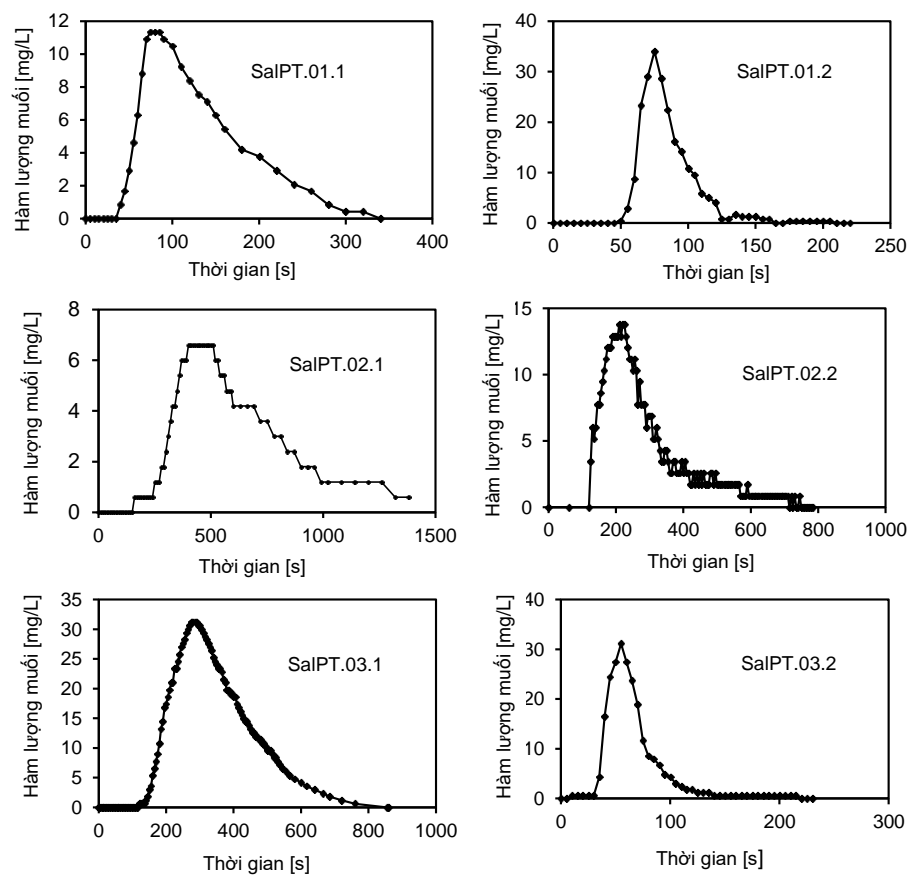
3.1. Kết quả

Kết quả xác định lưu lượng dòng chảy tại huyện Phong Thổ, Mèo Vạc và Hà Quảng được trình bày trong bảng 1.

Bảng 1. Tổng hợp các kết quả xác định lưu lượng tại Phong Thổ, Mèo Vạc và Hà Quảng.

STT	Điểm đo	Thời gian	X	Y	Z (m)	Địa danh	Lượng muối thả (kg)	Lưu lượng Q (L/s)
1	SalPT.01.1/12	19/11/2012 9:52	329.613	2.491.420	295	Phong Thổ	0,3	225
2	SalPT.01.2/13	1/8/2013 14:32	329.613	2.491.420	295	Phong Thổ	1	883
3	SalPT.02.1/12	11/22/2012 11:34	328.205	2.491.418	292	Phong Thổ	10	2,369
4	SalPT.02.2/13	11/8/2013 10:00	328.205	2.491.418	292	Phong Thổ	20	7,563
5	SalPT.03.1/12	22/11/2012 15:36	329.577	2.491.305	296	Phong Thổ	0,3	66
6	SalPT.03.2/12	23/11/2012 15:54	329.577	2.491.305	296	Phong Thổ	0,5	63
7	SalPT.03.3/13	2/8/2013 12:00	329.577	2.491.305	296	Phong Thổ	2,1	1,726
8	SalMV.01.1/21	29/9/2021 14:25	541.025	2.571.719	673	Mèo Vạc	0,568	96
9	SalMV.01.2/21	29/9/2021 16:05	541.025	2.571.719	673	Mèo Vạc	0,934	96
10	SalMV.02.1/21	30/9/2021 17:35	539.632	2.558.990	1238	Mèo Vạc	0,428	63
11	SalMV.03.1/21	30/9/2021 15:58	537,213	2.556.209	926	Mèo Vạc	0,494	67
12	SalMV.04.1/21	30/9/2021 13:05	536.611	2.554.348	457	Mèo Vạc	0,914	538
13	SalMV.05.1/21	3/10/2021 10:28	542.076	2.556.805	1.007	Mèo Vạc	0,492	118
14	SalMV.06.1/21	3/10/2021 16:10	541.121	2.556.783	811	Mèo Vạc	0,524	298
15	SalMV.06.2/21	3/10/2021 15:10	541.121	2.556.783	811	Mèo Vạc	0,984	296

STT	Điểm đo	Thời gian	X	Y	Z (m)	Địa danh	Lượng muối thả (kg)	Lưu lượng Q (L/s)
16	SalMV.07.1/21	3/10/2021 10:25	542.733	2.567.795	801	Mèo Vạc	0,926	90
17	SalMV.07.2/21	3/10/2021 11:25	542.733	2.567.795	801	Mèo Vạc	0,462	90
18	SalMV.08.1/21	3/10/2021 14:25	540.115	2.573.494	772	Mèo Vạc	0,909	404
19	SalMV.08.2/21	3/10/2021 15:45	540.115	2.573.494	772	Mèo Vạc	0,47	374
20	SalHQ.01.1/21	13/10/2021 14:00	613.778	2.529.397	337	Hà Quảng	3,761	4,665
21	SalHQ.02.1/21	11/10/2021 10:05	607.508	2.541.431	340	Hà Quảng	4	1,576
22	SalHQ.03.1/21	13/10/2021 16:25	607.370	2.541.506	347	Hà Quảng	7,902	853
23	SalHQ.04.1/21	9/10/2021 11:30	598.588	2.537.009	391	Hà Quảng	0,928	122
24	SalHQ.04.2/21	9/10/2021 12:25	598.588	2.537.009	391	Hà Quảng	0,455	116
25	SalHQ.05.1/21	10/10/2021 11:30	588.154	2.532.613	524	Hà Quảng	1,867	805
26	SalHQ.06.1/21	10/10/2021 9:25	591.954	2.533.558	381	Hà Quảng	1,028	433
27	SalHQ.07.1/21	10/10/2021 4:18	590.818	2.533.956	582	Hà Quảng	2,626	2,943



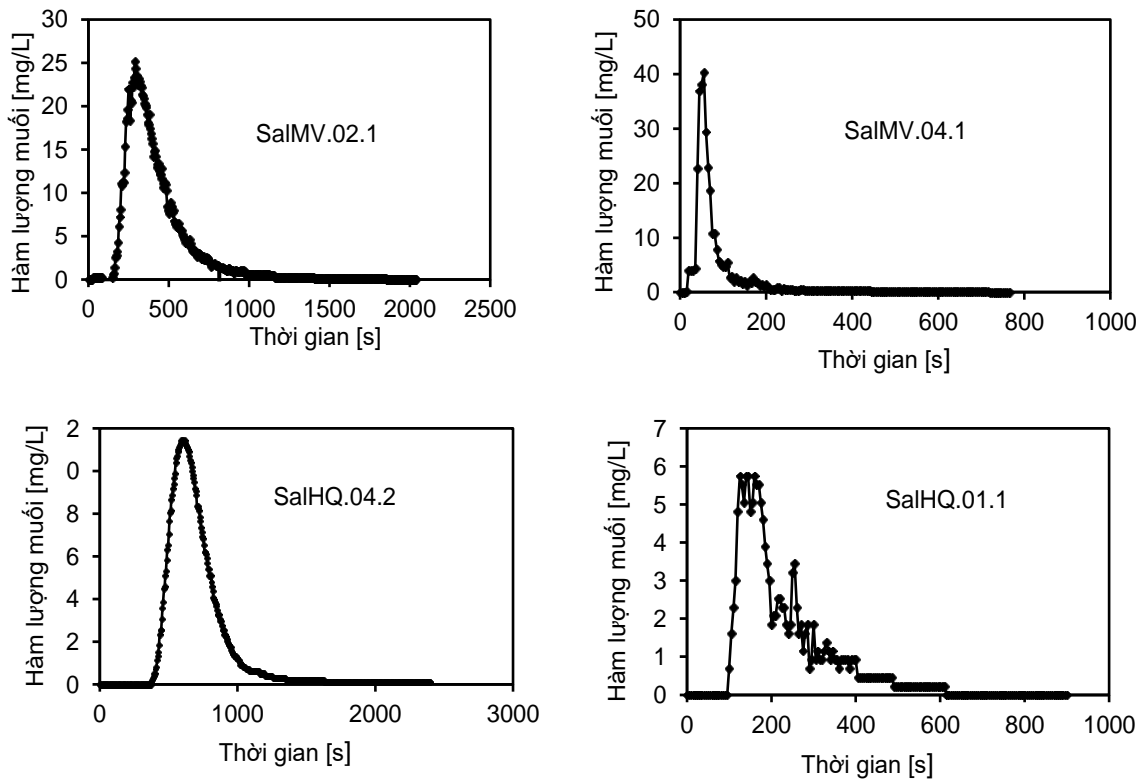
Hình 4. Đồ thị biểu diễn hàm lượng muối hòa tan thu được tại các điểm đo lưu lượng khu vực Phong Thổ.

Tại khu vực huyện Phong Thổ, đã thực hiện 07 thí nghiệm phương pháp muối hòa tan xác định được lưu lượng của 03 nguồn xuất lộ nước karst vào mùa khô và mùa mưa. Đồ thị biểu diễn hàm lượng muối hòa tan theo thời gian được thể hiện tại hình 4. Trên cơ sở các kết quả thu được ngoài thực địa đã xác định được lưu lượng nguồn lộ karst tại điểm đo SalPT.01 (nguồn xuất lộ nhà anh Vào) mùa khô là 225 L/s - mùa mưa: 600 L/s; điểm đo SalPT.02 (nguồn xuất lộ tại đập Thủy điện) lưu lượng mùa khô là 2369 l/s- mùa mưa là 7563 l/s; điểm đo SalPT.03 (nguồn xuất lộ hang Nậm Cắn) lưu lượng mùa khô là 66 L/s - mùa mưa là 1726 L/s. Kết quả cho thấy lưu lượng dòng chảy karst trong khu vực thay đổi rõ rệt theo thời gian, lưu lượng dòng chảy rất lớn vào mùa mưa và giảm mạnh mùa khô.

Tại khu vực Mèo Vạc, đã tiến hành 12 thí nghiệm hòa tan muối xác định được lưu lượng của 08 dòng chảy mặt vào cuối mùa mưa năm 2021 (Bảng 3). Đồ thị biểu diễn hàm lượng

muối hòa tan theo thời gian của một số điểm tiêu biểu được thể hiện tại hình 5. Kết quả tính toán cho thấy lưu lượng của các dòng chảy mặt tại khu vực Mèo Vạc khá nhỏ, thay đổi từ 63L/s (điểm đo SalMV.02.1) đến 538 L/s (điểm đo SalMV.04.1).

Tại khu vực Hà Quảng, lưu lượng của 06 dòng chảy mặt chủ yếu tại các nguồn lộ karst đã được xác định (bảng 1) Kết quả tính toán xác định vào cuối mùa mưa lưu lượng giữa các dòng chảy mặt tại đây chênh lệch nhau rất lớn; lưu lượng nhỏ nhất là 116 L/s (điểm đo SalHQ.04.2) và lớn nhất là 4665 L/s (điểm đo SalHQ.01.1).



Hình 5. Đồ thị biểu diễn hàm lượng muối hòa tan thu được tại một số điểm đo lưu lượng tại Mèo Vạc (trên) và Hà Quảng (dưới).

3.2. Thảo luận

Quan sát và phân tích đồ thị biểu diễn giá trị EC theo thời gian hoặc đồ thị hàm lượng muối theo thời gian có thể đánh giá được kết quả triển khai của thí nghiệm muối hòa tan [5]. Phân tích các đồ thị biểu diễn giá trị EC theo thời gian 5 giây/lần đo được tại hạ nguồn dòng chảy tại cả 3 khu vực Phong Thổ, Mèo Vạc và Hà Quảng phần lớn đều rất cân đối, chỉ có 1 đỉnh và hoàn chỉnh. Đồ thị biểu diễn hàm lượng muối hòa tan tại hạ nguồn của các thí nghiệm (hình 4. 5) được xác định theo tương quan với giá trị EC, do vậy, đều có dạng 1 đỉnh với đường cong cân đối. Riêng thí nghiệm tại điểm đo SalPT.02 (đập Thủy điện tại Phong Thổ) ở khu vực Phong Thổ có đồ thị biểu diễn hàm lượng muối hòa tan theo thời gian tương đối hoàn chỉnh (hình 4) do lưu lượng dòng chảy rất lớn và điểm đo phía hạ nguồn bị giới hạn khoảng cách khi dòng chảy hợp lưu với sông Mường So. Như vậy, đánh giá chung các thí nghiệm đã được tiến hành thành công với trọng lượng muối thả phù hợp, điểm đo EC tại hạ nguồn phù hợp và toàn bộ lượng muối đã được hòa tan hoàn toàn vào dòng chảy. Bên cạnh đó, phân tích các kết quả của 06 điểm đo lưu lượng lặp lại tại một số dòng chảy tại Phong Thổ, Mèo Vạc và Hà Quảng cho thấy giá trị lưu lượng giữa hai lần đo đều tương tự và trong giới hạn sai số cho phép (Bảng 2). Với các thông tin thu được, có thể khẳng định phương pháp hòa tan muối đã được áp dụng hiệu quả tại khu vực Phong Thổ, Mèo Vạc và Hà Quảng với kết quả đáng tin cậy.

Bảng 2. Kết quả xác lưu lượng lặp lại tại một số dòng chảy.

STT	Tên dòng chảy/nguồn lộ	Điểm đo	Tọa độ			Lưu lượng đo lần 1 (L/s)	Lưu lượng đo lần 2 (L/s)
			X	Y	Z		
1	Hang Nậm Cung, Phong Thổ	SalPT.03	329.577	2.491.305	296	66	63
2	Tà Làng, Phái Lùng, Mèo Vạc	SalMV.01	541.025	2.571.719	673	96	96
3	Tát Ngà, Tát Ngà, Mèo Vạc	SalMV.06	541.121	2.556.783	811	298	296
4	Pà Vi Thượng, xã Pà Vi, Mèo Vạc	SalMV.07	542.733	2.567.795	801	90	90
5	Bản Chuối, Xin Cái, Mèo Vạc	SalMV.08	540.115	2.573.494	772	404	374
6	Lũng Dưới, Sóc Hà, Hà Quảng	SalHQ.04	598.588	2.537.009	391	122	116

Theo [5] và [15–16] các ưu điểm khi xác định lưu lượng bằng phương pháp muối hòa tan như sau: i) muối ăn thông thường giá thành rẻ và rất phổ biến; ii) việc xác định các giá trị EC theo thời gian không phức tạp và không đòi hỏi thiết bị rất chuyên dụng; iii) trọng lượng muối ăn được thả xuống dòng chảy không gây hại cho môi trường và hệ sinh thái. Các kết quả xác định lưu lượng dòng chảy tại Phong Thổ, Mèo Vạc và Hà Quảng thể hiện rõ tính ưu việt của phương pháp hòa tan muối. Cụ thể muối ăn thông thường là mặt hàng rất phổ biến, luôn có sẵn ở các khu vực miền núi biên giới với giá thành rẻ. Thời gian hoàn thành một thí nghiệm không quá 60 phút, trọng lượng muối được thả xuống dòng chảy phần lớn chỉ từ 0,3 kg đến 2 kg (Bảng 1), ngoại trừ một số điểm có lưu lượng dòng chảy lớn cần trọng lượng muối được thả lớn hơn đến 20 kg. Thiết bị đo EC gọn nhẹ, tiến hành đơn giản và việc đo giá trị EC 5 giây/lần được triển khai dễ dàng trên thực địa. Việc tính toán xác định giá trị lưu lượng không phức tạp và có thể thực hiện xác định kết quả ngay trên thực địa bằng máy tính xách tay.

Tuy nhiên, khi áp dụng phương pháp muối hòa tan cần một số lưu ý như dòng chảy không có điểm nước tù hoặc vùng lặn, không có phụ lưu chảy vào dòng chính, dòng chảy tại điểm thả muối có vận tốc lớn và chảy rối, lượng muối thả xuống phải được hòa tan hoàn toàn vào dòng chảy tại điểm đo EC [3, 5, 7, 17]. Bên cạnh đó, thời điểm đo lưu lượng trên dòng chảy cũng lưu ý không có các hoạt động nhân sinh (tắm, giặt giũ) và gia súc, gia cầm làm ảnh hưởng tới kết quả đo đạc.

4. Kết luận

Lưu lượng dòng chảy là thông tin cơ bản cần được đo đạc, xác định trong nghiên cứu và công tác quản lý khai thác, sử dụng và quản lý bền vững tài nguyên nước. Trong các khu vực núi cao khan hiếm nước, lưu lượng dòng chảy là thông tin quan trọng và rất cần thiết trong đề xuất, xác định các giải pháp khai thác và sử dụng, tìm nguồn cấp nước bổ sung phục vụ ăn uống sinh hoạt và phát triển kinh tế - xã hội của khu vực.

Do đặc điểm tự nhiên, dòng chảy mặt tại các khu vực núi cao phía Bắc Việt Nam thường chảy rối, chảy siết, lòng suối nhiều cuội tảng lặn. Cần có phương pháp xác định lưu lượng phù hợp với đặc điểm tự nhiên của dòng chảy, dễ triển khai và đảm bảo tin cậy. Phương pháp muối hòa tan đã được áp dụng thành công xác định lưu lượng dòng chảy tại khu vực vùng núi cao huyện Phong Thổ, Mèo Vạc và Hà Quảng. Đồ thị thu hồi hàm lượng muối hòa tan theo thời gian của các điểm đo lưu lượng đều có 1 đỉnh, cân đối và hoàn chỉnh đã khẳng định việc áp dụng phương pháp thành công với trọng lượng muối phù hợp, điểm đo giá trị EC tại hạ nguồn phù hợp và toàn bộ lượng muối đã được hòa tan hoàn toàn vào dòng chảy. Mặc dù không có thông tin đối sánh kết quả đo lưu lượng của nghiên cứu này với giá trị lưu lượng đo bằng lưu tốc kế hoặc máng nhưng các kết quả đo lặp lại tại một số điểm xác định tiêu biểu tại Phong Thổ, Mèo Vạc và Hà Quảng cho thấy giá trị lưu lượng giữa hai lần đo đều tương đồng và tin cậy.

Như vậy, từ thực tế áp dụng phương pháp muối hòa tan tại các huyện Phong Thổ, Mèo Vạc và Hà Quảng cho thấy đây là phương pháp phù hợp nhất khi xác định các dòng chảy có lưu lượng nhỏ trên các vùng núi cao ($Q < 1.000 \text{ L/s}$) nơi lòng sông hoặc suối có nhiều tầng cuội và tầng lán, sườn dốc và dòng chảy rối không thể sử dụng lưu tốc kế hay các phương pháp đo lưu lượng khác. Phương pháp muối hòa tan, do vậy, cần được áp dụng rộng rãi trong xác định lưu lượng dòng chảy trong các khu vực vùng núi cao của Việt Nam.

Đóng góp của tác giả: Xây dựng ý tưởng nghiên cứu, lựa chọn phương pháp nghiên cứu, triển khai phương pháp ở khu vực Phong Thổ, xử lý số liệu, viết bản thảo bài báo và chỉnh sửa bài báo: V.T.M.N.; Triển khai phương pháp ngoài thực địa, tham gia viết bản thảo bài báo và chỉnh sửa bài báo: Đ.T.A.

Lời cảm ơn: Trân trọng cảm ơn đề tài “Nghiên cứu xác định nguyên nhân khan hiếm và ô nhiễm nước dưới đất tại một số khu vực karst Tây bắc; đề xuất các giải pháp bảo vệ và cung cấp nước phục vụ phát triển kinh tế- xã hội” - mã số TNMT.02.28 và đề tài “Nghiên cứu xác lập bộ tiêu chí lựa chọn và quy trình điều tra các khu vực có khả năng áp dụng công nghệ bơm PAT cho vùng núi cao khan hiếm nước” - mã số ĐTĐL.2021.05 đã hỗ trợ đo đạc và triển khai phương pháp ngoài thực địa.

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. Herschy, R.W. Streamflow measurement. Second Eds, London: E and F N Spon, 1995, pp. 524.
2. Gunston, H. Field hydrology in tropical countries - A Practical introduction. Intermediate Technology Publications, 1998, pp. 108.
3. Gravelle, R. 3.3. 5. Discharge Estimation: Techniques and Equipment. Geomorphological Techniques, British Society for Geomorphology, 2015.
4. Bjerve, L.; Grøterud, O. Discharge Measurements by a New-Formed Relative Salt-Dilution Method in Small Turbulent Streams. *Hydrol. Res.* **1980**, *11*(3-4), 121–132.
5. Hudson, R.; Frase, J. Introduction to Salt Dilution Gauging for Streamflow Measurement Part IV: the Mass Balance (or Dry Injection) Method. *Streamline Watershed Manage. Bull.* **2005**, *9*(1), 6–12.
6. Gees, A. Flow measurement under difficult measuring conditions: field experience with the salt dilution method. Hydrology in Mountainous Regions. I – Hydrological Measurements the Water Cycle. Proceedings of two Lausanne Symposia. IAHS Pub. **1990**, *193*, 255–262.
7. Sappa, G.I.U.S.E.P.P.E.; Ferranti, F.L.A.V.I.A.; Pecchia, G. Validation of salt dilution method for discharge measurements in the upper valley of aniene river (central italy). Proceeding of the 13th International Conference on Environment, Ecosystem, 2015, pp. 42–48.
8. Benischke, R.; Harum, T. Determination of discharge rates in turbulent streams by salt tracer dilution applying a microcomputer system. Comparison with current meter measurements. Hydrology in Mountainous Regions. I – Hydrological Measurements the Water Cycle. Proceedings of two Lausanne Symposia. IAHS Pub. **1990**, *193*, 215–221.
9. Bộ Tài nguyên và Môi trường. QCVN 47:2022/BTNMT - Quy chuẩn kỹ thuật quốc gia về quan trắc thủy văn, 2022.
10. Anh, T.N.; Dũng, L.Đ.; Minh, L.T.; Quang, T.V.; Thái, H. Đánh giá khả năng ứng dụng công nghệ Radar quan trắc lưu lượng nước tự động tại một số các trạm thủy văn hạng I khu vực Tây Bắc và Việt Bắc. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* **2021**, *729*, 91–101.

11. Khá, Đ.Đ.; Anh, T.N.; Như, N.Y.; Nga, P.T.T.; Nhung, Đ.T.H.; Minh, N.H. Giới thiệu một số phương pháp tính toán lưu lượng dòng chảy cho lưu vực thiếu hoặc không có số liệu quan trắc mặt đất. *Tap chí Khí tượng Thủy văn* **2022**, 740(1), 62–76.
12. Nguyet, V.T.M.; Goldscheider, N. Tracer tests, hydrochemical and microbiological investigations as a basis for groundwater protection in a remote tropical mountainous karst area. *VN Hydrogeolo. J.* **2006**, 14, 1147–1159.
13. Thủy, D.T.T. Đo lưu lượng mạch nước dưới đất hoặc các dòng suối bằng phương pháp dung dịch hóa học. áp dụng số mạch nước xuất lộ tại thị xã Tam Điệp - Ninh Bình. Tuyển tập báo cáo Hội nghị Khoa học lần thứ 17. Trường Đại học Mỏ - Địa chất, Hà Nội 20/10/2006. Hà Nội, 2006, tr. 201–204.
14. Lân, V.Q. Báo cáo Lập bản đồ địa chất và điều tra khoáng sản tỷ lệ 1: 50.000 nhóm từ Hà Quảng. Liên đoàn Bản đồ Địa chất miền Bắc. Hà Nội, 2011.
15. Day, T.J. On the precision of salt dilution gauging. *J. Hydrol.* **1976**, 31, 293–306.
16. Hongve, D. A revised procedure for discharge measurement by means of the salt dilution method. *Hydrol. Processes.* **1988**, 1, 267–270.
17. Plew, D.R.; Hoyle. Dilution gauging measurements of discharge in vegetated stream channels. *J. Hydrol.* **2017**, 56(1), 31–46.

Application salt dilution method for streamflow measurement in mountain areas of North Vietnam

Vu Thi Minh Nguyet^{1*}, Doan The Anh²

¹ Institute of Geological Sciences, Vietnam Academy of Science and Technology; vtmnguyet@igs.vn.vast.vn

² Vietnam Institute of Geosciences and Mineral Resources, Ministry of Natural Resources and Environment; theanhdoan79@gmail.com

Abstract: Stream in mountainous areas usually characterized by steep gradient, turbulent flow with many rolling boulders so it is difficult even impossible to use metering techniques to measuring discharge. The salt dilution method based on the mass conservation of the tracer has been successfully applied to determine stream discharges in mountainous areas around the world. The salt dilution method was successfully applied in the mountainous area of the Phong Tho (Lai Chau), Meo Vac (Ha Giang) and Ha Quang (Cao Bang). A known mass of salt was injected to the flow upstream and measured EC at other locations downstream. The flow discharges (Q) of 17 streams were calculated based on the breakthrough curves of EC and calibration factors between diluted salt concentrations and ECs. The obtained results of streamflow measurement by salt dilution method in three areas in the northern of Vietnam show that it is particularly suitable for natural conditions of the mountain stream; it's simplicity of application and don't need specific field equipment. The salt dilution method therefore should be widely applied to determine stream discharge in Vietnam.

Keywords: Salt dilution; Streamflow measurement; Mountainous area of Vietnam.

Bài báo khoa học

Nghiên cứu xác định trường sóng ven bờ khu vực Bãi Dài – Cam Ranh bằng mô hình toán

Ngô Nam Thịnh^{1,2}, Nguyễn Thị Bầy^{3*}

¹ Trường Đại học Tài nguyên và Môi trường Thành phố Hồ Chí Minh; nntinh@hcmunre.edu.vn

² Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, Đại học Quốc gia Hồ Chí Minh

³ Trường Đại học Bách Khoa, ĐHQG-HCM; ntbay@hcmut.edu.vn

*Tác giả liên hệ: ntbay@hcmut.edu.vn; Tel.: +84-935071755

Ban Biên tập nhận bài: 7/9/2023; Ngày phản biện xong: 10/10/2023; Ngày đăng bài: 25/11/2023

Tóm tắt: Mô hình Swan được ứng dụng tính toán xác định trường sóng tại khu vực Bãi Dài - Cam Ranh phục vụ tính toán dòng chảy ven bờ, đặc biệt là dòng rip. Mô hình toán (mô hình Swan) là phương pháp chủ đạo trong nghiên cứu này, ngoài ra còn có các phương pháp khác như phương pháp thu thập tổng hợp dữ liệu, phương pháp thống kê, phương pháp GIS,... Trường gió tái phân tích khu vực Biển Đông đã được thu thập và là dữ liệu quan trọng trong việc tính toán trường sóng phát sinh do gió. Miền tính lớn là khu vực biển từ Phú Yên đến Bình Thuận và miền tính nhỏ là khu vực Bãi Dài - Cam Ranh (Khánh Hòa). Số liệu sóng thực đo tại vùng ven biển Ninh Thuận năm 2013 và Bãi Dài năm 2012 được sử dụng hiệu chỉnh và kiểm định mô hình với kết quả từ tốt đến rất tốt về hệ số tương quan R^2 , sai số trung bình (RMSE) và chỉ số Nash - Sutcliffe. Mô hình Swan được ứng dụng tính toán đặc trưng sóng chi tiết tại Bãi Dài trong mùa gió Đông Bắc và Tây Nam năm 2021. Kết quả tính toán đã xác định được vào thời kỳ mùa gió Tây Nam, khu vực Bãi Dài có hướng sóng chủ đạo là hướng Đông Nam với tần suất 96,77% và độ cao sóng $\leq 0,6$ m có tần suất 89,11%. Trường sóng thời kỳ gió mùa Đông Bắc có hướng chủ đạo là hướng Đông đến Đông Bắc, trong đó hướng Đông Bắc có tần suất lớn nhất 81,72%, độ cao sóng $> 1,0$ m có tần suất 48,52%.

Từ khóa: sóng biển; Swan; Bãi Dài.

1. Mở đầu

Hiện nay, khi tính toán dòng chảy ven biển thì không thể không kể đến tác động của sóng biển. Sóng biển được hình thành và phát sinh do trường gió ở ngoài khơi, khi lan truyền vào vùng ven bờ sẽ bị biến đổi do tác động của hình thái địa hình làm xuất hiện các hiện tượng khúc xạ, nhiễu xạ, sự nông dần, sự bề vỡ sóng,... Trong đó, sóng vỡ sẽ hình thành dòng chảy ven bờ do sóng gồm dòng chảy dọc bờ và dòng rip [1–7].

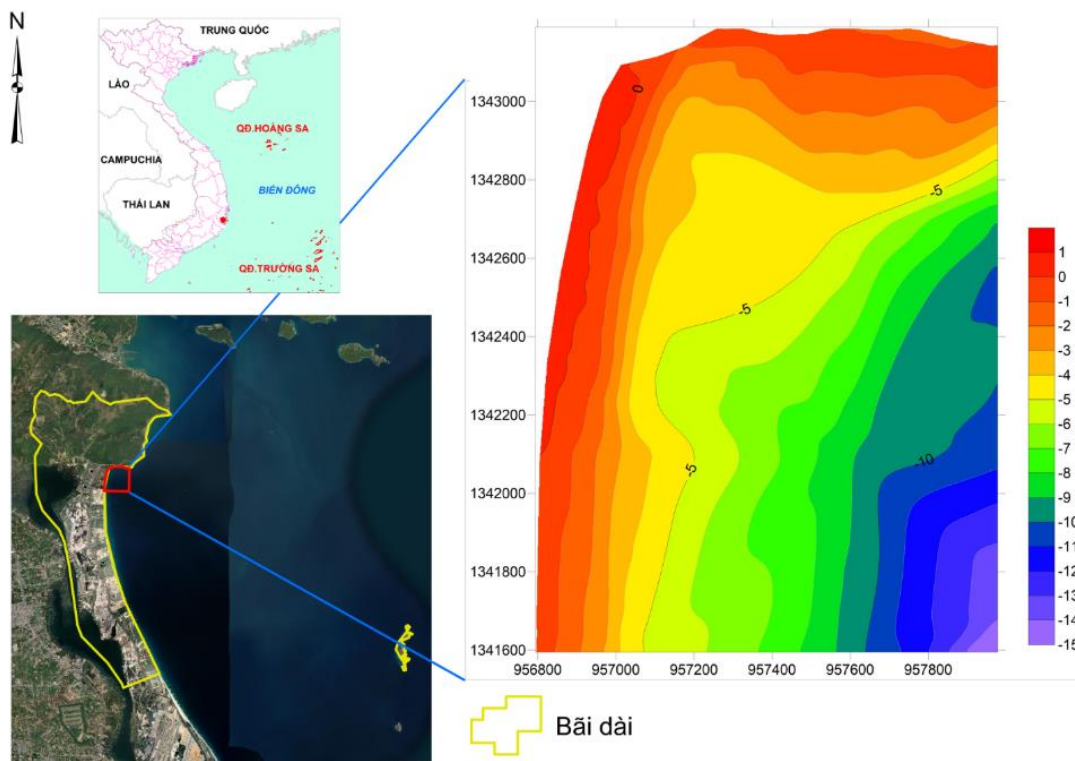
Dòng chảy dọc bờ do sóng là dòng có hướng song song với đường bờ và thường xuyên xuất hiện dưới tác động của sóng. Dòng rip là một dòng đặc biệt của dòng chảy ven bờ, có hướng chảy ra xa bờ và xuất hiện phụ thuộc vào điều kiện hình thành như sóng biển, thủy triều và địa hình, dòng rip là dòng chảy nguy hiểm, nó gây ra các tai nạn đuối nước ở các bãi tắm du lịch [8]. Để nghiên cứu dòng rip thì việc tính toán trường sóng vùng ven bờ là rất cần thiết vì nó là một trong các nguyên nhân chính hình thành dòng rip [1–7].

Ngày nay, mô hình toán đã phát triển vượt trội và được ứng dụng nhiều tại Việt Nam và Thế Giới. Các mô hình tính toán sóng tiêu biểu có thể kể đến như WAM, SWAN,

WAVEWATCH III, MIKE 21 SW, STWAVE, DELFT3D, RCPWAVE, REFDIF-1,...[9–15]. Tại Việt Nam, có rất nhiều nghiên cứu áp dụng các mô hình tính toán mô phỏng trường sóng khu vực Biển Đông. Trong đó, có các nghiên cứu điển hình như: mô hình tính sóng Swan và SuWAT được kết hợp để mô phỏng tác động của sóng và nước dâng bão khu vực ven biển Miền Trung [16], mô hình Mike 21 SW được ứng dụng tính toán trường sóng tại khu vực ven biển vịnh Nha Trang [8], mô hình WAM tính toán sóng ngoài khơi làm biên đầu vào cho mô hình Mike 21 SW tính toán sóng vịnh Nha trang [17].

Trong các mô hình tính toán sóng, mô hình Swan là một mô hình mã nguồn mở, chuyên về tính toán sóng nước nông và nước sâu, được ứng dụng rộng rãi và mô tả được sự biến đổi của các yếu tố sóng khi đi vào vùng nước nông [18], vì thế, mô hình Swan được lựa chọn với mục tiêu tính toán và đánh giá được tần suất xuất hiện trường sóng vào mùa gió Đông Bắc và Tây Nam năm 2021. Độ chính xác của mô hình sẽ được đánh giá thông qua số liệu thực đo năm 2012 và 2013, từ đó tính toán trường sóng mùa gió Đông Bắc và Tây Nam năm 2021. Kết quả này là điều kiện đầu vào phục vụ tính toán dòng rip nhằm phòng tránh tai nạn đuối nước cho du khách tại bãi tắm Bãi Dài.

Bãi Dài - Cam Ranh có chiều dài dọc bờ khoảng 11 km, với độ dốc bãi và đáy tương đối thoải và với chất lượng nước trong sạch so với các bãi tắm khác ở thành phố Nha Trang. Theo các nghiên cứu trước, khu vực này có xuất hiện dòng Rip. Vì thế, trường sóng khu vực này sẽ được mô phỏng tính toán và đánh giá chi tiết phục vụ cho tính toán dòng rip.

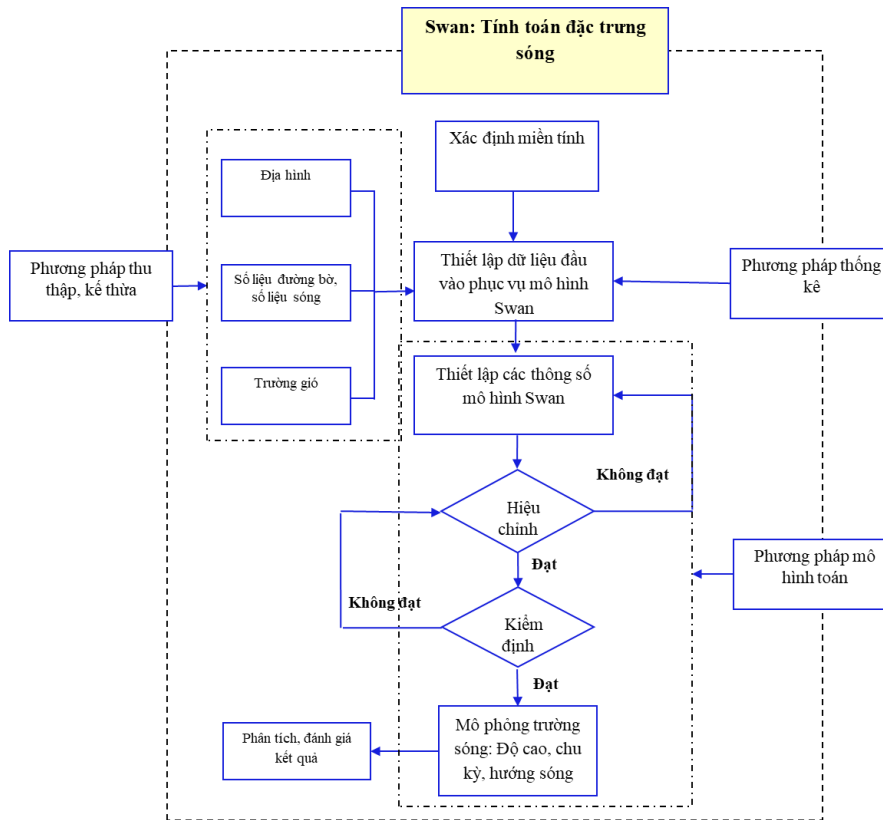


Hình 1. Vị trí khu vực nghiên cứu.

2. Phương pháp nghiên cứu và số liệu sử dụng

2.1. Phương pháp nghiên cứu

Mô hình Swan [13–14] được ứng dụng tính toán trường sóng chi tiết cho bãi tắm khu vực Bãi Dài theo sơ đồ phương pháp luận như hình 2.

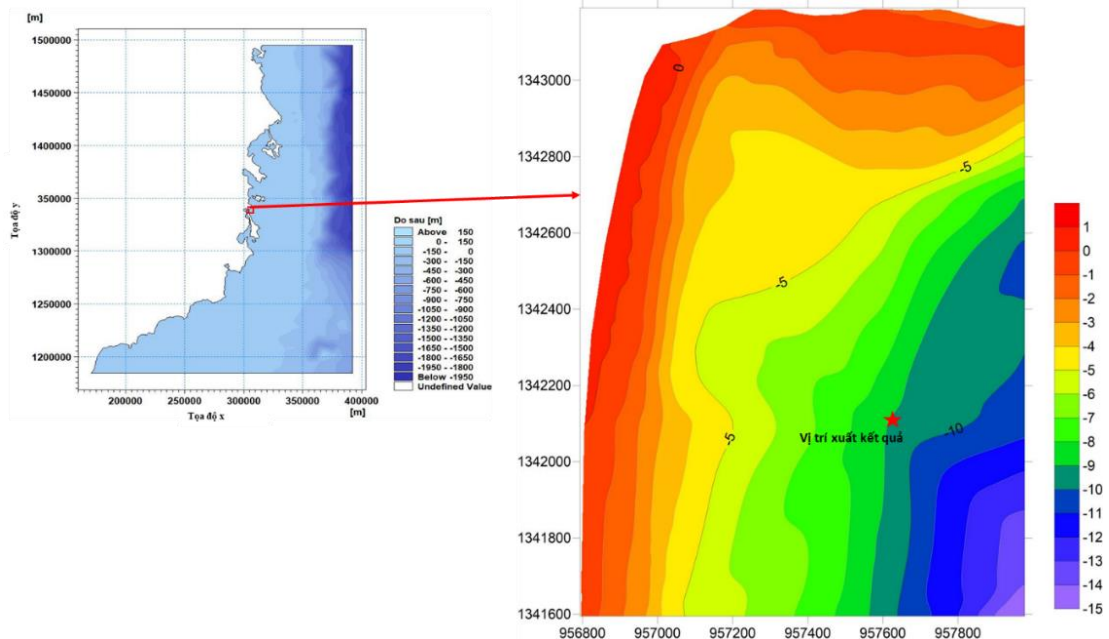


Hình 2. Sơ đồ khối phương pháp luận nghiên cứu.

2.2. Dữ liệu tính toán

2.2.1. Độ sâu

Độ sâu địa hình chi tiết tại bãi tắm Bãi Dài đo đạc với tỉ lệ 1:1000 từ đề tài “Điều tra, đánh giá hiện tượng dòng RIP (*RIP current*) tại các bãi tắm Khánh Hòa, xác định nguyên nhân và đề xuất các giải pháp phòng tránh” năm 2012 và độ sâu khu vực lưới tính lớn ngoài khơi kế thừa từ dữ liệu thu thập và xử lý cũng từ đề tài trên [8]. Hình 3 thể hiện địa hình đáy khu vực tính toán.

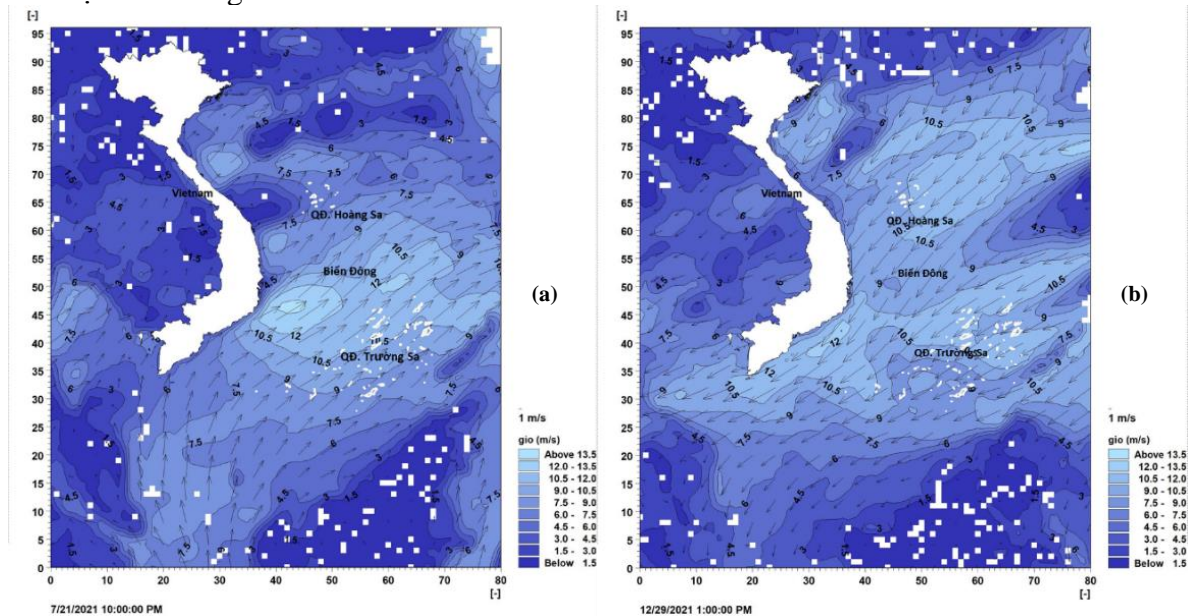


Hình 3. Địa hình và vị trí xuất kết quả tại Bãi Dài.

2.3.2. Dữ liệu đầu vào về sóng, gió

- Dữ liệu biên sóng: Đối với miền tính lớn, trường sóng được tính toán từ dữ liệu trường gió tái phân tích khu vực Biển Đông... Đối với miền tính nhỏ, biên lỏng ngoài khơi là kết quả tính toán và trích xuất từ miền tính lớn.

- Số liệu gió: Trường gió thu thập là trường gió tái phân tích (NOAA) năm 2012, 2013 và năm 2021 biến đổi theo không gian và thời gian [20]. Dữ liệu gió thu thập được xử lý và thể hiện như trong Hình 4.



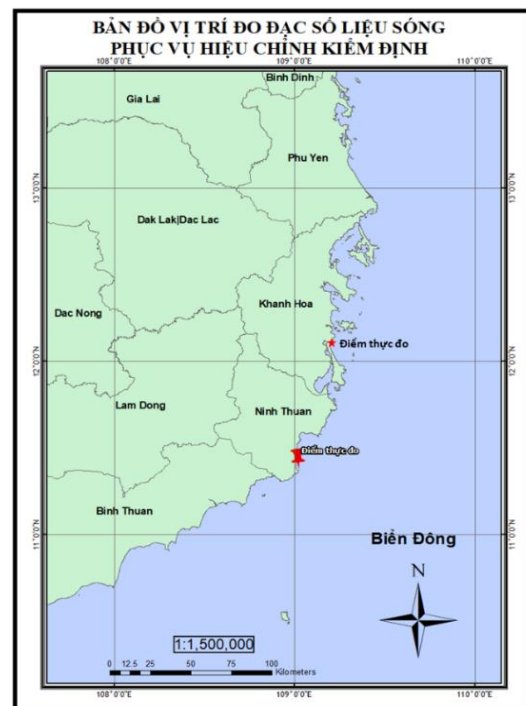
Hình 4. Gió tái phân tích khu vực Biển Đông tại thời điểm 10:00 CH ngày 21/07/2021 và 1:00 CH ngày 29/12/2021.

2.3. Hiệu chỉnh và kiểm định mô hình

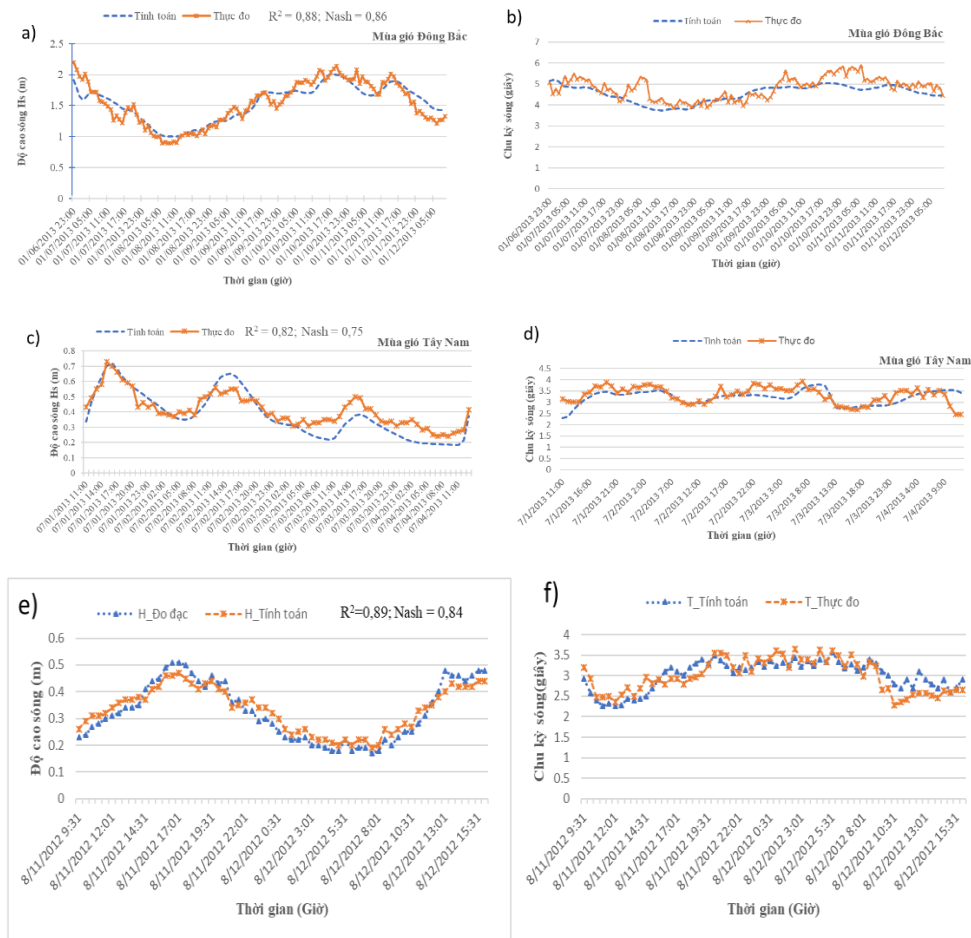
Mô hình sẽ được hiệu chỉnh và kiểm định với số liệu thực đo tại 2 trạm như hình 5.

Kết quả hiệu chỉnh mô hình của lưới tính lớn tại điểm đo ven biển Ninh Thuận trong thời gian từ 11:00 CH ngày 6/1/2013 đến 7:00 SA ngày 12/1/2013 (Hình 6a, 6b) cho thấy hệ số tương quan đạt 0,88 và hệ số hiệu quả mô hình Nash đạt 0,86 (Hình 6a) và sai số chu kỳ sóng trung bình RMSE là 5,1% (Hình 6b). Kết quả này được xem xét đánh giá mức độ phù hợp của mô hình [21] cho thấy kết quả hiệu chỉnh tốt.

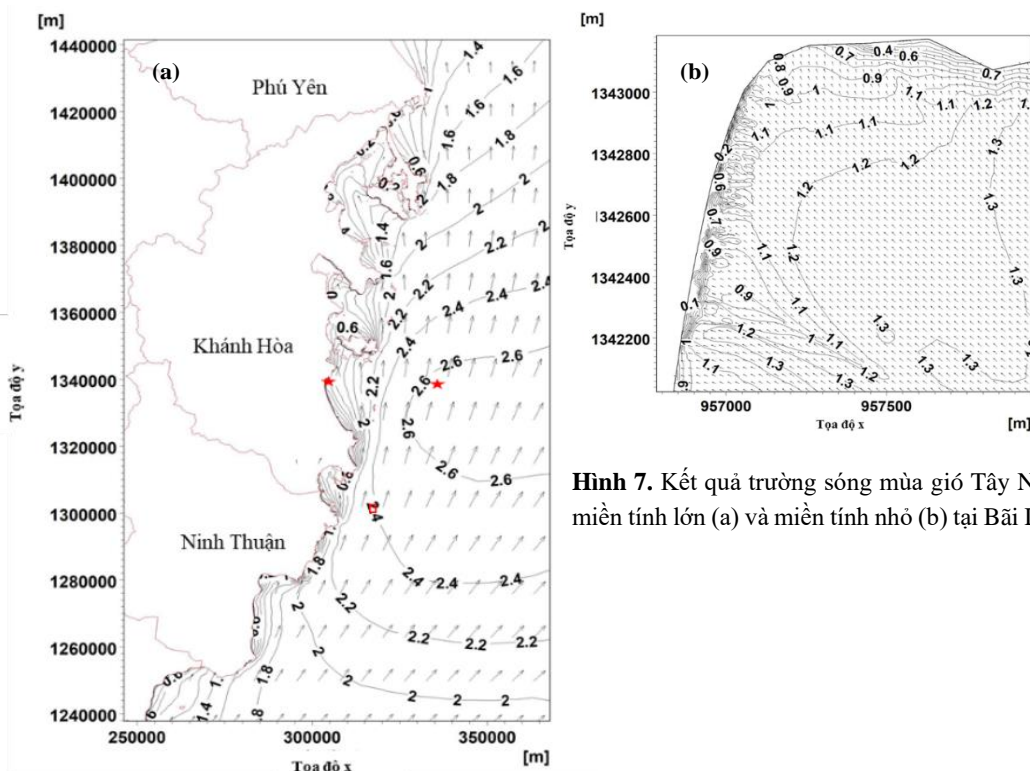
Mô hình Swan được kiểm định lại với số liệu thực đo trong giai đoạn từ 11:00 SA ngày 1/7/2013 đến 12:00 CH ngày 4/7/2013 của miền tính lớn tại điểm ven biển Ninh Thuận và miền tính nhỏ tại điểm ven biển Bãi Dài trong giai đoạn từ 9:30 SA 11/08/2012 - 16:00 CH 12/08/2012. Kết quả kiểm định cả 2 miền tính đều cho hệ số tương quan trên 0,8 và hệ số hiệu quả mô hình Nash trên 0,75 (Hình 6c, 6e) và sai số chu kỳ sóng trung bình RMSE lần lượt 3,4% (Hình 6d) và 3,2% (Hình 6f). Kết quả kiểm định lại bộ thông số mô hình cũng cho kết quả tốt, vì vậy mô hình Swan tiếp tục được ứng dụng tính toán hiện trạng cho năm 2021.



Hình 5. Vị trí đo đặc sóng phục vụ hiệu chỉnh và kiểm định.



Hình 6. Kết quả (a, b) hiệu chỉnh và (c, d) kiểm định lưới tính lớn tại ven biển Ninh Thuận; (e, f) kiểm định tại điểm đo Bãi Dài (giai đoạn 9:30 SA 11/08/2012 - 16:00 CH 12/08/2012) giữa độ cao sóng và chu kỳ sóng thực đo với kết quả tính toán.

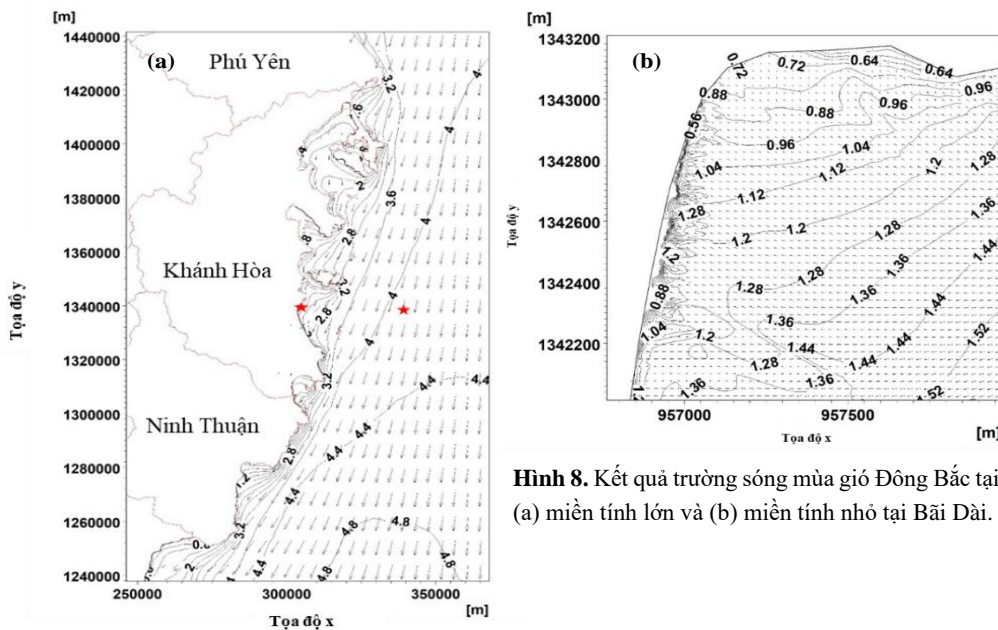


Hình 7. Kết quả trường sóng mùa gió Tây Nam miền tính lớn (a) và miền tính nhỏ (b) tại Bãi Dài.

3. Kết quả và thảo luận

Kết quả tính toán trường sóng vào thời kỳ gió mùa Tây Nam tháng 7/2021 cho thấy ở ngoài khơi độ cao sóng dao động trong khoảng 1-2 m, hướng sóng chủ yếu là hướng Tây Nam, chịu tác động bởi chế độ gió mùa Tây Nam (Hình 7a). Tuy nhiên, khi trường sóng lan truyền vào khu vực nghiên cứu ven bờ Bãi Dài, độ cao sóng giảm còn khoảng 0,5-1,2 m, hướng sóng cũng chịu tác động bởi hình thái bờ và địa hình đáy nên hướng sóng chủ yếu là hướng Đông Nam (Hình 7b). Tại khu vực bãi tắm của Bãi Dài, địa hình bất đều biến đổi phức tạp, xuất hiện nhiều cồn cát và hình thái địa hình có dạng răng cưa nên độ cao sóng cũng biến đổi khá phức tạp so với khu vực ngoài. Hướng sóng tại ven bờ có khuynh hướng vuông góc bờ do bị tác động của địa hình bãi biển.

Vào thời kỳ gió mùa Đông Bắc, trường sóng được tính toán vào tháng 12/2021 cho thấy độ cao sóng ngoài khơi dao động trong khoảng từ 1-5 m, hướng sóng chủ yếu là hướng Bắc đến Đông Bắc (Hình 8a). Trường sóng vào thời kỳ này khi lan truyền vào vùng ven bờ khu vực nghiên cứu bị tác động một phần của đảo Hòn Tre nên hướng sóng và độ cao sóng đã có sự thay đổi rõ rệt. Hướng sóng đã chuyển sang hướng Đông, độ cao sóng lúc này giảm còn khoảng 0,5-2 m (Hình 8b). Khi trường sóng lan truyền vào khu vực bãi tắm của Bãi Dài, độ cao sóng biến đổi khá phức tạp hơn nhiều so với khu vực ngoài khơi, hướng sóng có khuynh hướng vuông góc với bờ, đây là do tác động của địa hình bãi có nhiều răng cưa và xuất hiện nhiều cồn cát.



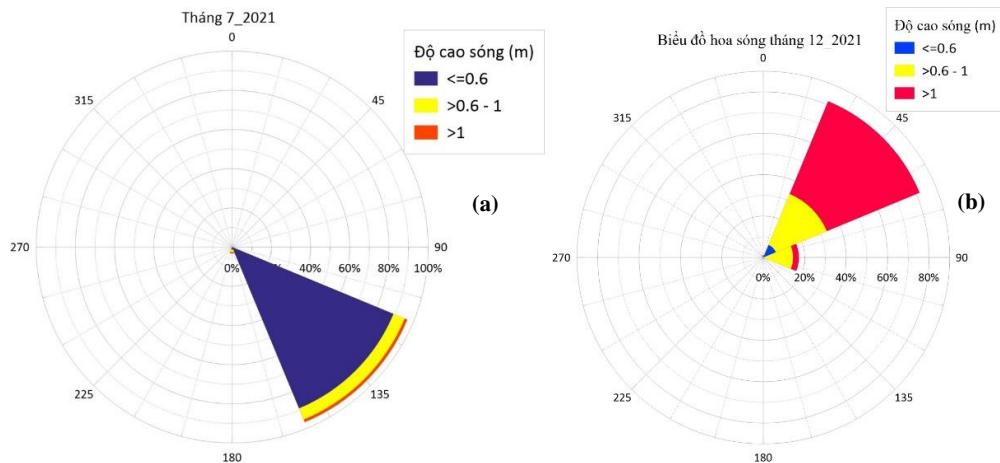
Hình 8. Kết quả trường sóng mùa gió Đông Bắc tại (a) miền tính lớn và (b) miền tính nhỏ tại Bãi Dài.

Ngoài ra, mô hình sẽ được trích xuất kết quả tính toán sóng tại vị trí nước sâu của khu vực Bãi Dài (Hình 3) để tính toán xác định tần suất sóng trong hai mùa gió đặc trưng năm 2021.

Kết quả sóng tháng 7/2021 cho thấy hướng sóng chủ đạo là hướng Đông Nam với tần suất lên đến 96,77% còn lại 3,23% là tần suất xuất hiện hướng Nam (Hình 9a). Trong tần suất xuất hiện của hướng Đông Nam, độ cao sóng $\leq 0,6$ m có tần suất lớn nhất lên đến 89,11%, độ cao sóng từ 0,6 m đến 1,0 m chiếm tần suất khoảng 6,18%, độ cao sóng $> 1,0$ m chỉ chiếm tần suất 1,48%. Từ kết quả phân tích này, sóng hướng Đông Nam là hướng chủ đạo và đặc trưng cho Bãi Dài vào thời kỳ gió mùa Tây Nam.

Kết quả tính toán trường sóng vào tháng 12/2021 được thể hiện chi tiết trong biểu đồ hoa sóng hình 3,19 và bảng 3,3. Kết quả trường sóng vào tháng 12/2021 cho thấy sóng hướng Đông Bắc có tần suất xuất hiện lớn nhất 81,72%, hướng Đông là 17,2% còn lại một phần rất nhỏ 1,08% là hướng Bắc (Hình 9b). Trong tần suất xuất hiện sóng hướng Đông Bắc, độ cao sóng > 1 m chiếm tần suất đến 48,52%, độ cao sóng từ 0,6 m đến 1,0 m chiếm tần suất

26,61%, còn lại 6,59 % là tần suất xuất hiện của độ cao sóng $\leq 0,6$ m. Vào thời kỳ gió mùa Đông Bắc, sóng hướng Đông Bắc là hướng chủ đạo và đặc trưng tại khu vực Bãi Dài.



Hình 9. Biểu đồ hoa sóng tại vị trí trích xuất (a) tháng 7/2021 và (b) tháng 12/2021.

4. Kết luận

Mô hình Swan đã được ứng dụng mô phỏng tính toán chi tiết sự phân bố trường sóng tại vùng biển Bãi Dài và sự biến thiên sóng theo không gian và thời gian tại giới hạn khu vực nghiên cứu với kết quả khá chính xác (Hệ số tương quan R^2 , chỉ số Nash đều đạt tốt, sai số < 10%). Mô hình Swan đã mô tả tốt được các yếu tố hình thành và phát triển trường sóng biển ở ngoài khơi, sự biến đổi của trường sóng khi lan truyền vào vùng ven bờ.

Kết quả tính toán trường sóng tại Bãi Dài cho thấy trường sóng chịu tác động chủ yếu vào chế độ gió mùa tại khu vực (Đông Bắc và Tây Nam). Tuy nhiên, khi trường sóng lan truyền vào vùng ven bờ, các yếu tố chính của sóng biển không còn giữ nguyên mà bị biến đổi bởi tác động của địa hình đáy biển. Cụ thể, vào thời kỳ gió mùa Tây Nam (tháng 7/2021), hướng sóng chính ở ngoài khơi là hướng Tây Nam nhưng khi nào đến khu vực Bãi Dài, hướng sóng lúc này là hướng Đông Nam với tần suất xuất hiện lên đến hơn 95%, độ cao sóng lúc này cũng đã giảm đáng kể. Vào thời kỳ gió mùa Đông Bắc (tháng 12/2021), hướng sóng ngoài khơi có hướng Đông Bắc là chủ đạo, khi vào khu vực Bãi Dài hướng sóng gần như không đổi ở vùng nước sâu, nhưng khi vào vùng nước nông ven bờ của Bãi Dài thì hướng sóng gần như là hướng Đông, độ cao sóng lớn hơn so với mùa gió Tây Nam nhưng cũng giảm khi vào ven bờ. Độ cao sóng mùa gió Đông Bắc cao gần như gấp đôi so với độ cao sóng vào mùa gió Tây Nam. Kết quả tính toán này sẽ là điều kiện đầu vào quan trọng trong mô phỏng tính toán sự xuất hiện của dòng chảy ven bờ do sóng cũng như dòng chảy tổng hợp tại khu vực Bãi Dài, trong đó dòng rip sẽ được đánh giá chi tiết trong hệ thống dòng chảy ven bờ tại khu vực Bãi Dài.

Đóng góp của tác giả: Xây dựng ý tưởng nghiên cứu: N.N.T., N.T.B.; Lựa chọn phương pháp nghiên cứu: N.N.T., N.T.B.; Xử lý số liệu: N.N.T.; Hiệu chỉnh, kiểm định mô hình: N.N.T.; Viết bản thảo bài báo: N.N.T.; Chỉnh sửa bài báo: N.T.B.

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. Shepard, F.P.; Emery, K.O.; LaFond, E.C. Rip currents: A process of geological importance. *J. Geophys. Res.* **1941**, *49*, 337–369.
2. Shepard, F.P.; Inman, D.L. Nearshore circulation. Proceedings of the 1st conference on Coastal Engineering, Council on Wave Research, Berkeley, CA. 1950a, 50–59.

3. Shepard, F.P.; Inman, D.L. Nearshore circulation related to bottom topography and Wave refraction. Transactions American Geophysical Union, 1950b, 31(4), 196–213.
4. Austin, M.J.; Tim, M.; Russell, S.P.E.; Gerd Masselink, G. RIP current prediction: development, validation, and evaluation of an operational tool. *J. Coastal Res.* **2012**, 29(2), 283–300.
5. Haller, M.C.; Dalrymple, R.A. Rip current dynamics and nearshore circulation. Research Report CACR-99-05, Center for Applied Coastal Research. University of Delaware, 1999.
6. Horikawa, K.; Sasaki, T. Field observation of nearshore current system. *Coastal Eng.* **1972**, 34, 635–651.
7. Castelle, B.; Almar, R.; Dorel, M.; Lefebvre, J.P.; Sénéchal, N.; Anthony, E.J.; Laibi, R.; Chuchla, R.; du Penhoat, Y. RIP currents and circulation on a high-energy low-tide-terraced beach (Grand Popo, Benin, West Africa). *J. Coastal Res.* **2014**, 70, 633–638.
8. Mầu, L.Đ. Điều tra, đánh giá hiện tượng dòng RIP (RIP current) tại các bãi tắm Khánh Hòa, xác định nguyên nhân và đề xuất các giải pháp phòng tránh. Báo cáo tổng kết đề tài nghiên cứu khoa học cấp tỉnh Khánh Hoà, 2012.
9. Hùng, N.M. và cs. Năng lượng sóng biển khu vực biển Đông và vùng biển Việt Nam. Khoa học Tự nhiên và Công nghệ, 2009.
10. Krogstad, H.E.; Barstow, S.F.J.C.E. Satellite wave measurements for coastal engineering applications. *Coastal Eng.* **1999**, 37(3-4), 283–307.
11. Settelmaier, J.B. et al. Simulating waves nearshore (SWAN) modeling efforts at the national weather service (NWS) southern region (SR) coastal weather forecast offices (WFOs). Proceeding of the 91th AMS Annual Meeting, Seattle, WA, Paper P13A, 2011.
12. Huân, N.M. Hệ thống nghiệp vụ dự báo ngắn hạn các yếu tố khí tượng thủy văn biển trên Biển Đông. Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, Nhà xuất bản ĐHQGHN, 2010.
13. Vinh, V.D.; An, P.H. Ứng dụng mô hình toán nghiên cứu biến động địa hình đáy vùng ven bờ châu thổ sông Hồng. *Tap chí Khoa học kỹ thuật Thủy lợi và Môi trường* **2013**, 1–11.
14. Thanh, B.; Thịnh, N.N.; Hoàng, T.T. Nghiên cứu tính toán sóng bằng mô hình Delft 3D tại khu vực biển Cần Giờ. *Tap chí Khí tượng Thủy văn* **2013**, 641, 37–39.
15. Thịnh, N.N.; Hoàng, T.T.; Phùng, N.K. Nghiên cứu tính toán trường sóng và dòng Rip (Rip Current) khu vực bãi biển Cù Hin. *Tap chí Khí tượng thủy văn* **2014**, 642, 29–32.
16. 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.
17. Hoàn, P.S. và cs. Nghiên cứu các đặc trưng của trường sóng trong vịnh Nha Trang bằng mô hình Mike-21. Tuyển tập nghiên cứu biển, 2015.
18. WL/Hydraulics. Simulation of short-crested waves with HISWA or SWAN (SWAN user manual), 2003.
19. E. van Meerendonk (Ed.). Coastal Engineering, DELFT Hydraulics. 1990.
20. National weather service environmental modeling center form: http://www.https://polar.ncep.noaa.gov/waves/viewer.shtml?-multi_2-aus_ind_phi-
21. Moriasi, D.; Arnold, J.; Van Liew, M.; Bingner, R.; Harmel, R.; Veith, T. Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations. *Trans. ASABE* **2007**, 50(3), 885–900.

Research to determine the coastal wave field in the Bai Dai – Cam Ranh area using mathematical models

Ngô Nam Thịnh^{1,2}, Nguyễn Thị Bay^{3*}

¹ HCMC University of Natural Resources and Environment; nnthinh@hcmunre.edu.vn

² University of Science - VNU.HCM; nnthinh@hcmunre.edu.vn

³ University of Technology - VNU.HCM; ntbay@hcmut.edu.vn

Abstract: The Swan model is applied to calculate and determine the wave field in the Bai Dai - Cam Ranh area to serve the calculation of coastal currents, especially rip currents. Mathematical model (Swan model) is the main method in this research, in addition there are other methods such as data collection method, statistical method, GIS method,... Wind field Reanalysis of the East Sea area has been collected and is important data in calculating the wave field generated by wind. The large calculation region is the coastal area from Phu Yen to Binh Thuan and the small calculation region is the Bai Dai - Cam Ranh area (Khanh Hoa). Real wave data measured in the coastal areas of Ninh Thuan in 2013 and Bai Dai in 2012 were used to calibrate and verify the model with good to very good results in terms of correlation coefficient R^2 , root mean square error (RMSE) and Nash - Sutcliffe index. The Swan model is applied to calculate detailed wave characteristics at Bai Dai during the two prevailing monsoon seasons of 2021. The calculation results have determined that during the Southwest monsoon season, the Bai Dai area has a direction The dominant wave is Southeast with frequency 96.77% and wave height ≤ 0.6 m has frequency 89.11%. The wave field during the Northeast monsoon season has the main direction from East to Northeast, of which the Northeast direction has the highest frequency of 81.72%, wave heights > 1.0 m has a frequency of 48.52%.

Keywords: Wave; Swan; Bai Dai.

Bài báo khoa học

Nghiên cứu đánh giá và đề xuất giải pháp công trình chống sạt lở bờ sông Bến Tre

Văn Hữu Huệ^{1*}

¹ Trường Đại học Xây dựng Miền Tây, Vĩnh Long; huuhuevan@gmail.com

*Tác giả liên hệ: huuhuevan@gmail.com; Tel.: +84-919235799.

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

Tóm tắt: Hiện nay, ở Đồng bằng sông Cửu Long (ĐBSCL) việc mất ổn định bờ sông dẫn đến sạt lở xảy ra nhiều nơi với nhiều nguyên nhân khác nhau. Khu vực xã Nhơn Thạnh, Thành phố Bến Tre sạt lở xảy ra do dòng chủ lưu áp sát bờ. Nghiên cứu đã sử dụng phương pháp mô hình và phương pháp kế thừa để xác định các nguyên nhân gây mất ổn định bờ sông là dòng chủ lưu áp sát bờ lõm của đoạn sông cong (phía xã Nhơn Thạnh) và hai vị trí co hẹp với vận tốc lớn. Từ kết quả nghiên cứu trên, bài báo đề xuất giải pháp công trình bảo vệ trực tiếp là kè mái nghiêng và kè tường góc chữ L bê tông cốt thép (BTCT) bảo vệ và đưa ra hướng phát triển nghiên cứu nhằm bảo vệ khu vực nghiên cứu (KVNC). Nghiên cứu tác động này góp phần làm rõ nguyên nhân mất ổn định nhằm bảo vệ trung tâm đô thị TP. Bến Tre.

Từ khóa: Dòng chủ lưu áp sát bờ sông; Ổn định bờ sông Bến Tre; Sạt lở ngã ba sông; Sạt lở ở ĐBSCL.

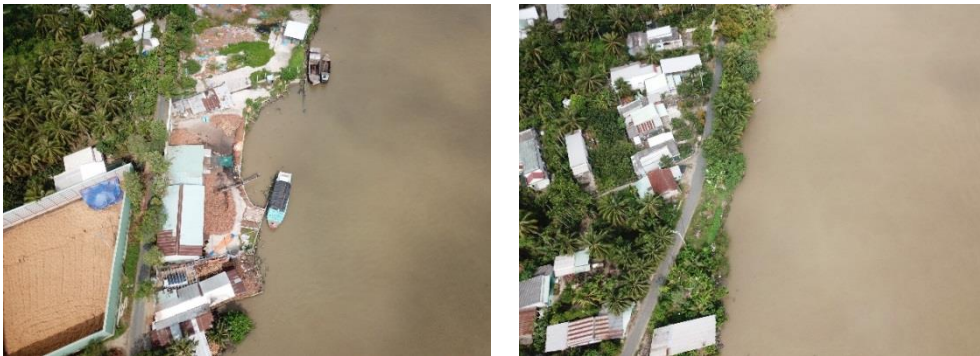
1. Giới thiệu

Những năm qua, tình hình sạt lở trên thế giới diễn biến phức tạp, cụ thể như bờ biển của Đức kéo dài hơn 3.700 km; hai phần ba bờ biển đang bị xói mòn; trên vùng Baltic, khoảng 75% bờ biển (cát) bị xói mòn, bờ biển có tốc độ rút lui trung bình khoảng 40 cm/năm; khoảng 70% đường bờ biển của bang Mecklenburg-Vorpommern bị thu hẹp; tốc độ xói mòn đang diễn ra là 24 cm/năm đối với Schleswig-Holstein và lên tới 30 cm/năm đối với Mecklenburg-Vorpommern [2]. Bỉ có bờ biển dài 67 km, trong đó 33 km là cồn cát, còn lại là khu vực xây dựng và bến cảng; phần lớn bờ biển đã bị xói mòn trong nhiều thập kỷ; mỏ hàn được xây dựng để hạn chế sự xói mòn do dòng chảy và sóng. Kể từ năm 1960, việc nuôi dưỡng bãi biển đã được thực hiện thường xuyên để bù đắp cho sự xói mòn ở gần 20 km bờ biển. Bãi biển và cồn cát có vai trò quan trọng trong việc chống lũ lụt; tính mới của nuôi dưỡng bãi biển cần được nghiên cứu áp dụng ở Việt Nam [3].

Từ đầu năm 2019 đến nay, bờ sông Tiền thuộc địa phận tỉnh Đồng Tháp xảy ra sạt lở tại 12 xã, phường, thị trấn của 7 huyện, thị xã, thành phố (Thanh Bình, Hồng Ngự, Cao Lãnh, Lấp Vò, Tam Nông, TP. Cao Lãnh và Hồng Ngự). Sạt lở bờ sông làm chết 01 người, chiều dài sạt lở 15,8 km, diện tích sạt lở 2,25 ha.

Năm 2022, bờ sông Tiền đoạn qua ấp Thượng, xã Tân Quới, huyện Thanh Bình đã xảy ra vụ sạt lở với chiều dài khoảng 30 m, lún sâu vào đất liền 22 m, thiệt hại hai ngôi nhà; di dời khẩn cấp 17 hộ dân. Gần đó, tại khu vực nhà của anh Đinh Tấn Phước, sạt lở lún sâu vào đất liền khoảng 20 m. Bài báo tập trung nghiên cứu một số vấn đề sau: (1) Phân tích, đánh giá, xác định nguyên nhân gây ra sạt lở; (2) Đề xuất xây dựng tuyến kè đảm bảo chống sạt lở bờ sông Bến Tre, xã Nhơn Thạnh nhằm đảm bảo ổn định bờ sông, ổn định nhà

cửa, công trình hạ tầng, chỉnh trang đô thị, tạo mỹ quan cho TP. Bến Tre, góp phần ổn định cuộc sống người dân thu hút du lịch và phát triển kinh tế du lịch.



Hình 1. Hình ảnh sạt lở bờ sông lấn sát đường An Dương Vương ở KVNC [1].

2. Tài liệu thu thập và phương pháp nghiên cứu

2.1. Dữ liệu sử dụng

2.1.1. Vị trí khu vực nghiên cứu

Bến Tre được hợp thành bởi ba cù lao An Hóa, cù lao Bảo và cù lao Minh; đã và đang xảy ra tình trạng sạt lở ven sông, ven biển ngày càng trầm trọng. Toàn tỉnh có 112 điểm sạt lở, 04 điểm sạt lở có quy mô lớn. Riêng sạt lở bờ sông Bến Tre khu vực xã Nhơn Thạnh, TP. Bến Tre, với chiều dài sạt lở 1.200 m, ảnh hưởng đến 17 ha; sạt lở đã tiến gần đến đường An Dương Vương (tuyến đường chính của khu vực). Có những vị trí bờ sông chỉ còn cách tuyến đường khoảng 4,0 m. Dọc theo tuyến kè có những vị trí đã xói sâu vào trong bờ từ 15÷20 m, chiều dài đoạn xói sâu theo phương dọc tuyến từ 60÷80 m [1].



Hình 2. Vị trí tuyến bờ sạt lở [1].

Việc hợp lưu ba con sông này làm chế độ thủy văn, dòng chảy biến đổi, lượng dòng chảy chuyển từ sông Mỹ Tho, Hàm Luông về Ba Lai là lớn, đặc biệt sông Mỹ Tho; lưu tốc dòng chảy đạt đến 2 m/s, lớn hơn nhiều so với sông khác; lòng dẫn của sông Bến Tre được đào sâu và mở rộng dần.

2.1.2. Phạm vi nghiên cứu

Sông Bến Tre, đoạn qua xã Nhơn Thạnh, TP. Bến Tre, chiều dài 1.340 m (sạt lở 1.200 m); nằm trên ngã ba sông Bến Tre - Chệt Sậy - Giao Hòa (đây là ba con sông đào nổi ba con sông Mỹ Tho-Ba Lai-Hàm Luông). Thời gian nghiên cứu 2000 ÷ 2023.

2.1.3. Điều kiện khí hậu

KVNC có chế độ nhiệt đới gió mùa, hàng năm có hai mùa nắng mưa rõ rệt. Mùa nắng từ tháng 12 năm trước đến tháng 5 năm sau, lượng mưa bình quân là 1.500 mm/năm. Trong năm hình thành hai mùa gió chính: Gió mùa Đông Bắc từ tháng 12 đến tháng 4 năm sau. Hướng gió chủ yếu là Đông - Đông Bắc.

KVNC chịu ảnh hưởng trực tiếp và mạnh mẽ của chế độ bán nhật triều không đều biển Đông, trung bình 24 giờ 47 phút, có hai lần triều lên (nước lớn) và hai lần triều xuống (nước ròng), biên độ triều lớn từ 3 ÷ 4 m vào thời kỳ triều cường và từ 1,8 ÷ 2,0 m vào thời kỳ triều kém. Trong tháng có hai chu kỳ triều là triều cường và triều kém; triều cường có đỉnh cao và chân thấp duy trì từ 4 ÷ 5 ngày vào những ngày giữa tháng và cuối tháng âm lịch; triều kém có đỉnh thấp và chân cao thường xuất hiện ở hai nửa đầu chu kỳ triều.

2.1.4. Điều kiện địa hình, địa mạo và địa chất

Địa hình trên cạn: Tương đối bằng phẳng, cao độ từ +1,2 ÷ + 2,0m; KVNC có 04 rạch thoát nước, có 01 rạch tương đối lớn, rộng khoảng 18 m.

Địa hình dưới nước: Sông có chiều rộng trung bình 200 m, độ sâu lòng rạch phân thành hai đoạn rõ rệt, đoạn 01 từ K0 ÷ K0+400 (từ đầu tuyến đến ngã ba sông) cao trình đáy khoảng -5,5m, đoạn 2 từ K0+400÷K1+340 (Từ ngã ba sông về cuối tuyến) cao trình đáy trung bình -13,5m, có những vị trí -19,0m.

Tài liệu 06 hồ khoan và thí nghiệm các chỉ tiêu cơ lý đất, khảo sát địa hình do Công ty Tư vấn Xây dựng Cao Khoa khảo sát. Địa tầng KVNC có cấu tạo như sau [1]: (1) Lớp 1: Đất đắp: Sét pha lẫn nhiều rễ cây, mùn thực vật màu xám nâu, xám xanh đen, trạng thái dẻo mềm; (2) Lớp 2: Bùn sét màu xám nâu, xám xanh, trạng thái chảy; (3) Lớp 3: Sét, sét pha kẹp cát mịn màu xám nâu, xám xanh, trạng thái chảy; (4) Lớp 4: Cát lẫn bụi, sét màu xám xanh, kết cấu rời (xốp); (5) Lớp 5: Sét pha, cát pha lẫn sạn sỏi màu xám xanh, xám vàng, trạng thái nửa cứng đến cứng, kết cấu chặt. Sạn sỏi d = 0,2÷10,0 mm, hàm lượng 20÷30%; (6) Lớp 6: Sét lẫn bụi, sét pha màu xám xanh, xám vàng, trạng thái nửa cứng đến cứng; (7) Lớp 7: Cát pha, cát lẫn bụi sét màu xám vàng, trạng thái dẻo, kết cấu chặt.

2.1.5. Khí tượng, khí hậu và thủy văn

a) Mạng lưới trạm khí tượng thủy văn

KVNC có chế độ thủy văn phụ thuộc vào sông lớn (đặc biệt là sông Hàm Luông) và gần biển nên ảnh hưởng thủy triều rất lớn. Mực nước cao nhất, thấp nhất (Hmax, Hmin) ứng với các tần suất thiết kế dựa vào phương trình tương quan (PTTQ) đường mực nước lớn nhất và nhỏ nhất giữa trạm thủy văn Mộc Hóa với cống Bến Tre.

Bảng 1. Đặc trưng mực nước các trạm thủy văn khu vực (Đơn vị: m) [1].

TT	Trạm	Đặc trưng	Tháng											
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	Mỹ	Max	1,68	1,80	1,56	1,40	1,33	1,32	1,58	1,79	1,95	2,05	1,95	1,88
	Thuận	Min	-1,29	-1,33	-1,39	-1,46	-1,60	-1,59	-1,61	-1,37	-1,11	-0,78	-1,13	-1,15
2	Chợ	Max	1,75	1,88	1,67	1,50	1,41	1,37	1,56	1,70	1,91	1,99	1,93	1,90
	Lách	Min	-1,44	-1,53	-1,68	-1,64	-1,81	-1,89	-1,78	-1,57	-1,34	-1,18	-1,38	-1,39
3	Trà	Max	1,80	1,99	1,73	1,59	1,53	1,32	1,44	1,51	1,73	1,91	1,91	1,96
	Vinh	Min	-1,86	-2,02	-2,01	-1,98	-2,17	-2,31	-2,32	-2,15	-2,00	-1,69	-1,80	-1,82
4	An	Max	1,71	1,81	1,71	1,62	1,43	1,35	1,31	1,51	1,68	1,88	1,84	1,83
	Thuận	Min	-1,99	-2,01	-1,95	-1,98	-2,22	-2,31	-2,38	-2,33	-2,15	-2,07	-1,98	-1,99
5	Mỹ	Max	1,64	1,83	1,57	1,44	1,30	1,29	1,33	1,44	1,61	1,76	1,70	1,77
	Hóa	Min	-1,71	-1,87	-1,85	-1,84	-2,05	-2,17	-2,24	-2,05	-1,89	-1,68	-1,71	-1,76
6	Bến	Max	1,83	1,85	1,73	1,52	1,39	1,29	1,34	1,50	1,69	1,88	1,88	1,87
	Trại	Min	-2,29	-2,22	-2,08	-2,51	-2,40	-2,51	-2,57	-2,50	-2,35	-2,12	-2,30	-2,18

Năm 2018 tại Mỹ Hóa mực nước cao nhất là 1,83 m; thấp nhất là -2,24 m.



Hình 3. Sơ đồ mạng lưới trạm khí tượng thủy văn KVNC.

b) Tính toán mưa thiết kế

Tài liệu mưa ngày của các trạm mưa có chuỗi tài liệu quan trắc dài và đáng tin cậy. Lượng mưa ứng với các tần suất thiết kế như Bảng 2.

Bảng 2. Lượng mưa năm thiết kế các trạm trong khu vực tỉnh Bến Tre.

Trạm	Đặc trưng thống kê			Lượng mưa ứng với các tần suất thiết kế P(%) mm				
	Giá trị trung bình	Hệ số phân tán Cv	Hệ số thiên lệch Cs	70	75	80	85	90
Ba Tri	1540,2	0,18	0,73	1372,9	1338,1	1301,0	1259,9	1211,2
Bến Tre	1468,1	0,21	-0,08	1309,5	1262,5	1209,9	1148,3	1070,4
Bình Đại	1523,3	0,23	-0,17	1347,2	1292,8	1231,8	1159,9	1068,3
Chợ Lách	1507,0	0,23	0,1	1321,3	1270,3	1213,8	1148,4	1066,6
Hương Mỹ	1644,9	0,25	-0,13	1436,1	1372,7	1301,7	1218,3	1112,4
Giồng Trôm	1812,3	0,33	0,32	1484,7	1401,1	1309,6	1205,0	1076,7
Mỏ Cà	1296,9	0,17	0,65	1165,3	1136,9	1106,5	1072,6	1032,2

Do tính chất mưa của khu vực từ số liệu thực đo thì số trận mưa gây úng một ngày nằm trong trận mưa gây úng ba ngày, số trận mưa gây úng ba ngày nằm trong trận mưa gây úng năm ngày, số trận mưa gây úng năm ngày nằm trong trận mưa gây úng bảy ngày do đó trận mưa dài ngày sẽ nguy hiểm hơn trận mưa ngắn ngày. Về chế độ mực nước ngoài sông Hàm Luông và sông Cô Chiên thì thời gian triều cường thường xuất hiện 5 ngày. Do đó lựa chọn mô hình mưa tiêu 5 ngày max áp dụng tính toán cho khu vực. Phân phối mô hình mưa thiết kế dựa trên trận mưa điển hình có lượng mưa xấp xỉ bằng lượng mưa thiết kế và có mô hình mưa bất lợi.

c) Mực nước thiết kế

Bảng 3. Mực nước thiết kế (mực nước lớn nhất năm) (Đơn vị: m) [1].

Mực nước lớn nhất năm	Đặc trưng			Tần suất P (%)					
	Htb	Cv	Cs	0,20	0,50	1,00	1,50	2,00	10,0
Trạm An Thuận	1,67	0,09	-0,24	2,06	2,02	1,99	1,97	1,96	1,86
Trạm Bến Trại	1,74	0,07	-0,42	2,03	2,01	1,99	1,97	1,96	1,89
Trạm Chợ Lách	1,72	0,10	0,09	2,23	2,18	2,13	2,10	2,08	1,94
Trạm Mỹ Hóa	1,61	0,07	-0,42	1,88	1,86	1,84	1,83	1,82	1,75
Trạm Mỹ Thuận	1,75	0,11	-0,06	2,29	2,24	2,19	2,16	2,14	2,00
Trạm Trà Vinh	1,70	0,09	0,34	2,21	2,14	2,09	2,06	2,04	1,90

Bảng 4. Mục nước lớn nhất các tháng mùa khô tại các trạm thủy văn [1].

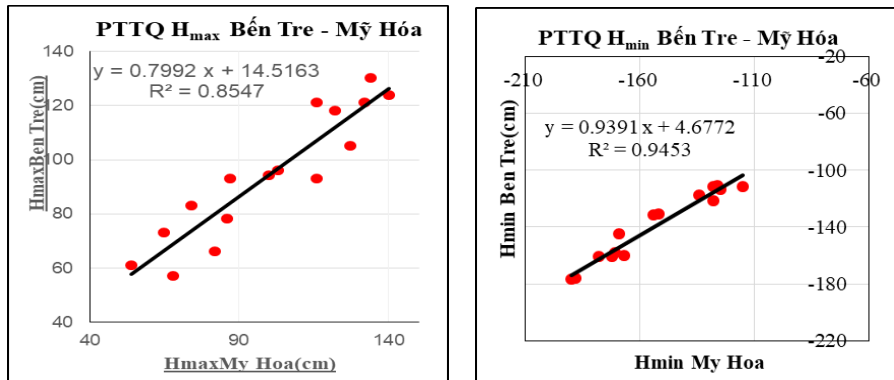
Mục nước lớn nhất mùa kiệt	Đặc trưng			Tần suất P (%)		
	Htb	Cv	Cs	50	75	85
Trạm An Thuận	1,59	0,08	-0,39	1,60	1,51	1,46
Trạm Bến Trại	1,60	0,08	0,06	1,60	1,51	1,47
Trạm Chợ Lách	1,48	0,11	0,64	1,46	1,36	1,31
Trạm Mỹ Hóa	1,50	0,08	0,65	1,49	1,41	1,38
Trạm Mỹ Thuận	1,40	0,12	0,52	1,39	1,28	1,23
Trạm Trà Vinh	1,61	0,10	0,82	1,59	1,49	1,45

Bảng 5. Mục nước nhỏ nhất theo tần suất các trạm thủy văn [1].

Trạm	Đặc trưng			Tần suất P (%)				
	Htb	Cv	Cs	90	95	97	98	99
Trạm An Thuận	-2,20	-3,94	-3,87	-2,34	-2,37	-2,40	-2,42	-2,44
Trạm Bến Trại	-2,31	-3,90	-3,81	-2,52	-2,58	-2,61	-2,65	-2,68
Trạm Chợ Lách	-1,68	-3,96	-4,30	-1,80	-1,84	-1,87	-1,90	-1,92
Trạm Mỹ Hóa	-2,02	-3,94	-4,29	-2,18	-2,23	-2,26	-2,29	-2,32
Trạm Mỹ Thuận	-1,36	-2,92	-3,09	-1,53	-1,58	-1,61	-1,64	-1,67
Trạm Trà Vinh	-2,07	-3,90	-3,74	-2,31	-2,37	-2,41	-2,45	-2,48

d) Xây dựng phương trình tương quan mực nước

Tham khảo PTTQ đã được lập cho vị trí công Bến Tre và trạm Mỹ Hóa để tính toán mực nước thiết kế cho công trình.



Hình 4. PTTQ mực nước lớn nhất và nhỏ nhất giữa trạm thủy văn Mỹ Hóa với công Bến Tre (Nguồn Dự án Quản lý nước Bến Tre (JICA3).

Dựa vào PTTQ đường mực nước lớn nhất và nhỏ nhất giữa trạm Mỹ Hóa với công Bến Tre, tính toán xác định mực nước lớn nhất và nhỏ nhất theo các tần suất thiết kế.

Bảng 6. Mục nước lớn nhất năm theo tần suất được tính về vị trí công trình.

Mục nước lớn nhất năm (m)	Tần suất P (%)					
	0,2	0,5	1,0	1,5	2,0	10,0
Vị trí công trình	1,65	1,63	1,62	1,61	1,60	1,54

Bảng 7. Mục nước nhỏ nhất năm theo tần suất được tính về vị trí công trình.

Mục nước nhỏ nhất năm (m)	Tần suất P (%)				
	90	95	97	98	99
Vị trí công trình	-2,00	-2,05	-2,08	-2,10	-2,13

Từ kết quả trên cho thấy mực nước lớn nhất tại trạm Mỹ Hóa lớn hơn mực nước lớn nhất tại vị trí nghiên cứu khoảng 20 cm. Mực nước nhỏ nhất tại trạm Mỹ Hóa thấp hơn mực nước nhỏ nhất tại vị trí nghiên cứu khoảng 20 cm. Do đó để thiên về an toàn, sử dụng số

liệu thực đo tại trạm Mỹ Hóa phục vụ nghiên cứu. Sau khi công Bến Tre xây dựng thì mực nước tại vị trí nghiên cứu sẽ giảm thấp hơn.

Bảng 8. Mực nước lớn nhất năm tại các trạm Mỹ Hóa.

Mực nước lớn nhất năm (m)	Đặc trưng			Tần suất P (%)					
	Htb	Cv	Cs	0,2	0,5	1,0	1,5	2,0	10,0
Trạm Mỹ Hóa	1,61	0,07	-0,42	1,88	1,86	1,84	1,83	1,82	1,75

Bảng 9. Mực nước nhỏ nhất năm theo tần suất trạm Mỹ Hóa.

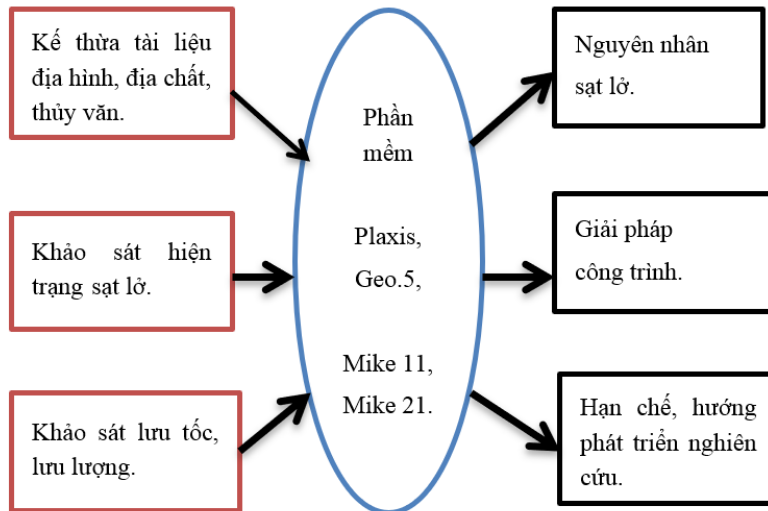
Trạm	Đặc trưng			Tần suất P (%)				
	Htb	Cv	Cs	90	95	97	98	99
Trạm Mỹ Hóa	-2,02	-3,94	-4,29	-2,18	-2,23	-2,26	-2,29	-2,32



Hình 5. Vị trí trạm thủy văn Mỹ Hóa, Công Bến Tre và tuyến kè Bến Tre (nguồn Google Earth).

2.2. Phương pháp nghiên cứu

Sơ đồ cấu trúc nghiên cứu được thể hiện trên hình 6.

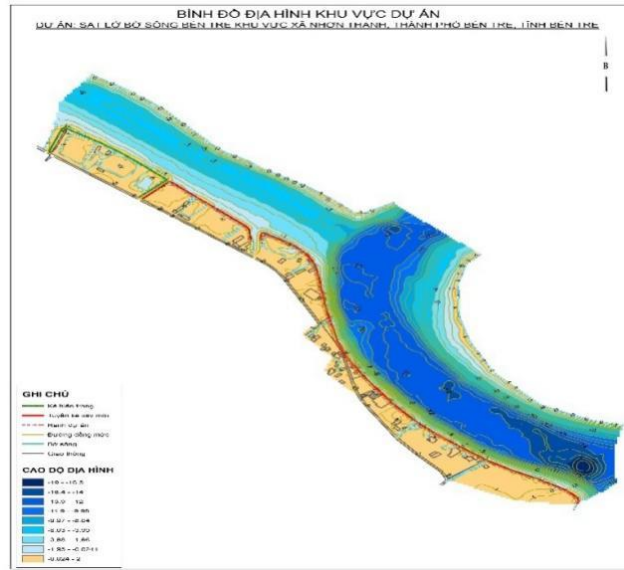


Hình 6. Sơ đồ cấu trúc nghiên cứu.

2.3. Thiết lập mô hình

2.3.1. Thiết lập mô hình thủy lực MIKE 11 cho hệ thống sông

Tài liệu sử dụng: Bình đồ địa hình lòng sông Bến Tre trong khu vực được khảo sát đo đạc trong phạm vi dự án. Các tài liệu biên mực nước, lưu lượng tính toán được trích xuất từ kết quả chạy thủy lực một chiều MIKE 11 được thiết lập cho cả hệ thống sông [1].

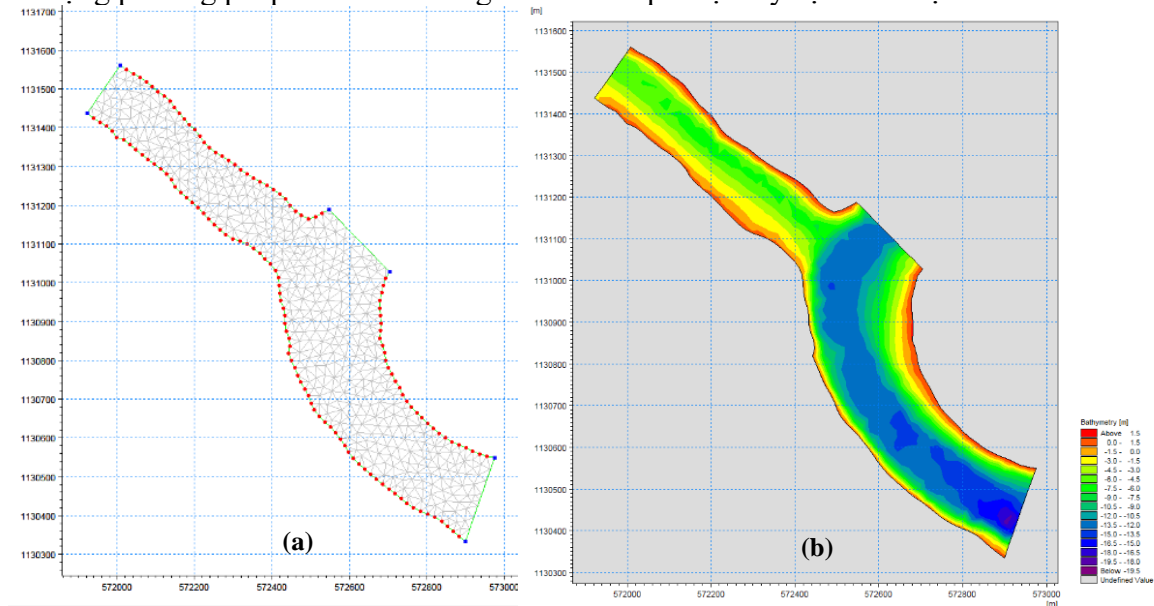


Hình 7. Bình đồ lòng sông Bền Tre - KVNC.

2.3.2. Thiết lập mô hình MIKE 21 FM

a) Lưới tính toán và địa hình lòng sông

Mô hình MIKE 21FM cho phép nội suy các cao độ địa hình đáy sông thực đo tạo ra các khoảng cao độ đồng mức thể hiện địa hình lòng sông qua các phổ màu. Lưới tính toán sử dụng phương pháp lưới hình tam giác cho kết quả nội suy địa hình mịn và chính xác.



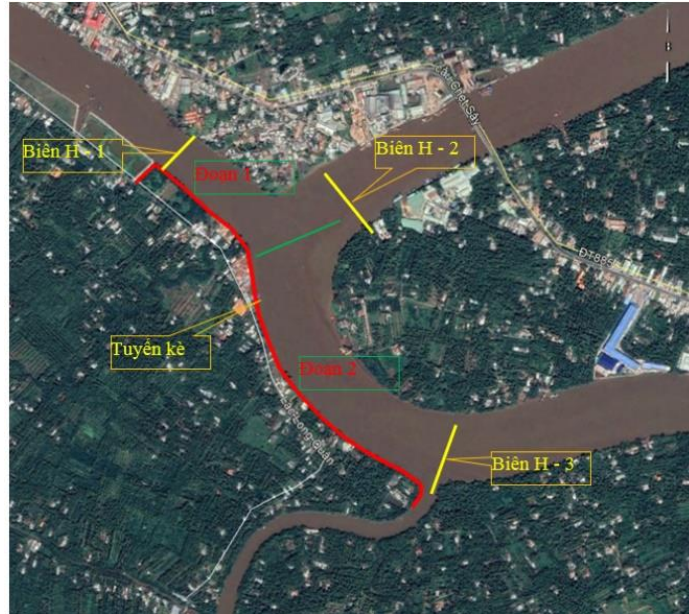
Hình 8. Lưới tính toán địa hình lòng sông (trái) và địa hình đáy sông (phải) [5].

b) Biên tính toán

Biên tính toán cho mô hình MIKE 21FM được trích xuất từ kết quả tính toán mô hình thủy lực MIKE 11 đã được tính toán hiệu chỉnh mô hình. Vị trí trích xuất kết quả mô hình thủy lực MIKE 11 làm biên cho mô hình MIKE 21 FM tại các ngã sông KVNC.

c) Kích bản (KB) tính toán

Tính toán trong hai trường hợp: (1) PA1: Các công An Hóa, Bền Tre chưa xây dựng; (2) PA2: Các công An Hóa, công Bền Tre và các công trình thuộc dự án quản lý nước Bền Tre (JICA3) và các công trình quy hoạch được xây dựng.



Hình 9. Sơ họa vị trí biên mô hình thủy lực Mike 21.

2.4. Kích bản tính toán

KVNC nằm gần biên nên chỉ ảnh hưởng thủy triều là chính, nên KB chủ yếu là triều lên, triều xuống và trước và sau khi xây dựng công điều tiết bên ngoài.

Bảng 10. Các KB tính toán.

Tên kịch bản	Nội dung tính toán
KB 1	Lũ 2000 trong điều kiện hiện trạng
KB 2	Lũ 2000 trong điều kiện xét đến NBD năm 2050
KB 3	Lũ 2000 trong điều kiện xét đến NBD năm 2100

3. Phân tích kết quả và thảo luận

3.1. Các nguyên nhân dẫn đến sạt lở bờ sông

- Tác động của dòng chảy là nguyên nhân chủ yếu và trực tiếp gây ra xói lở bờ. Dòng chảy tác động vào bờ gây nên quá trình xói ngang, đào khoét, công phá đất bờ. Dòng chảy khi tác động vào bờ phân ra làm thành hai thành phần: thành phần vuông góc và song song với bờ [6]; làm cho lòng dẫn sâu thêm hay cạn đi, mặt cắt ngang mở rộng hay thu hẹp phụ thuộc vào dòng chảy và điều kiện lòng dẫn. Tác dụng của dòng chảy gây xói lở với tốc độ nhanh hay chậm, mạnh hay yếu phụ thuộc vào bốn yếu tố:

+ Độ lớn của dòng chảy, cụ thể là lưu tốc thực tế lớn hơn vận tốc khởi động của bùn cát cấu tạo lòng dẫn (KVNC có tầng bùn yếu tương đối dày từ 10÷12 m), vận tốc càng lớn khả năng gây xói mòn lòng dẫn càng lớn [7];

+ Hướng tác động của dòng chảy vào bờ, yếu tố này ảnh hưởng tới cơ chế xói lở, hình xói hình thành hay không hình thành, hình thành ở đâu, mái bờ sông bị xói mặt hay xói chân, chính những điều này sẽ dẫn tới tốc độ xói lở bờ nhanh hay chậm;

+ Chế độ dòng chảy theo hai mùa mưa nắng khác biệt nhau, dòng chảy mùa lũ có lưu tốc, lưu lượng lớn gấp nhiều lần mùa kiệt. Mùa mưa đất bão hòa nước sẽ bị giảm tính chất cơ lý đất bề mặt, gia tăng trọng lượng bản thân khối đất [8] làm cho xói lở ngày càng tăng. Dòng triều với vận tốc lớn, gây nên sóng triều, tạo nên các xoáy lớn trong nội bộ dòng chảy;

+ Lũ càng lớn, mực nước lũ càng cao, thời gian lũ kéo dài, lưu tốc vượt nhiều lần so với vận tốc cho phép không xói, các lớp đất mềm yếu của lòng, bờ sông càng dễ bị phá hủy, bờ sông bị sạt lở, thể sông dịch chuyển, hình thái sông thay đổi theo hướng ngày càng bất lợi; dòng chảy lũ là nguyên nhân chủ yếu gây ra sạt lở bờ sông.

- Xói lở bờ gây biến hình ngang của lòng dẫn, xảy ra do tổ hợp của quá trình xói lòng dẫn và lở bờ; xói lòng dẫn là một quá trình tương tác giữa dòng chảy và lòng dẫn, các hạt bùn cát bị tách ra khỏi lòng dẫn và vận chuyển đi nơi khác mà không được bù đắp lại, còn lở bờ là do sự mất cân bằng của các lực cơ học khối đất bờ [9] (lực gây trượt lớn hơn lực chống trượt), dẫn đến khối đất mái bờ sông bị trượt hay sụt lở từng mảng xuống sông.

- Các nhân tố ảnh hưởng tới xói lở bờ được phân thành hai tổ hợp: (1) Các yếu tố tác động làm tăng lực gây trượt mái bờ; (2) Nhân tố tham gia làm giảm lực chống trượt của khối đất bờ sông. Hai tổ hợp đều liên quan tới sự tương tác giữa dòng chảy, sóng và hoạt động của con người tới lòng dẫn.

- Sóng do gió hay do tàu thuyền gây ra, áp lực sóng làm mái bờ sông bị phá vỡ kết cấu, các hạt bùn cát của lòng dẫn bị tách rời và vận chuyển đi nơi khác. KVNC nằm ở ngã ba sông Bến Tre - Giao Hòa là một trong những nút giao thông thủy chính của tỉnh Bến Tre, là sông nối các tuyến sông chính là sông Hàm Luông, Sông Ba Lai chủ yếu phục vụ giao thông thủy do đó lượng thuyền bè, xà lan lớn lưu thông với mật độ dày tạo con sóng lớn cũng là những nguyên nhân gây xói lở bờ sông Bến Tre đoạn qua xã Nhon Thạnh [1].

- Gia tải lên mép bờ sông dẫn tới xói lở bờ gồm xây dựng nhà cửa, cơ sở hạ tầng, chất hàng hóa v.v...; lũ xuống triều rút, tăng trọng lượng khối đất bờ đã bão hòa hay giảm áp lực đẩy nổi; mưa làm bão hòa khối đất bờ và phát sinh áp lực thấm...;

- Hình thái sông ảnh hưởng tới xói lở bờ [10]: (1) Địa hình đáy sông, thể sông là nhân tố không chế, chi phối và tạo nên kết cấu dòng chảy của mặt cắt ngang sông ảnh hưởng tới xói lở bờ, cũng như toàn bộ dòng chảy; (2) Hình dạng đoạn sông ảnh hưởng tới xói lở bờ, đoạn sông nghiên cứu uốn cong, dòng chủ lưu tập trung vào bờ lõm, gia tăng khả năng vận chuyển bùn cát dẫn đến sạt lở.

- Khai thác cát ngoài khai trường, vượt độ sâu cho phép làm thay đổi hình dạng mặt cắt sông, thay đổi độ lớn, kết cấu dòng chảy và độ đục, ảnh hưởng tới xói bồi biến hình lòng dẫn các đoạn sông lân cận, đặc biệt là đoạn sông phía hạ du dưới khu vực khai thác cát [11].

- Vị trí nghiên cứu từ ngã ba sông đến cuối tuyến là bờ lõm của đoạn sông cong do ảnh hưởng của dòng chảy hướng ngang (hình thành bởi lực ly tâm), dòng chảy có xu hướng moi đất từ phía bờ lõm đưa sang phía bờ lồi, theo thời gian dọc tuyến phía bờ lõm sẽ xói sâu làm cho mái bờ sông gần như dốc đứng là nguyên nhân chính gây ra sạt lở;

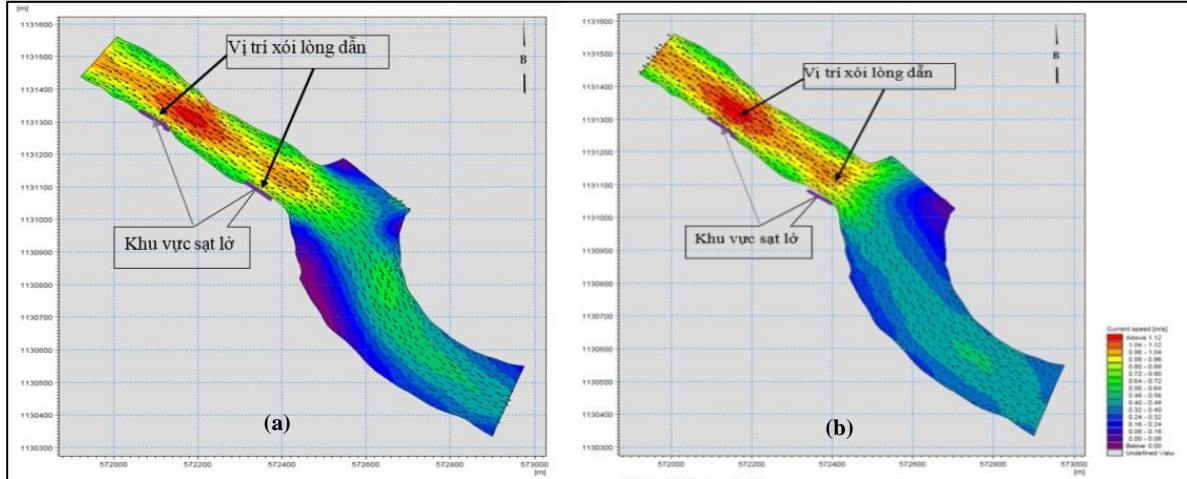
- Ảnh hưởng biên độ một ngày hai lần triều lên xuống cộng với chênh lệch mực nước chân và đỉnh triều lớn [12], tiềm ẩn hai mối nguy cho mái sông. Thứ nhất khi nước rút nhanh làm dung trọng của khối gây trượt tăng, mặt khác nước rút làm mất tầng phản áp phía ngoài gây sạt trượt cho mái. Thứ hai nước rút nhanh theo quán tính có xu thế lôi kéo các hạt đất theo gây sạt trượt, xói lở.

3.2. Phân tích kết quả tính toán

Chế độ dòng chảy KVNC phức tạp do nằm tại ngã ba sông Giao Hòa và sông Bến Tre. Phía dòng chảy từ sông Giao Hòa chịu ảnh hưởng bởi dòng chảy trên sông Ba Lai và sông Tiền. Phía dòng chảy trên sông Bến Tre chịu ảnh hưởng thủy triều từ sông Hàm Luông. Kênh Giao Hòa với bề rộng lớn ($B_{\text{Giao Hòa}} \approx 200 \text{ m}$, $B_{\text{Bến Tre}} \approx 130 \text{ m}$) nên khi thủy triều lên dòng chảy trên kênh Giao Hòa chiếm ưu thế, đẩy chủ lưu dòng chảy về bờ lõm của đoạn sông cong thuộc xã Nhon Thạnh [1]. Theo tác động của dòng chảy có thể phân chia khu vực thành hai đoạn: (1) Đoạn 1: Từ đầu tuyến kè đến ngã ba sông Giao Hòa - Bến Tre ($K0 \div K0+400$); (2) Đoạn 2: Từ ngã ba sông Giao Hòa - Bến Tre đến cuối tuyến ($K0+400 \div K1+340$ (Rạch Cái Sơn)).

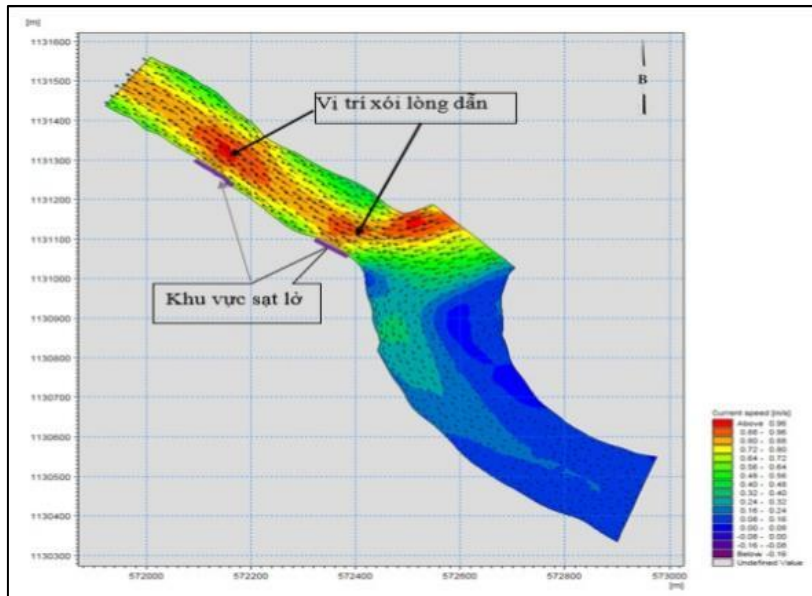
3.2.1. PA 1: Các công An Hóa, Bến Tre chưa xây dựng

a) Đoạn 1: Chế độ dòng chảy ảnh hưởng mạnh nhất vào thời gian khoảng 1 ÷ 2 giờ từ thời điểm triều bắt đầu lên hoặc bắt đầu xuống. Tại thời gian này KVNC gần sông lớn Hàm Luông hơn nên dòng triều KVNC chịu ảnh hưởng của triều sông Hàm Luông. Lưu tốc đạt từ 1 ÷ 1,5 m/s, vận tốc lớn xảy ra tại hai vị trí co hẹp dòng chảy như Hình 10, 11. Lưu tốc lớn gây xói lòng dẫn và sạt lở đường bờ; hai vị trí này cao trình đáy từ -7,0 ÷ -7,5, các vị trí còn lại khoảng -6,0 ÷ -6,5.



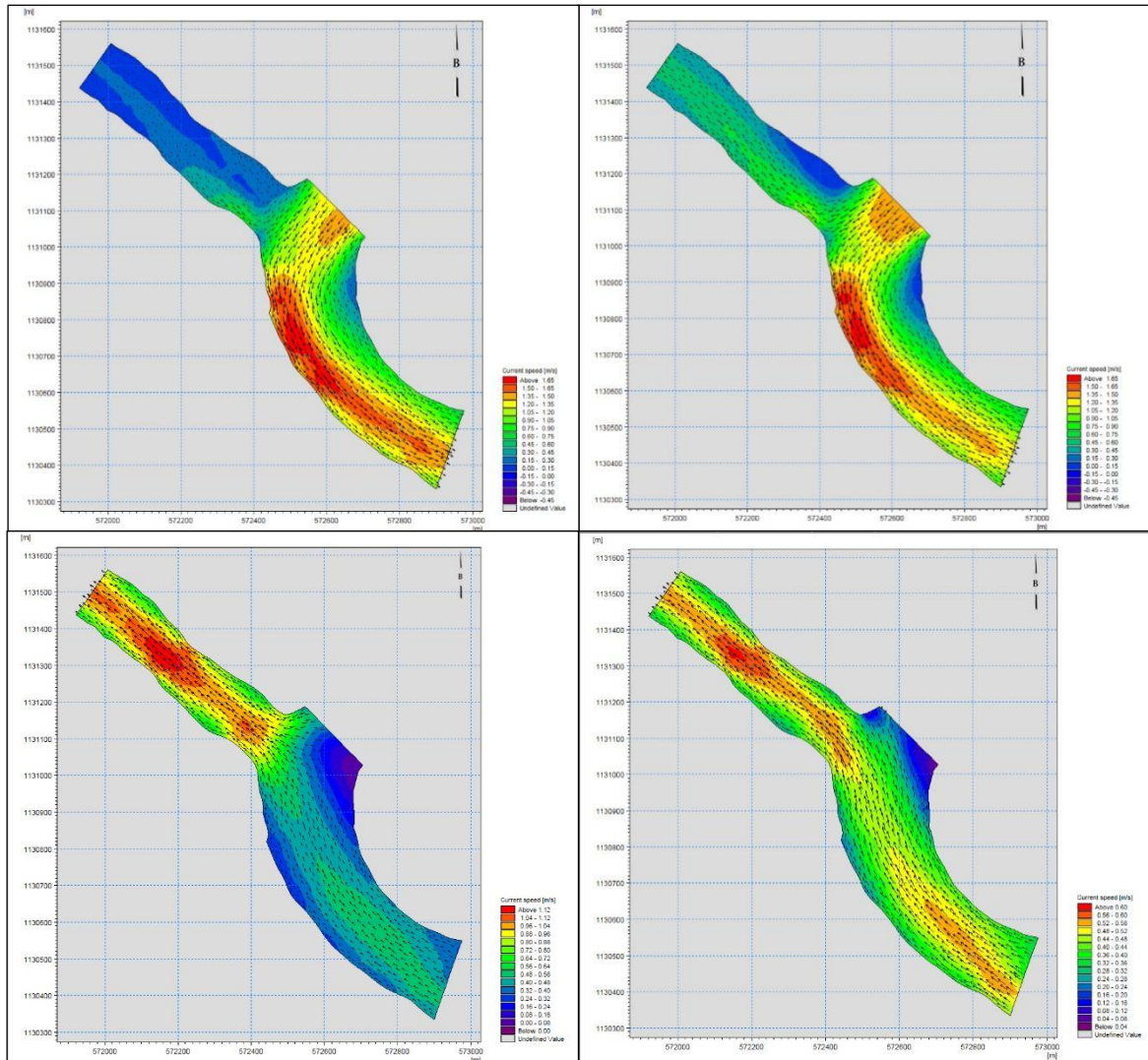
Hình 10. Lưu tốc lớn nhất tại đoạn 1 lúc triều lên (trái) và triều xuống (phải) PA1.

Tại khu vực này cũng sẽ có những thời điểm dòng chảy thủy triều rút theo hướng từ kênh Giao Hòa về sông Bến Tre, do tính chất ngã ba sông nên dòng chảy sẽ bị đẩy lệch nhẹ về hướng xã Nhơn Thạnh cũng làm tăng nguy cơ sạt lở cho bờ sông này.



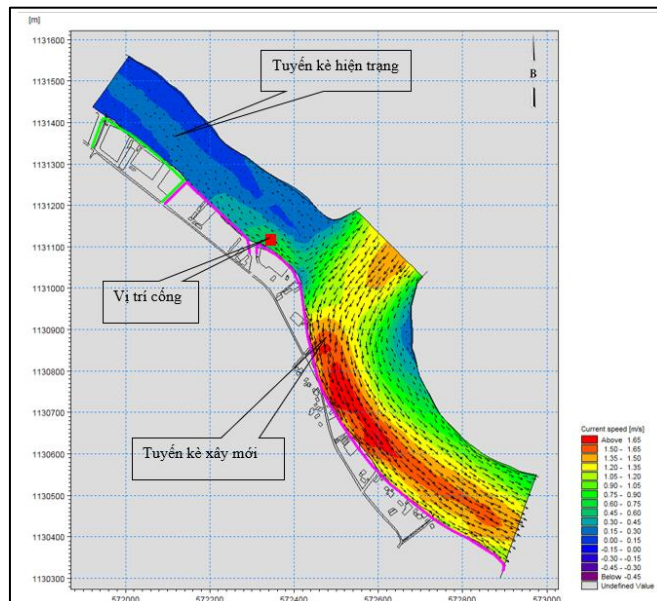
Hình 11. Lưu tốc lớn nhất tại đoạn 1 lúc triều xuống P.A1 (dòng chảy bị đẩy về hướng xã Nhơn Thạnh).

b) Đoạn 2: Mức độ sạt lở nguy hiểm nhất; lưu tốc lớn nhất thường xảy ra vào khoảng thời gian giữa thời kì triều lên hoặc giữa thời kì triều xuống [13]. Do lòng sông Giao Hòa - Bình Chánh rộng và sâu nên dòng chảy chủ lưu sẽ theo luồng sông này và chiếm ưu thế so với dòng chảy từ sông Bến Tre vào. Khu vực bờ sông xã Nhơn Thạnh tại vị trí này có hình thể bờ lồi của đoạn sông cong do đó dòng chủ lưu sẽ bị đẩy vào bờ lồi. Với lưu tốc lớn (1,00 ÷ 1,65 m/s), bùn, đất lòng sông sẽ bị cuốn đi tạo ra các hố xói làm mất ổn định mái sông dẫn đến sạt lở bờ sông. Một số kết quả diễn biến trường lưu tốc tác động đến bờ sông.



Hình 12. Diễn biến thay đổi trường vận tốc dòng chảy theo thời gian triều lên và xuống.

PA xây dựng tuyến kè nằm sát bờ sông hiện hữu và không lấn chiếm lòng sông do đó không ảnh hưởng đến các bờ sông khu vực lân cận.

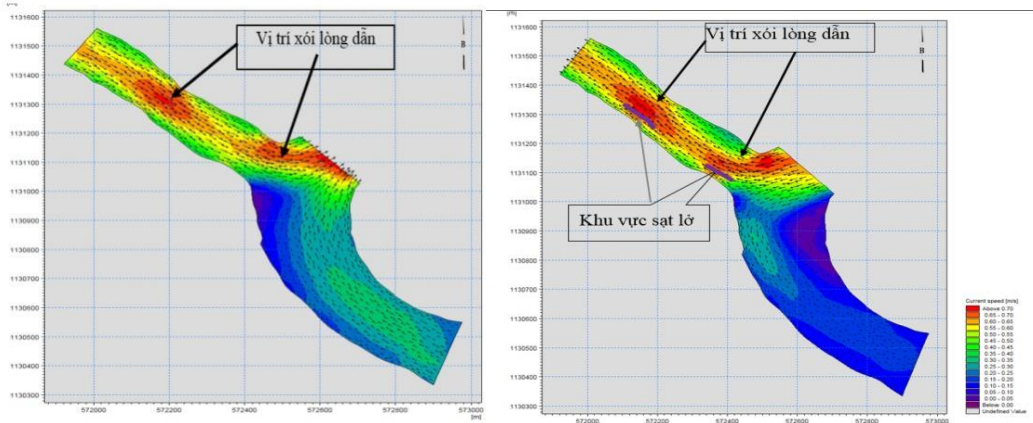


Hình 13. Vị trí tuyến kè chống sạt lở bờ sông [1].

3.2.2. PA 2: Các công An Hóa, công Bến Tre và các công trình thuộc dự án quản lý nước Bến Tre (JICA3) và các công trình quy hoạch được xây dựng

Sau khi công Bến Tre, An Hóa và các công được xây dựng thì các công trình này có nhiệm vụ ngăn lũ, triều cường và ngăn mặn cho khu vực nội đồng. Trường hợp ngăn lũ, công vận hành ở cao trình +0,6 để chống ngập cho khu vực nội đồng, mực nước trong nội đồng sẽ thấp hơn so với khi chưa xây dựng các công. Trường hợp ngăn mặn, giữ ngọt trên sông Hàm Luông và sông Tiên, công Bến Tre, An Hóa sẽ đóng để ngăn mặn giữ ngọt, nguồn nước ngọt được lấy nhờ các công ở phía thượng lưu, do vậy lưu tốc sẽ giảm đi.

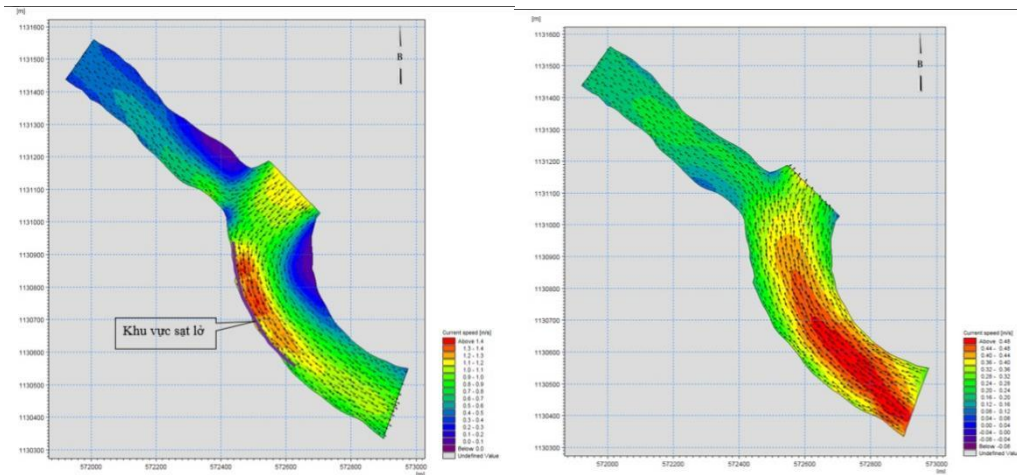
a) Đoạn 1



Hình 14. Lưu tốc lớn nhất tại đoạn 1 lúc triều lên (trái) và triều xuống (phải) PA2.

Sau khi công Bến Tre và công An Hóa được xây dựng, lưu tốc KVNC có xu hướng giảm so với trước khi có các công này. Tuy nhiên lưu tốc lớn nhất tập trung tại các vị trí giống như lúc chưa có hai công Bến Tre, An Hóa. Lưu tốc lớn nhất từ 0,70 ÷ 1,15 m/s.

b) Đoạn 2



Hình 15. Lưu tốc tức thời lớn nhất tại đoạn 2 lúc triều lên (trái) và triều xuống (phải) PA2.

Sau khi công Bến Tre và công An Hóa được xây dựng, lưu tốc tại khu vực đoạn 2 cũng có xu hướng giảm so với trước khi có các công này. Tuy nhiên lưu tốc lớn nhất (1,0 ÷ 1,4 m/s) vẫn tập trung tại bờ lồm của sông Bến Tre thuộc khu vực xã Nhơn Thạnh giống như trường hợp chưa có hai công Bến Tre, An Hóa.

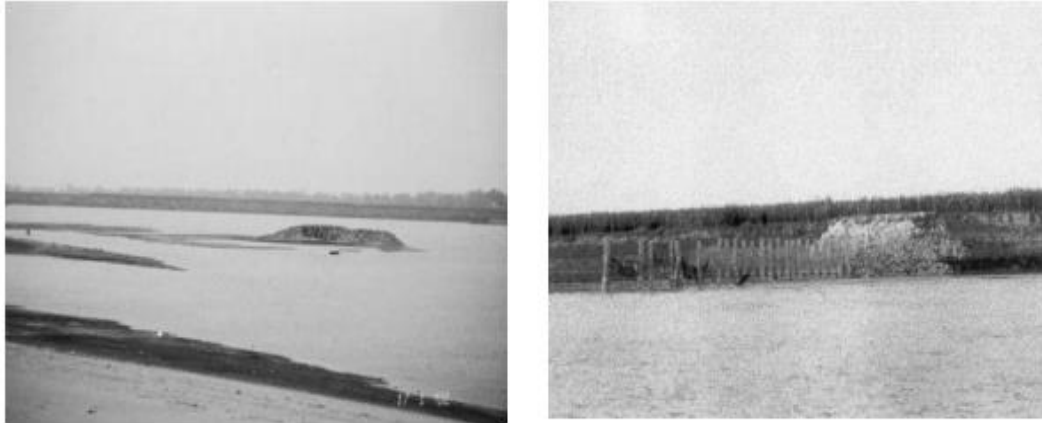
Nhìn chung, sau khi xây dựng công Bến Tre, An Hóa lưu tốc giảm đi tại đoạn ngã ba sông Giao Hòa - Bến Tre so với khi chưa xây dựng công. Tuy nhiên lưu tốc lớn nhất (0,7 ÷ 1,4 m/s) và dòng chủ lưu vẫn có xu hướng áp sát bờ lồm của đoạn sông cong và có nguy cơ tiếp tục gây sạt lở cho khu vực nếu không có biện pháp bảo vệ bờ sông.

3.3. Giải pháp xây dựng công trình

Trên các hệ thống sông và bờ biển Việt Nam nói chung và ĐBSCL nói riêng hiện có rất nhiều loại công trình bảo vệ bờ, phân thành hai loại chủ yếu sau [14]:

3.3.1. Công trình chủ động (bảo vệ gián tiếp)

Công trình tác động trực tiếp vào dòng chảy, thay đổi cơ chế dòng, cần tính toán chính xác mới đạt hiệu quả và hạn chế các bất lợi do chính bản thân công trình gây ra.



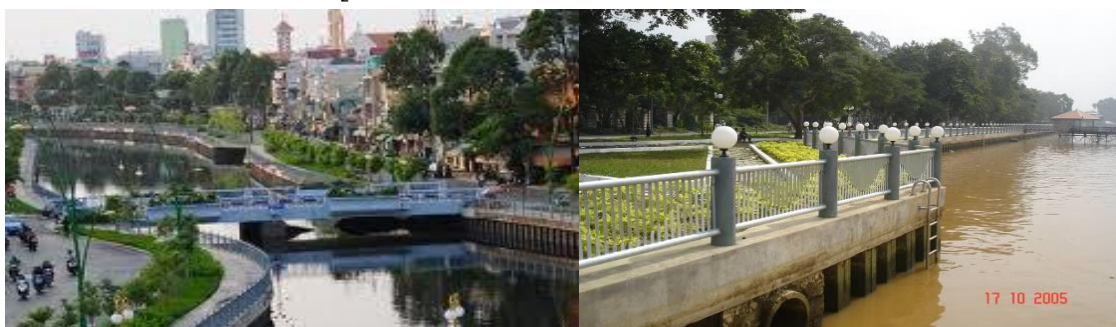
Hình 16. Mỏ hàn Phú Gia (Sông Hồng) bị phá ngang vì lũ tràn qua đê (trái) và mỏ hàn Tam Xá (Sông Hồng) không còn tằm chắn (phải).

a) Ưu điểm: Kết cấu công trình thường đơn giản, giá thành rẻ, thi công dễ dàng nhanh chóng; thân thiện với môi trường, diện tích chiếm đất làm công trình trên cạn rất ít, giảm chi phí giải phóng mặt bằng.

b) Nhược điểm: Nếu không tính toán chính xác, bố trí hợp lý có thể phản tác dụng do đó rủi ro cao. Lấn chiếm lòng dẫn, hạn chế lưu thông các phương tiện giao thông thủy. Phù hợp với các đường bờ thoải, nền địa chất tương đối tốt để có thể giảm khối lượng vật liệu. Hầu như không có kết nối tổng thể với các cơ sở hạ tầng khác trên địa bàn, không mỹ quan cho địa điểm xây dựng dự án.

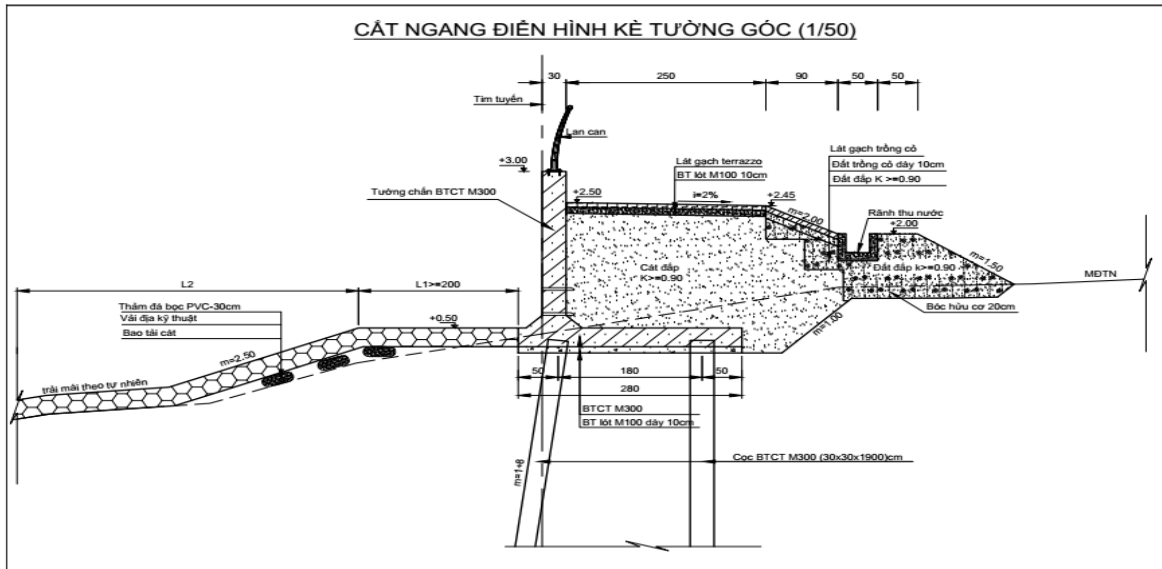
3.3.2. Công trình bị động (bảo vệ trực tiếp)

Công trình không can thiệp vào chế độ dòng chảy của sông biển, trực tiếp bảo vệ bờ sông, biển dưới các tác động của dòng chảy và các tác nhân khác từ tự nhiên cũng như nhân tạo. Công trình loại này là các kè gia cố bờ, hiện nay được dùng chủ yếu trên các sông, bờ biển kênh rạch trên ĐBSCL [15].



Hình 17. Một số hình ảnh công trình bảo vệ bị động.

a) Ưu điểm: Tính toán thiết kế, bố trí dễ dàng không có các tác động ngược chiều như loại công trình chủ động. Rất ít hoặc không làm thu hẹp lòng dẫn đảm bảo khả năng tiêu thoát nước và khả năng lưu thông các phương tiện trên sông rạch. Phù hợp mọi loại hình



Hình 19. Quy mô mặt cắt ngang kè cho đoạn 2 K0+400÷K1+340 [4].

3.4. PA kỹ thuật công nghệ cho công trình chủ yếu

Ở mỗi đoạn đề xuất các PA thiết kế khác nhau, vừa đảm bảo phù hợp với địa hình hiện trạng vừa đảm bảo điều kiện kinh tế, kỹ thuật, tránh gây lãng phí.

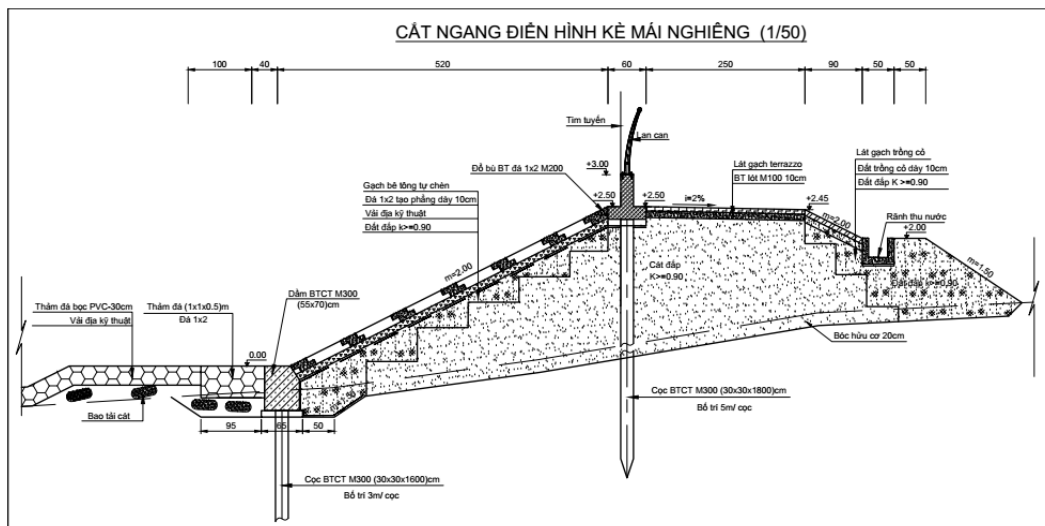
3.4.1. Đoạn kè 1 (K0÷K0+400)

a) Kết cấu PA 1: Kết cấu kè mái nghiêng

Kết cấu tường kè: Phần đỉnh kè bố trí dầm đỉnh dạng chữ T ngược bằng BTCT M300, cao trình đỉnh kè +3,0, chiều cao 0,5 m. Gia cố chống lún cho dầm đỉnh bằng cọc BTCT M300 [17].

Phần mái kè và chân kè: Thân kè có kết cấu dạng mái nghiêng với độ dốc $m = 2$. Đỉnh mái bắt đầu từ cao trình +2,5 kết thúc chân mái tại cao trình +0,0. Tại cao trình +0,0 bố trí dầm chặn chân BTCT M300 (55×70) cm trên nền cọc BTCT M300; Mái kè từ dưới lên trên như sau: Cát đắp $K \geq 0,90$; Vải địa kỹ thuật (VĐKT); Đá dăm 1×2, dày 10 cm; Tấm BTCT tự chèn M250, dày 12 cm.

Gia cố chống xói chân kè: Từ vị trí dầm chặn chân ra phía sông gia cố thảm đá dày 30 cm kết hợp lót VĐKT, những vị trí lòng kênh bị xói sâu sử dụng bao tải cát đắp bù tạo mái trước khi trải thảm đá.

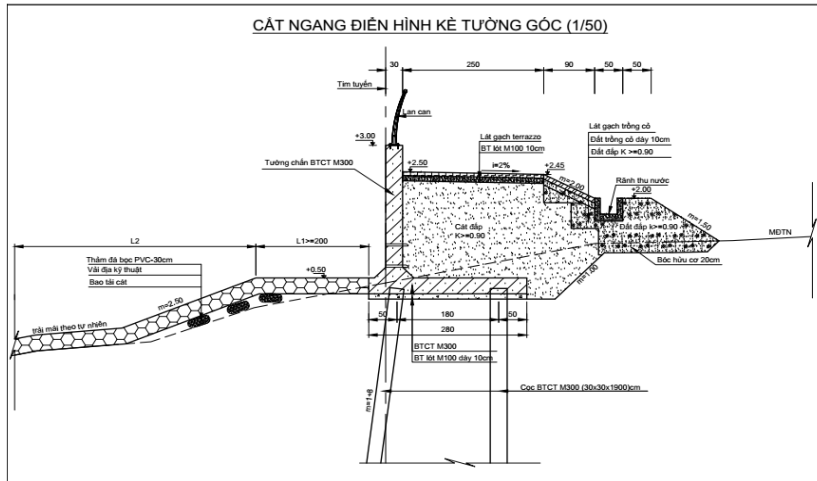


Hình 20. Cắt ngang kè PA 1- áp dụng cho đoạn 1 (K0÷K0+400) [1].

b) Kết cấu PA 2: Kết cấu kè tường góc

Kết cấu tường kè: Kết cấu tường kè có dạng tường bản góc, lưng tường thẳng, cao trình đỉnh tường kè +3,0, chiều cao tường 2,5 m bề dày 30 cm. Bản đáy tường 2,8 m, bề dày bản đáy 30 cm, phía dưới là lớp BT lót M100 dày 10 cm. Kết cấu BTCT M300 [17].

Gia cố chống xói chân kè: Từ cao trình chân kè +0,5 ra phía sông gia cố chống xói chân kè bằng thảm đá dày 30 cm kết hợp lót VĐKT, những vị trí lòng kênh bị xói sâu sử dụng bao tải cát đắp bù tạo mái trước khi trải thảm đá.

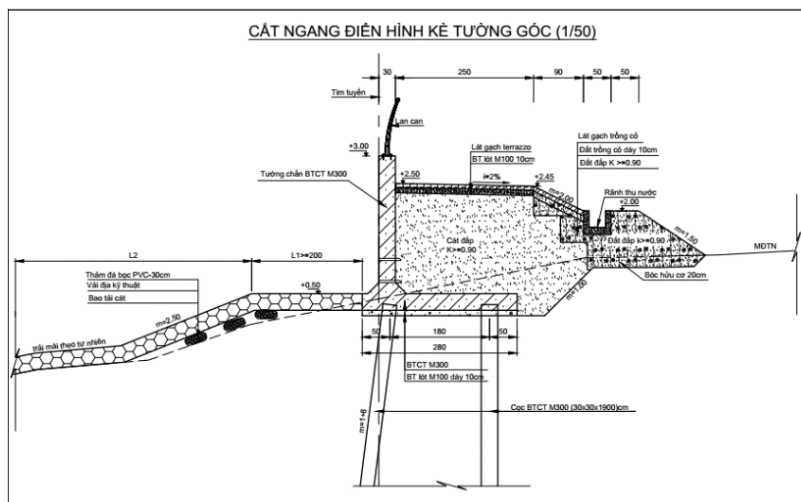


Hình 21. Cắt ngang kè PA 2 - áp dụng cho đoạn 1 (K0÷K0+400) [1].

3.4.2. Đoạn kè 2 (K0+400÷K1+340)

Tuyến kè đoạn 2 từ K0+400÷K1+340 với địa hình dốc, cao độ lòng rạch rất sâu từ -13,0÷-19,0, mái dốc gần như thẳng đứng, việc áp dụng loại kè mái nghiêng (Tương tự PA1 của đoạn 1), với việc tạo mái bằng khối cát đắp, tính ổn định không đảm bảo, kết cấu gây sạt trượt do địa hình dốc, khối đắp rất lớn vì vậy không thể áp dụng kết cấu này cho tuyến kè đoạn 2. Để đảm bảo được sự tối ưu về mặt kinh tế ở đoạn kè này ngoài PA kè tường góc (Tương tự PA2 của đoạn 1) đề xuất thêm PA kết cấu kè tường cừ dự ứng lực (DUL) để làm cơ sở lựa chọn PA vừa đảm bảo ổn định vừa đảm bảo tính kinh tế kỹ thuật cho đoạn kè này.

a) Kết cấu PA 1: Kết cấu kè tường góc



Hình 22. Cắt ngang kè PA 1 - áp dụng cho đoạn 2 (K0+400÷K1+340) [1].

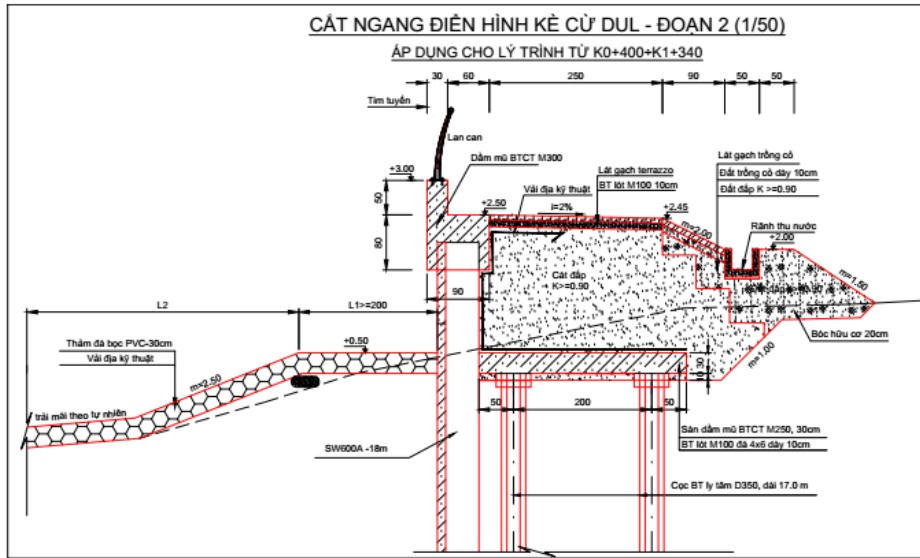
Kết cấu tường kè: Kết cấu tường kè có dạng tường bản góc, lưng tường thẳng, cao trình đỉnh tường kè +3,0, chiều cao tường 2,5 m bề dày 30 cm. Bản đáy tường 2,8 m, bề dày bản đáy 30 cm, phía dưới là lớp BT lót M100 dày 10 cm. Kết cấu BTCT M300 [17].

Gia cố chống xói chân kè: Từ cao trình chân kè +0,5 ra phía sông gia cố chống xói chân kè bằng thảm đá dày 30 cm kết hợp lót VĐKT, những vị trí lòng kênh bị xói sâu sử dụng bao tải cát đắp bù tạo mái trước khi trải thảm đá.

b) Kết cấu PA2: Kết cấu kè tường cừ DUL

Kết cấu tường kè: Kết cấu tường cừ đứng DUL SW600A, chiều dài L = 18,0 m, đỉnh cừ bố trí dầm mũ 90x80 cm kết hợp gờ lan can cao 50 cm từ cao trình +2,5 ÷ +3,0 kết cấu BTCT M300 [17].

Gia cố chống xói chân kè: Từ cao trình chân kè +0,5 hướng ra phía sông gia cố chống xói chân kè bằng thảm đá dày 30 cm kết hợp lót VĐKT, những vị trí lòng kênh xói sâu sử dụng bao tải cát đắp bù tạo mái trước khi trải thảm đá.



Hình 23. Cắt ngang kè PA 2 - áp dụng cho đoạn 2 (K0+400÷K1+340) [1].

3.4.3. Lựa chọn phương án

a) Quy mô về cấp công trình

Căn cứ theo QCVN 04-05: 2012/BNNPTNT [18]; chiều cao công trình nhỏ hơn 4 m và trên nền đất sét bão hoà nước là công trình cấp IV.

Mực nước cao thiết kế (P = 2%): +1,82 (Hệ cao độ Hòn Dấu)

Mực nước thấp nhất thiết kế (P = 90%): -2,18 (Hệ cao độ Hòn Dấu)

b) Các hạng mục công trình

- Đoạn 1: Kết cấu kè mái nghiêng, lát cục BT tự chèn, đỉnh kè bố trí dầm đỉnh dạng chữ T ngược bằng BTCT M300.

- Đoạn 2: Kết cấu tường góc chữ L bằng BTCT M300.

Qua những phân tích so sánh hai PA, có thể đưa ra kết luận như sau:

PA kết cấu Kè mái nghiêng: Có giá trị xây dựng thấp hơn PA kè tường góc BTCT khoảng 2,10 tỷ. Có những lợi thế về mặt thẩm mỹ, đáp ứng yêu cầu chỉnh trang đô thị, phù hợp với định hướng phát triển đô thị của Bến Tre cũng như định hướng phát triển nông thôn mới của xã Nhơn Thạnh, kết cấu đơn giản, nguồn vật liệu dễ kiếm đã có kinh nghiệm thi công nhiều công trình tương tự trong khu vực. Mặt khác các tuyến kè giáp ranh ngay với tuyến kè của dự án đã áp dụng kết cấu này do đó tính đồng bộ rất cao.

PA kết cấu Kè tường góc BTCT: Kết cấu truyền thống, đơn giản có nhiều kinh nghiệm thi công do đó đẩy nhanh tiến độ thi công, đảm bảo tính cấp bách của dự án đặt ra. Kết cấu tường đứng phía ngoài thuận tiện cho tàu bè cập bờ đảm bảo giao thương hàng hóa. Tuy nhiên PA 2 có giá thành cao hơn 2,10 tỷ so với PA1 và không mang tính đồng bộ với các công trình kè hiện hữu dọc sông Bến Tre đã thi công.

Từ những phân tích trên, PA kết cấu áp dụng cho tuyến kè cụ thể như sau:

Đoạn 1 ($K0 \div K0+400$) dài 400 m: Kết cấu kè mái nghiêng, trên mái gia cố bằng tấm BTCT tự chèn [1].

Đoạn 2 ($K0+400 \div K1+340$) dài 940 m: Kết cấu dạng tường góc chữ L bằng BTCT M300 [1].

4. Kết luận và kiến nghị

KVNC ở ngã ba sông, chế độ dòng chảy rất phức tạp trong điều kiện địa chất có lớp bùn khá dày ($10 \div 12$ m) [1]. Bên cạnh nguyên nhân gây ra sạt lở KVNC là do hình thái sông cong dòng, chủ lưu áp sát bờ lõm, lưu tốc gia tăng ở bờ lõm và hai vị trí có mặt cắt ướt co hẹp, tương tác giữa dòng chảy và lòng dẫn, sóng va đập bờ sông (do gió và tàu thuyền)... góp phần làm mất ổn định bờ sông. Nhằm bảo vệ KVNC, trên cơ sở tính toán kinh tế, kỹ thuật, mỹ quan, môi trường đề xuất lựa chọn kết cấu kè mái nghiêng và tường góc chữ L BTCT.

Do thể sông cong, về lâu dài cần nghiên cứu chỉnh trị dòng chảy không áp sát bờ bằng biện pháp công trình như kè mỏ hàn [19]. Thường xuyên theo dõi bình đồ lòng sông để có giải pháp ứng phó kịp thời. Khuyến cáo người dân không gia tải lên mép bờ sông, không xây dựng công trình lấn ra sông, neo đậu tàu thuyền có trọng tải lớn...

Do thời gian và phương tiện nghiên cứu chưa đáp ứng nên chưa định dạng được hình dạng tầng bùn (dày $10 \div 12$ m) ở KVNC để dự báo sạt lở cho các khu vực lân cận. Chưa chạy thủy lực cho hệ thống sông rạch của Bến Tre để kiểm chứng kết quả đo... Trong tương lai cần định lượng định lượng hai hạn chế trên và tính toán tốc độ sạt lở cho các khu vực sạt lở trọng điểm ở Bến Tre.

Lời cảm ơn: Bài báo hoàn thành nhờ kết quả “Dự án Sạt lở bờ sông Bến Tre khu vực xã Nhơn Thạnh, TP. Bến Tre” do Cty. TNHH Tư vấn XD Cao Khoa thực hiện năm 2022.

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

Tài liệu tham khảo

1. Dự án “Sạt lở bờ sông Bến Tre khu vực xã Nhơn Thạnh, TP. Bến Tre”. Cty. TNHH Tư vấn XD Cao Khoa, 2022.
2. Trực tuyến: <https://www.climatechange.com/germany/coastal-erosion>.
3. Trực tuyến: <https://www.climatechange.com/belgium/coastal-erosion>.
4. Trực tuyến: <https://baotintuc.vn/thoi-su/bao-dong-tinh-trang-sat-lo-bo-song-tien-20191114170924813.htm>.
5. Trí, Đ.Q. Ứng dụng mô hình Mike 11 mô phỏng và tính toán xâm nhập mặn cho khu vực Nam bộ. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* **2016**, 671, 39–46.
6. Kixêlep, P.G. và cs. Sổ tay tính toán thủy lực. Nhà xuất bản Nông nghiệp, Hà Nội, 1984.
7. Hậu, L.P. Động lực học dòng sông, Trường ĐH Xây dựng Hà Nội, Hà Nội, 1992.
8. Lareal, P. và cs. Công trình trên đất yếu trong điều kiện Việt Nam. Công trình hợp tác Việt - Pháp FST N^o 4282901, 1989.
9. Whitlow, R. Cơ học đất (Tập 1, 2). Nhà xuất bản Giáo dục, Hà Nội, 1999.
10. Hùng, L.M. và cs. Nghiên cứu dự báo xói lở-bồi lắng lòng dẫn và đề xuất các biện pháp phòng chống cho hệ thống sông ở ĐBSCL Báo cáo đề tài cấp nhà nước KC.08.15. Viện Khoa học Thủy lợi Miền Nam, 2004.
11. Hùng, L.M. Nghiên cứu ảnh hưởng hoạt động khai thác cát đến thay đổi lòng dẫn sông Cửu Long (sông Tiền, sông Hậu) và đề xuất quản lý, quy hoạch khai thác cát, ĐTĐL.2010T/29. Viện Khoa học Thủy lợi Miền Nam, 2010-2013.
12. Bích, L.N. và cs. Điều tra biến đổi lòng dẫn hệ thống sông Cửu Long, hạ du sông Đồng Nai - Sài Gòn và định hướng giải pháp kỹ thuật phòng chống sạt lở giảm nhẹ thiên tai trên sông Cửu Long, 1995-1998.

13. Hùng, L.M.; Sãn, Đ.C. Xói lở bờ sông Cửu Long và giải pháp phòng tránh cho các khu vực trọng điểm. NXB. Nông Nghiệp, TP. HCM, 2002.
14. Hậu, L.P. Nghiên cứu các giải pháp KHCN cho hệ thống công trình chỉnh trị sông trên các đoạn trọng điểm vùng đồng bằng Bắc Bộ và Nam Bộ. Đề tài KC08-14/06-10, 2010.
15. Đề tài cấp Nhà nước “Nghiên cứu các giải pháp Khoa học - Công nghệ để điều chỉnh và ổn định các đoạn sông có cù lao đang diễn ra biến động lớn về hình thái trên sông Tiền, sông Hậu” Viện Khoa học Thủy lợi Miền Nam.
16. TCVN 8419:2010. Công trình thủy lợi - Thiết kế công trình bảo vệ bờ sông để chống lũ.
17. TCXDVN 285:2002. Công trình thủy lợi - Các quy định chủ yếu về thiết kế.
18. QCVN 04-05: 2012/BNNPTNT. Quy chuẩn quốc gia về công trình thủy lợi - các quy định chủ yếu về thiết kế.
19. Huệ, V.H. Giải pháp công trình khắc phục sạt lở cồn Thanh Long. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* **2023**, 754, 26–43.
20. Huệ, V.H. Đánh giá ổn định bờ sông Cỏ Chiên, tỉnh Vĩnh Long. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* **2023**, 752, 12–28.
21. Huệ, V.H. Giải pháp công trình ứng phó với dòng chủ lưu áp sát bờ sông Cỏ Chiên khu vực TP. Vĩnh Long. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* **2023**, 753, 23–36.
22. Chương L.T. Đánh giá thực trạng sạt lở bờ sông Tiền đoạn chảy qua địa phận tỉnh Tiền Giang khu vực đầu cồn Tân Phong huyện Cai Lậy và đề xuất giải pháp phòng chống, khắc phục, Viện KHTL miền Nam, 2014.
23. Khoa, H.Đ. Quan trắc diễn biến đường bờ Cù lao Dung bằng công nghệ phân tích ảnh viễn thám. *Tạp chí Vật liệu và Xây dựng* **2023**, T.13S.02.
24. Quỳnh, H.N.N.; Khôi, Đ.N.; Hoài, H.C.; Bầy, N.T. Ứng dụng viễn thám và Gis đánh giá biến động đường bờ sông Tiền và sông Hậu. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* **2018**, 691, 12–22.
25. Huệ, V.H. Phân tích xác định nguyên nhân và đề xuất giải pháp công trình chống sạt lở bờ sông Vàm Cỏ Tây. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* **2023**, 754, 79–100.

Research, evaluate and propose solutions to prevent erosions on Ben Tre river banks

Van Huu Hue^{1*}

¹ Mien Tay Construction University, Vinh Long; huuhuevan@gmail.com

Abstracts: Currently, in the Mekong Delta, riverbank instability leading to erosions occurs in many places for many different reasons. At Nhon Thanh commune, Ben Tre City, erosions cause the mainstream to close to the riverbank. The study used modeling methods and inheritance methods to determine the causes of riverbank instability: the mainstream is close to the concave bank of the curved river section (Nhon Thanh commune side) and two narrow locations with high speed. From the above research results, the article proposes a solution for direct protection works such as inclined roof embankment and L-shaped corner wall embankment on reinforced concrete for protection and gives directions for research development to protect the area. This impact study contributes to clarifying the causes of instability to protect the Ben Tre city's urban center.

Keywords: Mainstream close to riverbank; Stabilize Ben Tre riverbank; Three river distributaries' erosions; Erosions in the Mekong Delta.

Bài báo khoa học

Nghiên cứu xác định hàm lượng As (III), As (V) trong bụi đường khu vực nhà máy phối trộn bê tông tại thành phố Hồ Chí Minh bằng phương pháp chiết lỏng – lỏng dựa trên cơ chế tạo phức với thuốc thử APDC

Nguyễn Thị Quỳnh Trang^{1*}, Nguyễn Thị Hoa¹

¹ Khoa Môi trường, Đại học Sài Gòn; trangntm@sgu.edu.vn; nthoa@sgu.edu.vn

*Tác giả liên hệ: nthoa@sgu.edu.vn; Tel.: +84–918452123

Ban Biên tập nhận bài: 5/9/2023; Ngày phản biện xong: 11/10/2023; Ngày đăng bài: 25/11/2023

Tóm tắt: Kim loại trong bụi đường, mà đặc biệt là Asen (As) có tiềm năng gây tác động xấu đến môi trường và con người. Khác với đa phần các kim loại độc, việc đánh giá tác động của As cần quan tâm tới dạng tồn tại của As bởi vì các dạng As có độc tính khác nhau, Asen vô cơ (iAs) có độc tính cao hơn dạng hữu cơ và Asen hoá trị III (AsIII) độc hơn Asen hoá trị V (AsV). Nghiên cứu đã tối ưu các thông số của quá trình ly trích các dạng As linh động bằng acid photphoric cũng như quá trình chiết AsIII vào pha hữu cơ bằng cơ chế tạo phức với APDC. Quy trình đề xuất có độ chọn lọc cao trong điều kiện dung dịch ly trích có chứa các nguyên tố gây nhiễu như sắt, canxi, nhôm, monomethylarsonic acid (MMA) và dimethylarsinic acid (DMA), với giới hạn phát hiện ở mức 0,05 mg/kg. Áp dụng quy trình trên một số mẫu bụi đường ở Thành phố Hồ Chí Minh, kết quả cho thấy sự phân hoá rõ rệt về thành phần các dạng As giữa các khu vực. Kết quả thu được góp phần chứng minh tính hiệu quả của quy trình trong việc hỗ trợ công tác quản lý, giám sát ô nhiễm bụi.

Từ khóa: Phân tích nguyên dạng Asen; Chiết lỏng lỏng; Bụi đường.

1. Giới thiệu

Asenic (As) là một kim loại có độc tính tồn tại trong nhiều loại môi trường trong đó có bụi lắng đọng từ khí quyển. As trong bụi có nguồn gốc từ cả tự nhiên lẫn nhân tạo. Khí thải do con người tạo ra từ các hoạt động luyện kim, đốt nhiên liệu, sản xuất nguyên vật liệu chiếm khoảng hai phần ba tổng lượng As thải ra khí quyển. Trong khi đó, nguồn gốc phát thải tự nhiên của As vào khí quyển bao gồm núi lửa, cháy rừng và bụi muối biển [1]. Các nghiên cứu cho thấy nồng độ As trong khí quyển ở khu vực đô thị và công nghiệp cao hơn đáng kể so với vùng nông thôn. Ở châu Âu, nồng độ As trong khí quyển dao động từ 0,2-1,5 ng/m⁻³ ở khu vực nông thôn và 0,5-3 ng/m⁻³ ở khu vực đô thị, và thường dưới 50 ng/m⁻³ ở khu vực công nghiệp [2]. Những dạng As trong khí quyển có liên kết với các hạt bụi sẽ dần lắng đọng bên trên mặt đất và góp phần cấu tạo nên bụi đường phố. Chúng có thể xâm nhập, vận chuyển đến do nước mưa và tràn trong mùa bão, làm lây lan ô nhiễm dư lượng không thể lường trước [3]. Nghiên cứu ở một khu vực công nghiệp đông dân cư cũng cho thấy sự gia tăng về bụi mịn và As liên kết với bụi mịn trong khoảng thời gian hoạt động sản xuất diễn ra. Yếu tố này tác động đến trạng thái chất lượng không khí, gây ảnh hưởng xấu cho sức khỏe con người, vì bụi có thể được hít sâu vào phế nang và được hấp thụ trực tiếp vào hệ thống tuần hoàn phổi [4] hoặc đi vào trong hệ tiêu hóa thông qua chuỗi thức ăn. Tuy nhiên, độc tính và độ linh động của As có liên quan mật thiết với đặc tính và trạng thái oxy hóa của nó trong

môi trường. Nhìn chung, các loại As vô cơ độc hơn các loại As hữu cơ và As (III) có độc tính và khả năng linh động trong môi trường cao hơn so với As (V) [5].

Tùy thuộc vào đặc tính của môi trường (đặc biệt là pH và điều kiện oxy hóa-khử) cũng như tính chất hóa học của các hợp chất As cụ thể mà các dạng khác nhau của asen có thể được chuyển đổi qua lại. Không khí xung quanh là một phần đặc biệt của môi trường, chịu tác động của nhiều biến đổi vật lý và hóa học mà chủ yếu là các hình thái khí tượng như độ ẩm, nhiệt độ và bức xạ mặt trời. Nổi trội nhất trong số các tác động này là quá trình oxy hóa As (III) thành As (V) bởi oxy trong khí quyển, đặc biệt là ở pH cao [6]. Nghiên cứu cũng chỉ ra rằng, ozon trong khí quyển có thể đóng vai như oxy. Mặc dù nồng độ của ozon trong không khí thấp hơn oxy và biến động liên tục, nhưng ozon có tính oxy hóa mạnh hơn. Hầu hết As trong khí quyển có thể được tìm thấy ở pha rắn; < 10% hiện diện ở pha hơi. Khí thải do hoạt động của con người gây ra, ví dụ như từ luyện kim hoặc đốt nhiên liệu hóa thạch, đưa một lượng đáng kể As bay hơi vào khí quyển (chủ yếu là oxit As), phân tử này ưu tiên hấp phụ hoặc ngưng tụ trên các hạt mịn. Do đó, so với hàm lượng As nền có trong vỏ trái đất, As trong bụi có thể được làm giàu gấp nhiều lần [6].

Các hạt bụi chứa As cũng có thể bắt nguồn từ quá trình tái sinh bụi từ các hoạt động xây dựng, giao thông đô thị. Nồng độ và thành phần hóa học của bụi và các dạng As liên kết với bụi chủ yếu phụ thuộc vào vị trí phát thải. Ở các khu vực công nghiệp, nơi khí thải công nghiệp đóng vai trò chủ đạo, nồng độ As (và các dạng của As) sẽ chỉ bị chi phối bởi dạng khí thải này. Trong khi đó, các khu vực có nguồn phát thải đa dạng như khu vực ngoại ô, trung tâm thành phố, nồng độ As (và các dạng As) chủ yếu được định hình bởi khí thải từ các hoạt động đô thị hoặc khí thải giao thông đường bộ [7].

Phân tích X-quang mẫu bụi từ khu vực công nghiệp cho thấy dạng As liên kết với bụi tồn tại dạng: $\text{Ca}_3\text{Sr}_2(\text{AsO}_4)_{2.5}(\text{PO}_4)_{0.5}(\text{OH})$; As_2O_3 ; As_2O_5 [8], trong đó As vô cơ hóa trị V là dạng chiếm ưu thế trong bụi [9], và nồng độ As trong bụi ở các khu công nghiệp sẽ có xu hướng cao hơn so với khu vực đô thị [7–10].

Trong số các phương pháp phân tích nguyên dạng các hợp chất As, kỹ thuật sắc ký lỏng hiệu năng cao (HPLC) đã được chứng minh là rất phù hợp cho việc phân tách các dạng As mà đặc biệt là các dạng As vô cơ (As hoá trị III - AsIII, As hoá trị V - AsV) và hữu cơ (*monomethylarsonic acid* - MMA và *dimethylarsinic acid* - DMA). Quy trình phân tích bao gồm giai đoạn chiết mẫu bằng các dung môi phù hợp sau đó tiêm vào hệ thống HPLC kết nối ICP-MS (Phổ khối-plasma kết hợp cảm ứng). Tuy nhiên, kỹ thuật này gặp hạn chế do yêu cầu phải trang bị hệ thống HPLC-ICP-MS khá phức tạp, đòi hỏi chi phí vận hành cao và thời gian phân tích mẫu kéo dài [11].

Một phương pháp đơn giản hơn có thể phân tích riêng dạng As vô cơ đó là phương pháp chiết lỏng - lỏng. Phương pháp này dựa trên khả năng tạo phức tốt giữa AsIII (As hoá trị III) và ammonium pyrrolidine-dithiocarbamate (APDC) trong môi trường pH từ 1,5-5, AsV không tham gia tạo phức với APDC ở điều kiện này. Phức AsIII - APDC được chiết qua pha hữu cơ là các dung môi như CCl_4 , CHCl_3 , hay MIBK [12]. Ưu điểm của phương pháp này là APDC chỉ tạo phức chọn lọc với AsIII, loại As có độc tính cao nhất thường được tập trung nghiên cứu, mà không tạo phức với các dạng As khác. Do đó, ta có thể xác định riêng rẽ dạng AsIII trong nên mẫu đồng thời có thể áp dụng để loại bỏ nền mẫu phức tạp như bụi, đất, bùn lắng, trầm tích, ... Hiện nay, ở Việt Nam việc phân tích nguyên dạng AsIII, AsV trong bụi chưa được quan tâm đúng mức, một phần có thể do chi phí phân tích dựa trên kỹ thuật HPLC-ICP-MS là rất tốn kém. Do đó, nghiên cứu tối ưu quy trình phân tích AsIII, AsV trong bụi dựa trên kỹ thuật chiết lỏng - lỏng đơn giản, chi phí thấp và dễ áp dụng có vai trò tiên phong trong việc phát triển hướng nghiên cứu về đặc tính ô nhiễm các dạng As trong bụi.

Đặc tính của As trong bụi rất quan trọng vì nó có thể cung cấp thông tin về mức độ gây hại cho sinh vật sau khi tiếp xúc qua đường hô hấp hoặc tiêu hóa. Hơn nữa, Asen vô cơ có độc tính cao hơn dạng hữu cơ và AsIII độc hơn AsV do đó cần có một biện pháp hữu hiệu để có thể nghiên cứu, đánh giá những tác động của hoạt động dân sinh đến sự tồn tại và phân bố

của các từng dạng As vô cơ trong bụi. Mặc dù bụi đô thị thuộc một trong những môi trường được nghiên cứu nhiều nhất, nhưng phương pháp phân tích nguyên dạng As trong các mẫu bụi vẫn còn khá khan hiếm, đặc biệt là nhóm các phương pháp dựa trên kỹ thuật chiết lỏng – lỏng. Do đó, nghiên cứu sẽ thực hiện các mục tiêu như sau: Khảo sát điều kiện ly trích các dạng As vô cơ từ bụi và tối ưu quy trình chiết lỏng - lỏng xác định riêng dạng AsIII và AsV; Đánh giá khả năng loại trừ chất gây nhiễu của phương pháp phân tích; Áp dụng quy trình được tối ưu để phân tích hàm lượng riêng các dạng As vô cơ trong bụi ở khu vực nhà máy phối trộn xi măng ở thành phố Hồ Chí Minh.

2. Phương pháp nghiên cứu

2.1. Đối tượng và phạm vi nghiên cứu

2.1.1. Hoá chất, thiết bị

Nghiên cứu sử dụng: Hỗn hợp acid nitric (65%), acid clohidric (35%), acid flohidric (40%) để thực hiện phân tích tổng As; Hỗn hợp dung dịch ly trích gồm H₃PO₄ 10% (v/v) và acid ascorbic 10% (w/v) để chiết các dạng As vô cơ linh động, dung dịch ly trích được sục khí Argon thông qua impinger trong 2 giờ với lưu lượng 5 lít/phút để loại bỏ không khí trước khi sử dụng, dung dịch APDC (*ammonium pyridine dithiocarbamat* - *Sigma Aldrich*) 1% (w/v) để tạo phức với AsIII. Các hóa chất sử dụng có độ tinh khiết phù hợp cho phân tích hoá học. Chất chuẩn (MERCK) sử dụng gồm: AsV (H₃AsO₄ 1000 mg/L trong HNO₃ 0,5 M) và AsIII 1000 mg/L trong HCl 2%.

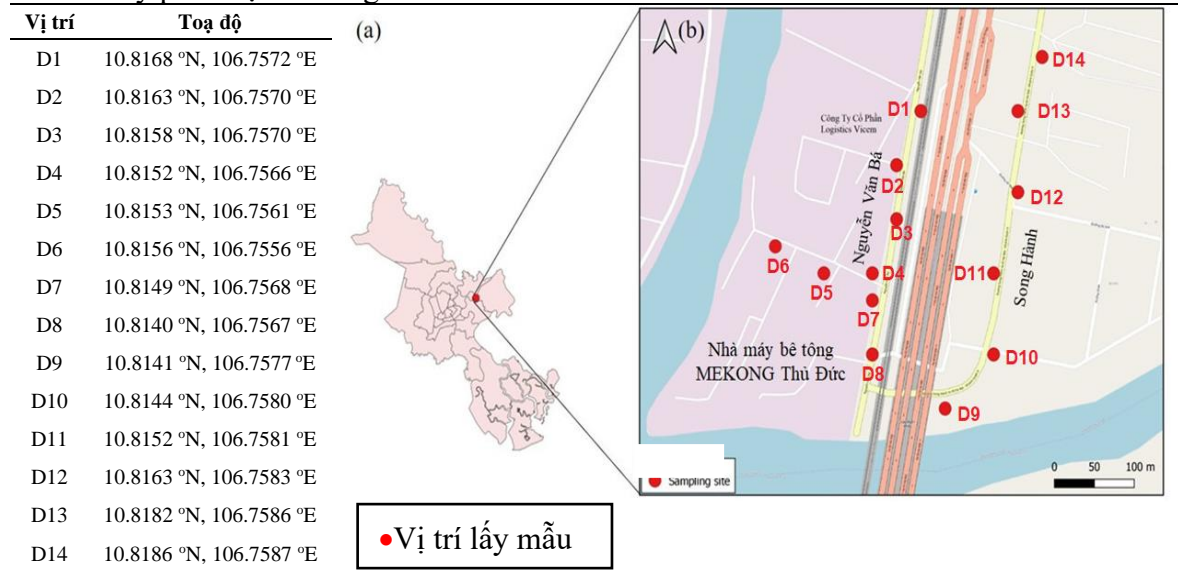
Các dung dịch đệm được pha trong nước khử ion gồm có: Đệm pH = 3: Cân khoảng 295 g acetic acid và 12 g Natri acetat trihydrate, thêm nước đến 800 mL, chỉnh pH và định mức 1000 mL; Đệm pH = 4: Cân khoảng 255 g acetic acid và 103 g Natri acetat trihydrate, thêm nước đến 800 mL, chỉnh pH và định mức 1000 mL; Đệm pH = 5: Cân khoảng 108 g acetic acid và 435 g Natri acetat trihydrate, thêm nước đến 800 mL, chỉnh pH và định mức 1000 mL.

Hàm lượng As được xác định bằng thiết bị ICP-MS 7700x Agilent, với khối định lượng m/z = 75, sử dụng khí Heli loại nhiễu với lưu lượng 5 mL/phút, nội chuẩn Germani (Ge) pha trong hỗn hợp HNO₃:C₂H₅OH:H₂O có tỷ lệ 5:2:93.

2.1.2. Địa điểm lấy mẫu

Mẫu bụi trên mặt đường được thu thập dọc theo 2 tuyến đường, có mật độ phương tiện giao thông tương đối cao và nằm song song với xa lộ Hà Nội, là Nguyễn Văn Bá và Song Hành trong khoảng thời gian từ 12-15/3/2022, đây là thời điểm nằm trong mùa khô và quan sát thấy thời tiết không xảy ra mưa, giông lốc trong suốt 15 ngày trước thời điểm thu thập mẫu. Mặc dù thời điểm lấy mẫu đã được lựa chọn giúp hạn chế thấp nhất sự biến động về tính chất mẫu do các biến động thời tiết, hoạt động giao thông vận tải diễn ra sôi động tại địa điểm thu mẫu cũng có thể gây ảnh hưởng đến tính đồng nhất của mẫu. Tuy nhiên, với mục tiêu là triển khai nghiên cứu bước đầu để đánh giá quy trình phân tích nguyên dạng AsIII, AsV cũng như đưa ra các thông tin sơ bộ về đặc tính các dạng As trong bụi đường, tần suất và tính chất mẫu bụi đường thu được là phù hợp với mục tiêu của nghiên cứu. Về địa điểm thu mẫu, đoạn đường Nguyễn Văn Bá nằm dọc theo khu nhà máy bê tông MEKONG Thủ Đức và công ty cổ phần Logistic Vincem (Hình 1), là khu vực gây ô nhiễm bụi trong khu vực do hoạt động phối trộn và hoạt động vận tải nguyên vật liệu. Ngược lại, các phương tiện này không hoạt động trên tuyến đường Song Hành cách khu vực phát thải khoảng 150 mét. Với vị trí địa lý như vậy, nghiên cứu hướng đến mục tiêu đánh giá ảnh hưởng của hoạt động nghiên, trộn xi măng đến phân bố nồng độ các kim loại trong bụi đường. Ngoài các xe tải nặng vận chuyển bê tông hoạt động tại khu vực, các loại xe đầu kéo hạng nặng (container) cũng thường xuyên ra vào khu vực này vì đây cũng là nơi tọa lạc của cảng ICD Sotrans. Nhìn

chung, thông qua khảo sát thực địa, nguồn phát sinh bụi chủ yếu tại khu vực nghiên cứu đến từ nhà máy phối trộn bê tông.



Hình 1. Vị trí lấy mẫu.

2.2. Phương pháp lấy mẫu và phân tích mẫu

2.2.1. Phương pháp lấy mẫu bụi đường

Mẫu bụi được thu bằng cách dùng chổi nhựa và dụng cụ quét để thu gom bụi trên đường [13]. Chổi được làm sạch bằng nước cất 3 lần trước khi lấy mẫu. Để tránh các hạt rất mịn phát tán vào không khí thì trong quá trình lấy mẫu cần quét chậm. Mẫu sẽ được thu gom từ làn đường sát mép đường theo đoạn dài khoảng 10m. Tại mỗi điểm lấy mẫu sẽ lấy khoảng 500g mẫu. Mẫu sẽ được làm khô bằng thiết bị đông khô, sàng qua rây 1mm để loại bỏ đá, vật liệu thô, nhựa và các tạp chất khác. Mẫu bụi sẽ được rây kích cỡ hạt có kích thước lỗ nhỏ hơn 100 µm (mesh > 150) để lấy được phần bụi có thể ảnh hưởng tiêu cực đến sức khỏe con người cũng như là phần bụi có liên kết nhiều nhất đối với bụi không khí [14–16]. Sau đó mỗi mẫu sẽ được chuyển vào túi polyetylen sạch, được ký hiệu và hút chân không trước khi đưa đến phòng thí nghiệm. Các mẫu sẽ được bảo quản trong hộp nhựa đậy kín ở nhiệt độ -20°C cho đến khi phân tích.

2.2.2. Phương pháp phân tích tổng và nguyên dạng As trong bụi

Các dạng As trong mẫu được ly trích bằng dung dịch ly trích H₃PO₄ 10% (v/v) và acid ascorbic 10% (w/v), sau đó tạo phức với APDC 1% (w/v) và được chiết vào dung môi cloroform (CHCl₃) sau đó giải chiết vào dung dịch HNO₃ 25% (v/v). Quy trình cụ thể như sau:

a) Ly trích các dạng As linh động: Quy trình được xây dựng dựa trên nghiên cứu của tác giả Mélanie Giral và cộng sự năm 2010 [17] với một số điều chỉnh để hạn chế quá trình chuyển đổi dạng giữa As^{III} và As^V, đồng thời thay thế kỹ thuật chiết vi sóng bằng kỹ thuật chiết cơ học: Cân khoảng 1 g (± 0.001 g) mẫu bụi cho vào ống ly tâm 50 mL, thêm 30 mL dung dịch ly trích đã loại oxy, bơm khí Argon vào ống và đóng chặt nắp, sau đó lắc trong bể điều nhiệt ở 10-15 °C với tốc độ 100 vòng/phút trong 60 phút. Chuyển toàn bộ hỗn hợp sang bình định mức 100 mL và định mức đến vạch. Lọc bằng giấy lọc không tro thu được dung dịch sau ly trích (dung dịch SLT).

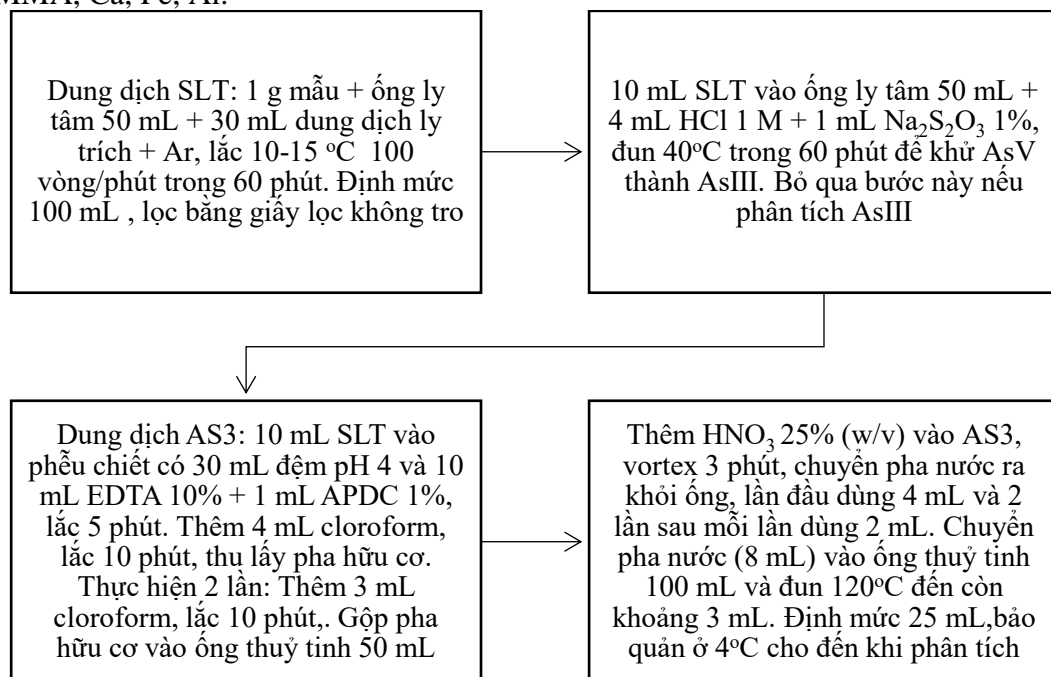
b) Chiết As^{III}: 10 mL mẫu sau lọc (dung dịch SLT) được chuyển vào phễu chiết có chứa sẵn 30 mL đệm pH 4 và 10 mL dung dịch Ethylenediaminetetraacetic acid (EDTA) 10%. Thêm 1 mL APDC 1% vào phễu chiết có chứa mẫu, lắc đều trong vòng 5 phút. Thêm 4 mL

cloroform vào phễu, lắc mạnh 10 phút. Dung dịch được để yên nhằm tách pha hữu cơ và pha nước, thu lấy pha hữu cơ. Tiếp tục thêm 3 mL cloroform vào phễu, lắc mạnh 10 phút, thực hiện bước này thêm một lần nữa. Gộp pha hữu cơ của 3 lần chiết (10 mL) vào ống thủy tinh 50 mL, thu được dung dịch (AS3). Dung dịch AS3 được tiến hành giải chiết (thêm dung dịch giải chiết vào ống, trộn đều bằng máy lắc vortex 3 phút, đọt tách lớp và chuyển pha nước ra khỏi ống) 3 lần, với lần đầu dùng 4 mL và 2 lần sau mỗi lần dùng 2 mL HNO₃ 25% (w/v). Chuyển toàn bộ pha nước (8 mL) vào ống thủy tinh 100 mL và đun ở 120°C đến khi dung dịch còn khoảng 3 mL. Dung dịch sau giải chiết được để nguội và chuyển vào bình định mức 25 mL, định mức đến vạch bằng nước khử ion, bảo quản ở 4°C cho đến khi phân tích.

c) Chiết AsV: Do nguyên lý của quá trình chiết dựa trên phản ứng tạo phức giữa AsIII và APDC, do đó cần khử AsV thành AsIII trước khi thực hiện các bước chiết tách. Dùng pipet hút chính xác 10 mL dung dịch (SLT) vào ống ly tâm 50 mL. Thêm 4 mL HCl 1 M và 1 mL Na₂S₂O₃ 1% vào ống, đậy kín nắp, đun cách thủy ở 40°C trong 60 phút. Sau đó tiến hành chiết theo quy trình chiết và giải chiết AsIII.

Để xác định hàm lượng tổng kim loại, mẫu bụi được xử lý với hỗn hợp acid HNO₃ - HCl - HF nhằm phá hủy hoàn toàn nền mẫu. Cân 0.1 g mẫu cho vào ống phá mẫu bằng PTFE, thêm 6 mL HNO₃, 2 mL HCl, 0,5 mL HF. Đun mẫu ở 110°C trong 12h, sau đó gia nhiệt đến 160°C và giữ trong 2h. Mẫu sau xử lý được để nguội và định mức đến 25 mL, sau đó lưu trữ trong ống polypropylene ở 4°C cho đến khi phân tích trên thiết bị khối phổ ghép cặp cảm ứng cao tần (ICP - MS).

Trong quá trình chiết As cần khảo sát các thông số như: pH chiết, lượng chất che EDTA, độ chọn lọc của thuốc thử APDC với AsIII trong điều kiện có các chất gây nhiễu như AsV, DMA, MMA, Ca, Fe, Al.



3. Kết quả và thảo luận

3.1. Ảnh hưởng của pH

Môi trường pH ảnh hưởng đến dạng tồn tại của AsIII và APDC trong dung dịch chiết từ đó ảnh hưởng đến khả năng chiết hoàn toàn AsIII trong mẫu. APDC có đặc tính chuyển dần thành dạng pyrrolidine trong môi trường có pH < 3 và kết tủa nhôm, sắt sẽ xuất hiện nhiều trong môi trường pH > 6, do đó nghiên cứu sẽ tiến hành khảo sát pH của dung dịch chiết ở các giá trị là pH = 3, 4, 5 bằng cách sử dụng 30 mL của các dung dịch đệm có pH 3, 4, 5; mỗi giá trị khảo sát được thực hiện 6 lần. Dung dịch mẫu dùng để khảo sát có hàm lượng AsIII,

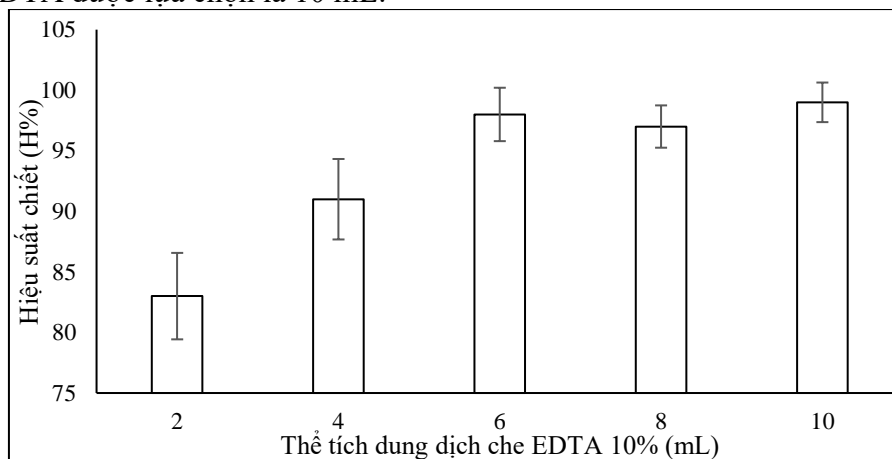
Fe^{3+} , Ca^{2+} và Al^{3+} lần lượt là 10 ng/L, 250 mg/L, 250 mg/L và 125 mg/L. Hàm lượng Fe, Ca, Al thêm vào tương đương với hàm lượng tổng có trong mẫu bụi thực tế (xác định bằng phương pháp ICP-OES, sử dụng hỗn hợp acid HNO_3 - HCl - HF để phân huỷ hoàn toàn mẫu).

Kết quả cho thấy trong khoảng pH khảo sát, hiệu suất chiết trung bình ứng với các giá trị pH 3, 4, 5 lần lượt là 98,52; 103,17; 101,29% với độ lệch chuẩn tương đối 3,4; 4,2; 3,8%. Tuy nhiên, tại pH = 5, mặc dù hiệu suất chiết vẫn tốt nhưng quan sát thấy trong dung dịch dần xuất hiện kết tủa $Fe(OH)_3$. Dạng kết tủa keo này có khả năng hấp phụ As lên bề mặt và làm giảm hiệu quả của quá trình chiết. Bên cạnh đó, một phần kết tủa có thể lẫn vào dung dịch sau khi giải chiết, gây nhiễu cho quá trình định lượng bằng ICP-MS. Do đó, điều kiện pH tối ưu được lựa chọn là pH = 4.

3.2. Khảo sát độ chọn lọc của thuốc thử

Sắt là một trong những thành phần cơ bản của bụi đường, mặc dù việc sử dụng acid photphoric sẽ hạn chế 1 phần sắt trong bụi hoà tan vào dung dịch ly trích, nhưng ion Fe^{3+} vẫn chiếm thành phần áp đảo so với các dạng As. Ion Fe^{3+} lại có khả năng phản ứng tạo phức với APDC, từ đó làm giảm hiệu quả của quá trình chiết AsIII bằng APDC. Nhằm ngăn cản quá trình tạo phức giữa Fe^{3+} và APDC, biện pháp hữu hiệu nhất là sử dụng chất che EDTA để tạo phức với Fe^{3+} . Tuy nhiên, trong bụi ngoài Fe còn có Al, Ca cũng là các nguyên tố đa lượng có khả năng tạo phức với EDTA dẫn đến giảm tác dụng của EDTA. Nghiên cứu tiến hành khảo sát lượng dung dịch EDTA 10% ở các giá trị lần lượt là 2, 4, 6, 8, 10 mL thêm vào dung dịch ly trích có hàm lượng AsIII, Fe^{3+} , Ca^{2+} và Al^{3+} lần lượt là 10 ng/L, 250 mg/L, 250 mg/L và 125 mg/L.

Kết quả (Hình 2) cho thấy lượng EDTA trên 4 mL sẽ đảm bảo khả năng chiết AsIII với hiệu suất thu hồi khoảng 93-99%. Tuy nhiên, khi dùng 6 mL EDTA, kết tủa màu xám của Fe^{3+} và APDC có xuất hiện, chứng tỏ EDTA đã không đủ để tạo phức hoàn toàn với Fe và có khả năng làm giảm hiệu suất chiết đối với các mẫu có hàm lượng As cao. Do đó thể tích tối ưu của EDTA được lựa chọn là 10 mL.



Hình 2. Ảnh hưởng của thể tích dung dịch EDTA đến hiệu suất chiết.

3.3. Đánh giá phương pháp chiết

Nghiên cứu tiến hành thực hiện tạo 20 dung dịch mẫu chứa chất gây nhiễu, có hàm lượng AsIII 10 ng/mL; đồng thời chứa các dạng As khác như AsV, DMA, MMA với hàm lượng 100 ng/L mỗi loại; dung dịch này cũng chứa các nguyên tố gây nhiễu như Fe (250 mg/L), Ca (250 mg/L), Al (125 mg/L). Các dung dịch này sẽ được phân tích hàm lượng AsIII và AsV dựa trên quy trình chiết đã tối ưu nhằm xác nhận độ chọn lọc của thuốc thử, độ ổn định của quá trình chiết, độ đúng của phương pháp và khả năng khử hoàn toàn AsV thành AsIII.

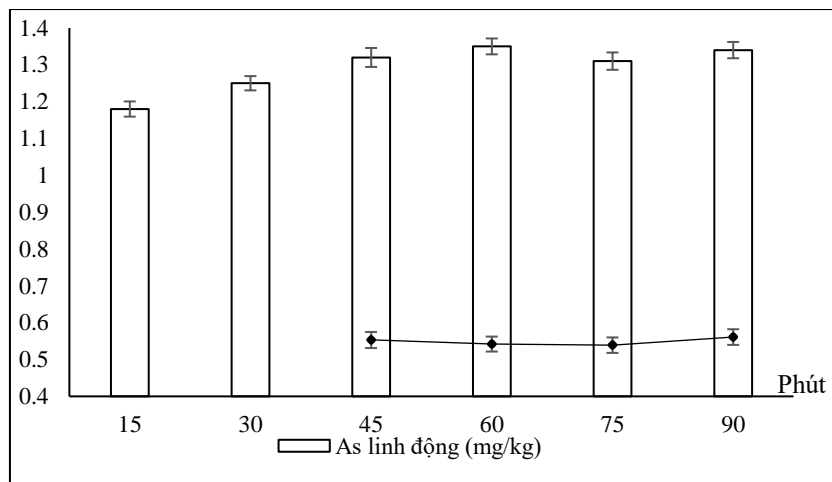
Kết quả cho thấy hiệu suất chiết trung bình của phương pháp đối với AsIII là 98,73% và 97,19 % đối với AsV với độ lệch chuẩn tương đối (%RSD) nhỏ hơn 3%. Số liệu này chứng

tỏ phương pháp chiết có độ ổn định và độ chính xác cao, đảm bảo có thể xác định chính xác hàm lượng AsIII, AsV linh động có trong bụi. Dựa trên việc phân tích 21 mẫu trắng chỉ chứa các chất gây nhiễu mà không chứa AsIII, giới hạn phát hiện của phương pháp ($LOD = 3 \times SD$) được xác định là 0,1 mg/kg.

3.4. Thời gian ly trích

Thời gian ly trích ảnh hưởng đến khả năng lôi kéo dạng As linh động ra khỏi nền mẫu, thời gian chiết kéo dài sẽ đảm bảo ly trích hoàn toàn chất phân tích. Tuy nhiên, do AsIII dễ bị oxy hóa trong dung dịch, do đó thời gian ly trích cần đảm bảo không quá dài để tránh xảy ra hiện tượng oxy hóa AsIII. Nghiên cứu sẽ tiến hành ly trích mẫu bụi đường trong các thời gian khác nhau và đánh giá sự biến đổi của hàm lượng AsIII và AsV trong dịch ly trích. Các khoảng thời gian được lựa chọn để khảo sát trong nghiên cứu này là 15, 30, 45, 60, 75, 90 phút lắc chiết. Bên cạnh đó, kết quả tổng hàm lượng As ly trích bằng phương pháp lắc chiết của nghiên cứu sẽ được so sánh với phương pháp ly trích trong dung dịch 1 M H_3PO_4 + 0,5 M ascorbic acid với sự hỗ trợ của lò vi sóng, đây là phương pháp ly trích đã được công bố quốc tế bởi Mélanie Giral và cộng sự năm 2010 [17] và được nhiều nghiên cứu khác áp dụng.

Kết quả cho thấy hàm lượng As linh động trong mẫu không thay đổi khi áp dụng thời gian chiết từ 45 phút trở lên và không có khác biệt thống kê ($p = 0,45$, $n = 6$) so với phương pháp chiết bằng vi sóng. Nghiên cứu cũng không phát hiện ra sự thay đổi tỷ lệ AsIII/AsV trong khoảng thời gian chiết từ 45 đến 90 phút (Hình 3), chứng tỏ không có phản ứng oxy hóa - khử xảy ra trong quá trình ly trích. Điều này đạt được do phần lớn oxy đã được loại khỏi dung dịch ly trích bằng khí Argon và việc bổ sung ascorbic acid có tính khử đã loại trừ hoàn toàn phản ứng oxy hóa AsIII. Bên cạnh đó, điều kiện chiết lạnh ở $10^\circ C$ giúp ngăn cản sự khử AsV bởi ascorbic acid. Tóm lại, nghiên cứu đã chứng minh được phương pháp ly trích được đề xuất có hiệu năng và độ đặc hiệu tương đương với phương pháp chiết sử dụng vi sóng [17], nhưng có ưu điểm là dễ thực hiện và không đòi hỏi phải có thiết bị vi sóng chuyên dụng.



Hình 3. Ảnh hưởng của thời gian ly trích đến tổng hàm lượng As linh động và sự ổn định của dạng AsIII, AsV (biểu thị qua tỷ lệ AsIII/AsV).

3.5. Phân tích hàm lượng AsIII, AsV trong mẫu bụi đường

Bảng 1. Hàm lượng các dạng As có trong bụi đường.

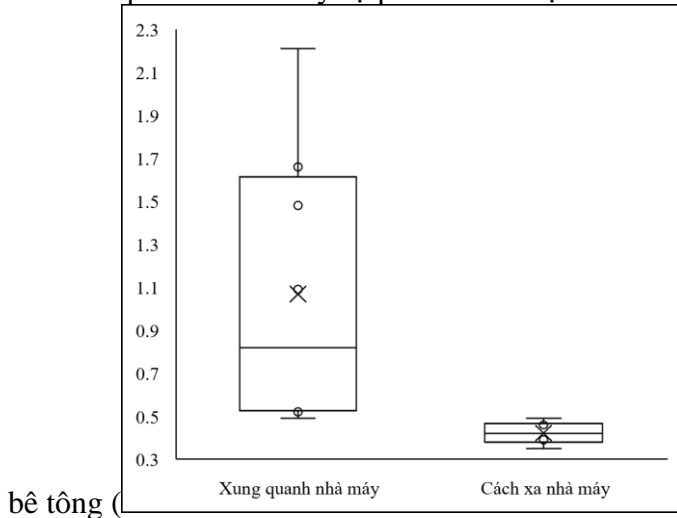
Vị trí	t.As	iAs	AsIII	AsV	AsIII/AsV	
Khu vực xung quanh nhà máy trộn bê tông	D-1	5,79	1,32	0,47	0,85	0,55
	D-2	6,89	1,59	0,95	0,64	1,48
	D-3	5,23	1,23	0,42	0,81	0,52
	D-4	7,18	1,67	1,15	0,52	2,21

Vị trí	t.As	iAs	AsIII	AsV	AsIII/AsV	
D-5	5,32	1,27	0,42	0,85	0,49	
D-6	6,46	1,41	0,88	0,53	1,66	
D-7	5,46	1,29	0,46	0,83	0,55	
D-8	5,96	1,38	0,72	0,66	1,09	
D-9	5,21	1,25	0,41	0,84	0,49	
Khu vực cách xa nhà máy trộn bê tông	D-10	5,02	1,15	0,32	0,83	0,39
	D-11	5,64	1,44	0,37	1,07	0,35
	D-12	5,08	1,11	0,33	0,78	0,42
	D-13	4,72	1,05	0,31	0,74	0,42
	D-14	5,21	1,21	0,38	0,83	0,46

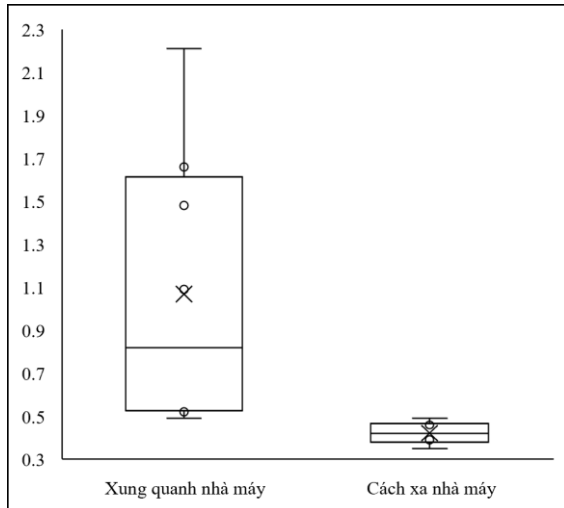
Đơn vị: mg/kg; t.As: Hàm lượng As tổng số; iAs: Tổng hàm lượng As vô cơ ly trích được (AsIII+AsV).

Kết quả (Bảng 1) cho thấy lượng As vô cơ linh động chỉ chiếm khoảng 21-25% tổng lượng As có trong bụi, do đó các đánh giá về mức độ ô nhiễm As trong bụi cần quan tâm hơn đến dạng linh động hơn là dạng tổng để có thể phản ánh chính xác tình trạng ô nhiễm. Cụ thể, hàm lượng trung bình của As tổng là 5,65 mg/kg, cao hơn 4 lần so với hàm lượng trung bình của iAs (1,31 mg/kg), như vậy việc sử dụng kết quả As tổng để tính toán các hệ số đánh giá môi trường có khả năng sẽ gây ra cảnh báo quá mức thực tế về tình trạng ô nhiễm hiện hữu dẫn đến những sai lầm về hoạch định chính sách cũng như tạo ra tâm lý bất an cho cư dân sinh sống gần nguồn phát thải. Hiện nay ở Việt Nam chưa có nhiều nghiên cứu về hàm lượng As trong bụi đường mà đặc biệt là đánh giá hàm lượng các dạng As tại các nguồn phát thải nhiều As, do đó kết quả của nghiên cứu sẽ đóng vai trò tiền đề cho các nghiên cứu tiếp theo về lĩnh vực này.

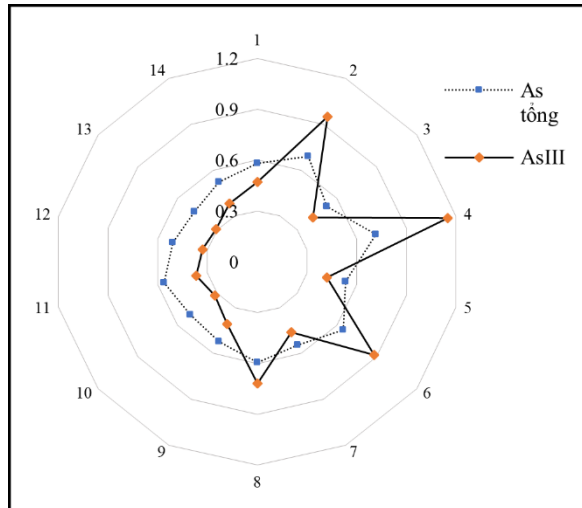
Kết quả còn cho thấy sự phân hóa rõ rệt về thành phần AsIII và AsV ở khu vực phối trộn



Hình 4). Theo đó, hàm lượng AsIII, dạng As có độc tính cao, ở khu vực lân cận địa điểm trộn bê tông có xu hướng cao hơn những khu vực xung quanh. Điều này chứng tỏ hoạt động phối trộn bê tông cũng là một nguồn gây phát thải AsIII vào môi trường. Bên cạnh đó, xu hướng trên chỉ có thể quan sát rõ rệt khi thực hiện đánh giá hàm lượng AsIII, AsV, trong khi căn cứ vào hàm lượng As tổng thì xu hướng này khá mờ nhạt (Hình 5).



Hình 4. Phân hoá về tỷ lệ AsIII/AsV giữa khu vực phát thải và khu vực lân cận.



Hình 5. Phân bố hàm lượng As tổng và AsIII trong mẫu bụi tại các địa điểm nghiên cứu.

4. Kết luận

Nghiên cứu đã tối ưu quy trình phân tích riêng dạng As vô cơ (AsIII, AsV) trong bụi đường, các thông số tối ưu đảm bảo cho quá trình chiết hoàn toàn AsIII với APDC. Bên cạnh đó, quá trình ly trích As vô cơ linh động đã được thiết kế để không làm ảnh hưởng đến lượng As ly trích được cũng như sự ổn định của AsIII và AsV. Quy trình được nghiên cứu có các ưu điểm so với các quy trình đã được công bố trên thế giới [17] như: 1-Chỉ cần sử dụng những thiết bị xử lý mẫu cơ bản mà không cần đến thiết bị phá mẫu vi sóng hiện đại; 2-Quá trình chiết AsIII, AsV được thực hiện dựa trên phương pháp chiết lỏng - lỏng đơn giản hơn so với kỹ thuật sắc ký lỏng hiệu năng cao. Mặc dù quy trình đề xuất có ưu điểm là dễ thực hiện với chi phí thấp, tuy nhiên cũng có một số nhược điểm khi so sánh với kỹ thuật HPLC-ICP-MS đó là không thể phân tích đồng thời các dạng asen hữu cơ và thời gian phân tích kéo dài.

Phương pháp sau khi chứng minh được độ chọn lọc và độ đúng, thông qua việc phân tích mẫu chứa các chất gây nhiễu như Al, Fe, Ca, DMA, MMA và so sánh với phương pháp chiết tiêu chuẩn [17], đã được ứng dụng vào phân tích các riêng dạng As vô cơ linh động trong mẫu bụi đường ở khu vực nhà máy phối trộn bê tông ở Thành phố Hồ Chí Minh. Mặc dù kết quả phân tích hàm lượng As tổng trong các mẫu bụi đường đều thấp hơn mức quy định 15 mg/kg (QCVN 03-MT:2015/BTNMT) và cũng thấp hơn mức trung bình chung của thế giới [18–20]. Tuy nhiên, dựa vào sự phân bố hàm lượng AsIII ở khu vực khảo sát, nghiên cứu đã chỉ ra rằng hoạt động phối trộn bê tông đã góp phần làm phát tán một lượng AsIII vào môi trường.

Từ những kết quả nghiên cứu hiện tại, nghiên cứu đề xuất mở rộng khu vực lấy mẫu, đa dạng hoá mẫu từ các nguồn phát thải khác nhau, cũng như theo dõi sự biến động hàm lượng As vô cơ theo mùa. Từ đó để hiểu rõ hơn các yếu tố tác động đến hàm lượng các dạng As vô cơ trong bụi đường, phát hiện các nguy cơ tiềm tàng và đưa ra các cảnh báo kịp thời cho cộng đồng.

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

Lời cảm ơn: Bài viết thuộc đề tài nghiên cứu khoa học có mã số CSB2022-45 của Trường Đại học Sài Gòn. Nhóm tác giả trân trọng cảm ơn Trường Đại học Sài Gòn đã tài trợ cho Đề tài

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. Matschullat, J. Arsenic in the geosphere — a review. *Sci. Total Environ.* **2000**, 249(1), 297–312.
2. World Health Organization. Regional Office for, E., Air quality guidelines for Europe. 2nd ed.; World Health Organization. Regional Office for Europe: Copenhagen, 2000.
3. Gašiorek, M.; Kowalska, J.; Mazurek, R.; Pająk, M. Comprehensive assessment of heavy metal pollution in topsoil of historical urban park on an example of the Planty Park in Krakow (Poland). *Chemosphere* **2017**, 179, 148–158.
4. Labiris, N.R.; Dolovich, M.B. Pulmonary drug delivery. Part I: physiological factors affecting therapeutic effectiveness of aerosolized medications. *Br. J. Clin. Pharmacol.* **2003**, 56(6), 588–599.
5. Lewis, A.S.; Reid, K.R.; Pollock, M.C.; Campleman, S.L. Speciated arsenic in air: measurement methodology and risk assessment considerations. *J. Air Waste Manage. Assoc.* **2012**, 62(1), 2–17.
6. Oehlschläger, J. Trace element speciation for environment, food and health Edited by L Ebdon, L Pitts, R Corneils, H Crews, OFX Donard and Ph Quevauviller Royal Society of Chemistry, Cambridge, 2001, pp. 392.
7. Widziewicz, K.; Rogula-Kozłowska, W.; Loska, K. Cancer risk from arsenic and chromium species bound to PM2.5 and PM1 – Polish case study. *Atmos. Pollut. Res.* **2016**, 7(5), 884–894.
8. Tirez, K.; Vanhoof, C.; Peters, J.; Geerts, L.; Bleux, N.; Adriaenssens, E.; Roekens, E.; Smolek, S.; Maderitsch, A.; Steininger, R.; Göttlicher, J.; Meirer, F.; Strel, C.; Berghmans, P. Speciation of inorganic arsenic in particulate matter by combining HPLC/ICP-MS and XANES analyses. *J. Anal. At. Spectrom.* **2015**, 30(10), 2074–2088.
9. Huang, M.; Chen, X.; Zhao, Y.; Yu Chan, C.; Wang, W.; Wang, X.; Wong, M.H. Arsenic speciation in total contents and bioaccessible fractions in atmospheric particles related to human intakes. *Environ. Pollut.* **2014**, 188, 37–44.
10. Sánchez de la Campa, A.M.; de la Rosa, J.D.; Sánchez-Rodas, D.; Oliveira, V.; Alastuey, A.; Querol, X.; Gómez Ariza, J. L. Arsenic speciation study of PM2.5 in an urban area near a copper smelter. *Atmos. Environ.* **2008**, 42(26), 6487–6495.
11. Lindemann, T.; Prange, A.; Dannecker, W.; Neidhart, B. Simultaneous determination of arsenic, selenium and antimony species using HPLC/ICP-MS. *Fresenius J. Anal. Chem.* **1999**, 364(5), 462–466.
12. Kamada, T. Selective determination of arsenic(III) and arsenic(V) with ammonium pyrrolidinedithiocarbamate, sodium diethyldithiocarbamate and dithizone by means of flameless atomic-absorption spectrophotometry with a carbon-tube atomizer. *Talanta* **1976**, 23(11), 835–839.
13. Men, C.; Liu, R.; Wang, Q.; Miao, Y.; Wang, Y.; Jiao, L.; Li, L.; Cao, L.; Shen, Z.; Li, Y.; Crawford-Brown, D. Spatial-temporal characteristics, source-specific variation and uncertainty analysis of health risks associated with heavy metals in road dust in Beijing, China. *Environ. Pollut.* **2021**, 278, 116866.
14. Liu, Q.T.; Diamond, M.L.; Gingrich, S.E.; Ondov, J.M.; Maciejczyk, P.; Stern, G. A. Accumulation of metals, trace elements and semi-volatile organic compounds on exterior window surfaces in Baltimore. *Environ. Pollut. (Barking, Essex: 1987)*. **2003**, 122(1), 51–61.

15. Bao, L.; Wang, S.; Sun, H.; Huang, W.; Wang, G.; Nan, Z. Assessment of source and health risk of metal(loid)s in indoor/outdoor dust of university dormitory in Lanzhou City, China. *Environ. Sci. Pollut. Res.* **2019**, *26(31)*, 32333–32344.
16. Dat, N.D.; Nguyen, V.T.; Vo, T.D.H.; Bui, X.T.; Bui, M.H.; Nguyen, L.S.P.; Nguyen, X.C.; Tran, A.T.K.; Nguyen, T.T.A.; Ju, Y.R.; Huynh, T.M.T.; Nguyen, D.H.; Bui, H.N.; Lin, C. Contamination, source attribution, and potential health risks of heavy metals in street dust of a metropolitan area in Southern Vietnam. *Environ. Sci. Pollut. Res.* **2021**, *28(36)*, 50405–50419.
17. Giral, M.; Zagury, G.J.; Deschênes, L.; Blouin, J.P. Comparison of four extraction procedures to assess arsenate and arsenite species in contaminated soils. *Environ. Pollut.* **2010**, *158(5)*, 1890–1898.
18. Cai, Y.; Zhang, J. Pollution and health risk assessment of arsenic in street dust and soil from an industrial zone. *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.* **2021**, *791(1)*, 012184.
19. Taghavi, S.N.; Kamani, H.; Dehghani, M.H.; Nabizadeh, R.; Afshari, N.; Mahvi, A.H. Assessment of Heavy Metals in Street Dusts of Tehran Using Enrichment Factor and Geo-Accumulation Index. *Health Scope.* **2019**, *8(1)*, e57879.
20. Ladonin, D.V.; Mikhaylova, A.P. Heavy Metals and Arsenic in Soils and Street Dust of the Southeastern Administrative District of Moscow: Long-Term Data. *Eurasian Soil Sci.* **2020**, *53(11)*, 1635–1644.

Research to determine As(III), As(V) content in road dust near concrete mixing plant in Ho Chi Minh City by liquid-liquid extraction method based on complex formation mechanism with APDC reagent

Nguyen Thi Quynh Trang ^{1*}, Nguyen Thi Hoa¹

¹ Faculty of Environment, Saigon University; trangntm@sgu.edu.vn; nthoa@sgu.edu.vn

Abstract: The presence of arsenic (As), particularly inorganic arsenic (iAs), in road dust can have detrimental effects on both the environment and human health. Assessing the impact of arsenic is unique because its various species have differing toxicities; iAs is more harmful than organic As, and AsIII is more toxic than AsV. In this research, we optimized the extraction parameters for mobile As species using phosphoric acid and successfully extracted AsIII into the organic phase through a complexation mechanism with APDC. Our method exhibits high selectivity even in the presence of interfering elements like iron, calcium, aluminum, monomethylarsonic acid (MMA), and dimethylarsinic acid (DMA), with a remarkable detection limit of 0.05 mg/kg. When applied to road dust samples from different areas in Ho Chi Minh City, this procedure revealed distinct variations in the composition of As species. These findings underscore the procedure's effectiveness in supporting efforts to manage and monitor dust pollution.

Keywords: Arsenic speciation analysis; Liquid-liquid phase separation; Road dust.

Bài báo khoa học

Nghiên cứu xây dựng quy trình thử nghiệm lồng ghép kết quả giám sát biến đổi khí hậu vào kế hoạch triển khai quy hoạch mạng lưới trạm khí tượng thủy văn quốc gia giai đoạn 2021-2030, tầm nhìn đến 2050

Nguyễn Trần Linh^{1*}, Bùi Đức Sơn¹, Vũ Ngọc Linh², Nguyễn Nam Dương³

¹ Văn phòng Tổng cục; nguyentranlinh99@gmail.com

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

³ Vụ Quản lý mạng lưới khí tượng thủy văn; ngnaduong@gmail.com

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

Ban Biên tập nhận bài: 12/9/2023; Ngày phản biện xong: 22/10/2023; Ngày đăng bài: 25/11/2023

Tóm tắt: Song song với quy định về lồng ghép nội dung ứng phó với biến đổi khí hậu theo pháp luật bảo vệ môi trường, kết quả giám sát biến đổi khí hậu (BĐKH) cũng đã được Luật Khí tượng thủy văn năm 2015 yêu cầu phải lồng ghép vào chiến lược, quy hoạch, kế hoạch. Để tuân thủ đúng quy định của pháp luật và đảm bảo tính hiệu quả của việc lồng ghép các vấn đề của BĐKH cần phải xây dựng các quy trình hướng dẫn thực hiện. Nghiên cứu này đã sử dụng phương pháp xác định mối quan hệ giữa kết quả giám sát BĐKH và quy trình chiến lược, quy hoạch, kế hoạch, đồng thời tham khảo, kế thừa kết quả nghiên cứu có liên quan, nhóm tác giả đã đề xuất quy trình gồm 05 bước lồng ghép kết quả giám sát BĐKH vào chiến lược, quy hoạch, kế hoạch và áp dụng thử nghiệm vào kế hoạch triển khai quy hoạch mạng lưới trạm khí tượng thủy văn quốc gia giai đoạn 2021-2030, tầm nhìn đến 2050. Kết quả thử nghiệm cho thấy, quy trình có thể hỗ trợ hiệu quả việc xây dựng kế hoạch phát triển mạng lưới đảm bảo đúng mục tiêu, yêu cầu của quy hoạch.

Từ khóa: Giám sát biến đổi khí hậu; Quy trình lồng ghép; Lồng ghép kết quả giám sát biến đổi khí hậu.

1. Giới thiệu

Lồng ghép (*Meanstreaming*) hoặc tích hợp (*intergrating*) biến đổi khí hậu (BĐKH) vào quá trình xây dựng chiến lược, lập quy hoạch/kế hoạch và ra quyết định là một công cụ quan trọng, để đảm bảo mục tiêu thích ứng với biến đổi khí hậu và giảm nghèo được thực hiện song song. Cách tiếp cận này liên quan việc tính toán đến rủi ro và cơ hội khi đưa ra các giải pháp thích ứng phù hợp với tầm nhìn phát triển [1]. Hoạt động lồng ghép BĐKH được đánh giá là nội dung quan trọng trong hoạt động xây dựng chính sách, kế hoạch và các dự án phát triển của mỗi quốc gia, việc lồng ghép sẽ góp phần: (1) giảm thiểu tính dễ bị tổn thương trước tác động của BĐKH, (2) tăng cường năng lực thích ứng của cộng đồng và các hoạt động quốc gia và (3) đảm bảo sự phát triển bền vững [2].

Trên thế giới, hoạt động lồng ghép BĐKH được nhiều quốc gia quan tâm và triển khai rộng rãi, tại Mỹ, một số bang như Flolida, Boston đã tiến hành lồng ghép BĐKH trong kế hoạch phát triển thành phố [3], Viện Quy hoạch của Úc (PIA) đã thừa nhận rằng trong điều kiện BĐKH, việc xây dựng quy hoạch trở nên phức tạp hơn, thách thức đối với các phương pháp lập kế hoạch truyền thống, do đó cần có sự đổi mới, hợp tác linh hoạt giữa các bên liên

quan, trong đó dữ liệu về BĐKH và dự báo tác động của BĐKH là nền tảng trong quá trình xây dựng kế hoạch [4]. Tiếp cận theo hướng đánh giá rủi ro của IPCC, một nghiên cứu đã vận dụng, đề xuất các quy trình lồng ghép BĐKH vào xây dựng kế hoạch phát triển một số ngành, lĩnh vực cụ thể, ví dụ như giao thông vận tải [5–6], năng lượng [7], y tế dự phòng [8]..., một số quốc gia trong khu vực Đông Nam Á như Thái Lan, Philipine đã luật hóa hoạt động lồng ghép BĐKH vào xây dựng chiến lược, quy hoạch, kế hoạch [9].

Việt Nam được đánh giá là ban hành nhiều chính sách về BĐKH hơn các quốc gia khác trong khu vực [9]. Hoạt động lồng ghép BĐKH vào chiến lược, quy hoạch, kế hoạch ở nước ta được quan tâm từ khá sớm [10], luật hóa đầu tiên tại Luật Bảo vệ môi trường năm 2014 [11], quy định chi tiết hơn tại Luật Bảo vệ môi trường năm 2020 [12]. Đồng thời với việc lồng ghép nội dung ứng phó với BĐKH, mỗi nội dung nữa yêu cầu phải lồng ghép vào chiến lược, quy hoạch, kế hoạch đó là kết quả giám sát BĐKH theo quy định của Luật Khí tượng thủy văn năm 2015 [13], gần đây nhất Bộ Tài nguyên và Môi trường đã ban hành Thông tư số 06/2023/TT-BTNMT ngày 31/7/2023 hướng dẫn lồng ghép nội dung ứng phó với biến đổi khí hậu vào chiến lược, quy hoạch [14], tuy nhiên, đối với quy định lồng ghép kết quả giám sát BĐKH hiện vẫn chưa được quan tâm triển khai thực hiện do chưa có quy trình, văn bản nào hướng dẫn thực hiện.

Các hoạt động nghiên cứu khoa học, đề tài, dự án lồng ghép BĐKH, trong những năm qua cũng đã được triển khai khá nhiều, tập trung chủ yếu vào xác định tiêu chí, chỉ tiêu lồng ghép ứng phó BĐKH [15], triển khai lồng ghép vào kế hoạch phát triển của địa phương [16], phát triển lĩnh vực, ngành, nghề [17], trên cơ sở hướng của Viện Khoa học Khí tượng Thủy văn và Biến đổi khí hậu, phương pháp tiếp cận nghiên cứu tác động và thích ứng với BĐKH của Bộ Nông nghiệp và Phát triển nông thôn, hiện vẫn chưa có nghiên cứu nào đề xuất các vấn đề về lồng ghép kết quả giám sát BĐKH theo quy định của Luật Khí tượng thủy văn năm 2015.

Mạng lưới trạm khí tượng thủy văn quốc gia có vai trò, nhiệm vụ cung cấp thông tin, dữ liệu quan trắc khí tượng thủy văn, giám sát BĐKH phục vụ công tác chuyên ngành và phát triển kinh tế - xã hội, quốc phòng an ninh. Quy hoạch mạng lưới trạm quan trắc trên thế giới cũng như ở Việt Nam đều ưu tiên triển khai quan trắc ở những khu vực thường rủi ro thiên tai cao, áp dụng các giải pháp công nghệ quan trắc, truyền tin tiên tiến... Để lựa chọn các khu vực ưu tiên triển khai quan trắc cũng như các giải pháp công nghệ, đặc tính kỹ thuật của thiết bị phù hợp với điều kiện khu vực lắp đặt thì việc sử dụng kết quả giám sát BĐKH trong phân tích, đánh giá đóng vai trò quyết định. Chính vì vậy, ngoài mục tiêu đề xuất quy trình lồng ghép kết quả giám sát BĐKH vào chiến lược, quy hoạch, kế hoạch, nghiên cứu này sẽ tiến hành thử nghiệm lồng ghép vào kế hoạch triển khai quy hoạch mạng lưới trạm khí tượng thủy văn quốc gia giai đoạn 2021-2030, tầm nhìn đến 2050 sắp tới sau khi Quy hoạch mạng lưới trạm khí tượng thủy văn quốc gia được phê duyệt.

2. Phương pháp nghiên cứu

2.1. Cơ sở thực tiễn cho việc xây dựng quy trình lồng ghép

Tại Hội nghị thượng đỉnh quốc tế về phát triển bền vững năm 2002, lần đầu tiên chủ đề tích hợp các vấn đề BĐKH được nhắc tới, xuất phát từ quan niệm các giải pháp ứng phó kết hợp với mức sống được cải thiện của cộng đồng sẽ làm giảm tính dễ bị tổn thương trước BĐKH [18]. Năm 2008, Việt Nam đã đưa nội dung tích hợp vấn đề BĐKH vào Chương trình mục tiêu quốc gia ứng phó với biến đổi khí hậu [19]. Năm 2012, đã xây dựng tài liệu “Tích hợp vấn đề biến đổi khí hậu vào kế hoạch phát triển kinh tế - xã hội”, nghiên cứu đã đưa ra 05 bước quy trình lồng ghép gồm: (1) Sàng lọc, (2) lựa chọn các giải pháp ứng phó, (3) thực hiện tích hợp, (4) thực hiện các chiến lược, quy hoạch, kế hoạch đã tích hợp, (5) giám sát và đánh giá [10]. Năm 2014, nội dung lồng ghép được xác định cụ thể là ứng phó với BĐKH được quy định tại Điều 40 Luật Bảo vệ môi trường năm 2014 và được quy định chi tiết hơn tại Điều 93 Luật Bảo vệ môi trường năm 2020. Một khía cạnh khác của vấn đề BĐKH theo

yêu cầu phải thực hiện lồng ghép đó là kết quả giám sát BĐKH được quy định tại Điều 37 Luật Khí tượng thủy văn năm 2015, hiện vẫn chưa có bất cứ công trình, tài liệu nào hướng dẫn triển khai.

Bảng 1. Tổng hợp thông tin quy định về lồng ghép vấn đề BĐKH vào chiến lược, quy hoạch, kế hoạch.

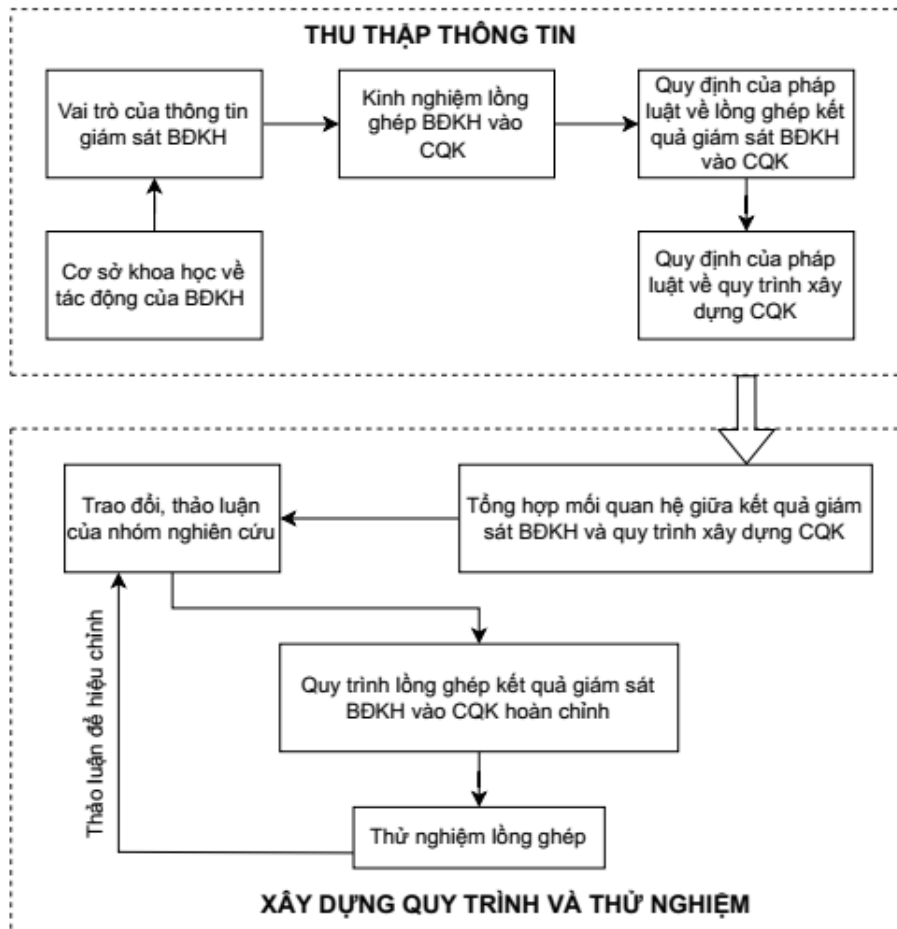
Quy định	Luật Khí tượng thủy văn 2015	Luật Bảo vệ môi trường 2020
Đối tượng yêu cầu phải lồng ghép	Chiến lược, quy hoạch, kế hoạch	Chiến lược, quy hoạch, kế hoạch
Yêu cầu lồng ghép	Kết quả giám sát BĐKH	Ứng phó với BĐKH
Loại	Thuộc danh mục đánh giá môi trường chiến lược Sử dụng thông tin, dữ liệu khí tượng thủy văn, giám sát biến đổi khí hậu trong việc đánh giá điều kiện tự nhiên, môi trường của khu vực lập chiến lược, quy hoạch, kế hoạch	Thuộc danh mục đánh giá môi trường chiến lược Kịch bản biến đổi khí hậu và tác động của biến đổi khí hậu được sử dụng trong việc xác định mục tiêu dài hạn của chiến lược, quy hoạch
Nội dung lồng ghép	Sử dụng kết quả phân tích, đánh giá những biểu hiện của biến đổi khí hậu và tác động của biến đổi khí hậu đến thiên tai, tài nguyên, môi trường, hệ sinh thái, điều kiện sống, hoạt động kinh tế - xã hội và các vấn đề liên ngành, liên vùng, liên lĩnh vực nhằm xác định các mục tiêu lâu dài của chiến lược, quy hoạch, kế hoạch Sử dụng kết quả phân tích, đánh giá các giải pháp ứng phó với biến đổi khí hậu trong việc xác định các chỉ tiêu kinh tế - xã hội của chiến lược, quy hoạch, kế hoạch.	Các giải pháp ứng phó với biến đổi khí hậu được lồng ghép vào nội dung của chiến lược, quy hoạch Kết quả phân tích, đánh giá giải pháp ứng phó với biến đổi khí hậu được sử dụng trong việc xác định chỉ tiêu kinh tế - xã hội của chiến lược, quy hoạch.
Quy trình hướng dẫn lồng ghép	Chưa có	Đã có

2.2. Đối tượng, phạm vi nghiên cứu

Để xây dựng được quy trình lồng ghép kết quả giám sát BĐKH vào chiến lược, quy hoạch, kế hoạch, nhóm tác giả xác định các đối tượng nghiên cứu gồm: các công trình nghiên cứu đề xuất, áp dụng quy trình lồng ghép các vấn đề về BĐKH, các văn bản quy phạm pháp luật về quy hoạch, khí tượng thủy văn, môi trường, BĐKH, các hướng dẫn lồng ghép, tích hợp BĐKH vào chiến lược, quy hoạch, kế hoạch. Về phạm vi nghiên cứu, nhóm tác giả tập trung vào vai trò của kết quả giám sát BĐKH, mối quan hệ giữa quy định của pháp luật về nội dung lồng ghép với quy trình xây dựng chiến lược, quy hoạch, kế hoạch.

2.3. Nguyên tắc xây dựng quy trình và thử nghiệm

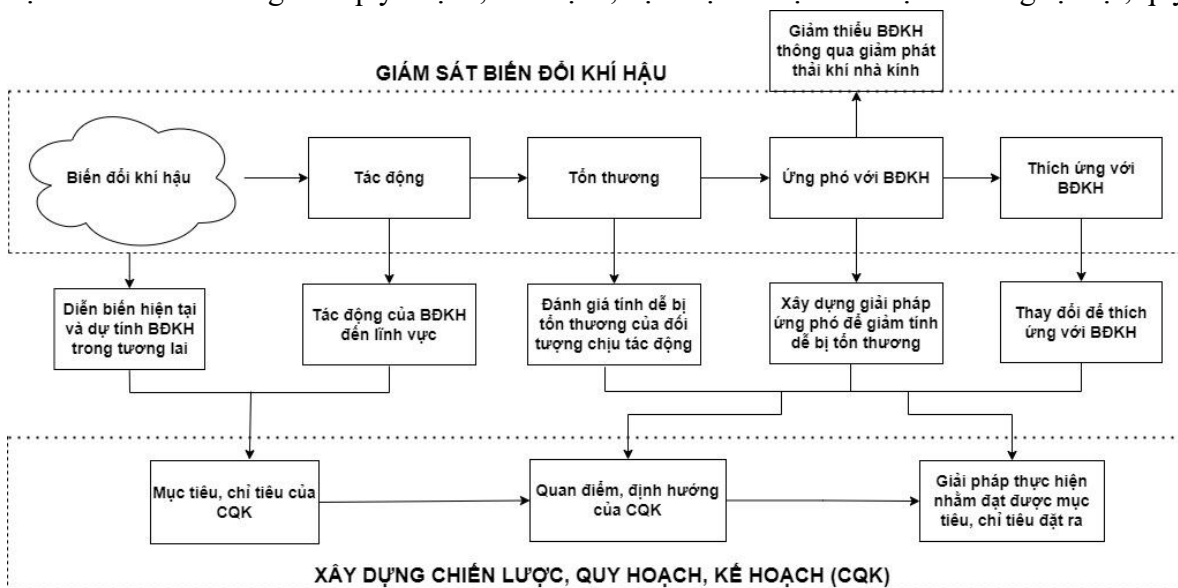
Các nguyên tắc xây dựng quy trình lồng ghép kết quả giám sát BĐKH vào chương trình, quy hoạch, kế hoạch đặt ra bao gồm: (1) tuân thủ quy trình xây dựng chiến lược, quy hoạch, kế hoạch theo pháp luật về quy hoạch; (2) tuân thủ nội dung, đối tượng lồng ghép theo quy định của Luật Khí tượng thủy văn, Luật bảo vệ môi trường; (4) đơn giản, phù hợp với quy trình lồng ghép ứng phó với BĐKH, không phát sinh thủ tục; (5) đảm bảo tính khoa học, kế thừa kinh nghiệm lồng ghép theo hướng dẫn của các tổ chức quốc tế. Từ các nguyên tắc đặt ra này, nghiên cứu đã tiến hành xây dựng quy trình qua hai bước: Bước 1- thu thập thông tin, tài liệu gồm các công trình nghiên cứu khoa học về tác động của BĐKH, lồng ghép BĐKH, quy định của pháp luật về xây dựng chiến lược, quy hoạch, kế hoạch, quy định của pháp luật về lồng ghép BĐKH; bước 2 - phân tích mối quan hệ giữa nội dung lồng ghép kết quả giám sát BĐKH và các bước xây dựng chiến lược, quy hoạch, kế hoạch, xây dựng khung ma trận quy trình các bước lồng ghép và chỉ tiêu thực hiện cần đảm bảo, tiến hành thử nghiệm và hiệu chỉnh quy trình (hình 1).



Hình 1. Sơ đồ xây dựng quy trình lồng ghép kết quả giám sát BĐKH vào chương trình, quy hoạch, kế hoạch (CQK).

2.4. Phương pháp ma trận quan hệ phục vụ xây dựng quy trình lồng ghép

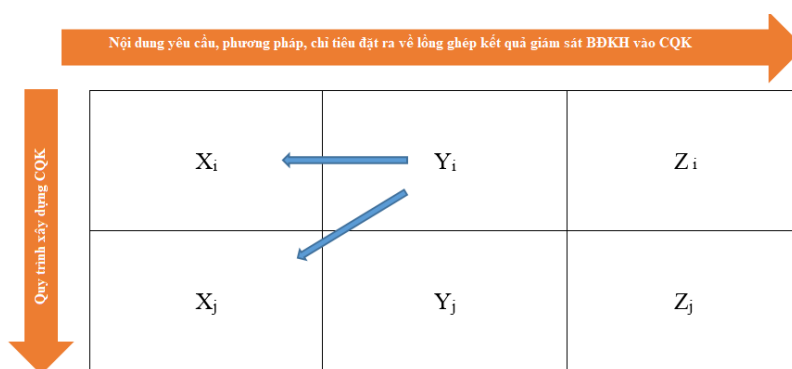
Agrawal, Lemos, Reid và Huq quan niệm BĐKH gây rủi ro cho nhiều lĩnh vực phát triển, do đó không thể giải quyết vấn đề bằng cách đặt nó vào một nơi riêng biệt [20], thay vào đó cần ưu tiên lồng ghép hoặc tích hợp. Khi xem xét theo khía cạnh rủi ro, theo các tác giả, có mối quan hệ hai chiều giữa rủi ro khí hậu và quy hoạch, kế hoạch phát triển, tức là rủi ro khí hậu có thể ảnh hưởng đến quy hoạch, kế hoạch, đặc biệt là mục tiêu đặt ra và ngược lại, quy



Hình 2. Sơ đồ quan hệ giữa kết quả giám sát BĐKH và xây dựng chiến lược, quy hoạch, kế hoạch (CQK).

hoạch, kế hoạch phát triển có thể làm gia tăng mức độ rủi ro khí hậu nếu không xem xét đến thông tin về BĐKH. Kết quả giám sát BĐKH chính là thông tin đầu vào để đánh giá mức độ rủi ro của các đối tượng xây dựng chiến lược, quy hoạch, kế hoạch. Nghiên cứu [21] chỉ ra rằng, BĐKH cần được xem xét ngay trong giai đoạn đầu của quá trình thiết kế và lập kế hoạch xây dựng.

Đặc điểm của chiến lược, quy hoạch, kế hoạch ở nước ta thường bao gồm 03 nội dung chính là (1) Mục tiêu, chỉ tiêu, (2) Quan điểm, định hướng, (3) Giải pháp thực hiện, với quan điểm thông tin về kết quả giám sát BĐKH là đầu vào, với mối quan hệ xuyên suốt (hình 2). Quy trình lồng ghép được xây dựng theo phương pháp ma trận quan hệ, trong đó hàng dọc của ma trận được xác định quy trình xây dựng chiến lược, quy hoạch, kế hoạch, hàng ngang của ma trận là các nội dung, yêu cầu, chỉ tiêu lồng ghép kết quả giám sát BĐKH theo đúng quy định của pháp luật hiện hành (Hình 3). Theo mỗi quan hệ bước thứ Y_i có thể được thực hiện lồng ghép vào nhiều bước $X_i, X_j \dots X_n$, chỉ tiêu đặt ra Z_i là tổng hợp yêu cầu xác thực lồng ghép của hoạt động $X_{ij}Y_i$.



Hình 3. Mô hình ma trận quan hệ trong xây dựng quy trình lồng ghép kết quả giám sát BĐKH vào chiến lược, quy hoạch, kế hoạch.

2.5. Phương pháp kế thừa

Kể từ khi vấn đề lồng ghép hay tích hợp các vấn đề BĐKH được quan tâm, có khá nhiều quy trình hướng dẫn tích hợp, ví dụ như UNFCCC đã đưa ra 05 bước quy trình [22], UNDP đưa ra 7 bước [23], UNDP đưa ra 6 bước [24], ASAIID đưa ra 6 bước [25], CARE là 07 bước [26]. Mới nhất hiện nay, là quy trình lồng ghép nội dung ứng phó với BĐKH gồm 05 bước quy định tại Thông tư số 06/2023/TT-BTNMT. Để xây dựng quy trình lồng ghép kết quả giám sát BĐKH, nghiên cứu đã tìm hiểu, kế thừa các phương pháp, quy trình lồng ghép từ các hướng dẫn nêu trên.

3. Kết quả và thảo luận

3.1. Quy trình lồng ghép kết quả giám sát BĐKH vào chiến lược, quy hoạch, kế hoạch

Theo quy định tại Điều 16 Luật Quy hoạch năm 2017 [27], quy trình xây dựng quy hoạch được thực hiện qua 06 bước, xét mối quan hệ với nội dung, yêu cầu lồng ghép kết quả giám sát BĐKH tại Điều 37 Luật Khí tượng thủy văn năm 2015, nhóm tác giả đề xuất quy trình lồng ghép kết quả giám sát BĐKH vào chiến lược, quy hoạch, kế hoạch trong Bảng 1.

Bảng 1. Quy trình lồng ghép kết quả giám sát BĐKH vào chiến lược, quy hoạch, kế hoạch.

Bước xây dựng chiến lược, quy hoạch, kế hoạch	Bước lồng ghép kết quả giám sát BĐKH	Nội dung lồng ghép theo quy định	Chỉ tiêu thực hiện cần đảm bảo
Bước 1: Xây dựng thuyết minh nhiệm vụ, trình phê duyệt và lựa chọn tư vấn	Bước 1: Đề xuất yêu cầu lồng ghép kết quả giám sát BĐKH trong thuyết minh nhiệm vụ	Sử dụng thông tin, dữ liệu khí tượng thủy văn, giám sát biến đổi khí hậu trong việc đánh giá điều kiện tự nhiên,	Nội dung lồng ghép kết quả giám sát BĐKH được đề cập đến và cam kết triển khai lồng ghép trong quá

Bước xây dựng chiến lược, quy hoạch, kế hoạch	Bước lồng ghép kết quả giám sát BĐKH	Nội dung lồng ghép theo quy định	Chỉ tiêu thực hiện cần đảm bảo
		môi trường liên quan đến chiến lược, quy hoạch, kế hoạch	trình xây dựng chiến lược, quy hoạch, kế hoạch trong nội dung thuyết minh.
Bước 2: Xây dựng chiến lược, quy hoạch, kế hoạch thông qua hoạt động phân tích, đánh giá, dự báo về các yếu tố, điều kiện, nguồn lực, bối cảnh phát triển; Bước 3: Đề xuất các quan điểm chỉ đạo và mục tiêu, các định hướng, giải pháp thực hiện	Bước 2: Thu thập thông tin về kết quả giám sát BĐKH Bước 3: Xác định mục tiêu, quan điểm, định hướng, giải pháp phù hợp trong bối cảnh BĐKH trên cơ sở sử dụng kết quả giám sát BĐKH để đánh giá tác động của BĐKH	Sử dụng thông tin, dữ liệu khí tượng thủy văn, giám sát biến đổi khí hậu trong việc đánh giá điều kiện tự nhiên, môi trường Sử dụng kết quả phân tích, đánh giá những biểu hiện của biến đổi khí hậu và tác động của biến đổi khí hậu đến thiên tai, tài nguyên, môi trường, hệ sinh thái, điều kiện sống, hoạt động kinh tế - xã hội và các vấn đề liên ngành, liên vùng, liên lĩnh vực nhằm xác định các mục tiêu lâu dài của chiến lược, quy hoạch, kế hoạch	Thông tin dữ liệu về giám sát BĐKH được thu thập từ nguồn số liệu chính thống. Thông tin dữ liệu về giám sát BĐKH sử dụng được cập nhập mới nhất. Mục tiêu, quan điểm, định hướng và giải pháp thực hiện đề xuất trong chiến lược, quy hoạch, kế hoạch có cân nhắc đến vấn đề rủi ro, tính dễ bị tổn thương do BĐKH
Bước 4: Dự thảo chiến lược, quy hoạch, kế hoạch	Bước 4: Xác định các chỉ tiêu của chiến lược, quy hoạch, kế hoạch phù hợp trên cơ sở các giải pháp ứng phó với BĐKH	Sử dụng kết quả phân tích, đánh giá các giải pháp ứng phó với biến đổi khí hậu trong việc xác định các chỉ tiêu kinh tế - xã hội của chiến lược, quy hoạch, kế hoạch.	Các chỉ tiêu của chiến lược, quy hoạch, kế hoạch đặt ra đã được xem xét đến các giải pháp thích ứng với BĐKH. Có tính toán đến giảm thiểu BĐKH thông qua giảm phát thải khí nhà kính (nếu có)
Bước 5: Tham vấn các bên liên quan về chiến lược, quy hoạch, kế hoạch Bước 6: Chỉnh sửa, hoàn thiện và trình ban hành	Bước 5: Đánh giá sự phù hợp, tuân thủ quy định của việc lồng ghép kết quả giám sát BĐKH	thẩm định lồng ghép kết quả giám sát biến đổi khí hậu vào chiến lược, quy hoạch, kế hoạch	Nội dung lồng ghép kết quả giám sát BĐKH được lấy ý kiến của cơ quan chuyên môn, cơ quan quản lý cơ sở dữ liệu giám sát BĐKH

3.2. Thử nghiệm quy trình lồng ghép kết quả giám sát BĐKH vào kế hoạch triển khai quy hoạch mạng lưới trạm khí tượng thủy văn quốc gia giai đoạn 2021-2030, tầm nhìn 2050

Ngày 24/3/2021, Thủ tướng Chính phủ đã ký Quyết định số 433/QĐ-TTg phê duyệt Nhiệm vụ lập Quy hoạch mạng lưới trạm khí tượng thủy văn quốc gia thời kỳ 2021-2030, tầm nhìn đến năm 2050, thực hiện nhiệm vụ, Bộ Tài nguyên và Môi trường đã giao Tổng cục Khí tượng Thủy văn tổ chức triển khai lập quy hoạch trên, đến thời điểm hiện tại, quy hoạch đang trong giai đoạn trình Thủ tướng Chính phủ phê duyệt. Sau khi Quy hoạch được phê duyệt, Bộ Tài nguyên và Môi trường sẽ xây dựng kế hoạch triển khai thực hiện quy hoạch này, kết quả giám sát BĐKH được thử nghiệm lồng ghép vào kế hoạch này như sau:

Bước 1: Đề xuất nội dung lồng ghép kết quả giám sát BĐKH vào kế hoạch

Theo Quyết định số 433/QĐ-TTg, mục tiêu của quy hoạch đặt ra là nâng cấp, hiện đại hóa, tăng cường mật độ trạm theo từng giai đoạn, trong đó đặt ra yêu cầu về mục tiêu: “Mạng lưới trạm khí tượng thủy văn quốc gia bảo đảm tính hiện đại, tự động, có mật độ ngang bằng với các nước phát triển Đông Nam Á, Châu Á, thế giới qua các giai đoạn”, “Ưu tiên phát triển mới các trạm quan trắc khí tượng thủy văn tại các vùng có nguy cơ cao xảy ra các loại hình thiên tai nguy hiểm còn trống số liệu, vùng chịu tác động mạnh do biến đổi khí hậu và nước biển dâng”. Để chi tiết hóa mục tiêu này, kế hoạch triển khai thực hiện quy hoạch mạng lưới trạm khí tượng thủy văn quốc gia phải xét đến lồng ghép kết quả giám sát BĐKH. Thông tin từ kết quả giám sát BĐKH sẽ xác định được khu vực ưu tiên triển khai xây dựng các trạm

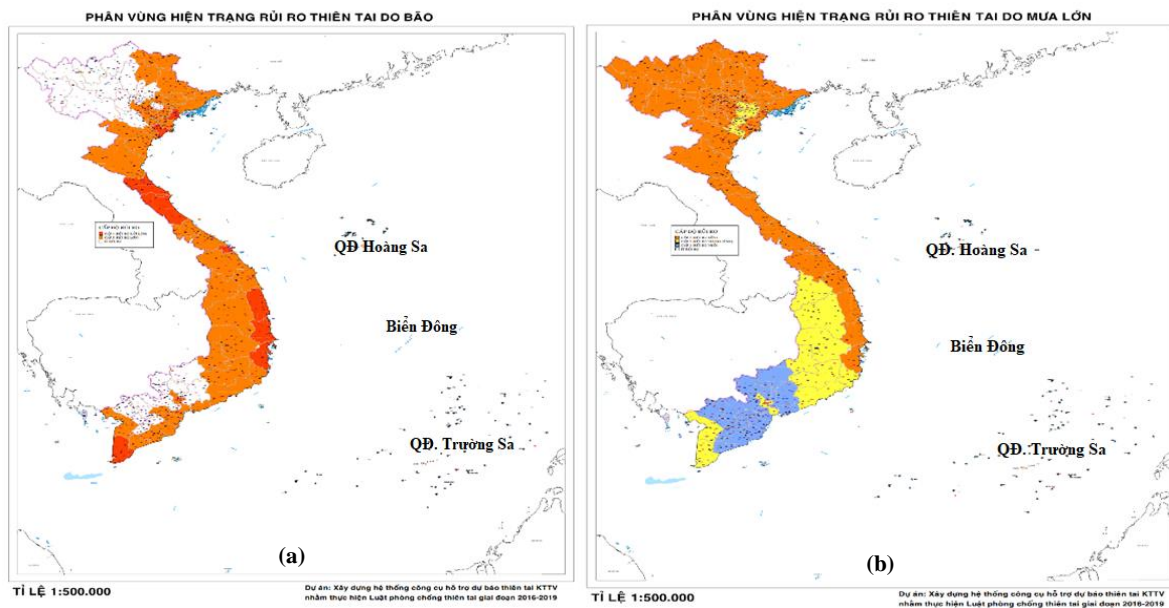
quan trắc, các tác động của BĐKH tới mạng lưới trạm quan trắc sẽ là cơ sở để đề xuất các giải pháp quan trắc, truyền tin.

Bước 2: Thu thập thông tin về kết quả giám sát BĐKH

Quy hoạch mạng lưới trạm quan trắc khí tượng thủy văn được triển khai trên phạm vi cả nước, các thông tin, dữ liệu giám sát BĐKH được thu thập phục vụ lồng ghép bao gồm kịch bản BĐKH năm 2020 với kết quả tính toán kịch bản chi tiết cho từng tỉnh, từng khu vực; Báo cáo đánh giá khí hậu quốc gia năm 2021, dữ liệu thiên tai khí tượng thủy văn như: bão từ 2011-2021, mưa lớn từ 2007-2021, nhiệt độ cực trị từ 2007-2021, gió mạnh trên biển, sóng lớn, triều cường và nước dâng do bão được thu thập từ các nghiên cứu trước của Đỗ Đình Chiến (2016), Nguyễn Văn Hường (2017), các bản đồ phân vùng rủi ro hạn hán, xâm nhập mặn, lũ quét, sạt lở đất từ các đề tài, dự án do các cá nhân, đơn vị trực thuộc Bộ Tài nguyên và Môi trường thực hiện. Kết quả thu thập thông tin, dữ liệu và phân vùng rủi ro một số loại hình thiên tai cụ thể trong các hình dưới đây.

a) Phân vùng rủi ro thiên tai do bão, áp thấp nhiệt đới, mưa lớn

Theo kết quả phân vùng rủi ro cho thấy, các khu vực Trung du miền núi phía Bắc, Đồng bằng sông Hồng, Bắc Trung Bộ và duyên hải Miền Trung, khu vực ven biển và hải đảo thuộc khu vực Đông Bắc, Trung Trung Bộ, Nam Trung Bộ là những khu vực có rủi ro do áp thấp nhiệt đới, bão cao, toàn bộ khu vực phía bắc và Trung Trung Bộ có rủi ro cao do mưa lớn (Hình 4a-4b). Đây là thông tin làm cơ sở để xác định các mục tiêu cụ thể tăng cường mật độ trạm quan trắc cho các khu vực này sau khi kết hợp với đánh giá hiện trạng mạng lưới trạm.



Hình 4. Phân vùng rủi ro thiên tai do bão, áp thấp nhiệt đới, mưa lớn tỉ lệ 1:500.000 (nguồn: Báo cáo tổng hợp quy hoạch mạng lưới khí tượng thủy văn quốc gia).

b) Phân vùng rủi ro thiên tai do lũ quét, sạt lở đất

Khu vực miền núi phía Bắc, phía Bắc của Bắc Trung Bộ, một phần của khu vực Trung Trung Bộ và Tây Nguyên là những khu vực có nguy cơ cao xảy ra lũ quét, sạt lở đất (Hình 5), các khu vực này sẽ tập trung phát triển mạng lưới quan trắc, cảnh báo mưa tự động.

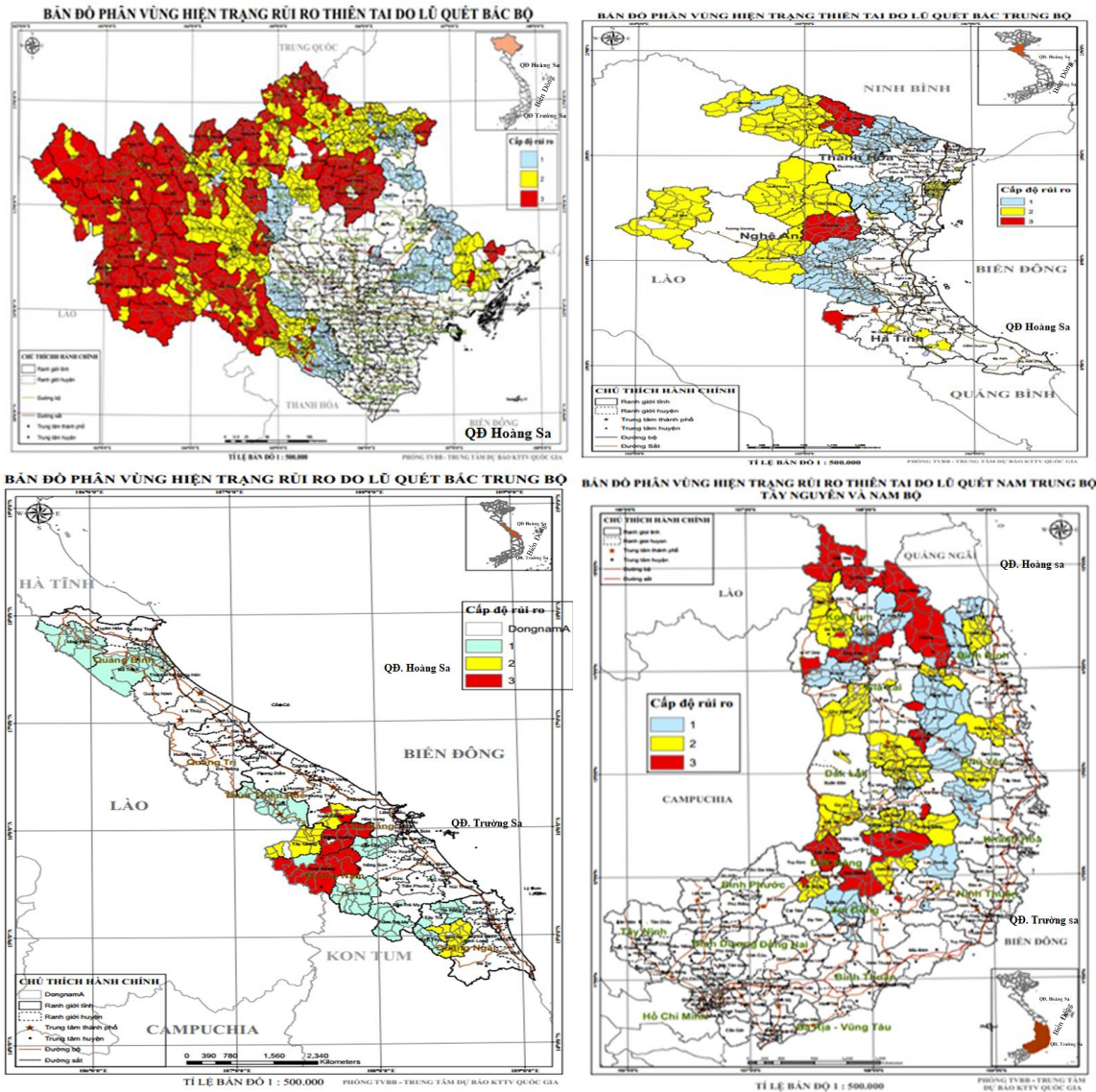
c) Phân vùng rủi ro thiên tai do thủy văn

Các khu vực Tây Bắc, vùng duyên hải Đông Bắc, phía Nam Bắc Trung Bộ, Nam trung Bộ, Bắc Tây Nguyên là những khu vực có rủi ro thiên tai cao do lũ (Hình 6).

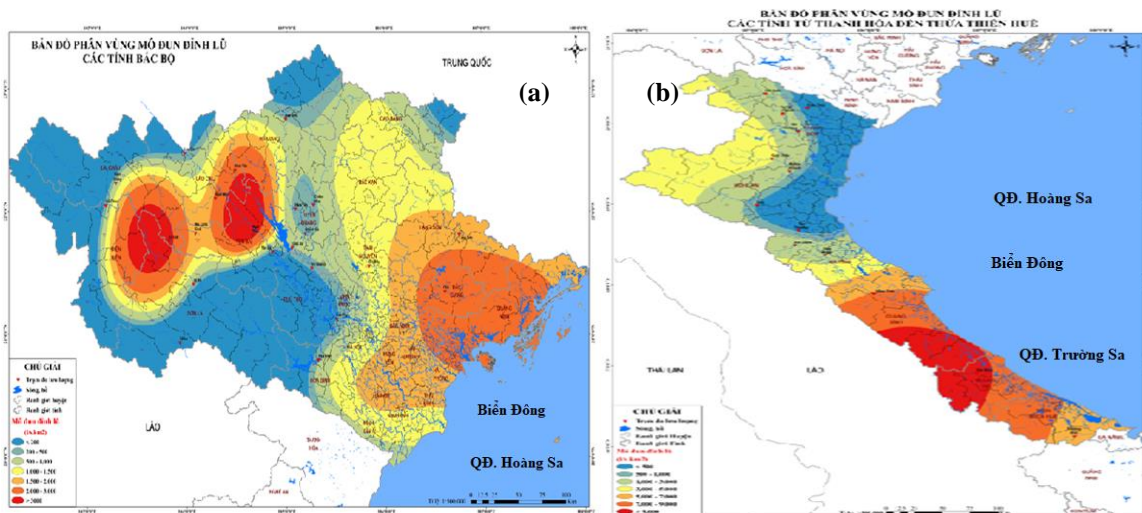
d) Phân vùng rủi ro thiên tai về hải văn

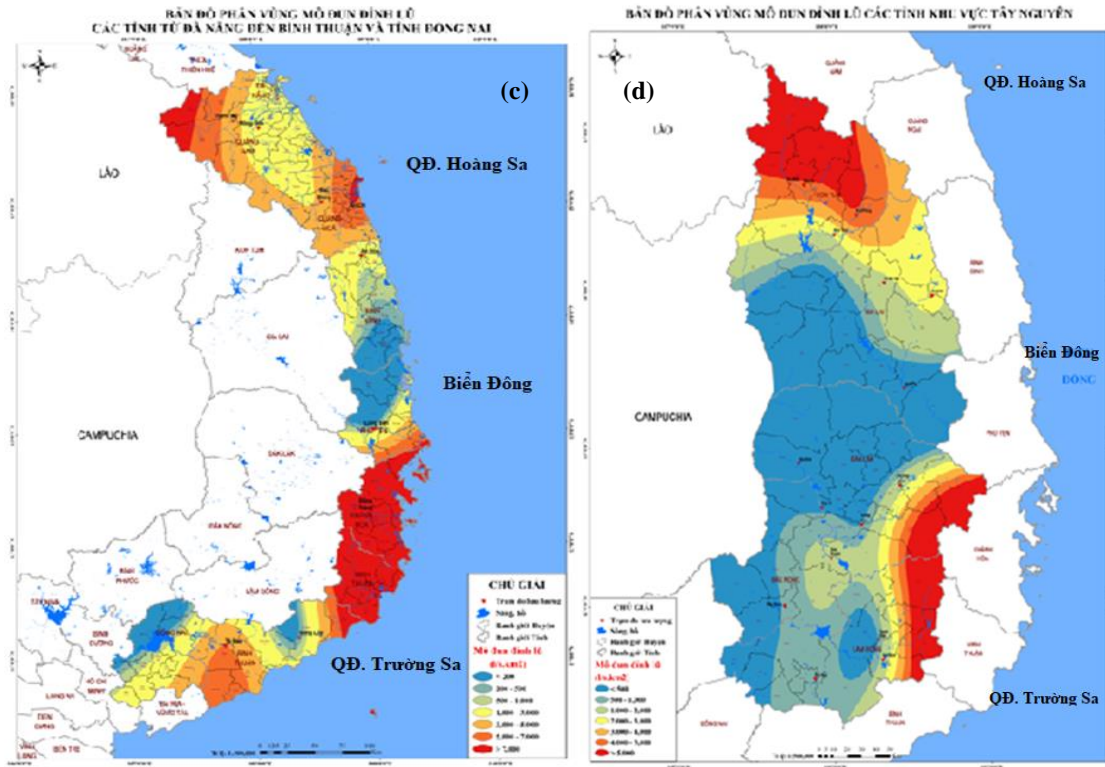
Kết quả phân vùng rủi ro gió mạnh trên biển, (b) sóng lớn, (c) gió mạnh trên biển kết hợp với sóng lớn, (d) triều cường, (e) nước dâng do bão và (f) triều cường kết hợp với nước dâng do bão cho thấy, khu vực biển phía Nam trung Bộ là khu vực có rủi ro gió mạnh sóng

lớn cao, khu vực vịnh Bắc Bộ, Nam Bộ rủi ro do nước dâng do bão và khu vực ven biển Nam Bộ có rủi ro do triều cường cao (Hình 7). Đây là những khu vực ưu tiên để triển khai mạng lưới quan trắc hải văn trong kế hoạch.

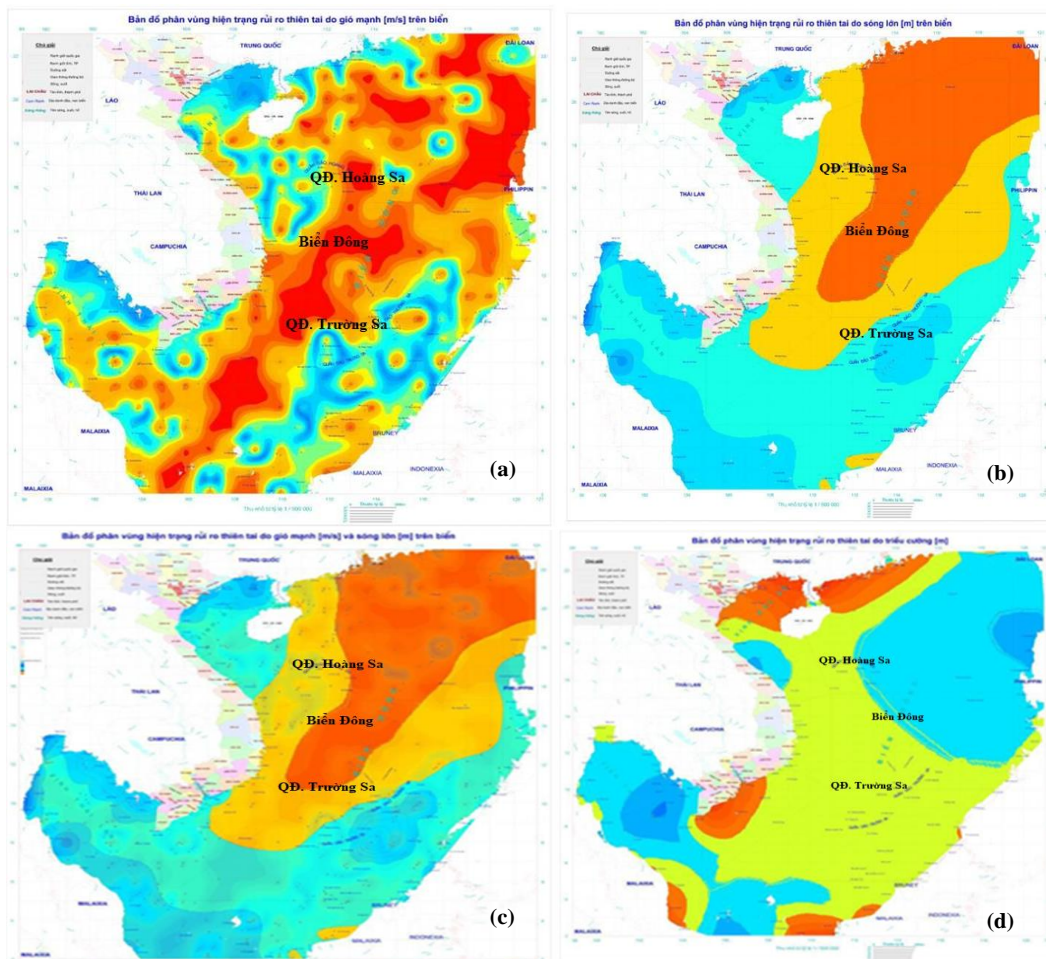


Hình 5. Phân vùng rủi ro thiên tai lũ quét, sạt lở đất (Nguồn: NCHMF).

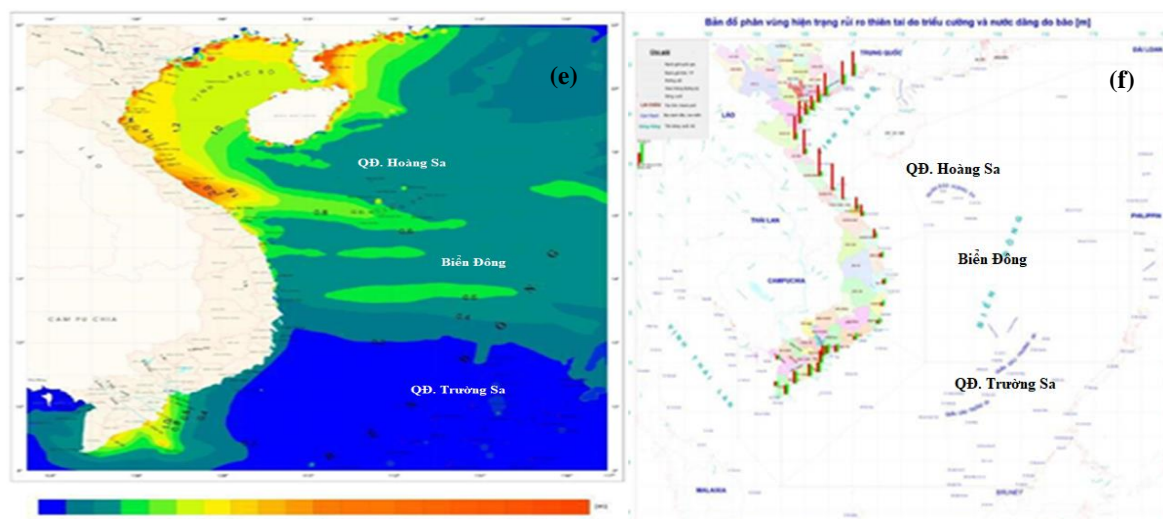




Hình 6. Bản đồ phân vùng hiện trạng rủi ro thiên tai theo đỉnh lũ tỉ lệ 1:500.000 (Nguồn: Báo cáo tổng hợp quy hoạch mạng lưới khí tượng thủy văn quốc gia).



Hình 7. Bản đồ phân vùng hiện trạng rủi ro thiên tai hải văn: (a) Gió mạnh trên biển, (b) Sóng lớn, (c) Gió mạnh trên biển kết hợp với sóng lớn, (d) Triều cường. (Nguồn Đỗ Đình Chiến, Nguyễn Văn Hương).



Hình 7. Bản đồ phân vùng hiện trạng rủi ro thiên tai hải văn: (e) Nước dâng do bão và (f) Triều cường kết hợp với nước dâng do bão tỉ lệ 1:500.000 (Nguồn Đỗ Đình Chiến, Nguyễn Văn Hường).

Bước 3: Xác định mục tiêu, quan điểm, định hướng, giải pháp phù hợp trong bối cảnh BĐKH trên cơ sở sử dụng kết quả giám sát BĐKH để đánh giá tác động của BĐKH

Phân bố mật độ trạm quan trắc trên phạm vi toàn quốc có vai trò quan trọng trong công tác theo dõi, dự báo, cảnh báo thiên tai, đánh giá và giám sát BĐKH. Việc lựa chọn mạng trạm tối ưu đáp ứng được các tiêu chí giám sát BĐKH. Do các yêu cầu nghiêm ngặt về sự ổn định của hành lang kỹ thuật, chất lượng của chuỗi số liệu quan trắc (liên tục, dài, có chất lượng cao). Vì vậy, không thể sử dụng tất cả các trạm trên mạng lưới thực hiện giám sát BĐKH và giám sát mực nước biển dâng, mà chỉ chọn một số trạm đủ tiêu chuẩn đại diện cho các trạm xung quanh trong từng tiểu vùng khí hậu.

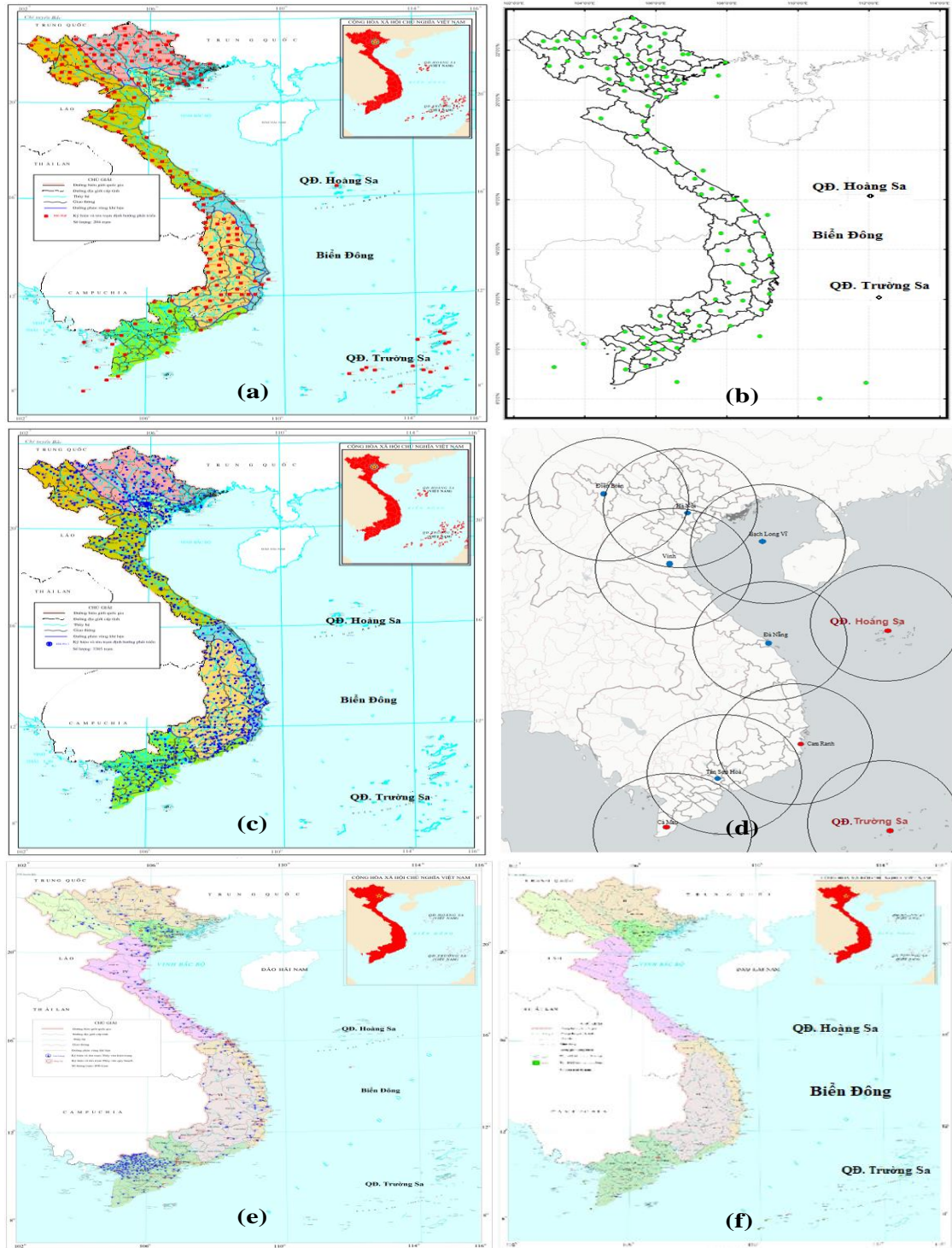
Mục tiêu của mạng lưới là cung cấp số liệu quan trắc đồng nhất về nhiệt độ, lượng mưa, mực nước, mực nước biển từ các trạm chuẩn có thể phát hiện và ghi nhận sự thay đổi khí hậu. Các trạm được lựa chọn phải đáp ứng các điều kiện về tính đại diện cho vùng khí hậu; đảm bảo chất lượng và độ dài số liệu và ít bị ảnh hưởng bởi hoạt động con người. Vì vậy, mật độ phân bố trạm trên cả nước được xác định dựa trên các xu thế BĐKH tại từng khu vực để xây dựng và quy hoạch nhằm đáp ứng được nhu cầu đo đạc, cung cấp thông tin hiệu quả nhất.

BĐKH có tác động bất lợi đến hành lang kỹ thuật công trình khí tượng thủy văn, hạ tầng, cơ sở vật chất kỹ thuật, mưa nhiều kèm theo gió, bão hoặc nắng gắt nhiệt độ tăng cao cũng làm cho vật liệu kiến trúc nhanh xuống cấp, hư hỏng ảnh hưởng đến hệ thống mạng lưới trạm quan trắc Theo TCVN 12635-1:2019 vườn khí tượng phải chọn nơi không bị ngập úng khi mưa lớn hoặc lũ lịch sử; không nằm trong quy hoạch phát triển kinh tế của địa phương; hoạt động ổn định lâu dài (thời gian hoạt động tối thiểu 30 năm đối với công trình thuộc mạng lưới quan trắc quốc gia). Vườn khí tượng cách đường giao thông, hồ ao, sông ngòi, nguồn nhiệt, khu công nghiệp, nhà máy tối thiểu 100 m tính từ tâm vườn quan trắc khí tượng bề mặt. Tuy nhiên trước diễn biến của BĐKH đối với từng khu vực cho thấy. Ở các vùng Bắc Trung Bộ Tây Nguyên, Nam Bộ, Nam Trung Bộ có xu thế tăng 1-4%/thập kỷ. Đặc biệt là tại khu vực Nam Trung Bộ lượng mưa có xu thế tăng 13,48%/ 1 thập kỷ. Lượng mưa tăng vào các mùa dẫn đến xuất hiện hiện tượng ngập úng, diễn biến lũ tại Nam Bộ, Tây Nguyên, Bắc Trung Bộ có diễn biến tăng lên trong 15 năm qua.

Trên cơ sở thông tin về phân vùng rủi ro thiên tai, những tác động của BĐKH đến mạng lưới trạm quan trắc KTTV, mục đích, yêu cầu chỉ đạo, hiện trạng mạng lưới quan trắc mục tiêu của kế hoạch sẽ được đề xuất cụ thể với nội dung bao gồm: Mật độ đối với từng loại trạm ưu tiên triển khai xây dựng tại khu vực rủi ro thiên tai cao, chịu tác động mạnh của BĐKH; nâng cấp, hiện đại hóa, nâng cao năng lực quan trắc tự động.

Bước 4: Xác định các chỉ tiêu của kế hoạch phù hợp trên cơ sở các giải pháp ứng phó với BĐKH

Theo WMO, thiết bị quan trắc khí tượng thủy văn có độ nhạy cảm với môi trường (exposure of instruments) [28], trong trường hợp không quan tâm đến độ nhạy cảm của thiết bị có thể dẫn tới việc lựa chọn thiết bị không phù hợp, việc giảm độ nhạy cảm của thiết bị cũng có thể được thực hiện thông qua các giải pháp công trình phù hợp giúp cho thiết bị hoạt động ổn định, lâu dài. Ví dụ, thiết bị quan trắc mực nước theo công nghệ tiếp xúc có độ nhạy



Hình 8. Bản đồ định hướng phát triển trạm quan trắc khí tượng thủy văn giai đoạn 2021-2030, tầm nhìn 2050 tỉ lệ 1:50.0000: (a) Định hướng phát triển trạm KTBM; (b) Định hướng phát triển trạm KT cơ bản; (c) Định hướng phát triển điểm đo mưa; (d) Định hướng phát triển trạm radar thời tiết; (e) Định hướng phát triển trạm thủy văn; (f) Định hướng phát triển trạm hải văn. (Nguồn Báo cáo tổng hợp quy hoạch mạng lưới khí tượng thủy văn quốc gia).

cảm cao đối với khu vực thường xuyên bị bồi lắng bùn cát, độ nhạy cảm có thể được giảm xuống nếu có giải pháp công trình lắp đặt phù hợp, ngăn cản sự tác động của bùn cát tới thiết bị. Đối với tác động của BĐKH tới mạng lưới quan trắc khí tượng thủy văn được nêu ở trên, các giải pháp ứng phó có thể kể đến các nội dung như tuân thủ nghiêm các tiêu chuẩn, quy chuẩn về xây dựng công trình trạm, ứng dụng các công nghệ quan trắc, truyền tin mới trong mọi điều kiện thời tiết, thiên tai. Chỉ tiêu của kế hoạch có thể được đặt ra ví dụ như đến năm 2030, mạng lưới quan trắc khí tượng thủy văn được tự động hóa lên tới 80%, tuy nhiên, để con số tự động hóa đạt hiệu quả phải có các giải pháp ứng phó (thích ứng) hay chính là giảm độ nhạy cảm của thiết bị trong điều kiện môi trường thay đổi do BĐKH.

Sau khi xác định phân vùng rủi ro thiên tai trên cơ sở thông tin, dữ liệu về kết quả giám sát BĐKH, bản đồ định hướng phát triển mạng lưới quan trắc khí tượng thủy văn quốc gia giai đoạn 2021-2030 tầm nhìn đến 2050 được thành lập. Một số ví dụ về bản đồ định hướng phát triển cho từ loại trạm tại Hình 8.

Bước 5: Đánh giá sự phù hợp, tuân thủ quy định của việc lồng ghép kết quả giám sát BĐKH

Trên cơ sở mục tiêu đặt ra của Quy hoạch mạng lưới khí tượng thủy văn quốc gia, kế hoạch triển khai quy hoạch được xây dựng trên nguyên tắc bám sát mục tiêu, yêu cầu, giải pháp, chỉ đạo của quy hoạch, việc lồng ghép kết quả giám sát BĐKH được thực hiện theo đúng nội dung quy định tại Điều 37 của Luật Khí tượng thủy văn 2015, kết quả đánh giá thông qua việc xác thực các chỉ tiêu cần đảm bảo trong quy trình lồng ghép được đề xuất ở nội dung nghiên cứu trên.

4. Kết luận

Trên cơ sở các quy định của pháp luật về lồng ghép kết quả giám sát BĐKH vào chiến lược, quy hoạch, kế hoạch, qua phân tích cơ sở khoa học, thực tiễn và kinh nghiệm, hướng dẫn lồng ghép BĐKH đã được công bố trong và ngoài nước, nghiên cứu đã xây dựng và đề xuất được 01 quy trình lồng ghép kết quả giám sát BĐKH vào chiến lược, quy hoạch, kế hoạch gồm 05 bước thực hiện, trong đó thông tin, dữ liệu quả giám sát BĐKH được lồng ghép tại bước 2 và bước 3 của quy trình. Ngoài nội dung yêu cầu lồng ghép, quy trình còn đặt ra các chỉ tiêu thực hiện cần đảm bảo trong quá trình lồng ghép. Nghiên cứu cũng đã tiến hành thử nghiệm vào kế hoạch triển khai thực hiện quy hoạch mạng lưới trạm khí tượng thủy văn quốc gia giai đoạn 2021-2030, tầm nhìn đến 2050, kết quả đã sử dụng thông tin, dữ liệu giám sát BĐKH để phân tích, lựa chọn khu vực ưu tiên triển khai trạm quan trắc khí tượng thủy văn cho khu vực rủi ro thiên tai, chịu tác động của BĐKH. Tuy nhiên, để áp dụng quy trình vào chiến lược, quy hoạch, kế hoạch các ngành, lĩnh vực khác cần phải có sự đánh giá, nhận xét của các cấp, các ngành, các cơ quan, tổ chức khoa học trước khi áp dụng vào thực tiễn. Nghiên cứu vẫn còn hạn chế khi chưa tính đến giải pháp tích hợp vào quy trình lồng ghép ứng phó với BĐKH đã được ban hành.

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

Lời cảm ơn: Bài báo hoàn thành nhờ vào kết quả của Đề tài nguyên cứu khoa học, công nghệ cấp Bộ: “Nghiên cứu cơ sở lý luận và thực tiễn đề xuất hoàn thiện chế định giám sát BĐKH phục vụ sửa đổi, bổ sung Luật Khí tượng thủy văn năm 2015”, Mã số TNMT.01.28.

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

Tài liệu tham khảo

1. IPCC, Working Group III: Mitigation of Climate Change, 2007.

2. UNDP. Mainstreaming Climate Change in National Development Processes and UN Country Programming, 2012.
3. EPA. Climate change adaptation action plan, 2021.
4. PIA. Planning in a Changing Climate. Position Statement March 2021.
5. PIANCI. Climate change adaptation planning for ports and inland waterways, 2020. PIANC Report n° 178.
6. Lindgren, J.; Jonsson, D.K.; Carlsson-Kanyama, A. Climate adaptation of railways: Lessons from Sweden. *Eur. J. Transport Infrastruct. Res.* **2009**, 9(2), 164–181.
7. Olhoff, A.; Karen Holm Olsen, K.H. Integrating climate change adaptation in energy planning and decision-making – Key challenges and opportunities. Risø International Energy Conference, 2011.
8. Hess, J.J.; McDowell, J.Z.; Luber, G. Integrating climate change adaptation into public health practice: using adaptive management to increase adaptive capacity and build resilience. *Environ. Health Perspect* **2012**, 120(2), 171–179. Doi: 10.1289/ehp.1103515.
9. ADB. National climate change legal frameworks in Asia and the Pacific, 2020.
10. IMHEN. Tích hợp vấn đề BĐKH vào kế hoạch phát triển kinh tế - xã hội. Nhà xuất bản Tài nguyên - môi trường và bản đồ Việt Nam, 2012.
11. Luật Bảo vệ môi trường năm 2014.
12. Luật Bảo vệ môi trường năm 2020.
13. Luật Khí tượng thủy văn năm 2015.
14. Bộ TNMT. Thông tư số 06/2023/TT-BTNMT ngày 31/7/2023 hướng dẫn lồng ghép nội dung ứng phó với biến đổi khí hậu vào chiến lược, quy hoạch, 2023.
15. Liên, M.K.; Đại, H.V.; Dũng, L.Đ.; Huyền, N.D. Nghiên cứu đề xuất bộ tiêu chí lồng ghép vấn đề biến đổi khí hậu vào chính sách chuyên đổi kinh tế, đảm bảo phát triển bền vững khu vực Nam Trung Bộ. *Tap chí Khí tượng Thủy văn* **2018**, 694, 35–45.
16. Nam, L.H.; Luân, N.V. Nghiên cứu đề xuất lồng ghép biến đổi khí hậu vào quy hoạch, kế hoạch phát triển kinh tế xã hội tỉnh Bình Phước, 2021. Kết quả nghiên cứu khoa học và ứng dụng công nghệ Chuyên đề I, tháng 3 năm 2021.
17. Dũng, N.M. Lồng ghép biến đổi khí hậu vào quy hoạch, kế hoạch phát triển ngành diêm nghiệp. Chuyên đề hội thảo Bộ Nông nghiệp và Phát triển nông thôn, 2020.
18. OECD. Integrating Climate Change Adaptation into Development Co-operation: Policy Guidance, 2009.
19. Quyết định số 158/2008/QĐ-TTg, ngày 02/12/2008 của Thủ tướng Chính phủ Phê duyệt Chương trình mục tiêu quốc gia ứng phó với biến đổi khí hậu, 2008.
20. Reid, H.; Huq, S. Mainstreaming community-based adaptation into national and local planning. *Clim. Dev.* **2014**, 6(4), 291–292.
21. Thaduri, A.; Garmabaki, A.; Kumar, U. Impact of climate change on railway operation and maintenance in Sweden: A State-of-the-art review. *Maint. Reliab. Condition Monit.* **2021**, 1(2), 1–19.
22. UNFCCC. Synthesis report on methods and tools for, and good practices and lessons learned relating to, adaptation planning processes addressing ecosystems, human settlements, water resources and health, and good practices and lessons learned related to processes and structures for linking national and local adaptation planning, FCCC/SBSTA/2014/4, Bonn. 27, 2014.
23. UNDP. Screening Tools and Guidelines to Support the Mainstreaming of Climate Change Adaptation into Development Assistance - A Stocktaking Report. United Nations Development Programme, New York, 2010.
24. UNDP. Mainstreaming Climate Change in National Development Processes and UN Country Programming, 2012.
25. USAID. Adapting to climate variability and change: A guidance manual for

development planning. US Agency for International Development and Stratus Consulting, Washington, 2007.

26. CARE. Integrating Climate Change Adaptation into Development Projects, 2010.

27. Luật Quy hoạch năm 2017.

28. WMO. Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation. No.8 updated. Part II, 2010.

Study on developing and testing a procedure for integrating climate change monitoring results into the national hydrometeorological station network development planning for the period 2021-2030, with a vision to 2050

Nguyen Tran Linh^{1*}, Bui Duc Son¹, Vu Ngoc Linh², Nguyen Nam Duong³

¹ Administration Office; nguyentranlinh99@gmail.com

² Department of hydro-meteorological forecasting management; vungoclinh.vnu@gmail.com

³ Department of Hydro-Meteorological Monitoring Network Management; ngnaduong@gmail.com

Abstract: In parallel with the regulations on integrating the content of response to climate change according to the law on environmental protection, the results of climate change monitoring have also been required by the 2015 Law on Hydrometeorology to be integrated. integrated into strategies, planning, and plans. To comply with the law and ensure the effectiveness of integrating climate change issues, it is necessary to develop implementation guidance procedures. This study used the method of determining the relationship between climate change monitoring results and strategic, planning and planning processes, and at the same time referring to and inheriting related research results, the author team has Proposing a 5-step process for integrating climate change monitoring results into strategies, planning, and experimental applications into the implementation plan for the national hydrometeorological station network for the period 2021-2030, vision to 2050. Testing results show that the process can effectively support the development of a network development plan to ensure the correct goals and requirements of the planning.

Keywords: Climate change monitoring; Integration procedure; Integration of climate change monitoring results.

Bài báo khoa học

Nghiên cứu xây dựng bộ tiêu chí, chỉ số xác định chức năng nguồn nước dựa trên giá trị lợi ích kinh tế và bảo vệ môi trường nước mặt cho lưu vực sông Đồng Nai

Phạm Thị Hương Lan^{1*}, Nguyễn Hoàng Sơn¹, Ngô Khánh Linh¹

¹ Trường Đại học Thủy lợi; lanpth@wru.vn; sonnh@wru.vn; linhnk610@wru.vn

*Tác giả liên hệ: lanpth@wru.vn; Tel.: +84-912537042

Ban Biên tập nhận bài: 12/9/2023; Ngày phản biện xong: 26/10/2023; Ngày đăng bài: 25/11/2023

Tóm tắt: Chức năng nguồn nước và việc phân vùng chức năng nguồn nước được xác định trong quy hoạch tổng hợp lưu vực sông, quy hoạch tỉnh làm cơ sở để thực hiện các biện pháp quản lý, bảo vệ nguồn nước. Việc nghiên cứu phân vùng chức năng nguồn nước chủ yếu dựa theo mục đích sử dụng nước, chưa xem xét đến giá trị lợi ích kinh tế và bảo vệ môi trường. Bài báo sử dụng phương pháp phân tích thứ bậc AHP để lựa chọn bộ tiêu chí tối ưu xác định được chức năng nguồn nước, mục đích sử dụng nước dựa trên giá trị lợi ích kinh tế và bảo vệ môi trường nước mặt, áp dụng cho lưu vực sông Đồng Nai. Số liệu về khí tượng thủy văn, chất lượng nước và hiện trạng khai thác sử dụng nước mặt trên lưu vực được cập nhật đến năm 2022. Kết quả xác định được các chức năng: Cấp nước cho sinh hoạt; cấp nước cho thủy điện; cấp nước cho sản xuất công nghiệp; cấp nước cho du lịch, dịch vụ; cấp nước cho sản xuất nông nghiệp, giao thông thủy và các mục đích khác của 122 đoạn sông, suối trên lưu vực sông Đồng Nai.

Từ khóa: Chức năng nguồn nước; AHP; Lưu vực sông Đồng Nai.

1. Mở đầu

Việc nghiên cứu phân vùng chức năng nguồn nước phục vụ quy hoạch tổng hợp lưu vực sông, quy hoạch tỉnh làm cơ sở để thực hiện các biện pháp quản lý, bảo vệ nguồn nước đang được quan tâm, đặc biệt đối với các lưu vực sông liên tỉnh, trong đó có lưu vực sông Đồng Nai. Phân vùng chức năng cung cấp nước của đoạn sông được xác định dựa trên việc phân vùng chất lượng nước sông theo mục đích sử dụng. Phân vùng chất lượng nước sông theo mục đích sử dụng là việc phân chia sông thành các đoạn theo giá trị về chất lượng nước theo đặc thù riêng của mỗi đoạn sông nhằm khai thác, sử dụng và bảo vệ một cách có hiệu quả. Theo nghiên cứu của [1] thì tổng giá trị kinh tế của nước bao gồm giá trị sử dụng nước trực tiếp (có tiêu thụ và không có tiêu thụ) cộng với giá trị sử dụng gián tiếp cộng với giá trị cơ hội và giá trị phí sử dụng. Các nghiên cứu [1–4] xác định tổng giá trị kinh tế từ các ngành khai thác sử dụng nước bao gồm nông nghiệp, thủy sản, sinh hoạt, công nghiệp, thủy điện, du lịch để xác định giá trị kinh tế của nước là hàm mục tiêu chính, khai thác sử dụng nước cho môi trường, du lịch là hàm mục tiêu ràng buộc. Nghiên cứu [1] chỉ ra giá trị của nước được chia thành ba nhóm như sau: (1) Thị trường nước hoặc các lợi ích có liên quan đến nước; (2) Coi nước là hàng hóa (sản xuất) trung gian; (3) Coi nước là hàng hóa (tiêu dùng) cuối cùng, được sử dụng trực tiếp bởi người sử dụng.

Các nghiên cứu giá trị của nước từ nhu cầu nước có thể kể đến như sau: coi nước sử dụng cho trồng trọt là hàng hóa sản xuất trung gian [1, 5–8]; bao gồm giá trị kinh tế và giá trị nội tại gồm lợi nhuận thực từ việc sử dụng nước hồi quy; lợi nhuận thực từ việc sử dụng nước gián

tiếp [9]; giá trị của nước phụ thuộc vào người sử dụng và cách sử dụng, có tiêu hao và không có tiêu hao [10]; giá trị sử dụng nước cho thủy điện được tính trên chi phí/giá bán điện cho mỗi kwh [3]; giá trị sử dụng nước cho sinh hoạt là hàng hóa tiêu dùng [8, 9]; giá trị sử dụng nước cho công nghiệp dựa vào giá trị sản phẩm công nghiệp [9].

Chi phí cơ hội của nước được sử dụng đảm bảo duy trì sự sống của dòng sông chính là bằng lợi ích dòng sông đem lại bao gồm lợi ích chống lại sự xâm nhập mặn của dòng sông, chống lại ô nhiễm, đem lại mùa màng cho vùng hạ du, lợi ích đem lại do đảm bảo nước cấp cho sinh hoạt, công nghiệp, chống bồi lắng xói lở và suy thoái của lòng sông, cửa sông, duy trì các hoạt động giao thông thủy trên sông. Các chi phí môi trường bao gồm chi phí xử lý nước, chi phí ngăn mặn, và một số chi phí khác. Các chi phí này rất lớn nếu không đảm bảo dòng chảy môi trường. Giá trị của nước sử dụng trong môi trường sinh thái được tính dựa trên trung bình của giá trị ròng tăng thêm trên mỗi đơn vị nước. Giá trị này là tổng giá trị ròng của sản phẩm trên khối lượng nước ngọt sử dụng cho môi trường sinh thái. Nghiên cứu của [12] sử dụng các chỉ số chất lượng nước để phân loại và phân vùng chức năng nguồn nước của sông Ganga.

Các nghiên cứu trong nước liên quan đến phân vùng chức năng nguồn nước có thể kể đến như nghiên cứu [13–14], nghiên cứu này tập trung phân chức năng nguồn nước thành các nhóm: Chức năng cung cấp nước: cho nông nghiệp, sinh hoạt, thủy sản, phát điện, công nghiệp; Chức năng điều hòa: Điều tiết dòng chảy, tiêu thoát nước, tiếp nhận nước thải; Chức năng văn hóa - xã hội: Giải trí, du lịch, tạo môi trường cảnh quan; Chức năng hỗ trợ sinh thái: Cung cấp nguồn dinh dưỡng, phù sa, phục hồi sinh thái, cung cấp nơi cư trú và sinh sản cho các loài thủy sinh. Tuy nhiên, việc nghiên cứu phân vùng chức năng nguồn nước, mục đích sử dụng nước dựa trên lợi ích kinh tế và môi trường chưa được đề cập trong nghiên cứu này. Nghiên cứu của [15] chủ yếu tập trung nghiên cứu giá trị của tài nguyên nước mặt trong phát triển kinh tế - xã hội của Thành phố Hồ Chí Minh, lượng giá kinh tế đối với sử dụng nước cho sinh hoạt, công nghiệp, dịch vụ, tưới, giao thông vận tải thủy và cảnh quan môi trường, làm cơ sở cho việc phân bổ tài nguyên nước. Nghiên cứu của [16] thiết lập mô hình thủy văn - kinh tế phân bổ nước tối ưu lưu vực sông Ba.

Hiện nay các nghiên cứu xác định chức năng cũng như phân vùng chức năng nguồn nước chủ yếu dựa trên phân đoạn sông và hiện trạng cũng như mục đích sử dụng nước mà chưa xem xét kết hợp cả về giá trị lợi ích kinh tế và bảo vệ môi trường của đoạn sông, chưa xem xét đến giá trị kinh tế của nước thay đổi tùy theo đối tượng, thời gian và vị trí sử dụng nước. Ngoài ra, một số giải pháp đề xuất còn định tính mà chưa được định lượng, khiến cho các nhà quản lý khó ra quyết định phù hợp. Thông tin về giá trị kinh tế của nước có thể sẽ rất hữu ích cho việc ra quyết định liên quan đến nhiều khía cạnh của chính sách nước, ví dụ, để đánh giá tính hiệu quả trong việc phát triển và phân bổ tài nguyên nước. Như vậy việc nghiên cứu phân vùng chức năng nguồn nước, mục đích sử dụng nước dựa cần phải dựa trên giá trị lợi ích kinh tế và bảo vệ môi trường nước mặt. Do đó cần sử dụng công nghệ hiện đại, tiên tiến trong phân vùng chức năng nguồn nước, đó là sử dụng mô hình thủy văn - kinh tế - môi trường với quan điểm trọng tâm coi nước có giá trị kinh tế đặc biệt phù hợp trong bối cảnh nguồn nước ngày càng trở nên cạn kiệt và khan hiếm.

Điểm mới trong nghiên cứu là đã ứng dụng thành công mô hình phân tích thứ bậc AHP để lựa chọn bộ tiêu chí tối ưu xác định được chức năng nguồn nước, mục đích sử dụng nước dựa trên giá trị lợi ích kinh tế và bảo vệ môi trường nước mặt đối với từng loại chức năng nguồn nước, theo mục đích sử dụng nước, bảo vệ môi trường để tích hợp các bản đồ, từ đó xây dựng được bản đồ phân vùng chức năng nguồn nước. Bộ tiêu chí được xây dựng là cơ sở phục vụ tốt, mang tính chất định hướng cho công tác quy hoạch tài nguyên nước, áp dụng thử nghiệm cho lưu vực sông Đồng Nai, là một trong những vùng phát triển kinh tế trọng điểm của cả nước.

2. Phương pháp nghiên cứu

2.1. Khu vực nghiên cứu

Lưu vực sông Đồng Nai là một trong những lưu vực sông lớn của Việt Nam giữ vai trò quan trọng trong phát triển kinh tế - xã hội của đất nước (Hình 1). Sông Đồng Nai bắt nguồn từ Cao nguyên Liêng Biăng (Lâm Đồng) chảy qua vùng núi cao nguyên đến hồ Trị An, sau đó chảy ngang qua thành phố Biên Hòa, về thành phố Hồ Chí Minh, đến ngã ba Mũi Đèn Đỏ và hợp lưu với sông Sài Gòn.



Hình 1. Lưu vực sông Đồng Nai.

Tổng diện tích lưu vực tính đến cửa sông 38.600 km², tổng chiều dài sông chính 437 km, độ dốc trung bình của dòng sông là 0,42%. Hạ du sông Đồng Nai - Sài Gòn là địa bàn phát triển mạnh nhất của đất nước với các thành phố lớn: thành phố Hồ Chí Minh, Biên Hòa, Vũng Tàu, Thủ Dầu Một, là nơi có cảng quốc tế và nội địa quan trọng, cũng là khu vực phát triển nền nông nghiệp đa dạng và có tiềm năng lớn. Tổng lượng dòng chảy phân bố không đều theo các tháng trong năm, tổng lượng dòng chảy trong 5 tháng mùa mưa (từ tháng VII - XI) chiếm tới 76% tổng lượng dòng chảy năm, dòng chảy tháng lớn nhất tập trung vào tháng X, chiếm 20% tổng lượng dòng chảy năm. Trong 7 tháng còn lại (từ tháng XII đến tháng VI năm sau) tổng lượng dòng chảy chỉ chiếm 24% tổng lượng dòng chảy năm, tháng có lượng dòng chảy nhỏ nhất thường xuất hiện vào tháng III với tổng lượng dòng chảy chỉ chiếm 1,4 % tổng lượng dòng chảy năm. Mô đun dòng chảy năm trung bình thời kỳ 1985-2021 biến đổi mạnh theo không gian. Lưu vực phụ cận ven biển thuộc hạ lưu sông Đồng Nai có mô đun dòng chảy nhỏ nhất, khoảng 15-20 l/s.km². Khu vực trung lưu sông Đồng Nai, thượng lưu sông La Ngà và thượng lưu và vùng thượng lưu sông Bé có mô đun dòng chảy cao nhất, biến động từ 45-50 l/s.km², tại các khu vực diện tích nhỏ, mô đun dòng chảy có thể trên 55 l/s.km². Vùng hạ du LVS La Ngà, thượng lưu sông Sài Gòn và khu vực sông Đa Nhim là khu vực có mô đun dòng chảy trung bình đạt từ 25-35 l/s.km². Tổng lượng nước mặt cho mục đích khai thác, sử dụng cho sinh hoạt khoảng 4,1 triệu m³/ngày.đêm; cho cấp nước đô thị khoảng 3,4 triệu m³/năm; cấp nước cho nông thôn khoảng 0,67 triệu m³/ngày.đêm; cấp nước cho công nghiệp

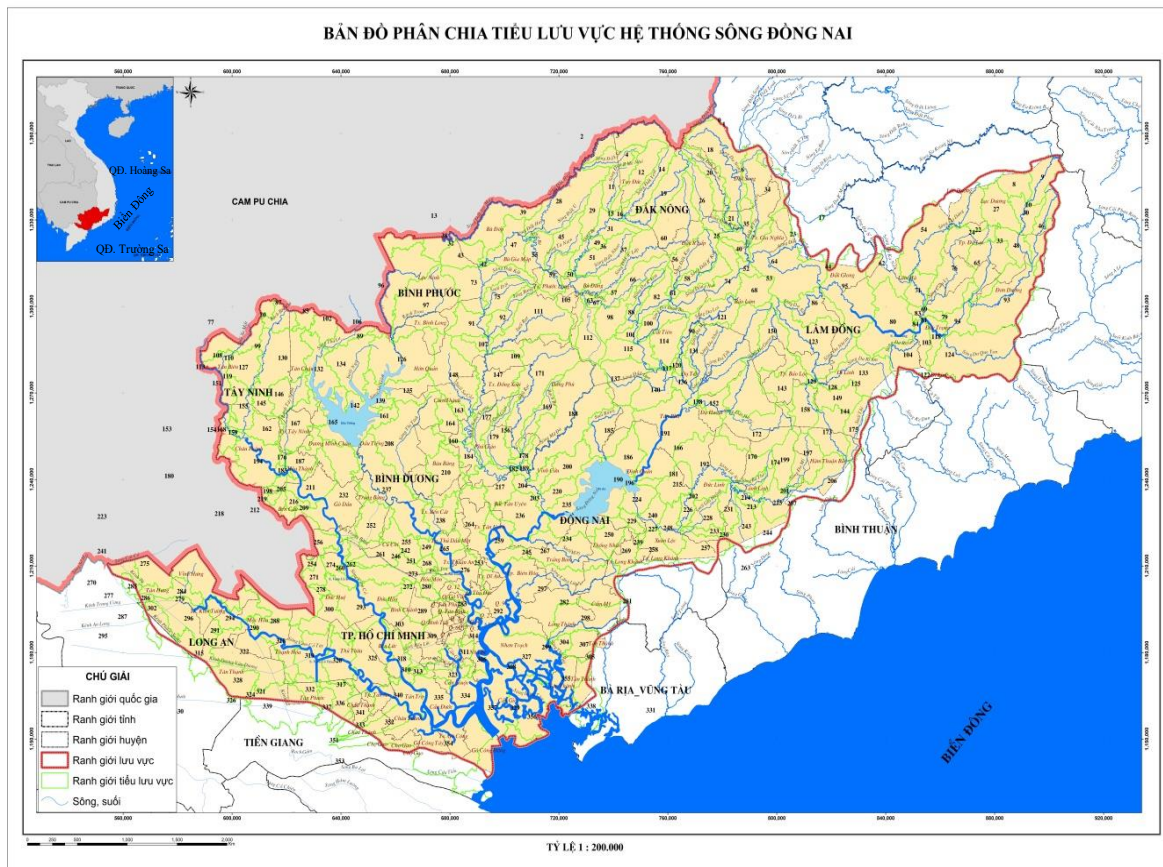
khoảng 5,4 triệu m³/ngày.đêm; cấp nước cho nông nghiệp khoảng 8,7 triệu m³/ngày.đêm. Theo số liệu tính toán năm 2021 nhu cầu sử dụng nước trên lưu vực sông Đồng Nai và vùng phụ cận vào khoảng 10.021,71 triệu m³/năm, trong đó nhu cầu sử dụng nước cho chăn nuôi là 94,53 triệu m³ (chiếm tỷ lệ thấp nhất, chỉ 0,94% so với tổng nhu cầu), cho tưới cây trồng là 4.990,98 triệu m³ (chiếm 49,8%), cho công nghiệp là 3.529,58 triệu m³ (chiếm 35,22%), cho sinh hoạt là 1.027,3 triệu m³ (chiếm 10,25%) và cho thủy sản là 379 triệu m³ (chiếm 3,78%) [17].

2.2. Phương pháp và sơ đồ tiếp cận nghiên cứu

Phương pháp kế thừa, tổng hợp, phân tích tài liệu: Phương pháp này được thực hiện trên cơ sở kế thừa, phân tích và tổng hợp các nguồn tài liệu, tư liệu, số liệu thông tin có liên quan một cách có chọn lọc, từ đó, đánh giá chúng theo yêu cầu và nội dung nghiên cứu. Kế thừa có chọn lọc các kết quả nghiên cứu có liên quan đến cơ sở khoa học và quy trình phân vùng CLN theo mục đích sử dụng trong và ngoài nước.

Phương pháp GIS tích hợp với mô hình SWAT tính toán phân đoạn sông phục vụ phân vùng chức năng nguồn nước. Mô hình SWAT dựa trên các bản đồ số về địa hình (DEM), sông ngòi, đường bao lưu vực để tính toán và chia lưu vực ra thành các vùng hay các lưu vực nhỏ (sub-basin). (Đây là các lưu vực của các nhánh sông chính trong lưu vực nghiên cứu) [18].

Với bộ số liệu sử dụng cho mô hình SWAT được thống kê trong bảng 3, Sau khi nhập vào số liệu bản đồ độ cao số hóa DEM, xác định các thông số thủy văn của lưu vực như là: độ dốc lưu vực, tích lũy dòng chảy, hướng dòng chảy, mạng lưới sông... Sử dụng bản đồ số độ cao (DEM), mạng lưới trạm thủy văn để chia thành các tiểu lưu vực bằng các công cụ của Arcgis. Kết quả phân chia tiểu lưu vực để tính toán xác định phân vùng chức năng nguồn nước trên lưu vực sông Đồng Nai là 122 tiểu lưu vực, cụ thể như hình 2.



Hình 2. Phân chia tiểu lưu vực trong mô hình SWAT cho lưu vực sông Đồng Nai.

Phương pháp mô hình phân tích thứ bậc AHP để lựa chọn bộ tiêu chí tối ưu xác định được chức năng nguồn nước, mục đích sử dụng nước dựa trên giá trị lợi ích kinh tế và bảo vệ môi trường nước mặt: Nghiên cứu sử dụng phương pháp phân tích thứ bậc AHP (*Analytic Hierarchy Process - AHP*) để xác định thứ tự sắp xếp các chức năng nguồn nước cho mỗi tiểu lưu vực hay mỗi đoạn sông. AHP cung cấp cho người ra quyết định một cách tiếp cận trực giác, theo sự phán đoán thông thường để đánh giá sự quan trọng của mỗi thành phần thông qua quá trình so sánh cặp. Theo nghiên cứu của [1] phương pháp AHP thì $A/B > 1$ nếu nhân tố A quan trọng hơn nhân tố B và ngược lại $A/B < 1$ khi A kém quan trọng hơn B. Nếu A và B quan trọng như nhau thì $A/B = 1$. Mức độ quan trọng của A so với B càng tăng khi tỷ số A/B càng lớn. Ngược lại, nếu tỷ số A/B càng nhỏ thì mức độ quan trọng của A so với B càng giảm. Nghiên cứu [1] đưa ra “so sánh cặp thông minh” theo thang tỷ lệ (Bảng 1).

Bảng 1. Bảng so sánh cặp thông minh của AHP.

<< Kém quan trọng hơn				Quan trọng hơn >>				
1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9
Kém quan trọng hơn rất nhiều lần	Kém quan trọng hơn rất nhiều	Kém quan trọng hơn nhiều	Kém quan trọng hơn	Quan trọng bằng nhau	Quan trọng hơn	Quan trọng hơn nhiều	Quan trọng hơn rất nhiều	Quan trọng hơn rất nhiều lần

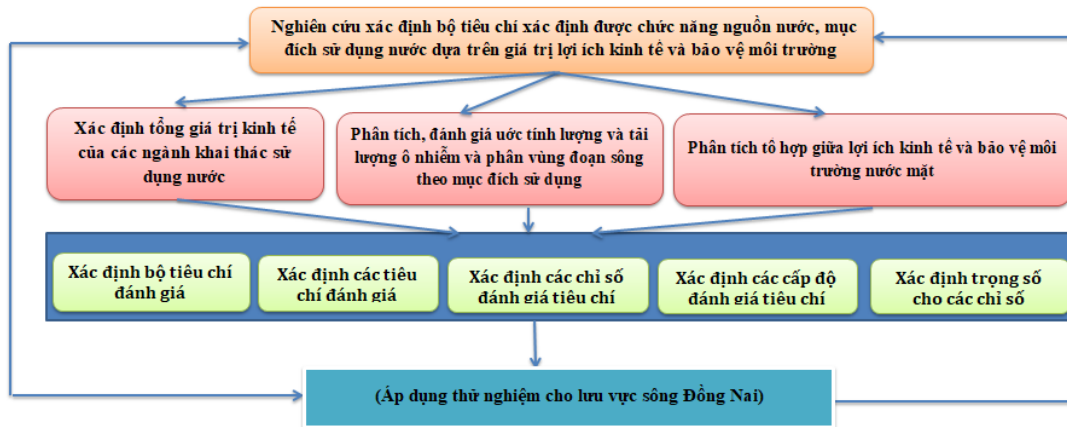
Trên nguyên tắc so sánh nói trên, xây dựng ma trận các cặp so sánh. Và từ ma trận này, theo Vector nguyên lý Eigen tính được một “tập hợp các trọng số phù hợp nhất”. Tính toán trọng số cho từng nhân tố J trong tập hợp nhân tố theo phương pháp sử dụng vector nguyên lý Eigen bằng cách chia từng giá trị trong mỗi cột cho tổng giá trị trong cột đó để thiết lập ma trận, giá trị trung bình trên mỗi hàng của ma trận chính là trọng số của các yếu tố tác động có giá trị từ 0 đến 1. Phương pháp “So sánh cặp thông minh” có thể phân tích rõ qua ví dụ sau đây (5 yếu tố với các điểm tương ứng 1, 3, 5, 7, 9): Cho các nhân tố tác động phát sinh tại biển: A, B, C, D, E và xây dựng ma trận so sánh cặp thông minh như bảng 2.

Bảng 1. Ma trận so sánh các yếu tố.

Các nhân tố	A(1)	B(3)	C(5)	D(7)	E(9)
A(1)	1	3	5	7	9
B(3)	1/3	1	1.67	2.33	3
C(5)	1/5	1/3	1	1.4	1.80
D(7)	1/7	1/5	1/3	1	1.29
E(9)	1/9	1/7	1/5	1/3	1

Tính toán vector nguyên lý eigen bằng cách chia giá trị của cột cho tổng giá trị của tỉ số trong cột này. Kết quả được ma trận với giá trị mới nằm trong khoảng giá trị 0 và 1 khi tổng của các giá trị theo cột bằng 1. Giá trị trung bình của dòng trong ma trận này tương ứng với trọng số cho tiêu chuẩn đó [1]. Dựa theo ma trận này, với phương pháp tính trọng số của Jones [4] tính được tổ hợp các trọng số phù hợp sau: $A = 0,59$; $B = 0,20$; $C = 0,11$; $D = 0,07$; $E = 0,04$.

So sánh các tiêu chí theo từng cặp, mức độ quan trọng của các cặp tiêu chí. Các mức độ ưu tiên (các giá trị a_{ij} , với i chạy theo hàng, j chạy theo cột) theo cặp của các tiêu chí có các giá trị nguyên dương từ 1 đến 9 hoặc nghịch đảo của các số này, ta được ma trận vuông ($n \times n$) như Bảng 2. Hệ số của ma trận được lấy từ điểm số của việc so sánh cặp giữa các thành phần, yếu tố hay các tiêu chí. Thông qua ý kiến chuyên gia xác định được giá trị so sánh cặp, do đó giá trị hệ số ma trận tương quan phụ thuộc vào tính chủ quan của các chuyên gia trong việc định lượng trọng số cho các mục tiêu. Sơ đồ phương pháp luận giải quyết bài toán được trình bày trên hình 3.



Hình 3. Sơ đồ cấu trúc nghiên cứu.

2.3. Dữ liệu sử dụng trong nghiên cứu

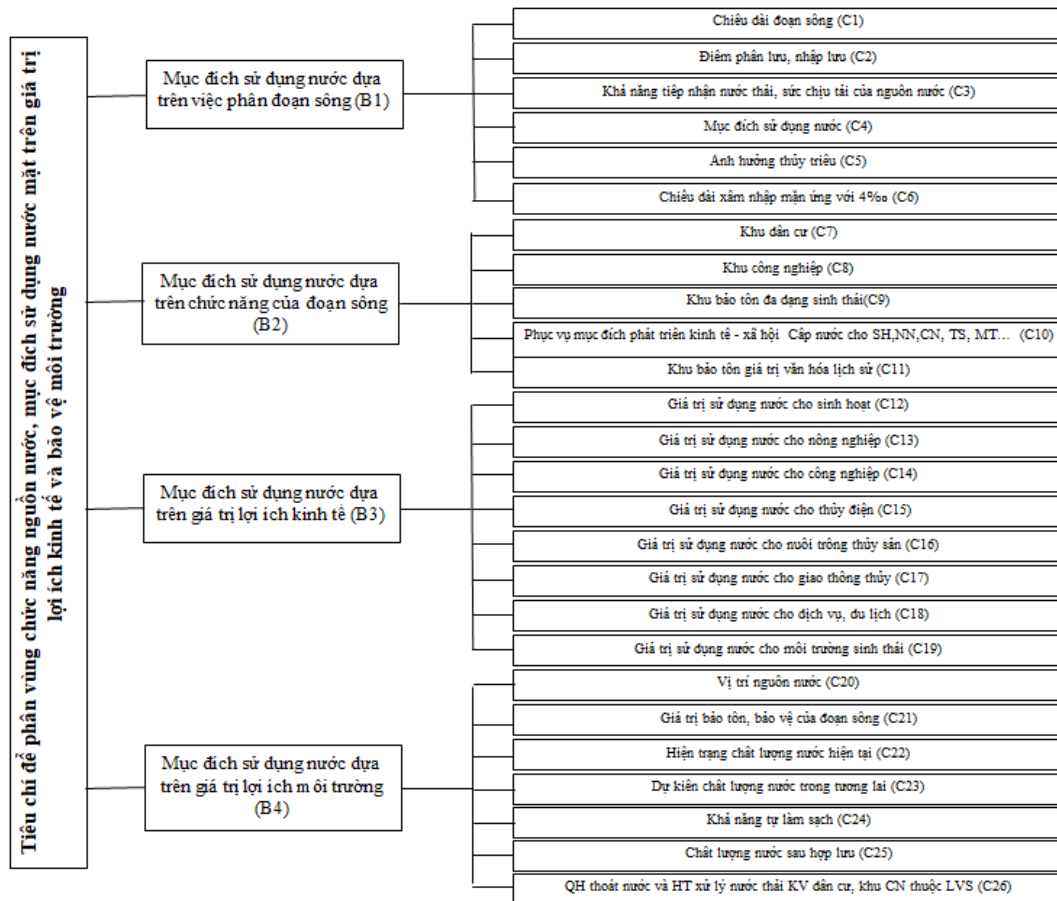
Các loại dữ liệu đầu vào và nguồn thu thập dữ liệu được thể hiện tại Bảng 1. Các bản đồ sử dụng đất năm 2019, bản đồ thổ nhưỡng, bản đồ DEM kích thước ô lưới 30m×30m được sử dụng để tính toán.

Bảng 3. Các loại dữ liệu cần thiết để phục vụ phân vùng chức năng nguồn nước.

TT	Loại dữ liệu	Nguồn dữ liệu
A	Dữ liệu không gian (dưới dạng bản đồ số)	
1	Bản đồ số hóa độ cao DEM lưu vực sông Đồng Nai	Dữ liệu mô hình độ cao số (Digital Elevation model-DEM) với độ phân giải 30m × 30m. (https://earthexplorer.usgs.gov/).
2	Bản đồ hiện trạng sử dụng đất năm 2019 tại các tỉnh thuộc lưu vực sông Đồng Nai, tỷ lệ 1:100.000 - 1:200.000	Các Sở Tài nguyên và Môi trường của các tỉnh thuộc lưu vực sông Đồng Nai, Quy hoạch tài nguyên nước lưu vực sông Đồng Nai, Cục đo đạc bản đồ.
3	Bản đồ thổ nhưỡng lưu vực sông Đồng Nai tỷ lệ 1:200.000	Các Sở Tài nguyên và Môi trường của các tỉnh thuộc lưu vực sông Đồng Nai, Quy hoạch tài nguyên nước lưu vực sông Đồng Nai, Cục đo đạc bản đồ.
4	Bản đồ thể hiện mạng lưới sông suối, trạm đo khí tượng thủy văn, hồ chứa trên lưu vực sông Đồng Nai tỷ lệ 1:100.000	Các Sở Tài nguyên và Môi trường của các tỉnh thuộc lưu vực sông Đồng Nai, Quy hoạch tài nguyên nước lưu vực sông Đồng Nai, Cục đo đạc bản đồ.
5	Tài liệu về số liệu quan trắc chất lượng nước từ các đề tài dự án, từ số liệu quan trắc môi trường hàng năm vùng lưu vực sông Đồng Nai	Chi cục bảo vệ môi trường các tỉnh thuộc lưu vực sông Đồng Nai.
6	Tài liệu về hiện trạng khai thác sử dụng nước mặt trên vùng lưu vực sông Đồng Nai.	Sở Tài nguyên và Môi trường của các tỉnh thuộc lưu vực sông Đồng Nai.
7	Chi phí nước sạch (giá dịch vụ nước sạch hiện nay) của các tỉnh thuộc lưu vực sông Đồng Nai	Các công ty cấp nước của các tỉnh thuộc lưu vực sông Đồng Nai.
8	Giá bán nông sản, chi phí vật tư nông nghiệp phục vụ sản xuất nông nghiệp: khối lượng phân đạm, giá phân đạm, lân, kali....	Tham khảo giá thị trường
9	Thuế phí bảo vệ môi trường đối với nước thải	Tham khảo giá thị trường

2.4. Xác định bộ tiêu chí, chỉ số xác định chức năng nguồn nước dựa trên giá trị lợi ích kinh tế và bảo vệ môi trường nước mặt

Dựa trên nhóm tiêu chí về nguồn nước, mục đích sử dụng nước dựa trên chức năng của đoạn sông, giá trị kinh tế của nước và giá trị bảo vệ môi trường, xây dựng khung tiêu chí đánh giá xác định chức năng nguồn nước dựa trên giá trị lợi ích kinh tế và bảo vệ môi trường nước mặt (Hình 4).



Hình 4. Bộ tiêu chí phân vùng chức năng nguồn nước, mục đích sử dụng nước dựa trên giá trị lợi ích kinh tế và bảo vệ môi trường.

3. Kết quả và thảo luận

3.1. Xác định và tính trọng số các yếu tố

a) Xây dựng ma trận mức độ quan trọng giữa các yếu tố

Xây dựng ma trận mức độ quan trọng đối với các yếu tố ảnh hưởng để xác định được trọng số W cho từng yếu tố ảnh hưởng hay mức độ quan trọng của các yếu tố. Dựa trên ý kiến chuyên gia, xác định được mức độ quan trọng giữa các cặp yếu tố và được kiểm chứng lại từ số liệu, tài liệu thực tế. Kết quả tính ma trận mức độ quan trọng đối với các yếu tố (Bảng 4).

Bảng 4. Ma trận mức độ quan trọng đối với các yếu tố [A].

STT	Yếu tố	Mục đích sử dụng nước dựa trên việc phân đoạn sông	Mục đích sử dụng nước dựa trên chức năng của đoạn sông	Mục đích sử dụng nước dựa trên giá trị lợi ích kinh tế	Mục đích sử dụng nước dựa trên giá trị lợi ích môi trường
1	Mục đích sử dụng nước dựa trên việc phân đoạn sông	1,00	1,50	0,67	0,75
2	Mục đích sử dụng nước dựa trên chức năng của đoạn sông	0,67	1,00	0,33	0,75
3	Mục đích sử dụng nước dựa trên giá trị lợi ích kinh tế	1,50	3,00	1,00	1,33
4	Mục đích sử dụng nước dựa trên giá trị lợi ích môi trường	1,33	1,33	0,75	1,00
Tổng		4,50	6,83	2,75	3,83

b) Xác định trọng số cho từng yếu tố

Trên cơ sở mức độ quan trọng của các yếu tố sẽ tính được trọng số. Kết quả xác định trọng số được thể hiện ở bảng 5.

Bảng 5. Ma trận biến đổi và trọng số [B].

TT	Yếu tố	Mục đích sử dụng nước dựa trên việc phân đoạn sông	Mục đích sử dụng nước dựa trên chức năng của đoạn sông	Mục đích sử dụng nước dựa trên giá trị lợi ích kinh tế	Mục đích sử dụng nước dựa trên giá trị lợi ích môi trường	Trọng số W [B]
1	Mục đích sử dụng nước dựa trên việc phân đoạn sông	0,22	0,22	0,24	0,20	0,220
2	Mục đích sử dụng nước dựa trên chức năng của đoạn sông	0,15	0,15	0,12	0,20	0,153
3	Mục đích sử dụng nước dựa trên giá trị lợi ích kinh tế	0,33	0,44	0,36	0,35	0,371
4	Mục đích sử dụng nước dựa trên giá trị lợi ích môi trường	0,30	0,20	0,27	0,26	0,256
Tổng		1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

c) Kiểm tra tính phù hợp của trọng số

Để kiểm tra tính phù hợp của trọng số được xác định bằng vector tổng trọng số và vector nhất quán. Vector trọng số là ma trận [C] được tính bằng $[C] = [A] \times [B]$.

Bảng 6. Vector trọng số [C] xác định theo các yếu tố,

	Vector trọng số	$[C]=[A] \times [B]$
1	Mục đích sử dụng nước dựa trên việc phân đoạn sông	0,89
2	Mục đích sử dụng nước dựa trên chức năng của đoạn sông	0,62
3	Mục đích sử dụng nước dựa trên giá trị lợi ích kinh tế	1,50
4	Mục đích sử dụng nước dựa trên giá trị lợi ích môi trường	1,03

- Vector nhất quán [D] được tính theo công thức $[D] = [C] / [B]$.

Bảng 7. Vector nhất quán [D] được xác định theo các yếu tố.

	Vector nhất quán	$[D]=[C]/[B]$
1	Mục đích sử dụng nước dựa trên việc phân đoạn sông	4,04
2	Mục đích sử dụng nước dựa trên chức năng của đoạn sông	4,03
3	Mục đích sử dụng nước dựa trên giá trị lợi ích kinh tế	4,05
4	Mục đích sử dụng nước dựa trên giá trị lợi ích môi trường	4,03

- Chỉ số nhất quán $CI = 0,01$

- RI là chỉ số ngẫu nhiên ứng với 9 yếu tố, tra bảng $RI = 1,45$

- Tỉ số nhất quán $CR = 0,08 \leq 0,1$

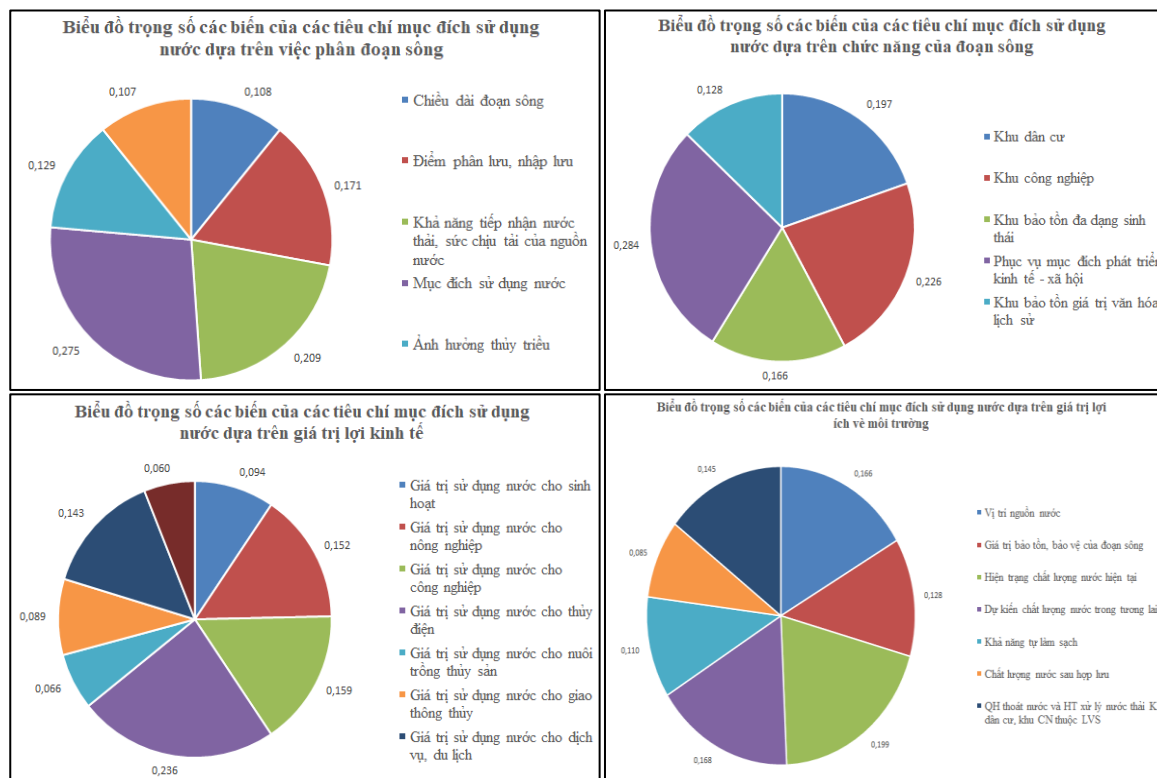
d) Đánh giá thang điểm cho từng chỉ số

Trên cơ sở ý kiến của các chuyên gia, thông qua hội thảo và dựa vào tình hình số liệu, khả năng áp dụng của mô hình và các tiêu chí đã được xác định ở trên, đề xuất thang điểm (10 điểm) của từng chỉ số.

e) Kết quả đánh giá dựa trên các chỉ tiêu đánh giá phân vùng chức năng nguồn nước trên lưu vực sông Đồng Nai.

Sau khi tính toán được giá trị của các chỉ số thành phần của các bộ tiêu chí, để tính được chỉ số trên lưu vực sông Đồng Nai của nhóm các chỉ tiêu thành phần, ta cần xác định được

trọng số cho từng chỉ số thành phần sao cho tổng trọng số của các chỉ số thành phần này bằng 1 (100%). Sử dụng phương pháp tính toán trọng số AHP như trình bày ở trên, tiến hành thiết lập các ma trận so sánh, đánh giá tính nhất quán của các điểm số đánh giá của các chuyên gia thông qua chỉ số CR ($CR < 10\%$) và tính toán xác định được trọng số của các thành phần của các biến, tiêu chí và khía cạnh cụ thể kết quả tính toán thể hiện ở các biểu đồ và trọng số của các khía cạnh đối với chỉ số tổng hợp của lưu vực sông Đồng Nai thể hiện ở các hình 5.



Hình 5. Biểu đồ trọng số các biến của các tiêu chí mục đích sử dụng nước dựa trên việc phân đoạn sông, chức năng của đoạn sông, giá trị lợi ích kinh tế, giá trị lợi ích môi trường.

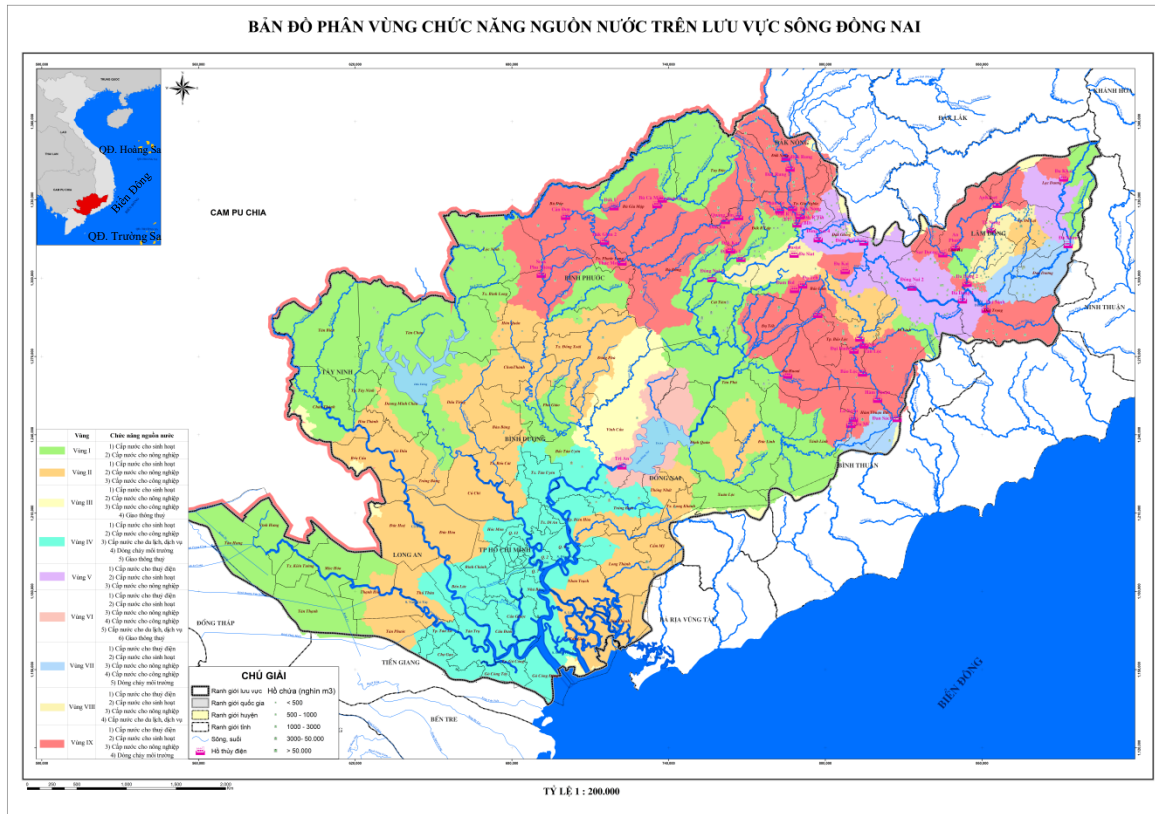
3.2. Xác định phân vùng chức năng nguồn nước trên lưu vực sông Đồng Nai

Dựa trên kết quả tính toán đánh giá hiện trạng nguồn nước về mặt số lượng, chất lượng, nhu cầu sử dụng nước, hiện trạng xả thải vào nguồn nước, xác định giá trị sử dụng nước cho các ngành khai thác sử dụng nước khác nhau, căn cứ trọng số của từng chỉ số xác định được chức năng nguồn nước dựa trên giá trị lợi ích kinh tế và bảo vệ môi trường nước mặt cho lưu vực sông Đồng Nai, kết quả thể hiện trong hình 6 [19].

4. Kết luận

Kết quả nghiên cứu cho thấy với cách tiếp cận sử dụng mô hình SWAT kết hợp với phương pháp phân tích thứ bậc AHP, đóng góp ý kiến của các chuyên gia đã xác định được bộ tiêu chí, chỉ số xác định chức năng nguồn nước dựa trên giá trị lợi ích kinh tế và bảo vệ môi trường nước mặt, áp dụng cho lưu vực sông Đồng Nai. Kết quả xác định được chức năng nguồn nước cho 122 đoạn sông với các chức năng cơ bản: (1) Cấp nước cho sinh hoạt; (2) Cấp nước cho thủy điện; (3) Cấp nước cho sản xuất công nghiệp; (4) Cấp nước cho du lịch, dịch vụ; (5) Cấp nước cho sản xuất nông nghiệp. Các chức năng đó được thay đổi tùy theo mục đích sử dụng và giá trị kinh tế nước của từng đoạn sông. Khi nhu cầu thực tiễn trong quy hoạch lưu vực sông cần chi tiết, có thể chia nhỏ hơn với công cụ hỗ trợ trong mô hình SWAT phân chia các tiểu lưu vực, áp dụng bộ tiêu chí nêu trên, có thể phân vùng chức năng nguồn nước một cách chi tiết hơn. Việc áp dụng phương pháp phân tích thứ bậc AHP cho lưu vực

sông liên quốc gia sẽ còn có nhiều hạn chế do không có đầy đủ thông tin của lưu vực ở ngoài lãnh thổ Việt Nam.



Hình 6. Bản đồ phân vùng chức năng nguồn nước lưu vực sông Đồng Nai.

Đóng góp của tác giả: Xây dựng ý tưởng nghiên cứu: P.T.H.L.; Lựa chọn phương pháp nghiên cứu: P.T.H.L.; Xử lý số liệu: N.H.S.; Xác định tiêu chí: P.T.H.L., N.H.S.; Viết bản thảo bài báo: P.T.H.L.; N.H.S.; Chỉnh sửa bài báo: P.T.H.L.

Lời cảm ơn: Nghiên cứu này được thực hiện dưới sự tài trợ của đề tài nghiên cứu khoa học cấp Bộ Tài nguyên và Môi trường năm 2022 “Nghiên cứu phân vùng chức năng nguồn nước, mục đích sử dụng nước dựa trên giá trị lợi ích kinh tế và bảo vệ môi trường nước mặt”. Tập thể tác giả trân trọng cảm ơn sự giúp đỡ của Vụ Khoa học Công nghệ, Cục Quản lý Tài nguyên nước, Trung tâm Giám sát tài nguyên nước và Hỗ trợ phát triển lưu vực sông, Cục quản lý Tài nguyên nước trong quá trình thực hiện nghiên cứu này.

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

Tài liệu tham khảo

1. Agudelo, J.I. The Economic Valuation of Water: Principles and methods. IHE Delft, Value of Water Research Report Series No. 5, 2001.
2. Turner, K.R.; Fao, R.; Georgiou, S.G.; Clark, R.; Brouwer, R.; Burke, J.J. Economic valuation of water resources in agriculture. From the sectoral to a functional perspective of natural resource management. 2004.
3. WBCSD Water. Business guide to water valuation. 2013. Online available: www.wbcds.org.

4. MRC. The MRC basin development plan: Economic valuation of water resources (RAM Applications). 2005.
5. GWP. TAC Background Paper No. 4: Integrated Water Resources Management. 2000.
6. Khiêm, Đ.V.; Hòa, B.T.T.; Ngân, Đ.T. Tính toán cầu và giá trị kinh tế của nước tưới. *Tap chí Khoa học Kỹ thuật Thủy lợi và Môi trường* **2009**, 26, 55–60.
7. Ringler, C. Optimal Water Allocation in the Mekong River Basin. Bonn, Germany, 2001.
8. Claudia, R.; Huy, N.V.; Siwa, M. Water allocation policy modeling for the Dong Nai river basin: an integrated perspective. *J. Am. Water Resour. Assoc.* **2006**, 42(6), 1465–1482.
9. Nghĩa, T.T.; Nam, L.H.; Thủy, N.T.; Xuân, Q.T.; Tú, P.T.; Thắng, Đ.X. Ứng dụng công nghệ GAMS vận hành phân bổ tối ưu nguồn nước vùng Thượng du sông Thái Bình. *Nông nghiệp và phát triển nông thôn* **2006**, 1(7), 48–52.
10. Cai, X. Implementation of holistic water resources-economic optimization models for river basin management - Reflective experiences. *Environ. Modell. Software* **2008**, 23, 2–18.
11. Arbues, F.; Garcia-Valinas, M.A.; Martinez-Espineira, R. Estimation of residential water demand: a state-of-the-art review. *J. Socio-economics* **2003**, 32, 81–102.
12. Bhargava, D.S. Use of water quality index for river classification and zoning of Ganga river. *Environ. Pollut. Series B, Chem. Phys.* **1983**, 6, 51–67.
13. Fang, Q.; Zhang, L.; Hong, H.; Zhang, L.; Bristow, F. Ecological function zoning for environmental planning at different levels. *Environ. Dev. Sustainability* **2008**, 10, 41–49.
14. Giang Thanh Bình, G.T. Nghiên cứu phân vùng chức năng nguồn nước trên các lưu vực sông. Đề tài cấp bộ năm 2015.
15. Hùng, N.T.; Anh, T.N.P.; Nguyễn Thị Cẩm Hằng, N.T.C. Giá trị của tài nguyên nước mặt trong phát triển kinh tế - xã hội của Thành phố Hồ Chí Minh. *Tap chí phát triển khoa học và công nghệ* **2018**, 57(2), 57–67.
16. Nga, N.T.T. Nghiên cứu thiết lập mô hình thủy văn - kinh tế phân bổ nước tối ưu lưu vực sông Ba. Luận án tiến sỹ kỹ thuật, 2017.
17. Cục Quản lý Tài nguyên nước. Báo cáo tổng hợp quy hoạch tài nguyên nước lưu vực sông Đồng Nai, 2023.
18. Ougahi, J.H.; Karim, S.; Mahmood, S.A. Application of the SWAT model to assess climate and land use/cover change impacts on water balance components of the Kabul River Basin, Afghanistan, 2022.
19. Báo cáo kết quả nghiên cứu đề tài: Nghiên cứu phân vùng chức năng nguồn nước, mục đích sử dụng nước dựa trên giá trị lợi ích kinh tế và bảo vệ môi trường nước mặt, thực hiện năm 2022-2023.

Research to develop a set of criteria and indicators to determine water resource functions based on the value of economic benefits and protection of surface water environment for the Dong Nai river basin

Pham Thi Huong Lan^{1*}, Nguyen Hoang Son¹, Ngo Khanh Linh¹

¹ Thuyloi University; lanpth@wru.vn; sonnh@wru.vn; linhnk610@wru.vn

Abstract: Water source functions and zoning of water source functions are determined in the general river basin planning and provincial planning as a basis for implementing measures to manage and protect water resources. The study of functional zoning of water resources is mainly based on the purpose of water use, without considering the value of economic benefits and environmental protection. This article introduces the AHP hierarchical analysis method to select the optimal set of criteria to determine water source functions and water use purposes based on the value of economic benefits and surface water environmental protection, applying for Dong Nai river basin. The results identified the following functions: Water supply for daily life; Water supply for hydropower; Water supply for industrial production; Water supply for tourism and services; Water supply for agricultural production, navigation and other purposes of 122 river and stream sections in the Dong Nai river basin.

Keywords: Water resource function; AHP; Dong Nai river basin.

Table of content

- 1** Thu, N.V.; Hoa, B.T.K.; Cuong, N.M.; Thuat, H.T.T.; Anh, N.T.H. Quantitative Estimating Precipitation using Himawari-8 satellite data based on the Random Forest machine learning. *J. Hydro-Meteorol.* **2023**, 755, 1–12.
- 13** Khuyen, N.H.; Nu, N.T.; Son, B.T. Analysis the possibility of destabilization of the Tien River bank line through Cai Be district, Tien Giang Province. *J. Hydro-Meteorol.* **2023**, 755, 13–24.
- 25** Nguyet, V.T.M.; Anh, D.T. Application salt dilution method for streamflow measurement in mountain areas of North Vietnam. *J. Hydro-Meteorol.* **2023**, 755, 25–34.
- 35** Think, N.N.; Bay, N.T. Research to determine the coastal wave field in the Bai Dai – Cam Ranh area using mathematical models. *J. Hydro-Meteorol.* **2023**, 755, 35–43.
- 44** Hue, V.H. Research, evaluate and propose solutions to prevent erosions on Ben Tre River banks. *J. Hydro-Meteorol.* **2023**, 755, 44–62.
- 63** Trang, N.T.Q.; Hoa, N.T. Research to determine As(III), As(V) content in road dust near concrete mixing plant in Ho Chi Minh City by liquid-liquid extraction method based on complex formation mechanism with APDC reagent. *J. Hydro-Meteorol.* **2023**, 755, 63–73.
- 74** Linh, N.T.; Son, B.D.; Linh, V.N.; Duong, N.N. Study on developing and testing a procedure for integrating climate change monitoring results into the national hydrometeorological station network development planning for the period 2021-2030, with a vision to 2050. *J. Hydro-Meteorol.* **2023**, 755, 74–87.
- 88** Lan, P.T.H.; Son, N.H.; Linh, N.K. Research to develop a set of criteria and indicators to determine water resource functions based on the value of economic benefits and protection of surface water environment for the Dong Nai River basin. *J. Hydro-Meteorol.* **2023**, 753, 88–99.