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 763
07-2024

Q. TỔNG BIÊN TẬP
PGS. TS. Đoàn Quang Trí

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

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

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

Chế bản và In tại:
Công ty Cổ Phần In và Thương Mại Hà Thành Thăng Long
ĐT: 0243.2022639

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

Giá bán: 40.000 đồng

TẠP CHÍ KHÍ TƯỢNG THỦY VĂN
SỐ 763 - 7/2024

MỤC LỤC

Bài báo khoa học

1 **Nguyễn Thị Bích Hạnh, Văn Hữu Tập, Đặng Văn Minh, Tạ Minh Phương**: Ảnh hưởng của một số yếu tố môi trường đến khả năng cố định đồng thời Pb, Cd và Cr trong đất ô nhiễm bằng vật liệu Mg/Al LDH-zeolite

13 **Dương Hồng Sơn, Bùi Huyền Linh, Nguyễn Anh Đức, Trần Anh Phương**: Nghiên cứu đánh giá tác động kép của biến đổi khí hậu và các phát triển thượng nguồn đến xâm nhập mặn vùng Đồng bằng sông Cửu Long

24 **Trịnh Minh Ngọc, Đặng Đình Khá, Ngô Chí Tuấn, Nguyễn Ý Như**: Đánh giá chất lượng mưa vệ tinh CMORPH trên lưu vực sông Lam

35 **Đoàn Quang Trí, Nguyễn Văn Nhật, Quách Thị Thanh Tuyết**: Ứng dụng phương pháp AHP và công nghệ GIS xây dựng bản đồ phân vùng nguy cơ sạt lở bờ sông khu vực bán đảo Cà Mau

48 **Lê Thị Huệ, Đào Tiến Đạt, Đinh Thị Hương Thơm, Phạm Thị Diệu Thúy, Nguyễn Thu Lan, Đỗ Thị Ngọc Hoa, Vũ Thị Thanh Huyền**: Ứng dụng mưa dự báo từ mô hình WRF3KM-IFS-DA nâng cao hiệu quả dự báo cảnh báo ngập lụt đô thị

66 **Trần Ngọc Trâm Anh, Lê Trọng Diệu Hiền**: Sử dụng viễn thám ước tính nồng độ NO_3^- của hồ Trị An, tỉnh Đồng Nai

78 **Hồ Minh Dũng, Trương Công An, Nguyễn Thoại Tâm**: Nghiên cứu quản lý chất lượng không khí bằng công cụ mô hình tại khu công nghiệp Phú Mỹ 2 và Phú Mỹ 2 mở rộng, tỉnh Bà Rịa - Vũng Tàu

92 **Bùi Vinh Hậu, Trần Thị Hồng Minh, Trần Thanh Hải, Ngô Thị Kim Chi, Phan Văn Bình, Vũ Anh Đạo, Trần Quang Tuấn, Bùi Thị Thu Hiền**: Hoạt động kiến tạo hiện đại trong khu vực dòng chảy Sông Tiền và Sông Hậu, mối quan hệ với hiện tượng xói lở bờ sông

TẠP CHÍ
KHÍ TƯỢNG THỦY VĂN

Check for updates

Bài báo khoa học

Ảnh hưởng của một số yếu tố môi trường đến khả năng cố định đồng thời Pb, Cd và Cr trong đất ô nhiễm bằng vật liệu Mg/Al LDH-zeolite

Nguyễn Thị Bích Hạnh[1,3], Văn Hữu Tập[2]*, Đặng Văn Minh[3], Tạ Minh Phương[4]

[1] Khoa Tài nguyên và Môi trường, Trường Đại học Khoa học, Đại học Thái Nguyên; hanhntb@tnus.edu.vn
[2] Trung tâm Phát triển Công nghệ mới, Đại học Thái Nguyên; vanhuutap@tnu.edu.vn
[3] Khoa Môi trường, Trường Đại học Nông lâm, Đại học Thái Nguyên; hanhntb@tnus.edu.vn; minhdv@tnu.edu.vn
[4] Trường Đại học Thủy Lợi; taminhphuong@tlu.edu.vn

*Tác giả liên hệ: vanhuutap@tnu.edu.vn; Tel.: +84–983465086

Ban Biên tập nhận bài: 10/2/2024; Ngày phản biện xong: 15/3/2024; Ngày đăng bài: 25/6/2024

Tóm tắt: là một phương pháp thường được sử dụng để giảm thiểu ô nhiễm kim loại nặng (KLN) trong đất. Với những ưu điểm như chi phí thấp, hiệu quả cao và đơn giản nên phương pháp này ngày càng phổ biến. Hiện nay, có rất nhiều vật liệu hấp phụ mới, zeolite biến tính là một trong số đó, với những tính chất và đặc điểm vượt trội của vật liệu biến tính so với vật liệu gốc. Nghiên cứu này được thực hiện năm 2023-2024 nhằm khảo sát một số yếu tố môi trường, bao gồm pH đất, độ ẩm đất và thời gian ủ đất với vật liệu hấp phụ Mg/Al LDH-zeolite (vật liệu được biến tính từ zeolite tự nhiên) đến khả năng cố định đồng thời Pb, Cd và Cr trong đất ô nhiễm. Nghiên cứu thiết lập phương pháp thí nghiệm sử dụng đất được gây ô nhiễm nhân tạo. Các giá trị pH được khảo sát từ 5-9, độ ẩm đất 30, 50 và 70%, thời gian ủ 15, 30 và 45 ngày. Qua nghiên cứu đã chỉ ra rằng khả năng hấp phụ của Mg/Al LDH-zeolite đạt được là Cr>Pb>Cd ở tất cả các thí nghiệm. Ở pH = 5, Cr được cố định tốt nhất, ở pH = 7 cả Pb và Cd được cố định phù hợp so với các mức pH khác. Độ ẩm đất với thời gian ủ tối ưu lần lượt là 70% và 30 ngày. Kết quả nghiên cứu này đã làm rõ tác động của pH đất, độ ẩm đất và thời gian ủ lên năng lực hấp phụ Pb, Cd và Cr bởi Mg/Al LDH-zeolite.

Từ khóa: Cố định, Pb, Cd, Cr, Mg/Al LDH-zeolite.

1. Giới thiệu

Ô nhiễm KLN trong đất là một vấn đề môi trường nghiêm trọng và ngày càng được công chúng quan tâm do các mối lo ngại đến sự an toàn của các loại nông sản [1–3]. Các KLN phổ biến có độc tính cao bao gồm chì (Pb), cadmium (Cd), thủy ngân (Hg), asen (As), crom (Cr) và niken (Ni), trong đó 5 loại bao gồm: asen (As), cadmium (Cd), crom (Cr)(VI), thủy ngân (Hg) và chì (Pb) là những chất độc không vượt ngưỡng và có thể gây độc ở nồng độ rất thấp. Những KLN này được gọi là KLN có vấn đề nhất và là KLN độc hại [4].

Để giải quyết vấn đề ô nhiễm KLN trong đất, nhiều biện pháp đã được triển khai, bao gồm hấp phụ, phương pháp rửa trôi và ứng dụng sinh học,… [5]. Trong số đó, biện pháp hấp phụ nổi bật với việc sử dụng các chất phụ gia hữu cơ và vô cơ nhằm giảm thiểu độ di động và độc tính của KLN trong đất. Mục tiêu chính của hấp phụ là chuyển hóa KLN từ dạng di động sang dạng ổn định hơn từ góc độ địa hóa, thông qua các quá trình như hấp phụ, kết tủa và tạo phức [6]. Phương pháp hấp phụ, dựa trên nguyên lý cố định các ion KLN bởi các

khoáng vật sét, được ưa chuộng do tính đơn giản, hiệu quả và tiết kiệm chi phí. Các yếu tố chính ảnh hưởng đến quá trình hấp phụ KLN bao gồm chất keo vô cơ như khoáng sét, oxit và hydroxit của kim loại [7], cacbonat và phốt phát của kim loại [8]. Bằng cách sử dụng vật liệu hấp phụ Mg/Al LDH-zeolite, được tạo ra từ việc biến tính khoáng zeolite tự nhiên, nghiên cứu này nhấn mạnh vào ưu điểm của phương pháp hấp phụ: thuận lợi, chi phí thấp và hiệu quả. Mg/Al LDH-zeolite được chọn lựa do sở hữu nhiều đặc tính nổi trội như diện tích bề mặt lớn, cấu trúc, sự hiện diện của nhiều nhóm chức hoạt tính đều đóng góp vào hiệu quả hấp phụ vượt trội và ứng dụng đa dạng của vật liệu. Các ứng dụng phổ biến như làm vật liệu lưu trữ nhiệt và chất hấp phụ; các nguyên tố trao đổi ion; chất sàng lọc phân tử; và các chất xúc tác trong các phản ứng hóa học khác nhau [9–12].

Trong nỗ lực giải quyết vấn đề ô nhiễm KLN bằng việc áp dụng vật liệu hấp phụ vào đất, việc nghiên cứu ảnh hưởng của các điều kiện môi trường như pH, độ ẩm và thời gian tiếp xúc giữa đất và vật liệu hấp phụ lên quá trình loại bỏ KLN trở nên quan trọng. Dựa trên sự hiểu biết này, công trình này tập trung vào việc xác định ảnh hưởng cụ thể của những yếu tố môi trường trên đến khả năng loại bỏ Pb^{2+}, Cd^{2+} và CrO_4^{2-} bằng cách sử dụng Mg/Al LDH-zeolite thông qua thí nghiệm. Việc chọn lựa các kim loại Pb, Cd và Cr để nghiên cứu dựa trên nguy cơ độc hại của chúng ở các mức độ nồng độ thấp, với Pb^{2+} và Cd^{2+} là các ion dương và CrO_4^{2-} là ion âm, nhằm mục tiêu khám phá khả năng vật liệu hấp phụ có thể tương tác với cả hai loại ion này. Đây là phương pháp tiếp cận có giá trị trong việc mở rộng khả năng ứng dụng của vật liệu hấp phụ trong cải tạo đất bị nhiễm KLN, đồng thời mở đường cho những nghiên cứu tiếp theo trong hướng này.

2. Vật liệu và phương pháp nghiên cứu

2.1. Chuẩn bị đất và vật liệu hấp phụ

Đất sạch được thu ở độ sâu 0-50 cm từ đất đồi tại Trại thực nghiệm Trường Đại học Nông Lâm, Đại học Thái Nguyên. Điểm thu mẫu nằm ở vùng đất tự nhiên không canh tác nông nghiệp. Đất thu thập được phơi khô trong không khí trong một tuần sau đó giã nhỏ và rây qua rây với kích thước nhỏ hơn 2 mm. Đất sau khi xử lý được cho vào túi zip bảo quản để thực hiện thí nghiệm.

Chuẩn bị vật liệu hấp phụ Mg/Al LDH-zeolite: Mặc dù tồn tại nhiều kỹ thuật để điều chỉnh cấu trúc của zeolite, công trình này đã quyết định áp dụng phương pháp tổng hợp đồng kết tủa nhằm biến tính zeolite tự nhiên, một kỹ thuật đã được [13] cũng như nghiên cứu [5] áp dụng thành công trong việc tạo ra vật liệu Mg/Al LDH-zeolite. Kỹ thuật này, thông qua việc tổng hợp Mg/Al LDH trong sự hiện diện của zeolite, đã được chứng minh là tăng cường đáng kể khả năng hấp phụ của vật liệu Mg/Al LDH-zeolite, điều này được xác nhận qua các kết quả từ phân tích XRD, SEM, BET, EDX, và FTIR. Để tối ưu hóa quy trình tổng hợp, sẽ tiến hành đánh giá ảnh hưởng của các biến số quan trọng như tỷ lệ các chất phản ứng, tốc độ khuấy, thời gian phản ứng và nhiệt độ đối với quá trình biến tính. Quy trình thí nghiệm cụ thể được thực hiện như sau: Lấy 100 ml dung dịch chứa 0,01 mol $Al(NO_3)_3$ và 0,02 mol $Mg(NO_3)_2$ (tạo thành dung dịch Mg/Al LDH), được kết hợp trong một bình thủy tinh 400 ml và sau đó thêm zeolite theo tỷ lệ phần trăm khối lượng là 30% Mg/Al LDH đến 70% zeolite. Tiếp theo, dung dịch NaOH 1M và Na_2CO_3 0,5M được từ từ thêm vào cho đến khi pH của hỗn hợp đạt 11.0. Hỗn hợp sau đó được đặt trên bếp khuấy từ, duy trì ở nhiệt độ 80^oC trong khoảng thời gian 4 giờ. Chất rắn sau cùng được tách ra từ dung dịch thông qua quá trình ly tâm, rửa sạch năm lần với nước cất và sấy khô ở nhiệt độ 100^oC trong vòng 24 giờ để thu được sản phẩm Mg/Al LDH-zeolite cuối cùng.

2.2. Bố trí thí nghiệm

Đất sạch được gây ô nhiễm nhân tạo có nồng độ tổng số 50 mg/kg của các KLN Pb, Cd và Cr ở dạng trao đổi được chuẩn bị bằng cách trộn một thể tích dung dịch xác định ($Pb(NO_3)_2$,

$Cd(NO_3)_2$, $K_2Cr_2O_7$) với đất để đạt nồng độ trên. Đất sạch đã chứa các kim loại nặng Pb, Cd và Cr trao đổi được gọi là đất ô nhiễm nhân tạo.

- Thí nghiệm 1 được thiết kế nhằm đánh giá tác động của pH đất đối với quá trình hấp phụ các cation (Pb^{2+}, Cd^{2+}) và anion (CrO_4^{2-}). Trong quy trình này, mẫu đất ban đầu được ô nhiễm bằng cách thêm vào các ion với nồng độ 50 mg/kg. Sử dụng dung dịch $Ca(OH)_2$, pH của đất được điều chỉnh đến các giá trị cụ thể là 5, 6, 7, 8, và 9. Tiếp theo, một lượng vật liệu hấp phụ Mg/Al LDH-zeolite chiếm 3% khối lượng đất (w/w) được trộn đều và mẫu đất được ủ trong khoảng thời gian 30 ngày với độ ẩm được kiểm soát ở mức 70%. Kết thúc thời gian ủ, mẫu đất được phân tích để xác định lượng cation và anion còn lại sau quá trình hấp phụ. Chi tiết của phương pháp thí nghiệm này được trình bày trong Bảng 1.

Bảng 1. Mô tả các công thức thí nghiệm ảnh hưởng của pH đất.

TT	Mẫu	Đất (g)	Tỷ lệ Mg/Al LDH-zeolite (g)	Hàm lượng Pb^{2+}, Cd^{2+} và CrO_4^{2-} (mg/kg)
1	CT0	50	0	0
2	CT1	50	0	50
3	pH 5, 6, 7, 8, 9	50	1,5	50

- Thí nghiệm 2 tập trung vào việc khám phá ảnh hưởng của độ ẩm đất lên quá trình hấp phụ cation (Pb^{2+}, Cd^{2+}) và anion (CrO_4^{2-}). Mỗi mẫu đất, đã bị ô nhiễm bởi các ion với nồng độ là 50 mg/kg, được bổ sung một lượng tối ưu của vật liệu hấp phụ Mg/Al LDH-zeolite, được xác định từ kết quả của Thí nghiệm 1. Đồng thời, pH đất tối ưu cũng được áp dụng dựa trên kết luận từ Thí nghiệm 1. Mẫu đất sau đó được ủ trong khoảng thời gian là 30 ngày ở các mức độ ẩm khác nhau: 30%, 50%, và 70% để xem xét sự biến đổi trong hiệu suất hấp phụ của các ion KLN dưới các điều kiện độ ẩm khác nhau. Chi tiết và kết quả của quy trình thí nghiệm được thể hiện rõ ràng trong Bảng 2.

Bảng 2. Mô tả công thức thí nghiệm ảnh hưởng của độ ẩm đất.

TT	Mẫu	Đất (g)	Tỷ lệ Mg/Al LDH-zeolite (g)	Hàm lượng Pb^{2+}, Cd^{2+} và CrO_4^{2-} (mg/kg)
1	CT0	50	0	0
2	CT1	50	0	50
3	ĐA 30, 50, 70%	50	1,5	50

- Thí nghiệm 3 được thiết kế để đánh giá tác động của thời gian ủ lên khả năng hấp phụ cation (Pb^{2+}, Cd^{2+}) và anion (CrO_4^{2-}) trong đất. Mỗi mẫu đất, đã bị gây ô nhiễm với nồng độ các KLN là 50 mg/kg, được bổ sung một lượng cố định vật liệu hấp phụ Mg/Al LDH-zeolite chiếm 3% trọng lượng đất (w/w). Dựa trên kết quả thu được từ Thí nghiệm 1, pH đất được điều chỉnh tới mức tối ưu và từ Thí nghiệm 2, mức độ ẩm tối ưu cũng được áp dụng. Mẫu đất sau đó được ủ trong các khoảng thời gian khác nhau: 15, 30, và 45 ngày để xem xét ảnh hưởng của thời gian ủ đối với hiệu quả hấp phụ của vật liệu. Thông tin chi tiết về cách thực hiện và kết quả của thí nghiệm được trình bày cụ thể trong Bảng 3.

Bảng 3. Mô tả công thức thí nghiệm ảnh hưởng của thời gian ủ.

TT	Mẫu	Đất (g)	Tỷ lệ Mg/Al LDH-zeolite (g)	Hàm lượng Pb^{2+}, Cd^{2+} và CrO_4^{2-} (mg/kg)
1	CT0	50	0	0
2	CT1	50	0	50
3	TG 15, 30, 45 ngày	50	1,5	50

2.3. Phương pháp phân tích

Đất được kiểm tra về mức độ ô nhiễm của các cation (Pb^{2+}, Cd^{2+}) và anion (CrO_4^{2-}), cùng với việc phân tích thành phần cơ giới, độ pH, độ dẫn điện (EC) và carbon hữu cơ (OC). Để xác định độ pH và EC, phương pháp do R. Bian và cộng sự phát triển vào các năm 2013 và 2014 [14,15] được áp dụng. Carbon hữu cơ trong đất được định lượng thông qua phương pháp Walkley-Black, trong đó carbon hữu cơ bị ôxi hóa bởi dung dịch K_2CrO_4 và H_2SO_4, sau đó dùng $Fe(NH_4)_2(SO_4)_2.6H_2O$ để chuẩn độ lượng dicromat dư. Phân loại kết cấu đất được thực hiện dựa trên phương pháp pipet nhằm xác định tỷ lệ của cát, sét và limon [16]. Tổng hàm lượng của Cd, Pb, và Cr trong đất và vật liệu hấp phụ được xác định sau khi tiến hành quá trình phân hủy mẫu bằng HNO_3 và HCl với tỷ lệ 1:3. Huyền phù sau khi đã lọc sẽ được phân tích để đo lường lượng kim loại bằng máy quang phổ hấp thụ nguyên tử (Hitachi Model Z 2000, Nhật Bản) [17]. Phân tích năm dạng của KLN trong đất được thực hiện theo quy trình chiết xuất tuần tự do [18] đề xuất và đã được chỉnh sửa bởi [19]. Dựa vào nghiên cứu, KLN trong đất tồn tại dưới 5 dạng chính: KLN dễ trao đổi (F1), KLN kết hợp với cacbonat (F2), KLN gắn với oxit của sắt và mangan (F3), KLN tạo phức với hợp chất hữu cơ (F4), và các dạng KLN khác (F5).

Quy trình chiết như sau: Hai gam mẫu đất được đặt vào ống ly tâm bằng polycarbonate, thực hiện quá trình chiết xuất theo từng giai đoạn như sau:

+ F1: Chiết với dung dịch NH4OAc 1M, pH 7, 20 mL, 2 giờ ở điều kiện nhiệt độ phòng.

+ F2: Sử dụng cặn thu được từ F1, chiết tiếp với dung dịch NH4OAc 1M, pH 5, 20 mL, 2 giờ ở nhiệt độ phòng.

+ F3: Chiết cặn từ F2 bằng dung dịch $NH_2OH.HCl$ 0.04M trong HOAc 25%, 20 mL, 6 giờ, sử dụng bể nước nóng ở 60°C.

+ F4: Chiết cặn từ F3 bằng dung dịch H_2O_2 30%, pH 2, 15 mL, 5,5 giờ ở 80°C trong bể nước nóng.

+ F5: Sau khi làm nguội cặn từ F4, thêm vào 5 mL NH_4OAc 3.2M trong HNO_3 20%, lắc 0.5 giờ và sau đó pha loãng tới 20 mL bằng nước cất.

Dịch chiết chứa Pb, Cd và Cr từ mỗi giai đoạn được lọc và phân tích bằng máy ICP-MS (Model ULTIMA EXPERT, Horiba, Nhật Bản). Tổng nồng độ Cr, Pb, và Cd trong đất mẫu tươi được xác định thông qua phương pháp phân hủy bằng hỗn hợp HNO_3 đậm đặc và HCl theo tỷ lệ 1:3, sau đó phân tích bằng ICP-MS.

Hình thái học của vật liệu Mg/Al LDH-zeolite được nghiên cứu sử dụng máy quang phổ tia X phân tán năng lượng, kết hợp với hệ thống phân tích EDX và kỹ thuật quét điện tử SEM (HITACHI S-4800). Để đánh giá diện tích bề mặt và cấu trúc xốp của mẫu, phương pháp Brunauer-Emmett-Teller (BET) được áp dụng, với việc sử dụng thiết bị phân tích diện tích bề mặt cụ thể SSA-4300 của hãng Builder.

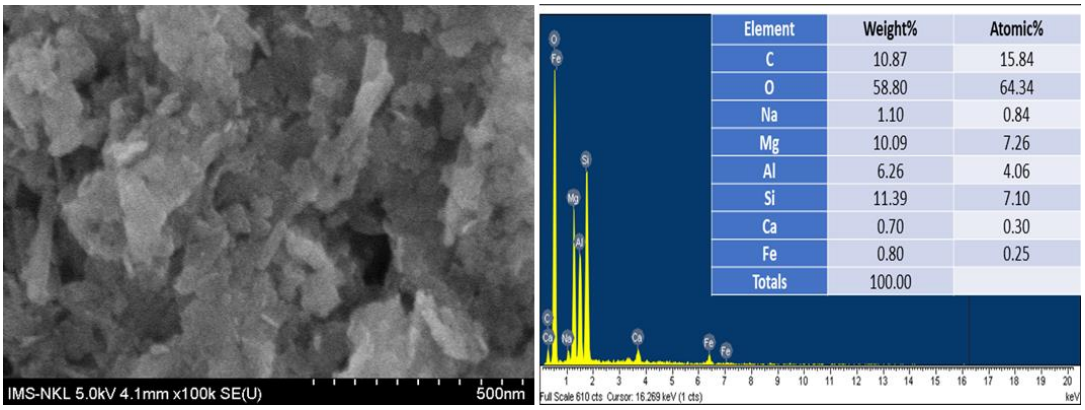
3. Kết quả và thảo luận

3.1. Đặc điểm của đất nghiên cứu và những điều chỉnh

- Đặc điểm của đất ban đầu: Đặc điểm của đất thí nghiệm như sau: tỷ lệ cát, lemon và sét trong đất thí nghiệm lần lượt là 55,16 %; 23,82 % và 21,02 %. Đất này có hàm lượng OC 2,03 % và EC thấp (27,2 µS/cm). Độ pH của đất = 4,93, phù hợp để canh tác nông nghiệp. Hàm lượng tổng Pb, Cd và Cr trong đất rất thấp, tương ứng là 1,92; 0,5 và 0,42 mg/kg (đất khô). Các dạng di động của các KLN trên cũng có hàm lượng rất thấp (Pb, Cd và Cr trao đổi tương ứng là 0,21; 0,08 và 0,30 mg/kg). Thông tin về đất này cho thấy đất tương đối sạch, hàm lượng các ion KLN Pb, Cd và Cr ở hàm lượng thấp.

- Đặc điểm của vật liệu Mg/Al LDH-zeolite: Kết quả phân tích diện tích bề mặt của vật liệu (BET) chỉ ra rằng Mg/Al LDH-zeolite có diện tích bề mặt lên đến 252,66 m^2/g (cao hơn đáng kể so với vật liệu zeolite), do vậy vật liệu Mg/Al LDH-zeolite có khả năng hấp phụ tốt các chất ô nhiễm trong đất. Vật liệu Mg/Al LDH-zeolite được nghiên cứu cho thấy có thể

tích lỗ rỗng đáng kể, đạt 209.5011 cm^3/g, điều này làm tăng khả năng tương tác và hấp phụ của vật liệu với các chất ô nhiễm nhờ vào sự hiện diện của không gian rỗng rộng rãi. Tỷ lệ Al trong Mg/Al LDH-zeolite đạt 6,22%, bên cạnh đó còn ghi nhận sự có mặt của Mg với tỷ lệ là 10,09% và Na chiếm 1,10%. Phân tích EDX cung cấp cái nhìn toàn diện về thành phần hóa học của vật liệu, nổi bật với C (10,87%), O (58,80%), Na (1,1%), Mg (10,09%), Al (6,26%), Si (11,39%), Ca (0,7%), và Fe (0,8%), cùng với sự xuất hiện của các hợp chất như $CaCO_3$, SiO_2, và Al_2O_3. Sự phong phú về thành phần hóa học và cấu trúc xốp của Mg/Al LDH-zeolite là yếu tố quan trọng tạo nên tính chất vật lý và hóa học ưu việt của vật liệu này. Các nhóm chức trên bề mặt vật liệu mang điện tích âm, điều này giúp tăng cường khả năng hấp phụ KLN lên bề mặt, qua đó hứa hẹn là giải pháp hiệu quả cho việc loại bỏ và xử lý ô nhiễm KLN trong môi trường.



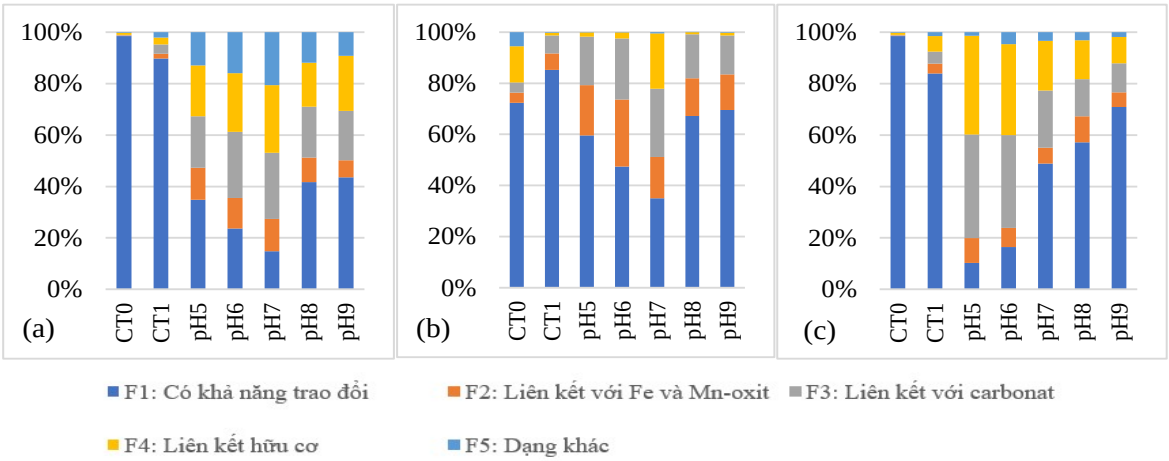
Hình 1. Ảnh SEM và EDX của Mg/Al LDH-zeolite.

3.2. Ảnh hưởng của pH đất đến khả năng cố định Pb, Cd và Cr di động trong đất bằng vật liệu hấp phụ Mg/Al LDH-zeolite

Độ pH của đất có ảnh hưởng đáng kể đến khả năng di động từ đó tác động đáng kể đến tính khả dụng sinh học và độc tính của các KLN trong môi trường đất. Ảnh hưởng của pH đất (từ 5-9) đến khả năng cố định Pb linh động trong đất bị ô nhiễm bằng vật liệu hấp phụ Mg/Al LDH-zeolite được trình bày tại hình 2a.

Kết quả trong hình 2a rõ ràng cho thấy sự giảm đáng kể của tỷ lệ trao đổi chì (Pb) trong đất sau 30 ngày ủ với Mg/Al LDH-zeolite. Tất cả các công thức mà ủ bằng vật liệu hấp phụ Pb đều cho thấy sự giảm so với công thức đối chứng (CT0). Tính linh động của Pb (biểu diễn bằng hàm lượng F1) ghi nhận giá trị thấp nhất ở pH 7, từ 89,75% (tương đương 14,97 mg/kg) ở CT1 giảm xuống còn 14,78% (tương đương 2,52 mg/kg) sau 30 ngày ủ đất với vật liệu hấp phụ Mg/Al LDH-zeolite. Hàm lượng F1 của Pb ở pH 8 và 9 cao hơn so với pH 7, nhưng vẫn thấp hơn so với công thức đối chứng CT1. Có thể thấy rằng khả năng cố định Pb của vật liệu Mg/Al LDH-zeolite đạt được hiệu quả khá tốt. Sau khi bổ sung vật liệu hấp phụ thì Pb từ dạng linh động đã được chuyển hóa thành các dạng phức. Thứ tự chuyển hóa này là: F3: liên kết với cacbonat > F4: liên kết với hữu cơ > F2: liên kết với oxit của Fe và Mn, và cuối cùng là các dạng khác. Kết quả này cho thấy rằng ở các công thức đất được điều chỉnh pH và bổ sung vật liệu hấp phụ, các liên kết vật lý và hóa học của Pb trong dạng trao đổi với các thành phần trong đất đã được tăng cường, giúp chuyển hóa thành các dạng phức. Điều này chỉ ra rằng độ pH của đất đóng vai trò quan trọng trong việc điều chỉnh sự phân bố và tương tác của chì (Pb) với các thành phần của chất hấp phụ cũng như trong đất. Khi độ pH tăng, khả năng liên kết của Pb với các yếu tố hóa học và vật lý khác như carbonat cũng tăng lên, dẫn đến việc giảm khả năng trao đổi và cố định Pb trên bề mặt của chất hấp phụ. Điều này là hoàn toàn tương thích với kết quả nghiên cứu đã được công bố trước đó về ảnh hưởng của độ pH đất lên sự cố định Pb. Nghiên cứu [20] đã chỉ ra rằng, độ pH thấp hơn có thể tăng cường độ hòa tan và khả năng trao đổi của Pb, từ đó làm tăng nguy cơ chì được thực vật hấp thụ và sau đó tiếp tục lan truyền trong chuỗi thức ăn. Một nghiên cứu gần đây [21] đã khám phá thêm

về cơ chế phức tạp qua đó CaAl-LDH ảnh hưởng đến khả năng sinh học của chì và sự hình thành của nó trong đất ở các mức độ pH khác nhau, đặc biệt trong trường hợp của đất có độ pH kiềm.



Hình 2. Ảnh hưởng của pH đất đến sự thay đổi tỷ lệ các dạng Pb (a), Cd (b) và Cr (c) sau thời gian 30 ngày ủ với Mg/Al LDH-zeolite.

Đối với Cd: Kết quả phân tích về các dạng tồn tại của Cadmium (Cd) trong đất sau quá trình ủ trong vòng 30 ngày với Mg/Al LDH-zeolite được trình bày trong hình 2b. Trong số 5 dạng tồn tại của Cd, bao gồm dạng có khả năng trao đổi (F1), dạng liên kết với oxit của sắt (Fe) và mangan (Mn) (F2), dạng liên kết với cacbonat (F3), dạng liên kết hữu cơ (F4) và dạng còn lại (F5). Kết quả phân tích cho thấy trong mẫu đất đối chứng không có vật liệu hấp phụ (CT1), hàm lượng Cd có khả năng trao đổi khá cao (85,19%, tương đương 14,88 mg/kg). Tuy nhiên, khi thêm vật liệu hấp phụ vào các mẫu đất với pH từ 5 đến 9, hàm lượng Cd có khả năng trao đổi giảm đáng kể và đạt tối ưu ở pH 7 (38,92%, tương đương 6,0 mg/kg). Ở pH 8 và 9, hàm lượng Cd có khả năng trao đổi cao hơn so với ở pH 7, tuy nhiên vẫn thấp hơn so với mẫu đất đối chứng (CT1). Điều này cho thấy rằng pH của đất ảnh hưởng đáng kể đến khả năng cố định Cd trong đất bị ô nhiễm. Cd trong đất sau khi ủ với vật liệu hấp phụ Mg/Al LDH-zeolite từ dạng linh động đã chuyển thành các dạng khác nhau, với thứ tự biến đổi như sau: dạng liên kết với cacbonat (F3) > dạng liên kết với oxit của Fe và Mn (F2) > dạng liên kết với hữu cơ (F4) > dạng còn lại (F5) Kết quả của nghiên cứu này khẳng định sự phù hợp hoàn toàn với các nghiên cứu trước đó. Điều kiện pH cao hơn thường dẫn đến việc giảm độ hòa tan và độ linh động của các KLN như Cd. Đồng thời, độ pH của đất đóng một vai trò quan trọng trong việc ảnh hưởng đến sự phân bố các dạng Cd trong đất, góp phần vào việc giảm khả năng di chuyển của Cd và từ đó giảm tính khả dụng sinh học cũng như rủi ro môi trường của Cd. Ví dụ, nghiên cứu [22] đã tiến hành sử dụng zeolite tự nhiên để loại bỏ Cu(II), Pb(II) và Cd(II) trong nước thải công nghiệp. Kết quả của nghiên cứu cho thấy, với các giá trị pH của dung dịch từ 1 đến 8, hàm lượng Cd(II) được loại bỏ tốt nhất ở pH dung dịch bằng 7. Nghiên cứu [23] cũng đã đánh giá tác động của cường độ ion và độ pH đến khả năng hấp phụ Cd trong đất. Kết quả cho thấy, khả năng hấp phụ Cd trong đất thường tăng khi độ pH cao hơn, và Cd được hấp phụ tốt nhất ở pH 7 do sự thay đổi điện tích bề mặt âm theo pH. Ngoài ra, nghiên cứu [24] đã tìm hiểu các đặc tính hấp phụ của atrazine trong đất ô nhiễm Cd. Kết quả cho thấy, Cd trong đất có thể được hấp phụ tốt nhất ở độ pH 7.

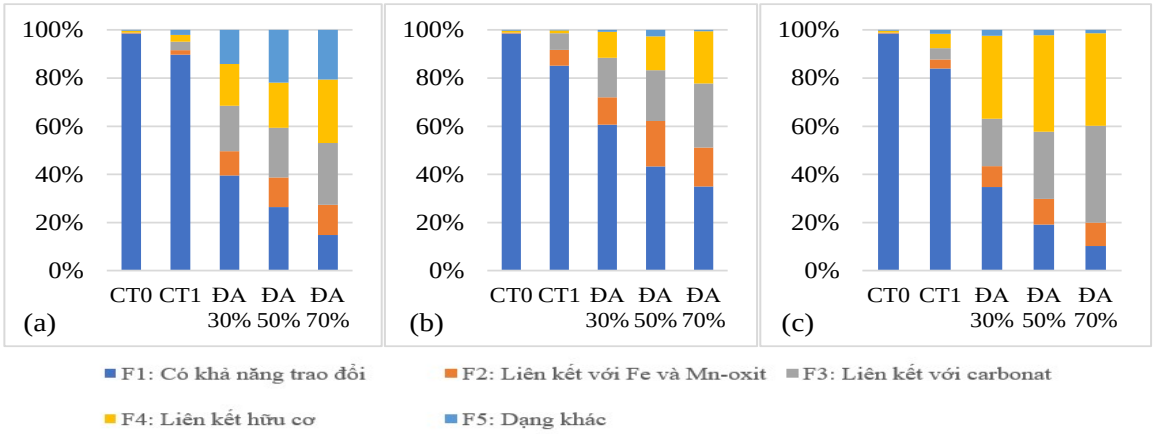
Đối với Cr: Ảnh hưởng của pH đất đến sự biến đổi tỷ lệ các dạng Cr sau thời gian 30 ngày ủ với Mg/Al LDH-zeolite được thể hiện trong hình 2c. Từ biểu đồ, chúng ta có thể nhận thấy rằng trong tất cả các công thức thí nghiệm với điều chỉnh pH từ 5 đến 9, hàm lượng dạng F1 (dạng có khả năng trao đổi) trong đất thấp nhất được ghi nhận ở pH đất bằng 5 (tương đương với 10,26% và 1,79 mg/kg). Ở các mức pH 6, 7, 8 và 9, hàm lượng dạng F1 có khả năng trao đổi cao hơn so với ở pH 5, tuy nhiên vẫn thấp đáng kể so với công thức đối chứng

(CT1). Do đó, có thể nhìn thấy rằng Cr được hấp phụ tối ưu nhất ở pH 5. Khi giá trị pH đất tăng lên, khả năng cố định Cr của vật liệu Mg/Al LDH-zeolite có xu hướng giảm đi. Các kết quả này cho thấy rằng các ion KLN khác nhau có ái lực hấp phụ khác nhau đối với Mg/Al LDH-zeolite, dựa vào điều kiện pH của đất. Tương tự, các nghiên cứu [25] đã chứng minh điều này thông qua việc đánh giá trình tự chọn lọc và ước tính khả năng hấp phụ cạnh tranh của một số KLN trên 7 loại đất có đặc tính hóa học và khoáng vật học khác nhau. Hệ số phân bố (Kd), đại diện cho ái lực hấp phụ của kim loại đối với pha rắn, được xác định cho từng cation đất và KLN. Dựa trên Kd này, trình tự chọn lọc đã được xác định, trong đó các trình tự phổ biến nhất là Cr > Pb > Cu > Cd > Zn > Ni và Pb > Cr > Cu > Cd > Ni > Zn. Crom, Pb và Cu là các cation KLN được hấp phụ mạnh nhất bởi tất cả các loại đất, trong khi Cd, Ni và Zn bị hấp phụ ít nhất.

3.3. Ảnh hưởng của độ ẩm đất đến khả năng cố định Pb, Cd và Cr di động trong đất bằng vật liệu hấp phụ Mg/Al LDH-zeolite

Độ ẩm của đất là một trong những yếu tố quan trọng nhất ảnh hưởng đến sự di chuyển của các KLN trong đất. Trong nghiên cứu này, các thí nghiệm với độ ẩm đất thay đổi từ 30%, 50% đến 70% đã được thực hiện để đánh giá tác động của độ ẩm đất đối với khả năng cố định của Cd, Pb và Cr trong đất sau 30 ngày ủ bằng Mg/Al LDH-zeolite ở pH 7. Kết quả thí nghiệm được minh họa trong hình 3. Kết quả cho thấy sau 30 ngày ủ đất với vật liệu hấp phụ Mg/Al LDH-zeolite, hàm lượng Cd, Pb và Cr có khả năng trao đổi (F1) giảm đáng kể khi độ ẩm của đất tăng từ 30 đến 70%. Mức giảm hàm lượng KLN ở dạng có khả năng trao đổi (F1) đạt tối ưu nhất ở độ ẩm đất 70% với cả ba KLN là Pb, Cd và Cr. Đối với Pb, hàm lượng F1 ở công thức đối chứng giảm từ 14,97 mg/kg (89,75%) xuống còn 6,66 mg/kg (39,5%), 4,43 mg/kg (26,46%) và 2,52 mg/kg (14,78%) lần lượt ở độ ẩm đất 30%, 50% và 70% khi ủ đất với Mg/Al LDH-zeolite. Đối với Cd, hàm lượng F1 ở công thức đối chứng giảm từ 14,88 mg/kg (85,19%) xuống còn 10,11 mg/kg (60,66%), 7,31 mg/kg (43,26%) và 6,0 mg/kg (35,03%) tương ứng với các mức độ ẩm đất 30%, 50% và 70%. Đối với Cr, hàm lượng F1 ở công thức đối chứng giảm từ 14,55 mg/kg (83,96%) xuống còn 6,77 mg/kg (39,72%), 4,38 mg/kg (25,24%) và 2,58 mg/kg (15,59%) (đối với zeolit) và 5,8 mg/kg (34,78%), 2,97 mg/kg (19,1%) và 1,79 mg/kg (10,26%) (đối với Mg/Al LDH-zeolite) lần lượt ở độ ẩm đất 30%, 50% và 70%. Bên cạnh đó, kết quả còn cho thấy hàm lượng KLN có khả năng trao đổi (F1) của Cd, Pb và Cr chủ yếu được chuyển hóa thành dạng liên kết với cacbonat (F3), liên kết với hữu cơ (F4) và liên kết với Fe và Mn-oxit (F2). Phần còn lại được chuyển hóa thành dạng khác (F5).

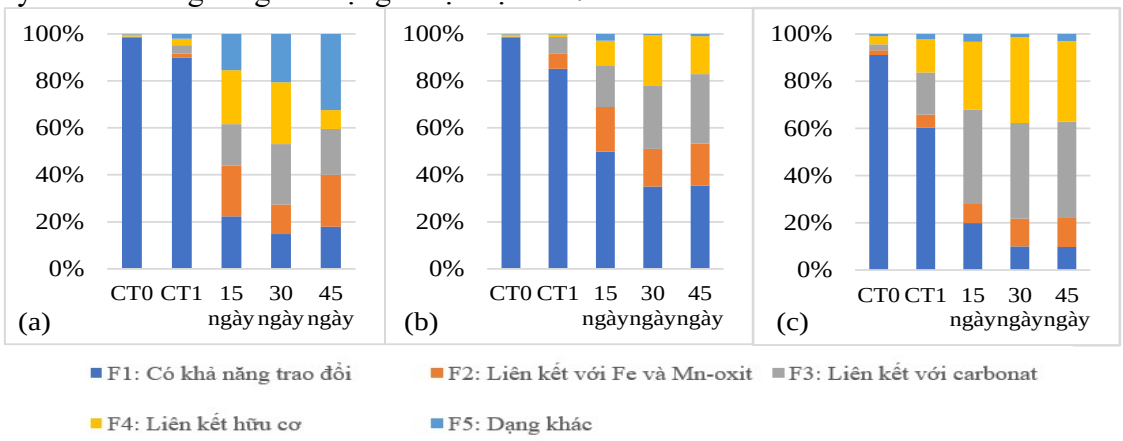
Như vậy có thể thấy ảnh hưởng của độ ẩm đất đối với khả năng cố định các KLN Cd, Pb và Cr trong môi trường đất là đáng kể. Kết quả cho thấy rằng việc điều chỉnh độ ẩm của đất có thể ảnh hưởng đến khả năng hấp phụ và cố định của các KLN bằng Mg/Al LDH-zeolite. Đặc biệt, sự giảm đáng kể của hàm lượng các dạng có khả năng trao đổi (F1) của Pb, Cd và Cr khi độ ẩm đất tăng từ 30% lên 70% là điểm đáng chú ý. Kết quả nghiên cứu chỉ ra rằng độ ẩm cao trong đất có thể làm tăng khả năng hấp phụ và cố định các KLN trong môi trường đất. Bên cạnh đó, việc quan sát các dạng chuyển hóa của Pb, Cd và Cr từ dạng có khả năng trao đổi (F1) sang các dạng liên kết với cacbonat (F3), liên kết với hữu cơ (F4) và liên kết với Fe và Mn - oxit (F2) cũng là một phần quan trọng của nghiên cứu này. Hiểu rõ hơn về quá trình chuyển hóa này có thể giúp chúng ta phát triển các biện pháp xử lý đất ô nhiễm hiệu quả hơn trong tương lai. Kết quả của nghiên cứu cũng tương. Kết quả của nghiên cứu này cũng phù hợp với một số nghiên cứu trước đây về mối liên quan giữa độ ẩm đất và khả năng cố định các ion KLN trong đất. Nghiên cứu [26] đã sử dụng than sinh học để cố định KLN trong đất trồng ngô, kết quả cho thấy ở độ ẩm 75% và 100% thì mức 75% khả năng cố định các KLN cao hơn so với mức 100%, cụ thể: 51,3% và 60,5% đối với Mn, 28% và 21,2% đối với Zn, 60% và 29,5% đối với Cu, 53,2% và 47,2% đối với Cd ở độ ẩm đất lần lượt là 75% và 100%.



Hình 3. Ảnh hưởng của độ ẩm đất đến sự thay đổi tỷ lệ các dạng Pb (a), Cd (b) và Cr (c) sau thời gian 30 ngày ủ với Mg/Al LDH-zeolite.

3.4. Ảnh hưởng của thời gian ủ đất với vật liệu hấp phụ Mg/Al LDH-zeolite đến khả năng cố định Pb, Cd và Cr di động trong đất

Thời gian ủ đất với vật liệu hấp phụ Mg/Al LDH-zeolite cũng là một trong những yếu tố quan trọng ảnh hưởng đến khả năng hấp phụ các KLN như Pb, Cd và Cr. Kết quả nghiên cứu cho thấy sau các giai đoạn thời gian 15, 30 và 45 ngày ủ đất với Mg/Al LDH-zeolite, hàm lượng Pb, Cd và Cr có khả năng trao đổi (F1) thấp hơn đáng kể so với các công thức đối chứng CT1. Đối với cả ba KLN Pb, Cd và Cr, thời gian tối ưu cho cố định chúng là 30 ngày. Tuy nhiên, ở giai đoạn thời gian 45 ngày, hàm lượng các dạng KLN có khả năng trao đổi (F1) không giảm tiếp mà có xu hướng tăng không đáng kể so với giai đoạn 30 ngày. Hàm lượng F1 của Pb có xu hướng giảm sau 15, 30 và 45 ngày ủ đất với Mg/Al LDH-zeolite. Cụ thể, hàm lượng F1 ở công thức đối chứng giảm từ 14,97 mg/kg (89,75%) xuống còn 4,12 mg/kg (22,36%), 2,52 mg/kg (14,87%) và 2,95 mg/kg (17,89%) tương ứng ở các giai đoạn 15, 30 và 45 ngày. Hàm lượng Cd ở dạng F1 trong đất giảm từ 14,88 mg/kg (85,19%) ở công thức đối chứng xuống còn 9,03 mg/kg (49,91%), 6,0 mg/kg (35,03%) và 6,22 mg/kg (35,36%) trong các thí nghiệm ủ với Mg/Al LDH-zeolite tương ứng ở các giai đoạn thời gian nói trên. Hàm lượng Cr ở dạng F1 trong đất giảm từ 14,55 mg/kg (83,96%) ở công thức đối chứng xuống còn 3,77 mg/kg (20,48%), 1,79 mg/kg (10,26%) và 1,69 mg/kg (9,62%) trong các thí nghiệm ủ đất với Mg/Al LDH-zeolite. Bên cạnh đó, từ hình 4, ta cũng nhận thấy sau 30 ngày ủ đất với chất hấp phụ là zeolit, hàm lượng Cd, Pb và Cr có khả năng trao đổi (F1) phần lớn đã được chuyển hóa sang các dạng liên kết với cacbonat (F3), liên kết hữu cơ (F4) và liên kết với oxit của Fe và Mn (F2), cuối cùng là dạng khác (F5). Điều này cho thấy hiệu quả của Mg/Al LDH-zeolite trong việc cố định các KLN trong môi trường đất và quá trình chuyển hóa chúng sang các dạng ít độc hại hơn.



Hình 4. Ảnh hưởng của thời gian ủ đất với Mg/Al LDH-zeolite đến sự thay đổi tỷ lệ các dạng Pb (a), Cd (b) và Cr (c).

Trong việc đánh giá khả năng hấp phụ của vật liệu Mg/Al LDH-zeolite đối với Pb, Cd và Cr, các yếu tố như pH đất, độ ẩm và thời gian ủ đất đều đóng vai trò quan trọng. Đối với các vật liệu hấp phụ khác nhau thời gian hấp phụ tối ưu có thể khác nhau phụ thuộc vào các tính chất của vật liệu, thời gian phân giải của vật liệu, điều kiện môi trường. Một số nghiên cứu liên quan đến vật liệu Mg/Al LDH-zeolite cũng cho kết quả tương tự, với thời gian ủ tối ưu 30 ngày khả năng cố định các ion KLN là tốt nhất [27].

Phân tích khả năng hấp phụ đồng thời của Pb, Cd và Cr sau khi ủ đất với Mg/Al LDH-zeolite đã tiết lộ những kết quả quan trọng. Trong quá trình ủ đất trong vòng 30 ngày với sự bổ sung của Mg/Al LDH-zeolite, hàm lượng các ion KLN có khả năng trao đổi đã giảm đáng kể. Thứ tự hấp phụ của các ion trao đổi được xác định theo thứ tự: Cr > Pb > Cd. Điều này chỉ ra rằng các ion KLN khác nhau có ái lực khác nhau đối với quá trình hấp phụ của Mg/Al LDH-zeolite. Bên cạnh đó, sự tăng pH và EC (điện di cực) của đất sau quá trình ủ 30 ngày cũng đã được ghi nhận. Kết quả này tương thích với các nghiên cứu trước đó, chỉ ra rằng Mg/Al LDH-zeolite có khả năng làm tăng pH và EC của đất sau khi được áp dụng. Điều này có thể có tác động tích cực đối với quá trình cải thiện chất lượng đất và giảm ô nhiễm KLN trong môi trường đất. Điều này có thể là do tính chất của zeolite và Mg/Al LDh-zeolite đã được báo cáo là có tác dụng nâng cao pH của đất trong các nghiên cứu [28, 29]. Giá trị độ dẫn điện (EC) của đất tăng đáng kể sau 30 ngày so với giá trị EC của đất ban đầu cũng được ghi nhận trong nghiên cứu này.

Bảng 4. Giá trị pH và EC của đất sau 30 ngày ủ với Mg/Al LDH-zeolite.

Công thức thí nghiệm	pH	EC (µS/cm)
CT0	-	-
CT1	-	-
pH5	7,84	174,33
pH6	8,31	262,33
pH7	8,96	239,33
pH8	10,71	627
pH9	10,10	185
15 ngày	7,69	253,66
30 ngày	7,93	263,0
45 ngày	7,58	255,66
ĐA 30%	7,65	260,33
ĐA 50%	8,03	279,33
ĐA 70%	7,58	255,66

4. Kết luận

Phân tích khả năng hấp phụ đồng thời của Pb, Cd và Cr sau khi ủ đất với Mg/Al LDH-zeolite đã đem lại những kết quả quan trọng. Trong quá trình ủ đất trong vòng 30 ngày với sự thêm vào của Mg/Al LDH-zeolite, hàm lượng các ion KLN có khả năng trao đổi đã giảm một cách đáng kể. Thứ tự hấp phụ của các ion trao đổi được xác định theo thứ tự: Cr > Pb > Cd. Điều này cho thấy rằng các ion KLN khác nhau có sự ưu tiên khác nhau trong quá trình hấp phụ của Mg/Al LDH-zeolite. Ngoài ra, sự tăng pH và EC (điện di cực) của đất sau 30 ngày ủ cũng đã được ghi nhận. Kết quả này khớp với các nghiên cứu trước đó, chứng tỏ rằng Mg/Al LDH-zeolite có khả năng làm tăng pH và EC của đất khi được áp dụng. Điều này có thể có tác động tích cực đối với quá trình cải thiện chất lượng đất và giảm ô nhiễm KLN trong môi trường đất.

Đóng góp của tác giả: Xây dựng ý tưởng nghiên cứu: N.T.B.H., Đ.V.M., V.H.T.; Thu thập dữ liệu và tài liệu và phân tích và tổng hợp dữ liệu: N.T.B.H., V.H.T., T.M.P.; Nghiên cứu thực nghiệm: N.T.B.H., V.H.T.; Viết bản thảo bài báo: N.T.B.H.; Chỉnh sửa bản thảo: Đ.V.M., V.H.T.

Lời cảm ơn: Chúng tôi muốn bày tỏ lòng biết ơn đối với sự hỗ trợ về tài chính của Bộ Giáo dục và Đào tạo theo đề tài mã số: B2023-TNA-32.

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. Hu, B.; Chen, S.; Hu, J.; Xia, F.; Xu, J.; Li, Y.; Shi, Z. Application of portable XRF and VNIR sensors for rapid assessment of soil heavy metal pollution. *PLoS One* **2017**, *12(2)*, e0172438. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0172438.
2. Guo, J.H.; Liu, X.J.; Shen, J.L.; Han, W.X.; Zhang, W.F.; Christie, P.; Goulding, K.W.T.; Vitousek, P.M.; Zhang, F.S. Significant acidification in major Chinese croplands. *Science* **2010**, *327(5968)*, 1008–1010.
3. Motesharrei, S.; Rivas, J.; Kalnay, E.; Asrar, G.R.; Busalacchi, A.J.; Cahalan, R.F.; Cane, M.A.; Colwell, R.R.; Feng, K.; Franklin, R.S.; Hubacek, K.; Miralles-Wilhelm, F.; Miyoshi, T.; Ruth, M.; Sagdeev, R.; Shirmohammadi, A.; Shukla, J.; Srebric, J.; Yakovenko, V.M.; Zeng, N. Modeling sustainability: population, inequality, consumption, and bidirectional coupling of the earth and human systems. *Natl. Sci. Rev.* **2016**, *3(4)*, 470–494.
4. Rahman, Z.; Singh, V.P. The relative impact of toxic heavy metals (THMs)(arsenic (As), cadmium (Cd), chromium (Cr)(VI), mercury (Hg), and lead (Pb)) on the total environment: An overview. *Environ. Monit. Assess.* **2019**, *191*, 1–21.
5. Nguyen, T.D.; Nguyen, T.M.P.; Tap, V.H.; Nguyen, V.Q.; Nguyen, L.H.; Nguyen, T.D.; Nguyen, T.H.V.; Chu, T.H.H.; Nguyen, T.H.; Ha, L.T.; Vinh, N.D.; Thai, V.N.; Nguyen, V.Q.; Nguyen, K.A.; Thang, P.Q. Adsorption removal of ammonium from aqueous solution using Mg/Al layered double hydroxides-zeolite composite. *Environ. Technol. Innov.* **2022**, *25*, 102244. https://doi.org/10.1016/j.eti.2021.102244.
6. Hashimoto, Y.; Matsufuru, H.; Takaoka, M.; Tanida, H.; Sato, T. Impacts of chemical amendment and plant growth on lead speciation and enzyme activities in a shooting range soil: An X-ray absorption fine structure investigation. *J. Environ. Qual.* **2009**, *38(4)*, 1420–1428.
7. Hubbard, A.T. Encyclopedia of surface and colloid science, CRC press, 2002.
8. Fein, J.B.; Boily, J.F.; Güçlü, K.; Kaulbach, E. Experimental study of humic acid adsorption onto bacteria and Al-oxide mineral surfaces. *Chem. Geol.* **1999**, *162(1)*, 33–45.
9. Eroglu, N.; Emekçi, M.; Athanassiou, C.G. Applications of Natural Zeolites on Agriculture and Food Production. *J. Sci. Food Agric.* **2017**, *97(11)*, 3487–3499. doi: 10.1002/jsfa.8312.
10. Erdem, E.; Karapınar, N.; Donat, R. The Removal of Heavy Metal Cations by Natural Zeolites. *J. Colloid Interface Sci.* **2004**, *280(2)*, 309-314. doi: 10.1016/j.jcis.2004.08.028.
11. Torres-Quiroz, C.; Dissanayake, J.; Park, J. Oyster Shell Powder, Zeolite and Red Mud as Binders for Immobilising Toxic Metals in Fine Granular Contaminated Soils (From Industrial Zones in South Korea). *Int. J. Environ. Res. Public Health*. **2021**, *18(5)*, 2530. doi: 10.3390/ijerph18052530.
12. Whiting, G.T.; Grondin, D.; Bennici, S.; Auroux, A. Heats of water sorption studies on Zeolite–$MgSO_4$ composites as potential thermochemical heat storage materials. *Sol. Energy Mater. Sol. Cells*. **2013**, *112*, 112–119. doi: 10.1016/j.solmat.2013.01.020.
13. Rahman, M.B.A.; Basri, M.; Hussein, M.Z.; Idris, M.N.H.; Rahman, R.N.Z.R.A.; Salleh, A.B. Immobilisation of lipase from Candida rugosa on layered double

hydroxides of Mg/Al and its nanocomposite as biocatalyst for the synthesis of ester. *Catal. Today*. **2004**, *93–95*, 405–410. https://doi.org/10.1016/j.cattod.2004.06.048.
14. Bian, R.; et al. A three-year experiment confirms continuous immobilization of cadmium and lead in contaminated paddy field with biochar amendment. *J. Hazard. Mater.* **2014**, *272*, 121–128.
15. Bian, R.; et al. Biochar soil amendment as a solution to prevent Cd-tainted rice from China: results from a cross-site field experiment. *Ecol. Eng.* **2013**, *58*, 378–383.
16. Joseph, S.; et al. Immobilization of heavy metals in contaminated soil after mining activity by using biochar and other industrial by-products: the significant role of minerals on the biochar surfaces. *Environ. Technol.* **2018**, *40(24)*, 1–40.
17. Rayment, G.E.; Lyons, D.J. Soil chemical methods: Australasia. CSIRO publishing, **2011**, *3*. ISBN (electronic): 978-0-643-10218-7
18. Tessier, A.; Campbell, P.G.C.; Bisson, M. Sequential extraction procedure for the speciation of particulate trace metals. *Anal. Chem.* **1979**, *51(7)*, 844–851. doi: 10.1021/ac50043a017.
19. Ngoc, M.N.; Dultz, S.; Kasbohm, J. Simulation of retention and transport of copper, lead and zinc in a paddy soil of the Red River Delta, Vietnam. *Agric. Ecosyst. Environ.* **2009**, *129(1-3)*, 8–16.
20. Lofts, S.; Spurgeon, D.J.; Svendsen, C.; Tipping, E. Deriving soil critical limits for Cu, Zn, Cd, and Pb: A method based on free ion concentrations. *Environ. Sci. Technol.* **2004**, *38(13)*, 3623–3631. doi: 10.1021/es030155h.
21. Sun, Z.; et al. Super-stable mineralization of Cu, Cd, Zn and Pb by CaAl-layered double hydroxide: Performance, mechanism, and large-scale application in agriculture soil remediation. *J. Hazard. Mater.* **2023**, *447*, 130723. https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2023.130723.
22. Elboughdiri, N. The use of natural zeolite to remove heavy metals Cu (II), Pb (II) and Cd (II), from industrial wastewater. *Cogent Eng.* **2020**, *7*, 1782623. doi: 10.1080/23311916.2020.1782623.
23. Naidu, R.; Bolan, N.S.; Kookana, R.S.; Tiller, K.G. Ionic-strength and pH effects on the sorption of cadmium and the surface charge of soils. *Eur. J. Soil Sci.* **1994**, *45(4)*, 419–429.
24. Jing, S.; Lan, M.X.; Wen, W.; Jing, Z.; Hao, Z.; Jun, W.Y. Adsorption characteristics of atrazine on different soils in the presence of Cd (II). *Adsorpt. Sci. Technol.* **2020**. *38(7–8)*, 225–239.
25. Gomes, P.C.; Fontes, M.P.F.; da Silva, A.G.; Mendonça, de S.E.; Netto, A.R. Selectivity sequence and competitive adsorption of heavy metals by Brazilian soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* **2001**, *65(4)*, 1115–1121.
26. Al-Wabel, M.I.; et al. Conocarpus biochar as a soil amendment for reducing heavy metal availability and uptake by maize plants. *Saudi J. Biol. Sci.* **2015**, *22(4)*, 503–511.
27. Dang, V.M.; et al. Enhancement of exchangeable Cd and Pb immobilization in contaminated soil using Mg/Al LDH-zeolite as an effective adsorbent. *RSC Adv.* **2021**, *11(28)*, 17007–17019. doi: 10.1039/d0ra10530a.
28. Van, H.T.; et al. Immobilization of exchangeable cromium in a contaminated soil using natural zeolite as an effective adsorbent. *VN J. Sci. Technol.* **2020**, *58(5A)*, 10–21.
29. Van, H.T.; et al. Enhancement of exchangeable Cd and Pb immobilization in contaminated soil using Mg/Al LDH-zeolite as an effective adsorbent. *RSC Adv.* **2021**, *11(28)*, 17007–17019.

Effects of some environmental factors on the ability to simultaneously immobilize Pb, Cd and Cr in contaminated soil using Mg/Al LDH-zeolite material

Nguyen Thi Bich Hanh [1,3], Van Huu Tap[2]*, Dang Van Minh[3], Ta Minh Phuong[4]

[1] Faculty of Natural Resources and Environment, University of Science, Thai Nguyen University; hanhntb@tnus.edu.vn
[2] New Technology Development Center, Thai Nguyen University; vanhuutap@tnu.edu.vn
[3] Faculty of Environment, Thai Nguyen University of Agriculture and Forestry, Thai Nguyen University; hanhntb@tnus.edu.vn; minhdv@tnu.edu.vn
[4] Thuyloi University; taminhphuong@tlu.edu.vn

Abstract: Adsorption is one of the common methods to treat heavy metal pollution in soil. With advantages such as low cost, high efficiency and simplicity, this method is increasingly popular. Currently, there are many new adsorbent materials, modified zeolite is one of them, with superior properties and characteristics of the modified material compared to the original material. This study was conducted in 2023-2024 with the aim of evaluating the effects of soil pH, soil moisture and soil incubation time with Mg/Al LDH-zeolite adsorbent (material modified from natural zeolite) to the ability to simultaneously immobilize Pb, Cd and Cr in contaminated soil. Research on establishing experimental methods using artificially polluted land. The pH values were investigated from 5-9, soil moisture 30, 50 and 70%, incubation time 15, 30 and 45 days. Experimental results show that the adsorption capacity of Mg/Al LDH-zeolite is in the order Cr>Pb>Cd in all experiments. At pH = 5, Cr is best fixed, at pH = 7 both Pb and Cd are best fixed compared to other pH levels. Soil moisture with optimal incubation time is 70% and 30 days, respectively. This result contributes to clarifying the influence of some environmental factors on the adsorption capacity of Pb, Cd and Cr of Mg/Al LDH-zeolite material.

Keywords: Immobilized; Pb; Cd; Cr; Mg/Al LDH-zeolite.

TẠP CHÍ
KHÍ TƯỢNG THỦY VĂN

Check for updates

Bài báo khoa học

Nghiên cứu đánh giá tác động kép của biến đổi khí hậu và các phát triển thượng nguồn đến xâm nhập mặn vùng Đồng bằng sông Cửu Long

Dương Hồng Sơn[1], Bùi Huyền Linh[1]*, Nguyễn Anh Đức[1], Trần Anh Phương[1]

[1] Viện khoa học Tài nguyên nước, Bộ Tài nguyên và Môi Trường;
dhson.monre@gmail.com; linhb.dctv@gmail.com; nganhduc@yahoo.com;
phuongtran.monre@gmail.com

*Tác giả liên hệ: linhb.dctv@gmail.com; Tel.: +84–326730802
Ban Biên tập nhận bài: 15/2/2024; Ngày phản biện xong: 25/3/2024; Ngày đăng bài: 25/7/2024

Tóm tắt: Các hoạt động khai thác tài nguyên nước thượng nguồn, biến đổi khí hậu và nước biển dâng đã và đang gây ra những tác động tiêu cực đến Đồng bằng sông Cửu Long trong đó xâm nhập mặn được xem là một trong những tác động nghiêm trọng nhất. Trong khi các nghiên cứu trước đây thường tập trung đánh giá tác động riêng lẻ của các hoạt động phát triển thượng nguồn hoặc nước biển dâng đến xâm nhập mặn, nghiên cứu này trình bày kết quả đánh giá diễn biến xâm nhập mặn vùng đồng bằng sông Cửu Long đồng thời theo kịch bản hiện trạng và các kịch bản phát triển kinh tế - xã hội (KT-XH) thượng nguồn đến năm 2030 và 2050 sử dụng phương pháp mô hình toán và GIS. Kết quả tính toán cho thấy so với kịch bản hiện trạng, đến năm 2050 chiều dài xâm nhập mặn lớn nhất tương ứng với ranh mặn 4 g/l sẽ tăng 5,6 km trên sông Tiền, 6,2 km trên sông Hậu và 13,7 km trên sông Cổ Chiên. Dự báo đến năm 2050 khoảng hơn 2,5 triệu ha đất vùng ĐBSCL sẽ bị nhiễm mặn với độ mặn lớn hơn 1 g/l, tăng 9,1% so với kịch bản hiện trạng. Các kết quả tính toán của nghiên cứu này sẽ cung cấp thông tin quan trọng phục vụ đề xuất các giải pháp thích ứng, giảm thiểu tác động của hoạt động khai thác tài nguyên nước thượng nguồn, biến đổi khí hậu và nước biển dâng đến xâm nhập mặn vùng đồng bằng sông Cửu Long.

Từ khóa: Biến đổi khí hậu; Xâm nhập mặn; MIKE 11; Thượng nguồn.

1. Mở đầu

Biến đổi khí hậu và các hoạt động khai thác sử dụng nước thượng nguồn đã và đang ảnh hưởng tới sinh kế của người dân không chỉ ở ĐBSCL mà còn ở nhiều đồng bằng châu thổ trên toàn thế giới. Tại ĐBSCL ảnh hưởng rõ rệt nhất là sự gia tăng nguy cơ xâm nhập mặn, gây ra những tác động tiêu cực đến kinh tế, xã hội và hệ sinh thái của toàn lưu vực. Trong những năm gần đây, ĐBSCL đã phải hứng chịu liên tiếp các đợt hạn, mặn với cường độ có xu hướng ngày càng gia tăng. Theo thống kê của cục thông tin khoa học và công nghệ quốc gia, năm 2011 hạn hán đã làm nước mặn xâm nhập nhiều địa phương vùng ĐBSCL sớm hơn trung bình nhiều năm. Tại một số tỉnh ven biển ĐBSCL, nước biển xâm nhập sâu vào các sông rạch khiến các dòng sông bị nhiễm mặn từ giữa tháng 2, gây ảnh hưởng nghiêm trọng đến đời sống người dân và hoạt động sản xuất nông nghiệp. Năm 2016, ĐBSCL tiếp tục hứng chịu thiệt hại nặng nề với diện tích lúa bị ảnh hưởng trên 160,000 ha, hoa màu trên 7.000 ha và số hộ dân bị ảnh hưởng là 400,000 hộ. Đến năm 2020, hạn mặn lại xảy ra với cường độ và quy mô mạnh lớn hơn, ranh giới ảnh hưởng bởi độ mặn lớn hơn 4 g/l chiếm diện tích 1.688.600 ha [1, 2]. Các đợt hạn mặn liên tiếp xảy ra đã đặt ra yêu cầu cần có các giải pháp

cấp bách để thích ứng và giảm thiểu tác động của hạn, mặn đến sinh kế và môi trường. Nguyên nhân của sự gia tăng hạn, mặn trong thời gian gần đây ở ĐBSCL là do tác động tổ hợp của các yếu tố bao gồm phát triển thủy điện và chuyển nước ở thượng lưu lưu vực sông Mê Công, biến đổi khí hậu và nước biển dâng [3–6]. Do đó, đánh giá tác động định lượng của tổ hợp của các yếu tố này đến ĐBSCL góp phần đề ra các giải pháp giảm thiểu, thích ứng phù hợp là một yêu cầu cấp bách.

Gần đây, một số nghiên cứu đã phân tích tác động của BĐKH và các hoạt động phát triển thượng nguồn đến ĐBSCL. Chẳng hạn, nghiên cứu [7] sử dụng mô hình thủy động lực với bốn kịch bản để thể hiện những thay đổi về lưu lượng ở thượng nguồn, mưa ở ĐBSCL và mực nước biển dâng trong giai đoạn 2036-2065 cho vùng ĐBSCL. Kết quả tính toán cho thấy, lưu lượng tại bốn trạm đại diện có thể giảm đáng kể từ -2,5% xuống đến -100,2%. Trong mùa mưa, lưu lượng sông tính toán tăng từ 7,3% đến 46,7% theo bốn kịch bản được xem xét. Nghiên cứu [8] đã đánh giá tác động của chế độ dòng chảy đến xâm nhập mặn và chỉ ra rằng việc thay đổi chế độ dòng chảy trong sông sẽ ảnh hưởng trực tiếp tới phạm vi xâm nhập mặn tại vùng ĐBSCL, đặc biệt là những năm kiệt. Nghiên cứu [9] sử dụng các kịch bản biến đổi khí hậu năm 2016 của Bộ Tài nguyên và Môi trường làm đầu vào cho mô hình lan truyền mặn để đánh giá ảnh hưởng của BĐKH đến xâm nhập mặn ở ĐBSCL. Kết quả tính toán cho thấy trong tương lai xu hướng gia tăng độ sâu xâm nhập mặn tại hầu hết các sông, kênh, rạch vùng ĐBSCL. Ranh mặn 4g/l được dự báo chiếm 53%, 56% và 65% toàn bộ diện tích vùng theo các kịch bản đến năm 2030, năm 2050 và 2100. Nghiên cứu [10] sử dụng mô hình thủy lực 1 chiều và 2 chiều để mô phỏng, tính toán vận tốc dòng chảy, mực nước và độ mặn trên sông Hậu theo các kịch bản tương lai. Nghiên cứu [11] kết hợp mô hình thủy động lực 1D và 3D mô phỏng quá trình xâm nhập mặn vùng ĐBSCLvới các kịch bản phát triển đến năm 2030 và đề xuất một số chiến lược quản lý để thích ứng với tình trạng xâm nhập mặn. Nghiên cứu [12] đã sử dụng bô mô hình MIKE 11 và MIKE-GIS để mô phỏng dòng chảy vùng hạ lưu sông Cửu Long và tính toán quá trình xâm nhập mặn cho khu vực Nam Bộ. Nghiên cứu [13] tích hợp hai mô hình SWAT và HEC-RAS cùng với các phép thử Mann-Kendall và độ dốc Theil-Sen để đánh giá và phân tích xu hướng thay đổi dòng chảy và xâm nhập theo các kịch bản đến năm 2035.

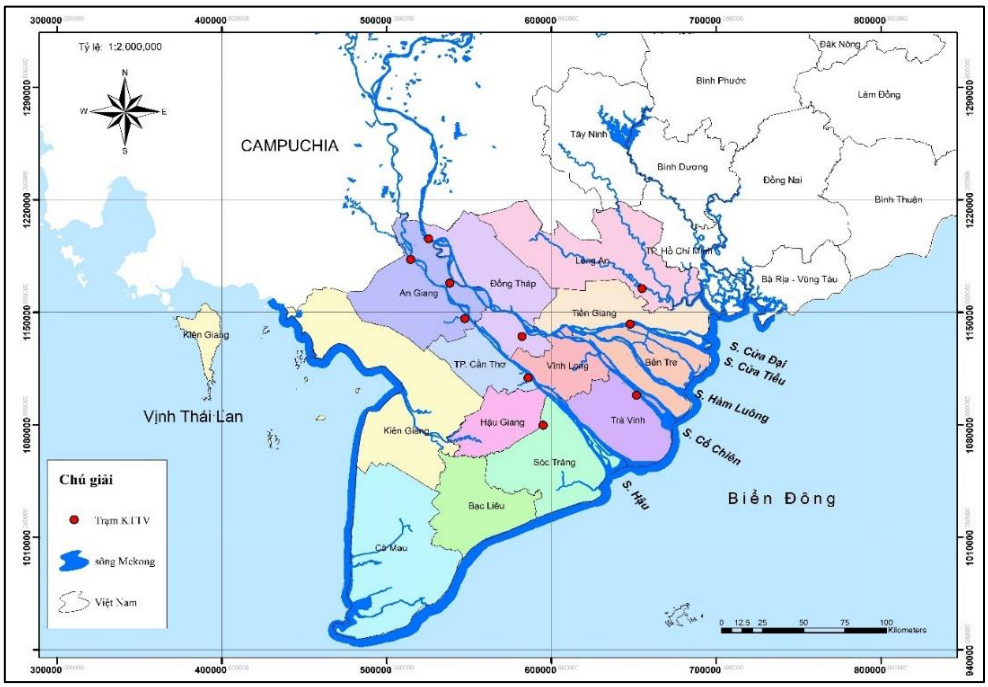
Các nghiên cứu trên đã cung cấp các thông tin tương đối đầy đủ về các tác động thượng nguồn và BĐKH. Tuy nhiên, phần lớn các nghiên cứu chỉ tập trung vào đánh giá tác động của một trong hai yếu tố, đó là phát triển thượng nguồn hoặc tác động của nước biển dâng đến xâm nhập mặn. Một số nghiên cứu sử dụng dữ liệu trong các nghiên cứu trước đó mà chưa cập nhật các kịch bản BĐKH mới, các công trình ngăn mặn được xây dựng trong thời gian gần đây [14–17]. Bài báo này sử dụng phương pháp mô hình thủy - động lực MIKE11 và GIS để đánh giá tác động của tổ hợp BĐKH (theo kịch bản biến đổi khí hậu cập nhật năm 2020) và phát triển thượng nguồn đến xâm nhập mặn vùng bờ biển ĐBSCL, với nguồn dữ liệu cập nhật mới nhất về các công trình ngăn mặn dự báo tác động đến năm 2030, 2040 và 2050. Nghiên cứu này do đó cung cấp các đánh giá tác động kép của đồng thời 2 yếu tố phát triển thượng nguồn và biến đổi khí hậu đến xâm nhập mặn, giúp các nhà quản lý, hoạch định chính sách có cái nhìn toàn diện hơn về diễn biến xâm nhập mặn ở ĐBSCL, từ đó có các giải pháp ứng phó, giảm thiểu phù hợp.

2. Phương pháp nghiên cứu

2.1. Khu vực nghiên cứu

ĐBSCL là một phần của đồng bằng châu thổ sông Mê Công bắt đầu từ Campuchia nơi sông Mê Công chia thành hai nhánh chính là nhánh sông Tiền và sông Hậu. Khi nhập vào Việt Nam, hệ thống sông phân thành 9 nhánh chính và đổ ra biển Đông (Hình). ĐBSCL có diện tích khoảng 3,9 triệu ha, chiếm 70% châu thổ sông Mê Công. Trong khi phần châu thổ trên lãnh thổ Campuchia chủ yếu bị chi phối bởi các quá trình dòng chảy sông, ĐBSCL bị

ảnh hưởng bởi sự tương tác của dòng chảy sông với các quá trình biển như thủy triều, sóng và dòng hải lưu [18]. ĐBSCL nằm trong khí hậu nhiệt đới gió mùa, chịu ảnh hưởng của gió mùa Tây Nam và Đông Bắc. Mùa cạn kéo dài từ tháng 12 đến tháng 5 năm sau và mùa lũ từ tháng 6 đến tháng 11. Tổng lượng mưa hàng năm xấp xỉ 1800 mm nhưng phân bố không đều theo cả không gian và thời gian, với khoảng 90% tổng lượng mưa tập trung vào mùa mưa, và chỉ có khoảng 10% trong mùa khô. Chế độ thuỷ văn ĐBSCL chịu ảnh hưởng mạnh mẽ của dòng chảy sông Mê Công, thuỷ triều biển Đông, vịnh Thái Lan và chế độ mưa nội vùng. Do có 2 phía giáp biển nên vùng ven biển bị mặn xâm nhập mạnh, vào mùa khô mặn xâm nhập sâu vào nội đồng, ước tính gần 2 triệu ha đất ở ĐBSCL bị ảnh hưởng bởi xâm nhập mặn [11]. Về mặt hành chính, ĐBSCL bao gồm 13 tỉnh, thành phố chiếm 19% diện tích và 12% dân số của Việt Nam. Đây được coi là vựa lúa, trung tâm sản xuất nông nghiệp và thủy sản lớn nhất cả nước, đóng vai trò chính trong đảm bảo an ninh lương thực của nước ta.



Hình 1. Bản đồ khu vực nghiên cứu.

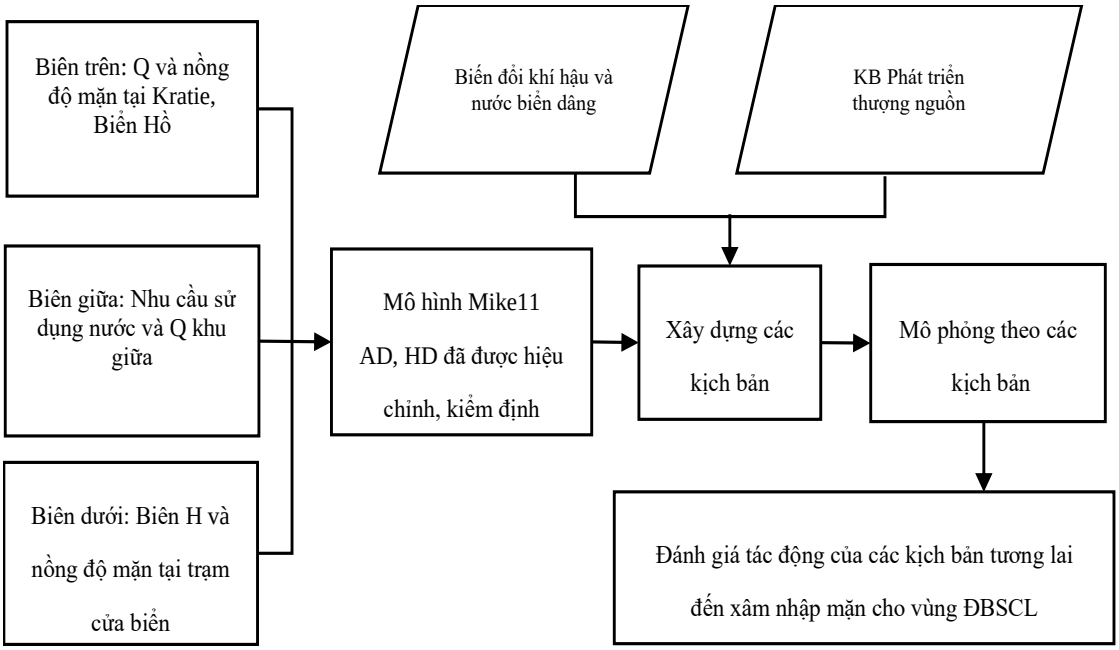
2.2. Phương pháp nghiên cứu

Sơ đồ phương pháp nghiên cứu được trình bày trên Hình 2. Theo đó, để đánh giá tác động tổ hợp của các phát triển thượng nguồn và BĐKH đến xâm nhập mặn, nghiên cứu đã tiến hành theo 3 bước chính bao gồm: (1) Hiệu chỉnh và kiểm định mô hình thủy lực và xâm nhập mặn; (2) Xây dựng và mô phỏng các kịch bản tổ hợp về BĐKH và phát triển thượng nguồn đến xâm nhập mặn đến năm 2030 và 2050; (3) Đánh giá tác động của các kịch bản tương lai đến xâm nhập mặn cho vùng ĐBSCL. Cụ thể các bước thực hiện được trình bày trên hình 2.

2.2.1. Hiệu chỉnh và kiểm định mô hình thủy lực và xâm nhập mặn

Nghiên cứu sử dụng mô MIKE 11 [19], phát triển bởi Viện Thủy lực Đan Mạch để mô phỏng quá trình xâm nhập mặn vào ĐBSCL. Mô hình MIKE 11 cho sông Mê Công được kế thừa từ Văn phòng thường trực Ủy ban sông Mê Công Việt Nam (VNMC). mô hình sử dụng 2 modul HD và AD để mô phỏng lưu lượng và nồng độ mặn trên các sông ĐBSCL. Các dữ liệu sử dụng trong mô hình bao gồm: Dữ liệu về địa hình, sông, kênh, cống được sử dụng để thiết lập mạng lưới thủy lực: bao gồm 1935 chi lưu với tổng số 12,316 mặt cắt ngang và 23,753 nút tính toán với tổng chiều dài kênh mô phỏng khoảng 24,000 km. Dữ liệu khí tượng

thủy văn: bao gồm dữ liệu đo mưa, mực nước, lưu lượng và độ mặn tại các trạm thượng lưu và hạ lưu được sử dụng làm đầu vào cho các mô hình thủy văn và thủy lực. Ngoài ra còn các thông tin, dữ liệu về sử dụng nước, trữ nước các vùng, thông tin về vận hành các công trình cống trong lưu vực.



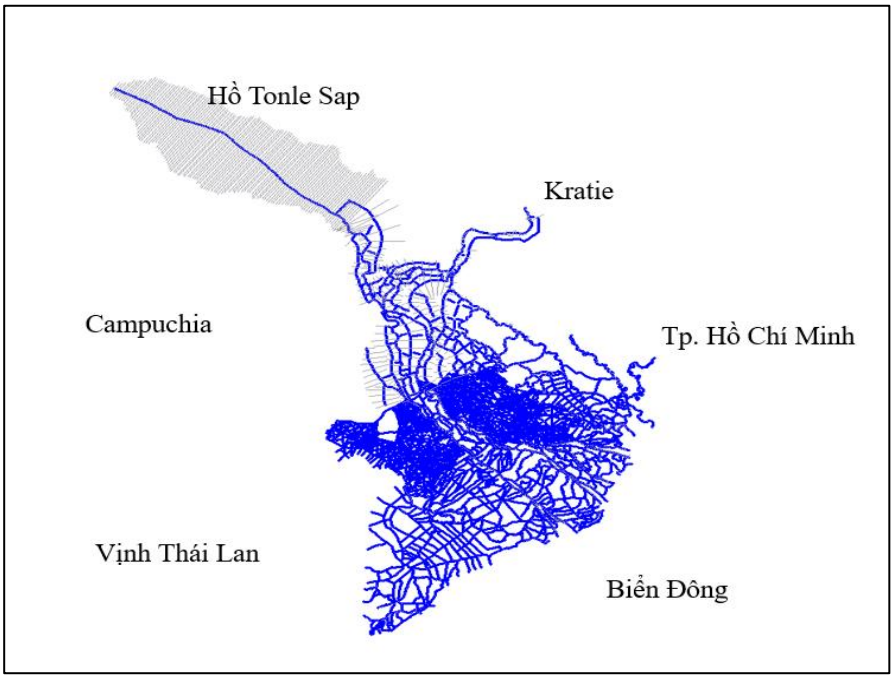
Hình 2. Sơ đồ các bước nghiên cứu.

Về điều kiện biên, biên trên: Các biên lưu lượng tại Kratie và mực nước tại biển Hồ, dữ liệu được lấy từ MRC và VNMC trong giai đoạn 2016 và 2020. Biên khu giữa: Bao gồm các biên nhu cầu sử dụng nước của các khu giữa và biên dòng chảy được tính toán từ mô hình mưa- dòng chảy MIKE NAM, kết quả mô hình được thừa kế từ VNMC. Biên hạ lưu: Gồm biên mực nước và độ mặn theo giờ tại 9 cửa sông (Vũng Tàu, Vàm Kênh, Bến Trai, Gánh Hào, Sông Đốc, Mỹ Thành, Rạch Giá, Soài Rạp, An Thuận). Dữ liệu được thu thập từ MRC, VNMC và Trung tâm Thông tin và Dữ liệu KTTV. Năm 2016 được chọn làm giai đoạn hiệu chỉnh và mùa khô năm 2020 là giai đoạn kiểm định, đây là hai năm có hạn mặn nghiêm trọng nhất trong thời gian gần đây.

2.2.2. Xây dựng và mô phỏng các kịch bản tổ hợp về BĐKH và phát triển thượng nguồn đến xâm nhập mặn

Phát triển kinh tế - xã hội trên hệ thống dòng chính sông Mê Công trong tương lai đã được xác định bởi Ủy hội sông Mê Công quốc tế bao gồm các thay đổi về phát triển thủy điện, hệ thống kiểm soát lũ, diện tích tưới và các dự án chuyển nước trong lưu vực theo quy hoạch đến 2030 và 2050. Các phát triển và BĐKH sẽ tác động trực tiếp đến dòng chảy biên trên tại Kratie và đã được nhiều nghiên cứu đánh giá. Nghiên cứu này kế thừa kết quả đánh giá từ [13] trong đó các kịch bản được xây dựng sử dụng các dự báo về các điều kiện khí tượng thủy văn, các nhu cầu khai thác, sử dụng nước và các giả thiết can thiệp trong tương lai đã được Ủy hội sông Mê Công quốc tế xác định. Các kịch bản nước biển dâng ảnh hưởng đến biên dưới của mô hình được lựa chọn theo kịch bản BĐKH cập nhật năm 2020 (RCP 4.5) của Bộ Tài nguyên Môi trường [15]. Nghiên cứu lựa chọn năm 2020 là năm gần đây nhất phản ánh các điều kiện phát triển mới nhất trên lưu vực đại diện cho năm kịch bản hiện trạng (KBHT). Đồng thời đây là cũng năm hạn, mặn diễn ra nghiêm trọng nhất trong những năm qua ở ĐBSCL. Điều kiện thủy văn KBHT là các điều kiện thủy văn, công trình năm 2020. Với các KB2030 và KB2050, lưu lượng tại Kratie được xác định giảm 15% và 37% so

với KBHT. Với kịch bản BĐKH RCP 4.5, mực nước biển tăng 12 cm vào năm 2030 và 23cm vào năm 2050. Bảng 1 cung cấp thông tin mô tả chi tiết các kịch bản này.



Hình 3. Mạng lưới thủy lực, ĐBSCL.

Bảng 1. Các kịch bản về điều kiện thủy văn và nước biển dâng.

STT	Kịch bản	Dòng chảy tại Kratie	BĐKH&NBD	Điều kiện phát triển
1	KBHT	Hiện trạng	Không	Các đặc trưng hồ đập, hệ thống kiểm soát lũ, diện tích tưới thời kì hiện trạng.
2	KB2030	-15%	RCP 4.5 + NBD 12cm	Hệ thống đập, hệ thống kiểm soát lũ, Diện tích tưới và các dự án chuyển nước trong lưu vực theo quy hoạch đến 2030.
4	KB2050	-37%	RCP 4.5 + NBD 23cm	Hệ thống đập trên các sông, hệ thống kiểm soát lũ, diện tích tưới và các dự án chuyển nước trong lưu vực theo quy hoạch đến 2050.

2.2.3. Đánh giá tác động của các kịch bản tương lai đến xâm nhập mặn cho vùng ĐBSCL

Ở bước này các kết quả mô phỏng xâm nhập mặn bằng mô hình sẽ được xuất ra và đưa lên bản đồ sử dụng công cụ GIS. Bằng các công cụ nội suy, nghiên cứu sẽ lập bản đồ ảnh hưởng của xâm nhập mặn cho toàn ĐBSCL với các cấp độ mặn 1g/l và 4 g/l. Sau đó, các đặc trưng chiều dài xâm nhập mặn, diện tích xâm nhập mặn theo các cấp độ mặn khác nhau sẽ được tính toán sử dụng các công cụ phân tích không gian trên GIS.

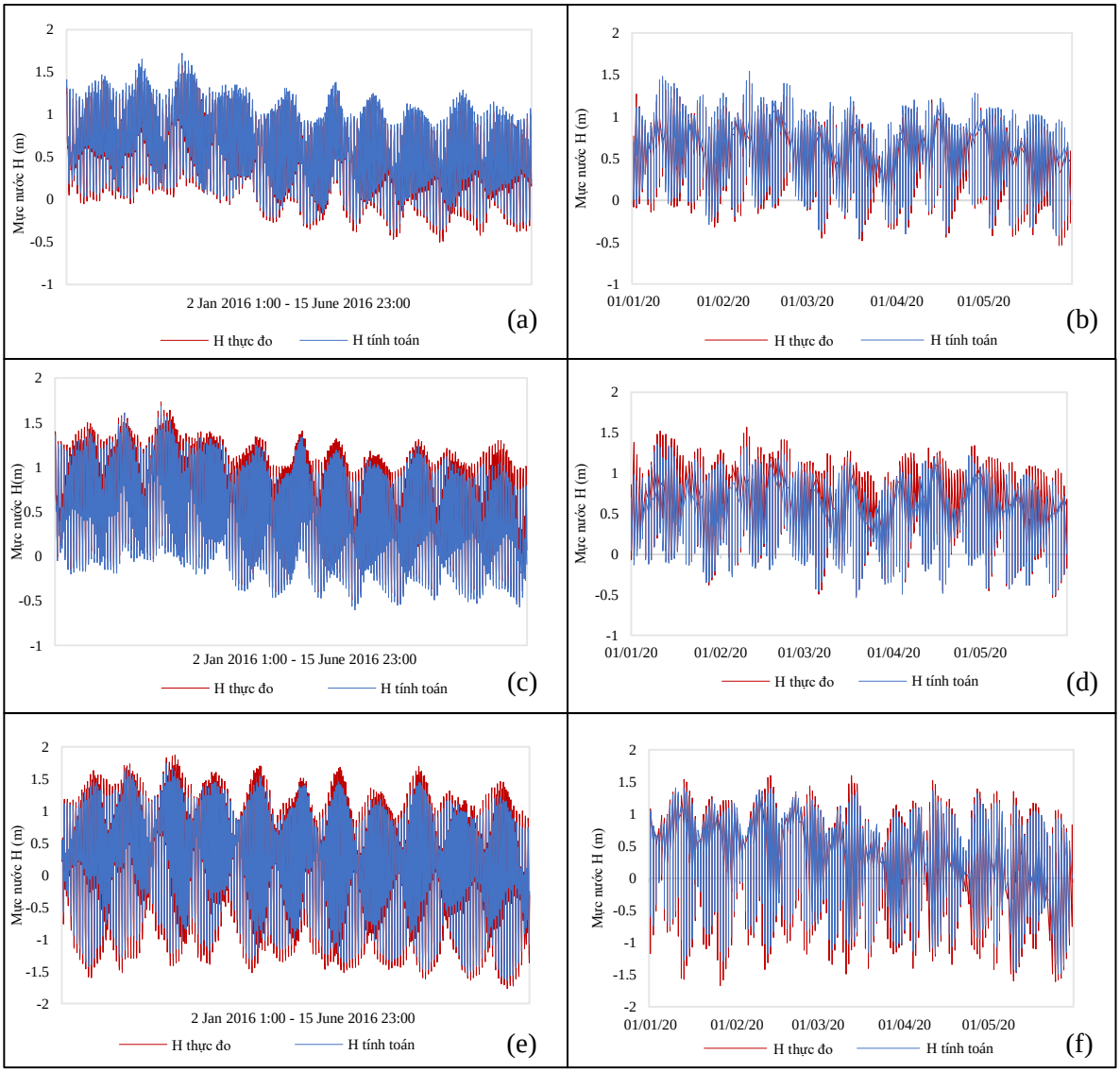
3. Phân tích kết quả và thảo luận

3.1. Kết quả mô hình MIKE 11

3.1.1. Kết quả hiệu chỉnh và kiểm định mô hình HD

Bảng 2 và Hình 4 trình bày kết quả hiệu chỉnh và kiểm định mô hình thủy lực tại 7 trạm thủy văn vùng ĐBSCL. Kết quả hiệu chỉnh, kiểm định rất tốt với hệ số tương quan $R^2 > 0,96$ và Nash-Sutcliffe > 0,86. Kết quả kiểm định năm 2020 các giá trị Nash và R^2 đều trên 0,72.

Kết quả hiệu chỉnh, kiểm định trên cho thấy bộ mô hình hoàn toàn có thể sử dụng để mô phỏng chế độ dòng chảy, phục vụ cho mô hình lan truyền mặn trên toàn ĐBSCL.



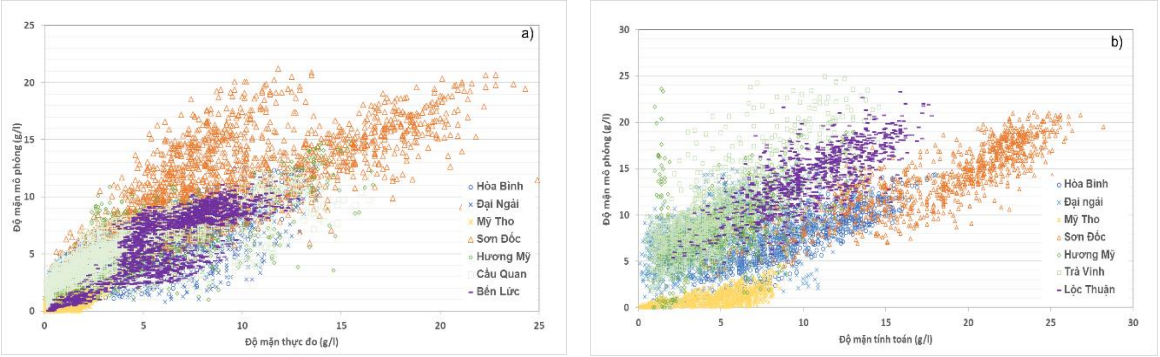
Hình 4. Đường quá trình so sánh mực nước tính toán và thực đo giai đoạn hiệu chỉnh và kiểm định tại các trạm Tân Châu, Châu Đốc, Đại Ngải: (a) Trạm Tân Châu, hiệu chỉnh 2016; (b) Trạm Tân Châu, kiểm định 2020; (c) Trạm Châu Đốc, hiệu chỉnh 2016; (d) Trạm Châu Đốc, kiểm định 2020; (e) Trạm Đại Ngải, hiệu chỉnh 2016; (f) Trạm Đại Ngải, kiểm định 2020.

Bảng 2. Bảng chỉ số hiệu chỉnh, kiểm định mô hình thủy lực MIKE 11 vùng ĐBSCL.

STT	Trạm	Hiệu chỉnh 2016		Kiểm định 2020	
		Nash	R^2	Nash	R^2
1	Cần Thơ	0,92	0,96	0,97	0,92
2	Mỹ Tho	0,95	0,98	0,98	0,95
3	Trà Vinh	0,95	0,98	0,98	0,92
4	Đại Ngải	0,96	0,99	0,98	0,95
5	Mỹ Thuận	0,94	0,98	0,88	0,93
6	Tân Châu	0,96	0,99	0,98	0,96
7	Châu Đốc	0,86	0,97	0,91	0,73

3.1.2. Kết quả hiệu chỉnh kiểm định mô hình lan truyền mặn

Tương tự như hiệu chỉnh, kiểm định mô hình thủy lực, nghiên cứu tiến hành hiệu chỉnh mô hình lan truyền mặn trong giai đoạn từ tháng 1-5/2016 và kiểm định trong giai đoạn từ tháng 1-5/2020.



Hình 5. Tương quan độ mặn thực đo và mô phỏng giai đoạn hiệu chỉnh (a) và kiểm định (b) tại các trạm Đại Ngãi, Hòa Bình, Hương Mỹ, Mỹ Tho, Cầu Quan, Lộc Thận, Bến Lức và trạm Sơn Đốc.

Bảng 3. Chỉ số hiệu chỉnh, kiểm định mô hình lan truyền mặn ĐBSCL.

STT	Hiệu Chỉnh			Kiểm định		
	Vị trí	R^2	Pbias	Vị trí	R^2	Pbias
1	Đại Ngải	0,78	-5,44	Đại Ngải	0,69	-8,11
2	Sơn Đốc	0,72	-9,77	Sơn Đốc	0,79	9,92
3	Hòa Bình	0,69	0,48	Hòa Bình	0,86	5,51
4	Mỹ Tho	0,66	8,07	Mỹ Tho	0,62	4,72
5	Bến Lức	0,85	0,59	Lộc Thuận	0,64	-9,77
6	Cầu Quan	0,82	-5,42			
7	Hương Mỹ	0,77	-5,27			

Kết quả hiệu chỉnh và kiểm định mô hình xâm nhập mặn được đánh giá đạt, kết quả so sánh độ mặn thực đo và tính toán tại các trạm đo mặn có sự tương đồng về pha dao động với hệ số tương quan R^2 nằm từ 0,5-0,85, hệ số cân bằng tổng lượng ở mức chấp nhận để mô phỏng xâm nhập mặn vùng ĐBSCL theo các kịch bản hiện trạng và tương lai ở các bước tiếp theo.

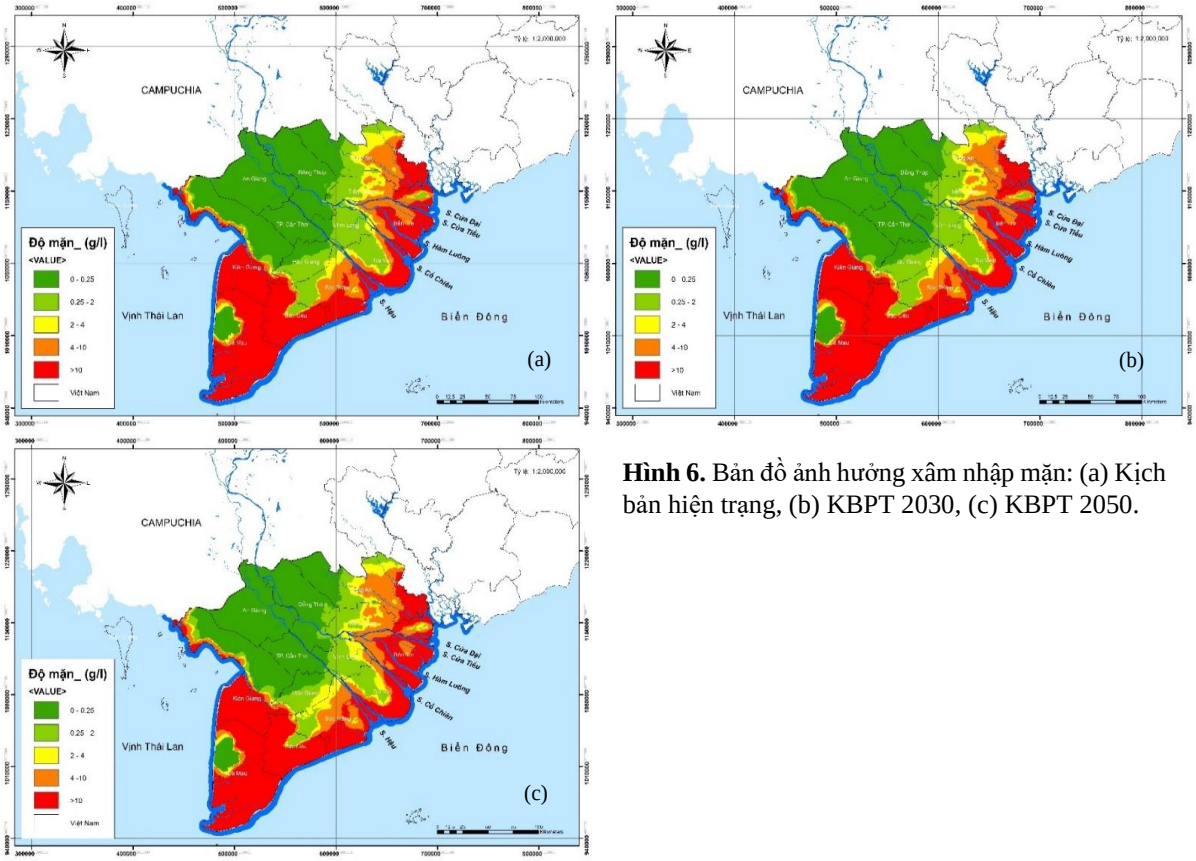
3.2. Đánh giá tình hình xâm nhập mặn theo các kịch bản

Công cụ GIS được sử dụng để thành lập bản đồ mặn và phân tích sự thay đổi của độ mặn theo các kịch bản từ kết quả của mô hình MIKE 11. Bảng 4 trình bày kết quả tính toán chiều dài xâm nhập mặn lớn nhất tương ứng với độ mặn > 4 g/l. Theo đó, với kịch bản hiện trạng năm 2020, gianh mặn 4 g/l xâm nhập vào sông Tiền 83,3 km, sông Hậu 48,9 km và sông Cổ Chiên 53 km.

Bảng 4. Chiều sâu lớn nhất độ mặn > 4g/l vùng ĐBSCL theo các kịch bản.

Chiều sâu lớn nhất độ mặn > 4g/l các kịch bản			
Sông	KBHT (km)	KB 2030 (km)	KB 2050 (km)
Sông Tiền	83,3	85,6	88,9
Sông Hậu	48,9	50,4	55,1
Sông Cổ Chiên	53	55,4	66,7

Hình 6 trình bày bản đồ ảnh hưởng của xâm nhập mặn cho kịch bản hiện trạng, 2030 và 2050 theo các cấp độ mặn khác nhau. Dự báo đến năm 2030, 2050 khi bị ảnh hưởng bởi tác động của BĐKH và nước biển dâng cùng với tác động của các phát triển thượng lưu, chiều dài xâm nhập mặn vào các sông tăng sẽ đáng kể. Cụ thể, đến năm 2030, so với kịch bản hiện trạng chiều dài xâm nhập mặn tương ứng với ranh mặn 4 g/l tăng thêm 2,3 km trên sông Tiền; 1,5 km trên sông Hậu và 2,4km trên sông Cổ Chiên. Đến năm 2050 chiều dài xâm nhập mặn tăng 5,6 km trên sông Tiền, 6,2 km trên sông Hậu và 13,7 km trên sông Cổ Chiên.



Hình 6. Bản đồ ảnh hưởng xâm nhập mặn: (a) Kịch bản hiện trạng, (b) KBPT 2030, (c) KBPT 2050.

Bảng 1. Diện tích xâm nhập mặn vùng ĐBSCL theo các kịch bản.

Độ mặn (g/l)	Diện tích xâm nhập mặn (10^6 ha)		
	HT	**2030**	**2050**
<1	1,692	1,647	1,480
1-2	0,231	0,256	0,306
2-4	0,230	0,226	0,280
>4	1,872	1,896	1,960

Từ bản đồ ảnh hưởng của xâm nhập mặn, nghiên cứu cũng đã tính toán diện tích bị ảnh hưởng bởi xâm nhập mặn tương ứng với các cấp mặn khác nhau như trình bày ở Bảng 5. Kết quả tính toán cho thấy ranh giới vùng nước nhạt (< 1g/l) có xu hướng co hẹp, trong khi ranh giới vùng mặn > 4g/l tăng lên. Diện tích xâm nhập mặn với độ mặn dưới 1g/l giảm từ 1,6 tr.ha trong điều kiện hiện trạng xuống còn $1,4\times10^6$ ha vào năm 2050 (giảm 4,1%). Trong khi đó, diện tích xâm nhập mặn với độ mặn lớn hơn 4 g/l tăng lên khoảng 0,6% (khoảng 24,2 nghìn ha) vào năm 2030 và 2,3% (khoảng 88 nghìn ha) vào năm 2050. Dự báo đến năm 2050 khoảng hơn $2,5\times10^6$ ha vùng ĐBSCL sẽ bị nhiễm mặn với độ mặn lớn hơn 1 g/l, tăng 9,1% so với hiện trạng.

4. Kết luận

Trong bối cảnh ảnh hưởng của các hoạt động khai thác tài nguyên nước ở thượng lưu và biến đổi khí hậu đến nguồn nước ĐBSCL ngày càng gia tăng, việc nghiên cứu, đánh giá định lượng tác động của các yếu tố này đến xâm nhập mặn vùng ĐBSCL từ đó đề ra các biện pháp giảm thiểu, thích ứng phù hợp là một yêu cầu cấp bách. Nghiên cứu này sử dụng kết hợp các phương pháp mô hình và GIS để xây dựng bản đồ xâm nhập mặn và đánh giá sự thay đổi của quá trình xâm nhập mặn trên sông thuộc vùng ĐBSCL theo các kịch bản hiện trạng, 2030, 2050. Kết quả cho thấy sự gia tăng đáng kể về chiều dài và diện tích xâm nhập mặn trong tương lai dưới tác động của biến đổi khí hậu và các hoạt động khai thác tài nguyên nước thượng nguồn. Nước mặn sẽ xâm nhập vào sông Tiền 85,6 km, khoảng 50,4 km trên sông Hậu và 55,4 km trên sông Cổ Chiên vào năm 2030. Đến năm 2050, chiều dài xâm nhập mặn tăng 5,6 km trên sông Tiền, 6,2 km trên sông Hậu và 13,7 km trên sông Cổ Chiên, diện tích bị ảnh hưởng bởi xâm nhập mặn tương ứng với ranh mặn 4 g/l tăng 2,3% (khoảng 88 nghìn ha) so với hiện trạng.

Hiện nay nhiều hoạt động xây dựng các công trình giảm thiểu ảnh hưởng của xâm nhập mặn ĐBSCL đã được xúc tiến (xây dựng các cống, đập ngăn mặn). Tuy nhiên, nghiên cứu chưa cập nhật các kế hoạch xây dựng các công trình này vào mô hình mà mới sử dụng dữ liệu về các công trình này đến năm 2020. Trong nghiên cứu tiếp theo, việc đánh giá tác động và hiệu quả của các công trình này cũng như các giải pháp thích ứng với ảnh hưởng của xâm nhập mặn đến vùng ĐBSCL sẽ được xem xét đánh giá.

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

Lời cảm ơn: Nghiên cứu này được thực hiện dưới sự hỗ trợ của đề tài "Nghiên cứu, đánh giá tác động tổ hợp của các hoạt động kinh tế - xã hội và hệ thống hồ chứa trên dòng chính sông Mê Công đến vùng bờ biển đồng bằng sông Cửu Long" mã số: ĐTĐL.CN–56/21.

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. Anh, T.N.; Bình, N.T.; Tùng, N.B.; Đức, Đ.Đ.; Hạnh, N.Đ.; Dư, N.H. Xây dựng công cụ đánh giá ảnh hưởng của xâm nhập mặn đến kinh tế-xã hội và áp dụng tính thử nghiệm cho đồng bằng Sông Cửu Long. *Tạp chí Khoa học Biến đổi Khí hậu* **2021**, *17*, 20–29.
2. Định, L.X.; Quân, N.M.; Tiến, P.A. Xâm nhập mặn tại đồng bằng sông Cửu Long: nguyên nhân, tác động và các giải pháp ứng phó. Cục thông tin Khoa học và công nghệ Quốc gia, Bộ Khoa học và Công nghệ, 2016.
3. Fan, H.; He, D.; Wang, H. Environmental consequences of damming the mainstream Lancang-Mekong river: A review. *Earth-Sci. Rev.* **2015**, *146*, 77–91. doi:10.1016/j.earscirev.2015.03.007.
4. Kuenzer, C.; Campbell, I.; Roch, M.; Leinenkugel, P.; Tuan, V.Q.; Dech, S. Understanding the impact of hydropower developments in the context of upstream–downstream relations in the Mekong river basin. *Sustain. Sci.* **2013**, *8*, 565–584. doi:10.1007/s11625-012-0195-z.
5. Räsänen, T.A.; Koponen, J.; Lauri, H.; Kummu, M. Downstream hydrological impacts of hydropower development in the upper Mekong basin. *Water Resour. Manag.* **2012**, *26*, 3495–3513. doi:10.1007/s11269-012-0087-0.

6. Kantoush, S.; Binh, D.V.; Sumi, T.; Trung, L.V. Impact of upstream hydropower dams and climate change on hydrodynamics of Vietnamese Mekong Delta. *J. Japan Soc. Civil Eng. Ser B1* **2017**, *73*, I109–I114.
7. Duong, T.A.; Long, H.P.; Duc, M.B.; Peter, R. Modelling seasonal flows alteration in the Vietnamese Mekong delta under upstream discharge changes, rainfall changes and sea level rise. *Int. J. River Basin Manage*. **2018**, *17(4)*, 1–15.
8. HDR. Nghiên cứu tác động của các công trình thủy điện trên dòng chính sông Mê Công (MDS). DHI, 2016, tr. 113.
9. Mai, V.T.; Vũ, H.N.; Khiêm, M.V.; Hoàng, T.T. Nghiên cứu tác động của biến đổi khí hậu đến xâm nhập mặn vùng đồng bằng sông Cửu Long, đánh giá điển hình tại tỉnh Bến Tre. *Tạp chí Khoa học Biến đổi Khí hậu* **2018**, *5*, 90–98.
10. Duong, T.A.; Long, H.P.; Duc, M.B.; Peter, R. Simulating future flows and salinity intrusion using combined one- and two-dimensional hydrodynamic modelling – The case of Hau River, Vietnamese Mekong Delta. *Water* **2018**, *10(7)*, 897.
11. Dung, T.D.; Thuc, P.T.B.; Park, E.; Hang, P.T.T.; Man, D.B.; Wang, J. Extent of saltwater intrusion and freshwater exploitability in the coastal Vietnamese Mekong delta assessed by gauging records and numerical simulations. *J. Hydrol*. **2024**, *630*, 130655.
12. 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.
13. Linh, V.; Nguyen, L.; Hà, P.; Dung, H.; Nguyen, L. Đánh giá xu thế của ngập lụt và xâm nhập mặn tại thành phố Hồ Chí Minh dựa trên mô hình SWAT và HEC-RAS trong bối cảnh biến đổi khí hậu. Hội thảo Ứng dụng GIS toàn quốc 2019, 2019.
14. Smajgl, A.; Toan, T.Q.; Nhan, D.K.; Ward, J.; Trung, N.H.; Tri, L.Q.; Tri, V.P.D.; Vu, P.T. Responding to Rising Sea Levels in the Mekong Delta. *Nat. Clim. Change* **2015**, *5*, 167–174. doi:10.1038/nclimate2469.
15. Thắng, N.V.; Ngà, P.T.T.; Hương, H.T.L.; Thăng, V.V.; Phong, D.H.; Huy, L.Q.; Khiêm, M.V.; Hiển, N.X. Kịch bản biến đổi khí hậu phiên bản cập nhật năm 2020, 2020.
16. Khang, N.D.; Kotera, A.; Sakamoto, T.; Yokozawa, M. Sensitivity of salinity intrusion to sea level rise and river flow change in Vietnamese Mekong delta-impacts on availability of irrigation water for rice cropping. *J. Agric. Meteorol*. **2008**, *64*, 167–176. doi:10.2480/agrmet.64.3.4.
17. Eslami, S.; Hoekstra, P.; Minderhoud, P.S.J.; Trung, N.N.; Hoch, J.M.; Sutanudjaja, E.H.; Dung, D.D.; Tho, T.Q.; Voepel, H.E.; Woillez, M.-N.; et al. Projections of salt intrusion in a mega-delta under climatic and anthropogenic stressors. *Commun. Earth Environ*. **2021**, *2*, 1–11. doi:10.1038/s43247-021-00208-5.
18. Tamura, T.; Horaguchi, K.; Saito, Y.; Nguyen, V.L.; Tateishi, M.; Ta, T.K.O.; Nanayama, F.; Watanabe, K. Monsoon-influenced variations in morphology and sediment of a mesotidal beach on the Mekong river delta coast. *Geomorphology* **2010**, *116*, 11–23.
19. Trực tuyến: https://www.Mikepoweredbydhi.Com/Products/Mike-11.
20. Đức, N.A. Nghiên cứu phân bố dòng chảy tại lưu vực sông Mê Công trong điều kiện phát triển sử dụng nước tưới của các Quốc gia lưu vực sông Mê Công phục vụ cho công tác đàm phán của Việt Nam và chia sẻ nguồn nước trong thực hiện hiệp định Mê Công 1995 và công ước 1997 của Liên hợp Quốc, 2020-04-083/KQNC, 2019.

Quantitative assessing impacts of climate change and upstream developments on saltwater intrusion in the Vietnam Mekong Delta

Dương Hong Son[1], Bui Huyen Linh[1]*, Nguyen Anh Duc[1], Tran Anh Phuong[1]

[1] Water Resources Institute, Ministry of Natural Resources and Environment; dhson.monre@gmail.com; linhb.dctv@gmail.com; nganhduc@yahoo.com; phuongtran.monre@gmail.com

Abstract: Upstream exploitation of water resources, climate change and sea level rise have increasingly caused negative impacts on the Vietnam Mekong Delta (VND), of which saltwater intrusion is considered one of the most severe impacts. This paper presents the results of assessing the saltwater intrusion in the VND according to the present and socio-economic development scenarios using numerical modeling and GIS methods. Obtained results show that compared to the present scenario, by 2050 the maximum length of saltwater intrusion corresponding to a salinity level of 4 g/l will increase by 5.6km on the Tien River, 6.2 km on the Hau River and 13.7 km on the Co River. It is forecast that by 2050, more than 2.5 million hectares of land in the VND will be salinized with salinity greater than 1 g/l, an increase of 9.1% compared to the present scenario. The results of this study will provide information to propose solutions to adapt and mitigate the impacts of saltwater intrusion in the Mekong Delta upstream which is caused by water resource exploitation, climate change and sea level rise.

Keywords: Climate Change; Salinization; MIKE11; Vietnam Mekong Delta.

TẠP CHÍ
KHÍ TƯỢNG THỦY VĂN

Check for updates

Bài báo khoa học

Đánh giá chất lượng mưa vệ tinh CMORPH trên lưu vực sông Lam

Trịnh Minh Ngọc[1], Đặng Đình Khá[1], Ngô Chí Tuấn[1], Nguyễn Ý Như[1]*

[1] Khoa Khí tượng Thủy văn và Hải dương học, Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, Đại học Quốc gia Hà Nội; trinhminhngoc@hus.edu.vn; dangdinhkha@hus.edu.vn; ngochituan@gmail.com; nguyenynhu@hus.edu.vn

*Tác giả liên hệ: nguyenynhu@hus.edu.vn; Tel.: +84–869110757
Ban Biên tập nhận bài: 15/2/2024; Ngày phản biện xong: 25/3/2024; Ngày đăng bài: 25/7/2024

Tóm tắt: Dữ liệu mưa vệ tinh đóng vai trò quan trọng trong nghiên cứu tài nguyên nước trên lưu vực sông, đặc biệt là các lưu vực sông liên quốc gia, khi độ phân giải và mức độ chính xác của mưa vệ tinh ngày càng được nâng cao. Nội dung bài báo sẽ phân tích đánh giá chất lượng dữ liệu mưa vệ tinh CMORPH trong thời gian 23 năm (2000 – 2022) trên lưu vực sông Lam. Nghiên cứu sử dụng chuỗi dữ liệu thực đo từ 17 trạm mưa để so sánh với các ô lưới mưa theo đánh giá theo thời đoạn mưa ngày, mưa tháng, mưa mùa và mưa năm. Các chỉ số thống kê định tính, định lượng, pha mưa để đánh giá theo phân bố thời gian, không gian của dữ liệu mưa CMORPH. Phân tích các kết quả nghiên cứu cho thấy sản phẩm mưa CMORPH có xu thế thiên thấp khoảng 20% so với mưa trạm, phân bố mưa theo không gian phản ảnh tốt, tổng lượng mưa theo tháng tương quan khá tốt với mưa trạm (CC=0,81), tuy nhiên, dữ liệu mưa theo ngày thì chưa phản ảnh tốt khi chỉ số tương quan chỉ khoảng 0,42 và các sự kiện mưa lớn.

Từ khoá: CMORPH; Lưu vực sông Lam; Chỉ số thống kê.

1. Đặt vấn đề

Nước đóng vai trò quan trọng trong sinh kế của con người và cả hệ sinh thái. Đây cũng là một nguồn tài nguyên cơ bản không thể thiếu cho sự phát triển kinh tế - xã hội bền vững. Tuy nhiên, các vấn đề liên quan đến tài nguyên nước đang ngày càng trở nên nghiêm trọng do sự tăng dân số và sự phát triển kinh tế diễn ra nhanh chóng. Lượng mưa là một trong những dữ liệu quan trọng trong các bài toán tài nguyên nước đặc biệt là nghiên cứu trữ lượng, phân bổ nguồn nước, thiên tai lũ lụt [1] trong điều kiện biến đổi khí hậu diễn ra ngày càng phức tạp và nhanh chóng.

Các sản phẩm lượng mưa hiện có từ các nguồn phổ biến như; quan trắc tại các trạm đo mặt đất, vệ tinh/radar, sản phẩm của các mô hình số [2]. Những nguồn dữ liệu mưa có những đặc tính về ưu và nhược điểm khác nhau. Trong khi chất lượng dữ liệu quan trắc mang đặc điểm đáng tin cậy nhất tuy nhiên sự phân bố không gian của chúng thường thưa thớt và không đồng đều, nhất là ở những vùng địa hình bị hạn chế [3]. Các sản phẩm quan trắc từ vệ tinh với độ bao phủ rộng theo không gian có khả năng bổ khuyết cho các trạm đo mưa trên mặt đất. Mặc dù đã có sự tiến bộ nhảy vọt về các công nghệ quan trắc từ xa như radar, vệ tinh nhưng các nguồn dữ liệu thu nhận từ vệ tinh vẫn còn tiềm ẩn nhiều sai số [4, 5] hoặc do thiết bị thu nhận [6] hoặc do thuật toán ước tính lượng mưa [4, 7] hay do sự khác biệt điều kiện khí hậu, mặt đệm giữa các vùng [8] ... Do vậy, lựa chọn sản phẩm từ vệ tinh nào có đủ độ tin cậy để bổ khuyết cho các nguồn dữ liệu quan trắc mặt đất trong tính toán phân bổ tài nguyên nước vẫn còn là hướng nghiên cứu được quan tâm trong những năm gần đây.

Các sản phẩm mưa vệ tinh có sự khác biệt lớn giữa các vùng, do vậy, trên thế giới đã có nhiều nghiên cứu tiến hành đánh giá các sản phẩm mưa trên các quy mô khác nhau; như trên phạm vi toàn cầu [9], các châu lục [10, 11], khu vực khác nhau [5, 12], vùng liên quốc gia [5, 13–30], quốc gia [31, 32] hay trên các lưu vực sông [24, 33]. Sau khi thực hiện các nghiên cứu thường đưa ra kết luận khẳng định mức độ chính xác của các dữ liệu mưa vệ tinh biến đổi theo từng mùa, từng vùng khí hậu và địa hình. Như nghiên cứu tại Indonesia [34], và châu Âu [35], Malaysia [36], Bhutan [37] để chỉ ra rằng, dữ liệu mưa CMORPH thường thiên thấp so với mưa thực đo, trong khi đó tại khu vực Bắc Trung Quốc lại có xu thế thiên cao đáng kể [38].

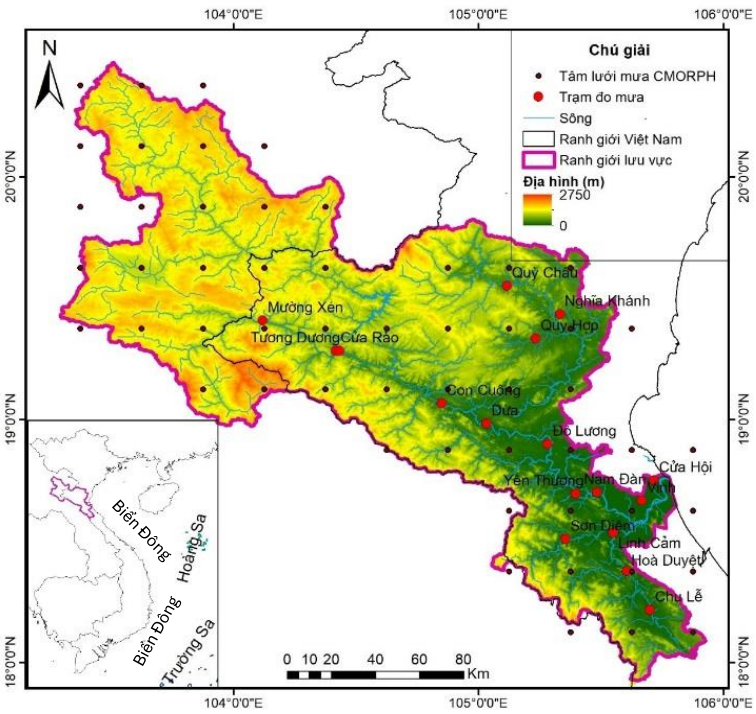
Ở Việt Nam, các nhà khoa học đã nghiên cứu đánh giá các dữ liệu mưa vệ tinh như trên một số lưu vực sông như tại sông Srê Pốk [23] sông Mã [39], lưu vực sông Mê Công [40, 41], khu vực miền Trung [42]. Các nghiên cứu đều chứng minh rằng việc sử dụng các dữ liệu mưa vệ tinh hoàn toàn có thể bổ khuyết cho những khu vực thiếu/không có trạm quan trắc mặt đất và hơn thế nữa còn nâng cao hiệu quả tính toán dòng chảy khi kết hợp với số liệu quan trắc mặt đất [40]. Trên lưu vực sông Cả, nghiên cứu [7] đã đánh giá 4 dữ liệu mưa GPM, TRMM, CHIRPS, CMORPH nhưng còn một số hạn chế như; thời đoạn đánh giá chỉ 3 năm (2015-2017), số lượng trạm mặt đất sử dụng là 12 trạm, chưa đưa ra những thông tin về lượng mưa cực trị của dữ liệu mưa vệ tinh so với mưa quan trắc mặt đất, đánh giá số liệu mưa theo năm mới chỉ dùng số liệu của năm 2015. Do vậy, cần có thêm những phân tích với chuỗi số liệu dài hơn và đầy đủ hơn để có những góc nhìn toàn diện về dữ liệu mưa vệ tinh.

Bài báo này có mục đích chính là đánh giá số liệu mưa CMORPH cho sông Lam (hay còn gọi là sông Cả) nhằm phục vụ nghiên cứu đánh giá tài nguyên nước trên lưu vực sông Lam trong điều kiện nguồn dữ liệu quan trắc mặt đất còn hạn chế.

2. Dữ liệu sử dụng và phương pháp nghiên cứu

2.1. Khu vực nghiên cứu

Lưu vực sông Lam (còn gọi là sông Cả) là lưu vực sông xuyên biên giới, khu vực thượng lưu thuộc CHDCND Lào (chiếm 35% diện tích lưu vực), vùng hạ lưu thuộc Việt Nam (65% diện tích lưu vực). Đây là một trong những sông lớn nhất vùng Bắc Trung Bộ với diện tích đất nông nghiệp chiếm hơn 75,8% diện tích lưu vực [43], do đó nguồn nước đóng vai trò quan trọng trong phát triển kinh tế xã hội trên lưu vực. Tuy nghiên, những nghiên cứu gần đây [44, 45] cho thấy những tác hại của hạn hán, lũ lụt, xâm nhập mặn,… càng trở lên trầm trọng trên lưu vực sông Lam.



Hình 1. Bản đồ lưu vực sông Lam.

Lưu vực sông Lam nằm ở vùng nhiệt đới gió mùa, với lượng mưa trung bình trên lưu vực trong khoảng 1100-2500 mm/năm, được chia làm 2 mùa; mùa mưa từ tháng V-X, mùa khô từ tháng XI-IV [43]. Sông Lam được hợp thành từ 2 nhánh chính là sông La (chảy trên

địa phận tỉnh Hà Tĩnh) và sông Cả (chảy qua địa phận tỉnh Nghệ An). Sông Lam trở thành ranh giới giữa tỉnh Nghệ An và Hà Tính trước khi đổ ra Biển Đông tại Cửa Hội.

Mạng lưới trạm quan trắc mưa trên lưu vực còn khá thưa thớt so với tiêu chuẩn của tổ chức Khí tượng thế giới WMO [7]. Ngoài ra, mật độ phân bố của các trạm đo mưa chủ yếu tập trung ở khu vực đồng bằng và thưa thớt vùng thượng lưu, miền núi (Hình 1). Do vậy, nguồn dữ liệu mưa từ vệ tinh có vai trò quan trọng trong bổ khuyết nguồn dữ liệu mưa trên lưu vực sông.

2.2. Dữ liệu mưa vệ tinh sử dụng trong nghiên cứu

Trong nghiên cứu này, các tác giả phân tích, đánh giá dữ liệu mưa CMORPH (*Climate Prediction Center Morphing Technique*) [46], đây là dữ liệu mưa được phát triển bởi Trung tâm Dự báo Khí hậu (*Climate Prediction Center*) của Cơ quan Khí tượng Quốc gia Hoa Kỳ (*National Weather Service*) để ước tính mưa toàn cầu dựa trên dữ liệu vệ tinh. Mưa CMORPH sử dụng kỹ thuật "Morphing" để kết hợp và nâng cao chất lượng dữ liệu mưa từ các cảm biến vệ tinh chuyển động như MODIS (*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*) và TRMM (*Tropical Rainfall Measuring Mission*). Dữ liệu mưa CMORPH có 3 sản phẩm mưa với độ phân giải theo không gian và thời gian khác nhau bao gồm; 30-phút/8 km, 3-giờ/0,25° và 1- ngày/0,25°, thời gian có dữ liệu từ năm 1998 đến nay. Dựa trên mật độ trạm quan trắc mặt đất và độ phân giải thời gian của dữ liệu hiện có trên lưu vực, nghiên cứu đã chọn dữ liệu mưa CMORPH có độ phân giải phù hợp là 1-ngày/0.25° để tiến hành đánh giá.

2.3. Dữ liệu mưa quan trắc tại mặt đất

Để đánh giá sản phẩm mưa vệ tinh CMORPH, nghiên cứu đã sử dụng số liệu mưa quan trắc tại các trạm khí tượng thủy văn trên lưu vực sông Lam. Số liệu mưa trạm bao gồm dữ liệu mưa theo ngày tại 17 trạm đo mưa được quan trắc trong giai đoạn 2000-2022 từ Tổng cục khí tượng thủy văn (Hình 1).

2.4. Phương pháp nghiên cứu

Để phân tích hiệu quả của dữ liệu mưa CMORPH so với mưa trạm thường có 2 phương pháp bao gồm (1) nội suy mưa tại điểm trạm về mưa lưới có cùng độ phân giải theo không gian với sản phẩm mưa vệ tinh, (2) trích xuất dữ liệu mưa lưới về điểm quan trắc. Với cách tiếp cận (1) [42] sẽ cho kết quả các chỉ số thống kê trên từng ô lưới mưa bao phủ toàn bộ vùng nghiên cứu. Nhưng phương pháp này chỉ nên sử dụng ở những khu vực có mạng lưới trạm quan trắc đủ dày và thuật toán nội suy cũng cần được đánh giá, kiểm chứng để lượng mưa tại mỗi ô lưới sẽ đại diện cho số liệu mưa tại đó. Với cách tiếp cận (2) [26] có ưu điểm có thể được thực hiện tại những lưu vực sông có mật độ trạm thưa và khi so sánh trực tiếp các số liệu mưa lưới với các giá trị quan trắc tại trạm mặt đất sẽ đảm bảo không làm mất đi những đặc điểm mang tính cực trị của dữ liệu quan trắc. Trong nghiên cứu này đã sử dụng cách tiếp cận (2) để đánh giá mưa CMORPH được thực hiện theo phương pháp điểm trạm mưa nằm trong ô lưới của mưa vệ tinh sẽ sử dụng giá trị mưa tại ô lưới đó để so sánh với mưa thực đo. Các nội dung phân tích bao gồm:

Đánh giá lượng mưa theo mùa/năm dựa trên bản đồ phân bố mưa và tổng lượng mưa theo mùa/năm.

Đánh giá lượng mưa theo tháng dựa trên hệ số tương quan (CC), sai số độ lệch (PBIAS) sai số tuyệt đối trung bình (MAE).

Đánh giá lượng mưa theo ngày dựa trên hệ số CC, xác suất dự báo đúng (PC), tỷ lệ cảnh báo khống (FAR) và chỉ số thành công (CSI).

Đánh giá lượng mưa theo các ngưỡng mưa và giá trị cực trị. Các chỉ số thống kê sử dụng trong đánh giá được thể hiện trong bảng 1.

Bảng 1. Các chỉ số được sử dụng để đánh giá sản phẩm mưa vệ tinh CMORPH cho khu vực nghiên cứu.

Chỉ số đánh giá	Đơn vị	Công thức
Hệ số tương quan (CC)	-	$CC = \frac{\sum_{i=1}^{n}(O_i - \overline{O})(P_i - \overline{P})}{\sqrt{\sum_{i=1}^{n}(O_i - \overline{O})^2}\sqrt{\sum_{i=1}^{n}(P_i - \overline{P})^2}}$
Sai số tuyệt đối trung bình (MAE)	mm	$MAE = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\lvert O_i - P_i\rvert$
Độ lệch phần trăm (PBIAS)	%	$PBIAs = \frac{\sum_{i=1}^{n}(O_i - P_i)}{\sum_{i=1}^{n} O_i} \times 100$
Xác suất dự báo đúng (PC)	-	$PC = \frac{A + D}{A + B + C + D}$
Tỷ lệ cảnh báo khống (FAR)	-	$FAR = \frac{B}{A + B}$
Chỉ số thành công (CSI)	-	$CSI = \frac{A}{A + B + C}$

Chú thích: n: số ngày quan trắc O_i, Giá trị mưa quan trắc tại trạm Pi, Giá trị mưa lưới hoặc giá trị lưu lượng tính toán; A: Tổng số lần phát hiện đúng mưa; B: Tổng số lần cảnh báo mưa sai (cảnh báo khống). C: Tổng số lần không phát hiện được mưa (cảnh báo sót); A, B, C, D được xác định theo bảng 2.

Bảng 2. Xác định các chỉ số biến của pha mưa.

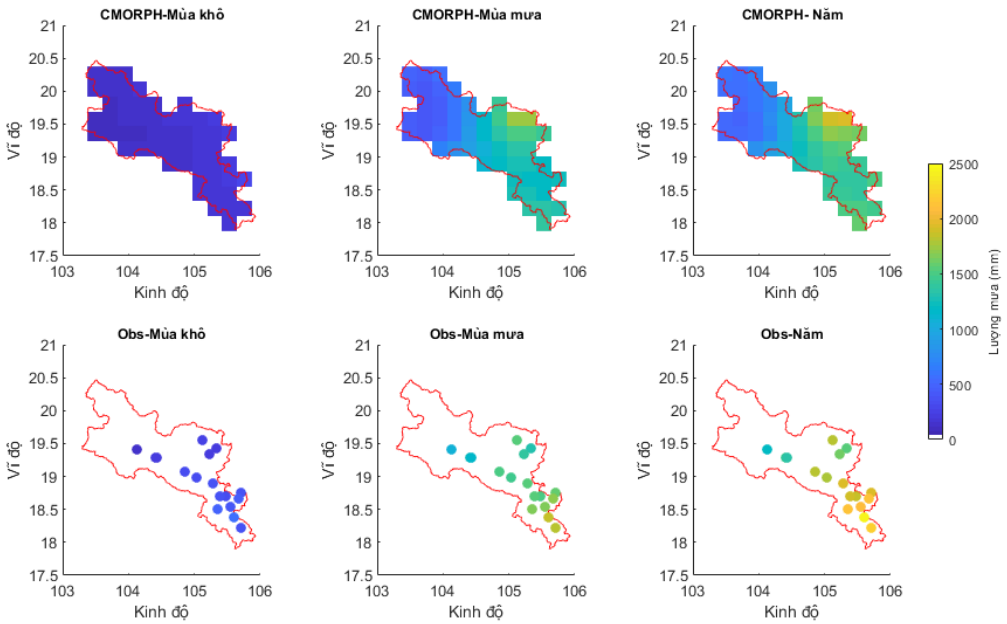
Thực tế / Dự báo	Có	Không
Có	A	B
Không	C	D

3. Kết quả và thảo luận

3.1. Đánh giá mưa CMORPH theo mùa/năm

Các kết quả từ việc phân tích sự biến đổi lượng mưa theo mùa và hàng năm của tất cả các vùng CMORPH và các trạm đo mưa ở quy mô lưới trong giai đoạn 2000-2022 được thể hiện trong Hình 2. Kết quả cho thấy, phân bố không gian dữ liệu mưa có xu hướng tăng dần từ vùng thương lưu của lưu vực xuống vùng hạ lưu. Điều này thể hiện ở cả dữ liệu mưa mùa và năm của CMORPH và các trạm quan trắc mặt đất. Phân bố theo thời gian, mùa khô lượng mưa CMORPH nằm trong khoảng 95-292 mm, trong khi đó dữ liệu mưa quan trắc tại trạm nằm trong khoảng 153-566 mm.

Hình 2 cho thấy điểm khác biệt rõ rệt lượng mưa mùa khô của dữ liệu CMORPH và dữ liệu quan trắc mặt đất. Mùa mưa cũng thể hiện kết quả tương tự khi lượng mưa mùa mưa thu được từ dữ liệu CMORPH nằm trong khoảng 392-1734 mm so với dữ liệu quan trắc tại trạm dao động trong khoảng 1058-1857 mm. Cũng cần lưu ý rằng, dữ liệu mưa quan trắc mặt đất chỉ thu thập các trạm nằm ở lãnh thổ Việt Nam, trong khi phía thượng lưu (phần thuộc CHDCND Lào) không có trạm quan trắc mặt đất, đây cũng là khu vực có lượng mưa thấp hơn so với các vùng khác của lưu vực. Phân bố tổng lượng mưa trung bình nhiều năm cho thấy, lượng mưa CMORPH thiên thấp so với lượng mưa mặt đất. Cụ thể, khu vực hạ lưu là vùng có lượng mưa lớn nhất với giá trị quan trắc tại trạm mặt đất lên đến 2430 mm/năm, trong khu dữ liệu CMORPH chỉ khoảng 1930 mm/năm.



Hình 2. Phân bố lượng mưa theo mùa, năm của dữ liệu mưa CMORPH và tại trạm quan trắc(Obs) trên lưu vực sông Lam trong giai đoạn từ 2000-2022.

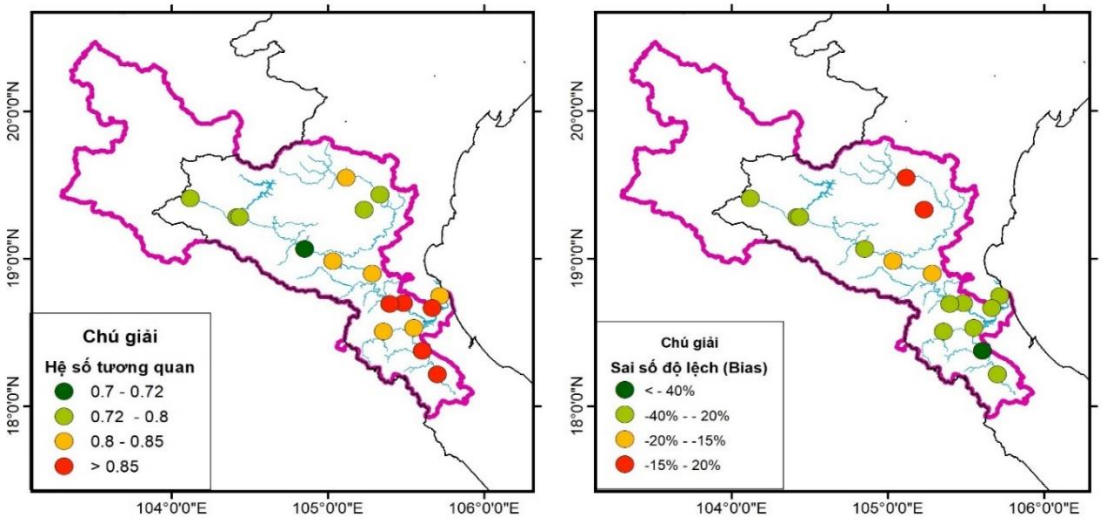
3.2. Đánh giá mưa CMORPH theo tổng lượng mưa tháng

Chuỗi thời gian lượng mưa trung bình Tháng trên lưu vực của CMORPH trong giai đoạn 2000-2023 được đánh giá dựa trên dữ liệu đo mưa quan trắc tại 17 trạm đo trên lưu vực sông Lam. Kết quả hệ số tương quan (CC) giữa mưa CMORPH và mưa tại các trạm quan trắc mặt đất nằm trong khoảng 0,72-0,88 thể hiện sự tượng quan khá tốt giữa mưa CMORPH và mưa trạm (hình 3). Tuy nhiên, khi xét chỉ số độ lệch PBIAS cho thấy mưa CMORPH thiên thấp so với mưa trạm khoảng 20%. Vùng thiên thấp nhiều nhất thể hiện ở khu vực thượng lưu của các sông như tại trạm Hòa Duyệt (-42%), Mường Xén (-39%), Sơn Diệm (-31%) (bảng 3). Giá trị Sai số tuyệt đối trung bình (MAE) của các trạm nằm trong khoảng 51-97 mm/tháng. Do vậy, có thể sử dụng dữ liệu mưa CMORPH để tính toán tài nguyên nước (với số liệu mưa tháng), cần lưu ý về tổng lượng thiên thấp so với dữ liệu thực đo.

Bảng 3. Các chỉ số thống kê của số liệu quan trắc và lượng mưa CMORPH và theo thời gian Ngày/Tháng.

STT	Tên Trạm	Thời đoạn so sánh	CC	MAE	BIAs	PC	FAR	CSI	STT	Tên Trạm	Thời đoạn so sánh	CC	MAE	BIAs	PC	FAR	CSI
1	Cửa Hội	Tháng	0,84	79,69	0,22				10	Nghĩa Khánh	Tháng	0,79	75,05	-0,27			
		Ngày	0,49	5,92	0,22	0,67	0,55	0,35			Ngày	0,43	5,97	-0,27	0,69	0,52	0,39
2	Cửa Rào	Tháng	0,73	56,66	0,31				11	Quỳ Châu	Tháng	0,83	63,95	-0,11			
		Ngày	0,30	4,63	0,31	0,71	0,43	0,46			Ngày	0,43	6,19	-0,11	0,72	0,36	0,49
3	Đô Lương	Tháng	0,82	67,11	0,20				12	Quỳ Hợp	Tháng	0,79	69,60	-0,18			
		Ngày	0,46	5,80	0,20	0,69	0,42	0,41			Ngày	0,43	6,19	-0,11	0,69	0,43	0,44
4	Dừa	Tháng	0,84	59,17	0,15				13	Sơn Diệm	Tháng	0,83	78,56	0,31			
		Ngày	0,45	5,57	0,15	0,68	0,44	0,40			Ngày	0,45	6,17	0,31	0,66	0,42	0,41
5	Hoà Duyệt	Tháng	0,86	97,21	0,42				14	Yên Thượng	Tháng	0,85	64,62	0,25			
		Ngày	0,46	6,74	0,42	0,66	0,46	0,39			Ngày	0,39	6,10	0,25	0,65	0,51	0,36
6	Linh Cảm	Tháng	0,83	76,87	0,31				15	Con Cuông	Tháng	0,72	82,07	0,23			
		Ngày	0,46	5,91	0,31	0,67	0,43	0,43			Ngày	0,37	6,30	0,23	0,64	0,42	0,39
7	Mường Xén	Tháng	0,73	55,81	0,39				16	Chu Lễ	Tháng	0,86	91,71	0,37			
		Ngày	0,30	3,76	0,39	0,71	0,55	0,40			Ngày	0,41	6,62	0,37	0,65	0,51	0,37

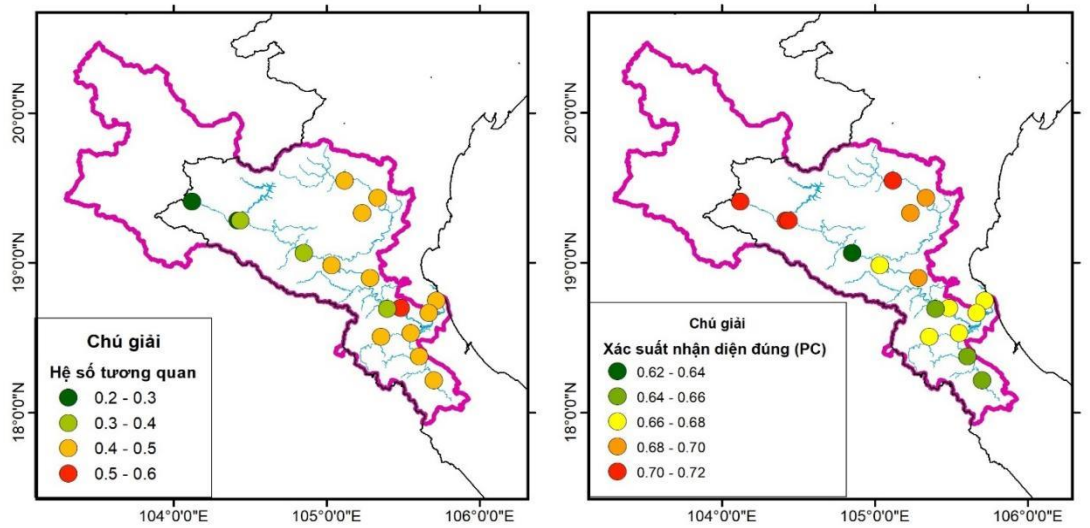
STT	Tên Trạm	Thời đoạn so sánh	CC	MAE	BIAs	PC	FAR	CSI	STT	Tên Trạm	Thời đoạn so sánh	CC	MAE	BIAs	PC	FAR	CSI
8	Nam Đàn	Tháng	0,88	59,70	0,23				17	Vinh	Tháng	0,88	78,27	0,33			
		Ngày	0,52	5,42	0,23	0,68	0,50	0,38			Ngày	0,50	6,02	0,33	0,67	0,44	0,41
9	Tương Dương	Tháng	0,75	51,32	0,27												
		Ngày	0,31	4,42	0,27	0,72	0,42	0,47									



Hình 3. Chỉ số tương quan và sai số độ lệch (%) tại các trạm của khu vực nghiên cứu.

3.3. Đánh giá mưa CMORPH theo lượng mưa ngày

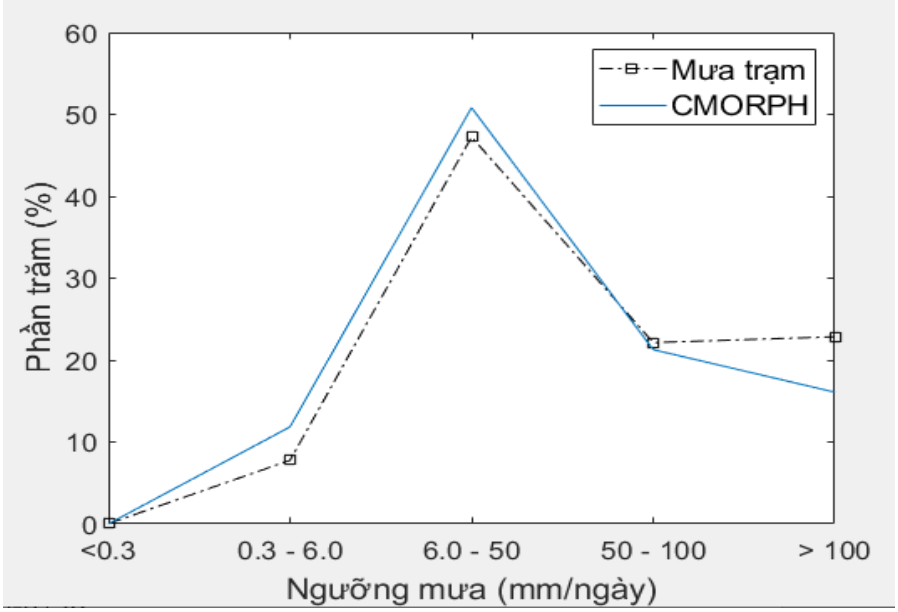
Kết quả đánh giá hệ số tương quan giữa số liệu mưa CMORPH và mưa trạm theo chuỗi số liệu mưa ngày được trình bày trong Bảng 3, với hệ số CC nằm trong khoảng 0,2-0,52, giá trị này thấp hơn nhiều so với hệ CC đánh giá theo chuỗi tháng. Khu vực thượng lưu vực có hệ số tương quan chỉ khoảng 0,2-0,4, khu vực hạ lưu giá trị CC phổ biến trong khoảng 0,4-0,5. Sự khác biệt giữa mưa CMORPH và mưa trạm còn thể hiện thông qua khả năng nhận diện mưa khống (FAR) của dữ liệu CMORPH nằm trong khoảng 0,36-0,55. Khả năng phát hiện đúng sự kiện mưa được phản ảnh qua chỉ số thành công (CSI) của dữ liệu CMORPH chỉ khoảng 0,41. Trong khi đó, xác suất nhận diện đúng (PC) cả hiện tượng không mưa và có mưa nằm trong khoảng 0,62-0,72, kết quả này tương được với nghiên cứu trước đó của [7]. Qua đó có thể thấy, chuỗi số liệu mưa ngày của CMORPH mới chỉ phản ảnh phần nào các hiện tượng mưa và không mưa so với thực tế.



Hình 4. Chỉ số tương quan và xác suất nhận diện đúng hiện tượng của mưa CMORPH theo số liệu mưa ngày.

3.4. Đánh giá lượng mưa theo các ngưỡng mưa và giá trị cực trị

Hình 4 thể hiện tỷ lệ phần trăm tổng lượng mưa theo các ngưỡng mưa nhỏ (0,1-6.0 mm), mưa vừa (6-50 mm), mưa to (50-100 mm), mưa rất to (>100 mm). Kết quả cho thấy, trên lưu vực chủ yếu xảy ra hiện tượng mưa vừa, với lượng đóng góp chiếm khoảng 50% tổng lượng mưa trên lưu vực. Trong khi đó, lượng mưa nhỏ và mưa to chiếm khoảng 10-25%. Đặc biệt với lượng mưa rất to, thì dữ liệu mưa trạm cho lượng đóng góp khoảng 26% cao hơn so với mưa CMORPH (19%). Qua đó cho thấy, dữ liệu CMORPH luôn có xu thế thiên thấp với các trận mưa lớn, chưa phản ánh được các giá trị mưa cực trị.



Hình 5. Tỷ lệ lượng mưa theo các ngưỡng mưa.

4. Kết luận

Dựa trên những phân tích, đánh giá CMORPH trên các thời đoạn cho thấy rằng ở cả 3 thời đoạn mưa mùa, mưa tháng, mưa ngày, dữ liệu vệ tinh đều có xu hướng đánh giá mưa thấp hơn so với thực đo. Phân bố theo không gian, dữ liệu mưa CMORPH phản ảnh khá tốt xu thế lượng mưa giảm dần từ thượng lưu về hạ lưu ven biển phù hợp với phân bố của dữ liệu mưa trạm. Phân bố theo thời gian, dữ liệu CMORPH phản ánh tốt với chuỗi số liệu theo tháng thể hiện qua hệ số tương quan trung bình tại 17 trạm là 0,81. Tuy nhiên, với số liệu mưa theo ngày cho thấy, mưa CMORPH chưa phản ảnh tốt khả năng phát hiện sự kiện có mưa khi chỉ số CSI dao động trong khoảng 0,35-0,49. Hệ số tương quan trung bình tại cả trạm chỉ khoảng 0,42 các hiện tượng mưa rất to luôn có xu thế thiên thấp so với dữ liệu trạm. Các kết quả nghiên cứu cho thấy sự tương đồng với các nghiên cứu trước đó được thực hiện ở cùng vùng khí hậu như nhiên cứu ở Malaysia [36], lưu vực sông Mê Công [40]. Do đó, để năng cao độ chính xác của dự liệu mưa vệ tinh cần tiến hành sử dụng các thuật toán hiệu chỉnh như; hiệu chỉnh phân vị phi tham số (*nonparametric Quantile Mapping*) [47], tỷ lệ tuyến tính (linear scaling) [47], ngưỡng cường độ mưa [48], hiệu chỉnh sai số tỷ lệ [49], phân tích hồi quy [50], mạng thần kinh nhân tạo [51]. Với kết quả đánh giá ở trên, có thể sử dụng dữ liệu mưa CMORPH cho bài toán tính toán tài nguyên nước hay phân tích biến đổi khí hậu ở bước thời gian tháng, mùa, năm ở những vùng thiếu số liệu quan trắc (như vùng thượng lưu).

Đóng góp của tác giả: Xây dựng ý tưởng nghiên cứu: T.M.N., N.Y.N., Đ.Đ.K.; Lựa chọn phương pháp nghiên cứu: T.M.N., N.Y.N.; Thu thập và xử lý số liệu: Đ.Đ.K., N.C.T.; Viết bản thảo bài báo: T.M.N., N.Y.N., Đ.Đ.K., N.C.T.; Chỉnh sửa bài báo: T.M.N., N.Y.N., Đ.Đ.K.

Lời cảm ơn: Nghiên cứu này được tiến hành trong khuôn khổ đề tài QG.23.19 của ĐHQGHN

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

Tài liệu tham khảo

1. Senent-Aparicio, J.; López-Ballesteros, A.; Pérez-Sánchez, J.; Segura-Méndez, F.J.; Pulido-Velazquez, D. Using multiple monthly water balance models to evaluate gridded precipitation products over peninsular Spain. *Remote Sens*. **2028**, *10*, https://doi.org/10.3390/rs10060922.
2. Sun, Q.; Miao, C.; Duan, Q.; Ashouri, H.; Sorooshian, S.; Hsu, K.L. A review of global precipitation data sets: Data sources, estimation, and intercomparisons. *Rev. Geophys.* **2018**, 56, 79–107. https://doi.org/10.1002/2017RG000574.
3. Ebert, E.E.; Janowiak, J.E.; Kidd, C. Comparison of Near-Real-Time Precipitation Estimates from Satellite Observations and Numerical Models. *Bull. Am. Meteorol. Soc.* **2007**, *88*, 47–64. https://doi.org/10.1175/BAMS-88-1-47.
4. Mekonnen, G.; Menberu, M.B.; Feyera, A.H.; Gebrehiwot, N.T. Accuracy of satellite rainfall estimates in the Blue Nile Basin: Lowland plain versus highland mountain. *Water Resour. Res. AGU Publ.* **2014**, 8775–8790. https://doi.org/10.1002/2013WR014500.
5. Guo, H.; Chen, S.; Bao, A.; Hu, J.; Gebregiorgis, A.S.; Xue, X.; et al. Inter-comparison of high-resolution satellite precipitation products over Central Asia. *Remote Sens.* **2015**, *7*, 7181–7211. https://doi.org/10.3390/rs70607181.
6. Wu, H.; Chen, B. Evaluating uncertainty estimates in distributed hydrological modeling for the Wenjing River watershed in China by GLUE, SUFI-2, and ParaSol methods. *Ecol. Eng.* **2014**, *76*, 110–121. https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2014.05.014.
7. Hải, B.T.; Tuấn, N.V. Nghiên cứu đánh giá vá 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.
8. Sorooshian, S.; AghaKouchak, A.; Arkin, P.; Eylander, J.; Foufoula-Georgiou, E.; Harmon, R.; et al. Advanced Concepts on Remote Sensing of Precipitation at Multiple Scales. *Bull. Am. Meteorol. Soc*. **2011**, *92*, 1353–1357. https://doi.org/10.1175/2011BAMS3158.1.
9. Yong, B.; Liu, D.; Gourley, J.J.; Tian, Y.; Huffman, G.J.; Ren, L.; et al. Global View Of Real-Time Trmm Multisatellite Precipitation Analysis: Implications For Its Successor Global Precipitation Measurement Mission. *Bull. Am. Meteorol. Soc*. **2015,** *96*, 283–296. https://doi.org/10.1175/BAMS-D-14-00017.1.
10. Negrón Juárez, R.I.; Li, W.; Fu, R.; Fernandes, K. de Oliveira, C.A. Comparison of Precipitation Datasets over the Tropical South American and African Continents. *J. Hydrometeorol*. **2009**, *10*, 289–299. https://doi.org/10.1175/2008JHM1023.1.
11. Awange, J.L.; Ferreira, V.G.; Forootan, E.; Khandu.; Andam-Akorful, S.A.; Agutu, N.O.; et al. Uncertainties in remotely sensed precipitation data over Africa. *Int. J. Climatol*. **2016**, 36, 303–323. https://doi.org/10.1002/joc.4346.
12. Prakash, S.; Mitra, A.K.; Rajagopal, E.N.; Pai, D.S. Assessment of TRMM-based TMPA-3B42 and GSMaP precipitation products over India for the peak southwest monsoon season. *Int. J. Climatol*. **2016**, *36*, 1614–1631. https://doi.org/10.1002/joc.4446
13. Xue, X.; Hong, Y.; Limaye, A.S.; Gourley, J.J.; Huffman, G.J.; Khan, S.I.; et al. Statistical and hydrological evaluation of TRMM-based Multi-satellite Precipitation Analysis over the Wangchu Basin of Bhutan: Are the latest satellite precipitation products 3B42V7 ready for use in ungauged basins. *J. Hydrol*. **2013**, *499*, 91–99. https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2013.06.042.
14. Ebert, E.E.; Janowiak, J.E.; Kidd, C. Comparison of near-real-time precipitation estimates from satellite observations and numerical models. Bull. *Am. Meteorol. Soc.* **2007**, *88(1)*, 47–64. https://doi.org/10.1175/BAMS-88-I-47.
15. Tian, Y.; Peters-Lidard, D. C., Adler, R.F.; Kubota, T.; Ushio T. Evaluation of GSMaP

precipitation estimates over the contiguous United States. *J. Hydrometeorol.* **2010**, *11*, 566–574. https://doi.org/10.1175/2009JHM1190.1.

16. Gebremichael, M.; Bitew, M.M.; Hirpa, F.A.; Hirpa, F.A. Accuracy of satellite rainfall estimates in the Blue Nile Basin: Lowland plain versus highland mountain. *Water Resour. Res.* **2014**, 5329–5333. https://doi.org/10.1002/2013WR014910.
17. Gosset, M.; Viarre, J.; Quantin, G.; Alcoba, M. Evaluation of several rainfall products used for hydrological applications over West Africa using two high-resolution gauge networks. *Q. J. R. Meteorolog. Soc.* **2013**, *139*, 923–940. https://doi.org/10.1002/qj.2130
18. Tian, Y.; Peters-Lidard, C.D.; Eylander, J.B. Real-Time Bias Reduction for Satellite-Based Precipitation Estimates. *J. Hydrometeorol.* **2010**, *11*, 1275–1285. https://doi.org/10.1175/2010JHM1246.1.
19. Sorooshian, S.; Aghakouchak, A.; Arkin, P.; Eylander, J.; Foufoula-Georgiou, E.; Harmon, R.; et al. Advanced concepts on remote sensing of precipitation at multiple scales. *Bull. Am. Meteorol. Soc.* **2011**, *92*, 1353–1357. https://doi.org/10.1175/2011BAMS3158.1.
20. Dandridge, C.; Lakshmi, V.; Bolten, J.; Srinivasan, R. Evaluation of satellite-based rainfall estimates in the Lower Mekong River Basin (Southeast Asia). *Remote Sens.* **2019**, 11, 1–17. https://doi.org/10.3390/rs11222709.
21. Luo, X.; Wu, W.; He, D.; Li, Y.; Ji, X. Hydrological simulation using TRMM and CHIRPS precipitation estimates in the lower Lancang-Mekong river basin. *Chin. Geogr. Sci.* **2019**, *29*, 13–25. https://doi.org/10.1007/s11769-019-1014-6
22. Nguyen, T.H.; Masih, I.; Mohamed, Y.A.; van der Zaag, P. Validating rainfall-runoff modelling using satellite-based and reanalysis precipitation products in the sre pok catchment, the mekong river basin. *Geosci.* **2018**, *8*, 164. https://doi.org/10.3390/geosciences8050164.
23. Thom, V.T.; Khoi, D.N.; Linh, D.Q. Using gridded rainfall products in simulating streamflow in a tropical catchment – A case study of the Srepok River Catchment, Vietnam. *J. Hydrol. Hydromech.* **2017**, *65*, 18–25. https://doi.org/10.1515/johh-2016-0047.
24. Wang, W.; Lu, H.; Yang, D.; Sothea, K.; Jiao, Y.; Gao, B.; et al. Modelling hydrologic processes in the Mekong River basin using a distributed model driven by satellite precipitation and rain gauge observations. *PLoS ONE*. **2016**, *11*, 1–19. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0152229.
25. Wang, W.; Lu, H.; Zhao, T.; Jiang, L.; Shi, J. Evaluation and comparison of daily rainfall from latest GPM and TRMM products over the Mekong River Basin. *IEEE J. Sel. Top. Appl. Earth Obs. Remote Sens.* **2017**, *10*, 2540–2549. https://doi.org/10.1109/JSTARS.2017.2672786.
26. Li, Y.; Wang, W.; Lu, H.; Khem, S.; Yang, K.; Huang, X. Evaluation of three satellite-based precipitation products over the lower mekong river basin using rain gauge observations and hydrological modeling. *IEEE J. Sel. Top. Appl. Earth Obs. Remote Sens.* **2019**, *12*, 2357–2373. https://doi.org/10.1109/JSTARS.2019.2915840.
27. Chen, A.; Chen, D.; Azorin-Molina, C. Assessing reliability of precipitation data over the Mekong river basin: A comparison of ground-based, satellite, and reanalysis datasets. *Int. J. Climatol.* **2018**, *38*, 4314–4334. https://doi.org/10.1002/joc.5670.
28. Try, S.; Tanaka, S.; Tanaka, K.; Sayama, T.; Oeurng, C.; Uk, S.; et al. Comparison of gridded precipitation datasets for rainfall-runoff and inundation modeling in the Mekong River Basin. *PLoS ONE* **2020**, *15*, 1–13. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0226814.
29. Kiên, N.T.; Thành, L.Đ.; Sơn, L.H. Nghiên cứu ứng dụng tính toán dự báo lũ sông Mê Công từ mưa vệ tinh SRE và TRMM. Tuyển Tập Hội Nghị Khoa Học Thường Niên Năm 2014, Đại học Thủy lợi, Hà Nội. 2014, tr. 471–474.
30. Sơn, N.T.; Anh, N.Q. Khai thác sử dụng số liệu mưa vệ tinh trong dự báo lũ lưu vực sông Mê Kông (từ Chiang Saen đến Strung Streng). *Tạp chí Khoa học: Khoa học tự nhiên và Công nghệ* **2015**, *31*, 222–230.
31. Duan, Z.; Liu, J.; Tuo, Y.; Chiogna, G.; Disse, M. Evaluation of eight high spatial

resolution gridded precipitation products in Adige Basin (Italy) at multiple temporal and spatial scales. *Sci. Total Environ.* **2016**, *573*, 1536–1553. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.08.213.

32. Krakauer, N.Y.; Pradhanang, S.M.; Lakhankar, T.; Jha, A.K. Evaluating satellite products for precipitation estimation in mountain regions: A case study for Nepal. *Remote Sens*. **2013**, *5*, 4107–4123. https://doi.org/10.3390/rs5084107
33. Ren, P.; Li, J.; Feng, P.; Guo, Y.; Ma, Q. Evaluation of multiple satellite precipitation products and their use in hydrological modelling over the Luanhe river basin, China. *Water*. **2018**, *10*, 677–700. https://doi.org/10.3390/w10060677.
34. Vernimmen, R.R.E.; Hooijer, A.; Mamenun.; Aldrian, E.; Van Dijk, A.I.J.M. Evaluation and bias correction of satellite rainfall data for drought monitoring in Indonesia. *Hydrol. Earth Syst. Sci*. **2012**, *16*, 133–146. https://doi.org/10.5194/hess-16-133-2012.
35. Stampoulis, D.; Anagnostou, E. Evaluation of global satellite rainfall products over Continental Europe. *J. Hydrometeorol*. **2012**, *13*, 588–603. https://doi.org/10.1175/JHM-D-11-086.1.
36. Tan, M.; Ibrahim, A.; Duan, Z.; Cracknell, A.; Chaplot, V. Evaluation of six high-resolution satellite and ground-based precipitation products over Malaysia. *Remote Sens.* **2015**, *7*, 1504–1528. https://doi.org/10.3390/rs70201504.
37. Khandu, L.; Awange, J.; Forootan, E. Interannual variability of temperature in the UTLS region over Ganges-Brahmaputra-Meghna river basin based on COSMIC GNSS RO data. *Atmos. Meas. Tech.* **2016**, *9*, 1685–1699. https://doi.org/10.5194/amt-9-1685-2016.
38. Yang, Y.; Luo, Y. Evaluating the performance of remote sensing precipitation products CMORPH, PERSIANN, and TMPA, in the arid region of northwest China. *Theor. Appl. Climatol.* **2014**, *118*, 429–445. https://doi.org/10.1007/s00704-013-1072-0
39. Kiên, N.T.; An, N.L.; Thành, L.Đ. Đánh giá chất lượng mưa vệ tinh GSMaP mô phỏng mưa lớn - ứng dụng cho lưu vực Sông Mã. *Tạp chí Khoa học Kỹ thuật Thuỷ lợi và Môi trường* **2019**, *64*, 76–83.
40. Dinh, K.D.; Anh, T.N.; Nguyen, N.Y.; Bui, D.D.; Srinivasan, R. Evaluation of grid-based rainfall products and water balances over the Mekong river basin. *Remote Sens.* **2020**, *12*, 1858. https://doi.org/10.3390/rs12111858.
41. Anh, N.Q. Khai thác sử dụng số liệu vệ tinh trong dự báo lũ lưu vực sông Mê Công (từ Chiang saen đến Stung Treng), Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, Đại học Quốc gia Hà Nội. 2012.
42. Trinh-Tuan, L.; Matsumoto, J.; Ngo-Duc, T.; Nodzu, M.I.; Inoue, T. Evaluation of satellite precipitation products over the Central of Vietnam. *Prog. Earth Planet. Sci*. **2019**, *6*, 54.
43. Phuong, H.T.; Thanh, H.T.K.; Huu, L.T.; Saito, M. Spatial and temporal variabilities of suspended sediment and dissolved nutrients in the Ca River basin, North Central Vietnam. *Water Pract. Technol.* **2023**, *18*, 408–418. https://doi.org/10.2166/wpt.2023.016.
44. Giang, P.Q.; Toshiki, K.; Sakata, M.; Kunikane, S.; Vinh, T.Q. Modelling climate change impacts on the seasonality of water resources in the upper Ca river watershed in Southeast Asia. *Sci. World J.* **2014**, 1–14. https://doi.org/10.1155/2014/279135.
45. Tuyen, H.M. Impact of climate change on water resources in Ca River basin. *VNU J. Sci. Earth Sci.* **2010**, *26*, 224–231. https://doi.org/10.1023/B:WARM.0000049142.95583.98.
46. Joyce, R.J.; JANOWIAK, J.E.; Climate.; ARKIN, P.A.; Earth.; XIE P.; et al. CMORPH: A method that produces global precipitation estimates from passive microwave and infrared data at high spatial and temporal resolution. *J. Hydrometeorol*. **2004**, *5*, 487–503. https://doi.org/10.1175/1525-7541(2004)005<0487:CAMTPG>2.0.CO;2.
47. Yang, Z.; Hsu, K.; Sorooshian, S.; Xu, X.; Braithwaite, D.; Verbist, K.M.J. Bias adjustment of satellite-based precipitation estimation using gauge observations: A case study in Chile. *J. Geophys. Res.: Atmos.* **2016**, *121*, 3790–3806. https://doi.org/10.1002/2015JD024540.
48. Saber, M.; Yilmaz, K. Evaluation and Bias correction of satellite-based rainfall estimates

for modelling flash floods over the mediterranean region: Application to Karpuz river basin, Turkey. *Water* **2018**, *10*, 657. https://doi.org/10.3390/w10050657.

49. Gumindoga, W.; Rientjes, T.H.M.; Haile, A.T.; Makurira, H.; Reggiani, P. Performance of bias-correction schemes for CMORPH rainfall estimates in the Zambezi River basin. *Hydrol. Earth Syst. Sci.* **2019**, *23*, 2915–2938. https://doi.org/10.5194/hess-23-2915-2019
50. Chen, S.; Xiong, L.; Ma, Q.; Kim, J.S.; Chen, J.; Xu, C.Y. Improving daily spatial precipitation estimates by merging gauge observation with multiple satellite-based precipitation products based on the geographically weighted ridge regression method. *J. Hydrol*. **2020**, *589*, 125156. https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.125156.
51. Yang, X.; Yang, S.; Tan, M.L.; Pan, H.; Zhang, H.; Wang, G.; et al. Correcting the bias of daily satellite precipitation estimates in tropical regions using deep neural network. *J. Hydrol.* **2022**, *608*, 127656. https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2022.127656.

Assessing the precision of CMORPH satellite-derived precipitation in the Lam river basin

Trinh Minh Ngoc[1], Dang Dinh Kha[1], Ngo Chi Tuan[1], Nguyen Y Nhu[1]*

[1] Faculty of Hydrology, Meteorology, and Oceanography, University of Science, Hanoi, Vietnam National University; trinhminhngoc@hus.edu.vn; dangdinhkha@hus.edu.vn; ngochituan@gmail.com; nguyenynhu@hus.edu.vn

Abstract: Satellite-derived precipitation data has become increasingly pivotal in water resources research, particularly within transboundary river basins, owing to advancements in resolution and accuracy. This study delves into an extensive evaluation spanning 23 years (2000-2022) of the CMORPH satellite precipitation product within the Lam River basin. Employing data collected from 17 rain gauge stations, the study meticulously assesses precipitation patterns across various temporal scales, including daily, monthly, seasonal, and annual periods. Utilizing a diverse array of statistical metrics, both quantitative and qualitative, along with rain phase assessment, this study scrutinizes the spatial and temporal distribution characteristics of CMORPH precipitation data. Results reveal that CMORPH precipitation products exhibit approximately 20% lower estimates compared to station records. While spatial distribution aligns well with observed patterns, monthly totals display a strong correlation with station data (CC = 0.81). However, daily precipitation data exhibits weaker correlation (approximately 0.42), particularly during heavy rain events.

Keywords: CMORPH; Lam river basin; Statistical metrics.

TẠP CHÍ
KHÍ TƯỢNG THỦY VĂN

Check for updates

Bài báo khoa học

Ứng dụng phương pháp AHP và công nghệ GIS xây dựng bản đồ phân vùng nguy cơ sạt lở bờ sông khu vực bán đảo Cà Mau

Đoàn Quang Trí[1]*, Nguyễn Văn Nhật[1], Quách Thị Thanh Tuyết[1]

[1] Trung tâm Thông tin và Dữ liệu khí tượng thuỷ văn, Tổng cục Khí tượng Thuỷ văn; doanquangtrikttv@gmail.com; vannhat.tv@gmail.com; tuyetkttv@gmail.com

*Tác giả liên hệ: doanquangtrikttv@gmail.com; Tel.: +84–988928471

Ban Biên tập nhận bài: 5/3/2024; Ngày phản biện xong: 9/4/2024; Ngày đăng bài: 25/7/2024

Tóm tắt: Bán đảo Cà Mau là một trong những khu vực chịu ảnh hưởng nặng nề nhất của hạn hán, việc khai thác nước ngầm quá mức cũng là một trong những nguyên nhân dẫn tới nguy cơ sạt lở bờ sông ngày càng trầm trọng. Nghiên cứu sử dụng phương pháp phân tích thứ bậc (AHP) để đánh giá trọng số các yếu tố ảnh hưởng kết hợp với công nghệ hệ thống thông tin địa lý (GIS) để chồng xếp lớp bản đồ các yếu tố ảnh hưởng chính từ đó xây dựng bản đồ phân vùng cảnh báo nguy cơ sạt lở bờ sông của khu vực nghiên cứu. Kết quả nghiên cứu chỉ ra các yếu tố chính ảnh hưởng đến sạt lở bờ sông khu vực nghiên cứu trong thời kỳ hạn hán bao gồm: khoảng cách mực nước đến bờ sông, thổ nhưỡng, độ dốc bờ sông, hiện trạng sử dụng đất và bốc thoát hơi nước mùa khô. Trọng số của các yếu tố này được đánh giá dựa trên việc tổng hợp các tài liệu liên quan cũng như tham khảo ý kiến của các chuyên gia. Kết quả cho thấy hiện tượng sạt lở bờ sông có nguy cơ xảy ra cao tại các huyện Đầm Dơi, U Minh, Trần Văn Thời, thành phố Cà Mau và các sông, kênh rạch thuộc Cần Thơ, Hậu Giang và Sóc Trăng. Bản đồ phân vùng cảnh báo nguy cơ sạt lở cung cấp cái nhìn tổng quan về các khu vực có nguy cơ sạt lở bờ sông cao, là tài liệu tham khảo hỗ trợ các nhà quản lý xây dựng kế hoạch phát triển bền vững kinh tế - xã hội ở bán đảo Cà Mau.

Từ khóa: Phương pháp AHP; GIS; Bản đồ phân vùng sạt lở bờ sông; Bán đảo Cà Mau.

1. Giới thiệu

Hiện nay trên thế giới đã và đang có nhiều nghiên cứu liên quan đến vấn đề sạt lở do hạn hán nhất là trước tình hình biến đổi khí hậu làm cho các hiện tượng thời tiết cực đoan ngày càng xảy ra phổ biến và nghiêm trọng [1–4]. Nghiên cứu [5] chỉ ra việc bổ sung nước trên hoặc dưới bề mặt trái đất tạo ra những thay đổi về ứng suất có thể gây ra trượt lở đất và đứt gãy cả ổn định và không ổn định. Nghiên cứu sử dụng phương pháp đo giao thoa radar (InSAR) và mô hình thủy văn 1D đơn giản để mô tả 8 năm trượt ổn định của trận lở đất Mud Creek, California, Mỹ. Kết quả nghiên cứu cho thấy sự gia tăng áp suất chất lỏng lỗ rỗng xảy ra trong quá trình chuyển đổi từ hạn hán lịch sử sang lượng mưa kỷ lục gây ra sự gia tăng lớn về vận tốc và dẫn đến hiện tượng trượt cục bộ, vượt qua các cơ chế ổn định trước đây đã hạn chế gia tốc sạt lở đất. Nghiên cứu tập trung độ dốc xung quanh sông, do đó tính nhạy cảm sạt lở đất được phân tích bởi các yếu tố sông liên quan đến đặc điểm dòng chảy. Ranh giới của khu vực nghiên cứu dọc theo sông và sườn núi được xác định bằng hình ảnh vệ tinh. Ngoài ra, độ dốc của bờ sông, độ dốc lòng dẫn, độ uốn khúc của sông, bán kính cong và chất đất (như độ sáng, độ xanh, độ ẩm) được chọn là các yếu tố gây trượt lở đất. Phương pháp hồi quy logistic đã được sử dụng để thiết lập mô hình mô phỏng tính nhạy cảm sạt lở đất [6]. Kết quả cho thấy trong các yếu tố sông ngòi, thì độ uốn khúc của sông và bán kính cong có trọng số lớn trong mô hình. Nghiên cứu [7] đã nâng cao hiểu biết về các yếu tố địa hình ảnh hưởng

đến sự ổn định của các bờ hạ lưu sông Murray: Xác định các khu vực có nguy cơ sạt lở bờ sông cao; và trình bày cơ sở có thể được sử dụng để xác định các vị trí dễ bị sạt lở bờ sông trên một đoạn dài của dòng sông sử dụng công cụ là ArcGIS và SVSlope kết hợp điều tra khảo sát thu thập số liệu. Nghiên cứu [8] đã chỉ ra rằng sự thay đổi mực nước hồ chứa là một yếu tố quan trọng gây ra sạt lở mái bờ, tức là sạt lở bờ. Trong nghiên cứu này, các phân tích thấm không bão hòa - bão hòa được thực hiện để mô phỏng sự thay đổi của áp lực nước lỗ rỗng ở mái dốc bờ chịu sự thay đổi của mực nước hồ chứa. Kết quả nghiên cứu cho thấy sự dao động mực nước hồ chỉ ảnh hưởng đến phần phía trước mái taluy bờ mà ít ảnh hưởng đến phần sau mái taluy. Việc đánh giá tác động của hạn hán kéo dài đến cấu trúc của đê bằng đất ở California [9] cho thấy một số cơ chế làm suy yếu kết cấu đất gây ảnh hưởng đến cấu trúc đất do hạn hán: Suy giảm độ bền đất, các vết khô nứt do thiếu nước, sụt lún và xói mòn, tạo khe nứt sâu làm mềm đất và quá trình oxy hoá hữu cơ của đất. Những nghiên cứu dụng mô hình toán [10–12], sử dụng không gian địa lý GIS [13,14], viễn thám [15,16], quan trắc giám sát [17] để đánh giá tác động của xói lở bờ sông [18], khu vực cửa sông ven biển cũng đã được nghiên cứu và đạt được những kết quả nhất định.

Tại Việt Nam cũng có nhiều nghiên cứu liên quan đến vấn đề sạt lở bờ sông: nghiên cứu [19–21] đã xác định nguyên nhân sạt lở bờ sông tỉnh Trà Vinh và Sóc Trăng sử dụng phương pháp điều tra và đo đạc thực địa và lập bảng câu hỏi phỏng vấn người dân và chính quyền khu vực sạt lở. Kết quả chỉ ra bốn nguyên nhân chính đó là giao thông thủy, tác động của sóng và thủy triều, nạo vét lòng sông và đắp nền đường, địa chất yếu và một số nguyên nhân phụ khác như lượng phù sa giảm do các đập ở thượng nguồn, khai thác cát, mực nước ngầm hạ thấp và sụt lún mặt đất. Nghiên cứu [22] đã phân tích ảnh hưởng của các yếu tố địa chất thủy văn và gia tăng sức chịu tải đến ổn định bờ sông Chà Và, tỉnh Vĩnh Long. Ảnh vệ tinh được sử dụng để đánh giá mức độ sạt lở bờ sông và mức độ đô thị hóa ven sông. Hệ số an toàn được sử dụng để phân tích mức độ ổn định bờ sông. Kết quả phân tích cho thấy vận tốc dòng chảy là một trong những nguyên nhân gây xói lở bờ sông. Kết quả nghiên cứu sạt lở bờ sông Tiền bằng mô hình toán hai chiều MIKE 21 kết hợp với phần mềm Geo-Slope để tính toán độ ổn định của bờ sông Tiền, đoạn qua huyện Long Hồ tỉnh Vĩnh Long cho thấy bờ sông tại đoạn này có hệ số ổn định nhỏ và dễ xảy ra sụt lở [23]. Nghiên cứu [24] đã tiến hành khảo sát điều tra thực địa các điểm sạt lở thường xuyên trên lưu vực sông Sê San từ đó đo đạc quan trắc các điểm sạt lở, đồng thời áp dụng các công cụ viễn thám và hệ thống thông tin địa lý GIS để phân tích nghiên cứu các hiện tượng diễn biến lòng sông. Chuỗi các ảnh vệ tinh Landsat TM, Landsat ETM+, SPOT được sử dụng để phân tích tính toán diễn biến hình thái sông từ năm 1973 đến nay, từ đó phân tích sự thay đổi diễn biến hình thái trong quá khứ, so sánh với các điểm hiện trạng sạt lở để tìm ra các đoạn sông diễn biến mạnh. Nghiên cứu đã xây dựng bản đồ hiện trạng sạt lở và bản đồ cảnh báo nguy cơ sạt lở trên lưu vực sông Sê San thuộc lãnh thổ Việt Nam. Nghiên cứu [25] sử dụng các phương trình, thuật giải các bài toán thủy động lực, diễn biến địa hình đáy sông cũng như sạt lở bờ, ứng dụng các thuật toán trên hệ thống tính toán hiệu năng cao để giải quyết bài toán xói lở. Nghiên cứu sử dụng mô hình dự báo sạt lở bờ sông dựa trên mô hình tính toán hiệu năng cao dùng GPUs (*Graphical Processing Units*) kết hợp dựa trên mô hình thực nghiệm với phương pháp sử dụng là phương pháp đo đạc mực nước, tốc độ, lưu lượng dòng chảy, mẫu phù sa, bùn cát lơ lửng, mẫu địa chất nhằm tìm được bộ thông số thích hợp tạo các điều kiện đầu vào cho tính toán. Ngoài ra, đề tài kết hợp phân tích ảnh viễn thám và GIS để tính toán diễn biến đường bờ qua các thời kỳ tại từng khu vực. Nghiên cứu [26] đã tập trung vào việc nhận diện các nhân tố có khả năng gây ra tác động tới sạt lở, trên cơ sở đó phân tích, xác định các nhân tố chính là nguyên nhân gây ra sạt lở cho 04 loại hình sạt lở, với số điểm sạt lở nhỏ dần: chất tải mép bờ (xây nhà lấn chiếm bờ), ngã ba sông (có chế độ dòng chảy phức tạp, hoạt động con người sôi động), đoạn sông cong, đoạn sông gần biển (có dòng chảy thủy triều lớn, giao thông vận tải, tàu cao tốc đi lại nhiều). Nghiên cứu đã nhận diện được những nhân tố có khả năng gây ra và thúc đẩy quá trình sạt lở ở hai khu vực tỉnh Bạc Liêu và Cà Mau dưới nhiều hướng tiếp cận. Sạt lở bờ

sông, kênh, rạch là hệ quả của nhiều tác động với các hoạt động khác nhau. Bên cạnh phân tích các nhân tố cụ thể gây sạt lở như: sạt lở chủ yếu tập trung ở khu vực đông dân cư với chất gia tải lớn đè nặng lên nền đất yếu, đoạn ngã ba sông có chế độ thủy động lực phức tạp, những đoạn sông gần biển, khu vực cửa sông có tác động của sóng gió đà lớn và cuối cùng là những đoạn sông cong có mật độ cao tàu thuyền đi lại cho một số vị trí sạt lở nghiêm trọng tại hai tỉnh Bạc Liêu và Cà Mau. Một số nghiên cứu sử dụng phương pháp phân tích thứ bậc AHP để nghiên cứu vấn đề liên quan đến sạt lở, có thể kể đến như nghiên cứu [27, 28] đã ứng dụng phương pháp AHP để đánh giá nguy cơ sạt lở đất cũng như nguy cơ xói lở bờ sông cho khu vực nghiên cứu, các vị trí sạt lở được kiểm chứng trong thực tế thông qua điều tra thực địa, so sánh với kết quả tính toán từ mô hình toán và theo phương pháp viễn thám và GIS. Nghiên cứu [29] đã nghiên cứu ứng dụng GIS và phương pháp AHP để thành lập bản đồ nguy cơ trượt lở cho huyện Xín Mần, tỉnh Hà Giang với kết quả xây dựng được bản đồ trượt lở tỷ lệ 1:50000.

Có thể nhận thấy cho đến nay đã có nhiều nghiên cứu liên quan đến sạt lở bờ sông trên thế giới, tại Việt Nam cũng như khu vực bán đảo Cà Mau [30–32]. Tuy nhiên, chưa có nghiên cứu nào ứng dụng phương pháp AHP và công nghệ GIS để xây dựng bản đồ nguy cơ sạt lở bờ sông do hạn hán khu vực bán đảo Cà Mau. Với đặc điểm khu vực nghiên cứu cũng như điều kiện số liệu còn hạn chế cùng với sự phát triển của khoa học công nghệ, việc lựa chọn công nghệ GIS kết hợp phương pháp AHP để giải quyết bài toán là hợp lý, có khả năng đem lại kết quả nghiên cứu có độ chính xác và đáng tin cậy.

Nghiên cứu xây dựng bản đồ phân vùng rủi ro sạt lở bờ sông do hạn hán kéo dài xem xét dưới các nhân tố tác động (khoảng cách mực nước đến bờ sông, thổ nhưỡng, độ dốc bờ sông, sử dụng đất và bốc thoát hơi nước mùa khô). Nghiên cứu sử dụng phương pháp AHP kết hợp với công nghệ GIS để xây dựng bản đồ phân vùng rủi ro do hạn hán cho khu vực bán đảo Cà Mau. Mục đích của nghiên cứu: (1) Ứng dụng phương pháp AHP để xác định trọng số yếu tố của các nhân tố ảnh hưởng do tác động của hạn hán đến sạt lở; (2) ứng dụng công nghệ GIS để chồng chập và xác định khu vực phân vùng rủi ro. Bản đồ phân vùng rủi ro sạt lở sẽ là tài liệu tham khảo quan trọng hỗ trợ cho công tác quản lý, quy hoạch, khắc phục sự cố sạt lở đang có xu hướng gia tăng ở khu vực bán đảo Cà Mau.

2. Số liệu sử dụng và phương pháp nghiên cứu

2.1. Giới thiệu về khu vực nghiên cứu

Cà Mau là tỉnh cực Nam của Tổ quốc, có tọa độ địa lý từ 8º34’ đến 9º33’ vĩ độ Bắc, từ 104º43’ đến 105º25’ kinh độ Đông, có ba mặt tiếp giáp với biển, phía Đông giáp với biển Đông, phía Tây và Nam giáp với vịnh Thái Lan, phía Bắc giáp với tỉnh Bạc Liêu và Kiên Giang (Hình 1). Cà Mau có diện tích tự nhiên 522.119 ha, chiếm 13,13% diện tích đồng bằng sông Cửu Long (ĐBSCL) và bằng 1,58% diện tích cả nước. Đường bờ biển dài 254 km, trong đó bờ biển Tây 147 km và bờ biển Đông 107 km. Tình trạng sạt lở bờ sông, sụt lún nghiêm trọng và số lượng các vị trí sạt lở gia tăng trong mùa khô đang xảy ra phổ biến trên địa bàn tỉnh Cà Mau [33–35]. Nghiên cứu đã tập trung xác định các yếu tố ảnh hưởng chính đến sạt lở bờ sông, sử dụng

Hình 1. Vị trí khu vực nghiên cứu.

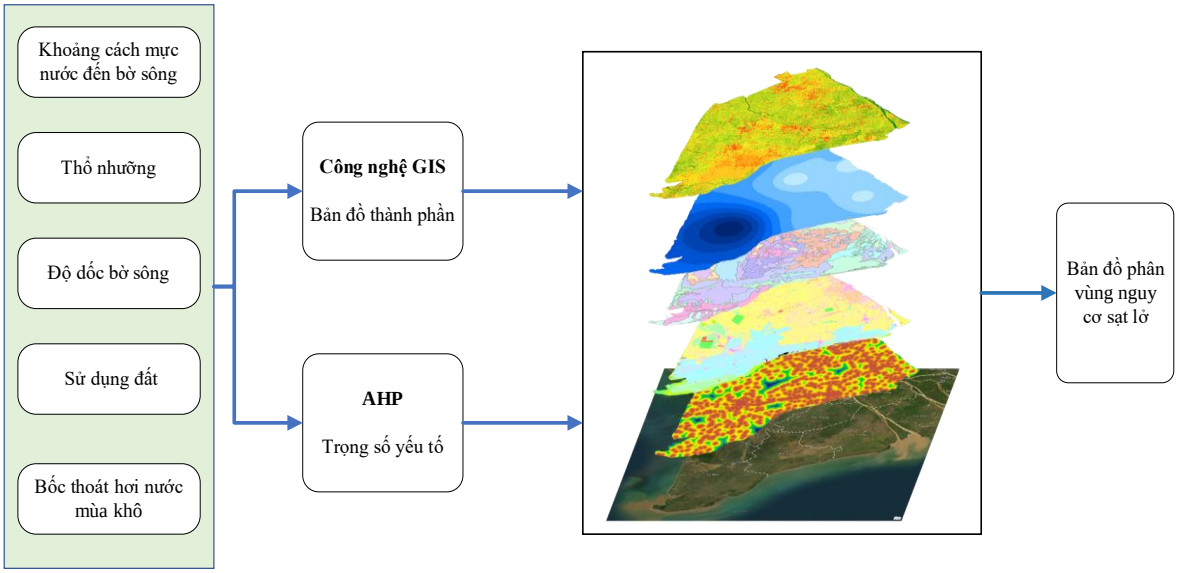
phương pháp AHP để xác định trọng số các yếu tố ảnh hưởng và ứng dụng công nghệ GIS để biên tập bản đồ vị trí nguy cơ xảy ra sạt lở bờ sông cho tỉnh Cà Mau.

2.2. Số liệu sử dụng

Các số liệu được sử dụng trong nghiên cứu bao gồm lớp bản đồ thể hiện 05 yếu tố ảnh hưởng chính - các yếu tố lựa chọn là những yếu tố ảnh hưởng nhiều đến sạt lở bờ sông do hạn hán khu vực nghiên cứu được lựa chọn dựa vào việc tổng hợp và phân tích kết quả các nghiên cứu trước đây đã thực hiện cùng với việc khảo sát ý kiến các chuyên gia. Các yếu tố lựa chọn bao gồm:

Khoảng cách mực nước đến bờ sông (Mực nước sử dụng là mực nước trung bình mùa kiệt xuất từ kết quả mô hình MIKE 11 mô phỏng hệ thống thuỷ lực khu vực nghiên cứu kế thừa từ luận án "Nghiên cứu tác động của các loại nguồn xả thải đến chất lượng nước vùng Bán đảo Cà Mau" [36]; khoảng cách mực nước tới bờ là hiệu số cao trình mực nước trong sông vào thời kỳ hạn hán và cao trình bờ sông); thổ nhưỡng; độ dốc bờ sông, hiện trạng sử dụng đất; bốc thoát hơi nước mùa khô.

Nghiên cứu sử dụng phương pháp AHP để đánh giá trọng số các yếu tố ảnh hưởng và công nghệ GIS để chồng xếp các lớp bản đồ yếu tố ảnh hưởng theo trọng số đã xác định được, từ đó xây dựng bản đồ nguy cơ sạt lở bờ sông khu vực nghiên cứu. Sơ đồ cấu trúc nghiên cứu được thể hiện trên hình 2.

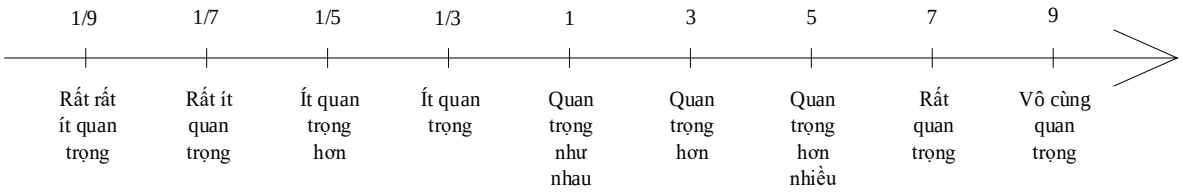


Hình 2. Sơ đồ cấu trúc nghiên cứu.

2.3. Phương pháp đánh giá nghiên cứu

2.3.1. Phương pháp phân tích thứ bậc AHP

AHP là phương pháp phân tích thứ bậc được Saaty [37] nghiên cứu và phát triển. Phương pháp này giúp người thực hiện đưa ra quyết định để lựa chọn một phương án phù hợp nhất trên cơ sở xác định và phân tích các yếu tố ảnh hưởng, tác động đến một vấn đề cần giải quyết. Saaty đã đưa ra bảng phân loại mức độ quan trọng của các yếu tố với nhau.



Hình 3. Thang điểm so sánh mức độ quan trọng của các yếu tố [37].

Sự nhất quán trong so sánh các cặp là rất cần thiết. Tỷ số nhất quán (*Consistency Ratio - CR*) được dùng để xác định mức độ không nhất quán của các nhận định trong phương pháp AHP. Quá trình tính toán chỉ số nhất quán được thực hiện qua các bước sau:

- Xác định vector tổng trọng số bằng cách nhân ma trận so sánh cặp ban đầu với ma trận so sánh cặp ban đầu với ma trận trọng số của các yếu tố ảnh hưởng.
- Xác định vector nhất quán bằng cách chia vector tổng trọng số cho trọng số của các yếu tố đã được xác định trước đó.
- Tính giá trị riêng lớn nhất (λ_{max}) bằng cách lấy giá trị trung bình của vector nhất quán.

Chỉ số nhất quán (*Consistency Index - CI*) là chỉ số đo lường mức độ chệch hướng nhất quán và được xác định theo công thức:

$$CI = \frac{\lambda_{max} - 1}{n - 1} \quad (1)$$

Trong đó λ_{max} là giá trị trung bình của vector nhất quán; n là số tiêu chí.

Tỉ số nhất quán CR được tính theo công thức sau:

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (2)$$

Trong đó RI là chỉ số ngẫu nhiên và phụ thuộc vào số yếu tố được so sánh với nhau và được xác định như bảng 1.

Bảng 1. Chỉ số ngẫu nhiên RI [37].

N	1	2	3	4	5	6
R1	0	0	0,25	0,89	1,11	1,25
N	7	8	9	10	11	12
R1	1,35	1,4	1,45	1,49	1,52	1,54

Nếu giá trị CR nhỏ hơn 10% thì kết quả có thể chấp nhận được, ngược lại nếu CR lớn hơn hoặc bằng 10% thì phải xem xét lại các bước trước đó [37–39]. Sau khi có trọng số của từng yếu tố ảnh hưởng nhất định, sử dụng công cụ GIS để tiến hành đánh giá phân vùng cho điểm cho từng yếu cụ thể và tính toán cho điểm tổng bằng cách chồng ghép các bản đồ thành phần.

Tổng hợp các tài liệu sạt lở bờ sông khu vực nghiên cứu cho thấy nguyên nhân chính do quá trình khai thác nước ngầm trong thời gian dài ngoài ra còn có các yếu tố ảnh hưởng khác đến sạt lở bờ sông như: lưu lượng dòng chảy đến khu vực nghiên cứu, bốc thoát hơi tiềm năng, đặc điểm địa chất, thổ nhưỡng, đặc điểm khai thác và sử dụng nước ngầm. Bảng 2 là các chỉ tiêu lựa chọn để đánh giá nguy cơ sạt lở bờ sông.

Bảng 2. Các chỉ tiêu lựa chọn trong đánh giá nguy cơ sạt lở bờ sông.

TT	Chỉ tiêu lựa chọn	Nguồn dữ liệu sử dụng
1	Khoảng cách mực nước đến bờ sông	Bản đồ địa hình, bản đồ mạng lưới sông suối, tỷ lệ 1:10.000
2	Tài liệu thổ nhưỡng	Trung tâm Quy hoạch và điều tra TNN quốc gia
3	Độ dốc bờ sông	Bản đồ địa hình, tỷ lệ 1:10.000 (Cục Đo đạc, bản đồ và Thông tin địa lý Việt Nam)
4	Hiện trạng sử dụng đất	Bản đồ sử dụng đất khu vực nghiên cứu, tỷ lệ 1:10.000
5	Bốc thoát hơi nước mùa khô	Tính toán theo công thức kinh nghiệm Penman-Monteith [40] Số liệu tính toán sử dụng số liệu khí tượng (nhiệt độ, độ ẩm tương đối, gió) thuộc các trạm KTTV cơ bản trong khu vực (2000-2022)

2.3.2. Phương pháp chồng chập các yếu tố ảnh hưởng bằng kỹ thuật GIS để xây dựng bản đồ sạt lở bờ sông

a) Phương pháp chồng chập bản đồ

Hệ thông tin địa lý GIS cho phép xây dựng các phân tích không gian, quản lý, tích hợp và chồng ghép các lớp thông tin. Mô hình phân tích thứ bậc AHP sẽ hỗ trợ cho GIS, tổng hợp

các thông tin, gán các trọng số phù hợp nhất cho các yếu tố đã được lựa chọn. Sau khi đã phân cấp và tính trọng số của các yếu tố thì việc tích hợp chung sẽ đưa ra kết quả các vị trí có khả năng sạt lở bờ sông.

Các thông tin được chuẩn hoá và gắn trọng số theo các mức độ quan trọng khác nhau. Công thức có dạng như sau:

$$C = W_1 \times YT_1 + W_2 \times YT_2 + W_3 \times YT_3 + W_4 \times YT_4 + W_5 \times YT_5 \quad (3)$$

Trong đó C là chỉ số đặc trưng vị trí có khả năng sạt lở; W_1, W_2, W_3, W_4, W_5 là trọng số phụ thuộc vào mức độ quan trọng của các yếu tố ảnh hưởng; YT_1, YT_2, YT_3, YT_4, YT_5 là các yếu tố ảnh hưởng (khoảng cách mực nước đến bờ sông, tài liệu thổ nhưỡng, độ dốc bờ sông, hiện trạng sử dụng đất; bốc thoát hơi nước mùa khô).

Từ kết quả xác định chỉ số C này sẽ thành lập bản đồ vị trí có nguy cơ xảy ra sạt lở; bản đồ này sẽ được kiểm chứng với số liệu thực tế. Nếu kết quả không phù hợp với số liệu thực tế thì kiểm tra lại số liệu đưa vào GIS bao gồm số lượng các yếu tố, trọng số từng yếu tố.

b) Chuẩn hoá các chỉ tiêu đánh giá

Các chỉ tiêu đánh giá phải được chuẩn hoá theo một thang điểm chung để có thể so sánh được với nhau. Quá trình này sẽ chia các lớp trong mỗi thông số thành 5 cấp nhạy cảm với quá trình sạt lở bờ sông là: rất thấp, thấp, trung bình, cao và rất cao. Về nguyên tắc, thang đánh giá đối với từng thông số được thực hiện bằng cách tính mật độ điểm sạt lở bờ sông đã điều tra được trên từng lớp thông số yếu tố, dựa trên mật độ này sẽ tính toán, phân loại theo 5 cấp trên. Yếu tố hiện trạng sạt lở bờ sông được sử dụng trong đánh giá mức độ chuẩn hoá và độ chính xác của bản đồ nguy cơ sạt lở bờ sông khu vực nghiên cứu.

Bảng 3. Thang điểm chuẩn hoá.

Nhóm đối tượng	Mức độ nhạy cảm	Điểm đánh giá
Nhóm 1	Rất cao	5
Nhóm 2	Cao	4
Nhóm 3	Trung bình	3
Nhóm 4	Thấp	2
Nhóm 5	Rất thấp	1

3. Kết quả nghiên cứu và thảo luận

3.1. Xác định các chỉ tiêu chuẩn hoá

Dựa vào thang điểm chuẩn hoá trên, nghiên cứu tiến hành chuẩn hoá 05 chỉ tiêu được lựa chọn, kết quả thể hiện trong các bảng 4-8. Các lớp bản đồ sau khi chuẩn hoá được thể hiện trong các hình 4a-4e.

Bảng 4. Mức độ nhạy cảm yếu tố khoảng cách mực nước đến bờ sông.

Khoảng cách (m)	Mức độ nhạy cảm	Điểm
>4,5	Rất cao	5
3,5-4,5	Cao	4
2,5-3,5	Trung bình	3
1,5-2,5	Thấp	2
<1,5	Rất thấp	1

Bảng 5. Mức độ nhạy cảm yếu tố thổ nhưỡng.

Loại đất	Mức độ nhạy cảm	Điểm
Phèn	Rất thấp	1
Đất phèn nhiễm mặn	Thấp	2
Đất than bùn	Trung bình	3
Đất cát, có tầng Gley	Cao	4
Phù sa	Rất cao	5

Bảng 6. Mức độ nhạy cảm yếu tố độ dốc bờ sông.

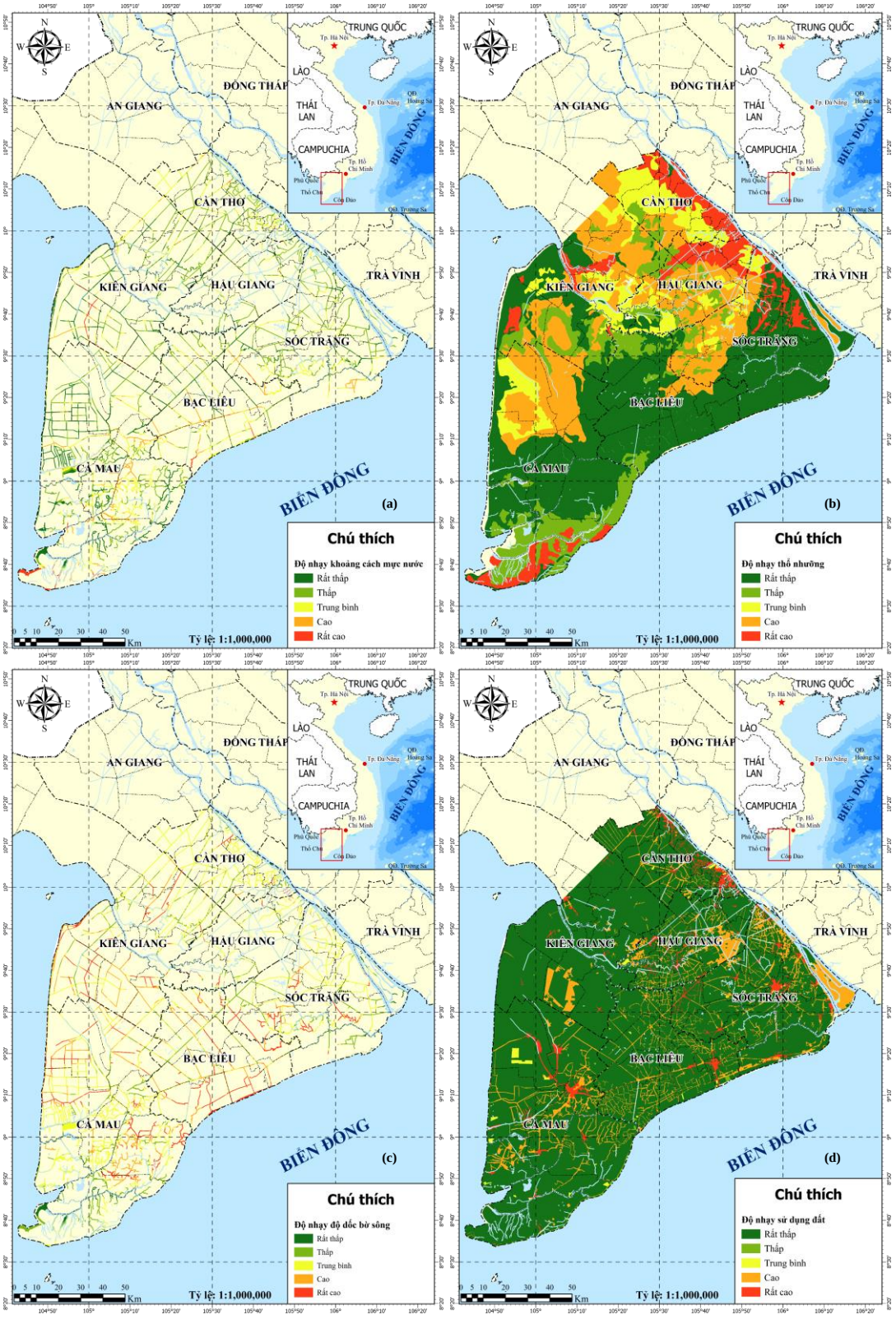
Độ dốc (%)	Mức độ nhạy cảm	Điểm
>35	Rất cao	5
25-35	Cao	4
15-25	Trung bình	3
5-15	Thấp	2
<5	Rất thấp	1

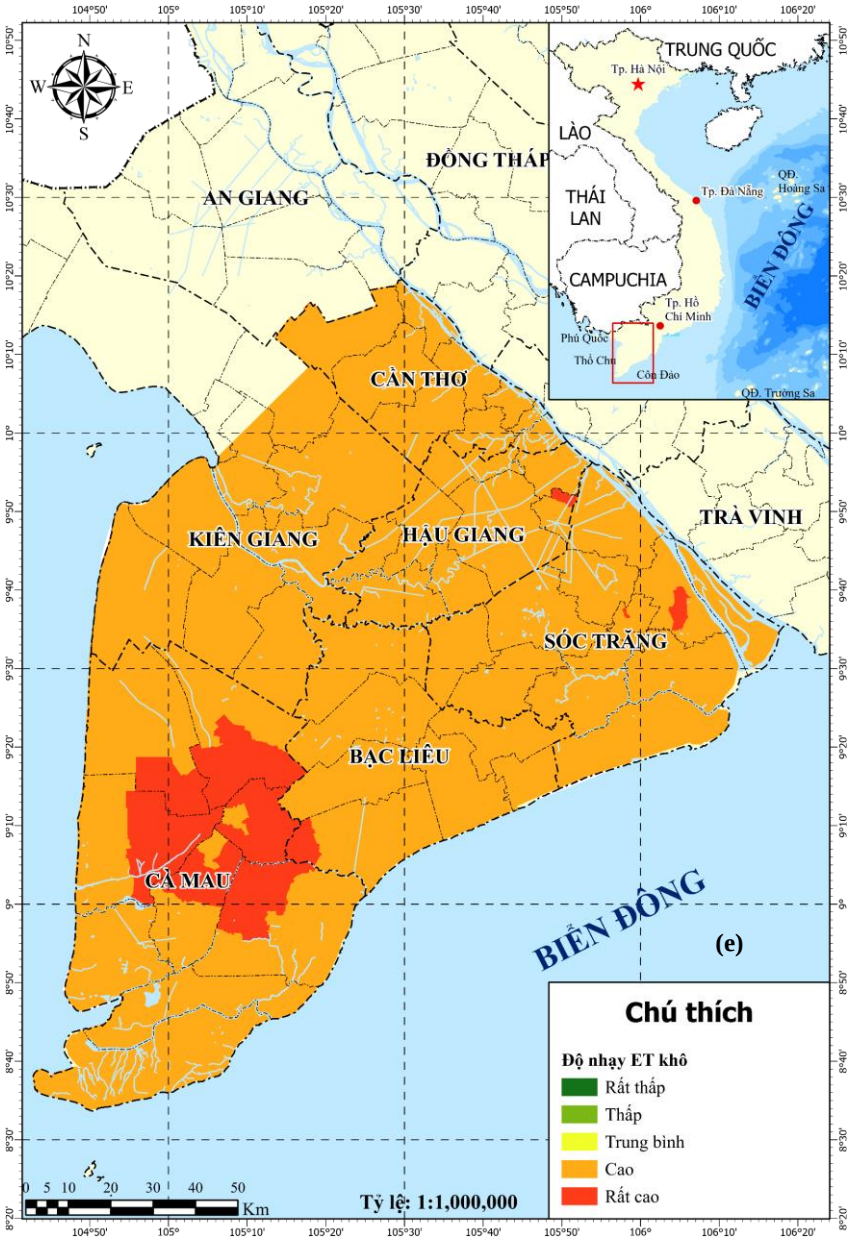
Bảng 7. Mức độ nhạy cảm yếu tố sử dụng đất.

Loại sử dụng	Mức độ nhạy cảm	Điểm
Đất nông nghiệp	Rất thấp	1
Đất làm muối	Thấp	2
Đất nuôi trồng thuỷ sản	Trung bình	3
Đất chưa sử dụng	Cao	4
Đất giao thông, nhà ở	Rất cao	5

Bảng 8. Mức độ nhạy cảm yếu tố bốc hơi mùa khô.

Lượng bốc hơi mùa khô (mm/tháng)	Mức độ nhạy cảm	Điểm
< 350	Rất thấp	1
338-350	Thấp	2
50-362	Trung bình	3
362-375	Cao	4
> 375	Rất cao	5





Hình 4. Các yếu tố ảnh hưởng đến sạt lở bờ sông: (a) Khoảng cách mực nước sông đến bờ; (b) Thổ nhưỡng; (c) Độ dốc bờ sông; (d) Sử dụng đất; (e) Bốc thoát hơi nước mùa khô.

3.2. Trọng số các chỉ tiêu đánh giá

Nghiên cứu sử dụng phương pháp phân tích thứ bậc AHP thiết lập ma trận tính toán như Bảng 9.

Bảng 9. Ma trận so sánh các chỉ tiêu đánh giá.

Tỷ lệ	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)
Khoảng cách mực nước đến bờ (a)	**1**	1/4	1/3	1	2
Bốc thoát hơi (b)	4	**1**	2	2	4
Thổ nhưỡng (c)	3	1/2	**1**	1/2	1
Độ dốc bờ sông (d)	1	1/2	2	**1**	2
Sử dụng đất (e)	1	1/4	1	1	**1**

Việc tính toán trọng số được thực hiện khi chia từng giá trị trong mỗi cột của ma trận cho tổng số giá trị trong cột đó, kết quả sẽ ra trọng số trong khoảng từ 0 đến 1 thể hiện trong Bảng 10.

Bảng 10. Ma trận trọng số các yếu tố đánh giá.

Yếu tố	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	W_i
Khoảng cách mực nước đến bờ (a)	0,105	0,100	0,052	0,200	0,200	0,131
Bốc thoát hơi (b)	0,421	0,400	0,316	0,400	0,400	0,387
Thổ nhưỡng (c)	0,316	0,200	0,158	0,100	0,100	0,175
Độ dốc bờ sông (d)	0,105	0,200	0,316	0,200	0,200	0,204
Sử dụng đất (e)	0,053	0,100	0,158	0,100	0,100	0,102

Chỉ số nguy cơ sạt lở khu vực nghiên cứu được tính theo công thức (4):

Nguy cơ sạt lở (C) = (H_{min} × 0,131) + (E_T × 0,378) + (Thổ nhưỡng × 0,175) + (Độ dốc × 0,204) + (Sử dụng đất × 0,102) (4)

Bản đồ phân vùng nguy cơ sạt lở đất thể hiện như trong hình 5.

Hình 5. Bản đồ phân vùng nguy cơ sạt lở khu vực bán đảo Cà Mau.

Bảng 11. Thống kê diện tích các vùng có cấp độ nguy cơ khác nhau.

Cấp độ nguy cơ	Chỉ số nguy cơ sạt lở	Diện tích (ha)	Tỷ lệ %
Vùng nguy cơ rất thấp	≤ 2	30.582	13,6
Vùng nguy cơ thấp	≤ 3	72.668	32,3
Vùng nguy cơ trung bình	≤ 3,5	76.288	34,0
Vùng nguy cơ cao	≤ 4	40.803	18,2
Vùng nguy cơ rất cao	> 4	4.304	1,9

Kết quả phân tích bảng 11 cho thấy hiện nay nhiều kênh rạch, sông suối thuộc khu vực bán đảo Cà Mau có nguy cơ sạt lở bờ sông tương đối cao với mức rất thấp là trên 13%, nguy cơ thấp trên 30%, mức trung bình là 34%, nguy cơ cao là trên 18% và nguy cơ rất cao chiếm 1,9% diện tích có khả năng xảy ra sạt lở bờ sông. Dựa trên kết quả tính toán xây dựng bản đồ phân vùng nguy cơ sạt lở khu vực bán đảo Cà Mau và kết hợp với số liệu báo cáo khảo sát thực tế cho thấy kết quả xác định những khu vực nguy cơ cao xảy ra sạt lở như huyện Trần Văn Thời tính đến ngày 19/3/2024, trên địa bàn 09 xã, thị trấn vùng ngọt đã xảy ra sạt lở, sụt lún, tổng số 131 tuyến, có 555 vị trí, với tổng chiều dài 14.623 m, trong đó: đường bê tông dài 10.754 m (đường bê tông 1,5 m dài 6.226 m, đường bê tông 2,0 m dài 124 m, đường bê tông 2,5 m dài 86 m, đường bê tông 3,0 m dài 4.318 m), đường đất đen dài 3.869 m; ước tính thiệt hại khoảng 19.535 triệu đồng. Đầm Dơi, U Minh, Trần Văn Thời, thành phố Cà Mau và các sông, kênh rạch thuộc Cần Thơ, Hậu Giang và Sóc Trăng là các khu vực được xác định phân vùng nguy cơ cao đến rất cao xảy ra sạt lở bờ sông, kênh. Kết quả nghiên cứu được thể hiện qua bản đồ phân vùng nguy cơ sạt lở bờ sông có thể đưa ra cái nhìn trực quan và tổng quát những khu vực có nguy cơ sạt lở cao. Bản đồ phân vùng rủi ro do sạt lở bờ sông là tài liệu giúp các nhà quản lý tham khảo trong công tác xây dựng kế hoạch phát triển kinh tế - xã hội khu vực bán đảo Cà Mau.

4. Kết luận

Nghiên cứu đã đưa ra các bước thực hiện để xây dựng bản đồ nguy cơ sạt lở bờ sông dựa trên việc chồng xếp các yếu tố ảnh hưởng đến sạt lở bờ sông khu vực nghiên cứu thời kỳ hạn hán kéo dài. Các yếu tố ảnh hưởng được phân tích và đánh giá trọng số dựa theo phương pháp phân tích thứ bậc AHP. Nghiên cứu đã đạt được một số kết quả chính sau:

- Xác định được các nhân tố chính và trọng số các yếu tố thành phần mang những giá trị định lượng đã loại bỏ được một phần chủ quan trong đánh giá mức độ ảnh hưởng của các yếu tố. Kết quả chồng xếp xây dựng bản đồ phân vùng nguy cơ sạt lở bờ sông đã được kiểm chứng lại với các vị trí và khu vực xảy ra sạt lở bờ sông trong thực tế là khá phù hợp.

- Bản đồ phân vùng nguy cơ xảy ra sạt lở bờ sông khu vực nghiên cứu đã xác định được những khu vực có nguy cơ cao đến rất cao xảy ra sạt lở là tài liệu tham khảo hiệu quả hỗ trợ cho công tác phòng chống thiên tai ở các tỉnh, huyện, xã từ đó cảnh báo người dân có các biện pháp di dời khẩn cấp.

Kết quả đầu ra của nghiên cứu sẽ là sản phẩm của hệ thống dự báo, cảnh báo nguy cơ sạt lở bờ sông dựa trên các yếu tố ảnh hưởng cho khu vực nghiên cứu.

Đóng góp của tác giả: Xây dựng ý tưởng nghiên cứu: Đ.Q.T., N.V.N., Q.T.T.T.; Xử lý số liệu: N.V.N., Q.T.T.T.; Tính toán, xây dựng bản đồ: Đ.Q.T., N.V.N.; Viết bản thảo bài báo: Đ.Q.T., N.V.N., Q.T.T.T.; Chỉnh sửa bài báo: Đ.Q.T., Q.T.T.T.

Lời cảm ơn: Bài báo là kết quả của đề tài cấp bộ: "Nghiên cứu cơ sở khoa học và xây dựng hệ thống cảnh báo nguy cơ sạt lở, sụt lún do hạn hán và khai thác nước ngầm cho khu vực bán đảo Cà Mau", mã số TNMT.2023.06.12 thuộc Chương trình khoa học và công nghệ trọng điểm cấp bộ về dự báo, cảnh báo thiên tai khí tượng thuỷ văn phục vụ công tác phòng chống thiên tai giai đoạn 2021-2025, mã số TNMT.06/21-25.

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. Bai, J.; Li, J.; Ran, H.; Zhou, Z.; Dang, H.; Zhang, C.; Yu, Y. Influence of varied drought types on soil conservation service within the framework of climate change: insights from the Jinghe River Basin, China. *J. Arid Land* **2024**, *16*, 220–245. https://doi.org/10.1007/s40333-024-0070-7.
2. Dandapat, A.K.; Panda, P.K.; Sankalp, S.; Jothimani, M. Quantifying soil erosion in drought-impacted Central Odisha, India, through geospatial mapping with RUSLE. *Appl. Environ. Soil Sci.* **2024**, 7250088. https://doi.org/10.1155/2024/7250088.
3. Cebulski, J. Impact of river erosion on variances in colluvial movement and type for landslides in the Polish Outer Carpathians. *Catena* **2022**, *217*, 106415. https://doi.org/10.1016/j.catena.2022.106415.
4. Li, L.; Robinson, L.F.; Li, G.K.; Hedding, D.W.; Xian, F.; Xu, Z.; Li, L.; Ouyang, S.; Li, T.; Li, G. Multi-isotopic constraints on the impacts of landslide on weathering and erosion in an active mountain range. *Earth Planet. Sci. Lett.* **2024**, *626*, 118527.
5. Handwerger, A.L.; Huang, M.H.; Fielding, E.J.; Booth, A.M.; Bürgmann, R. A shift from drought to extreme rainfall drives a stable landslide to catastrophic failure. *Sci. Rep.* **2019**, *9*, 1–12. https://doi.org/10.1038/s41598-018-38300-0.
6. Chang, C.T.; Chan, H.C. Landslide susceptibility analysis of riverbank - a case study in upstream of Tai-An River. Proceeding of the 20th EGU General Assembly, EGU2018, Proceedings from the conference held 4-13 April, 2018 in Vienna, Austria, 2018, pp.11709.
7. Jaksa, M.; Kuo, Y.L.; Liang, C.; Ostendorf, B. Risk management of riverbank collapse along the lower river Murray. Goyder Institute for Water Research, Technical Report Series No. 16/6, 2016, pp. 46.
8. Kim, Y.S.; Wang, Y.M. Landslide analysis of river bank affected by water level fluctuation I. *J. Korean Geosynth. Soc.* **2010**, *9(3)*, 77–85.
9. Vahedifard, F.; Robinson, J.D.; AghaKouchak, A. Can protracted drought undermine the structural integrity of California's earthen levees. *J. Geotech. Geoenviron. Eng.* **2016**, *142(6)*, 02516001.
10. Wu, Y.; Chen, J. Modeling of soil erosion and sediment transport in the East River Basin in southern China. *Sci. Total Environ.* **2012**, *441C*, 159–168.
11. Tri, D.Q.; Thai, T.H.; Linh, N.T.M. Application of 2D modeling in simulation the erosion of dykes on Thach Han river basin in Vietnam. *Lowland Technol. Int.* **2018**, *20(02)*, 393–400.
12. Entahabu, H.H.; Minale, A.S.; Birhane, E. Modeling the impact of land use/ land cover changeon soil erosion: in Suluh River Basin, Northern Ethiopia. *J. Degraded Min. Lands Manage.* **2023**, *10(4)*, 4749–4759. doi:10.15243/jdmlm.2023.104.4749.
13. Patil, A.S.; Panhalkar, S.S. Assessment of soil erosion and its correlation with landslide incidents using geospatial techniques. *Disaster Adv.* **2024**, *17(1)*, 11–22.
14. Mallick, R.H.; Bandyopadhyay, J.; Halder, B. Impact assessment of river bank erosion in the lower part of Mahanadi River using geospatial sciences. *Sustainable Horiz.* **2023**, *8*, 100075.
15. Das, S.; Gayen, S.K. Assessment of bank erosion, accretion and lateral migration using remote sensing and GIS: A study on the Sankosh River of Himalayan Foothills. *J. Indian Soc. Remote Sens.* **2024**, *52*, 271–290. https://doi.org/10.1007/s12524-024-01819-z.
16. Muzahid, C.; Popy, S.; Islam, R.; Emon, M.; Reja, M.; Rahman, M.; Hoque, J.; Rabbani, M.; Raiyan, S. Quantifying River Bank Erosion and Accretion Patterns

along the Gorai River in Kushtia, Bangladesh: A Geospatial Analysis Utilizing GIS and Remote Sensing Techniques. *J. Geogr. Inf. Syst.* **2024**, *16*, 70–88. doi: 10.4236/jgis.2024.161006.

17. Doi, I.; Matsuura, S.; Osawa, H.; Shibasaki, T.; Tosa, S. Effects of coastal erosion on landslide activity revealed by multi-sensor observations. *Earth Surf. Processes Landforms* **2020**, *45(10)*, 2291–2299.
18. Van Tho, N. Coastal erosion, river bank erosion and landslides in the Mekong Delta: Causes, effects and solutions. In: Duc Long, P., Dung, N. (eds) Geotechnics for Sustainable Infrastructure Development. Lecture Notes in Civil Engineering, 2020, 62, pp. 957–962. Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-15-2184-3_125.
19. Hiệp, H.V.; Trí, H.H.; Công, N.T.; Truyền, N.G. Nghiên cứu nguyên nhân sạt lở bờ sông: Trường hợp nghiên cứu tỉnh Trà Vinh. *Tạp chí Khí tượng Thuỷ văn* **2022**, *741*, 19–28.
20. An, N.T.; Tỷ, T.V.; Trí, L.H.; Hồng, H.T.C. Nghiên cứu nguyên nhân gây sạt lở bờ sông Nhu Gia tại địa bàn huyện Mỹ Tú, tỉnh Sóc Trăng. Hội thảo Khoa học quốc tế Phát triển xây dựng bền vững trong điều kiện biến đổi khí hậu khu vực đồng bằng sông Cửu Long, 2021, tr. 209–215.
21. Hương, N.T.; Thiện, N.Đ.; Dũng, T.Đ.; Văn, C.T.; Quang, C.N.X. Đánh giá nhận thức của người dân về sạt lở bờ sông liên quan đến tác động của hoạt động khai thác cát tại Đồng bằng sông Cửu Long. *Tạp chí Khí tượng Thuỷ văn* **2024**, *758*, 46–59.
22. Tỷ, 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: trương fhợp nghiên cứu tại đoạn sông Chà Và, tỉnh Vĩnh Long. *Tạp chí Khoa học Đại học Cần Thơ* **2022**, *58(5A)*, 14–21.
23. Chính, L.K.; Phùng, N.K. Nghiên cứu tính toán sạt lở bờ sông Tiền đoạn qua huyện Long Hồ tỉnh Vĩnh Long bằng mô hình toán. *Tạp chí Khí tượng Thuỷ văn* **2014**, *641*, 38–45.
24. Quân, N.A. Kết quả nghiên cứu xây dựng bản đồ nguy cơ sạt lở bờ sông Sê San - Thuộc lãnh thổ Việt Nam. *Tạp chí Khoa học và công nghệ thuỷ lợi* **2016**, *31*, 1–9.
25. Phùng, N.K. Báo cáo tổng kết Đề tài cấp quốc gia "Xây dựng mô hình dự báo sạt lở bờ sông dựa trên công nghệ tính toán hiệu năng cao sử dụng GPUs kết hợp thực hiện dựa trên mô hình thực nghiệm và ứng dụng cho một số đoạn sông Đồng bằng sông Cửu Long". Viện Khoa học và Công nghệ Tính toán, 2017–2021.
26. Hoằng, T.B.; Thanh, L.T.P. Phân tích nguyên nhân gây sạt lở bờ sông trên địa bàn tỉnh Bạc Liêu và Cà Mau. *Tạp chí Khoa học và Công nghệ Thuỷ lợi* **2018**, *43*, 1–7.
27. Kiệt, V.A; Chanh, B.V. Ứng dụng phương pháp AHP để chi tiết cấp độ rủi ro do sạt lở ở tỉnh Khánh Hoà. *Tạp chí Khoa học Biến đổi khí hậu* **2023**,*25*, 42–53.
28. Lan, P.T.H; Long, N.L; Minh, Đ.Q. Nghiên cứu phương pháp phân tích cấp bậc (AHP) đánh giá nguy cơ xói lở bờ sông vùng hạ du hệ thống sông Đồng Nai. *Tạp chí Khoa học Kỹ thuật thuỷ lợi và Môi trường* **2020**, *70*, 17–24.
29. Ngọc, Đ.M; Thuỳ, Đ.T; Đức, Đ.M. Ứng dụng GIS và phương pháp phân tích thứ bậc (AHP) thành lập bản đồ nguy cơ trượt lở huyện Xín Mần, tỉnh Hà Giang, Việt Nam. *Tạp chí Khoa học ĐHQGHN: Các Khoa học Trái đất và Môi trường* **2016**, *32*, 206–215.
30. 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.
31. Huynh, P.T. Dự đoán khả năng sạt lở đất ở Việt Nam bằng các thuật toán học máy. *Tạp chí Khí tượng Thuỷ văn* **2023**, *751*, 78–90.

32. Hiệp, H.V.; Trí, H.H.; Công, N.T.; Truyền, N.G. Nghiên cứu nguyên nhân sạt lở bờ sông: trường hợp nghiên cứu tỉnh Trà Vinh. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* **2022**, *741*, 19–28.
33. Trực tuyến: https://nhandan.vn/vung-ngot-ca-mau-lien-tuc-sut-bi-lun-sat-lo-dat-post796949.html.
34. Trực tuyến: https://baocantho.com.vn/bao-dong-sut-lun-sat-lo-dat-o-ca-mau-a171000.html.
35. Trực tuyến: https://tuoitre.vn/ca-mau-dang-sat-lo-qua-mau-20240322194356717.htm.
36. Phong, N.Đ. Nghiên cứu tác động của các loại nguồn xả thải đến chất lượng nước vùng Bán đảo Cà Mau. Luận án tiến sỹ kỹ thuật Viện Khoa học Thuỷ lợi Việt Nam, 2023, tr. 193.
37. Saaty, T.L. Decision making with the analytic hierarchy process. *Int. J. Serv. Sci.* **2008**, *1*, 83–98.
38. Saaty, T.L. Rank generation, preservation, and reversal in the analytic hierarchy process. *Decis. Sci.* **1987**, *18*, 157–177.
39. Saaty, T.L. Axiomatic foundation of the analytic hierarchy process. *Manage Sci.* **1986**, *32*, 841–855.
40. Allen, R.G.; Pereira, L.S.; Raes, D.; Smith, M. Crop evapotranspiration–guidelines for computing crop water requirements. In FAO Irrigation and Drainage Paper 56; Food and Agriculture Organization of the United Nations: Rome, Italy, 1998; ISBN 978-92-5-104219-9.

Applying an analytic hierarchy process and a geographic information system establishing riverbank failure risk zoning maps at Ca Mau Peninsula

Doan Quang Tri[1]*, Nguyen Van Nhat[1], Quach Thi Thanh Tuyet[1]

[1] Information and Data Center, Vietnam Meteorological and Hydrological Administration; doanquangtrikttv@gmail.com; vannhat.tv@gmail.com; tuyetkttv@gmail.com

Abstract: Ca Mau Peninsula is one of the areas most severely affected by drought. Excessive exploitation of groundwater is one of the causes leading to the increasingly serious higher risk of riverbank failure. The study uses the analytical hierarchy process (AHP) method to evaluate the weights of influencing factors combined with geographic information system (GIS) technology to overlay the map layers of the main influencing factors and establish the risk of riverbank failure map of the study area. Study results show that the main factors affecting riverbank failure by drought include: distance of water level to riverbank, soil, riverbank slope, land use, and evaporation in the dry season. The weights of these factors are evaluated based on the synthesis of relevant documents as well as consultation with experts. The results show that riverbank failure is at high risk of occurring in Dam Doi, U Minh, Tran Van Thoi districts, Ca Mau city and rivers and canals in Can Tho, Hau Giang, and Soc Trang. The riverbank failure risk zoning map provides an overview of areas with a high risk of riverbank failure, and is a reference document to support managers in building plans for sustainable economic-society development in Ca Mau Peninsula.

Keywords: AHP; GIS; Riverbank failure risk zoning maps; Ca Mau Peninsula.

TẠP CHÍ
KHÍ TƯỢNG THỦY VĂN

Check for updates

Bài báo khoa học

Ứng dụng mưa dự báo từ mô hình WRF3KM-IFS-DA nâng cao hiệu quả dự báo cảnh báo ngập lụt đô thị

Lê Thị Huệ[1]*, Đào Tiến Đạt[1], Đinh Thị Hương Thơm[1], Phạm Thị Diệu Thúy[1], Nguyễn Thu Lan[1], Đỗ Thị Ngọc Hoa[1], Vũ Thị Thanh Huyền[1]

[1] Đài Khí tượng Thủy văn khu vực Đồng bằng và Trung du Bắc Bộ;
minhhuekttv@gmail.com; daodat81@gmail.com; thomdth91@gmail.com; phamdieuthuykttv@gmail.com; nguyenlandbbb@gmail.com; ngochoakttv@gmail.com; vthuyen1999@gmail.com

*Tác giả liên hệ: minhhuekttv@gmail.com; Tel: +84–934537242

Ban Biên tập nhận bài: 12/3/2024; Ngày phản biện xong: 10/4/2024; Ngày đăng bài: 25/7/2024

Tóm tắt: Các mô hình dự báo thời tiết số (NWP) ngày càng được sử dụng nhiều hơn để dự báo các hiện tượng mưa lớn. Tuy nhiên các nghiên cứu ứng dụng dự báo lượng mưa có độ phân giải cao từ mô hình NWP trong thủy văn còn hạn chế. Bài báo này trình bày kết quả nghiên cứu ứng dụng mưa dự báo từ mô hình số khí tượng WRF3KM-IFS-DA để nâng cao hiệu quả dự báo, cảnh báo ngập lụt đô thị. Nghiên cứu đã tiến hành hiệu chỉnh, kiểm định mô hình MIKE URBAN để đưa ra được bộ thông số tối ưu sau đó thử nghiệm mô phỏng ngập úng tại thành phố Thái Bình cho một trận mưa cụ thể với biên mưa đầu vào được lấy từ mô hình WRF3KM-IFS-DA theo 3 kịch bản: (1) mưa thực đo tại trạm khí tượng Thái Bình; (2) mưa dự báo với thời hạn dự báo trước 6 giờ; (3) mưa dự báo với thời hạn dự báo trước 24 giờ. Sau đó đánh giá mức độ ngập lụt mô phỏng với ngập lụt thực tế xảy ra.

Từ khóa: Mô hình MIKE URBAN; Hiệu chỉnh, kiểm định; Ngập lụt đô thị; TP. Thái Bình.

1. Đặt vấn đề

Các sản phẩm dự báo mưa từ các hệ thống mô hình dự báo số trị toàn cầu như mô hình IFS của ECMWF và các mô hình khu vực như WRF của Trung tâm Dự báo KTTV quốc gia liên tục được cải tiến cả về chất lượng và độ phân giải [1]. Đây là nguồn số liệu cần thiết làm đầu vào cho hệ thống mô hình thủy văn nói chung và mô hình cảnh báo ngập lụt đô thị nói riêng. Đây cũng là cơ sở khoa học quan trọng để triển khai thử nghiệm các công nghệ dự báo cảnh báo ngập lụt thời gian thực với khả năng cung cấp các bản tin cảnh báo trước 6-24h.

Từ những năm 1960, trên thế giới đã có nhiều công trình nghiên cứu về ngập lụt và đã có những thành tựu đáng kể. Lúc đầu chỉ đo vẽ, phân loại và xây dựng bản đồ địa hình, địa mạo rồi đánh giá mức độ ảnh hưởng của lũ lụt, bao gồm cả tình trạng ngập lụt [2]. Cảnh báo ngập úng, lũ lụt cũng ngày càng phát triển theo hướng đa phương pháp như: địa chất, địa mạo và các mô hình mô thủy văn thủy lực kết hợp với công nghệ viễn thám, GIS và hệ thống siêu máy tính tốc độ cao. Một số mô hình mô phỏng ngập lụt đô thị có thể kể đến như: Mô hình quản lý nước mưa (SWMM) [3–5]; mô hình InfoWorks ICM (quản lý lưu vực tích hợp) [6, 7]; hệ thống mô hình hóa (HEC-HMS) và hệ thống phân tích sông (HEC-RAS) [8] và đặc biệt là mô hình MIKE FLOOD [9]; … Các mô hình này mô phỏng các quá trình chảy tràn và tràn bề mặt. Một số nghiên cứu đã ứng dụng mô hình MIKE FLOOD, MIKE MOUSE để kiểm soát thời gian thực vào hệ thống thoát nước đô thị để giảm vấn đề lũ lụt [10, 11], hay kết hợp mô hình mô phỏng ngập lụt với thông tin lượng mưa theo thời gian thực để cung cấp

các hệ thống hỗ trợ và cảnh báo nhằm đối phó với lũ lụt đô thị [12]. Kết hợp mô hình dự báo thời tiết số (NWP) độ phân giải cao với mô hình ngập lụt MIKE URBAN để kéo dài thời gian thực hiện dự báo ngập [13, 14]. Có thể nhận thấy trên giới hiện nay đã và đang xây dựng được nhiều hệ thống cảnh báo ngập úng đô thị theo thời gian thực. Hệ thống cảnh báo thường bao gồm việc kết hợp một mô hình dự báo mưa lớn với các mô hình mưa - dòng chảy, các mô hình thuỷ lực một chiều, hai chiều và các bản đồ số hoá độ cao.

Tại Việt Nam cho đến nay cũng có rất nhiều các nghiên cứu về ngập lụt đô thị được thực hiện như: Đánh giá ngập lụt tỉnh Quảng Ngãi [15] với mục tiêu là đánh giá ảnh hưởng của việc xây dựng đường cao tốc từ Đà Nẵng đến Quảng Ngãi đến việc tiêu thoát lũ trên địa bàn tỉnh Quảng Ngãi; Nghiên cứu [16] đã sử dụng phần mềm SWMM 5.0 mô phỏng thủy văn, thủy lực cho lưu vực để xác định diện tích (hay dung tích) hồ điều hòa điều tiết nước mưa cho một khu đô thị mới giúp tránh quá tải cho hệ thống tiêu, ngập úng hiện hữu khi một khu đô thị mới được xây dựng; Ứng dụng mô hình MIKE FLOOD thực hiện tính toán kết nối 3 mô hình MIKE 11HD; MIKE 21FM và MIKE URBAN tính toán ngập úng nhằm tìm ra nguyên nhân ngập và giải pháp giảm ngập, phục vụ công tác quy hoạch xây dựng và tiêu thoát nước đô thị [17]; Bộ công cụ gồm mô phỏng quá trình dòng chảy từ mưa (MIKE-NAM); mô phỏng dòng chảy trong sông bằng mô hình thủy lực (MIKE-11HD); mô phỏng ngập lụt (MIKE-FLOOD) hỗ trợ xác định cấp độ rủi ro ngập lụt cho vùng đô thị và đồng bằng trọng điểm của Nghệ An - Hà Tĩnh [18]; Sử dụng mô hình MIKE URBAN mô phỏng và đánh giá ngập úng cho một số đô thị của Việt Nam [19–21]. Ứng dụng công nghệ điện toán đám mây GOOGLE EARTH ENGINE để xử lý chiết tách thông tin diện tích ngập lụt từ dữ liệu ảnh vệ tinh quang học [22],…

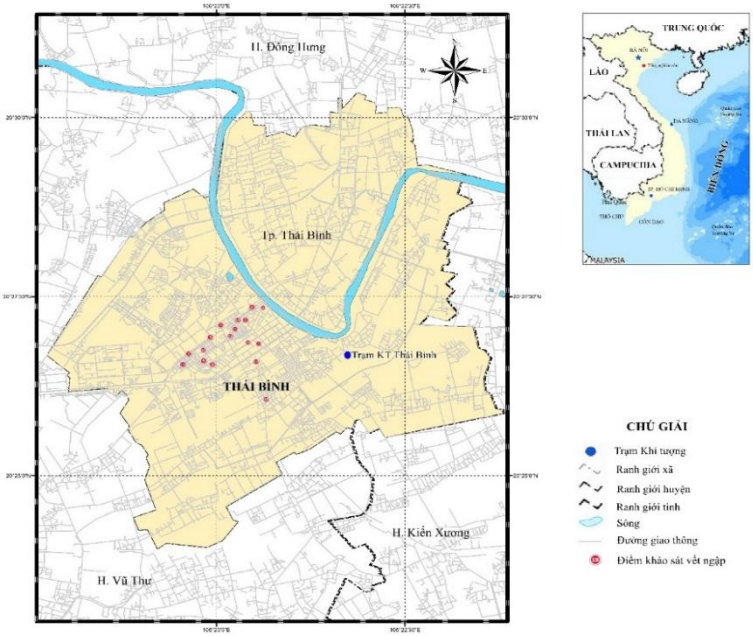
Có rất nhiều nghiên cứu sử dụng mô hình MIKE URBAN để mô phỏng ngập lụt. Các nghiên cứu này cũng đã cho một số kết quả khả quan song chưa tập trung vào dự báo, cảnh báo ngập lụt đô thị và mới chỉ được thực hiện cho một đô thị cụ thể. Chúng ta không thể đưa hệ thống dự báo, cảnh báo ngập từ đô thị này sang đô thị khác mà mỗi đô thị cần thiết lập một hệ thống tích hợp riêng, dựa trên những điều kiện cụ thể của đô thị đó.

Nghiên cứu này tập trung vào các nội dung chính: (1) Giới thiệu về khu vực nghiên cứu, phương pháp nghiên cứu, mô hình sử dụng và thiết lập mô hình; (2) Trình bày kết quả hiệu chỉnh, kiểm định mô hình MIKE URBAN; phân tích kết quả ngập úng do mưa từ mô hình WRF-IFS-DA; đưa ra một số thảo luận và đề xuất.

2. Phương pháp nghiên cứu và tài liệu sử dụng

2.1. Giới thiệu về khu vực nghiên cứu

Thành phố Thái Bình nằm ở vị trí trung tâm của tỉnh Thái Bình có toạ độ địa lý: 106.3’ kinh độ Đông, 20.4’ vĩ độ Bắc. Thành phố là trung tâm kinh tế, văn hoá, chính trị... của tỉnh và cũng là một trong các thành phố trọng điểm của vùng Đồng bằng Bắc bộ. Thành phố Thái Bình tiếp giáp với các huyện Kiến Xương, huyện Vũ Thư, huyện Đông Hưng (Hình 1), có 19 đơn vị hành chính bao gồm 9 xã và 10 phường. Tổng dân số

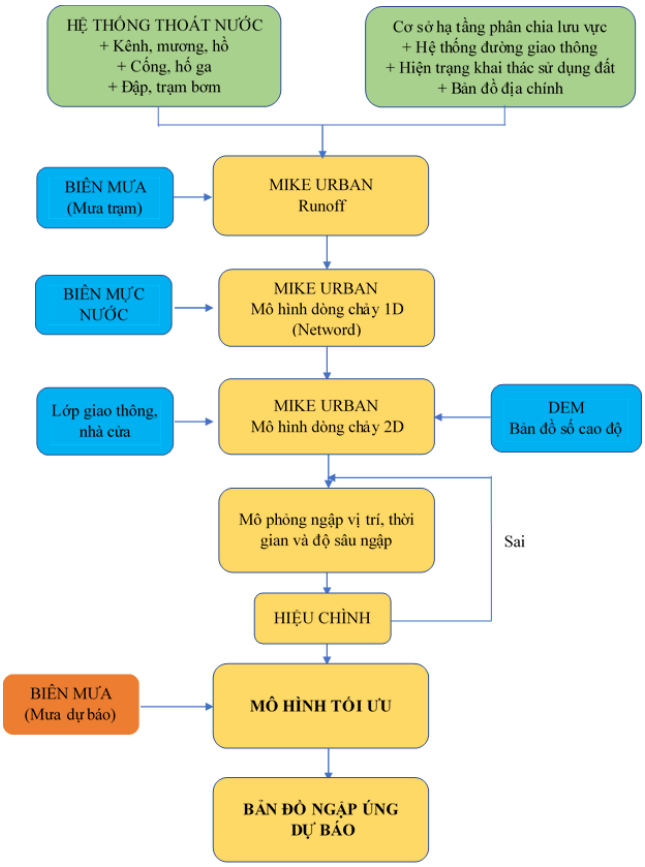


Hình 1. Bản đồ khu vực nghiên cứu.

207.407 người, mật độ dân số tương đối cao 3.046 người/km^2 (năm 2020) [23]. Thái Bình được đặc trưng bởi khí hậu nhiệt đới nóng ẩm gió mùa, chia thành bốn mùa rõ rệt. Nhiệt độ trung bình năm dao động từ 23-25^{o}C. Tổng lượng mưa năm dao động từ 1500-1700 mm và mưa lớn tập trung vào các tháng 7, 8, 9 trong năm. Những năm gần đây, tình trạng ngập úng ở thành phố Thái Bình xảy ra tương đối nghiêm trọng. Tại thời điểm mưa to mực nước các sông Bồ Xuyên, sông Vĩnh Trà tăng cao ảnh hưởng đến việc thoát nước. Đặc biệt, sông 3/2 thoát nước kém do mặt cắt sông bị thu hẹp tại 2 đầu là cống qua đường Lý Thường Kiệt và cống qua đường Ngô Thì Nhậm làm cản trở dòng chảy. Một số vị trí tại đường Lý Bôn, Lê Quý Đôn, Bùi Sỹ Tiêm, Kỳ Đồng, Lê Đại Hành, Hoàng Diệu có cao độ thấp làm cho khu vực này cứ mưa là ngập [24, 25].

2.2. Phương pháp nghiên cứu

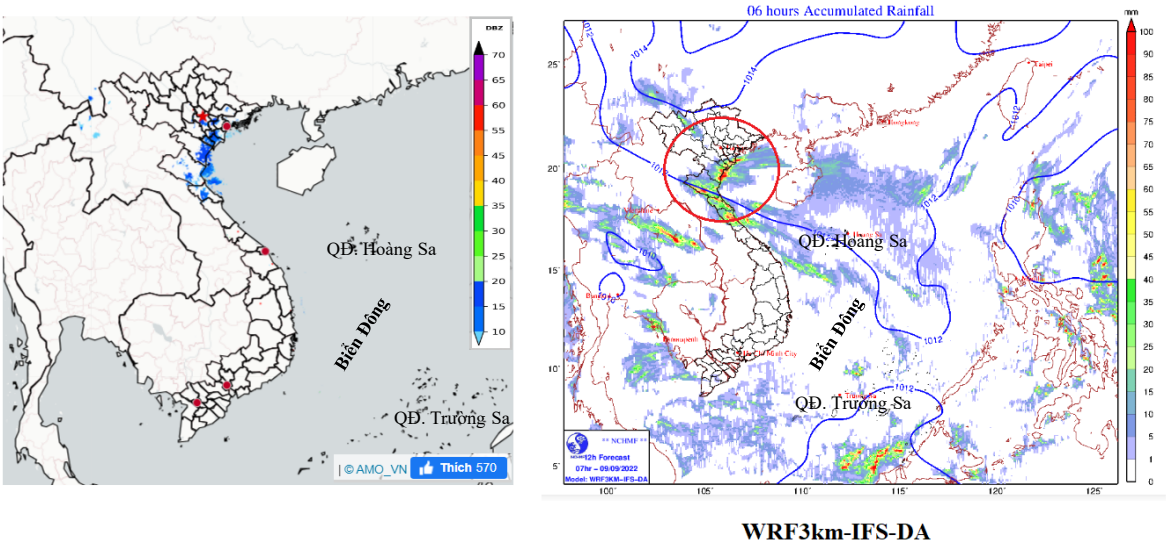
Dữ liệu đầu vào để mô phỏng ngập lụt cho thành phố Thái Bình là mưa dự báo từ mô hình dự báo khí tượng WRF3km-IFS-DA và mưa quan trắc tại trạm khí tượng Thái Bình. Sử dụng mô hình MIKE URBAN để tính toán, xác định diện ngập, độ sâu ngập, thời gian ngập (Hình 2).



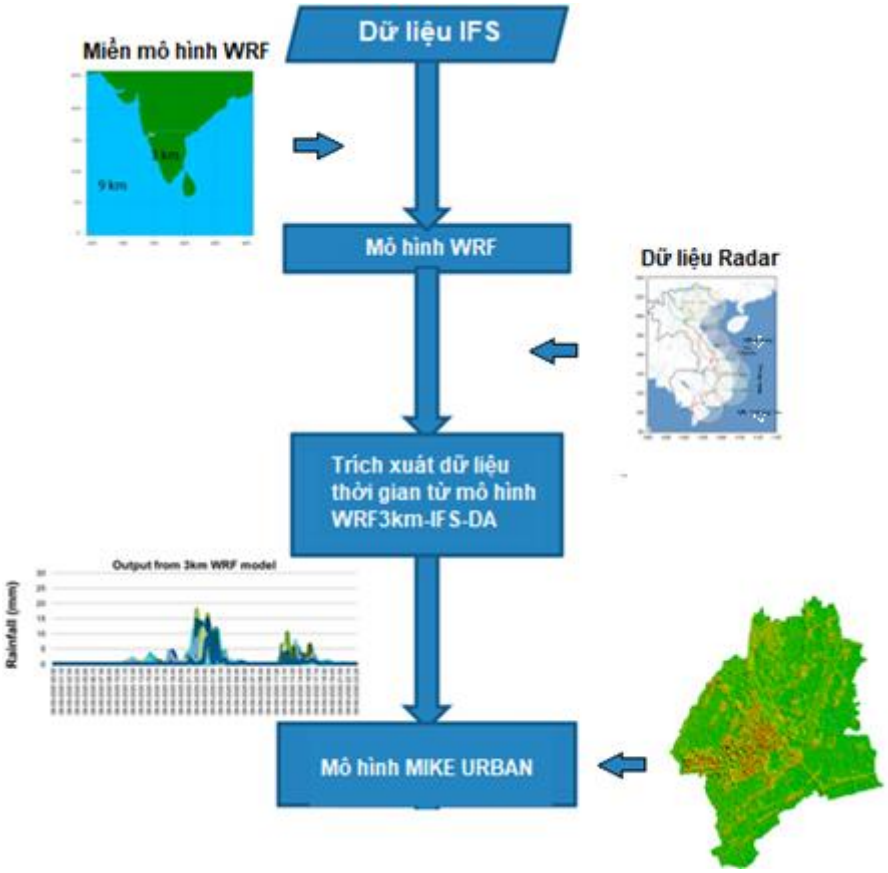
Hình 2. Sơ đồ cấu trúc nghiên cứu.

2.2.1. Giới thiệu về mô hình khí tượng WRF3km-IFS-DA

Năm 2019, các sản phẩm của mô hình số khí tượng (NWP) cho dự báo mưa lớn đã được nâng cấp về độ phân giải cao (3 km, miền Đông Nam Á) với 15 điều kiện biên (từ ECMWF) và dự báo tổ hợp khu vực cũng được nâng cấp bằng cách sử dụng mô hình WRF-ARW phân giải cao. Năm 2020, tổng cục KTTV đã áp dụng đồng hóa dữ liệu cho WRF-ARW tại độ phân giải ngang 3 km sử dụng dữ liệu quan trắc từ các trạm khí tượng bề mặt ở Việt Nam [26]. Mô hình WRF3km-IFS-DA là mô hình WRF-ARW của Mỹ với điều kiện biên từ mô hình IFS của Trung tâm dự báo hạn vừa châu Âu có độ phân giải 3 km và áp dụng đồng hoá dữ liệu Radar đang được sử dụng tại Tổng cục KTTV.



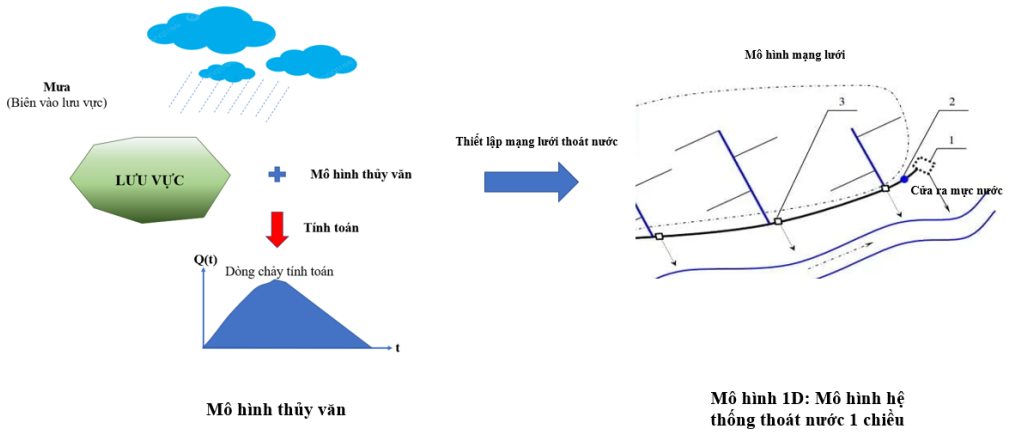
Hình 3. Bản đồ dự báo mưa từ mô hình WRF phân giải 3 km với đầu vào từ mô hình IFS và có sử dụng đồng hóa số liệu ra đa thời tiết [27].



Hình 4. Sơ đồ ghép nối mô hình số khí tượng và mô hình thủy văn.

2.2.2. Giới thiệu mô hình MIKE UBAN

MIKE URBAN là một phần mềm mô hình hóa hệ thống thoát nước đô thị. Mô hình có tính mở, linh hoạt và tích hợp với GIS. Mô hình hiệu quả trong việc mô phỏng thoát nước mưa và thu gom nước thải trong các hệ thống riêng biệt và kết hợp. Mô hình có sự kết hợp giữa mô hình thủy văn với mô hình mô phỏng hệ thống thoát nước 1 chiều (1D) (Hình 5) và mô hình mô phỏng dòng chảy bề mặt 2 chiều (2D) (Hình 6) [28–30].



Hình 5. Kết hợp mô hình thủy văn và mô hình 1 chiều (1D).

Phương trình cơ bản của MIKE URBAN

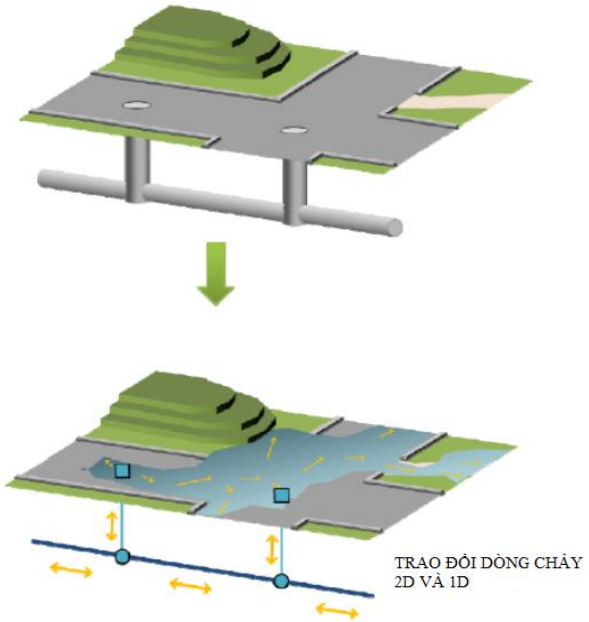
Phương trình liên tục: Bảo toàn khối lượng.

$$\frac{\partial Q}{\partial x}+\frac{\partial A}{\partial t}=0 \qquad (1)$$

Phương trình đà: Bảo toàn động lượng.

$$\frac{\partial Q}{\partial x}+\frac{\partial\left(\alpha\frac{Q^2}{A}\right)}{\partial x}+gA\frac{\partial y}{\partial x}+gAI_f=GAI_0 \qquad (2)$$

Trong đó Q là lưu lượng xả (m^3/s); A là diện tích dòng chảy (m^2); y là độ sâu dòng chảy (m); g là gia tốc trọng trường (m/s^2); x là khoảng cách theo hướng dòng chảy (m); t là thời gian (s); α là hệ số vận tốc phân phối; I_0 là độ dốc đáy; I_f là độ dốc ma sát.



Hình 6. Sơ đồ kết hợp mô hình 1D và 2D.

Mô hình gồm mô hình mưa rào - dòng chảy, mô hình một chiều (1D) mô phỏng dòng chảy hệ thống thoát nước, dòng chảy bề mặt được tính bằng cách giải phương trình Saint-Venant cho dòng chảy 2 chiều, mô hình 2 chiều (2D) mô phỏng chính xác địa hình bề mặt đô thị, gồm nhà cửa, ao hồ, các công trình khác... Mô hình mạng lưới thoát nước kết hợp với mạng đường phố 1D-1D, mô hình mạng lưới thoát nước kết hợp với bề mặt đô thị 1D-2D. Sau đó dự báo ngập lụt đô thị dựa trên các kịch bản thực nghiệm với biên mưa được lấy từ mưa dự báo.

2.2.3. Thiết lập mô hình

a) Thiết lập hệ thống thoát nước của thành phố Thái Bình

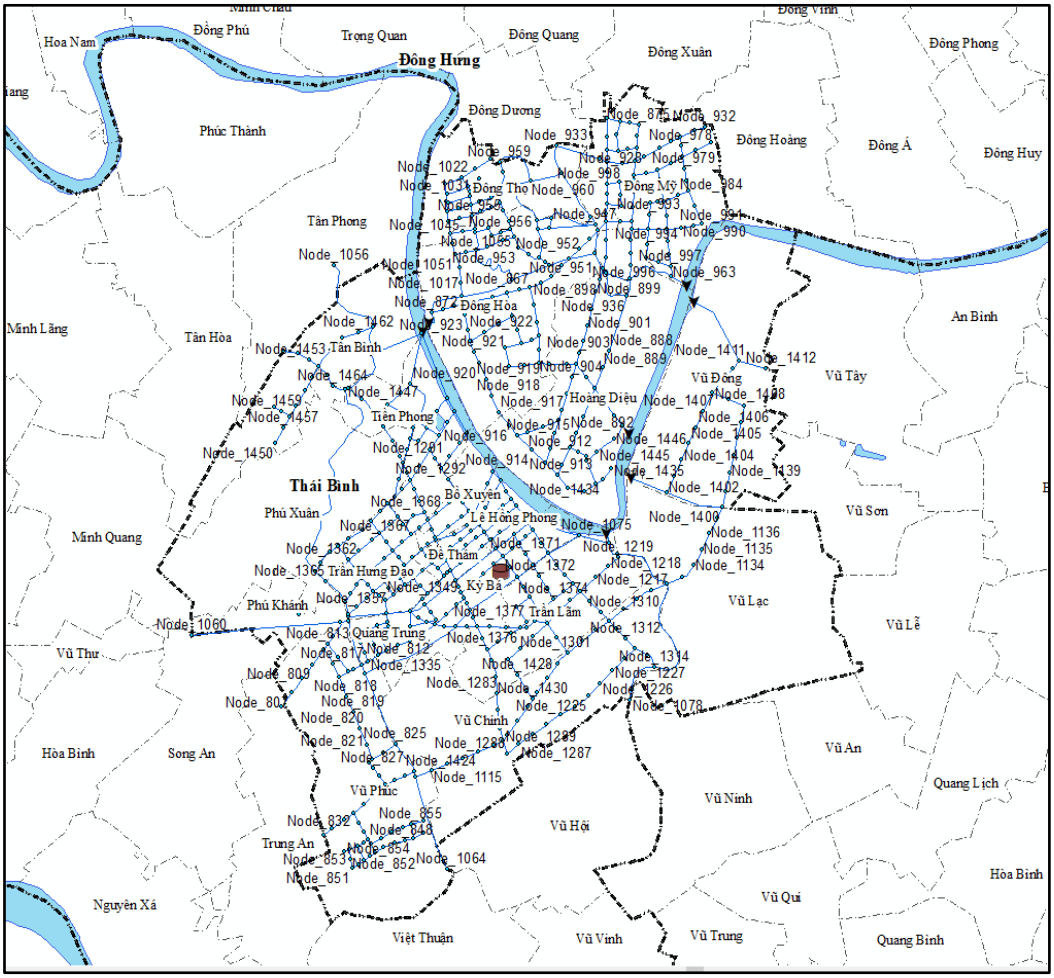
Hệ thống thoát nước tại thành phố Thái Bình là hệ thống thoát nước chung. Nước mưa và nước thải sinh hoạt được đưa vào cùng một tuyến cống chảy theo các tuyến đường rồi ra hệ thống kênh tiêu thoát trong khu vực. Thành phố Thái Bình có hệ thống gồm hệ thống cống thu gom nước thải, nước mưa được đặt dưới lòng đường từ 1,0-4,0 m dọc theo các tuyến phố. Một vài tuyến đường cũ, xuống cấp, một vài tuyến đường có mặt đường hẹp không đáp ứng được nhu cầu tiêu thoát nước nên khi xuất hiện mưa lớn kéo dài liên tục hệ thống cống không kịp thoát nước. Ngoại ô thành phố chủ yếu thoát nước tự nhiên theo hướng địa hình, nước mưa, nước thải đi vào hệ thống kênh mương tự nhiên sau đó tự thoát hoặc qua hệ thống cống

và trạm bơm cưỡng bức. Tiêu thoát nước cho các phường, xã phía Bắc thành phố Thái Bình: Nước mưa, nước thải qua hệ thống cống, mương hiện trạng trong thành phố thuộc các phường (Đông Thọ, Đông Mỹ, Đông Hòa, Hoàng Diệu) sau đó sẽ thoát nước vào các sông, kênh nhỏ kết nối với nhau rồi chảy vào sông Trà Lý qua các trạm bơm Sa Lung, Xóm Đền, Hoàng Diệu. Hệ thống thoát nước phía Nam thành phố Thái Bình: Nước mưa, nước thải qua hệ thống cống, mương hiện trạng trong thành phố thuộc các phường (Tiền Phong, Bồ Xuyên, Lê Hồng Phong, Đề Thám, Kỳ Bá, Trần Hưng Đạo, Quang Trung...). Sau đó sẽ thoát vào các sông Đoan Túc, Bồ Xuyên, Vinh Trà, 3/2 toàn bộ hệ thống kết nối với nhau và chảy vào sông Trà Lý qua các trạm bơm Hiệp Trung, Bồ Xuyên. Hệ thống thoát nước phía Đông thành phố Thái Bình: Ít xảy ra tình trạng ngập úng hơn so với phía Nam thành phố, chủ yếu là hệ thống kênh mương thủy lợi phục vụ tưới tiêu và thoát nước khi có mưa lớn. Nước mưa, nước thải thoát vào sông Trà Lý qua trạm bơm Đông Tây Sơn.

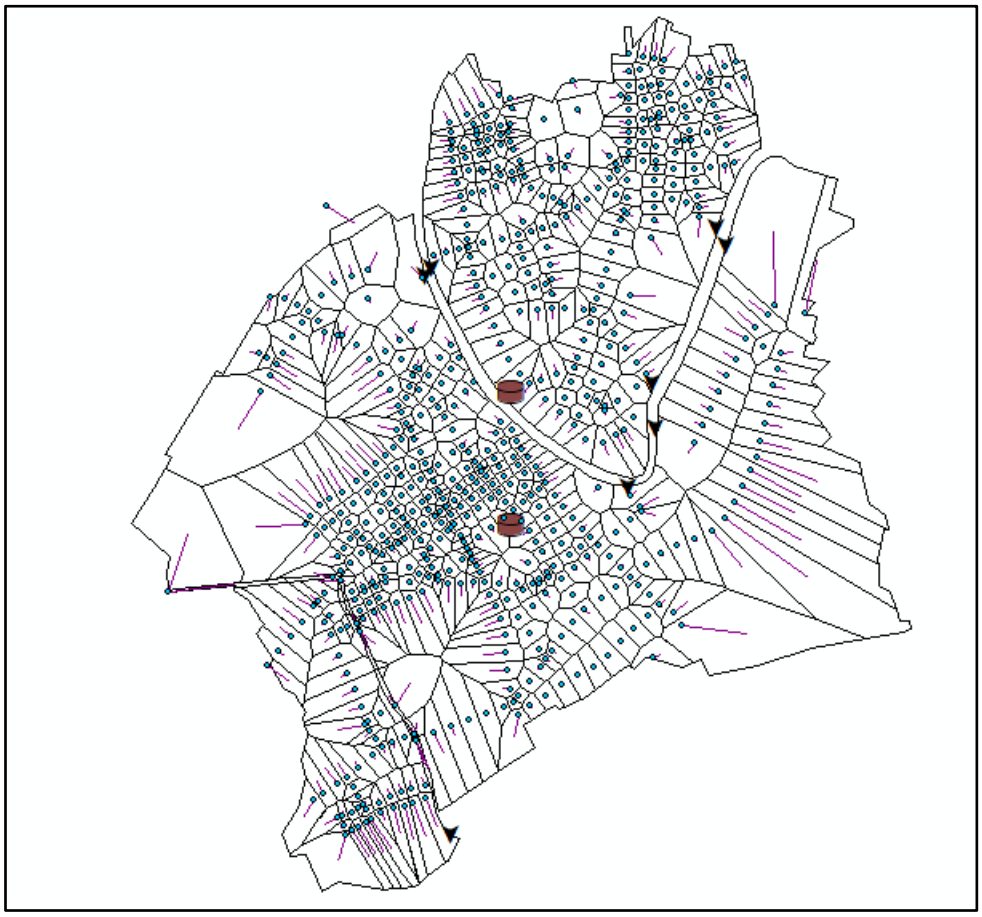
Thiết lập hệ thống tiêu thoát nước trong Mike Urban bao gồm: Thiết lập các điểm tập trung nước, các đường ống thoát nước, các lưu vực tập trung nước. Thiết lập mô hình số độ cao (DEM) và kết nối mô phỏng 2D cho dòng chảy tràn mặt (Hình 7-9).

Bảng 1. Dữ liệu hiện trạng hệ thống tiêu thoát nước.

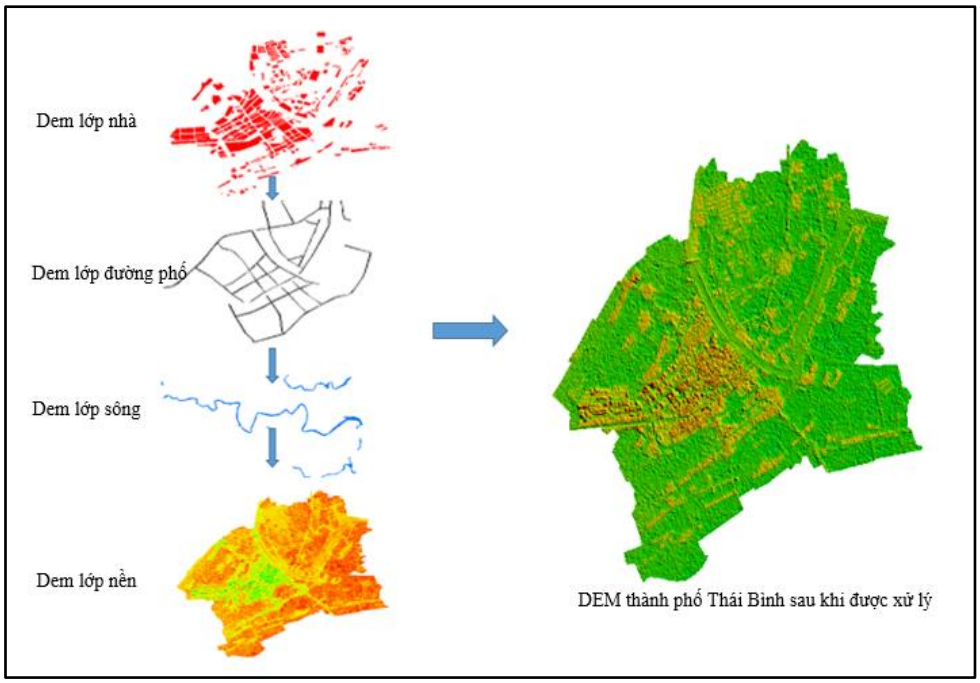
Dữ liệu		
Nút	Hố ga	4318
	Điểm xả	8
Lưu vực	Tổng diện tích	67,71km^2
Đoạn đường ống thoát nước	Cống nối	150.309 (m)
	Cống ngầm	28.829 (m)



Hình 7. Thiết lập hệ thống tiêu, thoát nước cho thành phố Thái Bình.



Hình 8. Phân chia lưu vực (catchment) trong hệ thống thoát nước.



Hình 9. Lớp DEM thành phố Thái Bình sau khi được xử lý.

Sử dụng lớp DEM 10m×10m. Kết hợp lớp DEM của các lớp sông, hồ, ao, đường phố nhà cửa, các công trình kiến trúc khác được số hóa bằng phần mềm ARCGIS từ hình ảnh thực tế trên Google Earth ta thu được lớp địa hình (Hình 9). Lớp bản đồ này kết nối với các hố ga, cống, trạm bơm, tính toán dòng chảy hai chiều từ các hố ga tràn trên bề mặt địa hình.

b) Thiết lập biên của mô hình MIIIKE URBAN cho thành phố Thái Bình

Mô hình hệ thống thoát nước cho thành phố Thái Bình sử dụng:

+ Số liệu mưa giờ của trạm khí tượng Thái Bình được sử dụng đề làm biên mưa đầu vào cho mô hình thuỷ văn khi hiệu chỉnh và kiểm định mô hình. Số liệu mưa dự báo từ mô hình số khí tượng WRF3km-IFS-DDA được dùng đề làm đầu vào cho mô hình khi mô phỏng các bản đồ ngập lụt dự báo.

+ Số liệu mực nước giờ trạm thủy văn thành phố Thái Bình được sử dụng để làm biên cho mô hình dòng chảy một chiều.

Căn cứ theo hiện trạng thu thập dữ liệu độ sâu ngập tại các vị trí đo đạc để xác định thời đoạn tính toán.

c) Thiết lập các điều kiện đầu vào trong mô hình MIKE URBAN

- Nhóm thông số thủy văn

Thiết lập các thông số cụ thể cho từng lưu vực: Diện tích lưu vực, thời gian tập trung nước, dòng chảy từ mưa theo công thức Thời gian-diện tích, tổn thất ban đầu, phần trăm không thấm.

Trong đó: Tổn thất ban đầu được mặc định là 0,0006; hệ số triết giảm dòng chảy là 0,9; thời gian tập trung nước ở khu vực có tỉ lệ bê tông hoá cao được tính với vận tốc trung bình bề mặt là 3-5 m/s, ở các khu vực còn lại là từ 5-9 m/s.

Phần trăm không thấm ở khu vực có bê tông hoá cao như (nhà, đường giao thông...) từ 80-85%, các khu vực còn lại từ 30-40%. Sau đó, các thông số này sẽ được thử dần thay đổi trong quá trình hiệu chỉnh mô hình theo các tài liệu độ sâu ngập thực đo.

- Nhóm thông số thủy lực

Thông số thủy lực hiệu chỉnh trong hệ thống tiêu, thoát nước là hệ số nhám lòng dẫn (hệ số nhám Manning) và chất liệu cống (độ thô, nhám của vật liệu).

2.3. Thu thập dữ liệu

2.3.1. Dữ liệu địa hình thành phố Thái Bình

Tài liệu địa hình bao gồm dữ liệu DEM nền sử dụng được tải theo nguồn ALOS Global Digital Surface Model "ALOS World 3D - 3m (AW3D30) từ trang web: https://www.eorc.jaxa.jp/ALOS/en/dataset/aw3d30/aw3d30_e.htm, sau đó tiến hành nội suy bằng ARCGIS để có lớp DEM 10m×10m.

2.3.2. Dữ liệu hệ thống tiêu thoát nước thành phố Thái Bình

Số liệu hệ thống thoát nước bao gồm vị trí, kích thước, cao độ đáy các điểm thu nước (hố ga), các đường cống tiêu thoát nước, hình dạng đường ống, vật liệu làm cống, các trạm bơm và công suất bơm.

2.2.3. Dữ liệu về khí tượng thủy văn

+ Số liệu mưa giờ của trạm khí tượng Thái Bình các năm từ 2005-2022. Số liệu mưa dự báo của mô hình dự báo khí tượng WRF3km-IFS-DA (Nguồn Trung tâm dự báo Khí tượng thuỷ văn Quốc gia).

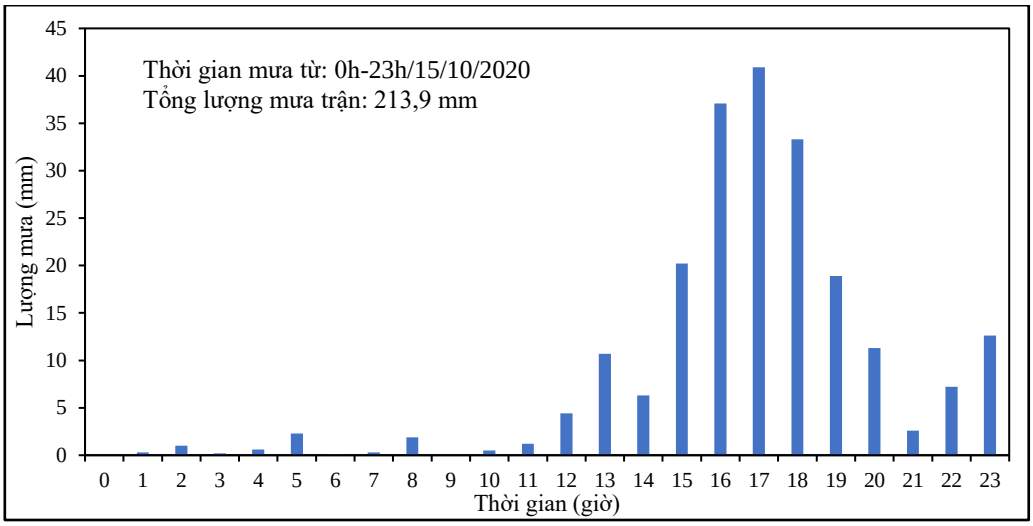
+ Số liệu mực nước giờ trạm thủy văn thành phố Thái Bình các năm 2020, 2021, 2022.

+ Số liệu về các trận ngập (điểm ngập, độ sâu ngập, diện ngập) thực tế (Nguồn Đài Khí tượng thủy văn khu vực Đồng bằng và Trung du Bắc Bộ).

3. Kết quả và thảo luận

3.1. Kết quả hiệu chỉnh

Từ hệ thống đã thiết lập ở trên kết hợp với biên đầu vào là số liệu mưa giờ trạm khí tượng Thái Bình, mực nước giờ thực đo năm 2020, tài liệu điều tra vết ngập thực tế để hiệu chỉnh mô hình. Nghiên cứu lựa chọn trận mưa ngày 15/10/2020 để làm đầu vào chạy mô phỏng ngập cho thành phố Thái Bình.



Hình 10. Biểu đồ trận mưa ngày 15/10/2020.

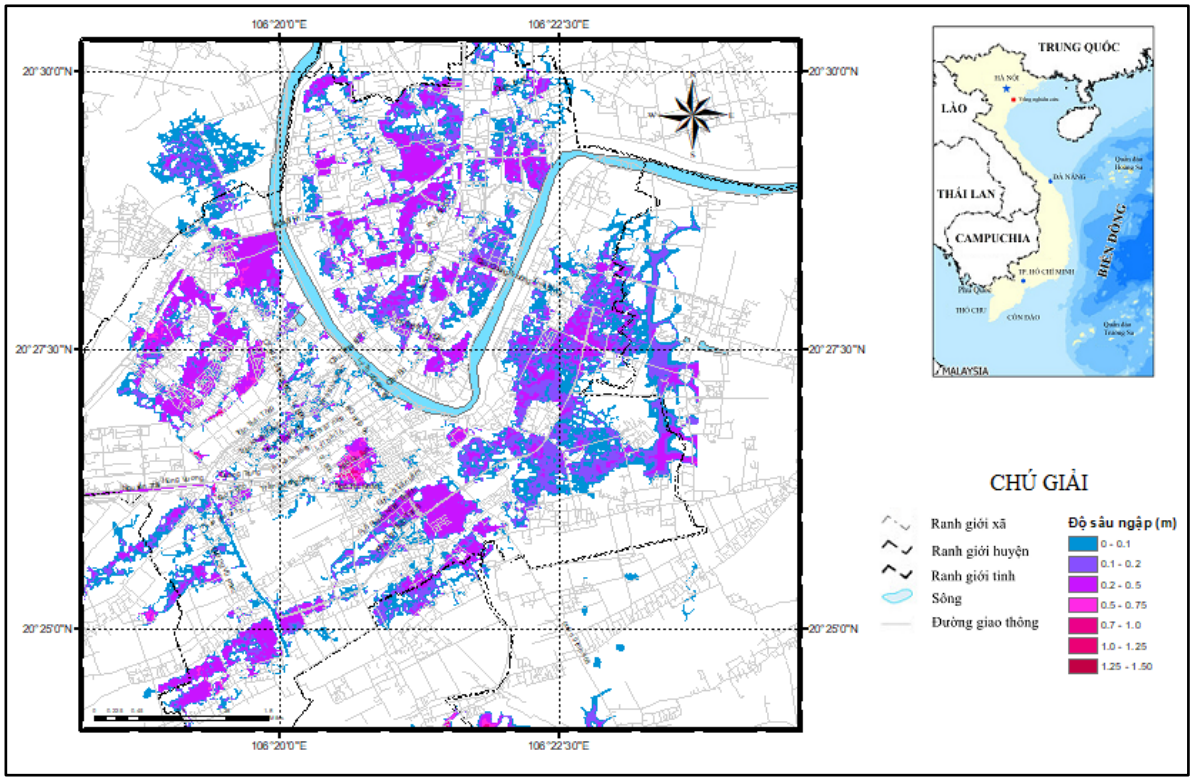
Khi sử dụng các thiết lập đầu vào ban đầu cho mô hình thì thấy một số điểm có độ sâu ngập lớn hơn, một số điểm có độ sâu ngập nhỏ hơn và một số điểm không xuất hiện ngập so với tài liệu đo đạc thực tế nên tiến hành hiệu chỉnh lại một số thông số (Bảng 2) ta được kết quả như trong bảng 3 và hình 11, hình 12.

Bảng 2. Bộ thông số sau khi hiệu chỉnh mô hình.

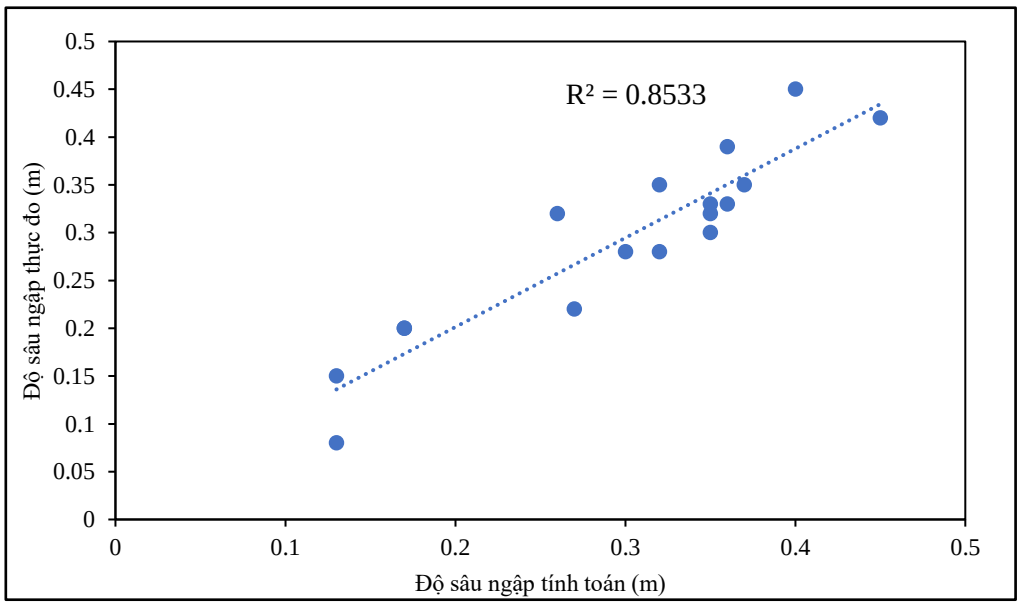
Thông số		Giá trị
Hệ số không thấm (%)	Khu vực có tỉ lệ bê tông hóa cao	80-85
	Các khu vực còn lại	30-39
Thời gian tập trung nước (phút)	Khu vực có tỉ lệ bê tông hóa cao	4-7
	Các khu vực còn lại	5-10
Tổn thất ban đầu		0,00006
Hệ số triết giảm		0,9
Hệ số nhám Manning ($s/m^{1/3}$)		85

Bảng 3. Độ sâu ngập thực đo và tính toán tại một số vị trí khảo sát.

STT	Địa điểm khảo sát	Kinh độ	Vĩ độ	Độ sâu ngập thực đo (m)	Độ sâu ngập tính toán (m)	Chênh lệch (m)
TB1	Đường Lê Quý Đôn	106.344	20.447	0,36	0,39	0,03
TB2	Đường Lý Bôn	106.338	20.443	0,45	0,42	-0,03
TB3	Đường Trần Thái Tông	105.788	21.032	0,13	0,15	0,02
TB4	Đường Đặng Nghiễm	106.341	20.455	0,37	0,35	-0,02
TB5	Đường Trần Phú, KCN Nguyễn Đức Cảnh	106.330	20.447	0,35	0,32	-0,03
TB6	Đường Lý Thường Kiệt	106.343	20.456	0,17	0,2	0,03
TB7	Đường Hai Bà Trưng	106.342	20.448	0,13	0,08	-0,05
TB8	Đường Trần Hưng Đạo	106.332	20.443	0,35	0,33	-0,02
TB9	Đường Phạm Thế Hiển	106.330	20.443	0,17	0,2	0,03
TB10	Đường Phạm Đôn Lễ	106.336	20.453	0,32	0,35	0,03
TB11	Đường Ngô Quang Bích	106.337	20.453	0,35	0,3	-0,05
TB12	đường Nguyễn Thị Minh Khai	106.338	20.450	0,26	0,32	0,06
TB13	Đường Hoàng Hoa Thám	106.340	20.449	0,27	0,22	-0,05
TB14	Đường Kỳ Đồng	106.325	20.443	0,32	0,28	-0,04
TB15	Đường Phan Bá Vành	106.327	20.433	0,36	0,33	-0,03
TB16	Đường Trần Phú	106.329	20.447	0,3	0,28	-0,02
TB17	Đường Lê Đại Hành	106.341	20.443	0,4	0,45	0,05



Hình 11. Bản đồ ngập thành phố Thái Bình sau khi hiệu chỉnh mô hình.



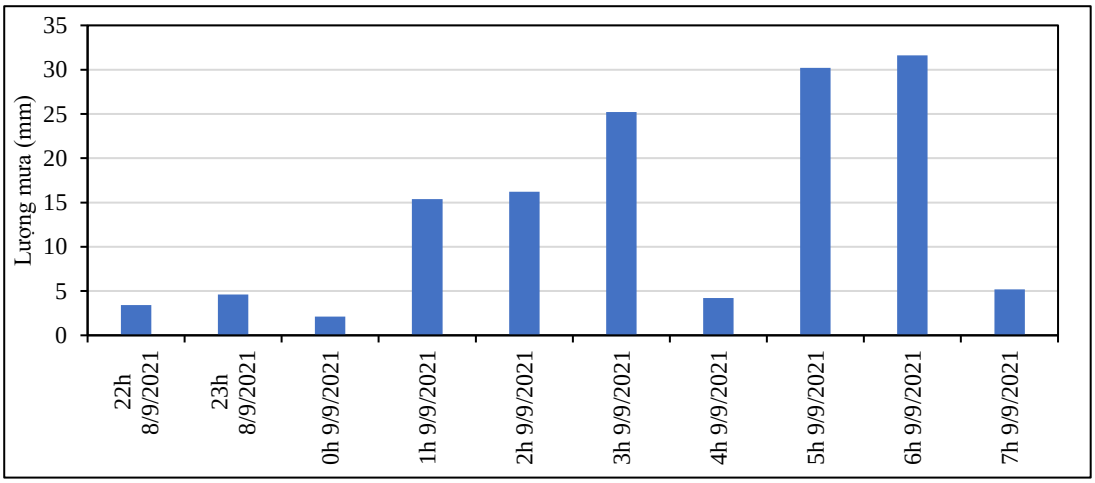
Hình 12. Biểu đồ tương quan giữa độ sâu ngập thực đo và tính toán sau khi hiệu chỉnh mô hình.

Kết quả đánh giá theo chỉ tiêu Nash là 0,84; hệ số tương quan giữa độ sâu ngập thực đo và tính toán R^2 là 0,85. Kết quả này tương đối phù hợp về trị số. Các điểm ngập khi khảo sát thực tế cũng đều xuất hiện ngập như vậy diện ngập tính toán cũng phù hợp thực tế.

3.2. Kiểm định mô hình

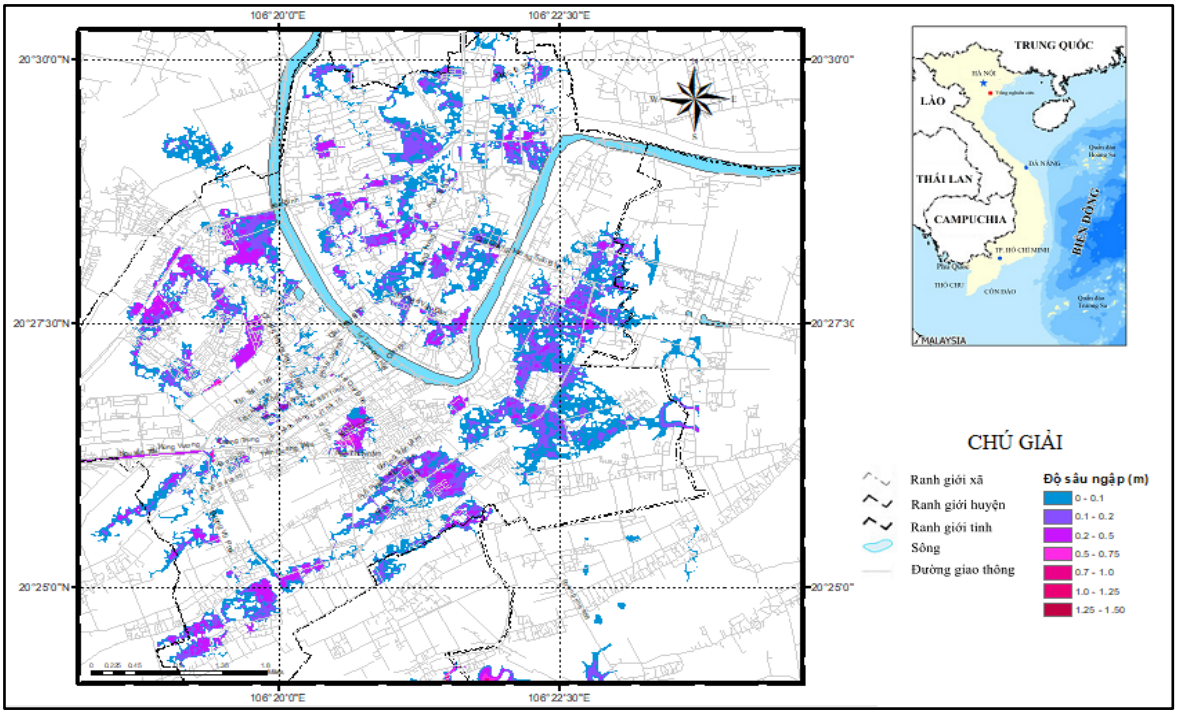
Sử dụng bộ thông số tìm được khi hiệu chỉnh mô hình. Thiết lập lại biên mưa, biên mực nước, biên cửa xả, theo số liệu thực đo năm 2021 để kiểm định lại mô hình MIKE URBAN.

Trận mưa được chọn để kiểm định mô hình là trận mưa ngày 08-09/09/2021 (Hình 13), với tổng lượng mưa trận là 138,1 mm.

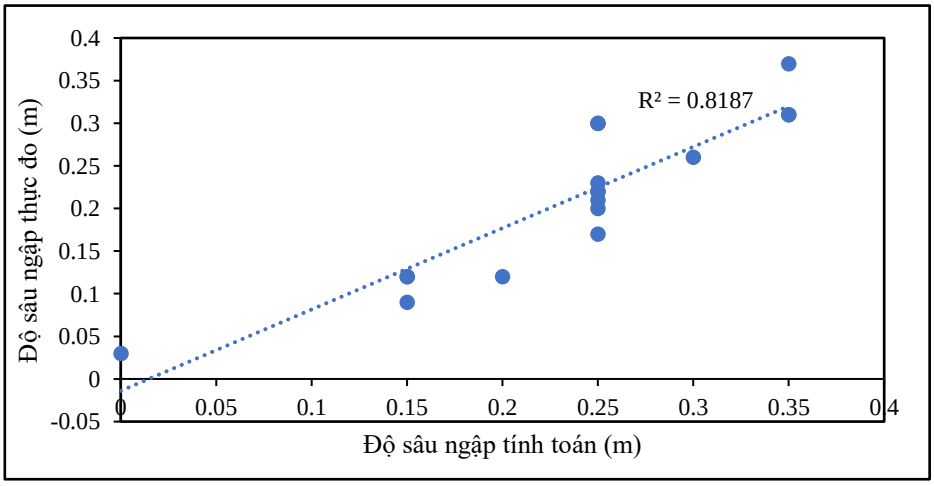


Hình 13. Biểu đồ trận mưa trận mưa ngày 08-09/09/2021.

Kết quả kiểm định được thể hiện trong hình 14, hình 15 và bảng 4.



Hình 14. Bản đồ ngập thành phố Thái Bình trong trận kiểm định mô hình.



Hình 15. Biểu đồ tương quan giữa độ sâu ngập thực đo và tính toán sau khi kiểm định mô hình.

Bảng 4. Độ sâu ngập thực đo và tính toán tại một số vị trí khảo sát.

STT	Địa điểm khảo sát	Kinh độ	Vĩ độ	Độ sâu ngập thực đo (m)	Độ sâu ngập tính toán (m)	Chênh lệch (m)
TB1	Đường Lê Quý Đôn	106.344	20.447	0,35	0,31	-0,04
TB2	Đường Lý Bôn	106.338	20.443	0,35	0,31	-0,04
TB3	Đường Trần Thái Tông	105.788	21.032	0,15	0,12	-0,03
TB4	Đường Đặng Nghiễm	106.341	20.455	0,25	0,17	-0,08
TB5	Đường Trần Phú, KCN Nguyễn Đức Cảnh	106.330	20.447	0,25	0,22	-0,03
TB6	Đường Lý Thường Kiệt	106.343	20.456	Không ngập	0,03	0,03
TB7	Đường Hai Bà Trưng	106.342	20.448	0,15	0,12	-0,03
TB8	Đường Trần Hưng Đạo	106.332	20.443	0,25	0,3	0,05
TB9	Đường Phạm Thế Hiển	106.330	20.443	0,15	0,09	-0,06
TB10	Đường Phạm Đôn Lễ	106.336	20.453	0,35	0,37	0,02
TB11	Đường Ngô Quang Bích	106.337	20.453	0,25	0,22	-0,03
TB12	đường Nguyễn Thị Minh Khai	106.338	20.450	0,25	0,21	-0,04
TB13	Đường Hoàng Hoa Thám	106.340	20.449	0,25	0,23	-0,02
TB14	Đường Kỳ Đồng	106.325	20.443	0,2	0,12	-0,08
TB15	Đường Phan Bá Vành	106.327	20.433	0,25	0,3	0,05
TB16	Đường Trần Phú	106.329	20.447	0,25	0,2	-0,05
TB17	Đường Lê Đại Hành	106.341	20.443	0,3	0,26	-0,04

Kết quả đánh giá theo chỉ tiêu Nash là 0,81, hệ số tương quan giữa độ sâu ngập thực đo và độ sâu ngập tính toán R^2 là 0,81. Các điểm ngập khi khảo sát thực tế cũng đều xuất hiện ngập như vậy diện ngập tính toán cũng phù hợp thực tế. Với kết quả trên có thể dùng mô hình MIKE URBAN để mô phỏng, đánh giá và dự báo ngập cho khu vực nghiên cứu.

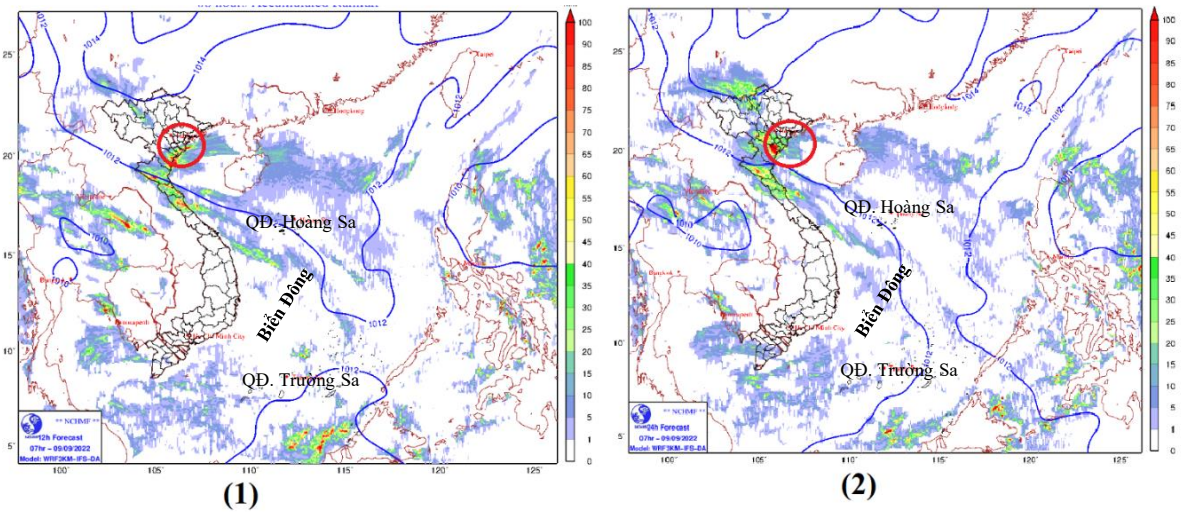
3.3. Kết quả mô phỏng ngập lụt theo mưa dự báo từ mô hình WRF3km-IFS-DA

Nhằm mục tiêu đánh giá khả năng mô phỏng của mô hình MIKE URBAN và khả năng dự báo ngập lụt cho khu vực nghiên cứu khi kết hợp với một mô hình dự báo khí tượng, tiến hành mô phỏng ngập úng cho khu vực nghiên cứu với lượng mưa ngày 9/9/2022 theo các kịch bản: Mô phỏng dự báo ngập lụt thành phố Thái Bình với các kịch bản (KB) mưa đầu vào là (1) mưa thực đo; (2) mưa dự báo trước 6 giờ; (3) mưa dự báo trước 24 giờ.

a) Đặc điểm trận ngập ngày 9/9/2022

Hình 16. Một số hình ảnh ngập úng trong trận mưa ngày 8-9/9/2022 tại thành phố Thái Bình [25].

Trận mưa đêm ngày 8/9 đến sáng ngày 9/9/2022, nhiều tuyến phố như Lê Quý Đôn, Lý Bôn, Trần Phú, Trần Thủ Độ… tại thành phố Thái Bình ngập trong nước với độ sâu ngập từ 0,1-0,3mm, có đoạn ngập sâu 0,2-0,4 mm.

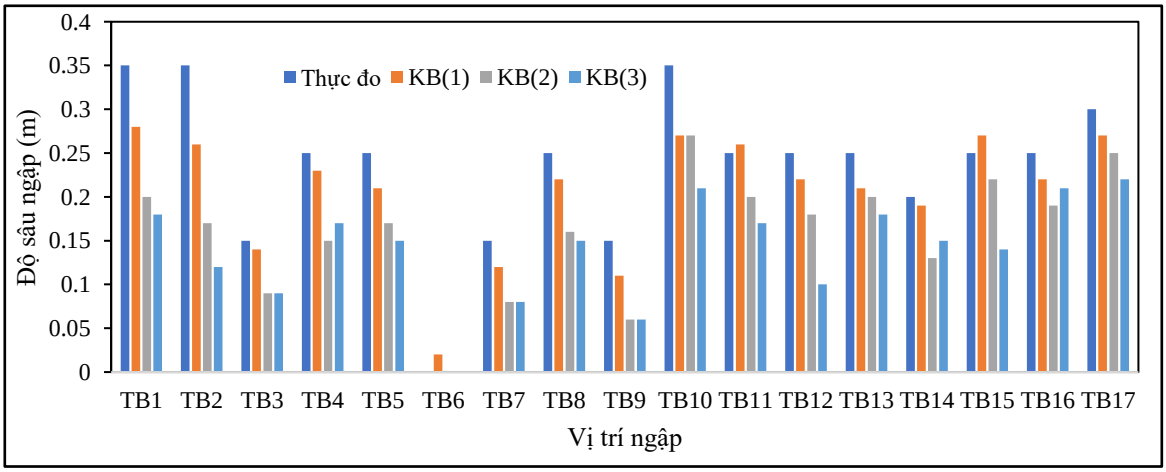


Hình 17. Bản đồ mưa dự báo từ mô hình WRF3fm-IFS-DA: (1) mưa dự báo trước 6 giờ; (2) mưa dự báo trước 24 giờ [32].

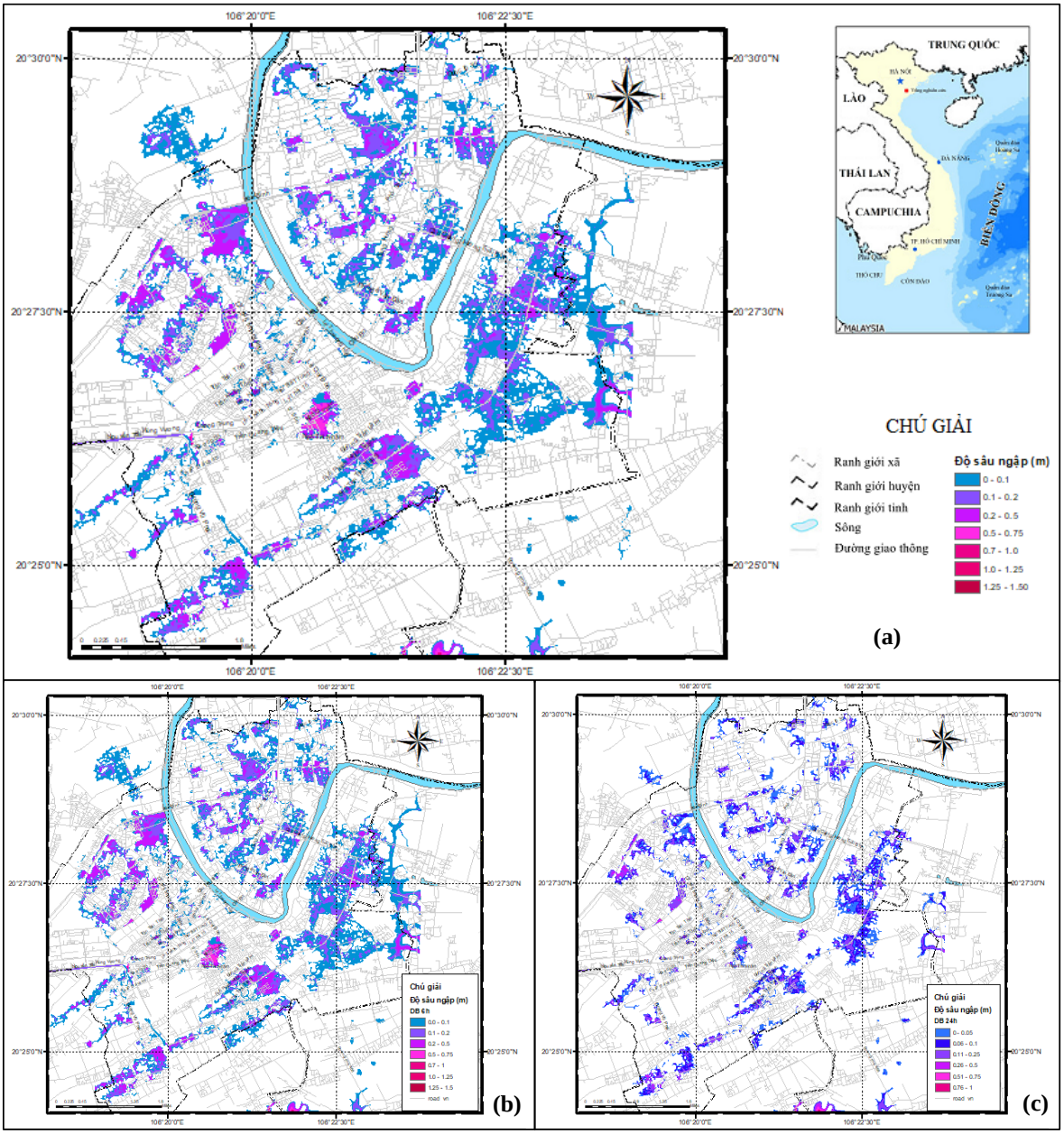
b) Kết quả mô phỏng

Bảng 5. So sánh kết quả mô phỏng ngập lụt của các kịch bản.

STT	Địa điểm khảo sát	Kinh độ	Vĩ độ	Thực đo (m)	Kịch bản 1 mưa thực đo		Kịch bản 2 mưa DB 6h		Kịch bản 3 mưa DB 24h	
					H (m)	ΔH (m)	H (m)	ΔH (m)	H (m)	ΔH (m)
TB1	Đường Lê Quý Đôn	106.344	20.447	0,35	0,28	-0,07	0,2	-0,15	0,18	-0,17
TB2	Đường Lý Bôn	106.338	20.443	0,35	0,26	-0,09	0,17	-0,18	0,12	-0,23
TB3	Đường Trần Thái Tông	105.788	21.032	0,15	0,14	-0,01	0,09	-0,06	0,09	-0,06
TB4	Đường Đặng Nghiễm	106.341	20.455	0,25	0,23	-0,02	0,15	-0,1	0,17	-0,08
TB5	Đường Trần Phú, KCN Nguyễn Đức Cảnh	106.330	20.447	0,25	0,21	-0,04	0,17	-0,08	0,15	-0,1
TB6	Đường Lý Thường Kiệt	106.343	20.456	0	0,02	0,02	0	0	0	0
TB7	Đường Hai Bà Trưng	106.342	20.448	0,15	0,12	-0,03	0,08	-0,07	0,08	-0,07
TB8	Đường Trần Hưng Đạo	106.332	20.443	0,25	0,22	-0,03	0,16	-0,09	0,15	-0,1
TB9	Đường Phạm Thế Hiển	106.330	20.443	0,15	0,11	-0,04	0,06	-0,09	0,06	-0,09
TB10	Đường Phạm Đôn Lễ	106.336	20.453	0,35	0,27	-0,08	0,27	-0,08	0,21	-0,14
TB11	Đường Ngô Quang Bích	106.337	20.453	0,25	0,26	0,01	0,2	-0,05	0,17	-0,08
TB12	đường Nguyễn Thị Minh Khai	106.338	20.450	0,25	0,22	-0,03	0,18	-0,07	0,10	-0,15
TB13	Đường Hoàng Hoa Thám	106.340	20.449	0,25	0,21	-0,04	0,2	-0,05	0,18	-0,07
TB14	Đường Đường Kỳ Đồng	106.325	20.443	0,2	0,19	-0,01	0,13	-0,07	0,15	-0,05
TB15	Đường Phan Bá Vành	106.327	20.433	0,25	0,27	0,02	0,22	-0,03	0,14	-0,11
TB16	Đường Trần Phú	106.329	20.447	0,25	0,22	-0,03	0,19	-0,06	0,21	-0,04
TB17	Đường Lê Đại Hành	106.341	20.443	0,3	0,27	-0,03	0,25	-0,05	0,22	-0,08



Hình 18. Độ sâu ngập mô phỏng tại các vị trí theo các kịch bản.



Hình 19. Bản đồ mô phỏng ngập lụt tại thành phố Thái Bình theo các kịch bản: (a) theo mưa thực đo; (b) theo mưa dự báo trước 6h; (c) theo mưa dự báo trước 24h.

Kết quả mô phỏng ở bảng 6 và hình 18, hình 19 cho thấy so sánh giữa mô phỏng ngập lụt theo số liệu mưa thực đo tại trạm Thái Bình (KB1) từ ngày 8-9/9/2022 và số liệu ngập thực đo được đánh giá theo chỉ tiêu Nash là 0,76, kết quả này tương đối phù hợp. Mô phỏng ngập lụt theo số liệu dự báo lượng mưa trước 06h từ mô hình WRF3km-IFS-DA (KB2) cho sai số độ sâu ngập từ 0-0,18 m, sai số trung bình là 0,07 m. Mô phỏng ngập lụt theo số liệu dự báo lượng mưa trước 24h từ mô hình WRF3km-IFS-DA (KB3) cho sai số độ sâu ngập từ 0-0,23 m, sai số trung bình là 0,09 m. Như vậy kết quả mô phỏng ngập lụt này cho thấy với thời hạn dự báo càng gần càng cho độ chính xác cao.

3.4. Thảo luận

Hầu hết các kết quả nghiên cứu đều chỉ ra rằng mô hình MIKE URBAN mô phỏng tốt ngập lụt trong các đô thị [12, 19–20, 31]. MIKE URBAN không những có thể được dùng để quản lý hệ thống thoát nước, lập kế hoạch thoát nước tổng thể, đánh giá khả năng chịu tải của hệ thống thoát nước mà có thể được sử dụng để dự báo ngập lụt cho khu vực đô thị. Từ

kết quả hiệu chỉnh, kiểm định và mô phỏng các trận mưa gây ngập úng cho thành phố Thái Bình có thể thấy rằng mô hình MIKE URBAN mô phỏng khá tốt các trận ngập úng do mưa lớn. Khi mưa lớn xảy ra với cường độ mưa khoảng 30 mm/h với thời đoạn mưa trên 30 phút một số tuyến phố bắt đầu xảy ra ngập úng. Có thể dùng bộ thông số sau khi đã hiệu chỉnh, kiểm định này để xây dựng các bản đồ ngập lụt tương ứng với các kịch bản dự báo mưa lớn khác nhau.

Dự báo ngập lụt có thể đạt được bằng cách sử dụng mô hình kết hợp giữa mô hình NWP và mô hình lượng mưa-dòng chảy. Phương pháp này kéo dài thời gian thực hiện dự báo và cung cấp các bản đồ ngập lụt dự báo với độ chính xác cao. Kết quả cho thấy hệ thống dự báo có hiệu suất tốt hơn đối với các thời hạn dự báo gần (KB2) và kém chính xác hơn với các thời hạn dự báo xa (KB3), độ chính xác của các dự báo phụ thuộc rất lớn vào khả năng dự báo mưa lớn của các mô hình NWP.

Thành phố Thái Bình là một thành phố có tốc độ đô thị hóa, công nghiệp hóa nhanh. Hệ thống các công trình tiêu thoát nước đã xây dựng không theo kịp nhịp độ phát triển kinh tế, nhiều hệ thống tiêu thoát được xây mới nhưng không đồng nhất với hệ thống cũ làm cho tình hình ngập lụt xảy ra càng ngày càng nghiêm trọng. Từ kết quả nghiên cứu này có thể sử dụng các đầu vào mưa dự báo như mưa dự báo từ các mô hình, mưa ước lượng từ vệ tinh và rada cho mô hình MIKE URBAN sẽ là cốt lõi trong việc thiết lập hệ thống dự báo cảnh báo ngập lụt đô thị để thử nghiệm vào mùa mưa năm 2024 và sẽ được áp dụng vào năm 2025.

4. Kết luận

Nghiên cứu đã xây dựng được bộ thông số mô hình MIKE URBAN mô phỏng ngập úng do mưa lớn cho thành phố Thái Bình có độ tin cậy khá tốt từ 0.76-0.82 do vậy có thể dùng bộ thông số này để tính toán, mô phỏng và dự báo ngập úng cho thành phố Thái Bình khi mưa lớn xảy ra.

Rất nhiều đô thị ở nước ta đã và đang đối mặt rất lớn với bài toán ngập lụt đô thị và dự báo, cảnh báo ngập lụt đô thị từ hệ thống dự báo tổ hợp mưa như các đô thị Hà Nam, Nam Định, Thái Bình, Ninh Bình,… mà vẫn chưa có hệ thống dự báo cảnh báo ngập lụt hỗ trợ để tạo ra bản tin dự báo, cảnh báo một cách kịp thời. Việc sự dụng dữ liệu mưa dự báo từ mô hình WRF3km-IFS-DA làm đầu vào cho mô hình MIKE URBAN có thể đưa ra được các dự báo trước 6 đến 24 giờ là một trong những điểm nổi bật của nghiên cứu.

Chất lượng dự báo ngập lụt đô thị phụ thuộc rất lớn vào chất lượng dự báo mưa lớn của các mô hình NWP. Nếu mô hình MIKE URBAN mô phỏng tốt ngập lụt đô thị nhưng dự báo mưa không chính xác thì cũng không thể cho kết quả dự báo ngập lụt tốt được. Do đó dự báo viên cần chọn nhưng mô hình dự báo mưa có độ tin cậy cao.

Trong thời gian tới, nghiên cứu sẽ xây dựng hệ thống cảnh báo ngập úng do mưa lớn dựa trên cách tiếp cận dự báo tổ hợp từ mưa mô hình, mưa ước lượng vệ tinh, mưa ước lượng từ ra đa, mưa từ hệ thống đo mưa tự động cho thành phố Thái Bình và hệ thống dự báo cảnh báo ngập lụt đô thị này sẽ được thử nghiệm vào mùa mưa năm 2024 và áp dụng vào năm 2025. Hệ thống đi vào vận hành sẽ hỗ trợ đắc lực cho dự báo viên và có thể đưa ra các thông điệp cảnh báo sớm cho người dân nhằm nâng cao hiệu quả phòng ngừa và giảm nhẹ thiệt hại do lũ lụt gây ra.

Đóng góp của tác giả: Xây dựng ý tưởng nghiên cứu: L.T.H.; N.T.L.; Xử lý số liệu: D.T.D., D.T.N.H.; Hiệu chỉnh và kiểm định mô hình: N.T.L.; Viết bản thảo bài báo: P.T.D.T.; V.T.T.H.; Chỉnh sửa bài báo: D.T.H.T.

Lời cảm ơn: Bài báo hoàn thành nhờ vào kết quả của nhiệm vụ: "Nghiên cứu xây dựng hệ thống cảnh báo ngập úng do mưa lớn dựa trên cách tiếp cận dự báo tổ hợp cho một số đô thị khu vực Đồng bằng Bắc Bộ", mã số đề tài TNMT.2023.06.04. Thuộc chương trình "Chương trình khoa học và công nghệ trọng điểm cấp bộ về dự báo, cảnh báo thiên tai khí tượng thủy văn phục vụ công tác phòng chống thiên tai giai đoạn 2021-2025".

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. Cường, H.Đ. Nghiên cứu ứng dụng sơ đồ đồng hóa số liệu 3DVAR cho mô hình WRF nhằm mục đích dự báo thời tiết ở Việt Nam. *Tạp chí Khí tượng Thuỷ văn* **2011**, *610*, 37–41.
2. Benito, G.; Lang, M.; Barriendos, M.; Llasat, M.C.; Francés, F.; Ouarda, T.; Thorndycraft, V.; Enzel, Y.; Bardossy, A.; Coeur, D.; Bobée, B. Use of systematic, palaeoflood and historical data for the improvement of flood risk estimation. *Nat. Hazards* **2004**, *31*, 623–643.
3. Agarwal, S.; Kumar, S. Urban flood modeling using SWMM for historical and future extreme rainfall events under climate change scenario. *Indian J. Ecol.* **2020**, *47(11)*, 48–53.
4. Rossman, L.A.; Huber, W.C. Storm water management model reference manual volume I, hydrology. U.S. EPA Office of Research and Development, Washington, DC, EPA/600/R-15/162A, 2015.
5. Rossman, L.A.; Dickinson, R.E.; Schade, T.; Chan, C.C.; Burgess, E.; Sullivan, D.; Lai, F.H. SWMM 5 the next generation of EPA's storm water management model. *J. Water Manag. Model.* **2004**, *12*, 339–358.
6. Wu, W.L.; Lu, L.J.; Huang, X.F.; Shangguan, H.D.; Wei, Z.Q. An automatic calibration framework based on the InfoWorks ICM model: The effect of multiple objectives during multiple water pollutant modeling. *Environ. Sci. Pollut. Res.* **2021**, *28*, 31814–31830.
7. InfoWorks ICM. Version 3.0; Innovyze: Wallingford, UK, 2012.
8. HEC-RAS River Analysis System. Version 5.0. 2D modeling user's manual. Hydrologic Engineering Center: Davis, CA, USA, 2016.
9. Anni, A.H.; Cohen, S.; Praskievicz, S. Sensitivity of urban flood simulations to stormwater infrastructure and soil infiltration. *J. Hydrol.* **2020**, *588*, 125028.
10. Apirumanekul, C.; Mark, O. Modelling of urban flooding in Dhaka City-Bangladesh. Proceeding of 4th DHI Software Conference, 2001.
11. Henonin, J.; Russo, B.; Mark, O.; Gourbesville, P. Real-time urban flood forecasting and modelling – A state of the art. *J. Hydroinf.* **2013**, *15(3)*, 717–736.
12. Quang, N.H.; Weesakul, S.; Weesakul, U.; Chaliraktrakul, C. A real-time hydrological information system for bangkok. 2005.
13. Guangzha, C.; Jingming, H.; Nie, Z.; Shaoxiong, Y. High-resolution urban flood forecasting by using a coupled atmospheric and hydrodynamic flood models. *Front. Earth Sci.* **2020**, *8*, 2020. https://doi.org/10.3389/feart.2020.545612.
14. Davis, S.; Pentakota, L.; Saptarishy, N.; Mujumdar, P. A flood forecasting framework coupling a high resolution WRF ensemble with an urban hydrologic model. *Front. Earth Sci.* **2022**, *10*, 2022. https://doi.org/10.3389/feart.2022.883842.
15. Linh, N.M.; Đức, A.Đ. Đánh giá ảnh hưởng tiêu thoát lũ tỉnh Quảng Ngãi khi xây dựng tuyến đường cao tốc Đà Nẵng - Quảng Ngãi. *Tạp chí khoa học và công nghệ thủy lợi* **2013**, *13*, 44–51.
16. Ôn, T.V.; Quân, L.V. Phương pháp xác định diện tích (hay dung tích) hồ điều hòa điều tiết nước mưa cho một khu đô thị mới. *Tạp chí Khoa học Kỹ thuật Thuỷ lợi và Môi trường* **2015**, *51*, 20–24.
17. Hoàng, T.T. Nghiên cứu tính toán ngập úng lưu vực quận 12 thành phố Hồ Chí Minh bằng mô hình Mike Flood. Trung tâm Ứng dụng Hệ thống Thông tin Địa lý TP.HCM, 2015.

18. Lượng, N.V. Nghiên cứu chi tiết hóa cấp độ rủi ro thiên tai do ngập lụt gây ra ở vùng đô thị và đồng bằng ven biển khu vực Bắc Trung Bộ. Báo cáo tổng kết đề tài cấp Bộ, 2018-2020.
19. Hưng, N.Q.; Liên, N.T. Ứng dụng mô hình Thủy văn đô thị 2D và thiết kế xanh cho hệ thống thoát nước thành phố Hà Tĩnh. *VNU J. Sci.: Earth. Environ. Sci.* **2021**, *37(3)*, 50–62.
20. Sở giao thông công chính. Báo cáo dự án thoát nước Thành phố Hà Nội (giai đoạn 1), UBND Tp. Hà Nội, 2015.
21. Đại, N.V.; Tuyên, N.K.; Thịnh, Đ.Q.; Long, P.B. Đánh giá tác động của biến đổi khí hậu đến tình hình ngập lụt ở thành phố Nam Định. *Tạp chí khoa học biến đổi khí hậu* **2018**, *5*, 51–58.
22. Long, V.H.; Giang, N.V.; Hòa, P.V.; Hùng, N.T. Ứng dụng công nghệ điện toán đám mây GOOGLE EARTH ENGINE trong nghiên cứu lũ lụt tại Đồng Tháp, hạ lưu sông Mê Công. *Tạp chí khoa học và công nghệ thủy lợi* **2018**, *43*, 1–11.
23. Cát, V.M. và cs. Hợp tác nghiên cứu xây dựng công nghệ dự báo lũ trung hạn kết nối với công nghệ điều hành hệ thống công trình phòng chống lũ cho đồng bằng sông Hồng - Thái Bình. Báo cáo kết quả thực hiện đề tài KHCN độc lập cấp Nhà nước, 2007, tr. 297.
24. Niên giám thống kê tỉnh Thái Bình năm 2020.
25. Trực tuyến: http://iwrp.gov.vn/d1860/tinh-hinh-ngap-lut-cac-do-thi-vung-dong-bang-bac-bo--thuc-trang-va-giai-phap.html.
26. Trực tuyến: https://baothaibinh.com.vn/tin-tuc/72/184258/mua-lon-gay-ngap-nhieu-tuyen-pho-tai-thanh-pho-thai-binh.
27. Khiêm, M.V. và cs. Thử nghiệm ứng dụng ra đa kết hợp mô hình số trị trong dự báo mưa hạn cực ngắn. Trung tâm Dự báo khí tượng thủy văn quốc gia, 2020.
28. Collection System. Modelling of storm water drainage networks and sewer collection systems. Available online: https://www.mikepoweredbydhi.com/products/mike-urban/collection-systems.
29. MIKEURBAN Tutorials. Available online: https://manuals.mikepoweredbydhi.help/2017/Cities/MIKEURBANTutorials.pdf.
30. MIKEURBAN Model Manager. Available online: https://manuals.mikepoweredbydhi.help/2017/Cities/ModelManager.pdf.
31. Trực tuyến: https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:648427/fulltext01.pdf.
32. Trực tuyến: http://swfdp-sea.com.vn/.

Applying rain forecasts from the WRF3KM-IFS-DA model to improve the effectiveness of urban flood forecasting and warning

Le Thi Hue[1]*, Dao Tien Dat[1], Dinh Thi Huong Thom[1], Pham Thi Dieu Thuy[1], Nguyen Thu Lan[1], Do Thi Ngoc Hoa[1], Vu Thi Thanh Huyen[1]

[1] Northern Delta and Midland regional Hydrometeorological Center; minhhuekttv@gmail.com; daodat81@gmail.com; thomdth91@gmail.com; phamdieuthuykttv@gmail.com; nguyenlandbbb@gmail.com; ngochoakttv@gmail.com; vthuyen1999@gmail.com

Abtract: Numerical Weather Prediction (NWP) models are increasingly used to predict heavy rainfall events. However, research on the application of high-resolution rainfall forecasts from the NWP model in hydrology is still limited. This article presents the results of research on applying rain forecasts from the WRF3KM-IFS-DA model to improve the effectiveness of urban flood forecasting and warning. The study calibrated and verificated the MIKE URBAN model to come up with an optimal set of parameters, then tested to simulate flooding in Thai Binh city for a specific rain event with the input rain boundary taken from WRF3KM-IFS-DA model under 3 scenarios: (1) Observation rain measured at Thai Binh meteorological station; (2) rain forecast with a forecast period of 6 hours in advance; (3) rain forecast with a forecast period of 24 hours in advance. Then evaluate the level of simulated flooding with the observation flooding that occurs.

Keywords: MIKE URBAN model; Calibration, validation; Urban flooding; Thai Binh city.

TẠP CHÍ
KHÍ TƯỢNG THỦY VĂN

Check for updates

Bài báo khoa học

Sử dụng viễn thám ước tính nồng độ NO_3^- của hồ Trị An, tỉnh Đồng Nai

Trần Ngọc Trâm Anh[1], Lê Trọng Diệu Hiền[2]*

[1] Chương trình Tài nguyên & Môi trường; Khoa Khoa học quản lý; Trường Đại học Thủ Dầu Một; 2028501010061@student.tdmu.edu; ngoctramanh.tran02@gmail.com
[2] Chương trình Tài nguyên & Môi trường; Khoa Khoa học quản lý; Trường Đại học Thủ Dầu Một; hienltd@tdmu.edu.vn

***Tác giả liên hệ:** hienltd@tdmu.edu.vn; Tel.: +84–372831517

Ban Biên tập nhận bài: 8/3/2024; Ngày phản biện xong: 10/4/2024; Ngày đăng bài: 25/7/2024

Tóm tắt: Hồ Trị An là công trình đóng vai trò quan trọng trong việc cung cấp nước, điều tiết nước trong khu vực thuộc các tỉnh phía Nam. Hiện nay, hồ có nguy cơ bị ô nhiễm nước mặt do diễn ra các hoạt động như: quá trình sinh hoạt của người dân, khu công nghiệp, nuôi trồng thủy sản … Việc theo dõi và đánh giá chất lượng nước tại hồ Trị An nhằm xác định mức độ ô nhiễm, giúp kiểm soát chất lượng nước tốt nhất. Dữ liệu viễn thám có khả năng thu thập, cung cấp thông tin của khu vực hồ để tạo dữ liệu phân tích liên tục, giám sát được sự thay đổi chi tiết về chất lượng nước mặt hiệu quả hơn. Nghiên cứu phân tích bao gồm: (1) Phân tích diễn biến nồng độ NO_3^- tại hồ Trị An, tỉnh Đồng Nai trong giai đoạn 2021-2022; (2) Lựa chọn mô hình ước tính nồng độ NO_3^- phù hợp thông các chỉ số thống kê từ dữ liệu viễm thám dựa trên mô hình hồi quy đa biến; (3) Đánh giá mức độ ô nhiễm chất lượng nước mặt tại khu vực nghiên cứu. Kết quả cho thấy, giữa dữ liệu quan trắc và dữ liệu ước tính nồng số NO_3^- dự đoán có hệ số $R^2 = 0,6$. Nghiên cứu đã chứng minh tiềm năng của nguồn dữ liệu viễn thám trong việc đánh giá tổng thể về sự phân bố không gian của chất lượng nước mặt tại sông suối, ao hồ và những thay đổi nồng độ chất lượng nước mặt, cũng như khắc phục tình trạng thiếu dữ liệu trong giám sát môi trường nước.

Từ khóa: Viễn thám; Nồng độ NO_3^-; Hồ Trị An; Mô hình hồi quy.

1. Mở đầu

Quá trình đo đạc nồng độ các thông số chất lượng nước theo cách thông thường là đến vị trí quan trắc thực hiện việc lấy mẫu nước, tiến hành phân tích các chỉ số trong mẫu nước. Với cách quan trắc mẫu này sẽ gây mất nhiều thời gian, công sức và chi phí thực hiện nên các nguồn dữ liệu thực đo còn hạn chế và nguồn dữ liệu quan trắc sẽ được lấy đại diện tại một số nơi trên hồ. Nguồn dữ liệu quan trắc này cũng chỉ có thể cung cấp thông tin trong khoảng thời gian ngắn tại vị trí cố định, khó có thể sử dụng để phân tích tổng thể toàn khu vực của hồ nước nhằm theo dõi biến động trong khoảng thời gian dài. Việc kết hợp ứng dụng công nghệ thông tin địa lý (GIS) và sử dụng ảnh viễn thám Landsat-8 để phân tích chất lượng nước trong khu vực hồ cho thấy khả năng thu thập và cung cấp thông tin của khu vực hồ để tạo dữ liệu phân tích liên tục, quan sát những thay đổi về chất lượng nước. Kỹ thuật viễn thám với mục đích cung cấp các lợi thế để quan sát và thấy sự thay đổi trong không gian, thời gian; đặc biệt áp dụng tốt ở khu vực nghiên cứu rộng lớn.

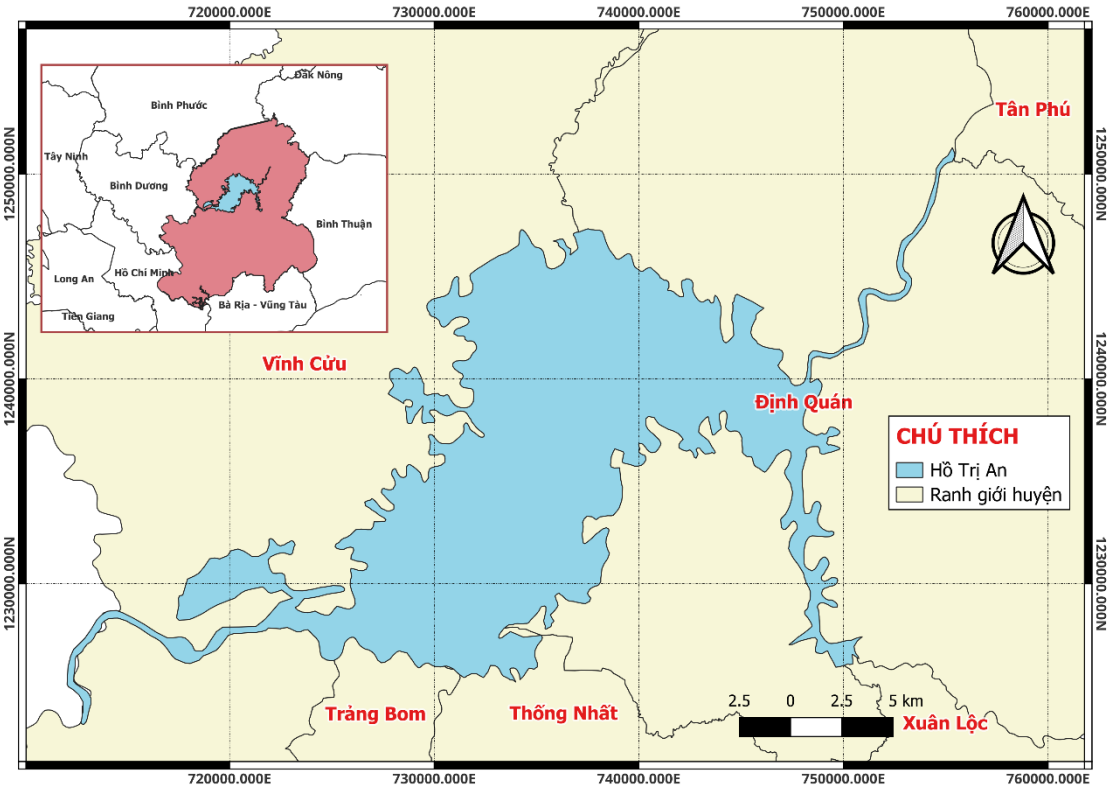
Một vài nghiên cứu trên thế giới ứng dụng công nghệ viễn thám và GIS trong giám sát môi trường như: Nghiên cứu [1] đã thực hiện việc đánh giá chất lượng nước mặt bằng cách

sử dụng ảnh vệ tinh Landsat-8, mô hình chuyển đổi Box-Cox và phép hồi quy tuyến tính, kết quả cho thấy giá trị R^2 của TOC, TDS, Chl-a lần lượt là 0,926; 0,875; 0,810 và đạt được mức độ phù hợp khá cao với kết quả đo đạc chất lượng nước thực tế. Sau quá trình hiệu chuẩn và kiểm định, mức độ phù hợp tương ứng là 98% và 93% đối với TDS và TOC, 81% cho Chl-a là mức độ phù hợp chấp nhận được; nghiên cứu [2] đã nghiên cứu sự biến đổi chất lượng nước và các yếu tố liên quan dọc theo sông Dương Tử bằng cách sử dụng ảnh Landsat-8, kết quả cho thấy chỉ số MAPE của các thông số chất lượng nước là 25,88%, 4,3% và 8,37% đối với nồng độ Chl-a, TN và TP tương ứng và sai số bình phương trung bình gốc (RMSE) là tương ứng là 0,475 µg/L, 0,110 mg/L và 0,01 mg/L, mô hình đạt yêu cầu, giúp đánh giá và kiểm soát các nguồn ô nhiễm chất lượng nước tại sông Dương Tử; nghiên cứu [3] phân tích sự biến đổi của chất lượng nước giai đoạn 2013-2018 tại hồ Đông Bình, Trung Quốc bằng mô hình ConvLSTM, phép hồi quy tuyến tính và ảnh Landsat, kết quả thu được giá trị MAE < 0,2, MSR < 0,29, RMSE < 0,4 và NSE > 0,71, mô hình phản ánh tốt nồng độ của tổng N, tiếp theo là COD, Chl-a, tổng P, BOD, nghiên cứu này phù hợp trong việc ứng dụng giám sát chất lượng nước và đóng vai trò là công cụ cảnh báo cho việc quản lý môi trường nước phức tạp ở vùng hồ nội địa.

Tại Việt Nam, nghiên cứu tại khu vực sông Tiền, sông Hậu thuộc đồng bằng sông Cửu Long [4] đã nghiên cứu xác định nồng độ trầm tích lơ lửng trên hệ thống sông tại Đồng bằng sông Cửu Long dựa trên phân tích ảnh viễn thám, kết quả cho thấy giữa chuỗi dữ liệu SSC thực đo và SSC nội suy có sự tương quan mạnh R^2 = 0,84; BIAS = -4×10^{-5}, kết quả phản ánh phân bố SSC đúng đặc tính của khu vực nghiên cứu; nghiên cứu [5] tại Hà Nội sử dụng dữ liệu quan trắc bụi PM_{10} mặt đất, phân tích hàm hồi quy tuyến tính dựa vào ảnh Landsat-8 để thành lập bản đồ phân vùng nồng độ bụi PM_{10}, kết quả cho thấy giá trị R^2 > 0,971, chỉ số RMSE = 7,75 µg/m^3 đã thể hiện rõ sự khác biệt giữa nồng độ bụi PM_{10} đo trên mặt đất và nồng độ bụi PM_{10} tính được từ ảnh vệ tinh; nghiên cứu [6] tại vùng cửa Hới sông Mã sử dụng ảnh Landsat-8 và mô hình hồi quy tuyến tính để xác định mối quan hệ giữa phổ phản xạ từ ảnh vệ tinh với nồng độ bụi cát lơ lửng, kết quả cho thấy giá trị R^2 = 0,74 và nghiên cứu tạo cơ sở dữ liệu để xác định nồng độ bụi cát lơ lửng tại các cửa sông khu vực miền Trung cũng như các khu vực khác dọc bờ biển Việt Nam.

Hồ Trị An được khởi công vào năm 1984 và hoàn thành vào năm 1987, hồ được hình thành do việc đắp đập ngăn sông Đồng Nai, một trong những hạng mục chính của công trình thủy điện Trị An, có tọa độ địa lý 11°09’36”B - 107°08’24”Đ (Hình 1). Nằm trên các huyện Vĩnh Cửu, Định Quán, Thống Nhất, Trảng Bom của tỉnh Đồng Nai [7]. Trị An là hồ chứa lớn nhất Việt Nam với diện tích lưu vực khoảng 14.800 km^2, chiều dài khoảng 44 km và chiều rộng tối đa 10 km, hồ còn cung cấp sinh kế cho hàng triệu người dân địa phương ở các tỉnh Bình Dương, Đồng Nai và Thành phố Hồ Chí Minh [8]. Hồ chứa không sâu, đáy hồ tương đối bằng phẳng, lưu lượng dòng chảy trung bình hàng năm là 15.100 m^3 và tổng khối lượng là 2.765 triệu m^2 [9]. Hồ Trị An được hình thành do việc đắp đập ngăn sông Đồng Nai, hồ có các chức năng như cung cấp nước tưới cho canh tác nông nghiệp, cấp nước cho công nghiệp và sinh hoạt của người dân,... Việc nuôi cá lồng bè [9] cùng với nước thải từ nhà máy, xí nghiệp và các hoạt động sinh hoạt của người dân dẫn đến sự giàu dinh dưỡng trong dòng chảy vào hồ gây ra hiện tượng phú dưỡng [10]. Nên việc theo dõi và đánh giá chất lượng nước tại hồ Trị An là nhiệm vụ quan trọng, để xác định mức độ ô nhiễm giúp kiểm soát chất lượng nước tại đây mang lại hiệu quả hơn.

Từ các nghiên cứu trên cho thấy việc sử dụng ảnh viễn thám và mô hình hồi quy được ứng dụng phổ biến rộng rãi trong các lĩnh vực môi trường khác nhau. Do đó, đề tài nghiên cứu nhằm thực hiện việc ước tính nồng độ NO_3^- của hồ Trị An bằng cách dùng ảnh viễn thám, xây dựng các phương trình hồi quy ước tính nồng độ NO_3^- và đánh giá mức độ chính xác của mô hình. Phương pháp nghiên cứu này không cần phải lấy nhiều mẫu quan trắc, mà sẽ áp dụng mô hình hồi quy để nội suy ra toàn bộ nồng độ của NO_3^- của hồ Trị An. Từ đó, tiến hành thành lập bản đồ ước tính nồng độ NO_3^- tại hồ Trị An bằng chồng lớp dữ liệu.



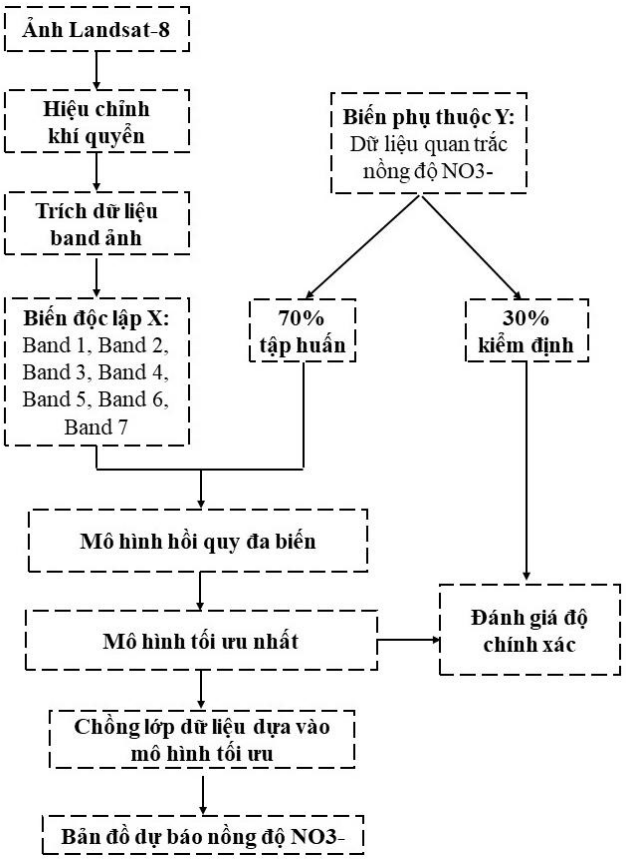
Hình 1. Vị trí địa lý của hồ Trị An.

Mục tiêu của nghiên cứu là ước tính nồng độ NO_3^- trong môi trường nước mặt tại hồ Trị An bằng cách sử dụng dữ liệu ảnh viễn thám trong giai đoạn 2021-2022. Từ đó, tiến hành thành lập bản đồ ước tính nồng độ NO_3^- tại hồ Trị An dựa vào phép chồng lớp dữ liệu. Qua đó, nghiên cứu nhằm phân tích, đánh giá vấn đề ô nhiễm môi trường nước tạo tiền đề cho các nghiên cứu tiếp theo có cơ sở dữ liệu làm nền tảng để đưa ra giải pháp bảo vệ môi trường.

2. Dữ liệu và phương pháp nghiên cứu

2.1. Tiến trình thực hiện

Tiến trình thực hiện của nghiên cứu được thể hiện thông qua các bước (Hình 2).



Hình 2. Tiến trình thực hiện nghiên cứu.

2.2. Dữ liệu

2.2.1. Dữ liệu viễn thám

Dữ liệu ảnh viễn thám sử dụng trong nghiên cứu tại hồ Trị An là ảnh vệ tinh Landsat-8 OLI được thu thập gần với ngày quan trắc tại nguồn dữ liệu của Cục Địa chất Hoa Kỳ USGS (https://earthexplorer.usgs.gov).

Dữ liệu được thu thập ở năm

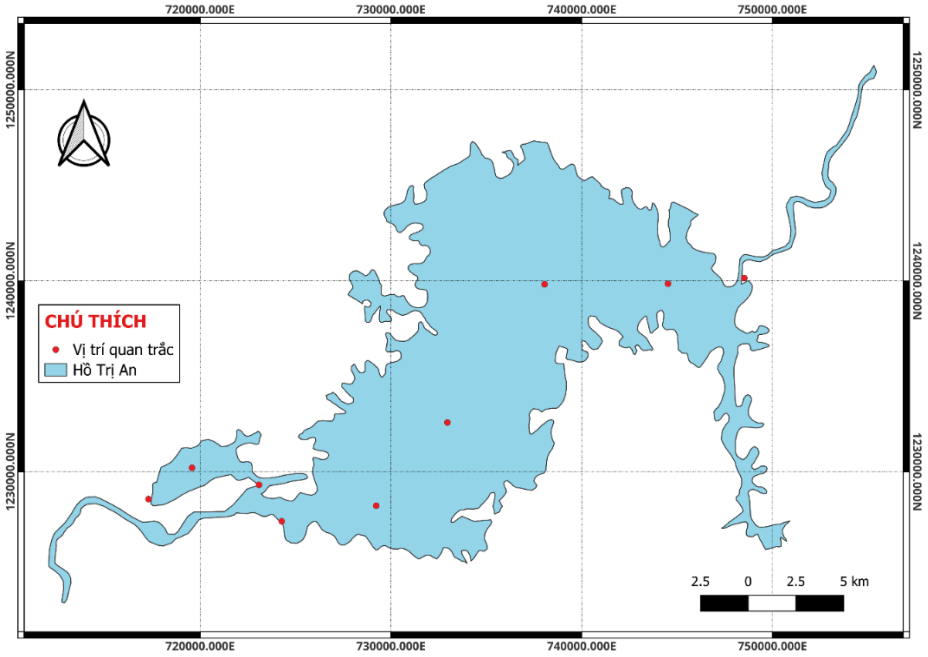
2021, 2022 với loại ảnh vệ tinh Landsat 8. Ảnh sử dụng bộ cảm biến OLI_TIRS với vị trí ảnh cố định tại p124, r52 và độ che phủ mây là 30%. Thông tin ảnh vệ tinh thu thập được trình bày cụ thể trong Bảng 1.

Bảng 1. Thông tin ảnh vệ tinh đã thu thập.

STT	Ngày chụp	Thời gian chụp	Kí hiệu ảnh
1	06/03/2021	03:07:20	LC08_L1TP_124052_20210306_20210312_02_T1
2	07/04/2021	03:07:08	LC08_L1TP_124052_20210407_20210415_02_T1
3	01/11/2021	03:07:49	LC08_L1TP_124052_20211101_20211109_02_T1
4	11/12/2021	03:07:44	LC09_L1TP_124052_20211211_20230505_02_T1
5	21/02/2022	03:07:25	LC08_L1TP_124052_20220221_20220302_02_T1
6	18/04/2022	03:07:12	LC09_L1TP_124052_20220418_20230421_02_T1
7	13/06/2022	03:07:33	LC08_L1TP_124052_20220613_20220617_02_T1
8	24/08/2022	03:07:37	LC09_L1TP_124052_20220824_20230401_02_T1

2.2.2. Dữ liệu đo đạc nồng độ NO_3^-

Nghiên cứu thu thập dữ liệu quan trắc chất lượng nước mặt tại hồ Trị An giai đoạn 2021-2022. Dữ liệu đo đạc nồng độ NO_3^- trong bài nghiên cứu này được cung cấp từ Trung tâm Quan trắc và Kỹ thuật môi trường tỉnh Đồng Nai với 9 điểm quan trắc như Hình 3 và Bảng 2. Tổng số dữ liệu mẫu quan trắc là 72 mẫu tương ứng với 8 ảnh Landsat nội suy tại 9 điểm quan trắc được sử dụng trong nghiên cứu.



Hình 3. Bản đồ các điểm quan trắc tại hồ Trị An.

Bảng 2. Vị trí các mẫu quan trắc.

STT	Kí hiệu	Tọa độ X	Tọa độ Y	Ngày lấy mẫu	Mô tả nơi lấy mẫu
1	TA-01	106.989421	11.107255	05/03/2021 19/04/2021 01/10/2021 07/12/2021 17/02/2022 20/04/2022 21/06/2022 10/08/2022	Gần cửa đập xã Hiếu Liêm, H. Vĩnh Cửu
2	TA-02	107.010392	11.121944		Gần hồ nhỏ, H. Vĩnh Cửu
3	TA-03	107.042461	11.113659		Gần Chiến khu D, H. Vĩnh Cửu
4	TA-04	107.098607	11.103389		Bờ phía thị trấn Vĩnh An gần đảo Ó, H. Vĩnh Cửu
5	TA-05	107.133071	11.142562		Xã Phú Cường, H. Định Quán
6	TA-06	107.239413	11.207459		Xã La Ngà (xóm bến cá), H. Định Quán
7	TA-07	107.276011	11.20986		Cửa sông Đồng Nai, xã Thanh Sơn, H. Định Quán
8	TA-10	107.053258	11.096326		Nhà máy nước Vĩnh An, H. Vĩnh Cửu
9	TA-11	107.180193	11.207641		Giữa hồ lớn, H. Vĩnh Cửu

2.3. Phương pháp nghiên cứu

2.3.1. Phương pháp hiệu chỉnh khí quyển

Trong bài nghiên cứu, tác giả thực hiện hiệu chỉnh khí quyển bằng lệnh Preprocessing với dữ liệu ảnh vệ tinh Landsat-8 và file MTL từ công cụ Semi-Automatic Classification Plugin của phần mềm QGIS.

Việc hiệu chỉnh bằng phép đo phóng xạ được thực hiện bằng cách chuyển đổi các giá trị số (DN) của dữ liệu Landsat-8 OLI đến các giá trị phản xạ của đỉnh khí quyển (TOA) sử dụng hệ số phản xạ thay đổi tỷ lệ được đưa ra trong medata Landsat-8 OLI (MTL) dưới dạng phương trình sau [11]:

$$P\lambda' = M\rho \times Q_{cal} + A\rho \quad (1)$$

Trong đó ρλ' là hệ số phản xạ TOA (không bao gồm hiệu chỉnh cho góc mặt trời); Mρ là hệ số tỷ lệ nhân cho một dải quang phổ cụ thể từ tệp MTL (giá trị Reflectancre_Mult_Band_X được cung cấp từ file metadata); Aρ là hệ số tỷ lệ cộng cho một dải quang phổ cụ thể từ tệp MTL (giá trị Reflectance_Add_Band_N được cung cấp từ file metadata); Q_{cal} là giá trị số trên ảnh (Digital Number).

Trong trường hợp gồm hiệu chỉnh góc mặt trời, hệ số phản xạ TOA được tính như sau [11]:

$$\rho\lambda = \rho\lambda'/\cos(\theta sz) = \rho\lambda'/\sin(\theta se) \quad (2)$$

Trong đó ρλ là hệ số phản xạ TOA; θ_{se} là góc độ cao mặt trời cục bộ; $\theta_{sz} = 90°$; θ_{se} là góc thiên đỉnh.

2.3.2. Phương pháp mô hình hóa

Dựa theo nghiên cứu trước đó của tác giả Trần Quang Trà và cộng sự [12], để xây dựng phương trình hồi quy đa biến, tác giả thực hiện tính toán hệ số tương quan giữa giá trị quang phổ và nồng độ NO_3^- đo được (giá trị quang phổ nằm trong khoảng 0 và 1). Sau khi tính toán giá trị quang phổ, nồng độ NO_3^- được ước tính dựa trên mối quan hệ thống kê với giá trị quang phổ của các dải quang phổ lấy từ 7 kênh ảnh của Landsat-8 OLI và sử dụng phương trình hồi quy đa biến với 5 loại như sau:

$$y = a_i x_i + b \quad [13] \quad (3)$$

$$y = a_i x_i^2 + b_i x_i + c \quad [14] \quad (4)$$

$$y = a_i \ln(x_i) + b \quad [15] \quad (5)$$

$$y = a e^{b_i x_i} \quad [16] \quad (6)$$

$$y = a x_i^{b_i} \quad [16] \quad (7)$$

Trong đó y là nồng độ của NO_3^-; x_i là giá trị quang phổ của các kênh ảnh; a,b,c là các hệ số hồi quy.

Kết quả của các phương trình hồi quy được đánh giá bằng cách đối chiếu nồng độ NO_3^- quan trắc được và dự đoán từ mô hình. Phương trình tốt nhất được chọn dựa trên giá trị R^2 lớn nhất và sai số RMSE nhỏ nhất.

Trước khi thiết lập mô hình hồi quy cần chia dữ liệu quan trắc NO_3^- thành 2 phần như sau:

- 70% mẫu quan trắc (57 mẫu) được sử dụng trong xây dựng tính toán mô hình hồi quy tuyến tính.
- 30% mẫu quan trắc (15 mẫu) được dùng trong quá trình kiểm định mô hình so với giá trị thực đo tại vị trí quan trắc.

2.3.3. Phương pháp phân tích thống kê

a) Tính toán hệ số tương quan R^2

Giá trị trung bình, hệ số xác định (R^2) được sử dụng để đánh giá độ tin cậy của các thuật toán nội suy [17]. Công thức tính R^2 được thể hiện trong công thức 8.

$$R^2 = \left[\frac{\sum_{i=1}^{n}\left(x_i - \overline{x_i}\right)\left(y_i - \overline{y_i}\right)}{\sqrt{\sum_{i=1}^{n}\left(x_i - \overline{x_i}\right)^2}\sqrt{\sum_{i=1}^{n}\left(y_i - \overline{y_i}\right)^2}} \right]^2 \quad (8)$$

Trong đó x_i là giá trị nồng độ thực đo; $\overline{x_i}$ là giá trị nồng độ thực đo trung bình; y_i là giá trị nồng độ dự đoán; $\overline{y_i}$ là giá trị nồng độ dự đoán trung bình; n là số lượng giá trị tính toán.

b) Đánh giá độ chính xác mô hình

Nghiên cứu sử dụng sai số bình phương trung bình bình quân (RMSE). Chỉ số RMSE là đại lượng cơ bản và được sử dụng phổ biến cho việc đánh giá kết quả của mô hình. Công thức tính RMSE được thể hiện ở công thức 9:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\left(x_i - y_i\right)^2} \quad (9)$$

Trong đó x_i là giá trị thực đo; y_i là giá trị dự đoán; n là số lượng giá trị tính toán.

Sau khi lựa chọn phương trình hồi quy tuyến tính phù hợp, sẽ tiến hành kiểm tra độ chính xác của mô hình bằng 30% dữ liệu còn lại đã phân chia từ phần mềm SPSS. Thực hiện tính chỉ số RMSE của mô hình từ 30% số mẫu còn lại.

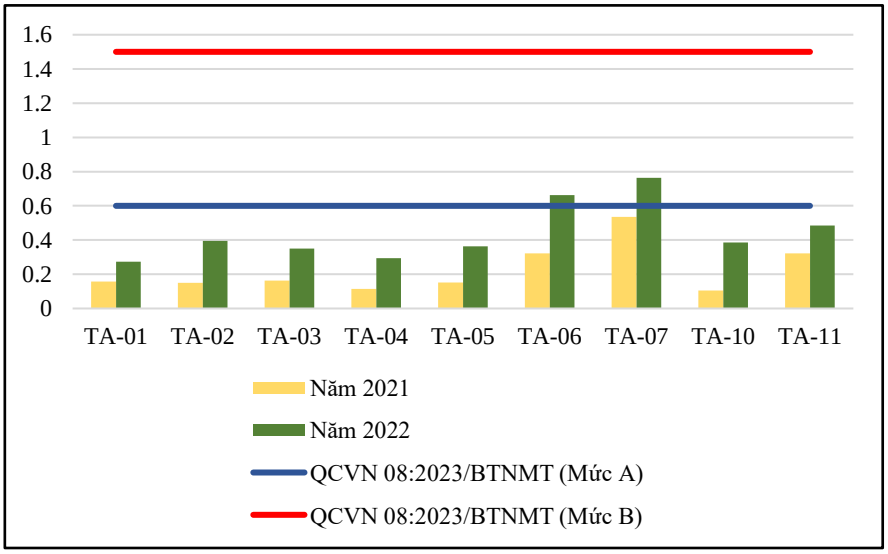
2.3.4. Phương pháp chồng lớp dữ liệu

Sau khi chọn lựa được mô hình hồi quy phù hợp từ 5 phương trình hồi quy, tác giả tiến hành chồng lớp dữ liệu các band ảnh bằng cách tính giá trị trung bình của từng band và tính theo phương trình hồi quy được chọn, dùng công cụ Raster Calculator để gộp các raster trong phần mềm QGIS.

3. Kết quả và thảo luận

3.1. Đánh giá nồng độ NO_3^- quan trắc tại hồ Trị An giai đoạn 2021-2022

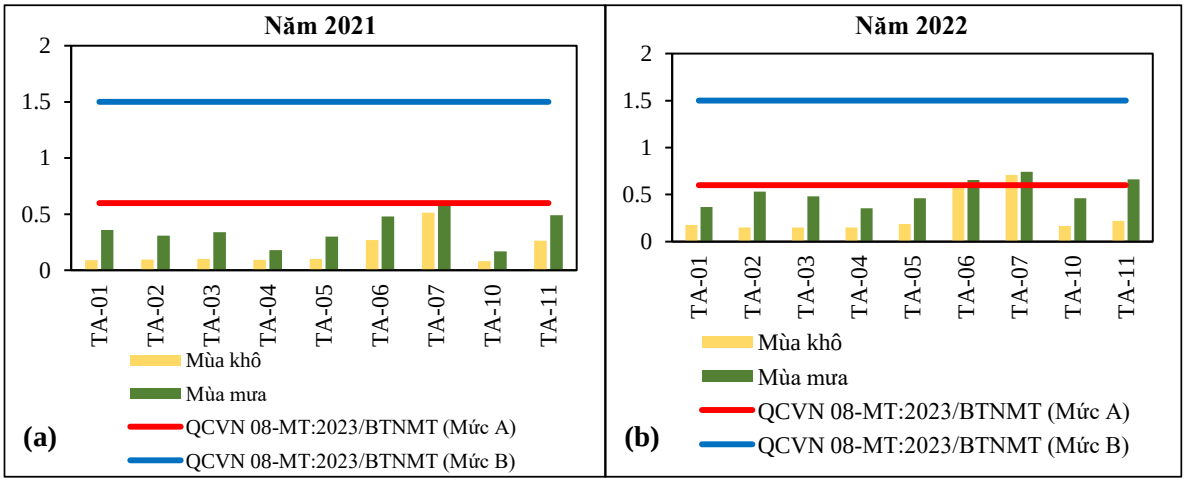
Việc đánh giá nồng độ NO_3^- tại hồ Trị An giai đoạn 2021-2022 dựa trên kết quả quan trắc nồng độ NO_3^- tại hồ Trị An được thu thập từ Trung tâm Quan trắc và Kỹ thuật môi trường tỉnh Đồng Nai được thể hiện qua Hình 4.



Hình 4. Diễn biến nồng độ NO_3^- tại hồ Trị An giai đoạn 2021-2022.

Qua kết quả quan trắc nồng độ NO_3^- giai đoạn 2021-2022 được mô tả ở Hình 4, nồng độ NO_3^- quan trắc trung bình dao động từ 0,105-0,763 (mg/L). Nhìn chung, nồng độ NO_3^- tại 9 điểm quan trắc ở giai đoạn 2021-2022 không vượt mức cho phép theo QCVN 08-

MT:2023/BTNMT (Bảng 3, Mức B) về chất lượng nước mặt và phù hợp cho mục đích sản xuất công nghiệp, nông nghiệp khi áp dụng biện pháp xử lý. Tuy nhiên, tại vị trí TA-06 vượt gấp 1,105 lần, vị trí TA-07 vượt gấp 1,272 lần so với QCVN 08-MT:2023/BTNMT (Bảng 3, Mức A) vào năm 2022 và không phù hợp cho mục đích cấp nước sinh hoạt, bơi lội, vui chơi dưới nước khi có biện pháp xử lý. Diễn biến nồng độ NO_3^- có xu hướng tăng dần, mang chất lượng ổn định.



Hình 5. Diễn biến nồng độ NO_3^- tại hồ Trị An: (a) Năm 2021, (b) Năm 2022.

Hình 5a cho thấy nồng độ trung bình NO_3^- quan trắc vào mùa mưa cao hơn so với mùa khô và có xu hướng tăng dần. Mùa mưa nồng độ dao động từ 0,18-0,6 (mg/L), nồng độ vào mùa khô dao động từ 0,09-0,513 (mg/L) đều nằm trong giới hạn cho phép của QCVN 08-MT:2023/BTNMT (Bảng 3, Mức A và B). Hình 5b cho thấy nồng độ trung bình NO_3^- quan trắc vào mùa mưa cao hơn so với mùa khô và có xu hướng tăng dần. Mùa mưa Nồng độ vào dao động từ 0,353-0,743 (mg/L) nằm trong QCVN 08-MT:2023/BTNMT (Bảng 3, Mức B) nhưng tại vị trí TA-06 vượt gấp 1,095 lần, TA-07 vượt gấp 1,238 lần, TA-11 vượt gấp 1,105 lần so với QCVN 08-MT:2023/BTNMT (Bảng 3, Mức A).

Giai đoạn 2021-2022, nồng độ trung bình NO_3^- quan trắc vào mùa mưa có xu hướng cao hơn so với mùa khô và nồng độ phát sinh tăng dần theo từng năm. Hàm lượng NO_3^- tập trung cao tại vị trí thượng nguồn nơi tiếp nhận nguồn nước của hồ chứa từ sông Đồng Nai và sông La Ngà, có xu hướng giảm dần về hạ nguồn nơi có đập Trị An. Vào mùa mưa, dòng chảy ngầm có khả năng làm di chuyển mạnh cũng như khả năng phân tán nguồn thải do các dòng chảy mặt càng làm tăng nguy cơ phân bố rộng của nồng độ NO_3^- trong nước mặt [18].

Nguyên nhân chênh lệch nồng độ NO_3^- do các nguồn thải vào hồ Trị An phần lớn từ hoạt động của con người: sinh hoạt, nhiều nhà máy và cơ sở sản xuất, nuôi trồng thủy sản … và nguồn thải trong tự nhiên: sự phân hủy thảm thực vật. Nguồn thải tác động lớn nhất là do hoạt động nuôi cá bè ở Trị An có ảnh hưởng quan trọng đến chất lượng nước hồ [9].

3.2. Lựa chọn mô hình phù hợp

Sau khi tiến hành tính toán và phân tích hệ số tương quan giữa biến độc lập và biến phụ thuộc, tác giả tiến hành sử dụng 70% mẫu dữ liệu để xây dựng mô hình hồi quy dựa trên 5 phương trình ở Bảng 3.

Kết quả phân tích tương quan cho thấy 7 biến độc lập và 1 biến phụ thuộc có mối liên hệ tuyến tính với nhau, đều hợp lệ để tiếp tục thực hiện phân tích mô hình hồi quy.

Với mục đích phân tích mối quan hệ giữa 7 biến độc lập (Band 1, Band 2, Band 3, Band 4, Band 5, Band 6, Band 7) và 1 biến phụ thuộc (NO_3^-) nhằm đánh giá mức độ tác động của 8 loại biến này. Kết quả của mô hình hồi quy được tính toán thể hiện cụ thể ở Bảng 4 và bảng 5.

Bảng 4. Kết quả phân tích mô hình hồi quy đa biến theo công thức (3), (4), (5).

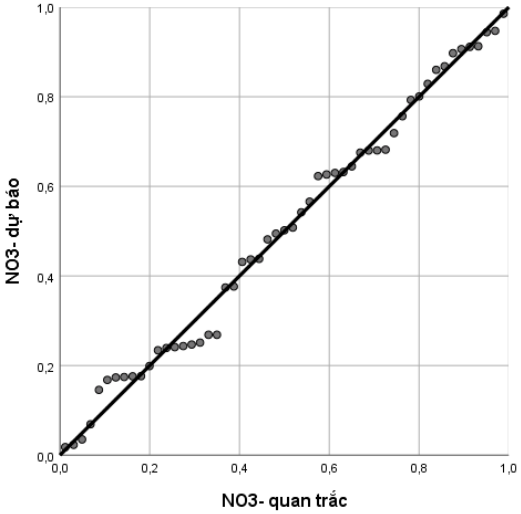
Phương trình		$y = a_i x_i + b$		$y = a_i x_i^2 + b_i x_i + c$			$y = a_i \ln(x_i) + b$	
		a	b	a	b	c	a	b
Hệ số	Band1	-16,232*		-39,139*	93,334		-2,274*	
	Band2	17,599*		46,616**	-120,783*		2,589*	
	Band3	12,377***		40,109***	101,018**		-3,511***	
	Band4	11,119**	0,715	36,158***	-96,349**	1,105	2,862***	-0,164
	Band5	-1,370		-8,647*	24,835		-0,371	
	Band6	13,585		4,899	89,811		0,687	
	Band7	-18,468		-6,856	-139,200		-0,675	
R^2		0,5		0,7			0,6	
RMSE		0,671		0,321			0,159	

Bảng 5. Kết quả phân tích mô hình hồi quy đa biến theo công thức (6), (7).

Phương trình		$y = ae^{bix_i}$		$y = ax_i^{bi}$	
		b	a	b	a
Hệ số	Band1	-38,879**		-4,222*	
	Band2	42,897**		4,756*	
	Band3	-20,742**		-4,560**	
	Band4	17,312**	-0,159	3,680***	-0,578
	Band5	-1,767		-	
	Band6	16,184		-	
	Band7	-21,521		-	
R^2		0,5		0,6	
RMSE		0,757		0,026	

* đạt ý nghĩa 95%; ** đạt ý nghĩa 90%; *** đạt ý nghĩa 99%

Từ kết quả ở Bảng 4 và 5, phương trình $y = ax_i^b$ có hệ số tương quan $R^2 = 0,6$ và chỉ số RMSE = 0,026. Trong 5 mô hình hồi quy đa biến, mô hình hồi quy đa biến của phương trình $y = ax_i^b$ có R^2 đạt 0,6 và chỉ số RMSE nhỏ nhất thỏa mãn điều kiện của một mô hình hồi quy đạt tiêu chuẩn với hệ số sig < 0,05 và hệ số tương quan $R^2 \geq 0,5$. Vì vậy, mô hình hồi quy phương trình $y = ax_i^b$ là mô hình phù hợp cho việc thực hiện xây dựng bản đồ ước tính nồng độ NO_3^- tại hồ Trị An.



Hình 6. Đồ thị hồi quy thông thường giữa NO_3^- quan trắc và NO_3^- nội suy bằng mô hình.

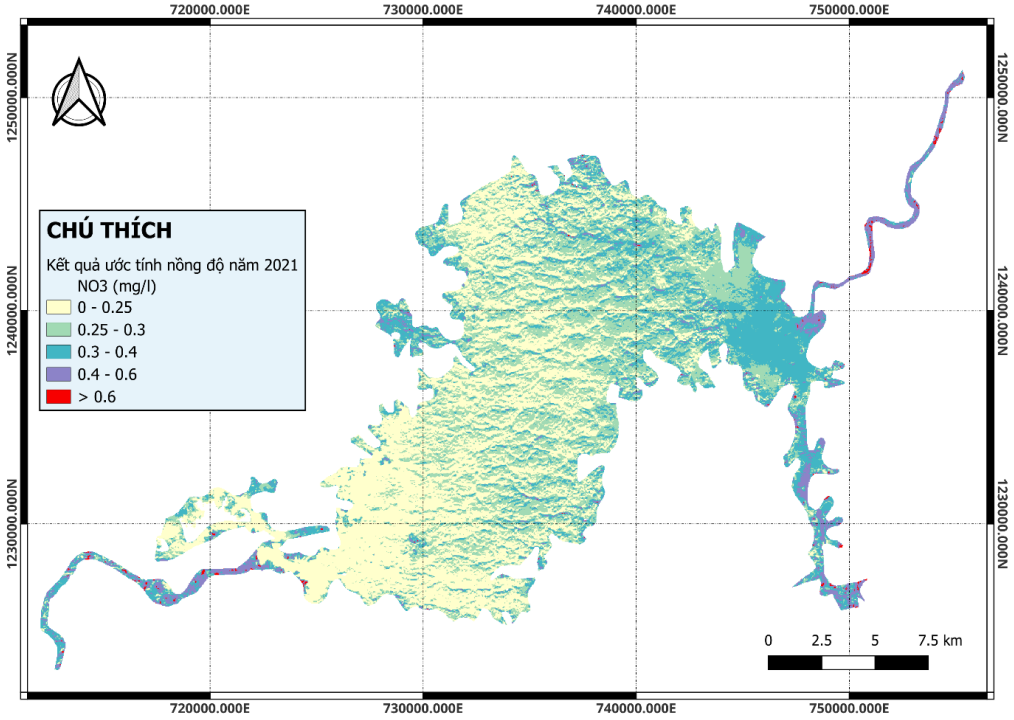
Qua hình 6, mô phỏng các điểm dữ liệu kiểm định tập trung phân bố xung quanh đường chéo và có sự sai lệch ít ra khỏi đường chéo. Nghiên cứu cho thấy mô hình hồi quy được xác định tốt.

Sau khi thực hiện kiểm tra và thu được mô hình hồi quy phù hợp, phương trình hồi quy đa biến đã chọn chuẩn hóa được viết lại như sau:

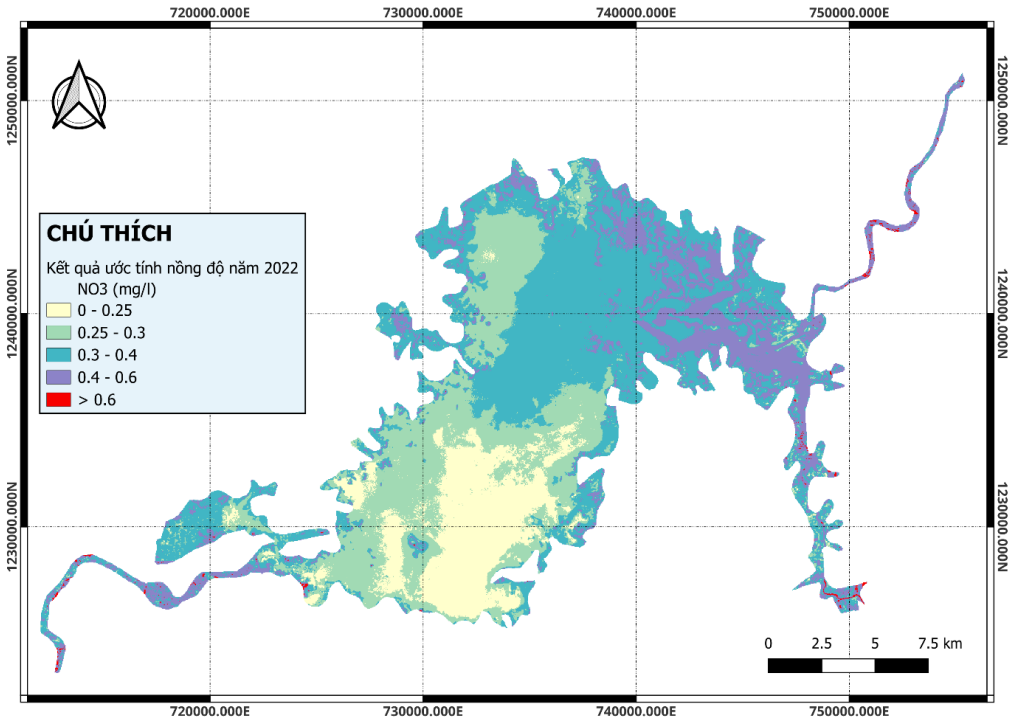
$$y = 0{,}264 \text{ x Band } 1^{-4{,}222} \times \text{Band } 2^{4{,}756} \times \text{Band } 3^{-4{,}56} \times \text{Band } 4^{3{,}68} \quad (10)$$

3.3. Bản đồ phân vùng nồng độ NO_3^- tại hồ Trị An

Sau khi xây dựng và lựa chọn, tính toán phương trình hồi quy phù hợp, tiếp đến sử dụng công cụ Raster Calculator thực hiện chồng lớp dữ liệu từ phương trình hồi quy chuẩn hóa để thành lập bản đồ ước tính nồng độ NO_3^- tại hồ Trị An giai đoạn 2021-2022. Hình 7 và hình 8 thể hiện kết quả nồng độ NO_3^- tại hồ Trị An.



Hình 7. Bản đồ nồng độ NO_3^- tại hồ Trị An, tỉnh Đồng Nai năm 2021.



Hình 8. Bản đồ nồng độ NO_3^- tại hồ Trị An, tỉnh Đồng Nai năm 2022.

Qua kết quả chồng lớp nồng độ NO_3^- cho thấy, nồng độ nội suy NO_3^- ở năm 2021 dao động từ 0,063-1,0 (mg/L), ở năm 2022 dao động từ 0,226-0,825 (mg/L). Theo kết quả phân tích, hàm lượng NO_3^- nội suy đều thấp hơn QCVN 08-MT:2023/BTNMT (Bảng 3, Mức B) về chất lượng nước mặt, hàm lượng NO_3^- nội suy đạt nồng độ cao ở thượng nguồn (nơi tiếp nhận nguồn nước lớn từ quá trình sinh hoạt của con người và hoạt động sản xuất từ sông Đồng Nai và sông La Ngà tại huyện Vĩnh Cửu và huyện Định Quán) và giảm dần tại hạ nguồn (đập Trị An). Ở các nghiên cứu trước đó, các yếu tố như: tốc độ gió, vận tốc dòng chảy, lưu lượng và tốc độ lắng đọng trầm tích cũng ảnh hưởng đến nồng độ chất lượng nước [19, 20]. Nhìn chung, nồng độ NO_3^- chỉ tập trung cao tại vị trí tiếp nhận nguồn nước của hồ chứa từ sông Đồng Nai và sông La Ngà.

4. Kết luận

Nghiên cứu thực hiện ước tính nồng độ NO_3^- trong nước mặt tại hồ Trị An bằng cách kết hợp việc sử dụng dữ liệu ảnh viễn thám và dữ liệu quan trắc NO_3^-, phân tích mô hình hồi quy đa biến và lựa chọn phương trình phù hợp để xây dựng bản đồ phân vùng nồng độ NO_3^- nội suy tại hồ Trị An. Kết quả cho thấy, giữa dữ liệu quan trắc và dữ liệu nội suy nồng số NO_3^- có hệ số $R^2 = 0,6$ và chỉ số RMSE = 0,026, mô hình phản ánh tương đối hàm lượng NO_3^- tại hồ Trị An. Hàm lượng NO_3^- nội suy tập trung cao tại vị trí thượng nguồn nơi tiếp nhận nguồn nước của hồ từ sông Đồng Nai và sông La Ngà, có chiều hướng giảm dần về hạ nguồn nơi đập Trị An). Tuy nhiên, mô hình có hệ số tương quan R^2 chưa cao do việc sử dụng ảnh viễn thám Landsat 8 chỉ gần ngày quan trắc nên làm giảm tính độ chính xác của mô hình. Trong những nghiên cứu tiếp theo sẽ xem xét sử dụng những nguồn ảnh khác có chu kỳ nhỏ hơn như Sentinel-2 hay Modis.

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

Lời cảm ơn: Chúng tôi xin gửi lời cảm ơn đến đơn vị Trung tâm Quan trắc và Kỹ thuật môi trường tỉnh Đồng Nai đã hỗ trợ cung cấp dữ liệu quan trắc về thông số chất lượng nước mặt.

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. Loaiza, J.G.; Rangel-Peraza, J.G.; Monjardín-Armenta, S.A.; Bustos-Terrones, Y.A.; Bandala, E.R.; Sanhouse-García, A.J.; Rentería-Guevara, S.A. Surface water quality assessment through remote sensing based on the box–cox transformation and linear regression. *Water* **2023**, *15(14)*, 2606. https://doi.org/10.3390/w15142606.
2. He, Y.; Jin, S.; Shang, W. Water quality variability and related factors along the Yangtze River using Landsat-8. *Remote Sens.* **2021**, *13(12)*, 2241. https://doi.org/10.3390/rs13122241.
3. Zhang, H.; Xue, B.; Wang, G.; Zhang, X.; Zhang, Q. Deep learning-based water quality retrieval in an impounded lake using Landsat 8 imagery: An application in Dongping Lake. *Remote Sens.* **2022**, *14(18)*, 4505. https://doi.org/10.3390/rs14184505.
4. Linh, V.T.P.; Hoàng, L.V.; Thành, V.Q. Khả năng ứng dụng ảnh viễn thám Landsat ước lượng nồng độ phù sa lơ lửng trên sông Tiền và sông Hậu, Đồng bằng sông Cửu Long. *Tạp chí Khoa học Đại học cần Thơ* **2019**, *55(2)*, 134–144. https://doi.org/10.22144/ctu.jsi.2019.140.

5. Trang, D.H.; Khắc, Đ.V.; Anh, N.K.; Hải, P.T. Quan điểm của ứng dụng mô hình hồi quy tuyến tính trong nghiên cứu phân bố nồng độ bụi PM_{10} trên địa bàn các quận nội thành Hà Nội. *HNUE J. SCI.* **2020**, *65(3)*, 146–157.
6. Hùng, N.T.; Luân, N.T.; Cương, V.Đ.; Thanh, Đ.H.; Long, V.H.; Giang, N.V. Nghiên cứu ứng dụng ảnh viễn thám xác định nồng độ bùn cát lơ lửng vùng cửa Hới sông Mã. *Tạp chí Khoa học và Công nghệ Thủy lợi* **2017**, *37*, 1–13.
7. Sở Tài nguyên và Môi trường tỉnh Đồng Nai. Báo cáo Tổng hợp nhiệm vụ quan trắc nước mặt trên địa bàn tỉnh Đồng Nai năm 2029, 2019.
8. Tuan, H.A.; Hien, L.T.D.; Tat, P.V. GIS Application to zone surface water quality according to WQI – The case of Tri An reservoice, Vietnam. *Int. J. Environ. Eng.* **2016**, *3(1)*, 53–59.
9. Tám, T.X.; Trung, N.M.; Ngọc, L.T. Nghiên cứu thành phần loài cá ở hồ Trị An, tỉnh Đồng Nai. *Tạp chí Khoa học - Trường Đại học Sư phạm TP Hồ Chí Minh* **2017**, *14(12)*, 80–90.
10. Yến, T.T.H.; Lượm, L.T.; Lưu, P.T. Đánh giá hiện trạng phú dưỡng và yếu tố môi trường chi phối quần xã tảo lục ở hồ Trị An. *Tạp chí Khoa học Nông nghiệp Việt Nam* **2019**, *17(8)*, 645–664.
11. Ihlen, V.; Zanter, K. Landsat 8 data users handbook. U.S. Geological Survey. 2019. Available online: https://www.usgs.gov/landsat-missions/landsat-8-data-users-handbook.
12. Tra, T.Q.; Than, N.H. Estimation of nutrient concentrations in the Tri An reservoir, Dong Nai province using LANDSAT 8 OLI. *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.* **2023**, *1170(1)*, 012026. https://doi.org/10.1088/1755-1315/1170/1/012026.
13. Chen, J.; Quan, W. Using Landsat/TM imagery to estimate nitrogen and phosphorus concentration in Taihu Lake, China. *IEEE J. Sel. Top. Appl. Earth Obs.* **2012**, *5*, 273–280. https://doi.org/10.1109/JSTARS.2011.2174339.
14. Thao, N.V.; Vinh, V.D.; Huong, D.T.T.; Gouramanis, C. Remote sensing data analysis with validation by numerical model for detecting suspended particulate matter concentration in coastal waters of the Red river delta, Vietnam. *VN J. Mar. Sci. Technol.* **2018**, *18(3)*, 256–268. https://doi.org/10.15625/1859-3097/18/3/12620
15. Thao, N.V.; Vinh, V.D.; Ve, N.D.; Canh, P.X. Algorithm development of satellite image processing to detect the concentration of suspended particulate matter in coastal waters of Red river delta. *VN J. Mar. Sci. Technol.* **2016**, *16(2)*, 129–135. https://doi.org/10.15625/1859-3097/16/2/8446.
16. Zhu, X.; Wen, Y.; Li, X.; Yan, F.; Zhao, S. Remote sensing inversion of typical water quality parameters of a complex river network: A case study of Qidong's rivers. *Sustainability* **2023**, *15(8)*, 6948. https://doi.org/10.3390/su15086948.
17. Krause, P.; Boyle, D.; Bäse, F. Comparison of different efficiency criteria for hydrologic models. *Adv. Geosci.* **2005**, *5*, 89–97. https://doi.org/10.5194/adgeo-5-89-2005.
18. Vinh, D.C.; Lam, T.H. Level of nitrate on shallow groundwater in Pleiku city, Gia Lai. *Tạp Chí Khoa Học và Công Nghệ - Đại Học Đà Nẵng* **2018**, 116–118.
19. Nguyen, H.; Thao, N.; Koike, K.; Nhuan, M. Selecting the Best Band Ratio to Estimate Chlorophyll-a Concentration in a Tropical Freshwater Lake Using Sentinel 2A Images from a Case Study of Lake Ba Be (Northern Vietnam). *ISPRS Int. J. Geo-Inf.* **2017**, *6*, 290. https://doi.org/10.3390/ijgi6090290.
20. Pahlevan, N.; Kumar, C.S.; Balasubramanian, S.V.; Vellucci, V. Sentinel-2/Landsat-8 product consistency and implications for monitoring aquatic systems. *Remote Sens. Environ.* **2018**, *220*, 19–29. https://doi.org/10.1016/j.rse.2018.10.02.

Using remote sensing to estimate NO_3^- concentration of Tri An reservoir, Dong Nai provine

Ngoc Tram Anh Tran[1], Trong Dieu Hien Le[2]*

[1] Faculty of Resources & Environment, University of Thu Dau Mot, 06 Tran Van On street, Thu Dau Mot City, Binh Duong, Viet Nam; 2028501010061@student.tdmu.edu; ngoctramanh.tran02@gmail.com

[2] Faculty of Resources & Environment, University of Thu Dau Mot, 06 Tran Van On street, Thu Dau Mot City, Binh Duong, Viet Nam; hienltd@tdmu.edu.vn

Abstract: Tri An Reservoir is one of the reservoirs that plays an essential role in water supply and water regulation in the southern provinces of Vietnam. The reservoir is at risk of surface water pollution due to activities such as people's daily routines, industrial parks, and aquaculture. Monitoring and evaluating water quality at Tri An Reservoir is crucial to determining pollution levels and implementing effective water quality control measures. Remote sensing data can collect general information about the entire lake, creating continuous analytical data and enabling more efficient monitoring of detailed changes in surface water quality. In this study, we focused on three main aims, including (1) Analysis of NO_3^- concentration at Tri An Reservoir, Dong Nai province in the period 2021-2022; (2) Suitable model selection to estimate NO_3^- concentration through different parameters and statistical indices from remote sensing data based on the linear regression model; (3) Assessment of the water pollution level in the reservoir in the study area. The results indicate that the predicted NO_3^- concentration, with an R^2 coefficient of over 0.6, aligns well with the observed data. The study highlights the potential of remote sensing data sources in comprehensively assessing the spatial distribution of surface water quality in rivers, streams, lakes, and ponds. It also aids in forecasting potential changes in water quality concentrations in the future, thereby addressing the challenges associated with the lack of data in water environment monitoring.

Keywords: Remote sensing; NO_3^- concentration; Tri An reservoir; Regression model.

TẠP CHÍ
KHÍ TƯỢNG THỦY VĂN

Check for updates

Bài báo khoa học

Nghiên cứu quản lý chất lượng không khí bằng công cụ mô hình tại khu công nghiệp Phú Mỹ 2 và Phú Mỹ 2 mở rộng, tỉnh Bà Rịa - Vũng Tàu

Hồ Minh Dũng[1]*, Trương Công An[1,2], Nguyễn Thoại Tâm[1]

[1] Viện Môi trường và Tài nguyên, ĐHQG-HCM; H_minhdung@yahoo.com; anbqlkcn@gmail.com; thoaitam1986@gmail.com

[2] Ban Quản lý các khu công nghiệp Bà rịa – Vũng Tàu; anbqlkcn@gmail.com

*Tác giả liên hệ: H_minhdung@yahoo.com; Tel.: +84–903605245

Ban Biên tập nhận bài: 9/3/2024; Ngày phản biện xong: 12/4/2024; Ngày đăng bài: 25/7/2024

Tóm tắt: Khu công nghiệp (KCN) Phú Mỹ 2 và Phú Mỹ 2 mở rộng là một trong số các KCN quan trọng trong việc phát triển kinh tế - xã hội của tỉnh Bà Rịa - Vũng Tàu (BRVT). Hiện nay, công tác quản lý môi trường không khí tại KCN vẫn chưa đạt hiệu quả tốt. Nghiên cứu này thực hiện nhằm tính toán tải lượng khí thải và mô phỏng lan truyền ô nhiễm không khí từ đó đề xuất các giải pháp nhằm nâng cao hiệu quả công tác quản lý chất lượng không khí tại KCN. Kết quả nghiên cứu cho thấy: (i) LPG và CNG là 2 nhiên liệu sử dụng chính trong KCN, nhưng phát thải ô nhiễm chính từ quá trình đốt là do sử dụng các loại nhiên liệu khác như than đá, biomass, dầu FO,..; (ii) Kết quả mô phỏng lan truyền ô nhiễm không khí bằng mô hình AERMOD (kết hợp mô hình khí tượng TAPM) cho thấy, nồng độ CO và NO_2 trung bình 1 giờ cao nhất và 8 giờ hoặc 24 giờ cao nhất trong cả 2 mùa (khô và mưa) đều đạt QCVN 05:2013/BTNMT; nồng độ SO_2 và TSP trung bình 1 giờ cao nhất đều vượt QCVN 05:2013/BTNMT, cao gấp 1,6 lần và 3,6 lần đối với SO_2 và 4,6 lần và 15,4 lần đối với TSP; (iii) Qua kết quả mô phỏng và đánh giá tác động ô nhiễm không khí đến khu vực xung quanh, nghiên cứu đã đề xuất một số giải pháp nhằm nâng cao hiệu quả công tác quản lý và giảm phát thải khi thải ra môi trường không khí tại KCN Phú Mỹ 2 và Phú Mỹ 2 mở rộng.

Từ khóa: KCN Phú Mỹ 2 và Phú Mỹ 2 mở rộng; AERMOD; Chất lượng không khí.

1. Mở đầu

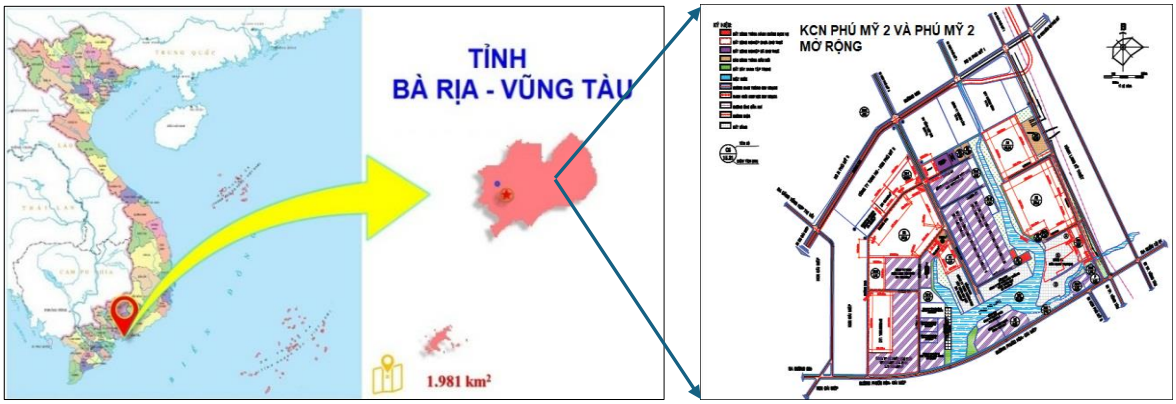
Hiện nay, ở Việt Nam có rất nhiều nhà máy, cơ sở sản xuất trong các khu công nghiệp (KCN) được xây dựng và đi vào hoạt động. Sự ra đời của KCN Phú Mỹ 2 và Phú Mỹ 2 mở rộng đã góp phần không nhỏ vào sự phát triển kinh tế - hạ tầng chung của tỉnh Bà Rịa - Vũng Tàu (BRVT). Đồng thời, đã giải quyết số lượng lớn nhu cầu công việc cho người lao động. Các ngành nghề thu hút vào KCN này tập trung chủ yếu là các ngành công nghiệp nặng như: cơ khí chế tạo, công nghiệp luyện kim, sản xuất vật liệu xây dựng, sản xuất phân bón,… Đây là các ngành nghề sản xuất có lượng chất thải phát sinh lớn và có khả năng gây ô nhiễm môi trường cao. Tuy nhiên, công tác bảo vệ môi trường (BVMT), đặc biệt là môi trường không khí tại một số nhà máy chưa được quan tâm đúng mức. Các thông tin về các nguồn phát thải khí ô nhiễm tại KCN này vẫn chưa được thống kê một cách đầy đủ, tiềm ẩn rủi ro tác động ô nhiễm không khí từ KCN đến khu vực xung quanh. Chính vì vậy, việc thực hiện nghiên cứu này là rất cần thiết. Các nghiên cứu về ô nhiễm không khí ở KCN tập trung chủ yếu vào quan trắc đánh giá hiện trạng và mô phỏng chất lượng không khí, cụ thể có một số nghiên cứu:

Nghiên cứu [1] đã sử dụng mô hình AERMOD để mô phỏng phát tán chất ô nhiễm từ hoạt động công nghiệp ở bang Odisha, Ấn Độ ; Tương tự, có nghiên cứu thực hiện ở Thổ Nhĩ Kỳ và ở Việt nam cũng sử dụng mô hình ARMOD [2, 3]; Nghiên cứu [4] đã phân tích mức độ phơi nhiễm của người dân với các chất ô nhiễm không khí từ 3 KCN ở miền Nam nước Ý, nghiên cứu sử dụng mô hình MOLOCH để mô phỏng các trường gió cho khu vực nghiên cứu; Nghiên cứu [5] đã tiến hành quan trắc nhằm đánh giá ảnh hưởng của hoạt động công nghiệp đến ô nhiễm không khí tại khu vực Al-Fatha, Al-Alam và Baiji ở Irắc; Nghiên cứu [6] áp dụng mô hình Gaussian puff được để mô phỏng sự phân tán của ô nhiễm không khí tại KCN hóa chất ở Thượng Hải, Trung Quốc; Nghiên cứu [7] thực hiện quan trắc các thông số khí tượng và không khí theo mùa để đánh giá ô nhiễm không khí từ hoạt động KCN ở phía Nam của Đài Loan đến khu vực xung quanh; Nghiên cứu [8] đã đánh giá diễn biến chất lượng môi trường tại khu vực nghiên cứu từ đó đưa ra các biện pháp quản lý chất lượng môi trường tại KCN Giao Long [7].

Nghiên cứu kiểm kê khí thải đối với nguồn công nghiệp là công đoạn không thể thiếu trong công tác quản lý chất lượng không khí ở các KCN. Có 3 phương pháp chính thường được sử dụng để tính toán phát thải nguồn công nghiệp là: Phương pháp quan trắc, phương pháp cân bằng vật chất và phương pháp sử dụng hệ số phát thải. Nhìn chung, phương pháp quan trắc khí thải tại nguồn được coi là phương pháp tốt nhất để phản ánh được thực tế thải lượng khí thải tuy nhiên chi phí thực hiện lại quá cao và tốn kém nhiều nhân lực. Với phương pháp cân bằng vật chất thì thường không mang tính chính xác cao. Phương pháp sử dụng hệ số phát thải để tính toán phát thải trong các KCN nhìn chung là phù hợp trong điều kiện hiện nay.

Mô hình chất lượng không khí là một trong những công cụ được sử dụng khá phổ biến hiện nay trong công tác quản lý chất lượng không khí. Công cụ này không những cho phép mô phỏng hiện trạng lan truyền ô nhiễm không khí mà còn có thể dự báo theo các kịch bản phát thải khác nhau của các nguồn thải. Có nhiều hệ mô hình có thể sử dụng để mô phỏng CLKK ở các qui mô khác nhau, trong đó phổ biến có thể kể đến: Hệ mô hình WRF/MM5-CMAQ [9–11], hệ mô hình FVM-TAPOM [12–14], hệ mô hình WRF-Chem, WRF-CAMx [15–18], hệ mô hình TAPM-AERMOD [19–22]. Ngoài ra, hệ mô hình này còn được sử dụng để mô phỏng chất lượng không khí trong một số nghiên cứu khác như ở KCN Tâm Thắng, tỉnh Đắk Nông [23], cảng Gò Dầu, Đồng Nai [24], hệ thống cảng ở TP.HCM [25],…. Từ các nghiên cứu ở trên, cho thấy mỗi loại mô hình có những ưu, nhược điểm riêng. Để phục vụ cho nghiên cứu này, nhóm tác giả lựa chọn mô hình khí tượng TAPM kết hợp với mô hình lan truyền chất lượng không khí AERMOD vì hệ mô hình TAPM-AERMOD dễ dàng tiếp cận, phù hợp với mô phỏng cho các nguồn khí thải công nghiệp và cho kết quả mô phỏng chính xác cao và khi thực hiện mô phỏng hệ mô hình không cần phải sử dụng bộ nhớ lưu trữ nhiều.

Mục tiêu của nghiên cứu này nhằm đánh giá mức độ tác động từ các hoạt động của KCN Phú Mỹ 2 và Phú Mỹ 2 mở rộng đến chất lượng môi trường không khí xung quanh KCN, từ đó đề xuất giải pháp giảm thiểu ô nhiễm.



Hình 1. Bản đồ vị trí và mặt bằng KCN Phú Mỹ 2 và KCN Phú Mỹ 2 mở rộng.

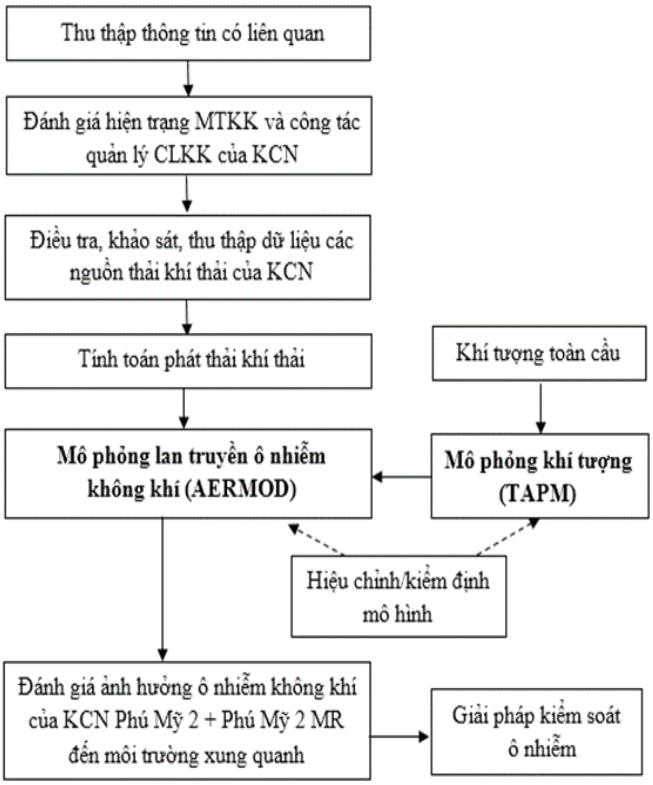
Đối tượng và phạm vi nghiên cứu: Phạm vi nghiên cứu là KCN Phú Mỹ 2 và KCN Phú Mỹ 2 mở rộng, phía Nam giáp KCN Cái Mép, phía Bắc giáp KCN Phú Mỹ 3, phía Đông giáp Quốc lộ 51 và phía Tây giáp KCN Phú Mỹ 1 (Hình 1). Nghiên cứu thực hiện trong năm 2022 cho các nguồn phát thải ô nhiễm không khí tại các nhà máy trong KCN với các chất ô nhiễm chính gồm TSP, PM_{10}, SO_2, NO_2 và CO.

Hiện trạng công tác quản lý môi trường không khí: Trong năm 2022, KCN Phú Mỹ 2 và Phú Mỹ 2 mở rộng đã có 14 nhà máy đầu tư và chính thức đi vào hoạt động ổn định. Do tập trung nhiều ngành nghề khác nhau, chủ yếu là các ngành công nghiệp nặng nên công tác quản lý môi trường không khí hiện nay tại KCN vẫn còn gặp nhiều khó khăn. Nhìn chung, các hệ thống xử lý khí thải (HTXLKT) tại các nhà máy trong KCN đều được lắp đặt đầy đủ theo đúng hồ sơ môi trường được cấp phép. Các công nghệ xử lý khí thải tại các nhà máy đáp ứng được tiêu chuẩn xử lý bụi và SO_2,… trong khí thải nếu được vận hành đúng quy định. Tuy nhiên, do đội ngũ vận hành HTXLKT tại các nhà máy vẫn chưa có chuyên môn và kinh nghiệm; việc bảo trì, bảo dưỡng định kỳ các HTXLKT vẫn chưa được thực hiện đầy đủ... điều đó có thể được xem là một trong các nguyên nhân dẫn đến công tác BVMT không khí tại các nhà máy trong KCN chưa đạt hiệu quả cao. Ngoài ra, dựa trên các kết quả báo cáo định kỳ thì chất lượng khí thải của các doanh nghiệp trong năm 2022 đều đạt QCVN 19:2009/BTNMT. Tuy nhiên, số liệu quan trắc định kỳ này chưa phản ánh được thực trạng, đây cũng là tình trạng phổ biến hiện nay trong công tác quản lý môi trường tại các doanh nghiệp. Do đó, để đánh giá thực tế các quá trình vận hành các HTXLKT tại các nhà máy cần phải có khảo sát thực tế tại từng doanh nghiệp. Ngoài ra, từ kết quả quan trắc chất lượng không khí xung quanh tại KCN Phú Mỹ 2 và Phú Mỹ 2 mở rộng thì các thông số quan trắc (TSP, PM_{10}, SO_2, NO_2, CO) đều đạt QCVN 05:2013/BTNMT (QCVN 05).

2. Dữ liệu và phương pháp nghiên cứu

2.1. Thu thập dữ liệu

Phương pháp này kế thừa kết quả nghiên cứu từ những nghiên cứu trước và các số liệu thu thập các văn bản, báo cáo từ các Sở, Ban, Ngành, Công ty IDICO làm nguồn dữ liệu đầu vào cho nghiên cứu [26]. Phương pháp thu thập dữ liệu được sử dụng để tổng hợp tất cả các dữ liệu thứ cấp nhằm phục vụ cho các quá trình phân tích thực trạng về môi trường, công tác quản lý môi trường tại KCN Phú Mỹ 2 và Phú Mỹ 2 mở rộng.



Hình 2. Sơ đồ nghiên cứu.

2.2. Điều tra, khảo sát thực địa

Phương pháp điều tra, khảo sát thực địa nhằm giúp tìm hiểu được tình hình thực tế, để biết được những bất cập khó khăn trong công tác quản lý môi trường không khí ở KCN Phú Mỹ 2 và Phú Mỹ 2 mở rộng. Ngoài ra, giúp thu thập được những thông tin, số liệu chính xác hơn ở doanh nghiệp trong KCN. Việc thu thập dữ liệu về phát thải khí thải tại KCN được thu thập thành 2 dạng phát thải từ quá trình sản xuất và từ các ống khói của các lò đốt.

2.3. Tính thải lượng phát thải

Phương pháp tính toán tải lượng phát thải là phương pháp dựa trên hệ số phát thải. Tải lượng phát thải của từng doanh nghiệp bao gồm 02 nguồn: nguồn điểm (từ sử dụng nhiên liệu đốt) và nguồn điện (từ quá trình sản xuất).

Phát thải từ đốt nhiên liệu: $E_i = AR_i \times EF_i \times (1\text{-}ER/100)$ (1)

Trong đó, E_i là tải lượng phát thải của nhiên liệu i (kg/năm); EF_i là hệ số phát thải của nhiên liệu i được sử dụng (kg/tấn); AR_i là lượng nhiên liệu i được sử dụng (tấn/năm); ER là hiệu suất của hệ thống xử lý ô nhiễm không khí (%).

Phát thải từ quá trình sản xuất: $E_i = AR_i \times EF_i$ (2)

Trong đó E_i là tải lượng phát thải của ngành công nghiệp i (kg/năm); EF_i là hệ số phát thải ngành công nghiệp i (kg/tấn); và AR_i là sản lượng sản xuất của ngành công nghiệp i (tấn/năm).

Các hệ số phát thải được sử dụng của AP42 và EMAP/EEA.

2.4. Thiết lập mô hình

- Mô hình TAPM (*The Air Pollution Model*): TAPM là một mô hình thuộc Tổ chức Nghiên cứu Công nghiệp và Khoa học của Úc (CSIRO). Mô hình này được dùng như một công cụ hỗ trợ khí tượng cho các mô hình lan truyền chất ô nhiễm không khí, đặc biệt là file khí tượng đầu vào cho mô hình AERMOD. Dữ liệu đầu vào của mô hình TAPM là các dữ liệu quan trắc khí tượng toàn cầu cho các khu vực khác nhau trên thế giới, bao gồm: dữ liệu lưới cao độ địa hình toàn cầu, dữ liệu thảm thực vật, các loại đất, nhiệt độ bề mặt nước biển, khí tượng qui mô toàn cầu, thông tin về khu vực cần mô phỏng (như tọa độ, vị trí, địa hình, nhiệt độ trung bình các năm, diện tích mặt đất và nước, loại đất, phần trăm thực vật...). Mô hình này được sử dụng ở nhiều nơi như Melbourne (Úc), Cabauw Tower (Hà Lan), và cả ở Việt Nam [27, 28]. Mô hình TAPM mô phỏng chi tiết hóa khí tượng bằng các ô lưới lồng vào nhau. Trong nghiên cứu này, số miền mô phỏng được chọn là 3 theo kích thước từ lớn đến bé. Kích thước miền tính ngoài cùng là 40×40 ô lưới, kích thước mỗi ô lưới là 20km × 20km; Miền tính thứ hai là 40×40 ô lưới, kích thước mỗi ô lưới là 10km × 10km; Miền tính cuối cùng là 40×40 ô lưới, kích thước mỗi ô lưới là 5km × 5km, bao trùm khu vực nghiên cứu.

- Mô hình AERMOD: dùng để mô phỏng lan truyền ô nhiễm không khí trong nghiên cứu này. Mô hình AERMOD là chữ viết tắt của cụm từ (*The AMS/EPA Regulatory Model*), được đặc biệt thiết kế để hỗ trợ cho chương trình quản lý của US-EPA. Mô hình gồm 3 thành phần: Mô đun phát thải AERMIC, mô đun địa hình AERMAP và mô đun khí tượng AERMET. Dữ liệu đầu vào của mô hình AERMOD bao gồm: Dữ liệu về nguồn thải (bao gồm tọa độ nguồn thải, tải lượng phát thải (g/s), nhiệt độ dòng khí (độ K), đường kính trong ống khói (m), lưu lượng dòng khí (m^3/s); Dữ liệu khí tượng (mô hình TAPM cung cấp file dữ liệu khí tượng bề mặt "*Surface data*" và khí tượng cao không "Upper data" cho mô hình AERMOD) và dữ liệu địa hình (được xử lý bằng mô đun AERMAP) [27, 28].

Hiệu chỉnh và kiểm định mô hình:

Các công thức thống kê được sử dụng để đánh giá mức độ chính xác của mô hình với P_i là giá trị mô phỏng và O_i là giá trị quan trắc

Sai số mô phỏng %: $S = 100\times(P_i - O_i)/O_i$ (3)

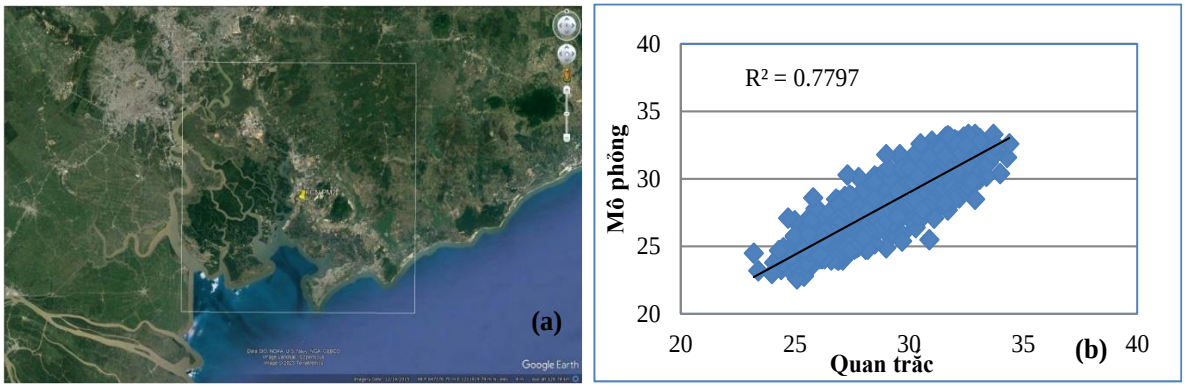
Hệ số R để đánh giá sự tương quan giữa giá trị mô phỏng và quan trắc.

$$R = \frac{\sum\left(P_i - \overline{P}_i\right)\left(O_i - \overline{O}_i\right)}{\sqrt{\left(P_i - \overline{P}_i\right)^2 \sum\left(O_i - \overline{O}_i\right)^2}} \quad (4)$$

Kiểm định mô hình TAMP: Sử dụng số liệu quan trắc tượng của Trạm quan trắc không khí tự động (Trạm QTTĐ Khu xử lý chất thải tập trung Tóc Tiên); Thông số nhiệt độ được

thực hiện kiểm định với kết quả quan trắc cho mùa khô (1 tuần của tháng 3) và mùa mưa (1 tuần của tháng 10) trong năm 2022 (Hình 2).

Kiểm định mô hình AERMOD: Sử dụng số liệu quan trắc chất lượng không khí định kỳ tại KCN Phú Mỹ 2 và Phú Mỹ mở rộng, các thông số được sử dụng để kiểm định gồm CO, NO_2, SO_2, TSP thực hiện vào năm 2022.



Hình 2. (a) Bản đồ xác định khu vực mô phỏng; (b) Kết quả kiểm định thông số nhiệt độ.

3. Kết quả và thảo luận

3.1. Kết quả tính toán phát thải khí thải

Sau khi thực hiện tính toán phát thải khí thải (dựa trên số liệu điều tra, thu thập được), các kết quả được tổng hợp thể hiện trong các bảng 1 và bảng 2.

Bảng 1. Tải lượng khí thải nguồn điểm tại các doanh nghiệp.

TT	Tên doanh nghiệp	Tải lượng khí thải (tấn/năm)				
		NO_2	CO	SO_2	TSP	PM_{10}
1	Công ty TNHH Kính Nổi Siêu Trắng Phú Mỹ	127,54	55,89	0,4	1,28	1,28
2	Công ty CP Thép Posco Yamato Vina	170,95	54,66	159,81	1,16	1,17
3	Công ty TNHH Posco Việt Nam	3,89	42,56	0,44	0,45	2,04
4	Công ty CP điện lạnh Hòa Phát	0,0079	0,033	0,014	0,0013	0,0021
5	Công ty TNHH thép Tung Ho Việt Nam	16,29	6,13	17,84	0,0041	0,0071

Bảng 2. Tải lượng khí thải từ quá trình sản xuất tại các doanh nghiệp.

TT	Tên doanh nghiệp	Tải lượng ô nhiễm (tấn/năm)				
		CO	SO_2	NMVOC	TSP	PM_{10}
1	Công ty TNHH Kính Nổi Siêu Trắng Phú Mỹ	-	-	-	110,88	99,79
2	Công ty TNHH MTV Gas Industry	630,00	219,00	-	-	69,00
3	Công ty CP Thép Posco Yamato Vina	-	-	179,75	359,49	215,69
4	Công ty TNHH Posco Việt Nam	-	-	180,00	360,00	216,00
5	Công ty CP Điện Lạnh Hòa Phát	-	-	1,62	3,23	1,94
6	Công ty TNHH Thép Tung Ho Việt Nam	-	-	77,60	155,19	93,11
7	Công ty TNHH VSSC Steel Center	-	-	0,02	0,03	0,02
8	Công ty Cổ Phần sản xuất Container Hòa Phát	-	-	37,50	75,00	45,00
9	Công ty TNHH Ống Thép Hàn Xoắn Nippon Steel Việt Nam	-	-	9,00	18,00	10,80

TT	Tên doanh nghiệp	Tải lượng ô nhiễm (tấn/năm)				
		CO	SO_2	NMVOC	TSP	PM_{10}
10	Công ty CP Quốc Tế Đại Dương Oss	-	-	7,50	15,00	9,00
11	Công ty TNHH Thép Povina	-	-	5,40	10,80	6,48
12	Công ty CP Steel Builder	-	-	3,75	7,50	4,50
13	Công ty TNHH gia công thép SMC Phú Mỹ	-	-	22,50	45,00	27,00
14	Công ty TNHH Behn Meyer Agricare Việt Nam	-	-	-	17,37	13,89

Hiện nay, trong KCN Phú Mỹ 2 và Phú Mỹ 2 mở rộng, LPG và CNG là nhiên liệu được sử dụng nhiều nhất trong các nhà máy. Bên cạnh đó, các nhà máy còn có sử dụng một số nhiên liệu khác như dầu FO, than đá, biomass,…

Bảng 3. Tải lượng khí thải phát sinh từ các loại nhiên liệu sử dụng.

TT	Nhiên liệu	Lượng nhiên liệu sử dụng (tấn/năm)	Tải lượng khí thải (tấn/năm)				
			NO_2	CO	SO_2	TSP	PM_{10}
1	CNG	57.420.222,90	196,75	86,22	0,62	1,97	1,97
2	Than đá	21.529,77	131,88	5,49	517,43	7,19	4,86
3	Biomass	16.792,80	21,22	23,58	2,83	45,06	40,60
4	FO	54.936,00	0,13	0,03	0,81	0,01	0,01
5	LPG	5.306.968,80	10,78	4,72	0,03	0,11	0,11

Theo thống kê đánh giá tải lượng ô nhiễm của các loại nhiên liệu thì than đá là nguồn gây phát thải ô nhiễm chính trong KCN, tỉ lệ 99% cho tải lượng SO_2, 37% cho NO_2, 13% cho TSP, 10% cho PM_{10} và 4% cho CO. Sau đó đến biomass với tỉ lệ 86% cho tải lượng PM_{10}, 83% cho TSP, 20% cho CO, 6% cho NO_2 và 1% cho SO_2. Đối với CNG thì tỉ lệ 72% cho tải lượng CO, 54% cho NO_2, 4% cho TSP và PM_{10}. Còn dầu FO và LPG chiếm tỉ lệ không đáng kể trong việc phát thải chất ô nhiễm trong KCN này.

3.2. Kết quả mô phỏng khí tượng và chất lượng không khí

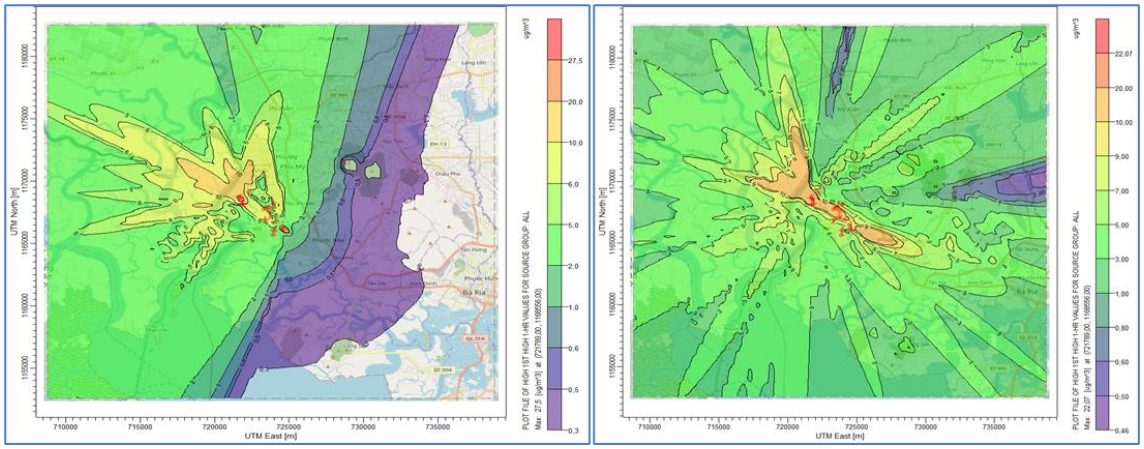
3.2.1. Mô phỏng khí tượng bằng mô hình TAPM

Để kiểm định mô hình khí tượng TAPM, hai thông số quan trọng là nhiệt độ bề mặt và tốc độ gió được chọn để kiểm định. Kết quả kiểm định cho thấy được các giá trị nhiệt độ và tốc độ gió mô phỏng qua mô hình khí tượng TAPM gần với giá trị quan trắc thực tế với hệ số R^2 lần lượt là 0,78 (Hình 3). Từ kết quả kiểm định mô hình khí tượng TAPM mô phỏng cho khu vực TX. Phú Mỹ cho thấy kết quả mô phỏng có thể sử dụng làm dữ liệu đầu vào cho mô hình AERMOD. Các kết quả mô phỏng khí tượng vào mùa khô và mùa mưa trong năm 2022 cho thấy: vào mùa khô hướng gió chủ đạo là Đông Nam, với tốc độ gió dao động trong khoảng 0,5-6,0 m/s và nhiệt độ dao động trong khoảng 24-35^{o}C; vào mùa mưa hướng gió chủ đạo hướng Tây Bắc, với tốc độ gió dao động trong khoảng 0,4-5,4 m/s và nhiệt độ dao động trong khoảng 26-34^{o}C.

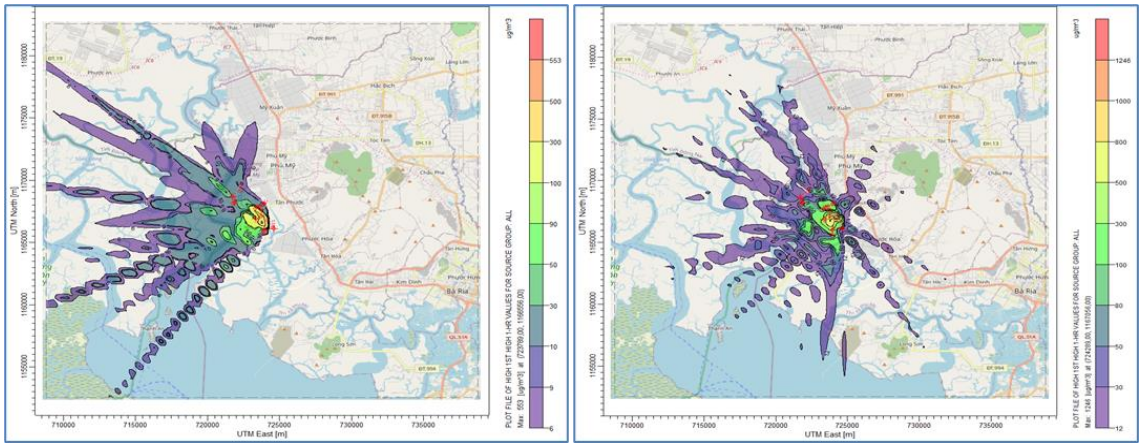
3.2.2. Mô phỏng chất lượng không khí bằng mô hình AERMOD

Kết quả mô phỏng chất lượng không khí từ mô hình AERMOD được hiệu chỉnh và kiểm định với số liệu quan trắc định kỳ của KCN Phú Mỹ 2 và Phú Mỹ mở rộng tại 2 vị trí: A1 (Trong KCN Phú Mỹ 2 mở rộng, tọa độ X = 723553.37, Y = 1166533.41) và A2 (Bên ngoài KCN Phú Mỹ 2, tọa độ X = 723270.38, Y = 1170064.78). Với các thông số quan trắc là CO, NO_2, SO_2, TSP và PM_{10}. Kết quả tính toán sai số mô phỏng giữa giá trị mô phỏng và giá trị quan trắc chất lượng không khí dao động từ -11% đến 14%. Sai số này nằm trong khoảng

cho phép ±15%, vì vậy, mô hình AERMOD có khả năng mô phỏng lan truyền ô nhiễm cho nghiên cứu này. Các kết quả mô phỏng chất lượng không khí trong mùa khô và mưa năm 2022 được thể hiện trên hình 3, 4.



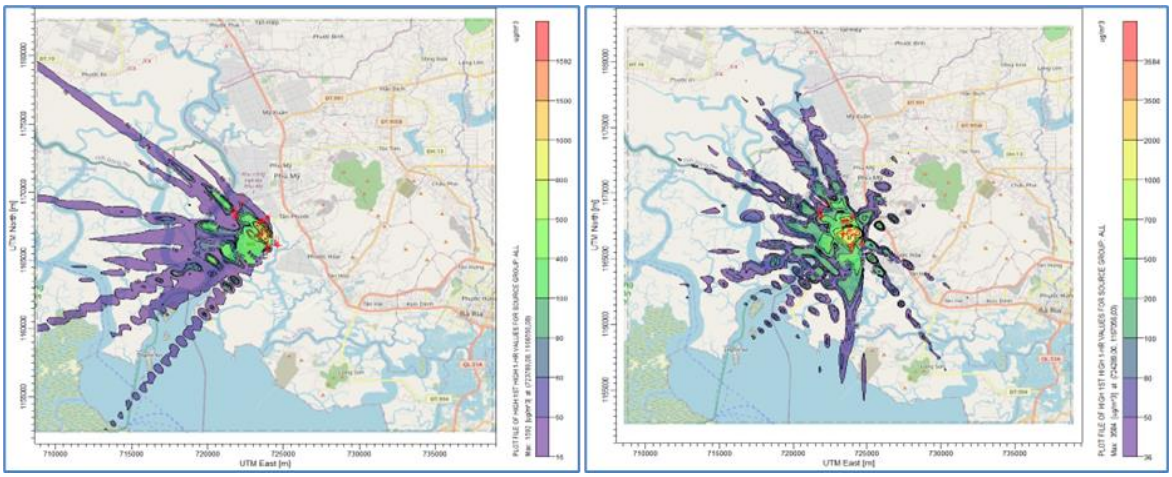
Hình 3. Kết quả mô phỏng nồng độ trung bình 1 giờ cao nhất NO_2 mùa khô và mùa mưa.



Hình 4. Kết quả mô phỏng nồng độ trung bình 1 giờ cao nhất SO_2 mùa khô và mùa mưa.

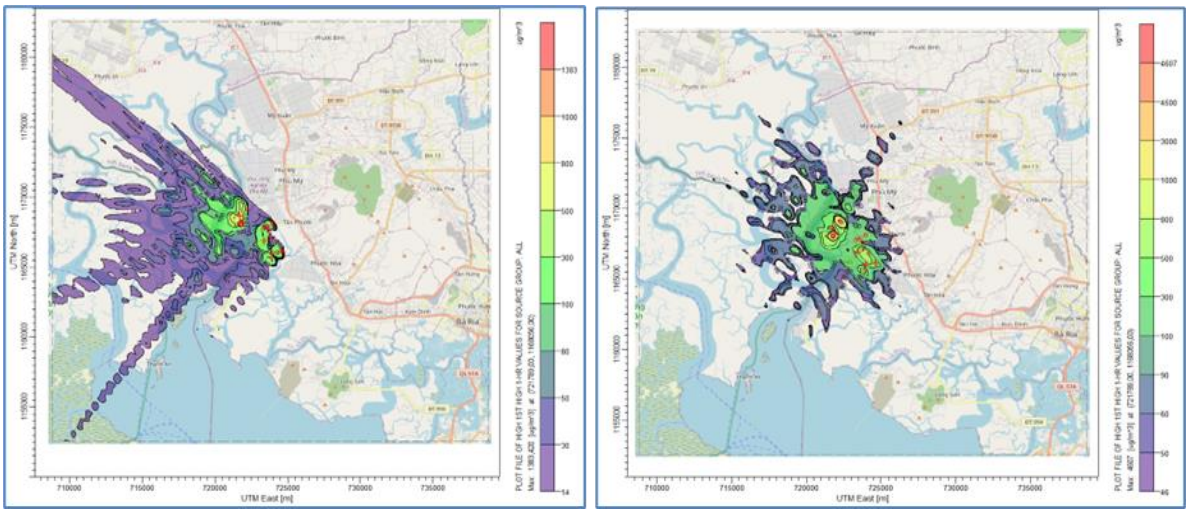
- NO_2: Trong mùa khô năm 2022, nồng độ NO_2 trung bình 1 giờ cao nhất là 27,5 µg/m^3 (Hình 3) và nồng độ trung bình 24 giờ cao nhất là 4,53 µg/m^3 đều thấp hơn QCVN 05 (lần lượt là 200 µg/m^3 và 100 µg/m^3). Tương tự, trong mùa mưa năm 2022, nồng độ NO_2 trung bình 1 giờ cao nhất là 22,07 µg/m^3 (Hình 3) và nồng độ trung bình 24 giờ cao nhất là 3,54 µg/m^3 đều thấp hơn QCVN 05. Khu vực ghi nhận nồng độ trung bình 1 giờ cao nhất và 24 giờ cao nhất đều nằm trong khu vực của KCN.

- SO_2: Trong mùa khô năm 2022, nồng độ SO_2 trung bình 1 giờ cao nhất của là 553 µg/m^3 (Hình 5), vượt gấp 1,6 lần so với QCVN 05, và nồng độ trung bình 24 giờ cao nhất là 23,1 µg/m^3 thấp hơn QCVN 05. Điều này cho thấy, ở một vài thời điểm, chất lượng không khí xung quanh trong KCN bị ô nhiễm bởi SO_2 do quá trình đốt cháy nhiên liệu có chứa S (than đá, dầu FO,...). Khu vực ghi nhận nồng độ trung bình 1 giờ cao nhất và 24 giờ cao nhất đều nằm trong khu vực của KCN. Ở các khu vực lân cận (trong vòng bán kính từ 1-3 km so với trung tâm của KCN nồng độ trung bình 1 giờ của SO_2 dao động trong khoảng 200-300 µg/m^3 đạt QCVN 05. Tương tự, trong mùa mưa năm 2022, nồng độ SO_2 trung bình 1 giờ cao nhất của là 1.246 µg/m^3 (Hình 4), vượt gấp 3,6 lần so với QCVN 05, và nồng độ trung bình 24 giờ cao nhất là 51,9 µg/m^3 thấp hơn QCVN 05. Ở các khu vực lân cận (trong vòng bán kính từ 1-3 km so với trung tâm của KCN) nồng độ trung bình 1 giờ của SO_2 dao động trong khoảng 500-1000 µg/m^3 vượt QCVN 05, gấp 1,5-3,0 lần.



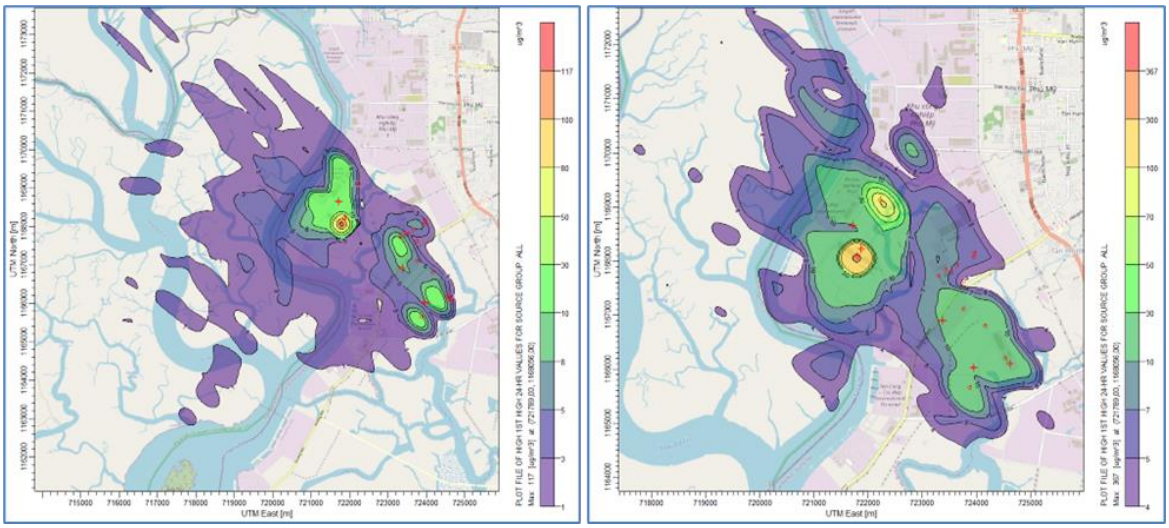
Hình 5. Kết quả mô phỏng nồng độ trung bình 1 giờ cao nhất của CO mùa khô và mùa mưa

- CO: Trong mùa khô năm 2022, nồng độ CO trung bình 1 giờ cao nhất là 1.592 µg/m^3 (Hình 5) và nồng độ trung bình 8 giờ cao nhất là 199 µg/m^3 đều thấp hơn QCVN 05. Tương tự, trong mùa mưa năm 2022 nồng độ CO trung bình 1 giờ cao nhất của là 3.584 µg/m^3 (Hình 5) và nồng độ trung bình 8 giờ cao nhất là 448 µg/m^3 đều đạt QCVN 05. Khu vực ghi nhận nồng độ trung bình 1 giờ cao nhất và 24 giờ cao nhất đều nằm trong khu vực của KCN.



Hình 6. Kết quả mô phỏng nồng độ trung bình 1 giờ cao nhất TSP mùa khô và mùa mưa.

- TSP: Trong mùa khô năm 2022, nồng độ TSP trung bình 1 giờ cao nhất là 1.384 µg/m^3 (Hình 6), vượt gấp 4,6 lần so với QCVN 05 (300 µg/m^3), và nồng độ trung bình 24 giờ cao nhất là 194 µg/m^3 thấp hơn QCVN 05 (200 µg/m^3). Khu vực ghi nhận nồng độ trung bình 1 giờ cao nhất và 24 giờ cao nhất của TSP đều nằm trong khu vực của KCN. Ở các khu vực lân cận (trong vòng bán kính từ 1-2 km so với trung tâm của KCN nồng độ trung bình 1 giờ của TSP dao động trong khoảng 500-1.000 µg/m^3 vượt QCVN 05 từ 1,7 đến 3,3 lần. Trong mùa mưa năm 2022, nồng độ TSP trung bình 1 giờ cao nhất của là 4.607 µg/m^3 (Hình 6), vượt gấp 15,4 lần so với QCVN 05, và nồng độ trung bình 24 giờ cao nhất là 612 µg/m^3 vượt gấp 3,1 lần so với QCVN 05. Khu vực ghi nhận nồng độ trung bình 1 giờ cao nhất và 24 giờ cao nhất của TSP đều nằm trong khu vực của KCN. Ở các khu vực lân cận (trong vòng bán kính từ 1-2 km so với trung tâm của KCN nồng độ trung bình 1 giờ của TSP dao động trong khoảng 3,0-4,0 µg/m^3 vượt QCVN 05 từ 1,7 đến 3,3 lần.



Hình 7. Kết quả mô phỏng nồng độ trung bình 24 giờ cao nhất PM_{10} mùa khô và mùa mưa.

- PM_{10}: Trong mùa khô năm 2022, nồng độ PM_{10} trung bình 24 giờ cao nhất là 117 µg/m^3, đạt QCVN 05. Nhưng kết quả mô phỏng vào mua mưa cho thấy nồng độ PM_{10} trung bình 24 giờ cao nhất là 367 µg/m^3, vượt gấp 2,4 lần so với QCVN 05 (150 µg/m^3). Khu vực ghi nhận nồng độ PM_{10} cao là nằm trong KCN, xung quanh các nhà máy thép (Hình 7). Điều này cho thấy, ngoài các nguồn phát thải gây ô nhiễm do đốt nhiên liệu phục vụ cho quá trình sản xuất thì phát thải từ nguồn diện cũng góp phần gây ô nhiễm cục bộ trong khu vực KCN.

Ghi chú: Các kết quả mô phỏng đã có tính toán nồng độ nền của các chất ô nhiễm tại khu vực nghiên cứu (sử dụng số liệu quan trắc chất lượng không khí tại trạm quan trắc Trạm quan trắc không khí tự động Khu xử lý chất thải tập trung Tóc Tiên, TX. Phú Mỹ, tỉnh BRVT).

Bảng 4. So sánh kết quả mô phỏng với một số nghiên cứu khác.

Nghiên cứu	SO_2 (µg/m^3)	NO_2 (µg/m^3)	CO (µg/m^3)	TSP (µg/m^3)
Nghiên cứu này	553 (mùa khô)/ 1.246 (mùa mưa)	27,5 (mùa khô)/ 22,1 (mùa mưa)	1.592 (mùa khô)/ 3.584 (mùa mưa)	1.384 (mùa khô)/ 4.607 (mùa mưa)
Nghiên cứu tại KCN Tân Tạo (TP.HCM) [21]	5.478	4.069	40.694	581
Nghiên cứu tại KCN Phú Tài (Bình Định) [31]	236	177	6.000	260,3

Khi so sánh kết quả mô phỏng trong nghiên cứu này với một số nghiên cứu tương tự cho thấy nồng độ các chất ô nhiễm mô phỏng được có sự khác biệt đáng kể, nguyên nhân chính có thể từ các loại nhiên liệu sử dụng và loại hình công nghiệp hoạt động trong các KCN.

3.3. Đề xuất các biện pháp giảm thiểu ô nhiễm không khí

Kết hợp với kết quả mô phỏng và khảo sát thực tế tại các doanh nghiệp trong KCN cho thấy hiện nay công tác quản lý môi trường không khí tại KCN cơ bản đã được thực hiện theo đúng qui định, tuy nhiên vẫn còn gặp một số khó khăn trong công tác kiểm tra và xử lý các trường hợp vi phạm về các vấn đề BVMT tại các doanh nghiệp, để khắc phục những khó khăn đó cần phải có những giải pháp như sau:

3.3.1. Giải pháp về cơ chế, chính sách

Chấp hành pháp luật trong BVMT là một trong những vấn đề quan trọng trong tiến trình cải thiện chất lượng môi trường. Đối với KCN, chủ hạ tầng cũng như các nhà đầu tư cần hiểu rõ và chấp hành nghiêm chỉnh các hoạt động BVMT; Cần xem xét rà soát quy định pháp luật để ủy quyền toàn bộ công tác quản lý môi trường KCN cho Ban quản lý (BQL) các KCN để quản lý trực tiếp nhằm tạo sự chủ động và thống nhất trong công tác quản lý; Tăng cường tổ chức phổ biến các văn bản pháp luật về môi trường để doanh nghiệp nắm và thực hiện tốt, nâng cao trách nhiệm của Doanh nghiệp về BVMT trong quá trình hoạt động sản xuất; Các Sở, Ban ngành cần phải tuyệt đối tuân thủ yêu cầu trong quá trình thẩm định lựa chọn dự án đầu tư, thẩm định môi trường đảm bảo lựa chọn công nghệ tiên tiến, hiện đại, giảm thiểu tối đa ảnh hưởng đến môi trường, không tiếp nhận dự án có công nghệ lạc hậu, có khả năng gây ô nhiễm môi trường cao; Chính sách ưu tiên đầu tư và ưu đãi cho các doanh nghiệp có quy trình sản xuất hiện đại và ưu đãi các chính sách về môi trường để các doanh nghiệp có thể tiếp cận được với các công nghệ xử lý môi trường hiện đại; Phát triển mô hình KCN sinh thái, KCN kiểu mẫu để góp phần thực hiện chiến lược tăng trưởng xanh của Việt Nam; Vận động các doanh nghiệp đẩy mạnh áp dụng các biện pháp sản xuất sạch hơn, sử dụng nhiên liệu sạch, cải tiến công nghệ nhằm giảm thiểu các chất gây ô nhiễm không khí.

3.3.2. Giải pháp về công tác quản lý

Việc quản lý và BVMT tại các nhà máy trong KCN là một trong những nhiệm vụ của công tác quản lý môi trường tại KCN. Vì vậy, BQL các KCN cần thường xuyên tổ chức khóa tập huấn nâng cao năng lực quản lý, bảo vệ môi trường ở các nhà máy cho các cán bộ quản lý nhằm giúp họ hiểu được tầm quan trọng của môi trường từ đó đưa ra được kế hoạch quản lý phù hợp; Tăng cường công tác thanh tra, kiểm tra đối với các cơ sở đang hoạt động. Thành lập tổ giám sát riêng đối với những dự án có khả năng phát thải lớn như các nhà máy thép để tổ chức kiểm tra, giám sát thường xuyên và chủ động phòng ngừa ô nhiễm trong quá trình hoạt động của các doanh nghiệp; Ứng dụng các công nghệ thông tin, công nghệ 4.0 trong công tác quản lý môi trường, xây dựng hệ thống mạng kết nối thông tin giữa các đơn vị ban ngành; Tăng cường chất lượng và nâng cao năng lực của cán bộ chuyên trách về môi trường tại KCN, hướng dẫn các doanh nghiệp trong KCN thực hiện đúng các quy định BVMT, phát hiện và kịp thời ứng phó, khắc phục khi xảy ra sự cố môi trường; Thiết lập hệ thống thông tin, cơ sở dữ liệu về chất lượng môi trường không khí trong KCN nhằm phục vụ tốt việc nghiên cứu, theo dõi, đánh giá, dự báo về tình hình chất lượng không khí trong KCN, từ đó đưa ra các biện pháp thích hợp kiểm soát nguồn thải và nâng cao chất lượng không khí.

3.3.3. Giải pháp về công nghệ

Hiện tại các nhà máy tại KCN Phú Mỹ 2 và Phú Mỹ 2 mở rộng đã thực hiện những biện pháp kiểm soát ô nhiễm không khí như xây dựng HTXLKT trước khi xả ra môi trường, nhựa hóa và vệ sinh đường nội bộ hạn chế bụi bẩn, trồng cây xanh trong khuôn viên KCN...Tuy nhiên, với sự mở rộng quy mô hoạt động công nghiệp và chiều hướng gia tăng nồng độ chất ô nhiễm, vẫn nên thực hiện một số biện pháp sau để đảm bảo chất lượng môi trường không khí: Đổi mới công nghệ, sử dụng chu trình khép kín, thay thế các loại máy móc, dây chuyền công nghệ lạc hậu, gây nhiều ô nhiễm bằng các dây chuyền công nghệ hiện đại, ít ô nhiễm hơn; Khuyến khích dùng nguồn nhiên liệu sạch có ít chất ô nhiễm, thay nhiên liệu cũ bằng nhiên liệu mới... để giảm phát thải ô nhiễm không khí tại các nhà máy; Cải tiến quá trình đốt nhiên liệu để giảm thiểu khí thải độc hại. Bắt buộc các doanh nghiệp phải thực hiện đúng theo các quy trình vận hành HTXLKT, sử dụng đúng và không được cắt giảm các hóa chất hấp thụ trong quá trình xử lý nhằm tiết kiệm chi phí vận hành cho các công trình xử lý, đây là một trong những nguyên nhân gây nên các tình trạng ô nhiễm môi trường. Qua kết quả mô phỏng nhận thấy TSP phát sinh tại KCN vượt so với QCVN 05, lượng bụi này phát sinh chủ

yếu từ quá trình sản xuất của các nhà máy luyện thép. Ngoài bụi phát sinh từ các lò luyện qua hệ thống xử lý khí thải và thải qua các ống khói thì 1 phần bụi lớn từ nguồn diện như quá trình bốc dỡ, sàng phế liệu để loại bỏ tạp chất. Do đó, để hạn chế lượng bụi phát sinh, các nhà máy thép cần hạn chế việc bốc dỡ phế liệu và sàng phế liệu lúc gió mạnh, đồng thời thực hiện trong kho kín tránh ảnh hưởng của gió làm phát tán bụi vào môi trường không khí.

4. Kết luận

Nghiên cứu đã đánh giá được hiện trạng công tác quản lý môi trường không khí tại KCN Phú Mỹ 2 và Phú Mỹ 2 mở rộng: Thông qua nghiên cứu, từ việc khảo sát thực tế ở các doanh nghiệp trong KCN Phú Mỹ 2 và Phú Mỹ 2 mở rộng cho thấy hiện nay công tác quản lý môi trường không khí tại KCN cơ bản đã được thực hiện theo đúng qui định, tuy nhiên công tác vận hành và bảo trì/bảo dưỡng các công trình xử lý khí thải vẫn chưa được đảm bảo hiệu quả cũng như công nghệ xử lý khí thải chưa đáp ứng xử lý hiệu quả khí thải trong quá trình sử dụng nhiên liệu.. Kết quả tính toán tải lượng ô nhiễm từ việc sử dụng nhiên liệu cho thấy than đá là nguồn gây phát thải ô nhiễm chính trong KCN (tỉ lệ 99% cho tải lượng SO_2, 37% cho NO_2, 13% cho TSP, 10% cho PM10 và 4% cho CO) mặc dù lượng nhiên liệu sử dụng chính trong KCN là CNG và LPG. Với kết quả mô phỏng chất lượng không khí cho thấy, nồng độ NO_2 trung bình 1 giờ cao nhất và 24 giờ cao nhất; nồng độ CO trung bình 1 giờ cao nhất và 8 giờ cao nhất trong cả 2 mùa (khô và mưa) đều đạt QCVN 05; Kết quả mô phỏng nồng độ SO_2 trung bình 1 giờ cao nhất lần lượt là 553 $\mu g/m^3$ (mùa khô) và 1.246 $\mu g/m^3$ (mùa mưa) đều vượt gấp 1,6 lần và 3,6 lần so với QCVN 05. Đối với thông số TSP, nồng độ trung bình 1 giờ cao nhất, đều vượt 4,6 lần (mùa khô) và 15,4 lần (mùa mưa) so với QCVN 05. Từ kết quả mô phỏng, nghiên cứu đã đề xuất một số giải pháp thích hợp để nâng cao hiệu quả công tác quản lý chất lượng không khí tại KCN Phú Mỹ 2 và Phú Mỹ 2 mở rộng.

Bên cạnh đó, nghiên cứu này chỉ thực hiện tính toán phát thải và mô phỏng chất lượng không khí tại KCN Phú Mỹ 2 và Phú Mỹ 2 mở rộng mà chưa tính đến các khả năng lan truyền, ảnh hưởng của ô nhiễm không khí từ các KCN lân cận trong khu vực, cũng như tác động từ hoạt động giao thông trong nội bộ KCN. Ngoài ra, nghiên cứu chỉ dừng lại ở những chất ô nhiễm không khí thông thường như SO_2, NO_x, CO, TSP và PM_{10} và chưa đánh giá được các khí khác như $PM_{2.5}$ hoặc VOC. Nếu điều kiện cho phép, có thể mở rộng nghiên cứu theo các hướng trên nhằm hoàn thiện cũng như có các kết quả đánh giá được chính xác và toàn diện hơn.

Đóng góp của tác giả: Tổng hợp, viết bản thảo, hoàn chỉnh bản thảo: H.M.D.; Thu thập số liệu, tính toán phát thải: T.C.A.; Thực hiện mô phỏng: N.T.T.

Lời cảm ơn: Nghiên cứu được tài trợ bởi Đại học Quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh (ĐHQG-HCM) trong khuôn khổ nhiệm vụ thường xuyên theo chức năng mã số TX2024-24-01.

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

Tài liệu tham khảo

1. Kumar, D.S.; Bhushan, S.H.; Kishore, D.A. Atmospheric dispersion model to predict the impact of gaseous pollution in an industrial and mining cluster. *Glob. J. Environ. Sci. Manag.* **2018**, *4(3)*, 351–358.
2. Tuygun, G.T.; Altuğ, H.; Elbir, T.; Gaga, E.E. Modeling of air pollutant concentrations in an industrial region of Turkey. *Environ. Sci. Pollut. Res.* **2017**, *24(9)*, 8230–8241.
3. Phong, L.H. Ứng dụng phần mềm Lakes AERMOD View đánh giá ô nhiễm không khí tại khu công nghiệp Amata. Luận văn Thạc sĩ, Trường Đại học Tài nguyên và Môi trường, TP. Hồ Chí Minh, 2016.

4. Perrino, C.; Gilardoni, S.; Landi, T.; Abita, A.; Ferrara, I.; Oliverio, S.; Busetto, M.; Calzolari, F.; Catrambone, M.; Cristofanelli, P.; Torre, S.D.; Esposito, G.; Giusto, M.; Mosca, S.; Pareti, S.; Rantica, E.; Sargolini, T.; Tranchida, G.; Bonasoni, P. Air quality characterization at three industrial areas in Southern Italy. *Front. Environ. Sci.* **2020**, *7*, 2019. https://doi.org/10.3389/fenvs.2019.00196.
5. Al-Hasnawi, S.; Hussain, H.; Al-Ansari, N.; Nutsson, S. The effect of the industrial activities on air pollution at Baiji and its surrounding areas, Iraq. *Engineering* **2016**, *8*, 34–44.
6. Huang, Z.; Ma, W.; Chen, L. Surveillance efficiency evaluation of air quality monitoring networks for air pollution episodes in industrial parks: Pollution detection and source identification. *Atmos. Environ.* **2019**, *215(11)*, 116874.
7. Mao, I.F.; et al. Method development for determining the malodor source and pollution in industrial park. *Sci. Total Environ.* **2012**, *437 (15)*, 270–275.
8. Hạnh, H.H. Xây dựng cơ sở dữ liệu phát thải khí ô nhiễm của các nguồn điểm tại KCN Giao Long, tỉnh Bến Tre. Luận văn Thạc sĩ, Trường Đại học Tài nguyên và Môi trường, TP. Hồ Chí Minh, 2016.
9. Li, L.; et al. Ozone sensitivity analysis with the MM5-CMAQ modeling system for Shanghai. *J. Environ. Sci.* **2011**, *23(7)*, 1150–1157.
10. Zheng, H.; et al. Development of a unit-based industrial emission inventory in the Beijing–Tianjin–Hebei region and resulting improvement in air quality modeling. *Atmos. Chem. Phys.* **2019**, *19(6)*, 3447–3462.
11. Nghiem, L.H.; Oanh, N.T.K. Evaluation of the mesoscale meteorological model (MM5) community multi-scale air quality model (CMAQ) performance in hindcast and forecast of ground-level ozone. *J. Air Waste Manag. Assoc.* **2008**, *58(10)*, 1341–1350.
12. Dung, H.M.; Khue, V.H.N. Study on load-carrying capacity zoning in atmospheric environment in developing countries - a case study of Can Tho City, Vietnam. *Int. J. Environ. Sci. Dev.* **2021**, *12 (7)*, 193–203.
13. Bang, H.Q.; Khue, V.H.N.; Tam, N.T.; Lasko, K. Air pollution emission inventory and air quality modeling for Can Tho City, Mekong Delta, Vietnam. *Air Qual. Atmos. Health* **2017**, *11*, 35–47.
14. Bằng, H.Q.; Hương, V.T.T.; Chuanak, S. Tính toán phát thải các chất ô nhiễm không khí và mô hình hóa chất lượng không khí cảng Sài Gòn, Việt Nam. *Sci. Technol. Dev.* **2013**, *16(M1)*, 12–21.
15. Zhang, Q.; Tong, P.; Liu, M.; Lin, H.; Yun, X.; Zhang, H.; Tao, W.; Liu, J.; Wang, S.; Tao, S.; Wang, X. A WRF-Chem model-based future vehicle emission control policy simulation and assessment for the Beijing-Tianjin-Hebei region, China. *J. Environ. Manag.* **2020**, *253 (1)*, 109751.
16. Ha, C.N.N.; Oanh, K.N.T. Photochemical smog modeling of PM2.5 for assessment of associated health impacts in crowded urban area of Southeast Asia. *Environ. Technol. Innovation* **2021**, *21*, 101241.
17. Pachón, J.; et al. Development and evaluation of a comprehensive atmospheric emission inventory for air quality modeling in the megacity of Bogotá. *Atmosphere* **2018**, *9 (2)*, 49.
18. Han, B.S.; Baik, J.J.; Kwak, K.H. A preliminary study of turbulent coherent structures and ozone air quality in Seoul using the WRF-CMAQ model at a 50 m grid spacing. *Atmos. Environ.* **2019**, *218(1)*, 117012.
19. Dũng, H.M.; Bằng, H.Q.; Thắng, L.V. Đánh giá lan truyền ô nhiễm không khí và đề xuất các kịch bản quy hoạch giảm thiểu ô nhiễm từ hoạt động chăn nuôi tại huyện Tân Thành, tỉnh Bà Rịa - Vũng Tàu. *Tạp chí Phát triển Khoa học & Công nghệ: Chuyên san Khoa học Trái đất & Môi trường* **2018**, *2(2)*, 26–37.

20. Bang, H.Q.; et al. Modeling of air pollution and assessing impacts of air pollution on human health: Tra Vinh, Vietnam. *J. Environ. Sci. Nat. Resour.* **2019**, *19(3)*, 55–63.
21. Bang, H.Q.; et al. Modeling impacts of industrial park activity on air quality of surrounding area for identifying isolation distance: A case of Tan Tao Industrial Park, Ho Chi Minh City, Viet Nam. *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.* **2022**, *964*, 012023.
22. Ngoc, V.K.H.; et al. Application TAPM-AERMOD system model to study impacts of thermal power plants in SouthEast and SouthWest areas to the air quality of HCMC: current status and according to Vietnam power planning VII toward 2030. *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.* **2021**, *964*, 012024.
23. Bình, N.P. Đề xuất giải pháp thích hợp và khả thi cải tiến công tác quản lý môi trường KCN Tâm Thắng, tỉnh Đắk Nông theo hướng Phát triển bền vững. Luận văn thạc sĩ, Viện Môi trường và Tài nguyên, TP. Hồ Chí Minh, 2014.
24. Khang, M.X. Kiểm kê khí thải và ứng dụng mô hình TAPM-AERMOD đánh giá tác động từ hoạt động của cảng Gò Dầu - Đồng Nai lên môi trường không khí tại cảng. Luận văn Thạc sĩ, Viện Môi trường và Tài nguyên, TP. Hồ Chí Minh, 2021.
25. Khuê, V.H.N. và cs. Tính toán phát thải khí thải và ứng dụng hệ mô hình TAPM-AERMOD mô phỏng ô nhiễm không khí từ hệ thống bến cảng tại Thành phố Hồ Chí Minh. *Tạp chí phát triển Khoa học công nghệ: Chuyên san Khoa Học Trái Đất Môi Trường* **2018**, *2(2)*, 97–106.
26. Báo cáo công tác bảo vệ môi trường năm 2022 của Công ty IDICO (chủ đầu tư KCN Phú Mỹ 2 và Phú Mỹ 2 mở rộng), 2020.
27. Hurley, P.; et al. Year-long, high-resolution, urban airshed modelling: verification of TAPM predictions of smog and particles in Melbourne, Australia. *Atmos. Environ.* **2003**, *37*, 1899–1910.
28. Hurley, P.; et al. Modelling the meteorology at the Cabauw Tower for 2005. *Bound. Layer Meteorol.* **2009**,*132(1)*, 43–57.
29. Trực tuyến: http://www.epa.gov/ttn/scram/7thconf/aermod.
30. Trực tuyến: http://www.epa.gov/scram001/7thconf/aermod.
31. Hùng, Đ.V.; Long, P.T.; Nghiêm, L.H. Ứng dụng mô hình AERMOD mô phỏng sự lan truyền các chất ô nhiễm không khí từ khu công nghiệp Phú Tài tỉnh Bình Định. *Tạp chí Khí tượng thủy văn* **2024**, *758*, 72–86.

Study on air quality management by using model tools in Phu My 2 and Phu My 2 expanded industrial parks, Ba Ria - Vung Tau province

Ho Minh Dung[1]*, Truong Cong An[1,2], Nguyen Thoai Tam[1]

[1] Institute for Environment and Resources, VNU-HCMC; H_minhdung@yahoo.com; anbqlkcn@gmail.com; thoaitam1986@gmail.com
[2] Ba Ria - Vung Tau Industrial Zones Authority; anbqlkcn@gmail.com

Abstract: Phu My 2 and Phu My 2 expansion industrial parks are one of the important industrial zones in the socio-economic development of Ba Ria-Vung Tau province. Currently, the air quality management in this industrial zone has not been effective. This study was conducted to calculate the emission load and simulate the spread of air pollution, thereby proposing solutions to improve the effectiveness of air quality management in the industrial park. Research results show that: (i) LPG and CNG are the two main fuels used in the industrial park, but the main pollution emissions from the combustion process are due to the use of other fuels such as coal, biomass, and FO; (ii) Simulation results of air pollution spread using the AERMOD model (combine the TAPM meteorological model) show that the highest 1-hour average and the highest in 8-hours or 24-hours concentration of NO_2 and

CO in both seasons (rainy and dry seasons) reached QCVN 05:2013/BTNMT; The simulation results show that the highest 1-hour average concentration of SO_2 and TSP are higher than QCVN 05: 2013/BTNMT, 1.6 times and 3.6 times for SO_2 and 4.6 times and 15.4 times for TSP; (iii) Through the results of simulation and assessment of air pollution impacts on the surrounding area, the study has proposed some solutions to improve the efficient of the air quality management in Phu My 2 and Phu My 2 expansion industrial zones.

Keywords: Phu My 2 and Phu My 2 expanded industrial parks; AERMOD; Air quality.

TẠP CHÍ
KHÍ TƯỢNG THỦY VĂN

Check for updates

Bài báo khoa học

Hoạt động kiến tạo hiện đại trong khu vực dòng chảy Sông Tiền và Sông Hậu, mối quan hệ với hiện tượng xói lở bờ sông

Bùi Vinh Hậu[1]*, Trần Thị Hồng Minh[2], Trần Thanh Hải[1], Ngô Thị Kim Chi[1], Phan Văn Bình[1], Vũ Anh Đạo[1], Trần Quang Tuấn[1], Bùi Thị Thu Hiền[1]

[1] Trường Đại học Mỏ - Địa chất; buivinhhau@humg.edu.vn; tranthanhhai@humg.edu.vn; ngothikimchi@humg.edu.vn; phavanbinh@humg.edu.vn; vuanhdao@humg.edu.vn; tranquantuan@humg.edu.vn; buithithuhien@humg.edu.vn

[2] Trường Đại học Tài nguyên và Môi trường Hà Nội; tthminh@hunre.edu.vn

*Tác giả liên hệ: buivinhhau@humg.edu.vn; Tel.: +84–983929256

Ban Biên tập nhận bài: 10/3/2024; Ngày phản biện xong: 12/4/2024; Ngày đăng bài: 25/7/2024

Tóm tắt: Bài báo này xác định sự hoạt động của kiến tạo hiện đại trong lưu vực Sông Tiền Sông Hậu dựa theo các dấu hiệu trực tiếp như dịch chuyển các trầm tích trẻ, động đất, thoát khí radon, thủy ngân, hoặc các dấu hiệu gián tiếp như sự thay đổi đột ngột của dòng chảy, sự xuất hiện các giếng nước khoáng nóng,… Kết quả nghiên cứu cho thấy, hoạt động kiến tạo trong khu vực diễn ra mạnh mẽ với với bốn đứt gãy hoạt động chính là đứt gãy Sông Tiền, đứt gãy Sông Hậu, đứt gãy Vĩnh Hưng - Chợ Lách - Thạnh Phú và đứt gãy Hòn Đất - Cái Dầu - Vĩnh Hưng. Hoạt động của các đứt gãy này làm nghiêm trọng thêm tình trạng xói lở bờ sông trong khu vực đặc biệt ở những vị trí giao nhau của các đứt gãy. Điều đó cho thấy ngoài các yếu tố nhân sinh như như khai thác cát sông, sự thiếu hụt trầm tích do xây dựng các đập thủy điện ở thượng nguồn hoặc do tác động của quá trình biến đổi khí hậu, hoạt động kiến tạo hiện đại cũng có tác động to lớn gây nên hiện tượng tai biến địa chất như sự biến đổi dòng chảy, hiện tượng xói lở bờ sông trong khu vực Sông Tiền và Sông Hậu.

Từ khóa: Kiến tạo hiện đại; Xói lở bờ sông; Sông Tiền; Sông Hậu.

1. Giới thiệu

Kiến tạo hiện đại hay kiến tạo hoạt động là những quá trình địa chất đang diễn ra hoặc diễn ra gần đây gây ảnh hưởng to lớn đến hình thái bề mặt trái đất cũng như tác động đến đời sống con người [1–4]. Biểu hiện của hoạt động kiến tạo hiện đại điển hình như sự phun trào núi lửa, động đất, quá trình nâng hạ kiến tạo, hoạt động của các đứt gãy, thay đổi hình thái các dòng chảy trên mặt, biến dạng đường bờ biển…. [1–6]. Các hoạt động kiến tạo hiện đại đã làm thay đổi hình thái bề mặt trái đất, ảnh hưởng mạnh mẽ tới các dòng chảy trên mặt như sự hình thành định hướng của dòng chảy, sự thành tạo các bồn trũng hoặc các sống núi. Ranh giới của sự thay đổi thành phần và đặc tính cơ lý của đá, các đới dập vỡ do vận động kiến tạo, các đới khe nứt là tiền đề thúc đẩy sự phong hóa, rửa trôi và tạo thành các kênh dẫn [1, 2, 5–9]. Do đó, các dòng chảy lớn thường phân bố dọc theo các hệ thống đứt gãy. Bên cạnh đó, sự dịch chuyển theo phương thẳng đứng hay nằm ngang đều có tác dụng điều chỉnh hoặc định hướng các dòng chảy trên mặt [1, 2, 5–9].

Vùng Tây Nam Bộ nói chung và doc theo lưu vực Sông Tiền, Sông Hậu nói riêng là vựa lúa lớn nhất của Việt Nam, nguồn thủy hải sản nước ngọt và nước mặn (vùng biển liền kề) phong phú. Đây cũng là một trong những vùng động lực kinh tế của Việt Nam với nhiều thành phố lớn, khu công nghiệp, mạng lưới giao thông phát triển bao gồm cả đường bộ,

đường thủy và đường hàng không. Bên cạnh những ưu thế về về tài nguyên thiên nhiên, Vùng Tây Nam Bộ cũng phải đối mặt với nhiều tác động tiêu cực từ các loại hình tai biến thiên nhiên như lũ lụt, xói lở bờ biển, xói lở bờ sông, xâm nhập mặn, sự lún chìm của đồng bằng [10, 21, 23]. Trong thời gian gần đây, một số nghiên cứu đã được tiến hành nhằm xác định nguyên nhân gây tai biến cho khu vực Tây Nam Bộ đã được các nhà khoa học Việt Nam và thế giới tiến hành. Tuy nhiên, các kết quả nghiên cứu không thống nhất và có những giải đoán nhau. Một số nghiên cứu cho rằng nguyên nhân chủ yếu của các tai biến nêu trên là do mực nước biển dâng lên toàn cầu [10], các hoạt động nhân sinh như khai thác cát sông hoặc đắp đập thủy điện ở thượng nguồn làm suy giảm nguồn trầm tích và nước mặt [11–13] hoặc do sự xói lở bờ [14]. Một số nghiên cứu khác trong chương trình "Rise and Fall: strategies for the subsiding and urbanising Mekong Delta (Vietnam) facing increasing salt water intrusion" do các nhà khoa học Hà Lan thực hiện lại cho rằng việc khai thác nước ngầm là nguyên nhân chính dẫn đến hiện tượng sụt lún nền đất tại khu vực đồng bằng Sông Cửu Long. Tuy nhiên, cho đến hiện tại, các tác động của hoạt động kiến tạo hiện đại ảnh hưởng đến tai biến thiên nhiên dọc theo lưu vực Sông Tiền, Sông Hậu, đặc biệt là sự xói lở bờ sông vẫn chưa đề cập. Tác động của hoạt động kiến tạo hiện đại, điển hình là các đứt gãy đang hoạt động đã làm thay đổi hướng dòng chảy, phá hủy, tăng tính bờ rời của vật chất 2 bên bờ sông làm gia tăng các hiện tượng sụt lún và xói lở dọc theo nhiều con sông trên thế giới [15–19]. Do đó, trong nghiên cứu này, chúng tôi xác định rõ các hoạt động của kiến tạo hiện đại trong khu vực dòng chảy Sông Tiền và Sông Hậu, từ đó đánh giá vai trò của hoạt động kiến tạo hiện đại đến hiện tượng xói lở bờ sông. Các kết quả nghiên cứu sẽ giúp các nhà quản lý đưa ra những biện pháp hợp lý nhằm giảm thiểu các thiệt hại do quá trình xói lở bờ sông gây nên.

2. Phương pháp nghiên cứu

2.1. Giới thiệu khu vực nghiên cứu

Khu vực nghiên cứu chạy dọc theo dòng chảy của Sông Tiền, Sông Hậu trong các tỉnh An Giang, Đồng Tháp, Tiền Giang, Bến Tre, Trà Vinh, Vĩnh Long, Hậu Giang, Cần Thơ và Sóc Trăng (Hình 1a). Về đặc điểm địa chất, khu vực dòng chảy Sông Tiền và Sông Hậu trong khu vực nghiên cứu chủ yếu gồm các thành tạo trầm tích bở rời đệ tứ có môi trường và nguồn gốc trầm tích đa dạng từ trầm tích sông, trầm tích biển, trầm tích hỗn hợp…. [22, 23]. Diện tích nhỏ phía tây bắc khu vực nghiên cứu (Núi Sam, An Giang) lộ ra các đá granitoid được cho là thuộc phức hệ Phức hệ Ankroet (γK2ak) với thành phần chủ yếu là granit sáng màu, granit có 2 mica hạt không đều hoặc dạng porphyr. Thành phần khoáng vật gồm: Plagiocla: 32-34%; felspat kali: 32-34%; thạch anh: 31-33%; biotit: 1%; muscovit: 0-1%. Các thành tạo địa chất lộ ra trong khu vực nghiên cứu được phân chia trong hai tổ hợp thạch kiến tạo gồm: (1) tổ hợp thạch kiến tạo rìa lục địa tích cực tuổi Jura muộn - Creta có diện lộ ở khu vực An Giang (Hình 1). Thành phần xâm nhập granit (phức hệ Ankroet, Định Quán, Đèo Cả). Ngoài ra các đá thuộc tổ hợp này còn tham gia vào các cấu trúc móng Kainozoi, bắt gặp trong các lỗ khoan sâu rải rác trên toàn vùng nghiên cứu bao gồm các khu vực Trà Vinh, An Giang [23]; (2) Tổ hợp thạch kiến tạo rìa thềm lục địa thụ động tuổi Đệ Tứ, tham gia vào Tổ hợp thạch kiến tạo này gồm tổ hợp trầm tích vụn gắn kết yếu hoặc bở rời tuổi Pliocen - Đệ tứ (Hệ tầng Bà Miêu, hệ tầng Năm căn, hệ tầng Nhà Bè, hệ tầng Cần Thơ, các trầm tích Pleistocen - Đệ tứ) phân bố rìa đông bắc, bắc, tây nam và cấu thành nên đồng bằng Sông Cửu Long. Thành phần của Tổ hợp thạch kiến tạo này gồm chủ yếu các đá trầm tích có nguồn gốc lục nguyên là chính, một số thành tạo có nguồn gốc cửa sông, ven biển có ảnh hưởng của thủy triều và sóng. Tổ hợp các thành tạo trầm tích lắng đọng trong các hệ tầng kể trên có nguồn gốc sông, sông biển và biển ven bờ với thành phần chủ yếu là cát thạch anh, bột, sét và ít cuội sỏi, mảnh vỏ sò. Cát thạch anh tương đối tinh khiết phản ánh thời tiết khắc nghiệt, hạ thấp miền nguồn, và vận chuyển xa, lâu dài trên bề mặt lục địa bị bào mòn. Các thành tạo này có đặc điểm theo tính chu kỳ bắt đầu là hạt thô chủ yếu nguồn gốc lục địa, tiếp theo là

mịn dần về phía trên và thành phần chủ yếu lục nguyên nên có thể xếp vào tổ hợp bồn nội lục hoặc rìa thụ động (Hình 1). Các đứt gãy Sông Hậu và Sông Tiền có ảnh hưởng lớn đến hoạt động kiến tạo trong khu vực.

2.2. Phương pháp nghiên cứu

Để xác định các hoạt động kiến tạo hiện đại trong khu vực nghiên cứu, các tác giả sử dụng một tổ hợp các phương pháp như: (i) Tổng hợp các số liệu đã có về địa chất, kiến tạo có liên quan đến kiến tạo hiện đại trong khu vực nghiên cứu; (ii) phân tích ảnh viễn thám để xác định sự biến đổi hình dáng, hướng chảy của sông; (iii) khảo sát thực địa, thu thập các dữ liệu về hiện trạng, vị trí các điểm xói lở dọc theo Sông Tiền và Sông Hâu, thu thập các số liệu về kiến tạo hoạt động trong khu vực nghiên cứu như: sự dịch trượt của các đứt gãy, sự xuất lộ các giếng nước nóng….; (iv) mô hình hóa các sơ đồ các số liệu thực địa và các số liệu từ các nghiên cứu trước để thành lập sơ đồ kiến tạo hoạt động, sơ đồ vị trí điểm sạt lở gắn với các đứt gãy hoạt động… từ đó đưa ra các nhận định về mối quan hệ giữa kiến tạo hoạt động và hiện tượng xói lở bờ sông dọc Sông Tiền và Sông Hậu.

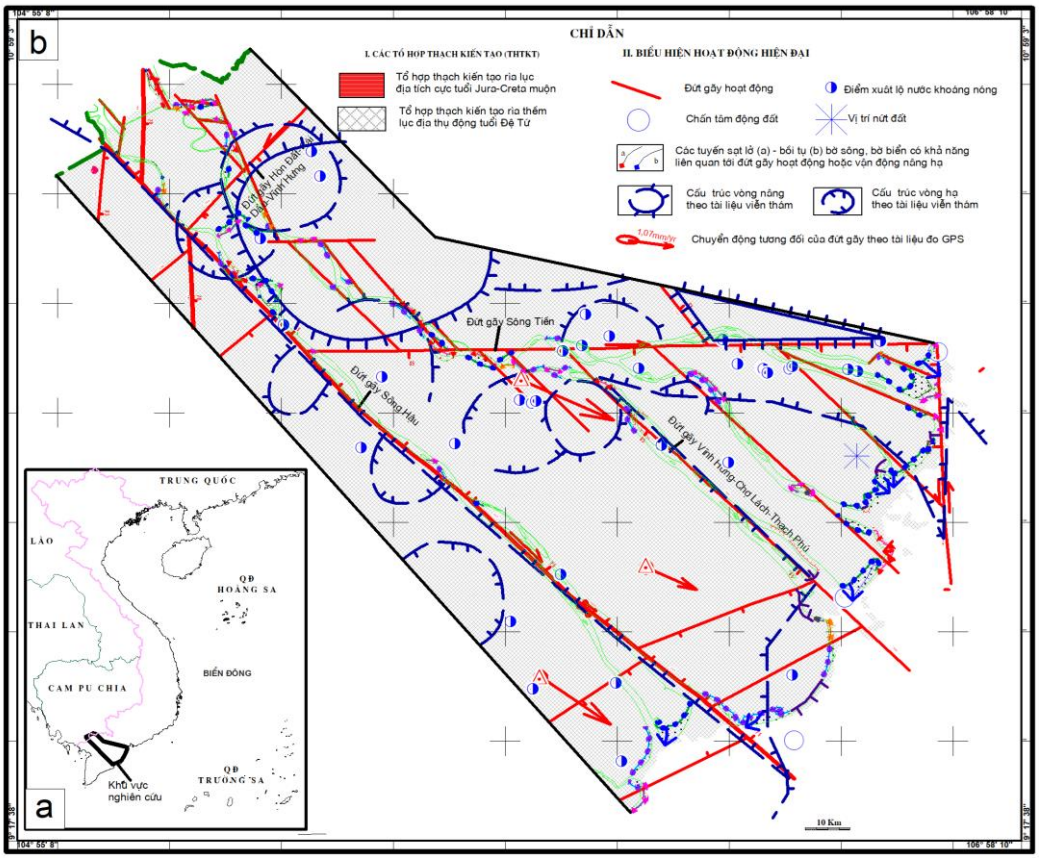
3. Kết quả và thảo luận

3.1. Biểu hiện hoạt động kiến tạo hiện đại trong khu vực dòng chảy Sông Tiền và Sông Hậu

Các dấu hiệu liên quan đến hoạt động kiến tạo hiện đại trong khu vực nghiên cứu thể hiện qua các dấu hiệu địa chất, dấu hiệu địa mạo, các dấu hiệu địa vật lý và các dấu hiệu khác là các tai biến địa chất nổi bật trong vùng.

a) Các đứt gãy hoạt động

Nhiều đứt gãy trẻ thể hiện rõ ràng với sự biến dạng và dịch chuyển các cấu tạo địa chất trẻ hoặc các vỏ phong hóa hiện đại (Hình 1), sự biến dạng các yếu tố địa mạo hiện đại như các bậc thềm, dòng chảy.



Hình 1. (a) Sơ đồ vị trí khu vực nghiên cứu; (b) Sơ đồ kiến tạo và các biểu hiện hoạt động kiến tạo hoạt động trong lưu vực Sông Tiền và Sông Hậu (cập nhật, chỉnh sửa theo tài liệu của [23]).

Các biểu hiện của hoạt động tân kiến tạo dựa trên các dấu hiệu địa chất, trong khu vực nghiên cứu, các đứt gãy có biểu hiện hoạt động (Hình 1).

Đứt gãy sông Hậu có phương tây bắc-đông nam (Hình 1), các biểu hiện hoạt động của đứt gãy Sông Hậu gồm có sự xuất hiện của động đất quan sát được dọc đứt gãy đạt 4,4 độ richter (động đất năm 1967 ở Tây Bắc Châu Đốc thuộc địa phận Cam Pu Chia). Dọc đứt gãy có nhiều điểm nước khoáng với nhiệt độ dưới 30^0 (Mỹ Thới, Cầu Kè, Đại Ngải...). Đứt gãy đóng vai trò định tuyến các rãnh đào khoét trong Holocen với sự tăng cao bề dày từ 35 m đến 76 m ở khu vực Bình Minh kéo dài theo phương phát triển của đứt gãy. Nhìn chung đứt gãy Sông Hậu được đánh giá có biểu hiện hoạt động rất rõ trong hiện đại.

Đứt gãy Vĩnh Hưng - Chợ Lách - Thạnh Phú kéo dài khoảng 220km theo phương tây bắc - đông nam trong phạm vi khu vực nghiên cứu (Hình 1), bị phân ra làm hai đoạn bởi đứt gãy Sông Tiền, đoạn Vĩnh Hưng- Chợ Lách, đoạn Chợ lách - Thạnh Phú. Biên độ dịch móng trầm tích Holocen qua đứt gãy đạt 5m. Biểu hiện động đất dọc theo đứt gãy đoạn Chợ Lách - Thạnh Phú có thể đạt 5,1 độ richter. Theo [23] xu thế biến dạng - ứng suất coulomb cho thấy cánh đông bắc đứt gãy có xu thế nâng lên, cánh tây nam hạ xuống.

Đứt gãy Hòn Đất - Cái Dầu - Vĩnh Hưng kéo dài khoảng 185 km theo hướng đông bắc tây nam trong vùng nghiên cứu (Hình 1), dọc theo đứt gãy không thấy biểu hiện động đất, không biểu hiện rõ trên DEM và ảnh máy bay, ảnh vệ tinh. Biên độ dịch móng trầm tích Holocen đạt 2 m. Xu thế biến dạng-ứng suất coulomb cho thấy có sự xen kẽ, phân dị các vùng nâng và sụt trượt dọc theo phương phát triển của đứt gãy. Đứt gãy Hòn Đất - Cái Dầu - Vĩnh Hưng được đánh giá chung là hoạt động rõ trong hiện đại [23]. Dọc theo đứt gãy xuất lộ 8 điểm nước khoáng và nước nóng: Ở khu vực Vĩnh Hưng, khu vực Mỏ Cày với nhiệt độ 36-39^{o}C, khu vực Tân Thạnh với nhiệt độ 34^{o}C, khu vực Hưng Thạnh với nhiệt độ 34^{o}C, khu vực Hòa Hưng với nhiệt độ 37^{o}C, khu vực Long Hồ với nhiệt độ 37^{o}C và ở khu vực Bến Tre. Đứt gãy Vĩnh Hưng - Chợ Lách - Thạnh Phú được đánh giá chung là hoạt động rõ trong hiện đại.

Hình 2. Hoạt động của đứt kiến tạo hoạt động dọc theo đứt gãy Sông Tiền làm dịch chuyển, biến dạng các thành tạo trầm tích trẻ tại vị trí khảo sát có tọa độ 10°19’28.0” - 106°14’42.0”.

Đứt gãy Sông Tiền, kéo dài khoảng 140 km theo phương vĩ tuyến. Dọc theo đứt gãy có biểu hiện động đất quan sát được năm 1965 đạt 4,6 độ richter, xuất lộ 11 điểm nước khoáng và nước nóng dọc theo đứt gãy ở khu vực Hòa Hưng đạt nhiệt độ 37^{o}C, ở khu vực Thân Cửu Nghĩa đạt nhiệt độ 35,5^{o}C, ở khu vực Bình Xuân - Gò Công đạt nhiệt độ 35^{o}C, ở khu vực

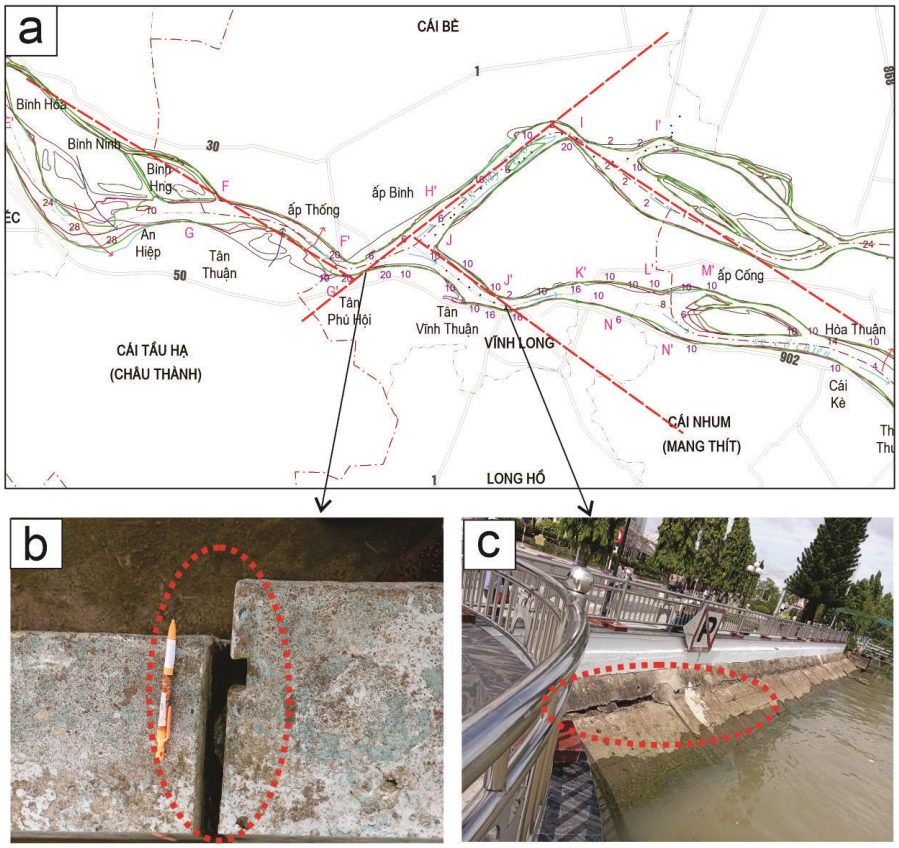
Đồng Sơn đạt nhiệt độ 36°C, khu vực Cai Lậy đạt nhiệt độ 36°C, và ở khu vực Chợ Gạo, khu vực Trung Lương, ở khu vực Tân Mỹ Chánh. Xu thế biến dạng - ứng suất coulomb cho thấy đứt gãy Sông Tiền có sự đan xen nâng - ổn định ở cánh bắc và hạ - sụt trượt ở cánh nam. Có sự tăng cao bề dày trầm tích Holocen dọc đứt gãy đạt giá trị 40-60 m [23]. Ngoài ra, dấu hiệu trực tiếp của chuyển động hiện đại dọc đứt gãy sông tiền còn thể hiện ở sự dịch trượt của các thành tạo trầm tích trẻ như tại vị trí khảo sát có tọa độ 10°19’28.0”N 106°14’42.0”E (Hình 2). Như vậy, đứt gãy Sông Tiền được đánh giá chung là hoạt động rõ trong hiện đại.

b) Các dấu hiệu khác

+ Dấu hiệu động đất: Theo các nghiên cứu cho thấy vùng Tây Nam Bộ cũng từng xảy ra động đất ở một số khu vực, dọc theo một số đứt gãy hoạt động nêu trên [24–26]. Các động đất này thường có cường độ từ Ms = 1,3-2,7 độ richter đến 3,9-7,5 độ richter. Hầu hết các hoạt động động đất trong vùng đều có thể xảy ra các phá hủy tài sản, đất đai và có thể còn xảy ra sóng thần.

Về thời gian, địa điểm, cường độ của các trận động đất là rất khó dự báo, nhưng có thể dự báo chính xác nguồn phát sinh động đất cho từng vùng. Theo kết quả nghiên cứu [25], khu vực Tây Nam Bộ có khả năng xuất hiện các trận động đất với mức trung bình - yếu, chịu ảnh hưởng cực đại phát sinh động đất tới 6,2 độ richter, trung bình là 5,5 độ richter, chu kỳ lặp lại khoảng 300-400 năm. Tuy nhiên, động đất là vấn đề cũng rất cần được thường xuyên theo dõi, vì đây là tiềm ẩn của thảm họa thiên nhiên rất lớn, đặc biệt ảnh hưởng kép biến khí hậu, nước biển dâng cộng với sụt lún, nâng hạ, phân dị.

+ Dấu hiệu địa mạo phản ánh hoạt động tân kiến tạo là sự biến đổi bất thường của các yếu tố địa mạo trong khu vực, bao gồm sự dịch chuyển đột ngột của các dòng chảy, sống núi, sự tập trung có quy luật của dòng chảy, sự định hướng của dòng chảy hoặc các thung lũng, các chuỗi vách kiến tạo tam giác dạng tuyến tính… Những dấu hiệu này được phát hiện trên ảnh viễn thám, mô hình DEM kết hợp với các khảo sát thực địa để xác định sự tồn tại và bản chất của các đứt gãy cũng như quan hệ của chúng với các yếu tố địa mạo, thủy văn.



Hình 3. (a) Đoạn sông có hướng chảy thay đổi tại vị trí đi qua thành phố Vĩnh Long do hoạt động của đứt gãy Sông Tiền, (b, c) Bờ kè bị phá hủy do hoạt động của đứt gãy Sông Tiền.

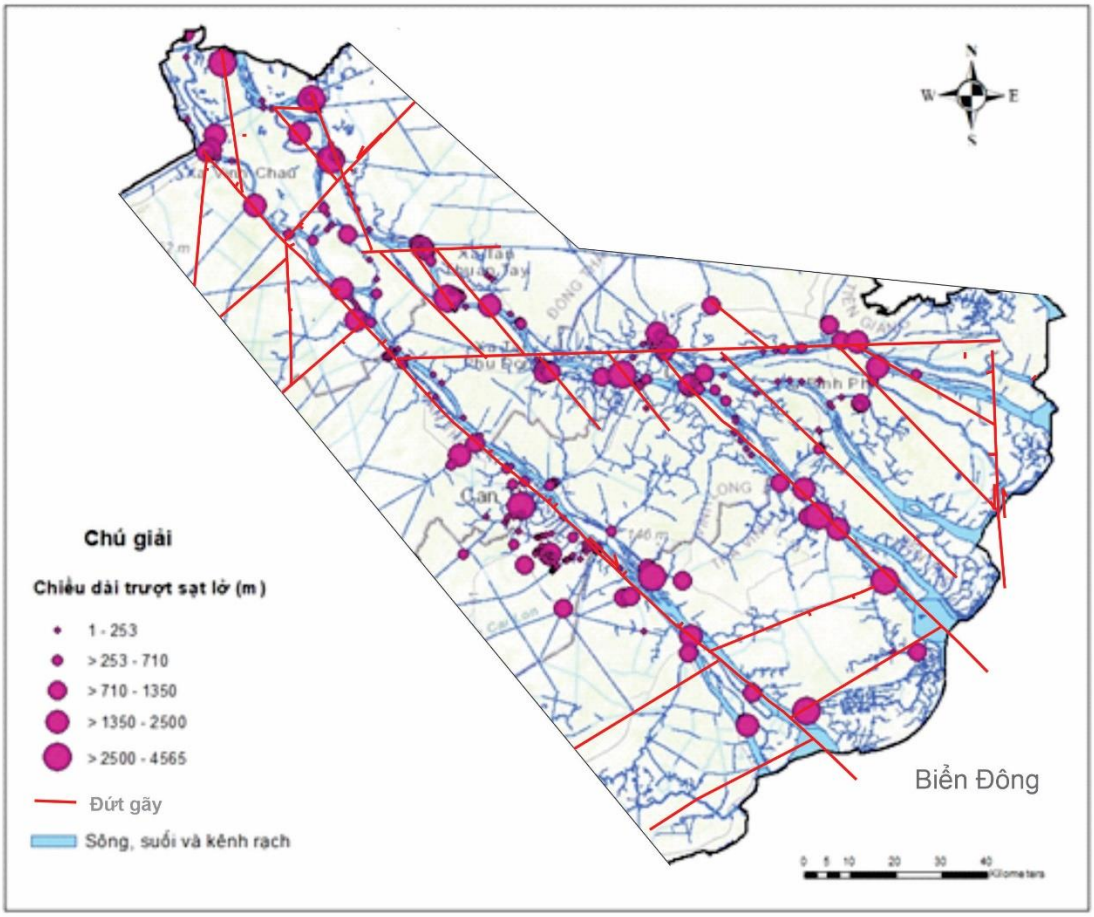
Hoạt động tân kiến tạo biểu hiện thông qua sự biến đổi dòng chảy của Sông Tiền quan sát được ở nhiều khu vực khác nhau, khu vực thành phố Vĩnh Long (Hình 3) là một ví dụ tương đối rõ ràng. Tại đây dòng sông đang chảy theo hướng đông nam bị đổi dòng đột ngột lên hướng đông bắc sau đó quay lại hướng đông nam, hiện tượng bồi tụ không theo quy luật bên lở bên bồi, xói lở bờ sông xảy ra rất mạnh, mặc dù bờ sông đã được kè, vẫn tiếp tục bị nứt vỡ qua nhiều năm (Hình 3b, 3c). Khảo sát thực tế đã xác định sự giao cắt giữa hai đứt gãy là đứt gãy có phương đông bắc-tây nam cắt đứt gãy phương tây bắc - đông nam tạo nên một đới sạt lở, phá hủy bờ rất mạnh mặc dù bờ đã được kè chắc chắn.

+ Dị thường địa hoá

Kết quả nghiên cứu trước đây [23] về dị thường khí radon (Rn), thủy ngân (Hg) trong khu vực nghiên cứu cho thấy sự xuất hiện của 08 đới dị thường khí radon đã khẳng định biểu hiện hoạt động hiện đại của các đứt gãy (Hình 1).

3.2. Mối quan hệ giữa chuyển động kiến tạo hiện đại và sạt lở bờ sông

Cho đến nay nhiều công trình nghiên cứu đã phân tích và xác định nguyên nhân ngoại sinh và nhân sinh dẫn đến các hiện tượng xói lở bờ sông, bờ biển trong khu vực Tây Nam Bộ [11–13, 21, 27]. Tuy nhiên còn một yếu tố đóng vai trò quan trọng trong việc phát triển các hiện tượng xói lở, biến đổi dòng chảy trong khu vực dòng chảy Sông Tiền và Sông Hậu là chuyển động kiến tạo hiện đại của vỏ trái đất, đặc biệt là các đứt gãy hoạt động lại chưa được nghiên cứu đầy đủ. Hoạt động kiến tạo hiện đại đã được nhiều nhà khoa học trên thế giới nghiên cứu và đánh giá là có ảnh hưởng to lớn đến hình thái của các dòng chảy, các đứt gãy hoạt động làm cho kết cấu của bờ và tính chất cơ lý của đất đá cấu thành nên bờ sông yếu đi, độ gắn kết của các tập trầm tích cũng giảm xuống, do đó bờ sông càng dễ bị xói lở [15–19].



Hình 4. Sơ đồ tương quan giữa vị trí và quy mô các điểm xói lở trong vùng nghiên cứu với các đứt gãy hoạt động cho thấy hầu hết các điểm xói lở mạnh thường xảy ra ở vị trí giao nhau của các đứt gãy hoặc các vị trí đứt gãy hoạt động mạnh.

Khu vực dòng chảy Sông Tiền và Sông Hậu có các hoạt động kiến tạo diễn ra khá mạnh mẽ với bốn đứt gãy hoạt động chính là đứt gãy Sông Tiền, đứt gãy Sông Hậu, đứt gãy Vĩnh Hưng - Chợ Lách - Thạnh Phú và đứt gãy Hòn Đất - Cái Dầu - Vĩnh Hưng, cùng với đó là nhiều các đứt gãy nhỏ khác và các điểm sụt kiến tạo (Hình 1b). Theo kết quả thống kê từ năm 1966 đến 2015, quá trình trượt sạt lở và bồi tụ đất bờ sông Tiền, sông Hậu và các kênh rạch diễn biến rất phức tạp và xuất hiện rất nhiều điểm trượt sạt lở mạnh tại nhiều vị trí nằm trong vùng nghiên cứu. Kết quả của quá trình trượt sạt lở cũng dẫn đến hình thành nên các vị trí bồi tụ dọc hai bên bờ sông. Rất nhiều vị trí xói lở bờ sông đã được ghi nhận như lưu vực Sông Tiền qua Sa Đéc, Đồng Tháp bị sạt lở với chiều dài 10390 m, còn lưu vực Sông Hậu sạt lở mạnh nhất ở An Lương, Mỹ Lương, An Giang với chiều dài là 6413 m [7]. Trong giai đoạn từ 1966-1990, hiện tượng sạt lở diễn ra mạnh mẽ nhất tại Long Đức, Trà Vinh với chiều dài 406 m, tổng chiều dài sạt lở trong giai đoạn này là 1840 m. Giai Đoạn tử 1990 đến 2015 đã ghi nhận hàng trăm điểm sạt lở dọc theo bờ Sông Tiền và Sông Hậu trong đó những khu vực sạt lở mạnh như Chợ Mới, An Giang, An Lượng-Mỹ Lương, Phú Hòa, Tân Châu hay Long Xuyên. Tổng chiều dài sạt lở hơn 10000 m (Hình 4).

Trong giai đoạn từ 2015 đến nay, số liệu thống kê cho thấy hiện tượng sạt lở bờ sông vẫn diễn ra hết sức nghiêm trọng với chiều dài sạt lở trung bình khoảng 542 m/điểm. Hiện tượng trượt sạt lở diễn ra ở hầu hết các tỉnh trong vùng nghiên cứu. Theo số liệu của Bộ Nông nghiệp và Phát triển nông thôn, có những vị trí trượt sạt lở có thể kéo dài tới 4565 m (https://satlov2.vndss.com/). Trong hai đợt điều tra thực địa năm 2022 và năm 2023, các tác giả thấy nguy cơ trượt sạt lở vẫn tiếp tục xảy ra kể cả tại những vị trí bờ sông có các công trình kè bởi vì các bờ kè có xuất hiện nhiều vết nứt và có dấu hiệu lan rộng ra (Hình 3).

Hình 5. (a) Điểm sạt lợ tại khu vực Vũng Liêm, Vĩnh Long, nằm trên đứt gãy hoạt động Vinh Hưng-Chợ Lách-Thạch Phú; (b) Điểm sạt lở tại khu vực gần Thành phố Cần Thơ trong khu vực chịu ảnh hưởng của Đứt gãy Sông Hậu.

Kết quả khảo sát thực địa và sơ đồ mô hình hóa vị trí các điểm sạt lở với các đứt gãy hoạt động trong khu vực dòng chảy Sông Tiền và Sông Hậu (Hình 4) cho thấy, hầu hết các điểm sạt lở mạnh trong khu vực nghiên cứu đều phân bố dọc các đới đứt gãy kiến tạo hoạt động. Các đoạn sông bị xói lở mạnh thường phân bố ở những điểm giao nhau của các đứt gãy (Hình 2, 3, 4, 5) hoặc các vị trí sụt kiến tạo (Hình 1b, Hình 4).

Tại thành phố Vĩnh Long, nơi được đánh giá là vị trí đứt gãy Sông Tiền đang hoạt động mạnh và đồng thời cũng là nơi giao nhau gữa đứt gãy Sông Tiền và đứt gãy Vĩnh Hưng - Chợ Lách - Thạch Phú hoặc các đứt gãy nhánh khác (Hình 1b, Hình 4), hiện tượng xói lở bờ diễn ra rất mạnh mẽ với những đoạn xói lở dài trên 1000 m (Hình 4), những đoạn bờ sông đã được kè chắc chắn cũng nhanh chóng bị hư hỏng do các hoạt động kiến tạo hiện đại gây nên

(Hình 3). Ngoài ra, dọc theo đứt gãy Vĩnh Hưng - Chợ Lách - Thạch Phú cũng xuất hiện các điểm xói lở mạnh, chiều dài sạt lở trên 1000m cũng gặp ở nhiều vị trí như Đức Mỹ, Long Đức...Các điểm sạt lở mạnh cũng diễn ra dọc theo đứt gãy hoạt động Hòn Đất - Cái Dầu - Vĩnh Hưng và đứt gãy Sông Hậu như khu vực Hồng Ngự, Đồng Tháp, Châu Đốc An Giang hay xung quanh thành phố Cần Thơ (Hình 3, 4, 5).

4. Kết luận

Khu vực dòng chảy Sông Tiền và Sông Hậu đang chịu tác động mạnh mẽ bởi các hoạt động kiến tạo hiện đại với một loạt các biểu hiện đặc trưng như sự xuất hiện của các đứt gãy hoạt động (đứt gãy Sông Tiền, đứt gãy Sông Hậu, đứt gãy Vĩnh Hưng - Chợ Lách - Thạnh Phú, đứt gãy Hòn Đất - Cái Dầu - Vĩnh Hưng …), sự xuất hiện của các trận động đất, xuất lộ các giếng nước khoáng nóng hay dị thường về khí radon, thủy ngân. Các hoạt động kiến tạo hiện đại này đã tác động và làm nghiêm trọng hơn quá trình sạt lở, sói mòn dọc theo bờ của hai con sông lớn là Sông Tiền và Sông Hậu. Hiện tượng sạt lở, sói mòn diễn ra mạnh mẽ ở phần giao của các đứt gãy hoạt động hoặc dọc theo các vị trí mà đứt gãy hoạt động mạnh mẽ như tại Châu Đốc hoặc thành phố Vĩnh Long….

Trong nghiên cứu này chúng tôi không loạt trừ nguyên nhân gây sạt lở, xói mòn dọc bờ sông do các nguyên nhân nhân sinh như khai thác cát sông, sự thiếu hụt trầm tích do xây dựng các đập thủy điện ở thượng nguồn hoặc do tác động của quá trình biến đổi khí hậu. Tuy nhiên, chúng tôi có thể khẳng định rằng, vận động kiến tạo hiện đại cũng đóng vai trò quan trọng trong việc xuất hiện các điểm sạt lở, xói mòn dọc theo dòng chảy của Sông Tiền và Sông Hậu.

Đóng góp của tác giả: Xây dựng ý tưởng nghiên cứu: B.V.H., T.T.H.; Thu thập, sử lý số liệu: N.T.K.C., P.V.B., V.A.Đ., T.Q.T., B.T.T.H.; Viết bản thảo bài báo: B.V.H., T.T.H.M.; Chỉnh sửa bài báo: N.T.K.C., T.T.H.M.

Lời cảm ơn: Nghiên cứu này được tài trợ bởi Bộ Giáo dục và Đào tạo cho đề tài mã số CT.2022.01.MDA.01.

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

Tài liệu tham khảo

1. Encyclopedia of Coastal Science. Springer, Chapter 1: Tectonics and neotectonics. 2005. doi:10.1007/1-4020-3880-1. ISBN 978-1-4020-1903-6.
2. Hancock, P.L.; Williams, G.D. Neotectonics. *J. Geo. Soci.*, **1986**, *143*, 325–326. doi: 10.1144/gsjgs.143.2.0323.
3. Wu, Z.; Hu, M. Neotectonics, active tectonics and earthquake geology: terminology, applications and advances. *J. Geo*. **2019**, *127*, 1–15.
4. Stewart, I. Neotectonics. *Tecto*. **2015**, 425–428.
5. National Research Council (NRC). Active tectonics: Impact on society. Study in Geophysics. The National Academic Press, 1986.
6. Burbank, D.W.; Anderson, R.S. Tectonic geomorphology. Blackwell Science, 2011.
7. Bhattarai, I.; Gani, N.D.; Xue, L. Geomorphological responses of rivers to active tectonics along the Siwalik Hills, Midwestern Nepalese Himalaya. *J. Mt. Sci*. **2021**, *18*, 1286–1294.
8. Muhammad, R.P.S.; Emi, S.; Nana, S.; Agus, D.H. Assessment of active tectonic from morphometric properties in Krueng Raya watershed, Aceh Besar, Indonesia. *Eng. Let*. **2022**, *30*, 30320.
9. Lu, P.; Shang, Y. Active tectonic revealed by river profiles along the Puqu fault. *Wat.* **2015**, *7*, 1628–1648.

10. Wassmann, R.; Hien, N.X.; Hoanh, C.T.; Tuong, T.P. Sea level rise affecting the vietnamese Mekong Delta: water elevation in the flood season and implications for rice production. *Clim. Cha*. **2004**, *66*, 89–107.
11. Park, E. Sand mining in the Mekong Delta: Extent and compounded impacts. *Sci. To. Envi*. **2024**, *924*, 171620. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.171620.
12. Kondolf, G.M.; Rubin. Z.K.; Minear, J.T. Dams on the Mekong: cumulative sediment starvation. *Water Resour. Res*. **2014**, *50*, 5158–5169.
13. Minh, D.; Van Trung, L.; Toan, T. Mapping ground subsidence phenomena in Ho Chi Minh City through the radar interferometry technique using ALOS PALSAR data. *Rem. Sens*. **2015**, *7*, 8543–8562.
14. Anthony, E.J.; Brunier, G.; Besset, M.; Goichot, M.; Dussouillez, P.; Nguyen, V.L. Linking rapid erosion of the Mekong River delta to human activities. *Sci. Rep*. **2015**, *5*, 14745. https://doi.org/10.1038/srep14745.
15. Kirby, E.; vaf Whipple, K.X. Expression of active tectonics in erosional landscapes. *Jr. Stru. Geo*. **2012**, *44*, 54–75.
16. Mentes, G.; Theilen-Willige, B.; Papp, G.; Síkhegyi, F.; Újvári, G. Investigation of the relationship between subsurface structures and mass movements of the high loess bank along the River Danube in Hungary. *J. Geo.* **2009**, *47*, 130–141.
17. Sarma, J.N.; Acharjee, S. Bank erosion of the Brahmaputra River and Neotectonic activity around Rohmoria Assam, India. *Com. Geo*. **2012**, *99*, 33–38.
18. Archana, S.; Bijoylakshmi, G.; Devojit, B.; Neelratan, S. Assessment of active tectonics in the Siwalik basin around the Subansiri river, NE India. *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.* **2022**, *1032*, 012043.
19. Perucca, L.P.; Rothis, M.; Vargas, H.N. Morphotectonic and neotectonic control on river pattern in the Sierra de la Cantera priedmount, central Precordillera, province of San Juan, Argentina. *Geomor*. **2014**, *204*, 673–682. doi: 10.1016/j.geomorph.2013.09.014.
20. Dhali, M.K.; Chakrabarty, P. An introspect of neotectonic response on channel bars morphodynamic of the rivers in Darjeeling Himalayan piedmont zone, India. *Geo. Eco. Lands* **2022**, 1–20. https://doi.org/10.1080/24749508.2022.2158558.
21. Clark, P.U.; Shakun, J.D.; Marcott, S.A.; Mix, A.C.; Eby, M. Consequences of twenty-first-century policy for multi-millennial climate and sea-level change. *Nat. Cli. Change* **2016**, *6*, 360–369.
22. Tâm, N.Đ.; Tuyết, Đ. Địa chất Đệ tứ Việt Nam (Thuyết minh bản đồ địa chất Đệ tứ Việt Nam, tỷ lệ 1:500.000. Lưu trữ Trung tâm thông tin lưu trữ địa chất. Tổng cục Địa chất và Khoáng sản Việt Nam, 1994.
23. Vĩnh, Đ.V. và cs. Báo cáo điều tra đánh gia địa động lực hiện đại để hoàn thiện kịch bản biến đổi khí hậu và đề xuất các giải pháp thích ứng ở đồng bằng sông Cửu Long. Trung tâm lưu trữ địa chất. 2016.
24. Lĩnh, Đ.V. Lịch sử phát triển kiến tạo Kainozoi lãnh thổ nam Trung Bộ và mối liên quan với động đất. Luận án tiến sỹ địa chất. Thư viện Khoa học Tổng hợp Tp. Hồ Chí Minh, 2010, tr. 186.
25. Xuyên, N.Đ. Địa chất kiến tạo và các vùng phát sinh động đất mạnh trên lãnh thổ Việt Nam. Viện Vật lý Địa cầu, Viện Khoa học công nghệ Việt Nam, Bộ Khoa học công nghệ Việt Nam, 2004.
26. Triều, C.Đ.; Long, P.H.; Lĩnh, Đ.V.; Dũng, L.V.; Trọng, C.Đ. Địa động lực hiện đại lãnh thổ Việt Nam. Nhà xuất bản khoa học tự nhiên và công nghệ, 2013.
27. Hai, T.T.; Chi, N.T.K.; Hau, B.V.; Binh, N.V.; Thao, N.T.; Hien, H.T.; Nam, N.X.; Do, H.N.T. Neotectonic activities and its significance to river-course evolution: implication for the Cai river catchment, Ninh Thuan province, South-Central Vietnam. *Lec. Not. Civ. Eng*. **2020**, *108*, 1–17.

Active tectonic activities in the Tien and Hau River flow areas, relationship with river bank erosion

Bui Vinh Hau[1]*, Tran Thi Hong Minh[2], Tran Thanh Hai[1], Ngo Thi Kim Chi[1], Phan Van Binh[1], Vu Anh Dao[1], Tran Quang Tuan[1], Bui Thi Thu Hien[1]

[1] Hanoi University of Mining and Geology; buivinhhau@humg.edu.vn; tranthanhhai@humg.edu.vn; ngothikimchi@humg.edu.vn; phavanbinh@humg.edu.vn; vuanhdao@humg.edu.vn; tranquantuan@humg.edu.vn; buithithuhien@humg.edu.vn
[2] Hanoi University of Naturel Resources and Environment; tthminh@hunre.edu.vn

Abstract: This article study the activity of active tectonics in the Tien River and Hau River basin based on direct signs such as displacement of young sediments, earthquakes, radon, mercury gas release, or indirect signs such as sudden changes in flow, the appearance of hot springs, etc. Research results show that tectonic activity in the area is strong with four main active faults, the Song Tien fault, Song Hau fault, Vinh Hung - Cho Lach - Thanh Phu fault and Hon Dat - Cai Dau - Vinh Hung fault. The activity of these faults aggravates river bank erosion in the area, especially at the intersections of the faults. This shows that in addition to human factors such as river sand exploitation, the lack of sediment due to the construction of hydroelectric dams upstream or due to the impact of climate change, active tectonic activities also has a great impact causing geological hazard such as flow changes and river bank erosion in the Tien and Hau River areas.

Keywords: Active tectonic; Riverbank erosion; Tien river; Hau river.

Table of content

1 Hanh, N.T.B.; Tap, V.H.; Minh, D.V.; Phuong, T.M. Effects of some environmental factors on the ability to simultaneously immobilize Pb, Cd and Cr in contaminated soil using Mg/Al LDH-zeolite material. *J. Hydro-Meteorol.* **2024**, *763*, 1–12.

13 Son, D.H.; Linh, B.H.; Duc, N.A.; Phuong, T.A. Quantitative assessing impacts of climate change and upstream developments on saltwater intrusion in the Vietnam Mekong Delta. *J. Hydro-Meteorol.* **2024**, *763,* 13–23.

24 Ngoc, T.M.; Kha, D.D.; Tuan, N.C.; Nhu, N.Y. Assessing the precision of CMORPH satellite-derived precipitation in the Lam river basin. *J. Hydro-Meteorol.* **2024**, *763*, 24–34.

35 Tri, D.Q.; Nhat, N.V.; Tuyet, Q.T.T. Applying an analytic hierarchy process and a geographic information system establishing riverbank failure risk zoning maps at Ca Mau Peninsula. *J. Hydro-Meteorol.* **2024**, *763*, 35–47.

48 Hue, L.T.; Dat, D.T.; Thom, D.T.H.; Thuy, P.T.D.; Lan, N.T.; Hoa, D.T.N.; Huyen, V.T.T. Applying rain forecasts from the WRF3KM-IFS-DA model to improve the effectiveness of urban flood forecasting and warning. *J. Hydro-Meteorol.* **2024**, *763*, 48–65.

66 Anh, T.N.T.; Hien, L.T.D. Using remote sensing to estimate NO_3^- concentration of Tri An reservoir, Dong Nai Provine. *J. Hydro-Meteorol.* **2024**, *763*, 66–77.

78 Dung, H.M.; An, T.C.; Tam, N.T. Study on air quality management by using model tools in Phu My 2 and Phu My 2 expanded industrial parks, Ba Ria - Vung Tau Province. *J. Hydro-Meterol.* **2024**, *763,* 78–91.

92 Hau, B.V.; Minh, T.T.H.; Hai, T.T.; Chi, N.T.K.; Binh, P.V.; Dao, V.A.; Tuan, T.Q.; Hien, B.T.T. Active tectonic activities in the Tien and Hau River flow areas, relationship with river bank erosion. *J. Hydro-Meterol.* **2024**, *763,* 92–101.