

TẠP CHÍ

KHÍ TƯỢNG THỦY VĂN

Vietnam Journal of Hydro - Meteorology

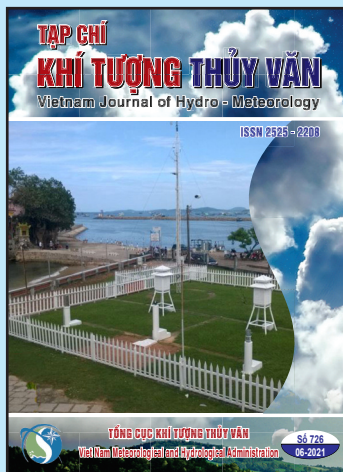
ISSN 2525 - 2208



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

Số 726

06-2021



Q. TÔNG BIÊN TẬP

TS. Đoàn Quang Trí

Trị sự và Phát hành

Đặng Quốc Khánh

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

Giấy phép xuất bản

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

Tòa soạn

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

Chế bản và In tại:

Công ty TNHH Đầu tư Nông nghiệp Việt Nam
ĐT: 0243.562.4399

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

Giá bán: 25.000 đồng

TẠP CHÍ KHÍ TƯỢNG THỦY VĂN

SỐ 726 - 6/2021

MỤC LỤC

Bài báo khoa học

- 1 Phạm Lê Phương, Lê Trung Hưng, Mạnh Xuân Huy, Triệu Văn Linh, Nguyễn Xuân Hoài, Hải Hồng Phan, Vũ Hải:** Xây dựng giải pháp công nghệ nhận dạng gián đồ khí tượng thủy văn
- 12 Nguyễn Tuấn Anh, Nguyễn Minh Kỳ, Nguyễn Ninh Hải, Bạch Quang Dũng:** Đánh giá hiện trạng và rủi ro do vi sinh vật trong nước sinh hoạt khu vực ven đô thị: Nghiên cứu điển hình ở Pleiku, tỉnh Gia Lai, Việt Nam
- 25 Đặng Trường An:** Khả năng áp dụng các công thức bán thực nghiệm bùn cát đáy cho lưu vực sông có địa hình đáy dốc
- 36 Nguyễn Văn Hồng, Đặng Trường An:** Đánh giá diễn biến hình thái sông dựa trên sự kết hợp mô hình hóa và phân tích ảnh viễn thám
- 47 Đặng Trường An:** Phát triển mô hình thủy văn tham số phân bố MARINE trong bài toán dự báo lũ, áp dụng thí điểm cho lưu vực sông Nậm Mu
- 57 Lê Hoài Nam, Hồ Công Toàn, Phạm Thanh Long:** Đánh giá tác động của biến đổi khí hậu đến tiềm năng khai thác khoáng sản tỉnh Bình Phước
- 70 Nguyễn Thị Liễu, Nguyễn Đăng Tiến:** Nghiên cứu phân vùng khí hậu nông nghiệp phục vụ mục đích chuyển đổi cơ cấu cây trồng tỉnh Tuyên Quang
- 78 Trần Thị Kim, Nguyễn Khắc Thành Long, Nguyễn Văn Phước, Nguyễn Kỳ Phùng, Nguyễn Thị Bầy:** Xây dựng mô hình thủy động lực và vận chuyển bùn cát lơ lửng trên hệ tọa độ cong – Kiểm nghiệm mô hình với lời giải tích

Xây dựng giải pháp công nghệ nhận dạng giản đồ Khí tượng thủy văn

Phạm Lê Phương^{1*}, Lê Trung Hưng¹, Mạnh Xuân Huy², Triệu Văn Linh³, Nguyễn Xuân Hoài³, Hải Hồng Phan⁴, Vũ Hải⁵

¹ Trung tâm Thông tin và Dữ liệu KTTV; phuongpl80@gmail.com; hungtttl@gmail.com

² Trường Đại học Bách Khoa Hà Nội; mxhuysnowy@gmail.com

³ Viện AI Academy Việt Nam; nxhoai@gmail.com; trieuvanlinh04101998@gmail.com

⁴ Học Viện Kỹ thuật Quân Sự; hongpth@lqdtu.edu.vn

⁵ Viện Điện tử – Viễn Thông, Trường Đại học Bách Khoa Hà Nội; hai.vu@hust.edu.vn

*Tác giả liên hệ: phuongpl80@gmail.com; Tel.: +84–912353680

Ban Biên tập nhận bài: 25/3/2021; Ngày phản biện xong: 4/5/2021; Ngày đăng bài: 25/6/2021

Tóm tắt: Giản đồ khí tượng thủy văn ghi chép lại thông tin, số liệu đo đạc của lượng mưa, mực nước, độ ẩm, nhiệt độ và các loại thông số đo đạc khác. Các thông số này được thu thập từ các trạm đo lường KTTV trên toàn quốc. Việc lưu trữ các thông tin này là cực kì quan trọng nhằm phục vụ cho mục đích nghiên cứu và dự báo thời tiết và thiên tai trong tương lai. Tuy nhiên, hiện nay việc lưu trữ của các loại giản đồ đang ở dạng truyền thống; việc đọc dữ liệu lại phụ thuộc người có chuyên môn. Do đó, khó bảo đảm về tính toàn vẹn của dữ liệu theo thời gian. Bài báo này đưa ra giải pháp nhận dạng giản đồ tự ghi và tách các thông tin giản đồ bằng công nghệ thị giác máy, giúp việc lưu trữ và số hóa dữ liệu giản đồ một cách tự động. Giải pháp tích hợp thuật toán phân tích cấu trúc trang, thuật toán phát hiện lưới và căn chỉnh kết hợp thuật toán phát hiện line và các đối tượng trong giản đồ để tách line. Bằng thực nghiệm, phương pháp đã đạt được độ chính xác cao, hơn 90% giản đồ có thể số hóa, trong đó bao gồm các loại giản đồ lượng mưa, mực nước, độ ẩm, áp suất và nhiệt độ.

Từ khóa: Giản đồ Khí tượng, thủy văn; Nhận dạng; Xử lý ảnh; Thị giác máy.

1. Mở đầu

Theo Tổng cục Khí tượng Thủy văn (Bộ Tài nguyên và Môi trường), đến nay mạng lưới quan trắc khí tượng thủy văn (KTTV) hiện có là 1.719 trạm điểm đo trên toàn quốc, trong đó trong giai đoạn 2010–2020 mới có 40% các trạm được đầu tư tự động hóa [1]. Còn gần 60% (hơn 1000) các trạm vẫn đang vận hành theo các phương pháp và kỹ thuật cũ. Tại mỗi trạm quan trắc một lượng dữ liệu quan trắc rất lớn được thu nhận liên tục hàng ngày như nước, áp suất, độ ẩm, nhiệt độ... Do đó, vấn đề lưu trữ và xử lý thông tin rất khó khăn. Ngay cả khi các trạm được đầu tư toàn bộ với quy trình tự động hóa hết thì việc lưu trữ và xử lý các dữ liệu trước đó là rất quan trọng, phục vụ dự báo và cảnh báo về các thiên tai trong tương lai có thể xảy ra cũng như làm giảm thiểu tối đa thiệt hại do thiên tai gây ra [2–3].

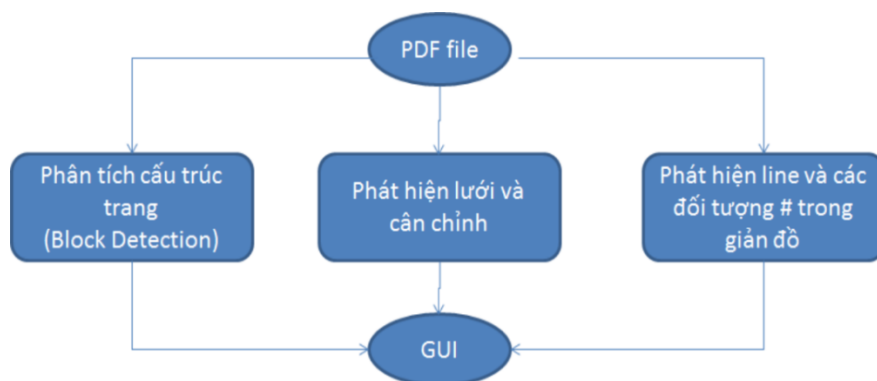
Việt Nam thuộc nhóm quốc gia đang phát triển, chủ chương của nước ta là hướng tới phát triển và ứng dụng công nghệ 4.0. Cũng như vậy, lĩnh vực KTTV cũng cần một cuộc chuyển đổi số với toàn bộ quy trình [4–6]. Tuy nhiên, hiện nay với số lượng tài liệu giản đồ và sổ sách khổng lồ được lưu trữ từ hàng chục năm về trước đang là vấn đề nan giải cho công cuộc chuyển đổi số. Nhiều nghiên cứu trên thế giới tập trung đề giải quyết các bài toán xử lý dữ liệu khí tượng thủy văn [7–12]. Do đó, nghiên cứu này đưa giải pháp để số hóa

giản đồ sử dụng công nghệ xử lý ảnh hiện đại, công nghệ thị giác máy để nhận dạng và trích xuất thông tin từ giản đồ. Phương pháp áp dụng thực nghiệm cho các loại giản đồ lượng mưa, mực nước, áp suất không khí, nhiệt độ, độ ẩm.

Giải pháp được đưa ra trong nghiên cứu này theo hướng tiếp cận chính sử dụng các kỹ thuật phân tích ảnh và nhận dạng tự động để tách các đường line ghi trong giản đồ. Kết quả của quá trình này sẽ tách được line và nền từ đó giúp việc đọc dữ liệu được chính xác. Thuật toán áp dụng cho các loại giản đồ tự ghi thông dụng như giản đồ mưa, nhiệt, ẩm, áp và lượng nước. Thuật toán tính toán nhanh có thể xử lý quy trình đọc vào tập file ảnh đã được scan, số hóa thông tin để tách được line và thước đo làm đầu vào cho giao diện GUI tiếp theo.

Các kết quả thực nghiệm trên năm loại giản đồ cho thấy kết quả tách line sai lệch trung bình chưa đến 2% trong các loại giản đồ với chất lượng scan tốt; đường line và các đối tượng trong giản đồ được tách chuẩn xác từ giản đồ giúp việc đọc các mốc thời gian và giá trị đo tốt. Thời gian xử lý việc tách line và các đối tượng tương đối nhanh, đảm bảo thời gian xử lý của kỹ thuật viên. Từ kết quả của giải pháp, làm đầu vào để xây dựng công cụ DigiMeto [14] trợ giúp đọc giản đồ tự ghi khí tượng thủy văn và đã rút ngắn đáng kể thời gian đọc thủ công; đồng thời cho phép tùy chỉnh các tham số theo yêu cầu người dùng. Việc giải pháp số hóa này làm tiền đề cho việc số hóa các loại tài liệu KTTV khác đang lưu trữ tại Tổng cục Khí tượng Thủy văn.

Hình 1 mô tả cấu trúc tổng thể của giải pháp. Để nhận dạng giản đồ phục vụ đọc dữ liệu, nghiên cứu này đề xuất tích hợp thuật toán phân tích cấu trúc trang, thuật toán phát hiện lưới và căn chỉnh, thuật toán phát hiện line và các đối tượng khác, làm đầu vào cho công cụ đọc ghi tự động DigiMeto. Thực nghiệm và đánh giá trên các loại giản đồ như giản đồ mưa, ẩm, lượng nước, áp suất và nhiệt cho kết quả tốt.



Hình 1. Các khối module chính giải pháp số hóa giản đồ KTTV; trong đó bài báo tập trung phát triển thuật toán Phân tích cấu trúc trang, phát hiện lưới và căn chỉnh, phát hiện line và các đối tượng khác trong giản đồ làm đầu vào cho phát triển GUI (DigiMeto) hỗ trợ đọc giản đồ tự ghi KTTV.

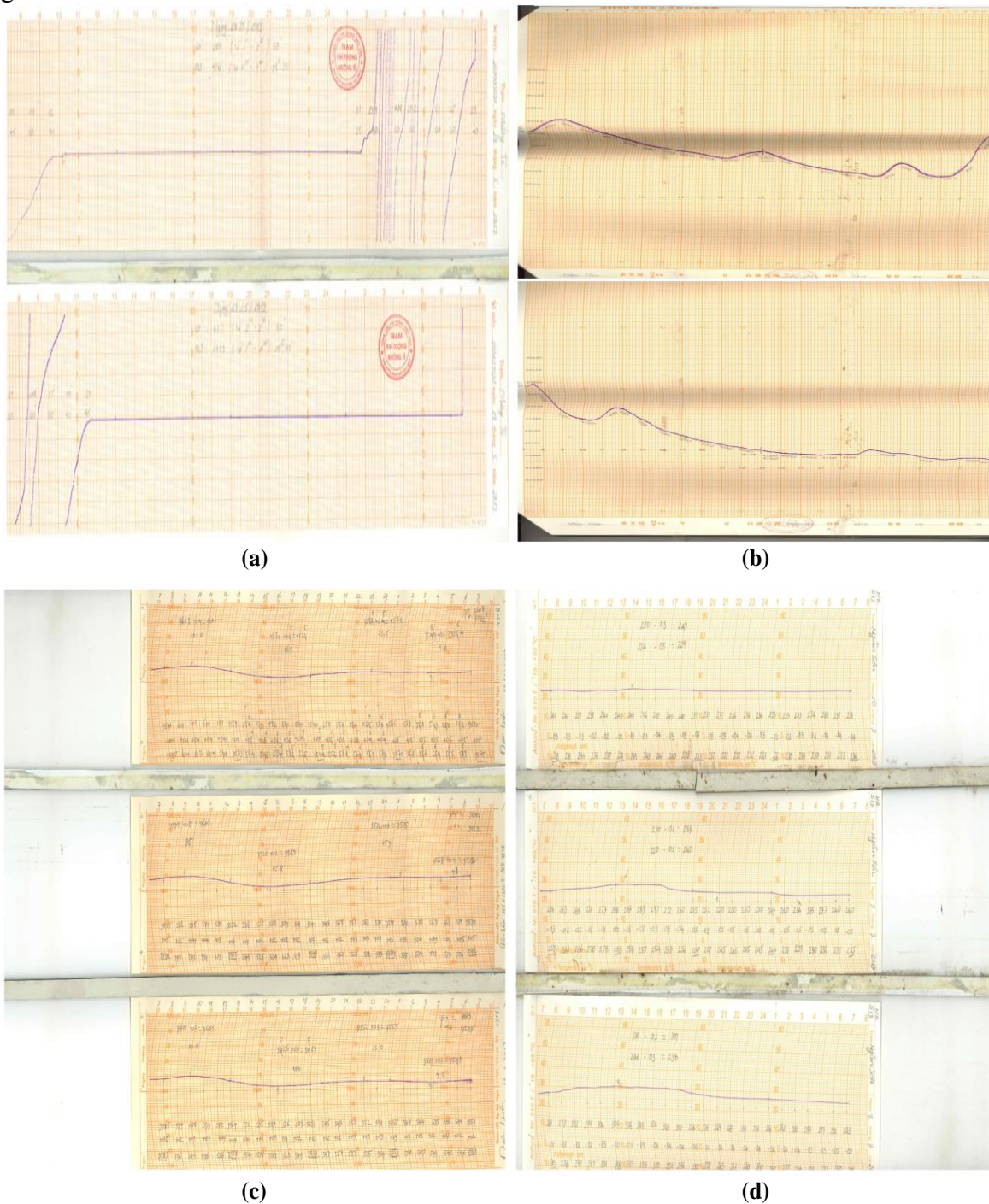
2. Phương pháp nghiên cứu

2.1. Đối tượng nghiên cứu

Với lịch sử hình thành 100 năm nên tài liệu giản đồ KTTV rất phong phú về chủng loại cũng như hình thức và chất lượng vật lý [15]. Giản đồ hiện nay chiếm khoảng 1/3 khối lượng tài liệu lưu trữ hiện nay với rất nhiều loại giản đồ như mưa, nhiệt, độ ẩm, áp suất và mực nước. Cùng một loại giản đồ nhưng có các hình thức và thiết kế không hoàn toàn giống nhau theo thời gian. Do điều kiện lưu trữ tại Trung tâm Thông tin và Dữ liệu KTTV và các Đài KTTV khu vực không đạt chuẩn kho lưu trữ theo quy định. Do đó tình trạng vật lý của giản đồ bị ảnh hưởng nhiều. Các giản đồ từ trước năm 70 có tình trạng vật lý kém, nhiều tờ giản đồ bị thủng, bị rách và còn có những tờ giản đồ bị oxy hóa gây ra mất thông tin. Các giản đồ sau năm 90 có độ dày tờ giản đồ mỏng hơn những năm trước đó, đây cũng có thể là

nguyên nhân các giản đồ dễ bị nhòe khi gặp độ ẩm không khí cao và cũng rất dễ bị nhăn. Các lỗi thường hay gặp như nhòa nét trên giản đồ, lỗi bậc thang, lỗi chảy men... Hình 2a–2e minh họa các loại giản đồ được thực nghiệm trong bài báo, trong đó giản đồ mưa có độ phức tạp giản đồ cao hơn các giản đồ khác.

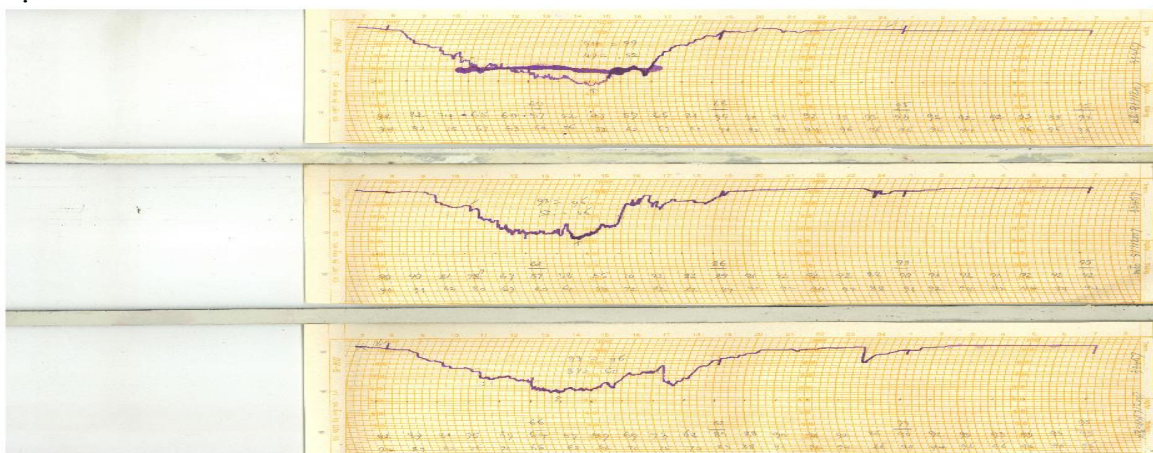
Các giản đồ có thể chia thành hai nhóm: giản đồ lưới thẳng và giản đồ lưới cong. Giản đồ lưới thẳng bao gồm giản đồ lượng mưa và mực nước, được xác định theo các đường tọa độ thẳng được quy định trước; Giản đồ lưới cong bao gồm giản đồ độ ẩm, nhiệt và áp suất. Các giản đồ này có đặc điểm là các đường tọa độ có hình dạng cong để phù hợp với máy đo kỹ thuật. Nghiên cứu đề xuất giải pháp tách line và các đối tượng trên giản đồ cho các loại giản đồ trên.



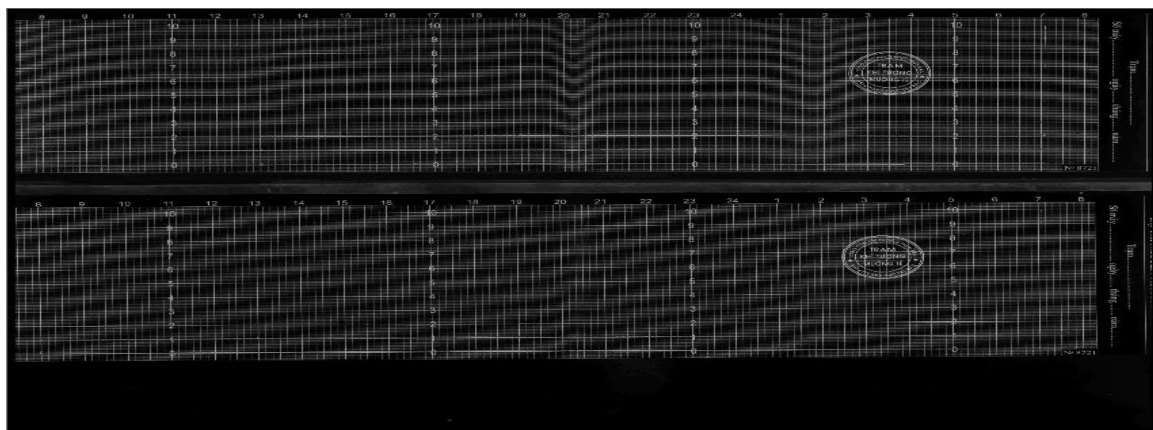
Hình 2. (a) Giản đồ mưa Mường Tè 5/2019; (b) Giản đồ nước Bản Yên 8/2012; (c) Giản đồ áp Điện Biên 7/2007; (d) Giản đồ nhiệt Ngân Sơn 9/2019.

2.2. Thuật toán phân tích cấu trúc trang

Phân tích cấu trúc trang là bước đầu tiên trong số hóa biểu đồ khí tượng thủy văn. Việc phân tích này giúp chúng ta xác định các vùng biểu đồ cần làm việc và loại bỏ các vùng không quan tâm. Đầu vào là ảnh scan các biểu đồ khí tượng thủy văn có nhiều biểu đồ của nhiều ngày khác nhau. Từ việc xác định vị trí các vùng biểu đồ trên ảnh scan, chúng ta sẽ tách thành các biểu đồ riêng biệt làm đầu vào cho bước xử lý sau. Qua phân tích nghiên cứu này thấy các biểu đồ có đặc trưng góc trong khu vực biểu đồ khá rõ nét. Hình 3 biểu diễn kênh S của ảnh đầu vào sau khi được chuyển sang hệ màu HSV. Ta có thể thấy thông tin góc của biểu đồ được thể hiện khá rõ trong kênh S thuộc bộ ba kênh màu HSV. Vì vậy, gợi ý tưởng áp dụng phương pháp phát hiện góc, từ đó gián tiếp tìm được khu vực biểu đồ cần phát hiện.



Hình 2. Giản đồ âm Mùng Tè 7/2007 (tiếp).



Hình 3. Biểu diễn kênh S (thuộc hệ màu HSV) trên một ảnh giản đồ mưa.

Harris Corner Detector [15–16] là phương pháp phát hiện góc đơn giản và hiệu quả. Ý tưởng chính của thuật toán này dựa vào sự biến đổi cường độ sáng tại một vùng lân cận: một vùng nhỏ quanh các đặc trưng (góc, cạnh...) sẽ có sự thay đổi lớn về cường độ sáng nếu một window dịch chuyển 1 đoạn (u, v) từ điểm (x, y) theo bất kì hướng nào. Công thức Harris Corner Detection tổng quát như sau:

$$E(u, v) = \sum_{x, y} w(x, y) [I(x + u, y + v) - I(x, y)]^2 \quad (1)$$

Trong đó w là một window ở trên ảnh; x, y là tọa độ của điểm $w(x, y)$ thuộc window đó; $I(x, y)$ là giá trị độ sáng của một pixel tại điểm x, y ; $I(x + u, y + v)$ là giá trị độ sáng của một pixel tại điểm $I(x + u, y + v)$.

Hiệu của shifted intensity và intensity biểu thị độ thay đổi về giá trị điểm ảnh khi ta dịch chuyển một lượng u, v (trên ảnh). Mục tiêu của Harris Corner detector là cực đại hóa hàm $E(u, v)$ để tìm ra những khu vực có sự thay đổi intensity lớn nhất.

$$E(u, v) \approx [u \ v] M \begin{bmatrix} u \\ v \end{bmatrix} \tag{2}$$

Trong đó:

$$M = \sum w(x, y) \begin{bmatrix} I_x^2 & I_x I_y \\ I_x I_y & I_y^2 \end{bmatrix} \tag{3}$$

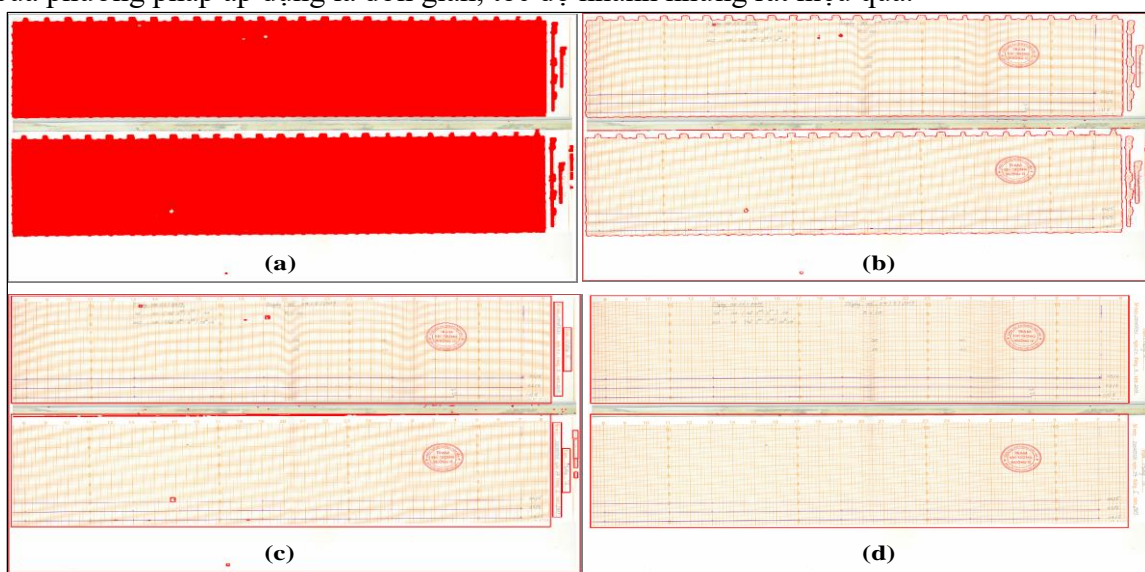
Ta có công thức cuối cùng như sau:

Việc tìm ra các điểm ảnh có phải corner hay không phụ thuộc vào giá trị R (*Measure of corner response*). Công thức R như sau:

$$R = \det(M) - k(\text{trace}(M))^2 \tag{4}$$

Trong đó $\det(M) = AB - C^2 = \lambda_1 \lambda_2$, $\text{trace}(M) = \lambda_1 + \lambda_2$, λ_1, λ_2 là các giá trị bản địa của M tương ứng với độ cong của hàm địa phương quyết định xem điểm này có phải là corner hay không, k là tham số điều khiển.

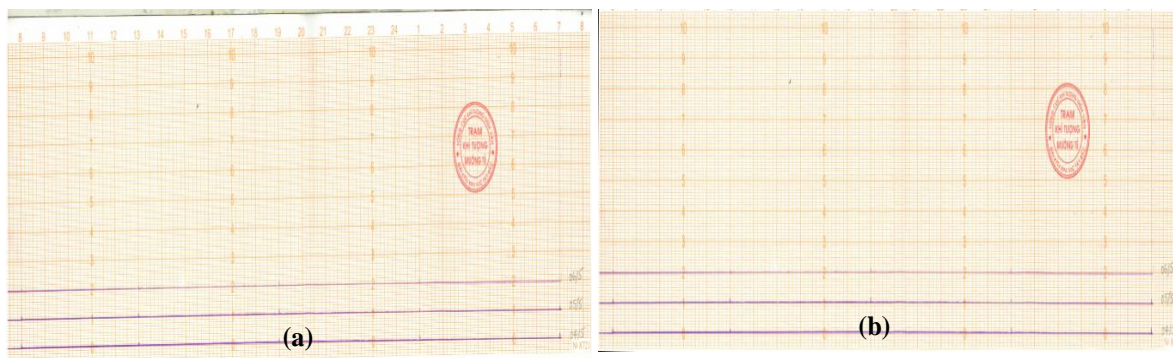
Phương pháp đề xuất phát hiện và tách vùng biểu đồ của gồm 4 bước: (1) Sử dụng Harris Corner Detection để phát hiện vùng lưới; (2) Tìm contour bao quanh các khu vực có mật độ corner được detect nhiều nhất; (3) Xác định vùng biểu đồ và các vùng khác từ tọa độ 4 góc của các đường contour; (4) Cắt các vùng biểu đồ xác định được. Hình 4a–4d minh họa kết quả phân tích cấu trúc trang giản đồ. Ta có thể thấy vùng biểu đồ xác định được tốt. Ưu điểm của phương pháp áp dụng là đơn giản, tốc độ nhanh nhưng rất hiệu quả.



Hình 4. (a) Kết quả detect góc; (b) Kết quả tìm contour; (c) Xác định cấu trúc trang biểu đồ; (d) Kết quả vùng biểu đồ xác định được.

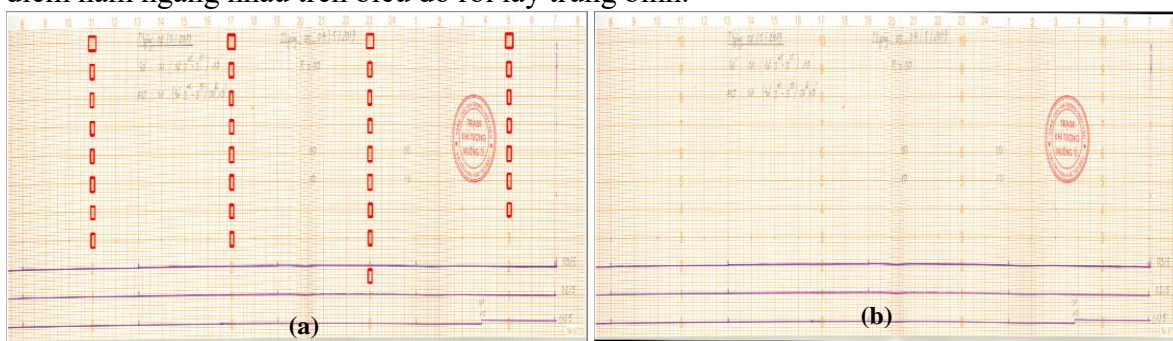
2.3. Thuật toán phát hiện lưới và căn chỉnh

Vùng biểu đồ sau khi được xác định từ thuật toán phân tích cấu trúc trang cần được cắt gọn, căn chỉnh và làm phẳng để đo đạc chính xác. Kế thừa ý tưởng phát hiện góc của thuật toán ở phần 2.2, chúng ta sẽ dựa vào việc phát hiện corner để từ đó gián tiếp phát hiện bao quanh của biểu đồ và cắt gọn hơn. Tuy nhiên, có một số ảnh hiện tại đang bị lệch, không thẳng với hướng ngang do quá trình scan đặt giản đồ không thẳng góc. Hình 5a minh họa ảnh sau khi được cắt vùng biểu đồ ở thuật toán phân tích cấu trúc trang còn dư phần trên và góc lệch so với đường vuông góc.



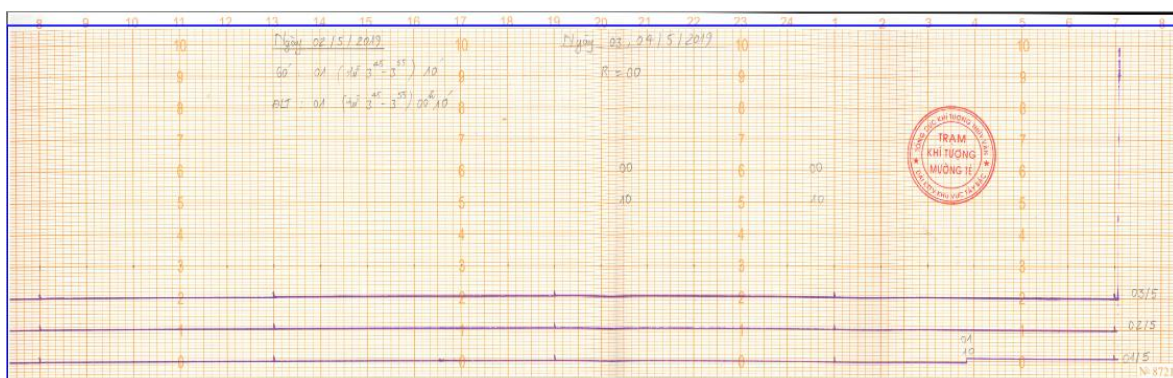
Hình 5. (a) Minh Minh họa ảnh sau khi được cắt vùng biểu đồ ở thuật toán phân tích cấu trúc trang còn dư phần trên và góc lệch so với đường vuông góc (b) Ảnh kết quả sau khi phát hiện lưới và căn chỉnh

Phát hiện tọa độ của các số trên biểu đồ sử dụng khớp mẫu, tìm ra những đường thẳng đi ngang qua các số có cùng giá trị (ví dụ 40, 50, 60). Lưu ý ở bước này, chúng ta có thể sẽ không tìm được toàn bộ các số cần tìm, ví dụ trên một đường nằm ngang có 4 số cần tìm nhưng ta có thể chỉ tìm được 2, 3 số, tuy nhiên vì ở đây ta chỉ cần tìm một đường thẳng đi qua các điểm nằm ngang nhau trên biểu đồ nên việc chỉ tìm được 2,3 điểm cho mỗi đường là đủ. Để hạn chế thiếu chính xác, bài báo tìm tất cả hệ số góc của các đường thẳng đi qua các điểm nằm ngang nhau trên biểu đồ rồi lấy trung bình.



Hình 6. (a) Tọa độ các tọa độ điểm cần phát hiện trên giản đồ; (b) Xoay hình ảnh theo góc đã phát hiện.

Để xác định vùng giản đồ chuẩn xác nhất, thuật toán áp dụng thêm các phép biến đổi hình thái học [17–19] gồm: dilate để vùng biểu đồ liền mạch với nhau, sau đó áp dụng phương pháp erosion để làm biến mất những khu vực nhiễu, và dilate một lần nữa để biến đổi khu vực mask về kích thước ban đầu. Thuật toán áp dụng thêm bước biến đổi opening này một lần nữa để kết quả ảnh được xử lý nhiễu tốt hơn nữa. Kết quả sau khi thực hiện hai phép biến đổi erosion và dilation như Hình 7.

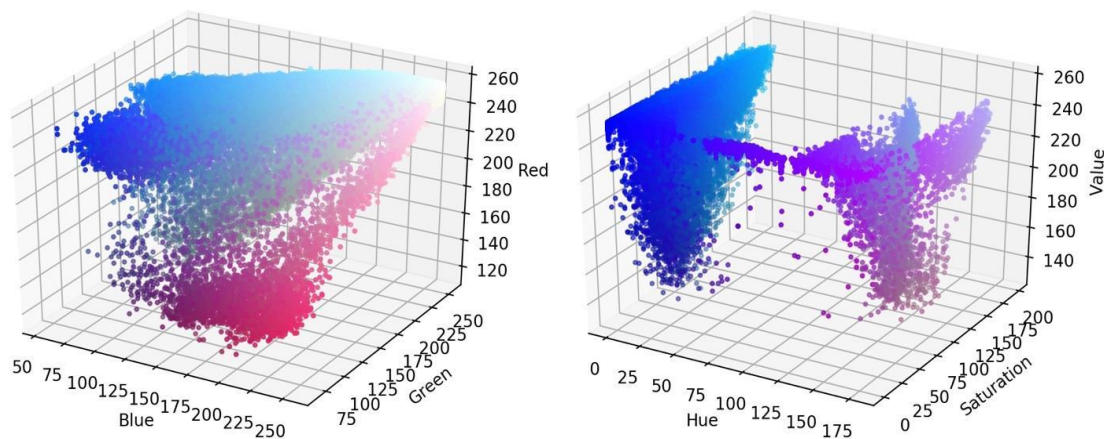


Hình 7. Tọa độ các tọa độ điểm cần phát hiện trên giản đồ.

2.4. Thuật toán phát hiện line và các đối tượng khác trong giản đồ

Phần này nghiên cứu đề xuất thuật toán tách đường line từ biểu đồ và các đối tượng khác trong giản đồ từ kết quả thuật toán trong phần 2.3. Để tách được line ra khỏi giản đồ nghiên cứu đã tích hợp các thuật toán xử lý ảnh như sau:

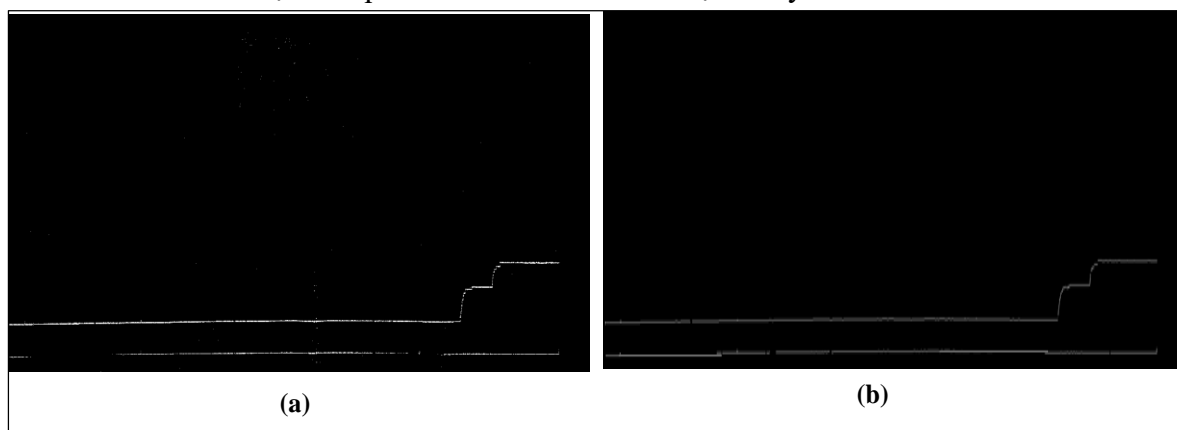
- Bước 1: Tiền xử lý:
 - Resize kích thước ảnh (cụ thể là 500px theo chiều rộng).
 - Tùy vào loại giản đồ, có thể tách chuyển về không gian màu HSV hoặc giữ nguyên RGB do tính chất màu của đường line và lưới đo quyết định để màu đường line và lưới tách biệt rõ ràng hơn, ví dụ biểu diễn phân bố màu của ảnh giản đồ mưa trong Hình 8.



Hình 8. Đồ thị 3D biểu diễn phân bố màu của ảnh giản đồ mưa trong không gian ảnh RGB (trái) và HSV (phải).

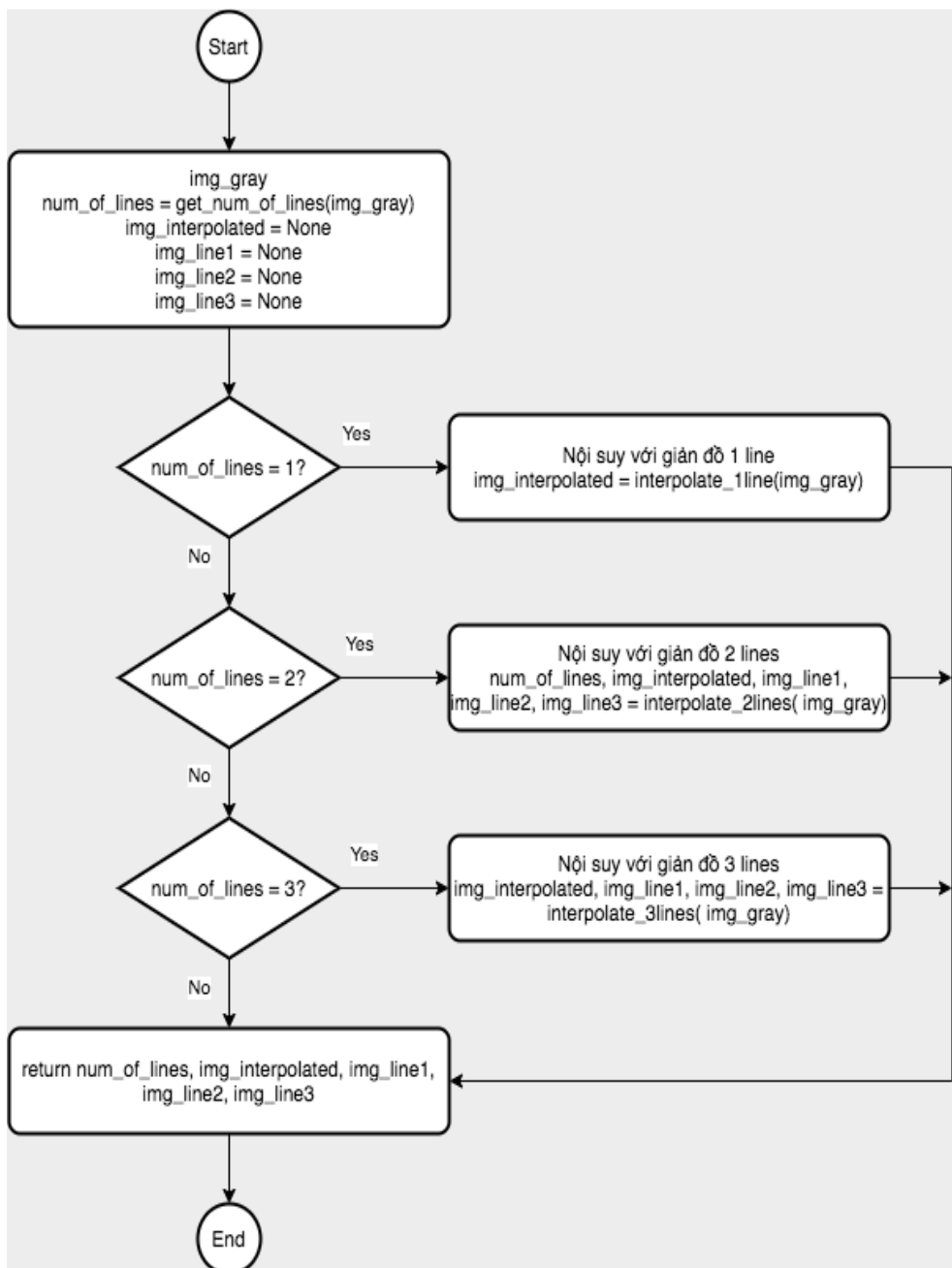
Có thể quan sát thấy phân bố màu line và lưới đã được tách biệt rõ ràng hơn, thuận lợi cho việc tách ngưỡng ở bước tiếp theo.

- Bước 2: Tách line theo phương pháp ngưỡng:
 - Thuật toán áp dụng một số phương pháp như Adaptive threshold, phương pháp OTSU để chọn ngưỡng tự động và phương án chọn ngưỡng cố định.
- Bước 3: Hậu xử lý:
 - Sử dụng phép biến đổi hình thái closing: làm dày (dilate) sau đó làm mòn (erosion) để làm cho đường line rõ nét hơn, loại bỏ nhiễu, làm mảnh đường line, và nội suy phần đường thiếu. Hình 9 minh họa kết quả sau khi tách line và hậu xử lý tách line.



Hình 9. (a) Kết quả tách line trên hệ màu HSV; (b) Kết quả sau khi áp dụng các kỹ thuật hình thái học, loại bỏ nhiễu, làm mảnh đường line, và nội suy phần đường thiếu.

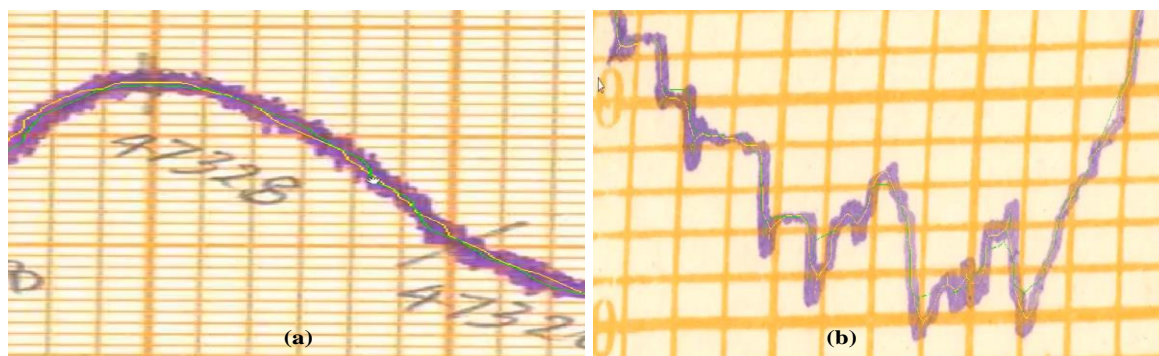
Đối với các loại gián đồ như ẩm, áp, nhiệt và nước thuật toán tách line đến đây là hoàn thành. Riêng với gián đồ mưa phức tạp hơn do trên một gián đồ có thể có nhiều line cho nhiều ngày. Do đó cần tách ra cho từng ngày riêng biệt. Thuật toán đưa ra giải pháp xác định số line của gián đồ dựa trên số lượng pixel của đường line theo hướng dọc của ảnh, sau đó tách từng line và nội suy để được kết quả cuối cùng. Hình 10 minh họa giải pháp nội suy các đường line gián đồ mưa trong một gián đồ.



Hình 10. Luồng thuật toán nội suy đường line bị đứt.

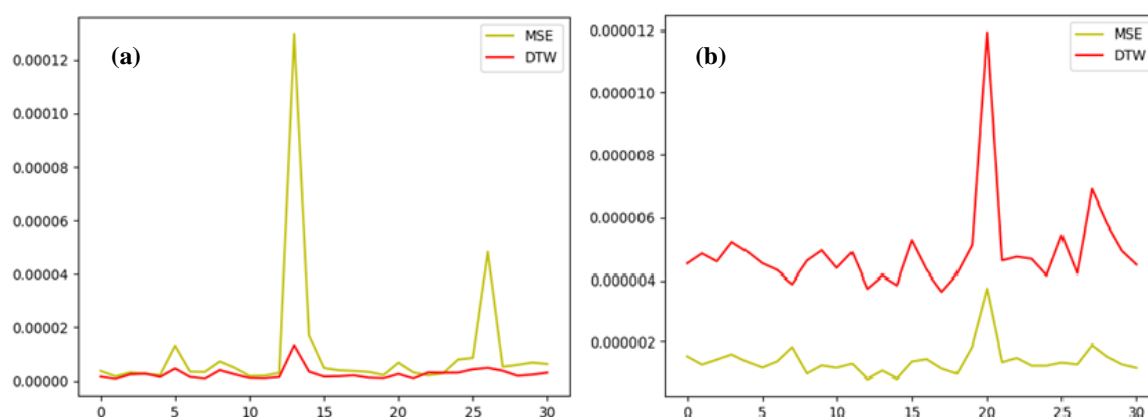
3. Kết quả và thảo luận

Phương pháp đề xuất được đánh giá trên tập các file scan của năm loại gián đồ. Kết quả tách line và các đối tượng khác trên gián đồ tốt, khớp với đường line gốc. Hình 11 minh họa so sánh kết quả line tách được theo thuật toán đề xuất và ground truth, cho thấy kết quả khớp với đường line ground truth.



Hình 11. (a) So sánh kết quả tách line theo giải pháp đề xuất (đường màu xanh) với ground truth (đường màu vàng) trên giản đồ mực nước; (b) So sánh kết quả tách line theo giải pháp đề xuất (đường màu xanh) với ground truth (đường màu vàng) trên giản đồ độ ẩm.

Ngoài ra, phương pháp được đánh giá kiểm chứng độ chính xác qua các độ đo như: Mean Square Error (MSE), Dynamic Time Warping (DTW). Hình 12 minh họa kết quả đánh giá sai số giữa tách line theo giải pháp đề xuất với ground truth trên giản đồ nhiệt và mưa theo tiêu chí MSE (đường màu vàng) và DTW (đường màu đỏ). Trục hoành là chỉ số các giản đồ trong tháng, trục tung là sai số tỉ lệ được tính theo số lượng pixel trên giản đồ. Chúng ta thấy rằng, sai số pixel rất thấp, điều này chứng tỏ phương pháp đề xuất hiệu quả và chính xác cao. Với một vài ảnh có MSE cao hơn bình thường xảy ra ở giản đồ bị ô mực, do vùng ô mực và vùng line thường chồng lên nhau và có màu giống nhau. Cũng như vậy, giá trị DTW rất thấp, điều này có nghĩa là khoảng cách giữa đường line detected được và đường line ground truth rất gần nhau.



Hình 12. (a) Đánh giá sai số giữa tách line theo giải pháp đề xuất với ground truth trên giản đồ ẩm; (b) Đánh giá sai số giữa tách line theo giải pháp đề xuất với ground truth trên giản đồ nhiệt.

4. Kết luận

Bài báo đề xuất giải pháp nhận dạng giản đồ sử dụng các thuật toán xử lý ảnh và thị giác máy đơn giản nhưng hiệu quả, làm tiền đề xây dựng công cụ lưu trữ và số hóa dữ liệu giản đồ một cách tự động. Giải pháp tích hợp thuật toán phân tích cấu trúc trang, thuật toán phát hiện lưới và căn chỉnh và thuật toán phát hiện line. Bằng thực nghiệm trên các loại giản đồ lượng mưa, mực nước, độ ẩm, áp suất, nhiệt độ, hơn 90% giản đồ có thể số hóa với độ chính xác cao.

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

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. <http://kttvqg.gov.vn/kttv-voi-san-xuat-va-doi-song-106/>.
2. Nhi, H.Y.; Thoa, L.T.K. Trích xuất đường bờ biển từ ảnh SENTINEL-1A khu vực thành phố Phan Thiết. *Tạp chí Khí tượng Thủy Văn* **2019**, 697, 20–25.
3. Tình, T.V.; Phong, D.H. Sử dụng ảnh viễn thám và Gis nghiên cứu biến động đường bờ biển mũi Cà Mau. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* **2017**, 684, 35–40.
4. Trung, L.B.; Toán, H.M.; Phong, N.B. Nghiên cứu sử dụng số liệu định vị sét kết hợp với ảnh radar để cảnh báo đợt mưa lớn từ 01–06/8/2017 trên khu vực Tây Bắc. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* **2018**, 685, 48–53.
5. Ngà, P.T.T. Nghiên cứu tương quan giữa đặc tính mây và mưa lớn cho khu vực Hồ Chí Minh bằng dữ liệu vệ tinh Himawari-8 và GSMaP. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* **2019**, 702, 21–30.
6. Công, T.T.; Quyền, L.N.; Giám, N.M.; Quyết, L.D. Ứng dụng số liệu ảnh mây vệ tinh Himawari trong dự báo và cảnh báo mưa dông cho khu vực Đồng bằng sông Cửu Long. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* **2020**, 713, 1–13.
7. Sene K. Meteorological Forecasting. In: Hydrometeorology. Springer, Cham. 2016. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-23546-24>
8. Bruce, J.P.; Clark, R.H. Introduction to Hydrometeorology: Pergamon International Library of Science, Technology. *Eng. Social Stud.* **2013**, pp. 340.
9. Chwala, C.; Keis, F.; Kunstmann, H. Real-time data acquisition of commercial microwave link networks for hydrometeorological applications. *Atmos. Meas. Tech.* **2016**, 9, 991–999.
10. Walker, D.; Forsythe, N.; Parkin, G.; Gowing, J. Filling the observational void: Scientific value and quantitative validation of hydrometeorological data from a community-based monitoring programme. *J. Hydrol.* **2016**, 538, 713–725.
11. Zhi, W.; Feng, D.; Tsai, W.P.; Sterle, G.; Harpold, A.; Shen, C.; Li, L. From Hydrometeorology to River Water Quality: Can a Deep Learning Model Predict Dissolved Oxygen at the Continental Scale?. *Environ. Sci. Technol.* **2021**, 55, 2357–2368.
12. Sene, K. Meteorological Observations. In: Hydrometeorology. Springer, Cham. 2016. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-23546-22>.
13. Phương, P.L.; Hưng, L.T.; Huy, M.X.; Linh, T.V.; Hoài, N.X.; Hải-Hồng, P.; Hải, V. DigiMeto: Công cụ trợ giúp đọc giải đồ tự ghi Khí tượng thủy văn. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* **2021**, 725, 49–59.
14. <https://nchmf.gov.vn/Kttvsite/vi-VN/1/thuy-van-12-18.html>
15. Harris, C.; Stephens, M. A combined corner and edge detector. In: Alvey vision conference, 1988, 147–151.
16. <https://opencv.org/>
17. Nixon, M.S.; Aguado, A.S. Feature Extraction and Image Processing. Newnes: Elsevier, Oxford, 2002.
18. Forsyth, D.A.; Ponce J. Computer Vision – A Modern Approach. Prentice Hall: Upper Saddle River, NJ, 2002.
19. Gonzalez, D.C.; Woods, R.E. Digital Image Processing. Third Edition, Pearson Educational International Publisher, 2002.

Develop technology solutions to recognize hydro–meteorological diagrams

Pham Le Phuong^{1,*}, Le Trung Hung¹, Manh Xuan Huy², Trieu Van Linh³, Nguyen Xuan Hoai³, Hai–Hong Phan⁴, Vu Hai⁵

¹ Hydro–Meteorological Information and Data Center; phuongpl80@gmail.com; hungtntl@gmail.com

² Hanoi University of Science and Technology; huy.mx161818@sis.hust.edu.vn

³ AI Academy Viet Nam; nxhoai@gmail.com; trieuvanlinh04101998@gmail.com

⁴ Military Technical Academy, Viet Nam; hongpth@lqdtu.edu.vn

⁵ School of Electronics and Telecommunications, Hanoi University of Science and Technology; hai.vu@hust.edu.vn

Abstract: Meteorological and hydrological chart records information, measurement data of rainfall, water level, humidity, temperature and other types of measured parameters. These parameters are collected from hydrometeorological measurement stations nationwide. The storage of this information is extremely important for the purpose of researching and forecasting weather and natural disasters in the future. However, at present, the storage of all types of schemas is in paper form, the reading of data depends on the expert. Therefore, it is difficult to guarantee the integrity of the data over time. In this paper, we propose a solution for schema recognition and self–recording of schema information using today's most advanced machine vision and artificial intelligence technologies to help store and digitize data, diagrams automatically. The solution integrates the page structure analysis algorithm, the grid detection algorithm and the alignment algorithm to combine the line detection algorithm and the objects in the schema to separate the line. By experiment, the solution has achieved high accuracy, more than 90% of the diagrams can be digitized, including all types of diagrams of precipitation, water level, humidity, pressure, and temperature.

Keywords: Meteorological and hydrological diagrams; Identification; Image processing; Computer vision.

Đánh giá hiện trạng và rủi ro do vi sinh vật trong nước sinh hoạt khu vực ven đô thị: Nghiên cứu điển hình ở Pleiku, tỉnh Gia Lai, Việt Nam

Nguyễn Tuấn Anh¹, Nguyễn Minh Kỳ^{1*}, Nguyễn Ninh Hải¹, Bạch Quang Dũng²

¹ Trường Đại học Nông Lâm TP. HCM, Phân hiệu Gia Lai; ngtuuananh@hcmuaf.edu.vn; nnhai@hcmuaf.edu.vn; nmky@hcmuaf.edu.vn.

² Tổng Cục Khí Tượng Thủy Văn; dungmmu05@gmail.com.

*Tác giả liên hệ: nmky@hcmuaf.edu.vn; Tel.: +84-384321415

Ban Biên tập nhận bài: 14/4/2021; Ngày phản biện xong: 5/5/2021; Ngày đăng bài: 25/6/2021

Tóm tắt: Đánh giá và quản lý rủi ro trong hệ thống cấp nước sinh hoạt là bước quan trọng trong việc thiết lập kế hoạch quản lý an toàn cấp nước. Vấn đề rủi ro vi sinh trong nước cấp sinh hoạt đặc biệt được quan tâm để phòng ngừa bệnh tật. Nghiên cứu đã sử dụng phương pháp thực nghiệm bằng cách thu thập và kiểm tra mẫu nước cấp sinh hoạt, và đồng thời sử dụng phương pháp bán định lượng để đánh giá cấp độ rủi ro đối với các mối nguy liên quan quá trình cấp nước sinh hoạt vùng ven đô thị Pleiku, tỉnh Gia Lai, thuộc vùng Tây Nguyên của Việt Nam. Kết quả kiểm tra mẫu nước trong phòng thí nghiệm đã cho thấy rằng chất lượng nước cấp sinh hoạt tại các xã vùng ven khá tốt và phù hợp với việc sử dụng cấp nước. Tuy nhiên, mẫu nước tại vị trí G1-01 (Làng Nhao 1, xã Ia Kênh) có hàm lượng coliform vượt quá quy chuẩn nước sinh hoạt QCVN 01-1:2018/BYT (> 3 CFU/100mL). Đồng thời, kết quả đã xác định được một số mối nguy quan trọng liên quan đến quá trình cấp nước sinh hoạt, trong đó gồm hai mối nguy có cấp độ rủi ro cao liên quan đến các hoạt động nông nghiệp (chăn nuôi) và sáu mối nguy với cấp độ rủi ro trung bình. Các mối nguy này đã được xem xét ưu tiên đề xuất các biện pháp để giảm thiểu cấp độ rủi ro.

Từ khóa: Đánh giá rủi ro; Rủi ro vi sinh; Cấp nước sinh hoạt; Vùng ven đô thị.

1. Mở đầu

Nước cấp và vệ sinh là các dịch vụ cơ bản, đóng vai trò thiết yếu trong cuộc sống hàng ngày bởi vì nó giúp duy trì cuộc sống của con người. Trong đó, quá trình tiếp cận nguồn nước sạch cho các mục đích sinh hoạt và ăn uống ngày càng được quan tâm [1]. Việc đáp ứng nước sạch và vệ sinh cơ bản phải đảm bảo một cách đầy đủ, an toàn và tiện lợi, điều này giúp cải thiện chất lượng cuộc sống. Mọi nỗ lực nên được thực hiện để đạt được mục tiêu cung cấp nước an toàn trong thực tế [2-3]. Ngược lại, việc không được đáp ứng về nước hợp vệ sinh và vệ sinh môi trường sẽ gây ra các loại bệnh liên quan tới nước cho cộng đồng dân cư, và đặc biệt là những người nghèo. Theo các số liệu thống kê, những bệnh tiêu chảy liên quan tới điều kiện vệ sinh kém, chất lượng nước không đảm bảo đã gây ra 1,73 triệu người chết mỗi năm trên thế giới [4]. Ngoài ra, theo thống kê của Tổ chức Y tế thế giới (WHO) và Quỹ nhi đồng Liên hiệp quốc (UNICEF) hiện có khoảng 663 triệu người không được tiếp cận các nguồn nước uống [5].

Tại Việt Nam, đã có nhiều công trình công bố bệnh tật bị gây ra bởi nguồn nước ô nhiễm và kém chất lượng. Nghiên cứu của dự án sáng kiến vệ sinh cho thấy rằng những bệnh liên quan tới nước cấp và vệ sinh gây tổn hại, tác động kinh tế hàng năm khoảng 265 triệu USD

ở Việt Nam [6]. Việc giảm nhẹ tình trạng bệnh tiêu chảy có thể đạt được thông qua việc sử dụng các công trình vệ sinh hoặc nước cấp được cải thiện, chẳng hạn như giếng nước được bảo vệ hoặc nhà vệ sinh được cải thiện. Lợi ích sức khỏe bị hạn chế vì những nguồn nước uống này có thể bị nhiễm bẩn vi khuẩn và điều kiện vệ sinh cơ bản không đảm bảo cho cộng đồng [7]. Thêm vào đó, sức khỏe cộng đồng chủ yếu đạt được thông qua việc cung cấp nguồn nước được bảo vệ, thúc đẩy thực hành vệ sinh và xử lý nước cấp an toàn [2]. Tất cả các vấn đề trên đặt ra câu hỏi “Những gì chúng ta có thể thực hiện để ngăn ngừa chúng?”. Trong bối cảnh đó, kế hoạch cấp nước an toàn (WSP) được giới thiệu đầu tiên bởi WHO trong báo cáo hướng dẫn chất lượng nước uống [8] và kế hoạch an toàn vệ sinh (SSP), hướng dẫn sử dụng an toàn và xử lý nước thải—đã được WHO công bố năm 2015 để áp dụng vào thực tế [9]. Đồng thời, SSP có thể được áp dụng cho tất cả các hệ thống vệ sinh nhằm đảm bảo các hệ thống được quản lý và đáp ứng các mục tiêu sức khỏe. Nhìn chung, mức độ an toàn nước cấp dựa trên cơ sở của sự đánh giá và kiểm soát rủi ro từ các nguồn cấp cho tới người sử dụng nước [10]. Kế hoạch an toàn cấp nước ngày càng được chú trọng, mở rộng và tiếp cận theo hướng tổng hợp nhằm cải thiện các cấp độ an toàn về sức khỏe [11]. Tổ chức WHO đã đề ra khuyến cáo giải pháp tiếp cận kế hoạch cấp nước an toàn và được sử dụng ở nhiều quốc gia khác nhau. Xuất phát từ đó, có nhiều nghiên cứu áp dụng phương pháp ma trận đánh giá rủi ro trong quá trình đảm bảo an toàn cấp nước cho các khu vực nông thôn [11]. Có thể thấy, mục đích chính của việc triển khai WSP và SSP nhằm đảm bảo rằng việc cấp nước và vệ sinh hợp vệ sinh, an toàn và dễ tiếp cận. Bước quan trọng trong các kế hoạch trên là việc áp dụng các hình thức quản lý rủi ro dựa trên kiến thức khoa học và được hỗ trợ bởi việc kiểm soát rủi ro thích hợp. Vấn đề quan trọng phải quản lý rủi ro một cách hệ thống và toàn diện, phải bao gồm toàn bộ hệ thống cấp nước và vệ sinh [2, 12]. Xem xét tình hình thực tiễn ở Tây Nguyên nói chung, tỉnh Gia Lai nói riêng hoạt động cấp nước khu vực nông thôn và ven đô thị vẫn còn nhiều hạn chế [13–14]. Trong đó, bước đầu cho thấy hệ thống phân phối và cấp nước tiềm chứa nhiều nguy cơ nhiễm bẩn, gây ảnh hưởng xấu đến sức khỏe cộng đồng. Do vậy nghiên cứu này nhằm mục đích đánh giá hiện trạng nước cấp và rủi ro sinh học tại vùng ven đô thị khu vực Tây Nguyên—trường hợp ở thành phố Pleiku, tỉnh Gia Lai để xác định các vấn đề, nguyên nhân và giải pháp cải thiện. Qua đó, mục đích cuối cùng góp phần cải thiện hiện trạng cấp nước và an toàn sức khỏe cho các hộ gia đình ven đô ở khu vực nghiên cứu.

2. Phương pháp nghiên cứu

2.1. Đối tượng nghiên cứu

Đối tượng nghiên cứu bao gồm hiện trạng chất lượng nước sinh hoạt và vấn đề rủi ro cấp nước an toàn tại các xã ven đô thị khu vực Tây Nguyên gồm các xã Ia Kênh, Biên Hồ và Chư Á ở thành phố Pleiku, tỉnh Gia Lai (Bảng 1).

Bảng 1. Đặc điểm đối tượng và khu vực nghiên cứu.

Khu vực	Số lượng mẫu			Thời gian	Điều kiện lấy mẫu
	Đa chỉ tiêu	Coliform tổng	<i>E. coli</i>		
Ia Kênh	2	5	5	Mùa khô (11/2020)	Nắng nhẹ, T = 22–25°C
Biên Hồ	2	5	5		
Chư Á	2	5	5		

Liên quan khu vực nghiên cứu, thành phố Pleiku (tỉnh Gia Lai) nằm ở tọa độ địa lý 13.9717° vĩ độ bắc và 108.0152° kinh độ đông, thuộc vùng Tây Nguyên. Đặc điểm dân cư đối tượng nghiên cứu thuộc 3 xã ven đô thành phố Pleiku, trong đó chủ yếu gồm cộng đồng dân tộc Jrai và Bahnar. Đời sống kinh tế khó khăn, sinh kế dựa vào nông nghiệp, hiện trạng cấp nước và vệ sinh khu vực chưa được chú trọng. Về khí hậu, thành phố Pleiku thuộc vùng

khí hậu nhiệt đới gió mùa, có 2 mùa rõ rệt: mùa mưa kéo dài từ tháng 5 đến tháng 11 và mùa khô bắt đầu từ tháng 12 đến tháng 4 năm sau. Nhiệt độ trung bình năm dao động trong khoảng giá trị từ 21,4 đến 25,5°C.

2.2. Phương pháp nghiên cứu

2.2.1. Phương pháp tham khảo, tổng hợp tài liệu

Đề tài tổng hợp các nguồn tài liệu, thông tin liên quan đến hệ thống cấp nước sạch nông thôn. Nguồn tài liệu của các cơ quan quản lý cấp nước sạch nông thôn như Trung tâm Nước sạch và Vệ sinh môi trường nông thôn, Sở Nông nghiệp & PTNT tỉnh Gia Lai. Nghiên cứu tham khảo các quy định và hướng dẫn do các cơ quan có thẩm quyền như Bộ Y tế, Tổ chức Y tế thế giới (WHO) ban hành. Dựa vào các dữ liệu thu thập, phân tích sâu về hiện trạng được thực hiện để hiểu một cách đầy đủ các vấn đề hiện trạng cấp nước sinh hoạt và mức độ rủi ro sức khỏe. Điều này giúp xác định nguyên nhân và tác động đến đời sống của người dân tại khu vực ven đô thị thành phố Pleiku.

2.2.2. Phương pháp khảo sát thực địa và phỏng vấn

Nghiên cứu tiến hành khảo sát thực địa và phỏng vấn dưới hình thức trao đổi trực tiếp và ghi nhận ý kiến. Quá trình phỏng vấn thuộc các hộ dân khu vực ven đô thị các xã Ia Kênh, Biển Hồ và Chư Á. Thông qua bảng hỏi được thiết kế để thu nhận đánh giá cảm nhận của người dân về hiện trạng, khó khăn, thách thức, v.v.. liên quan đến hiện trạng chất lượng và hoạt động cấp nước.

2.2.3. Phương pháp lấy mẫu và phân tích chất lượng nước

Thời gian và vị trí lấy mẫu: Đề tài tiến hành lấy mẫu nước tại các giếng nước cấp sinh hoạt khu vực nông thôn trên địa bàn ven đô thị thành phố Pleiku, tỉnh Gia Lai (Hình 1). Phương pháp xác định các vị trí lấy mẫu được căn cứ dựa trên sự phân bố dân cư và quá trình khảo sát thực địa để lựa chọn những hộ dân có sử dụng nguồn nước giếng cho các mục đích sinh hoạt và ăn uống. Tuy nhiên, do những hạn chế về kinh phí và thời gian nên trong phạm vi nghiên cứu chỉ thực hiện với số lượng mẫu như sau: Thu thập tổng số 6 mẫu đa chỉ tiêu (2 mẫu/xã*3 xã) và 15 mẫu nước sinh hoạt tại khu vực 3 xã (5 mẫu/xã*3 xã = 15 mẫu nước giếng sinh hoạt) (Bảng 2). Thời gian lấy mẫu nước cấp được thực hiện vào mùa khô – trong tuần tháng 11 năm 2020.

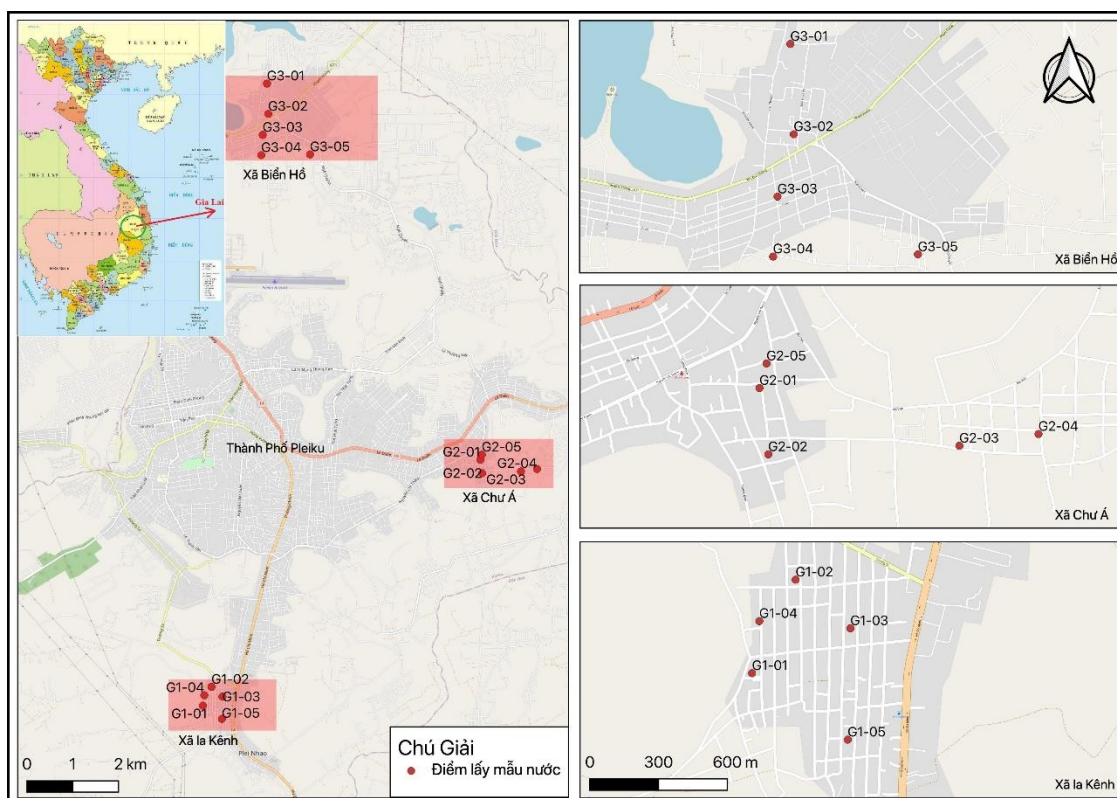
Quy trình lấy mẫu và phân tích: Phương thức lấy mẫu tuân thủ theo hướng dẫn lấy mẫu nước TCVN 6663–11:2011. Sau khi lấy, mẫu được bảo quản vận chuyển đến Trung tâm Công nghệ và Quản lý Tài nguyên Môi trường, Đại học Nông Lâm TP. Hồ Chí Minh để phân tích. Các thông số chất lượng nước được phân tích theo phương pháp chuẩn TCVN và APHA, 2012 (Bảng 3).

Các chỉ tiêu phân tích: Nghiên cứu tiến hành đo đạc và phân tích các thông số chất lượng nước gồm: Màu sắc, Mùi vị, pH, Độ đục, Amoni, Sắt tổng, Chỉ số Pecmanganat, Độ cứng, Clorua, Florua, Asen, Coliform và E. coli.

Bảng 2. Mô tả vị trí các điểm lấy mẫu nước.

TT	Địa chỉ	Vĩ độ	Kinh độ	Đặc điểm
G1–01	Làng Nhao 1 – Xã Ia kênh	13,9213	107,9989	H = 30m, nguồn cấp ổn định
G1–02	Làng Nhao 2 – Xã Ia kênh	13,9249	108,0007	H = 34m, nguồn cấp ổn định
G1–03	Làng Nhao 2 – Xã Ia kênh	13,9230	108,0029	H = 40m, nguồn cấp ổn định
G1–04	Làng Nhao 1 – Xã Ia kênh	13,9233	107,9992	H = 43m, nguồn cấp ổn định
G1–05	Làng Nhao 1 – Xã Ia kênh	13,9187	108,0028	H = 34m, nguồn cấp ổn định

TT	Địa chỉ	Vĩ độ	Kinh độ	Đặc điểm
G2-01	Làng Chuet – Xã Chư Á	13,9695	108,0550	H = 30m, nguồn cấp ổn định
G2-02	Làng Chuet – Xã Chư Á	13,9668	108,0554	H = 30m, nguồn cấp ổn định
G2-03	Làng Ia Tung – Xã Chư Á	13,9672	108,0632	H = 60m, nguồn cấp ổn định
G2-04	Làng Ia Tung – Xã Chư Á	13,9676	108,0665	H = 57m, nguồn cấp ổn định
G2-05	Làng Chuet – Xã Chư Á	13,9704	108,0553	H = 26m, nguồn cấp ổn định
G3-01	Thôn 4 – Xã Biển Hồ	14,0431	108,0119	H = 38m, nguồn cấp ổn định
G3-02	Thôn 4 – Xã Biển Hồ	14,0372	108,0121	H = 32m, nguồn cấp ổn định
G3-03	Làng Phung – Xã Biển Hồ	14,0331	108,0110	H = 39m, nguồn cấp ổn định
G3-04	Thôn 1 – Xã Biển Hồ	14,0291	108,0107	H = 30m, nguồn cấp ổn định
G3-05	Làng Phung – Xã Biển Hồ	14,0293	108,0206	H = 43m, nguồn cấp ổn định



Hình 1. Bản đồ khu vực lấy mẫu.

Bảng 3. Phương pháp phân tích chất lượng nước.

TT	Thông số	Đơn vị	Hướng dẫn phân tích
1	Màu sắt	TCU	SMEWW 2120 C:2002
2	Mùi vị	–	SMEWW 2150 B:2002
3	pH	–	TCVN 6492:2011
4	Độ đục	NTU	SMEWW 2130 B:2002
5	Amoni	mg/l	SMEWW 4500–NH ₃ F:2012
6	Sắt tổng	mg/l	TCVN 6177:1996
7	Pecmanganat	mg/l	TCVN 6186:1996
8	Độ cứng (CaCO ₃)	mg/l	TCVN 6224:1996
9	Florua	mg/l	TCVN 6195:1996

10	Clorua	mg/l	SMEWW 4500-F D:2012
11	Asen	mg/l	TCVN 6626:2000
12	Coliform	CFU/100mL	TCVN 6187-2:1996
13	E. coli	CFU/100mL	TCVN 6187-2:1996

2.2.4. Phương pháp đánh giá rủi ro

Sự phân tích các mối nguy đóng góp ý nghĩa vào việc giảm thiểu các rủi ro nghiêm trọng trong quá trình sử dụng nguồn nước. Quá trình áp dụng đánh giá an toàn nước cấp sinh hoạt dựa trên phương pháp xây dựng ma trận rủi ro đã được sử dụng bởi các nghiên cứu trước đây [11, 15]. Trong nghiên cứu này sử dụng phương pháp bán định lượng (*semi-quantitative method*) để đánh giá rủi ro. Đây là phương pháp đơn giản trong đánh giá rủi ro và phù hợp với việc đánh giá hệ thống cấp nước nhỏ. Sau khi xác định các mối nguy và các sự kiện nguy hiểm, đánh giá mức độ rủi ro là bước quan trọng để ưu tiên quản lý rủi ro. Cụ thể, khả năng xảy ra và mức độ nghiêm trọng của hậu quả của các mối nguy và các sự kiện nguy hiểm cần được đánh giá. Căn cứ các hướng dẫn của WHO về chất lượng nước [16] và kế hoạch an toàn nước [15] khuyến nghị sử dụng ma trận dựa trên khả năng và mức độ nghiêm trọng của hậu quả để đánh giá rủi ro (Bảng 4–5). Trong đó, dựa vào kết quả điểm số rủi ro, nghiên cứu phân hạng rủi ro theo các cấp độ lần lượt: Thấp < Trung bình < Cao < Rất cao.

Bảng 4. Ma trận xác suất xảy ra và mức độ nghiêm trọng [15].

Xác suất xảy ra	Mức độ nghiêm trọng				
	Không đáng kể (1)	Nhỏ (2)	Trung bình (3)	Nghiêm trọng (4)	Rất nghiêm trọng (5)
Gần như chắc chắn (5)	5	10	15	20	25
Rất có thể xảy ra (4)	4	8	12	16	20
Có thể xảy ra (3)	3	6	9	12	15
Ít xảy ra (2)	2	4	6	8	10
Hiếm khi xảy ra (1)	1	2	3	4	5

Bảng 5. Phân hạng rủi ro [15].

Điểm số rủi ro = (Xác suất xảy ra) x (Mức độ nghiêm trọng)				
Điểm số rủi ro	<6	6–9	10–15	>15
Phân hạng rủi ro	Thấp	Trung bình	Cao	Rất cao

2.2.5. Phương pháp thống kê và đánh giá số liệu

Các số liệu được tính toán gồm giá trị trung bình (Mean), độ lệch chuẩn (SD). Thông số kết quả phân tích chất lượng nước được so sánh, đánh giá với Quy chuẩn kỹ thuật quốc gia chất lượng nước sinh hoạt do Bộ Y tế ban hành (QCVN 01-1:2018/BYT). Quá trình xử lý số liệu, kiểm định ANOVA tìm kiếm sự khác biệt trung bình mẫu nghiên cứu sử dụng phần mềm thống kê SPSS 13.0 với mức ý nghĩa $\alpha = 0,05$.

3. Kết quả và thảo luận

3.1. Hiện trạng chất lượng nước sinh hoạt khu vực ven đô thị

Việc xem xét chính xác và toàn diện thực trạng chất lượng nước nói chung và nước cấp nói riêng đòi hỏi áp dụng các công cụ thích hợp [17]. Vấn đề phổ biến ảnh hưởng đến chất

lượng nguồn nước cấp ở các nước đang phát triển thường do hệ thống phân phối, cung cấp nước [18]. Trong nghiên cứu này, Bảng 6 trình bày kết quả phân tích hiện trạng chất lượng nước sinh hoạt tại vùng ven đô thị TP. Pleiku. Trong đó, các chỉ tiêu cảm quan như màu, mùi đạt quy chuẩn và không có bất kỳ dấu hiệu lạ hay bất thường nào. Trị số pH dao động trong khoảng $6,36 \pm 0,34$ đến $6,54 \pm 0,57$ và thuộc trong giới hạn 6,0–8,5 của quy chuẩn nước sinh hoạt QCVN 01–1:2018/BYT. Nhìn chung, nguồn nước sử dụng mục đích sinh hoạt, đặc biệt cho ăn uống rất quan trọng bởi lẽ vai trò và những tác động trực tiếp lên sức khỏe con người [19–20]. Nước sạch là nhu cầu không thể thiếu của đời sống sinh hoạt và đang trở nên bức thiết trước yêu cầu bảo vệ sức khỏe, cải thiện điều kiện sống người dân, đặc biệt vùng nông thôn [17, 21]. Các độc tố trong nguồn nước cấp bị nhiễm bẩn là nguyên nhân gây ra rủi ro bệnh tật ảnh hưởng đến sức khỏe [22]. Tuy nhiên, kết quả nghiên cứu cho thấy hàm lượng amoni thấp với dao động $0,13 \pm 0,02$ đến $0,21 \pm 0,02$ mg/l và nhỏ hơn ngưỡng cho phép ($< 0,3$ mg/l) theo quy chuẩn cấp nước sinh hoạt. So sánh kết quả amoni tại khu vực các xã Ia Kênh, Chư Á và Biển Hồ có sự khác biệt có ý nghĩa thống kê ($F = 18,375$; $p < 0,05$). Trong đó, hàm lượng amoni tại khu vực các xã có giá trị lần lượt theo thứ tự Biển Hồ ($0,13 \pm 0,02$ mg/l) $<$ Ia Kênh ($0,16 \pm 0,01$ mg/l) $<$ Chư Á ($0,21 \pm 0,02$ mg/l) ($p < 0,05$). Tương tự, đối với hàm lượng sắt, độ cứng, pecmanganat, florua, clorua đều thấp hơn nhiều lần so với ngưỡng an toàn. Tuy nhiên, kết quả kiểm định ANOVA cho thấy chỉ có sự khác biệt các vị trí lấy mẫu phân tích đối với hàm lượng sắt trong nguồn nước sinh hoạt ở Pleiku ($F = 21,333$; $p < 0,05$). Hàm lượng sắt tổng tại xã Biển Hồ có kết quả cao hơn so với các mẫu quan trắc ở khu vực xã Ia Kênh, Chư Á và trung bình đạt $0,14 \pm 0,01$ mg/l. Ngoài ra, đối với kết quả phân tích hàm lượng asen chưa thấy dấu hiệu nhiễm bẩn ($< LOD = 0,0001$ mg/l) và nguy cơ gây hại sức khỏe cộng đồng (Bảng 6).

Bảng 6. Hiện trạng chất lượng nước sinh hoạt tại TP. Pleiku.

TT	Thông số	Đơn vị	Trung bình (Mean) ± Độ lệch chuẩn (SD)			QCVN 01–1:2018/BYT
			Ia Kênh	Chư Á	Biển Hồ	
1	Màu sắc	TCU	Không màu	Không màu	Không màu	15
2	Mùi vị	–	Không mùi	Không mùi	Không mùi	Không mùi, vị lạ
3	pH	–	$6,36 \pm 0,34^a$	$6,45 \pm 0,23^a$	$6,54 \pm 0,57^a$	6,0–8,5
4	Độ đục	NTU	$0,0 \pm 0,0$	$0,0 \pm 0,0$	$0,0 \pm 0,0$	2
5	Amoni (N–NH ₄ ⁺)	mg/l	$0,16 \pm 0,01^b$	$0,21 \pm 0,02^c$	$0,13 \pm 0,02^a$	0,3
6	Sắt tổng số	mg/l	$0,06 \pm 0,02^a$	$0,14 \pm 0,01^b$	$0,06 \pm 0,01^a$	0,3
7	Pecmanganat	mg/l	$0,53 \pm 0,25^a$	$0,63 \pm 0,25^a$	$0,47 \pm 0,15^a$	2
8	Độ cứng tính theo CaCO ₃	mg/l	$2,33 \pm 0,58^a$	$3,67 \pm 1,15^a$	$4,00 \pm 1,00^a$	300
9	Florua	mg/l	$< LOD = 0,05$	$< LOD = 0,05$	$< LOD = 0,05$	1,5
10	Clorua	mg/l	$2,07 \pm 0,35^a$	$2,77 \pm 0,38^a$	$2,30 \pm 0,36^a$	250
11	Asen	mg/l	$< LOD = 0,0001$	$< LOD = 0,0001$	$< LOD = 0,0001$	0,01

Chú thích: ^{a, b, c}: Các giá trị trong cùng cột chỉ cần có một 1 mẫu tự giống nhau sẽ không khác nhau ($p > 0,05$).

Bảng 7. Hàm lượng vi sinh nước sinh hoạt tại TP. Pleiku.

Địa điểm	Coliform tổng (CFU/100 mL)	QCVN 01–1:2018/BYT	E. coli (CFU/100mL)	QCVN 01–1:2018/BYT
----------	----------------------------	--------------------	---------------------	--------------------

Xã Ia Kênh	2,4±2,3	<3	KPH	<1
G1-01	6,1±6,0 ^c	<3	KPH	<1
G1-02	2,4±0,7 ^{bc}	<3	KPH	<1
G1-03	0,5±0,8 ^{ab}	<3	KPH	<1
G1-04	2,6±0,5 ^{bc}	<3	KPH	<1
G1-05	0,6±1,0 ^{ab}	<3	KPH	<1
Xã Chư Á	1,5±0,4	<3	KPH	<1
G2-01	1,3±1,1 ^a	<3	KPH	<1
G2-02	1,3±1,1 ^a	<3	KPH	<1
G2-03	0,6±1,0 ^a	<3	KPH	<1
G2-04	2,1±0,3 ^a	<3	KPH	<1
G2-05	2,2±0,3 ^a	<3	KPH	<1
Xã Biển Hồ	1,3±0,3	<3	KPH	<1
G3-01	2,5±0,5 ^c	<3	KPH	<1
G3-02	0,4±0,6 ^{ab}	<3	KPH	<1
G3-03	1,3±1,1 ^{bc}	<3	KPH	<1
G3-04	1,5±1,3 ^{bc}	<3	KPH	<1
G3-05	0,6±1,0 ^{ab}	<3	KPH	<1

Chú thích: ^{a, b, c}: Các giá trị trong cùng cột chỉ cần có một 1 mẫu tự giống nhau sẽ không khác nhau ($p > 0,05$).

Bảng 7 chỉ ra hàm lượng coliform quan trắc tại Ia Kênh có sự khác biệt có ý nghĩa thống kê giữa các vị trí lấy mẫu G1-01 (6,1±6,0 CFU/100mL) với G1-03 (0,5±0,8 CFU/100mL) và G1-05 (0,6±1,0 CFU/100mL) ($p < 0,05$). Tương tự, tại khu vực Biển Hồ cũng chỉ ra có sự khác biệt có ý nghĩa thống kê giữa các vị trí G3-01 (2,5±0,5 CFU/100mL) với G3-02 (0,4±0,6 CFU/100mL) và G3-05 (0,6±1,0 CFU/100mL) về hàm lượng biến động coliform tổng trong nguồn nước sinh hoạt ($p < 0,05$). Trong khi, tại các điểm lấy mẫu ở xã Chư Á không cho thấy sự khác biệt có ý nghĩa thống kê giữa các điểm lấy mẫu quan trắc hàm lượng coliform tổng ($p > 0,05$). Đối với hàm lượng coliform tổng các xã Ia Kênh, Chư Á và Biển Hồ lần lượt có kết quả tương ứng 2,4±2,3; 1,5±0,4 và 1,3±0,3 CFU/100mL. So sánh QCVN 01-1:2018/BYT về chất lượng nước sinh hoạt đáp ứng tiêu chí sử dụng (<3 CFU/100mL). Ngoài ra, kết quả kiểm định ANOVA không cho thấy sự khác biệt giữa các xã ven đô thị thành phố Pleiku ($F=0,930$; $p > 0,05$).

Đánh giá chi tiết đối với các điểm lấy mẫu cho thấy chỉ có vị trí G1-01 (Làng Nhao 1, xã Ia Kênh) có hàm lượng coliform vượt quá quy chuẩn nước sinh hoạt với giá trị 6,1±6,0 CFU/100mL. Do đó, cần có biện pháp khuyến khích người dân tiến hành áp dụng giải pháp đơn giản như lọc, khử trùng và thực hành ăn chín uống sôi,... Tuy nhiên, đối với các vị trí lấy mẫu đánh giá tại thôn làng ở các xã Ia Kênh, Chư Á và Biển Hồ đều có kết quả nằm trong ngưỡng an toàn. Cụ thể, biên động hàm lượng coliform tại Ia Kênh trong khoảng 0,5±0,8 đến 2,6±0,5 CFU/100mL; tại Chư Á từ 0,6±1,0 đến 2,2±0,3 CFU/100mL; và tại Biển Hồ từ 0,4±0,6 đến 2,5±0,5 CFU/100mL. Có thể thấy, mật độ vi sinh trong nguồn nước cấp tại các xã ven đô thị thành phố Pleiku ở ngưỡng thấp và an toàn trong sử dụng cho mục đích sinh hoạt. Mặt khác, đối với hàm lượng E. coli phân tích các mẫu nước tại khu vực các xã ven đô thị thành phố Pleiku chưa phát hiện sự nhiễm bẩn phân trong nước sinh hoạt. Từ đó cho thấy chất lượng nước còn tốt và đáp ứng việc sử dụng cấp sinh hoạt cho người dân. Mặc dù vậy, trên phương diện phòng ngừa cũng cần những đánh giá mức độ rủi ro để làm cơ sở quản lý và bảo vệ tốt hơn sức khỏe cộng đồng [13].

3.2. Phân tích, đánh giá rủi ro vi sinh nước cấp sinh hoạt và đề xuất giải pháp

Đánh giá và quản lý rủi ro trong hệ thống cấp nước sinh hoạt là bước quan trọng trong việc thiết lập kế hoạch quản lý an toàn cấp nước. Đây là cách tiếp cận có tính toàn diện và mang tính hệ thống để quản lý chất lượng nước cấp cho các khu dân cư nông thôn và đô thị [23]. Trường hợp các hệ thống cấp nước đô thị tại thành phố Pleiku đã được áp dụng để đánh giá hệ thống và quản lý các rủi ro liên quan [13]. Đối với vùng ven đô thị Pleiku, đặc tính của vùng ven đô thị là sự kết hợp, giao thoa đặc điểm của vùng nông thôn và vùng đô thị. Nghiên cứu đã tập trung vào các khu dân cư vùng ven đô thị sử dụng các nguồn nước ngầm (nước giếng) sử dụng cấp nước cho các hoạt động sinh hoạt, ăn uống. Trong nghiên cứu này, đánh giá rủi ro được thực hiện cho các bước trong quá trình cấp nước (nguồn nước, lưu trữ, xử lý, sử dụng) [24]. Theo khảo sát 169 hộ gia đình tại 3 xã thuộc vùng ven đô thị Pleiku cho thấy 164 hộ sử dụng nước giếng làm nguồn nước cấp sinh hoạt. Trong đó, bao gồm 154 hộ gia đình (93,9%) sử dụng giếng đào và 10 hộ sử dụng giếng khoan (6,1%). Vì vậy việc quản lý nguồn nước giếng một cách hợp lý là bước quan trọng nhất trong việc cấp nước sinh hoạt. Tiếp theo bước lưu trữ, theo khảo sát người dân khu vực này thường sử dụng bồn trữ nước khoảng 1,5 – 2 m³. Đây là nơi mà các tác nhân gây ô nhiễm bên ngoài có thể gây ra ô nhiễm nguồn nước trong quá trình lưu trữ và sử dụng. Về phương pháp xử lý nước, hầu hết các hộ gia đình chỉ thực hành thao tác đun sôi trước khi sử dụng (99,5%). Trên cơ sở đó, Bảng 8 thể hiện kết quả tổng hợp ý kiến chuyên gia xác định mối nguy và đánh giá mức độ rủi ro khu vực ven đô thị Pleiku.

Bảng 8. Xác định mối nguy và mức độ rủi ro nước cấp sinh hoạt.

TT	Sự kiện mối nguy	Ý kiến (n)	Tỷ lệ (%)	Loại mối nguy	Xác suất xảy ra	Mức độ nghiêm trọng	Cấp độ rủi ro
Nguồn nước							
1	Hoạt động chăn nuôi xung quanh nguồn nước (nước thải và chất thải có thể xâm nhập nước ngầm)	5/5	100	Sinh học	5	3	Cao (15)
2	Nước thải và chất thải từ nhà vệ sinh xung quanh khu vực nguồn nước	5/5	100	Sinh học	2	3	Trung bình (6)
3	Sử dụng phân bón, thuốc trừ sâu xung quanh khu vực nguồn nước	4/5	80	Sinh học	2	3	Trung bình (6)
4	Chảy tràn bề mặt	5/5	100	Sinh học	2	3	Trung bình (6)
Lưu trữ							
5	Vệ sinh đường ống và bể chứa kém	5/5	100	Sinh học	2	3	Trung bình (6)
6	Ăn mòn, rò rỉ đường ống dẫn nước	4/5	80	Sinh học	1	2	Thấp (2)
7	Nhiễm bẩn từ nước mưa	5/5	100	Sinh học	2	3	Trung bình (6)

TT	Sự kiện môi nguy	Ý kiến (n)	Tỷ lệ (%)	Loại môi nguy	Xác suất xảy ra	Mức độ nghiêm trọng	Cấp độ rủi ro
8	Nhiễm bẩn phân từ động vật nuôi (môi trường xung quanh)	5/5	100	Sinh học	5	3	Cao (15)
9	Lưu trữ nước thời gian dài	4/5	80	Sinh học	2	3	Trung bình (6)
Xử lý – Sử dụng							
10	Thao tác vệ sinh, xử lý sơ bộ nước không đảm bảo	5/5	100	Sinh học	1	2	Thấp (2)
11	Nhiễm bẩn, xâm nhập vi sinh từ không khí và nước mưa	5/5	100	Sinh học	2	2	Thấp (4)

Quá trình khảo sát phần lớn các hộ dân vùng ven đô thị Pleiku đều có các hoạt động nông nghiệp (trồng trọt, chăn nuôi) quanh khu vực nhà ở và nguồn nước (146 hộ, tương ứng 89,0%), điều này chỉ ra rằng việc một số môi nguy tiềm tàng có mức độ rủi ro cao. Không những vậy, sự kết hợp ảnh hưởng từ yếu tố lượng mưa cũng có thể dẫn đến sự nhiễm bẩn vi sinh và chất lượng các nguồn nước mặt [25]. Nhìn chung, nguồn nước và bồn trữ nước có thể bị tác động và nhiễm bẩn phân từ các động vật nuôi (gà, vịt, chó, mèo, bò). Các môi nguy này có thể diễn ra hàng ngày và dẫn đến nguy cơ làm nước bị nhiễm bẩn vi sinh. Điều này sẽ gây ra nguy cơ tăng rủi ro, ảnh hưởng trực tiếp đến sức khoẻ người dân (môi nguy số 1,4,8). Ngoài ra các hoạt động trồng trọt xung quanh cũng có thể tác động tới nguồn nước ngầm nông vì dư lượng của phân bón, thuốc trừ sâu chảy thấm xuống mạch nước ngầm [26]. Môi nguy này đặc biệt có thể xảy ra vào mùa mưa hoặc sau những đợt mưa lớn tạo dòng chảy ngầm xuống mạch nước ngầm (môi nguy số 3).

Bảng 9. Các biện pháp kiểm soát rủi ro.

Các môi nguy	Đề xuất giải pháp	Các bên tham gia
Tất cả các môi nguy	Tập huấn cách thức vệ sinh môi trường và bảo vệ nguồn nước, sử dụng nước an toàn hợp; xử lý nước đúng cách, thực hành đun sôi trước khi sử dụng	Hộ dân; Cán bộ môi trường xã; Phòng Tài nguyên & Môi trường thành phố
3,4	Tập huấn cách thức sử dụng phân bón hiệu quả gắn liền bảo vệ môi trường (lựa chọn phù hợp chủng loại, liều lượng, thời gian, khoảng cách...)	Hộ dân; Cán bộ nông nghiệp xã; Phòng Nông nghiệp & PTNT thành phố
1,8	Ngăn ngừa chăn thả gia súc, động vật gần khu vực nguồn nước sinh hoạt bằng việc sử dụng các biện pháp để rào, chắn khu vực giếng nước sử dụng, đảm bảo không để các nguồn nước thải, chất thải từ động vật, hoặc các nguồn khác xâm nhập	Hộ dân; Trung tâm Y tế dự phòng xã; Cán bộ nông nghiệp xã
2	Đảm bảo khoảng cách về nhà vệ sinh với nguồn nước, đồng thời sửa chữa, hoặc thải bỏ đúng quy định	Hộ dân; Trung tâm Y tế dự phòng xã; Phòng Nông nghiệp & PTNT thành phố

Các mối nguy	Đề xuất giải pháp	Các bên tham gia
5,6,10	Vệ sinh thường xuyên đường ống, bồn, bể chứa, dụng cụ đun nấu bếp	Hộ dân; Trung tâm Y tế dự phòng xã
5,6	Kiểm tra, sửa chữa nếu gặp sự cố rò rỉ, bể đường ống dẫn nước	Hộ dân; Trung tâm Y tế dự phòng xã
Tất cả các mối nguy	Tăng cường các quy định về công tác bảo vệ nguồn nước, vệ sinh môi trường quanh khu vực sống, đặc biệt khu vực nguồn nước sử dụng	Hộ dân; Cán bộ môi trường xã; Phòng Tài nguyên & Môi trường thành phố

Có thể thấy, nguồn nước ngầm từ giếng đào các khu vực vùng ven đô thị thường quan tâm đến các vấn đề nhiễm bản kim loại (sắt, mangan, asen) và vi sinh [27–28]. Theo kết quả kiểm tra chất lượng nước, rủi ro vi sinh (sinh học) cần được quan tâm trong các khu vực ven đô thị Pleiku. Vì vậy, nghiên cứu xem xét chú trọng công tác đánh giá và quản lý rủi ro một số khía cạnh vi sinh quan trọng nguồn nước cấp (Bảng 9). Cụ thể, với các mối nguy có mức độ rủi ro cao cần được ưu tiên đề xuất giải pháp quản lý kịp thời (mối nguy 1,8). Các mối nguy có cấp độ rủi ro trung bình cần thực hiện cải tiến các biện pháp hiện hữu và đề xuất các giải pháp mới để đảm bảo cấp độ rủi ro được kiểm soát mức thấp nhất (ví dụ: mối nguy 2,3,4,7). Đối với các mối nguy có mức độ rủi ro thấp chỉ thực hiện việc nhận diện để quản lý rủi ro trong các bước cấp nước (mối nguy 6,10,11). Như vậy, việc nhận diện các mối nguy và đánh giá rủi ro liên quan đến cấp nước rất quan trọng, giúp cải thiện và bảo vệ sức khỏe cộng đồng [29]. Tuy nhiên để người dân nhận diện, hiểu rõ các mối nguy và cấp độ rủi ro, việc tập huấn vệ sinh, an toàn cấp nước cần được thực hiện định kỳ bởi các cơ quan như: Sở Y tế, Trung tâm nước sạch & Vệ sinh môi trường nông thôn và Sở Tài nguyên & Môi trường, v.v.. [14]. Đồng thời việc tập huấn sử dụng phân bón, thuốc trừ sâu phục vụ nông nghiệp cần được tiến hành cũng như thải bỏ các loại bao bì, chất thải đúng quy định. Để đạt hiệu quả, các cơ quan chức năng cần nghiên cứu ban hành các quy định hoặc hướng dẫn về công tác bảo vệ nguồn nước, vệ sinh môi trường. Thêm vào đó, cần ngăn ngừa động vật nuôi tiếp xúc nguồn nước bằng việc thiết lập hàng rào an toàn, che chắn tránh tình trạng chất thải đi vào nguồn nước và đảm bảo khoảng cách nhà vệ sinh hợp lý để bảo vệ nguồn nước sinh hoạt. Ngoài ra, hoạt động kiểm tra sửa chữa đường ống, thiết bị dẫn nước, dụng cụ lưu trữ nước và sự chung tay các bên liên quan đến giải pháp bảo vệ hệ thống cấp nước sinh hoạt cũng cần được chú trọng [12, 14].

4. Kết luận

Cấp nước sinh hoạt an toàn là quan trọng trong việc duy trì cuộc sống, vì vậy kết quả đánh giá và quản lý rủi ro do vi sinh liên quan đến cấp nước sinh hoạt để phòng ngừa bệnh tật và đảm bảo sức khỏe cộng đồng dân cư rất cần thiết. Về kết quả chất lượng mẫu nước cấp sinh hoạt tại vùng ven đô thị thành phố Pleiku khá tốt, tuy nhiên trong quá trình cấp nước có nhiều mối nguy có thể tác động đến chất lượng nước, đặc biệt là các hoạt động chăn nuôi và trồng trọt xung quanh khu vực nguồn nước. Kết quả nghiên cứu đã xác định và phân hạng được các nhóm cấp độ rủi ro liên quan đến nước sinh hoạt với đặc thù khu vực ven đô thị ở thành phố Pleiku (tỉnh Gia Lai), khu vực Tây Nguyên. Trong đó, bao gồm 2 mối nguy có cấp độ rủi ro cao, 6 mối nguy trung bình và 3 mối nguy rủi ro thấp. Do đó, cần thực hiện việc tăng cường nhận thức của người dân về các mối nguy liên quan, thực hiện tốt công tác vệ sinh môi trường quanh khu vực nguồn nước. Công tác bảo trì bảo dưỡng và vệ sinh đường ống, bồn trữ nước cần thực hiện thường xuyên để ngăn ngừa các mối nguy tiềm tàng. Điều này giúp bảo vệ sức khỏe cộng đồng dân cư và an toàn trong sử dụng nước cấp vùng ven đô thị tại thành phố Pleiku, tỉnh Gia Lai, Việt Nam.

Đóng góp của tác giả: Xây dựng ý tưởng: N.T.A., N.M.K.; Lựa chọn phương pháp nghiên cứu: N.T.A., N.M.K., N.N.H.; Khảo sát, lấy mẫu và phân tích: N.T.A., N.M.K.; Xử lý dữ

liệu: N.M.K., N.T.A., N.N.H., B.Q.D.; Viết bản thảo bài báo: N.T.A., N.M.K.; Chỉnh sửa bài báo: N.T.A., N.M.K., N.N.H., B.Q.D.

Lời cảm ơn: Nghiên cứu được thực hiện bởi sự tài trợ của đề tài nghiên cứu khoa học cấp cơ sở Trường Đại học Nông Lâm TP. Hồ Chí Minh (CS–CB20–PHGL–01). Ngoài ra, tập thể tác giả chân thành cảm ơn ThS. Trần Nguyễn Lâm Khương (Đại học Nông Lâm TP. Hồ Chí Minh) đã hỗ trợ nhóm tác giả trong quá trình khảo sát thực hiện nghiên cứu này.

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

Tài liệu tham khảo

1. Bain, R.; Johnston, R.; Slaymaker, T. Drinking water quality and the SDGs. *NPJ Clean Water* **2020**, *3*, 37. <https://doi.org/10.1038/s41545-020-00085-z>.
2. Howard, G.; Bartram, J. Domestic Water Quantity, Service Level and Health. WHO Document Production Services, Geneva, 2003. Available online: https://www.who.int/water_sanitation_health/diseases/WSH03.02.pdf (accessed on date March 17, 2021).
3. Prüss-Üstün, A.; Wolf, J.; Corvalán, C.; Bos, R.; Neira, M. Preventing disease through healthy environments: a global assessment of the burden of disease from environmental risks. World Health Organization, Geneva, 2016.
4. Hunter, P.R.; Chalmers, R.M.; Hughes, S.; Syed, Q. Self-reported diarrhea in a control group: a strong association with reporting of low-pressure events in tap water. *Clin. Infect. Dis.* **2005**, *40*, 32–34.
5. WHO, United Nations' Children's Fund. Water, sanitation and hygiene in health care facilities – Status in low – and middle-income countries and way forward. World Health Organization, Geneva, 2015. Available online: https://www.who.int/water_sanitation_health/publications/wash-health-care-facilities/en/ (accessed on date March 13, 2021).
6. WB. Economic Assessment of sanitation interventions in Vietnam. World Bank, 2012. Available online: <https://www.wsp.org/sites/wsp/files/publications/WSP-ESI-assessment-Vietnam.pdf> (accessed on date March 11, 2021).
7. WHO. Preventing diarrhoea through better water, sanitation and hygiene: exposures and impacts in low – and middle-income countries. World Health Organization, Geneva, 2014. Available online: https://www.who.int/water_sanitation_health/diseases-risks/gbd_poor_water/en/ (accessed on date March 13, 2021).
8. WHO. Guidelines for drinking-water quality. World Health Organization, Geneva, 2004. Available online: https://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/GDWQ2004web.pdf (accessed on date March 11, 2021).
9. WHO. Sanitation safety planning: manual for safe use and disposal of wastewater, greywater and excreta. World Health Organization, Geneva, 2015. Available online:

- https://www.who.int/water_sanitation_health/publications/ssp-manual/en/
(accessed on date March 11, 2021).
10. Rickett, B.; Schmoil, O.; Renhold, A.; Barrenberg, E. *Water Safety Plan: A Field Guide to Improve Drinking Water Safety in Small Communities*. World Health Organization, Geneva, Switzerland, 2004, pp. 1–16.
 11. Lutendo, S.M.; Murembiwa S.M.; Paul R.H. Systematic risk management approach of household drinking water from the source to point of use. *J. Water Sanit. Hyg. Dev.* **2017**, 7(2), 290–299. doi: <https://doi.org/10.2166/washdev.2017.029>.
 12. WHO. Water safety in distribution systems. World Health Organization, 2014. Available online: https://www.who.int/water_sanitation_health/publications/water-safety-in-distribution-system/en/ (accessed on date March 21, 2021).
 13. Anh, N.A.; Ky, N.M.; Hai, N.N. Risk assessment and management in domestic water supply system in Pleiku city – Gia Lai province. *JST-UD* **2019**, 17, 50–55. doi: 10.31130/JST-UD2018-366.
 14. Anh, N.A.; Hai, N.N.; Trang, T.T.T; Dung, B.Q.; Ky, N.M. Analyzing stakeholder involvement in urban domestic water supply system – case study in Central Highland of Vietnam. *VN J. Hydrometeorol.* **2019**, 2-1, 56–65. [https://doi.org/10.36335/VNJHM.2019\(2-1\).56-65](https://doi.org/10.36335/VNJHM.2019(2-1).56-65).
 15. Bartram, J. (Eds.). *Water safety plan manual: step-by-step risk management for drinking-water suppliers*. World Health Organization and International Water Association, Geneva, 2009.
 16. WHO. *Guidelines for drinking-water quality*. World Health Organization, Geneva, 2011. Available online: https://www.who.int/water_sanitation_health/publications/2011/dwq_guidelines/en/ (accessed on date March 14, 2021).
 17. Hung, N.T.Q.; Danh, Đ.H.; Vũ, T.P.; Kỳ, N.M.; Tuấn, H.N.A. Nghiên cứu đánh giá hiện trạng sử dụng và chất lượng nước cấp sinh hoạt tại huyện Trảng Bàng, tỉnh Tây Ninh. *JS: ESS* **2018**, 34, 10–21. <https://doi.org/10.25073/2588-1094/vnuees.4251>.
 18. Bartram, J.; Cairncross, S. Hygiene, Sanitation, and Water: Forgotten Foundations of Health. *PLoS Med.* **2010**, 7, 1000367. <https://doi.org/10.1371/journal.pmed.1000367>.
 19. Zhang, J. The impact of water quality on health: Evidence from the drinking water infrastructure program in rural China. *J. Health Econ.* **2012**, 31, 22–134.
 20. Zhang, Y.; Han, X.; Niu, Z. Health risk assessment of haloacetonitriles in drinking water based on internal dose. *Environ. Pollut.* **2018**, 236, 899–906.
 21. Kỳ, N.M. Nghiên cứu đánh giá chất lượng nước sinh hoạt của cộng đồng dân cư dân đảo Cù Lao Chàm. *HU JOS* **2013**, 87, 81–91.
 22. Yang, C.Y.; Cheng, M.F.; Tsai, S.S.; Hsieh, Y.L. Calcium, magnesium, and nitrate in drinking water and gastric cancer mortality. *Jpn. J. Cancer Res.* **1998**, 89, 124–130.
 23. WHO. *Water safety plan: Managing drinking-water quality from catchment to consumer*. World Health Organization, Geneva, 2005. Available online: https://www.who.int/water_sanitation_health/publications/wsp0506/en/ (accessed on date January 25, 2021).

24. WHO. Water safety planning for small community water supplies: Step-by-step risk management guidance for drinking-water supplies in small communities. World Health Organization, Geneva, 2012. Available online: https://www.who.int/water_sanitation_health/publications/small-comm-water_supplies/en/ (accessed on date January 25, 2021).
25. Kỳ, N.M.; Hưng, N.T.Q.; Trâm, Đ.T.Q.; Dũng, B.Q. Nghiên cứu mối liên hệ giữa yếu tố lượng mưa và sự gia tăng trực khuẩn đường ruột (Fecal coliform) ở một số hồ Kinh thành Huế. *VN J. Hydrometeorol.* **2019**, *703*, 69–77.
26. Nouri, J.; Mahvi, A.H.; Jahed, G.R.; Babaei, A.A. Regional distribution pattern of groundwater heavy metals resulting from agricultural activities. *Environ. Geol.* **2008**, *55*, 1337–1343. <https://doi.org/10.1007/s00254-007-1081-3>.
27. Cam, P.D.; Lan, N.T.P.; Smith, G.D.; Verma, N. Nitrate and bacterial contamination in well waters in Vinh Phuc province, Vietnam. *J. Water Health* **2008**, *6*, 275–279. <https://doi.org/10.2166/wh.2008.027>.
28. Hoang, T.H.; Bang, S.; Kim, K.W.; Nguyen, M.H.; Dang, D.M. 2010. Arsenic in groundwater and sediment in the Mekong River delta, Vietnam. *Environ. Pollut.* **2010**, *158*, 2648–2658. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.20-10.05.001>.
29. Vieira, J.M.P. Water safety plans: methodologies for risk assessment and risk management in drinking-water systems. The fourth inter-celtic colloquium on hydrology and management of water resources, 2005. Available online: <https://aprh.pt/celtico/PAPERS/RT2P3.PDF> (accessed on date December 14, 2020).

Assessing the current situation and microbiological risks in domestic water supply in peri-urban areas: A case study in Pleiku, Gia Lai Province, Vietnam

Nguyen Tuan Anh¹, Nguyen Minh Ky^{1*}, Nguyen Ninh Hai¹, Bach Quang Dung²

¹ Nong Lam University of Ho Chi Minh City, Gia Lai Campus;

ngtuananh@hcmuaf.edu.vn; nnhai@hcmuaf.edu.vn; nmky@hcmuaf.edu.vn

² Viet Nam Meteorological and Hydrological Administration; dungmmu05@gmail.com

Abstract: Assessing and managing risks in domestic water supply systems is an important step in establishing a water safety plan. The issue of microbiological risks in domestic water supply is of particular concern to prevent water-borne diseases. This study used an experimental method of collecting and examining domestic water samples, and also using a semi-quantitative method to assess the level of risk to hazards associated with the water supply system in the peri-urban areas in Pleiku city, Gia Lai Province, Central Highlands of Vietnam. The results of testing water samples in the laboratory showed that the water quality of domestic water is quite good and suitable for domestic water use. However, the water sample of G1-01 at Nhao 1 village – Ia Kenh commune had coliform content exceeding the standard of domestic water QCVN 01-1:2018/BYT (>3 CFU/100mL). Also, the results identified a number of important hazards associated with domestic water supply, including two hazards with high levels of risk related to agricultural (livestock) activities and six hazards with medium level. These hazards have been determined and given the priority to propose measures to mitigate the level of risks.

Keywords: Risk assessment; Microbiological risks; Domestic water supply; Peri-urban areas.

Bài báo khoa học

Khả năng áp dụng các công thức bán thực nghiệm bùn cát đáy cho lưu vực sông có địa hình đáy dốc

Đặng Trường An^{1*}

¹ Trường ĐH Khoa học Tự Nhiên–Đại học Quốc gia Tp. HCM, 227 Nguyễn Văn Cừ, Quận 5, Tp.HCM; dtan@hcmus.edu.vn

*Tác giả liên hệ: dtan@hcmus.edu.vn; Tel.: +84–909719878

Ban Biên tập nhận bài: 12/3/2021; Ngày phản biện xong: 6/5/2021; Ngày đăng bài: 25/6/2021

Tóm tắt: Bùn cát đóng một vai trò quan trọng trong duy trì và ổn định hình thái sông. Trong đó, bùn cát đáy đóng góp đáng kể vào quá trình bồi–xói của sông. Các công thức tính lưu lượng bùn cát thường được sử dụng như một công cụ hữu dụng trong nghiên cứu về hình thái sông. Tuy nhiên, các công thức tính lưu lượng bùn cát thường xây dựng cho các mục đích áp dụng riêng, áp dụng giới hạn trong một số trường hợp cụ thể. Để triển khai, các công thức tính lưu lượng bùn cát của Park (2012), Cheng (2002), Meyer–Peter và Mueller (1950), Einstein–Brown (1950), Yalin (1963) và Van Rijn (2007) đã được áp dụng trong nghiên cứu này. Kết quả cho thấy, công thức Park tính lưu lượng bùn cát hợp lý đối với dữ liệu đã đo đạc. Sai số R_{mean} , RMSE và MAPE lần lượt là 0,75; 0,035 và 10,5% trong khi các công thức khác các sai số này tương ứng dao động trong khoảng từ 0,31–0,71; 0,046–0,197 và 16,8–48,6%. Công thức Park (2012) được xây dựng trên cơ sở phân cấp kích thước hạt, từ đó có thể khẳng định cách tiếp cận phân chia kích thước hạt trong tính toán lưu lượng bùn cát đáy đóng vai trò quan trọng chi phối kết quả.

Từ khóa: Ứng suất cắt; Bùn cát đáy; Độ dốc; Kích thước hạt; Lưu lượng.

1. Mở đầu

Bùn cát đáy đóng một vai trò quan trọng đối với việc duy trì quá trình cân bằng và ổn định đáy của một con sông [1–3]. Do đó, việc tính toán, dự báo vận chuyển bùn cát là rất quan trọng trong nhiều dự án kỹ thuật liên quan đến sông ngòi [2, 4–6]. Trong các nghiên cứu có liên quan biến đổi hình thái sông, các nhà chuyên môn thường tiến hành đo đạc các đặc trưng bùn cát ngoài hiện trường, tuy nhiên, các chuyến khảo sát đo đạc thu thập các mẫu bùn cát ngoài hiện trường thường rất khó khăn và tốn kém [5, 7–8]. Một trong những giải pháp hiệu quả có thể giúp xác định lưu lượng bùn cát là áp dụng các công thức thực nghiệm và bán thực nghiệm để xác định lưu lượng bùn cát của một con sông [3, 5, 9]. Theo nghiên cứu [9], bùn cát tồn tại trong môi trường gần sát đáy sông theo cơ chế lăn, trượt, hoặc nhảy cóc thì được xem là bùn cát đáy. Mặc dù bùn cát đáy trong các con sông miền núi, sông có địa hình đáy dốc trong một số trường hợp chỉ chiếm tỉ lệ từ 5–25% so với bùn cát lơ lửng [2, 9–10], tuy nhiên chính bùn cát đáy là nhân tố quan trọng giúp duy trì thế cân bằng hay mất cân bằng địa hình đáy sông [6, 11]. Chính vì vậy, kể từ những năm 1970, nhiều nghiên cứu về chuyên vận bùn cát đáy đã được tiến hành ở các khu vực khác nhau trên thế giới [11–13].

Cụ thể, [12] đã tiến hành nghiên cứu xác định lưu lượng bùn cát đáy cho khu vực sông có vật liệu đáy thô. Nghiên cứu đã áp dụng 12 công thức tính lưu lượng bùn cát đáy để xác định lưu lượng bùn cát dựa trên tiếp cận chuyển vận bùn cát cân bằng cho 4 bộ dữ liệu đo đạc từ các con sông tự nhiên và 3 bộ dữ liệu đo được từ kênh thực nghiệm trong phòng thí

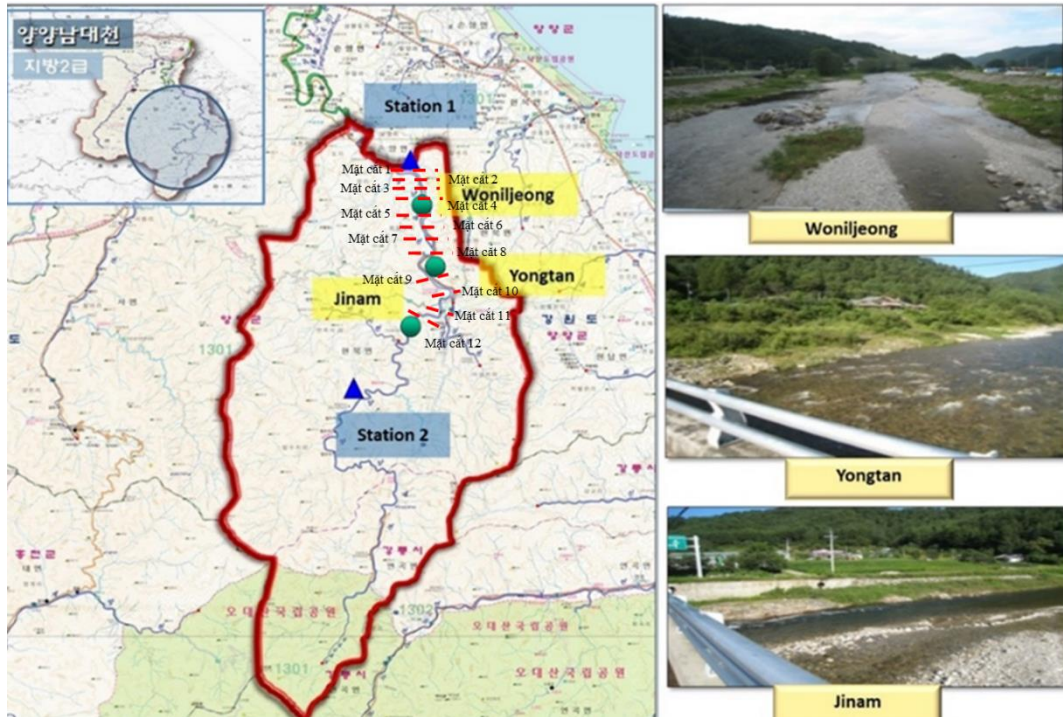
nghiệm. Các kết quả nghiên cứu chỉ ra rằng, trong số các công thức đã áp dụng, không một công thức nào cho kết quả tính toán đáp ứng như mong đợi. Nghiên cứu đã rút ra nhận định rằng, thất bại trong nghiên cứu nguyên nhân chính đến từ việc các công thức tính lưu lượng bùn cát đã áp dụng được xây dựng dựa trên tiếp cận chuyển vận mà chưa xem xét bản chất vật lý của các hiện tượng xảy ra trong quá trình chuyển động của hạt. [13] đã áp dụng thử nghiệm một số công thức tính lưu lượng bùn cát đáy cho một đoạn sông có độ dốc đáy lớn Rio Cordo. Nghiên cứu đã chỉ ra rằng, công thức Bagnold [12] cho độ tin cậy cao thông qua hệ số tương quan giữa kết quả tính toán và thực đo. Năm 2002, [8] đã xây dựng một công thức bùn cát đáy dựa trên tiếp cận ứng suất cắt tới hạn để xác định lưu lượng bùn cát cho các con sông có vật liệu đáy thô. Qua quá trình nghiên cứu, tác giả đã báo cáo rằng, công thức cho kết quả tính toán phù hợp tốt trong môi trường có bùn cát chuyển động yếu đến chuyển động mạnh. [11] đã tiến hành đo đạc lưu lượng bùn cát tại Las Vegas Wash, một dòng chảy kênh Las Vegas của bang Nevada, Mỹ. Dữ liệu đo đạc này được sử dụng để nghiên cứu sự vận chuyển vật liệu đáy bằng một công thức bán thực nghiệm xác định tốc độ vận chuyển. Các kết quả tính toán chỉ ra rằng, chuyển động của bùn cát không chỉ phụ thuộc vào kích thước hạt mà còn phụ thuộc vào độ sâu dòng chảy. Công trình nghiên cứu này đã góp phần cải thiện hiểu biết của con người trong nghiên cứu các quá trình vận chuyển bùn cát tại các lưu vực sông có vật liệu đáy sông hòa trộn nhiều loại kích thước khác nhau. Năm 2012, [9] đã sử dụng 14 chuỗi dữ liệu đo đạc từ các con sông tự nhiên để ước lượng lưu lượng bùn cát đáy trong sông Node ở miền bắc Iran. Kết quả chỉ ra rằng, các công thức Van Rijn, Meyer–Peter, Müller và Ackers, và White có thể áp dụng dự báo lưu lượng bùn cát cho khu vực sông Node. Một nghiên cứu được tiến hành bởi [1] đã đánh giá khả năng dự báo lưu lượng bùn cát đáy cho một số con sông thuộc Ấn Độ. Công thức Brown và Recking đã được áp dụng tính toán bùn cát đáy dựa trên dữ liệu đo đạc ngoài hiện trường. Kết quả cho thấy, công thức Recking tính lưu lượng tốt hơn công thức Brown.

Kết quả phân tích nghiên cứu cho thấy, hầu hết các công thức được xây dựng dựa trên đường kính hạt trung bình (d_{50}) hoặc sử dụng 3 loại kích thước hạt d_{35} , d_{50} và d_{85} [14–16]. Theo [2, 9, 17–18], cách tiếp cận chỉ sử dụng kích thước hạt trung bình hay kết hợp 3 loại kích thước hạt cho kết quả tính toán chưa cao trong một số trường hợp lưu vực sông nghiên cứu có kích thước hạt từ cát mịn đến đá cuội. Do đó, mục tiêu của nghiên cứu là a) xác định công thức bùn cát đáy thích hợp ước tính lưu lượng bùn cát cho lưu vực sông Yangyang Namdaechon, Hàn Quốc và b) sử dụng công thức bùn cát được lựa chọn để xây dựng module mô phỏng diễn biến bồi-xói đáy sông cho nghiên cứu tiếp theo.

2. Phương pháp nghiên cứu

2.1. Khu vực áp dụng nghiên cứu

Khu vực nghiên cứu thuộc lưu vực sông Yangyang Namdaechon (Hình 1), phía đông bắc Hàn Quốc, có diện tích khoảng 128,68 km² trải dài từ 37.6–38.5 vĩ độ Bắc và 128.3–129.0 kinh độ Đông. Khu vực nghiên cứu bắt nguồn từ biên giới phía bắc Hàn Quốc, chảy xuống phía Nam với chiều dài sông chính xấp xỉ 100 km. Địa hình khu vực nghiên cứu có độ dốc đáy sông dao động trong khoảng từ 1,5 đến 4,3%. Khu vực nghiên cứu có khí hậu ôn hòa với mưa hàng năm trung bình khoảng 1400 mm, trong đó mùa mưa chiếm đến 60% lượng mưa năm. Mưa trong bão có thể đạt đến 392 mm ghi nhận năm 2003, dẫn đến sạt lở đất và bùn cát trong các sông bao gồm cát, sỏi và đá cuội với đường kính hạt d_{50} dao động trong khoảng từ 2,35 đến 34.6 mm và thường đạt hàm lượng cực đại khi có bão xảy ra trong khu vực. Khi ấy, tốc độ dòng chảy có thể đạt 3,4 m/s và lưu lượng dòng chảy khi ấy lên đến 190 m³/s [2].



Hình 1. Bản đồ khu vực nghiên cứu.

2.2. Phương pháp tiến hành

Trong số các công thức tính lưu lượng bùn cát đáy hiện có, các nhà nghiên cứu thường tìm kiếm công thức đáp ứng một cách hiệu quả nhất đối với các vấn đề nghiên cứu của họ. Điều này không dễ dàng vì các công thức bùn cát khác nhau khi áp dụng cho một khu vực sẽ cho kết quả khác nhau đáng kể [13, 18–19]. Vì vậy, nghiên cứu này đã áp dụng thử nghiệm các công thức tính bùn cát đáy dựa trên khả năng ứng dụng của chúng cho các sông có vật liệu đáy đa dạng.

2.2.1. Công thức của Park (2012)

Năm 2012, Park và cộng sự đã xây dựng công thức bán thực nghiệm xác định lưu lượng bùn cát đáy dựa trên phân cấp kích thước hạt từ bộ số liệu khảo sát hiện trường các lưu vực sông miền núi ở Hàn Quốc [2]. Ý tưởng chính xây dựng công thức áp dụng cho các sông miền núi nơi mà vật liệu đáy không đồng nhất. Công thức được xây dựng như sau:

$$q_{tbs} = \sum_{i=1}^N q_{sbi} \tag{1}$$

$$q_{sb} = \gamma \sqrt{g(\sigma_s - 1) d_m^3} q_{sb}^* \tag{2}$$

$$q_{sb}^* = 0.00157 \tau_i^{*0.418} (\tau_i^* - \tau_{ci}^*)^{0.307} \tag{3}$$

$$\tau_{ci}^* = 0.0308 \left(\tau_b \frac{d_i}{d_m} \right)^{0.545} \tag{4}$$

$$\tau_i^* = \frac{\tau_b}{\gamma(\sigma_s - 1) d_i} \tag{5}$$

Trong đó q_{tbs} trong công thức (1) là tổng lưu lượng bùn cát đáy (kg/s); q_{sb} trong công thức trong công thức (2) là lưu lượng bùn cát ứng mỗi cấp kích thước hạt d_i và q_{sb}^* là lưu lượng bùn cát đáy không thứ nguyên ứng với cấp hạt i ; g là gia tốc trọng trường (m/s^2); d_m là kích thước hạt bùn cát trung bình chiếm 50% thành phần hạt mịn (mm); τ_{ci}^* là ứng suất cắt Shields không thứ nguyên của chuyển động tới hạn; τ_b là ứng suất cắt đáy không thứ nguyên; σ_b là tỷ số

không thứ nguyên giữa 84% kích thước hạt bùn cát thô và 16% kích thước hạt bùn cát mịn và σ_s là tỷ số không thứ nguyên giữa trọng lượng riêng của bùn cát đáy và của nước.

$$\tau_b = \gamma HS; \sigma_b = \left(\frac{d_{84}}{d_{16}}\right)^{\frac{1}{2}}; \sigma_s = \frac{\gamma_s}{\gamma} \quad (6)$$

Trong đó H là độ sâu nước (m); d_m là kích thước hạt bùn cát đáy (mm); S là độ dốc mặt nước; γ_s và γ là trọng lượng riêng của hạt bùn cát đáy và của nước (kg/m^3).

2.2.2. Công thức của Cheng (2002)

[8] đã giới thiệu công thức tính lưu lượng bùn cát đáy và công thức này sử dụng chỉ ứng suất cắt tương tự như đối với công thức [18]. Công thức được đánh giá phù hợp tốt với công thức tính bùn cát đáy [18] cho điều kiện chuyển vận bùn cát là yếu và ứng suất cắt nhỏ. Lưu lượng bùn cát đáy được xác định như sau:

$$q_b = 13\tau^{*3/2} \exp\left(-\frac{0.05}{\tau^{*3/2}}\right) \quad (7)$$

Trong đó q_b là lưu lượng bùn cát đáy (kg/s), τ^* là tham số ứng suất cắt không thứ nguyên Shields.

2.2.3. Công thức của Meyer–Peter and Mueller (1948)

Một trong những công thức được sử dụng rộng rãi trong các tính toán lưu lượng bùn cát đáy được thể hiện trong kết quả nghiên cứu [15]. Thêm vào đó, công thức cũng được xem là công cụ hiệu quả áp dụng tính lưu lượng bùn cát đáy cho các nghiên cứu cơ bản cũng như các ứng dụng kỹ thuật. Công thức được xây dựng như sau:

$$q^* = 8 \left[\frac{q'_w}{q_w} \left(\frac{K_b}{K_r}\right)^{3/2} \tau^* - 0.047 \right]^{3/2} \quad (8)$$

$$q^* = \frac{q_b}{\sqrt{Rgd_m d_m}} \quad (9)$$

$$\tau^* = \frac{\tau_0}{\rho Rgd} = \frac{HS}{Rd_m} \quad (10)$$

Trong đó q_b là lưu lượng bùn cát đáy (kg/s), q^* lưu lượng bùn cát không thứ nguyên; g là gia tốc trọng trường (m/s^2); q_w là lưu lượng nước trên một đơn vị chiều rộng kênh ($\text{m}^3/\text{s/m}$); q'_w là lưu lượng nước trên một đơn vị chiều rộng kênh sau khi hiệu chỉnh các hiệu ứng thành bên ($\text{m}^3/\text{s/m}$); K_b là hệ số nhám Manning–Strickler cho đáy kênh; K_r là hệ số nhám Manning–Strickler liên quan đến ma sát của đáy kênh; τ^* là ứng suất cắt không thứ nguyên Shields; τ_0 là ứng suất cắt biên dưới điều kiện dòng chảy chuẩn và d_m là đường kính hạt trung bình (mm).

2.2.4. Công thức của Einstein (1950)

Công thức bùn cát đáy [20] được đặt tên theo tác giả. Công thức được xây dựng như sau:

$$q^* = \begin{cases} \frac{K \exp\left(-\frac{0.391}{\tau^*}\right)}{0.465} & \tau^* < 0.182 \\ 40K\tau^{*3} & \tau^* \geq 0.182 \end{cases} \quad (11)$$

$$K = \sqrt{\frac{2}{3} + \frac{36}{d^{*3}}} - \sqrt{\frac{36}{d^{*3}}} \quad (12)$$

Trong đó q^* là lưu lượng bùn cát đáy (kg/s); τ^* là ứng suất cắt không thứ nguyên Shields; K là hệ số thường được xác định dựa trên bảng tra và d^* là đường kính hạt bùn cát trung bình (mm).

2.2.5. Công thức của Yalin (1963)

Công thức bùn cát đáy [15] được xây dựng dựa trên tiếp cận ứng suất cắt. Công thức được miêu tả như sau:

$$q_c = A \left(\frac{\rho_s}{\rho} - 1 \right) \rho^{\frac{1}{2}} \tau^{\frac{1}{2}} D_s \tag{13}$$

Trong đó q_c là lưu lượng hạt bùn cát (kg/s); ρ_s và ρ_r là mật độ bùn cát và nước (kg/m³); τ^2 ứng suất cắt, D_s là đường kính hạt bùn cát trung bình (mm); g là gia tốc trọng trường (m/s²) và A là hệ số được xác định bởi công thức (14). Trong khi tham số β trong công thức (14) được xác định dựa trên công thức (15).

$$A = 0.635\gamma \left[1 - \frac{1}{\beta} \log(1 + \beta) \right] \tag{14}$$

$$\beta = 2.45 \frac{\sqrt{\tau_i^*}}{\left(\frac{\rho_s}{\rho} \right)^{0.4}} \tag{15}$$

2.2.6. Công thức của Rottner (1950)

Rottner đã xây dựng công thức tính lưu lượng bùn cát đáy dựa trên các phân tích hồi quy [9]. Công thức được viết như sau:

$$q_b = \gamma_s [(\gamma - 1)gD^3]^{\frac{1}{3}} \times \left\{ \frac{v}{[(\gamma - 1)gD]^{\frac{1}{2}}} \left[0.667 \left(\frac{d_{50}}{D} \right)^{\frac{2}{3}} + 0.04 \right] - 0.778 \left(\frac{d_{50}}{D} \right)^{\frac{2}{3}} \right\}^3 \tag{16}$$

Trong đó q_b là lưu lượng bùn cát đáy (kg/s); γ_s và γ là trọng lượng riêng của hạt bùn cát đáy và của nước (kg/m³); g là gia tốc trọng trường (m/s²); D là độ sâu nước (m); v vận tốc dòng chảy (m/s²); d_{50} đường kính hạt bùn cát trung bình (mm).

Các công thức sau đã được chọn để đánh giá khả năng tính lưu lượng bùn cát trong lưu vực sông Yangyang Namdaechon [2, 8–9, 13, 20]. Quy trình thực hiện nghiên cứu được trình bày ở hình 2.

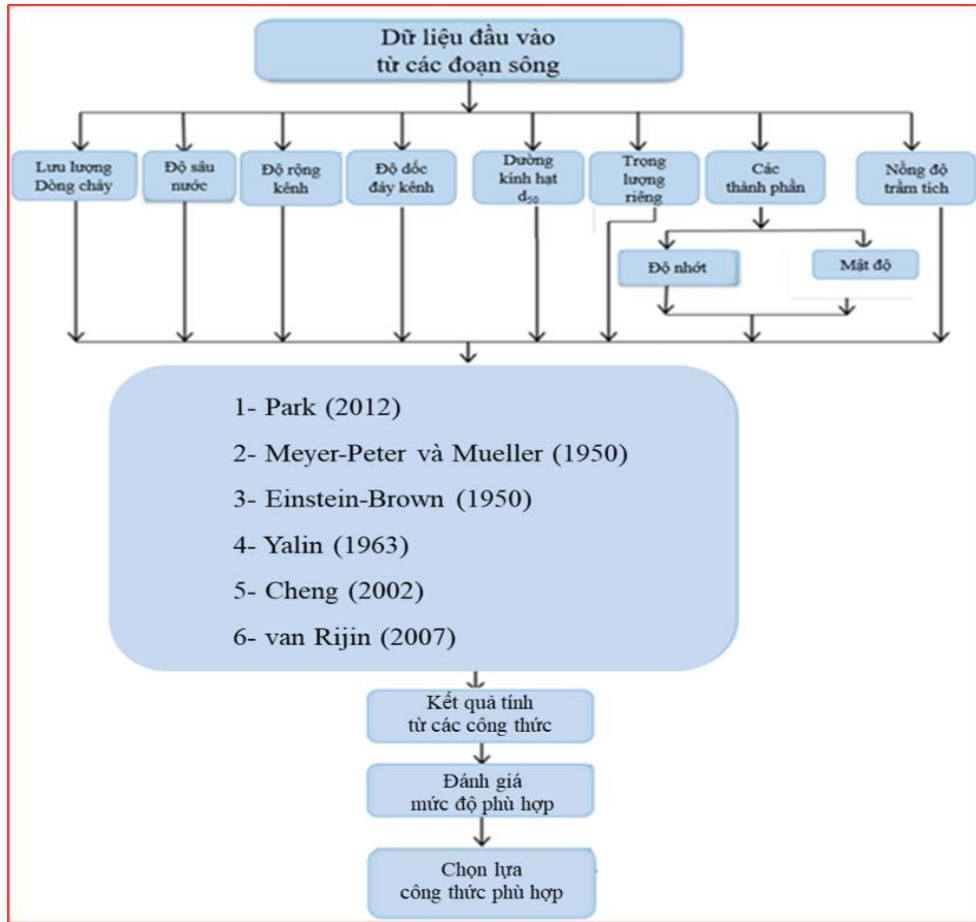
2.3. Thu thập dữ liệu

Dữ liệu đo đạc thực địa tại 12 mặt cắt ngang của 3 đoạn sông Wonijeong, Yongtan và Jinam như minh họa ở Hình 1. Trong đó, các đoạn sông Wonijeong, Yongtan và Jinam cách lưu vực sông Yangyang Namdaechon lần lượt là 5 km, 10 km và 15 km về phía hạ lưu. Các dữ liệu đo đạc một số đặc trưng hình thái của các đoạn sông tại 12 mặt cắt ngang và các mẫu bùn cát đáy được thể hiện ở Bảng 1.

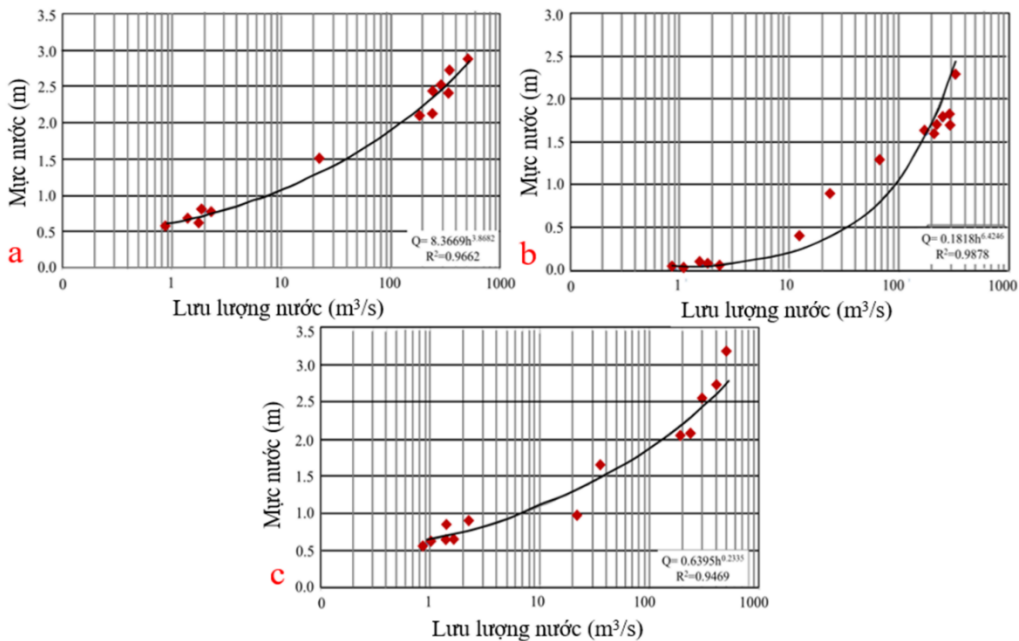
Bảng 1. Các đặc trưng hình thái sông được khảo sát tại ba đoạn sông thuộc khu vực nghiên cứu.

Vị trí	Mặt cắt	Khoảng cách từ cuối dòng sông (km)	Mực đáy (m)	Độ rộng kênh (m)	Độ dốc kênh (m/m)	Đường kính hạt trung bình (mm)
Wonijeong	Mặt cắt 1	0,0	5,2	49,3	0,0008	52,4
	Mặt cắt 2	13,0	57,5	35,4	0,0130	51,7
	Mặt cắt 3	14,0	65,0	44,7	0,0038	46,2
	Mặt cắt 4	17,0	86,0	70,8	0,0065	56,4
	Mặt cắt 5	19,0	104,6	83,4	0,0092	36,7
Yongtan	Mặt cắt 6	22,0	128,6	66,0	0,0052	63,7
	Mặt cắt 7	23,0	139,6	62,0	0,0133	73,5
	Mặt cắt 8	24,0	148,8	69,5	0,0113	82,1
Jinam	Mặt cắt 9	25,0	158,7	51,8	0,0154	16,8
	Mặt cắt 10	26,0	171,5	52,5	0,0170	15,2
	Mặt cắt 11	27,0	180,5	57,4	0,0091	59,3
	Mặt cắt 12	27,2	183,4	63,8	0,0141	18,1

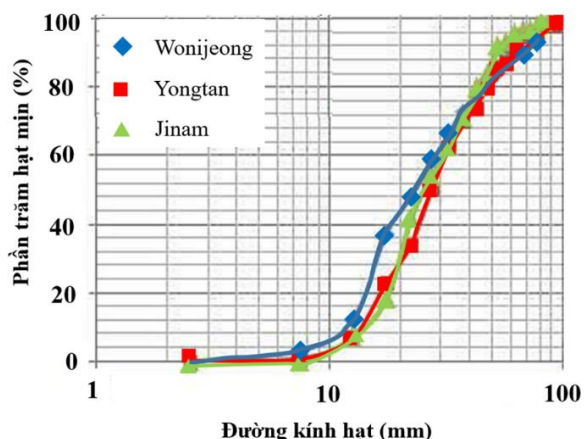
Bên cạnh các đặc trưng hình thái và đường kính hạt bùn cát đáy được thu thập, độ sâu nước và lưu lượng dòng chảy cũng được thu thập (Hình 3) và đường cong phân bố phần trăm kích thước hạt tại 3 đoạn sông nghiên cứu cũng được phân tích và biểu thị như hình 4.



Hình 2. Biểu đồ minh họa quy trình tiến hành nghiên cứu.



Hình 3. Quan hệ mực nước – lưu lượng nước tại a) mặt cắt số 3 b) mặt cắt số 7 và c) mặt cắt số 11 thuộc lưu vực sông nghiên cứu.



Hình 4. Đường cong phân bố kích thước hạt bùn cát đáy tại 3 mặt cắt (số 3, 7 và số 11) thuộc khu vực nghiên cứu.

2.4. Phân tích sai số

Bốn tham số thống kê gồm tỷ lệ sai khác trung bình (R_{mean}), sai số toàn phương trung bình (RMSE) và phần trăm sai số tuyệt đối trung bình (MAPE) được sử dụng để xác định mức độ phù hợp của các công thức tính bùn cát và được thể hiện trong bảng 2.

Bảng 2. Các chỉ dẫn thống kê phổ biến để đánh giá kết quả tính lưu lượng bùn cát.

Chỉ dẫn sai số	Công thức tính
Tỷ lệ sai khác trung bình	$R_{mean} = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{S_i}{O_i}}{n}$
Sai số toàn phương trung bình	$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (S_i - O_i)^2}{n}}$
Phần trăm sai số tuyệt đối trung bình	$MAPE = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{ABS(S_i - O_i)}{S_i}}{N}$

Trong đó S_i là dữ liệu bùn cát đáy tính toán; O_i và \bar{O}_i lần lượt là dữ liệu bùn cát đáy đo đạc và dữ liệu bùn cát đáy trung bình.

3. Kết quả và thảo luận

Dựa trên các dữ liệu thủy động lực học, các đặc trưng hình thái và phân bố kích thước vật liệu bùn cát đáy đã thu thập được tại 3 khu vực sông thuộc đoạn sông nghiên cứu. Các kết quả tính toán lưu lượng bùn cát đáy từ 6 công thức được lựa chọn được thể hiện ở bảng 3.

Bảng 3. Các kết quả tính toán lưu lượng bùn cát đáy (q_{sb}) kg/s/m từ các công thức đã áp dụng.

Vị trí	Park (2012)	Cheng (2002)	Meyer–Peter và Mueller (1950)	Einstein–Brown (1950)	Yalin (1963)	Van Rijn (2007)
Mặt cắt 1	0,369	0,145	0,802	0,060	0,067	0,292
Mặt cắt 2	0,359	0,678	0,125	1,015	1,046	0,535
Mặt cắt 3	0,177	0,367	0,013	0,006	0,203	0,195
Mặt cắt 4	0,530	0,077	0,038	1,027	1,490	0,975
Mặt cắt 5	0,639	0,091	0,178	0,436	1,125	1,239
Mặt cắt 6	0,391	0,052	0,094	0,012	0,692	0,416
Mặt cắt 7	0,615	0,129	0,363	1,008	0,178	0,150
Mặt cắt 8	0,739	0,064	0,034	0,368	0,674	0,483
Mặt cắt 9	0,745	0,102	0,910	0,217	0,580	0,732

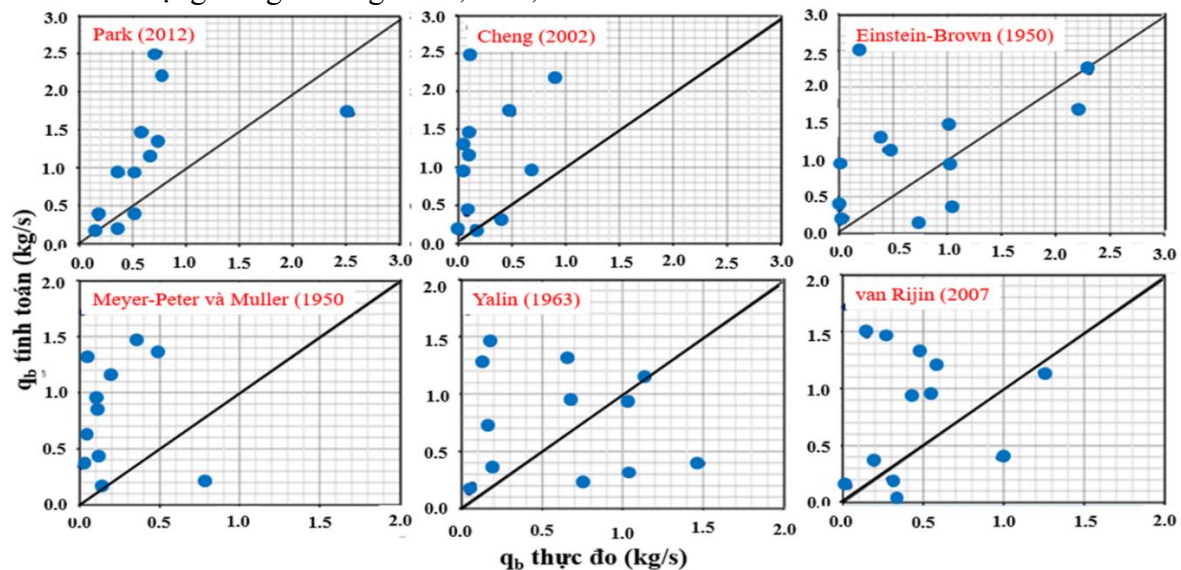
Vị trí	Park (2012)	Cheng (2002)	Meyer–Peter và Mueller (1950)	Einstein–Brown (1950)	Yalin (1963)	Van Rijn (2007)
Mặt cắt 10	0,131	0,012	0,129	0,003	0,047	0,037
Mặt cắt 11	2,548	0,501	0,017	2,183	0,037	0,015
Mặt cắt 12	0,797	0,891	0,080	2,310	0,038	0,026
q_{sb} (tb)	0,670	0,259	0,232	0,720	0,515	0,425
q_{sb} (max)	2,548	0,891	0,910	2,310	1,490	1,239
q_{sb} (min)	0,131	0,012	0,013	0,003	0,037	0,015

Bảng 4 trình bày kết quả phân tích mức độ phù hợp dựa trên các chỉ dẫn sai số R_{mean} , RMSE và MAPE cho các công thức tính lưu lượng bùn cát đáy đã áp dụng cho lưu vực sông Yangyang Namdea. Từ bảng 4 ta thấy, công thức tính lưu lượng bùn cát đáy [2] ghi nhận sai số thống kê ($R_{mean} = 0,75$, $RMSE = 0,035$ và $MAPE = 10,5\%$) trong khi các công thức tính lưu lượng bùn cát khác có R_{mean} , RMSE và MAPE dao động từ 0,31–0,63; 0,072–0,197 và 17,9– 48,6%. Đối với phân tích mức độ phù hợp dựa trên chỉ dẫn sai số R_{mean} , kết quả tính toán được đánh giá phù hợp tốt với dữ liệu đo đạc khi giá trị của chỉ số R_{mean} tiến đến 1 [19]. Theo đó, giá trị của chỉ số R_{mean} của công thức Park (2012) đạt $R_{mean} = 0,75$ và cao hơn so với các giá trị ($R_{mean} = 0,31–0,63$) của các công thức khác. Điều đó có nghĩa rằng, công thức [2] phù hợp hơn so với các công thức đã áp dụng khác (Hình 5).

Bảng 4. Kết quả thu được từ các sai số thống kê cho các công thức đã áp dụng.

Công thức	R_{mean}	RMSE	MAPE
Park (2012)	0,75	0,035	10,5
Cheng (2002)	0,31	0,197	28,6
Meyer–Peter và Mueller (1950)	0,50	0,143	18,9
Einstein–Brown (1950)	0,63	0,164	48,6
Yalin (1963)	0,71	0,046	16,8
Van Rijn (2007)	0,63	0,072	21,9

Đối với chỉ số RMSE, kết quả tính toán của một yếu tố được đánh giá có mức chính xác cao khi RMSE tiến gần đến giá trị 0 [19]. Bảng 4 cho thấy, chỉ số RMSE của công thức [2] cho giá trị nhỏ nhất ($RMSE = 0,035$) so với các công thức khác ($RMSE = 0,049–0,197$). Từ giá trị của chỉ số RMSE, có thể nhận định công thức tính bùn cát đáy [2] có sai số bé hơn so với sai số của các công thức tính khác. Một cách tương tự, kết quả phân tích phần trăm sai số tuyệt đối trung bình (MAPE) cũng cho thấy, so với các công thức khác, công thức tính lưu lượng bùn cát đáy của Park (2012) có sai số xấp xỉ 10,5% trong khi các công thức khác có sai số dao động trong khoảng từ 14,8–48,6%.



Hình 5. So sánh kết quả tính toán và đo đạc lưu lượng bùn cát đáy từ các công thức đã áp dụng.

Mức độ phù hợp tốt của công thức Park (2012) có thể do điều kiện hình thái lưu vực sông nghiên cứu tương tự với các con sông được thu thập dữ liệu để xây dựng công thức. Công thức lưu lượng của Park (2012) được xây dựng trên cơ sở giả định rằng, bùn cát đáy của những con sông có địa hình đáy dốc với phân bố kích thước hạt rất đa dạng từ 1.25 mm đến 30.0 mm. Thêm vào đó, trong 6 công thức tính lưu lượng bùn cát đáy đã áp dụng, hầu hết các công thức chỉ tính toán lưu lượng bùn cát dựa trên đường kính hạt trung bình (d_{50}) hay sử dụng 3 loại kích thước hạt đó là d_{35} , d_{50} và d_{85} . Trong khi đó, chỉ công thức Park (2012) áp dụng phân cấp kích thước hạt từ d_{10} đến d_{100} trong tính toán lưu lượng. Đây có thể là một trong những khác biệt trong cách tiếp cận tính toán lưu lượng bùn cát trong công thức của Park (2012) và điều đó có thể góp phần tạo ra kết quả tính có mức độ phù hợp cao so với dữ liệu thực đo từ các con sông có phân cấp kích thước hạt đa dạng thuộc khu vực nghiên cứu.

4. Kết luận

Nghiên cứu đã áp dụng 6 công thức tính lưu lượng bùn cát đáy cho 3 bộ dữ liệu đã thu thập từ các đoạn sông khác nhau thuộc lưu vực sông Yangyang Namdeacheon, phía đông bắc Hàn Quốc. Các phân tích sai số cũng được áp dụng để đánh giá mức độ phù hợp của các công thức thông qua so sánh lưu lượng bùn cát tính toán từ các công thức và dữ liệu lưu lượng bùn cát thực đo.

Các kết quả thu được cung cấp cơ sở khoa học cho việc lựa chọn công thức bùn cát phù hợp xây dựng module mô phỏng thay đổi hình thái sông với độ dốc đáy lớn và vật liệu đáy đa dạng kích thước. Mức độ phù hợp của công thức tính thông qua các phân tích sai số cho thấy công thức của Park (2012) có mức độ phù hợp tốt hơn các công thức còn lại.

Tuy nhiên, mức độ phù hợp cao của một công thức bùn cát đáy được áp dụng cho một trường sông cụ thể không đồng nghĩa với công thức ấy có thể áp dụng tốt cho các lưu vực sông khác. Qua nghiên cứu, có thể nhận định độ chính xác của công thức tính bùn cát đáy ngoài phụ thuộc vào các yếu tố thủy động lực, đặc trưng hình thái sông thì phân bố kích thước hạt bùn cát đáy cũng đóng góp đáng kể vào kết quả tính của một công thức. Nhìn chung, rất cần có các đánh giá sơ bộ trước khi áp dụng công thức tính lưu lượng bùn cát cho một khu vực nghiên cứu cụ thể.

Đóng góp của tác giả: Tác giả đã tiến hành thực hiện tất cả các bước trong nghiên cứu này.

Lời cảm ơn: Nghiên cứu này được thực hiện dưới sự hỗ trợ dữ liệu từ Phòng nghiên cứu động lực sông ngòi và Viện nghiên cứu giảm thiểu thiên tai Hàn Quốc. Tác giả xin chân thành cảm ơn Giáo sư Park Sangdeog đã đóng góp ý kiến, nhận xét và hỗ trợ cơ sở dữ liệu để nghiên cứu được hoàn thành.

Lời cam đoan: Tác giả cam đoan bài báo này là công trình nghiên cứu của tác giả, chưa được công bố, 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. Barry, J.J.; Bufngton, J.M.; King, J.G. Correction to a general power equation for predicting bed load transport rates in gravel bed rivers. *Water Resour. Res.* **2007**, *43*, W08702. <http://dx.doi.org/10.1029/2007WR006103>.
2. Park, S.D.; Lee, K.S.; Shin, S.S. Statistical soil erosion model for burnt mountain areas in Korea—RUSLE approach. *J. Hydrol. Eng.* **2012**, *17*, 292–304.
3. Schneider, J.M.; Rickenmann, D.; Turowski, B.; Schmid, B.; Kirchner, J.W. Bed load transport in a very steep mountain stream (Riedbach, Switzerland):

- Measurement and prediction. *Water Resour. Res.* **2016**, 52, 9522–9541. <http://dx.doi.org/10.1002/2016WR019308>.
4. Bathurst, J.C.; Graf, W.H.; Cao, H.H. Bed load discharge equations for steep mountain rivers, sediment transport in gravel bed rivers. *Wiley U. K. Chichester* **1987**, 453–477.
 5. Haddadchi, A.; Omid, M.H.; Dehghani, A.A. Bedload equation analysis using bed load–material grain size. *J. Hydrol. Hydromech.* **2013**, 61, 241–249.
 6. Bathurst, J.C. Effect of coarse surface layer on bedload transport. *J. Hydraul. Eng.* **2007**, 133, 1192–1205.
 7. Bravo–Espinosa, M.; Osterkamp, W.R.; Lopes, V.L. Bedload transport in alluvial channels. *J. Hydraul. Eng.* **2003**, 129, 783–795.
 8. Cheng, N.S. Exponential formula for bed load transport. *J. Hydraul. Eng. ASCE* **2002**, 128, 942–946.
 9. Haddadchi, A.; Omid, M.H.; Dehghani, A.A. Assessment of bed–load predictors based on sampling in a gravel bed river. *J. Hydrodyn.* **2012**, 24, 145–151.
 10. An, D.T. Giáo trình vận chuyển trầm tích. *NXB ĐH Quốc gia Tp.HCM.* **2017**
 11. Duan, J.G.; Scott, S. Selective bed–load transport in Las Vegas Wash, a gravel–bed stream. *J. Hydrol.* **2007**, 342, 320–330.
 12. D’Agostino, V.; Lenzi, M. Bed–load transport in the instrumented catchment of the Rio Cordon Part II: Analysis of the bed–load rate. *Catena*, **1999**, 36, 191–204.
 13. Gomez, B.; Church, M. An assessment of bed loads sediment transport formulae for gravel bed rivers. *Water Resour. Res.* **1989**, 25, 1161–1186.
 14. Nasab, M.T.; Omid, M.H.; Farhoudi, J. Assessment of some bed load formulas based on sediment sampling. E–proceedings of the 36th IAHR World Congress, The Hague, the Netherlands, 2015.
 15. Nord, G.; Esteves, M. Evaluation of sediment transport formulae and detachment parameters in eroding rills using PSEM_2D and the Water Erosion Prediction Project (WEPP) database. *Water Resour. Res.* **2007**, 43, W08420. <http://dx.doi.org/10.1029/2006WR005444>.
 16. Reza, B.; Seyed, A.A.; Neyshabouri, S. Discussion of ‘evaluation of bed load equations using field–measured bed load and bed material load by Sanjaykumar Madhusudan Yadav, Vipin Kumar Yadav, and Anurag Gilitwala. *ISH J. Hydraul. Eng.* **2019**, 1–3. <http://dx.doi.org/10.1080/09715010.2019.1630326>.
 17. Sun, Z.; Donahue, J. Statistically derived bedload formula for any fraction of nonuniform sediment. *J. Hydraul. Eng.* **2000**, 126, 105–111.
 18. Van Rijn, L.C. Unified view of sediment transport by currents and waves, I: Initiation of motion, bed roughness, and bed–load transport. *J. Hydraul. Eng.* **2007**, 133, 649–667.
 19. Pourhosein, M.; Afzalimehr, H.; Singh, V.P.; Dehghani, A.A. Evaluation of bed load in a gravel–bed river. *Int. J. Hydraul. Eng.* **2015**, 4, 70–79. <http://dx.doi.org/10.5923/j.ijhe.20150403.03>.
 20. Song, T.Y.M.; Chin, C.O. Effect of bed load movement of flow friction factor. *J. Hydr. Eng. ASCE* **1998**, 124, 165–175.

Evaluation of the applicability of the semi-experimental bedload formulae for river basins with steep slope

Dang Truong An^{1*}

¹ University of Science –Vietnam National University–HCM City, 227 Nguyen Van Cu, District 5, HCMC; dtan@hcmus.edu.vn

Abstract: Sediments play an important role in maintaining and stabilizing river morphology. In which, bedload sediment contributes significantly to the aggradation and degradation processes. Bedload formulae are often used as a useful tool in studying the river morphological changes. However, bedload formulae are often developed for specific purposes and only apply the specific limitation cases. The study aims to a) select the appropriate bedload formulae for calculating sediment transport discharge in the Yangyang Namdaechon River basin, which located in the northeastern of South Korea and b) simulating the river morphological changes based on the selected bedload formulae in the next research. To conduct this work, six bedload formulae include Park (2012), Cheng (2002), Meyer–Peter and Mueller (1950), Einstein–Brown (1950), Yalin (1963) and Van Rijn (2007) have been applied. Results show that Park (2012) formula is good agreement to the measured data comparing other applied formulae. Specifically, the ratio of the calculated and measured bed load discharges (R_{mean}), Root Mean Square Error (RMSE) and Mean Absolute Percent Error (MAPE) of Park (2012) is 0.75, 0.035 and 10.5% while other applied formulae are varying from 0.31–0.71; 0.046–0.197 and 16.8–48.6%, respectively. In general, Park (2012) formula is built based on the particle size fractions, which can confirm that the particle size fraction approach plays an important role for calculating bedload sediment discharge.

Keywords: Shear stress; Bedload sediment; Slope; Particle size; Discharge.

Bài báo khoa học

Đánh giá diễn biến hình thái sông dựa trên sự kết hợp mô hình hóa và phân tích ảnh viễn thám

Nguyễn Văn Hồng^{1*}, Đặng Trường An²

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

² Trường Đại học Khoa học Tự nhiên–Đại học Quốc Gia Tp.HCM; dtan@hcmus.edu.vn

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

Ban Biên tập nhận bài: 8/3/2021; Ngày phản biện xong: 7/5/2021; Ngày đăng bài: 25/6/2021

Tóm tắt: Nghiên cứu được tiến hành nhằm đánh giá xu thế xói, bồi khu vực cửa sông Cỏ Chiên giai đoạn 1973–2018. Nghiên cứu được dựa trên sự kết hợp giữa mô hình thủy động lực thuộc họ nhà MIKE được phát triển bởi Viện Thủy Lực Đan Mạch và phân tích ảnh vệ tinh (*Google Earth*) và ảnh viễn thám (*Landsat 7–ETM*, *Sentinel–2*) để xác định xu thế bồi–xói khu vực nghiên cứu. Kết quả cho thấy, khu vực nghiên cứu đã xảy ra xu thế xói lở và bồi tụ đan xen nhau. Cụ thể, bồi tụ đã xảy ra tại một số khu vực như cửa Cung Hầu, cuối cù lao Long Trị, cuối đoạn sông thuộc xã Long Hòa, cồn Nghêu, và cồn Vượt thuộc xã Hiệp Thạnh với tốc độ trung bình khoảng 0,03–0,20 m/năm. Trong khi đó, xói lở cũng được xác định xảy ra tại đoạn đầu cù lao Long Trị thuộc thành phố Trà Vinh, cuối cồn Chim, cồn Phụng, cồn Nghêu và sông Cỏ Chiên đoạn qua xã Hòa Minh, Long Hòa thuộc huyện Châu Thành, xã Hiệp Thạnh thuộc thị xã Duyên Hải với tốc độ trung bình khoảng 0,05–0,26 m/năm. Nhìn chung, sự kết hợp giữa mô hình số và ảnh viễn thám góp phần cũng cố mức độ tin cậy của mô hình thủy động lực trong mô phỏng diễn biến hình thái sông.

Từ khóa: Bồi, xói; cửa sông Cỏ Chiên, biến đổi khí hậu, nước biển dâng.

1. Mở đầu

Biến đổi khí hậu (BĐKH) được nhận định đang gây ảnh hưởng sâu rộng đến nhiều mặt của đời sống dân sinh [1–3]. Những hoạt động của con người cũng đã gây ra các tác động lớn đến hệ thống khí hậu, đặc biệt kể từ thời kỳ tiền công nghiệp những năm 1750. Theo Ủy ban liên Chính phủ về biến đổi khí hậu (IPCC), sự gia tăng khí nhà kính từ những năm 1950 chủ yếu có nguồn gốc từ các hoạt động của con người. Theo IPCC [4] một trong số các nguyên nhân chính của sự nóng lên toàn cầu trong giai đoạn hiện nay bắt nguồn từ sự gia tăng khí nhà kính có nguồn gốc từ hoạt động của con người. Hệ quả là BĐKH đã và đang tác động trực tiếp đến đời sống kinh tế–xã hội và môi trường toàn cầu [5–6].

Trong những năm gần đây, tần suất xuất hiện và cường độ của các thiên tai xảy ra ở Việt Nam trong đó bão, mưa cực đoan, xói lở, sạt lở, ngập và xâm nhập mặn được nhận định có xu hướng ngày càng gia tăng, gây nhiều tổn thất về người, tài sản, cơ sở hạ tầng, tác động xấu đến môi trường và tiềm ẩn các rủi ro cho đời sống nhân dân, đe dọa nghiêm trọng việc thực hiện các mục tiêu thiên niên kỷ và sự phát triển bền vững của đất nước [6–9]. Xói lở và bồi tụ bờ và lòng sông ven các vùng cửa sông dưới ảnh hưởng của mực nước biển tăng do sự ấm lên toàn cầu được đánh giá sẽ gia tăng các rủi ro ảnh hưởng đến các hoạt động sản xuất và sinh hoạt của người dân sống ven các khu vực vừa được đề cập.

Trong những thập niên gần đây, các mô hình thủy động lực và hình thái sông hai chiều (2D) như CCHE2D, Delft2D hay MIKE2D được đánh giá là một trong số các công cụ hỗ trợ hiệu quả [8, 10–11] trong các nghiên cứu diễn biến hình thái sông vùng đồng bằng hay khu vực các cửa sông [2, 8, 12]. Các mô hình trên có khả năng mô phỏng diễn biến hình thái sông với kết quả có độ tin cậy cao [12–13]. Trong đó, MIKE là bộ phần mềm phát triển bởi Viện Thủy Lực Đan Mạch được đánh giá là bộ công cụ đa chức năng được sử dụng rộng rãi trong các nghiên cứu về thủy động lực [11, 14], vận chuyển trầm tích và biến đổi hình thái lòng dẫn cũng như đáy sông khá hiệu quả [10, 13].

Nghiên cứu [14] đã tiến hành so sánh các mô hình số 2D như CCHE2D, Delft2D, MIKE21 và Telemac2D để mô phỏng các quá trình thủy động lực, khả năng vận chuyển trầm tích và sự thay đổi hình thái sông. Langendoen đã báo cáo rằng mô hình 2D mô phỏng tốt các quá trình thủy động lực học và vận chuyển bùn cát. [14] tiến hành nghiên cứu vận chuyển bùn cát dọc theo các đường bờ có hình dạng tùy ý, dựa trên mô hình phổ sóng và mô phỏng vận chuyển trầm tích phân giải theo pha sóng. [15] đã sử dụng mô hình MIKE2D mô phỏng các quá trình thủy động lực của khu vực ven bờ vịnh Bengal. [13] đã áp dụng mô hình MIKE21C mô phỏng các quá trình thủy động lực và vận chuyển trầm tích cho khu vực hạ lưu sông Koiliaris ở Crete, Hy Lạp. Năm 2018, [11] đã áp dụng mô hình MIKE21C đánh giá sự biến đổi hình thái sông trong một sông thuộc Địa Trung Hải. Mới đây nhất, [12] đã sử dụng mô hình MIKE21 FM để mô phỏng dòng chảy của một đoạn sông, với các mặt cắt ngang phức tạp. Trong khi đó, [10] đã áp dụng mô hình MIKE21 để mô phỏng chế độ dòng chảy của lưu vực sông Kissimmee kết hợp với sử dụng ảnh viễn thám. Bên cạnh đó, khu vực cửa sông Cổ Chiên đã được nghiên cứu [16] thực hiện trong đề tài cấp Bộ nhằm nghiên cứu biến động hình thái cửa sông Cổ Chiên dưới tác động thủy động lực học.

Trong nghiên cứu này, mô hình MIKE1D/2D kết hợp phân tích ảnh vệ tinh, ảnh viễn thám nhằm xác định diễn biến bồi xói khu vực cửa Cổ Chiên trên thực tế với tốc độ bao nhiêu và xác định độ chính xác của các kết quả được mô phỏng bằng mô hình dưới các tác động kết hợp của các yếu tố thủy động lực như: sóng, dòng triều, trường dòng chảy và vận chuyển trầm tích. Từ đó nhằm hỗ trợ các cơ quan chức năng trong việc lập kế hoạch các dự án kỹ thuật cũng như đưa ra các giải pháp bảo vệ bờ sông phù hợp, chống lại sự suy thoái và giúp ổn định hình thái sông.

2. Phương pháp nghiên cứu

2.1. Khu vực nghiên cứu

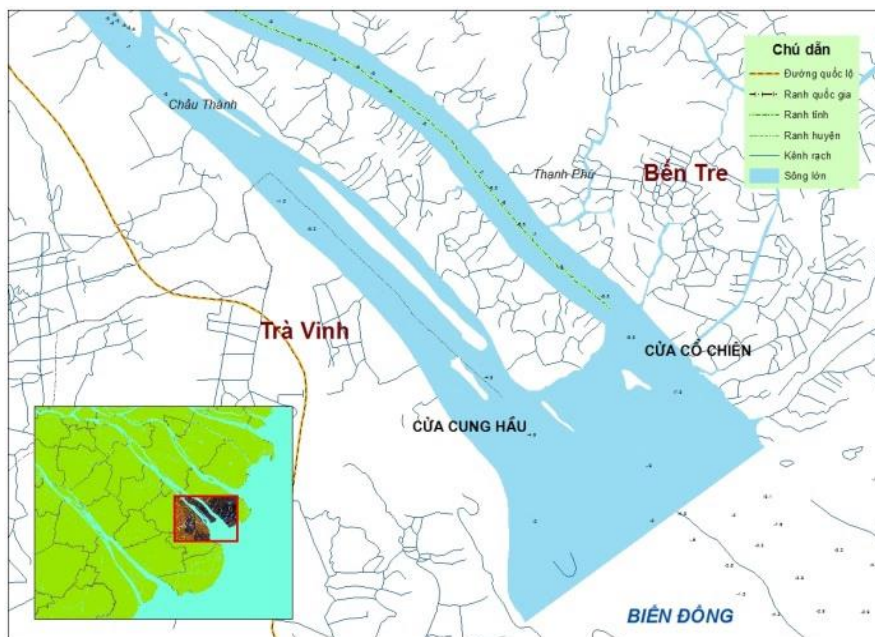
Khu vực nghiên cứu thuộc khu vực cửa sông Cổ Chiên bao gồm các huyện Châu Thành, Cầu Ngang, thị xã Duyên Hải, tỉnh Trà Vinh. Phạm vi nghiên cứu như (Hình 1), trải dài từ khu vực Cồn Cò (huyện Châu Thành) kéo dài về phía cửa sông khoảng 30 km, đến khu vực thuộc xã Hiệp Thạnh (thị xã Duyên Hải) tỉnh Trà Vinh.

2.2. Phương pháp nghiên cứu

2.2.1. Phương pháp mô hình toán

Để thực hiện nghiên cứu ngày, họ mô hình MIKE do Viện Thủy lực Đan Mạch phát triển đã được áp dụng. Cụ thể, nhóm các mô hình bao gồm: Mô hình MIKE-1D được áp dụng cho hệ thống sông kênh toàn khu vực Đồng bằng sông Cửu Long cho mục đích xây dựng biên thủy lực (lưu lượng dòng chảy) cho mô hình vận chuyển bùn cát và module MIKE-11HD được sử dụng trong mô hình này. Mô hình MIKE-2D được áp dụng mô phỏng chi tiết khu vực cửa sông Cổ Chiên để tính toán chế độ thủy động lực và vận chuyển bùn cát vùng cửa sông. Cuối cùng, mô hình MIKE-21/3 FM được sử dụng để chạy tích hợp ba module thủy động lực, sóng và vận chuyển bùn cát qua đó đánh giá các yếu tố tác động lên chế độ thủy

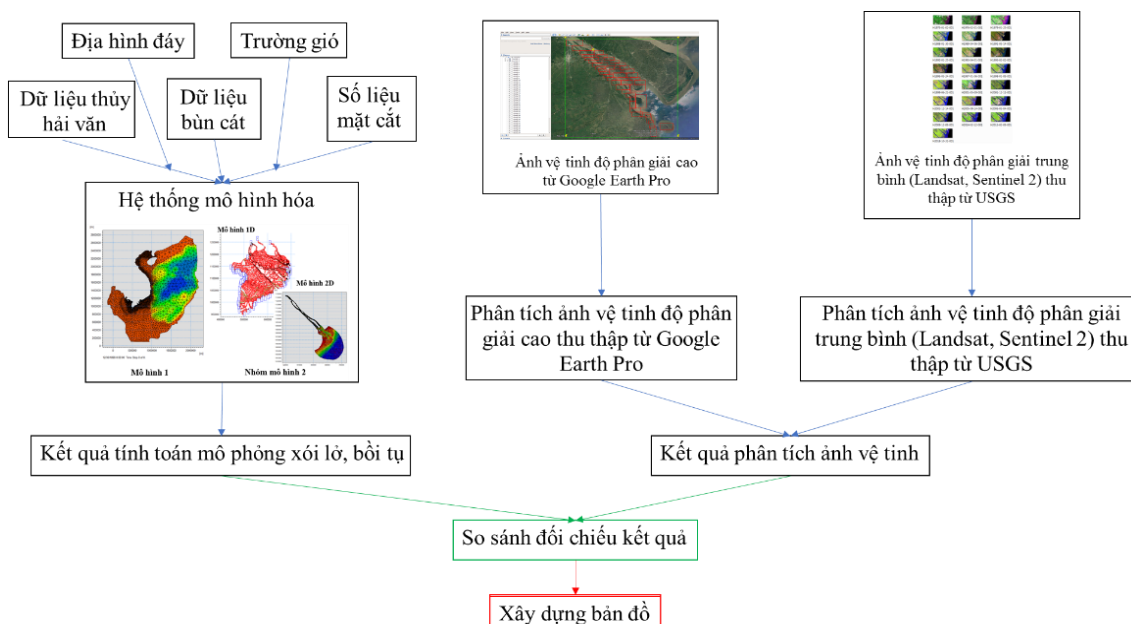
động lực và diễn biến bồi, xói cho khu vực nghiên cứu. Module MIKE 21 FM HD, SW và MT sẽ được sử dụng trong mô hình này.



Hình 1. Bản đồ khu vực nghiên cứu.

2.2.2. Phương pháp phân tích ảnh vệ tinh và ảnh viễn thám

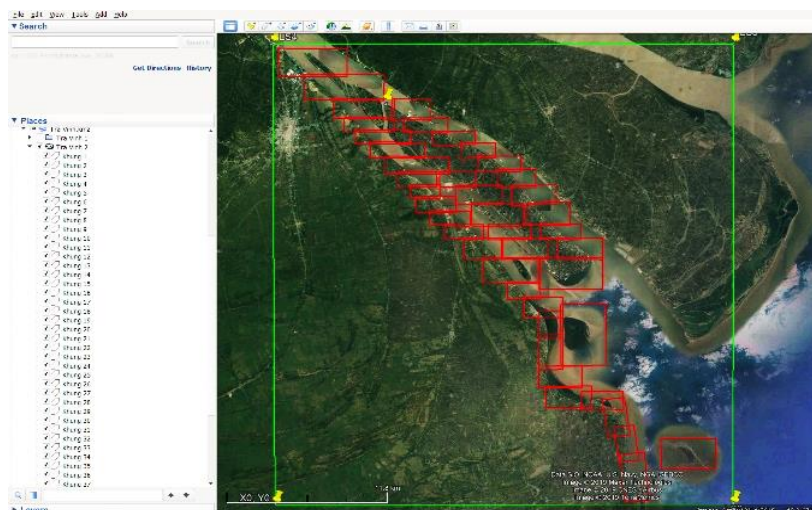
Phương pháp tiếp cận: ảnh vệ tinh và ảnh viễn thám được thu thập Google Earth Pro và USGS (Cục điều tra địa chất Hoa Kỳ), sau đó được hiệu chỉnh về cùng hệ tọa độ toàn cầu UTM WGS 84. Cuối cùng, tiến hành trích xuất tự động ranh giới giữa nước và bờ đất với khu vực sông, giữa nước và bờ biển cát để xác định vị trí đường bờ ảnh riêng biệt chưa ghép và tổng hợp kết quả trích xuất để thể hiện vị trí đường bờ. Các kết quả mô phỏng từ mô hình toán kết hợp ảnh trích xuất từ vệ tinh để xây dựng bản đồ phân bố trầm tích đáy, hiện trạng và xu thế xói lở và bồi tụ khu vực nghiên cứu thông qua phần mềm ArcGIS (phiên bản 10.1). Quy trình các bước tiến hành mô phỏng diễn biến hình thái sông thông qua sự kết hợp giữa mô hình toán, ảnh vệ tinh và phần mềm ArcGIS được minh họa ở hình 2.



Hình 2. Quy trình các bước tiếp cận nghiên cứu.

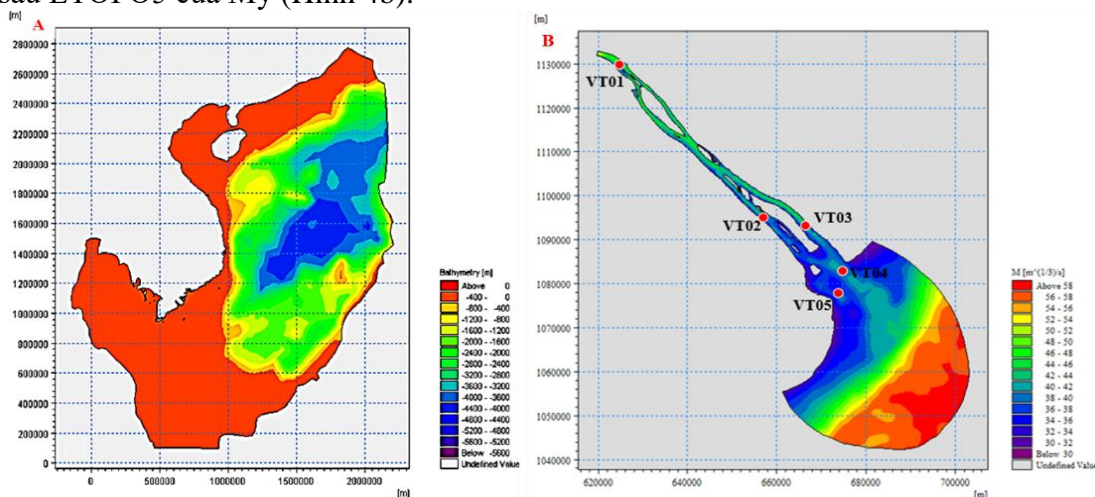
2.2.3 Thu thập dữ liệu đầu vào

Thu thập ảnh vệ tinh: Trong nghiên cứu này, một khu vực có kích thước 36km x 36km dài x rộng được lựa chọn để phân tích ảnh vệ tinh chụp qua các thời kỳ. Nghiên cứu tập trung vào các khu vực đường bờ trực thuộc địa bàn tỉnh Trà Vinh (Hình 3). Hai dạng ảnh được thu thập gồm: ảnh vệ tinh độ phân giải cao 1 m từ Google Earth Pro, ảnh vệ tinh độ phân giải trung bình từ 10 m (Sentinel 2) từ đến 30 m (Landsat ETM) được thu thập từ cơ sở dữ liệu của USGS. Tất cả ảnh được chụp trong suốt khoảng thời gian từ 1973 đến 2018.



Hình 3. Ảnh vệ tinh độ phân giải cao Landsat, Sentinel 2 – USGS sử dụng phân tích diễn biến hình thái sông khu vực nghiên cứu.

Thu thập dữ liệu địa hình: dữ liệu địa hình khu vực nghiên cứu được trích từ hải đồ tỉ lệ 1:200.000 của Hải quân Nhân dân Việt Nam, xuất bản năm 2009 (Hình 4a). Ngoài ra, địa hình khu vực nghiên cứu còn được đo đạc bổ sung trong đợt khảo sát năm 2014 bằng máy đo sâu ETOPO5 của Mỹ (Hình 4b).

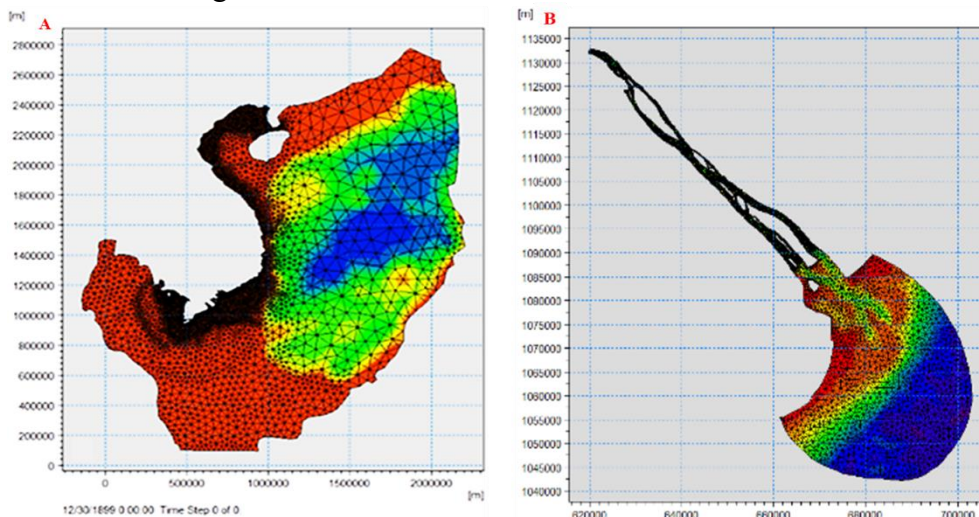


Hình 4. Địa hình đáy khu vực: a) biển Đông và biển Tây và b) khu vực sông Cỏ Chiên.

Số liệu trường gió: Số liệu trường gió sử dụng trong nghiên cứu này là số liệu gió trung bình toàn biển Đông được thu thập từ kết quả mô hình dự báo khí hậu toàn cầu CFSR (Climate Forecast System Reanalysis) của Trung tâm dự báo môi trường thuộc Cơ quan quản lý đại dương và khí quyển Mỹ (NCEP/NOAA) với bước thời gian là 3 giờ và độ phân giải 0,25°. Chuỗi số liệu này được sử dụng làm dữ liệu đầu vào cho mô hình MIKE-21SW.

Số liệu sóng và dòng chảy: số liệu sóng và dòng chảy thực đo từ 9 giờ ngày 09/07 đến 9 giờ ngày 11/07 năm 2014 ven biển tỉnh Trà Vinh.

Lưới thủy lực: Lưới thủy lực được xây dựng dựa trên bản đồ địa hình khu vực biển Đông và biển Tây (Hình 5a) để mô phỏng tính toán các trường dòng chảy, chế độ sóng sau đó các kết quả thu được sẽ làm dữ liệu đầu vào cho biên mở phía biển để chạy mô phỏng các đặc trưng thủy động lực khu vực nghiên cứu. Lưới thủy lực với quy vi nhỏ hơn (Hình 5b) được xây dựng để mô phỏng tính toán các trường dòng chảy, chế độ sóng và quá trình diễn biến lòng dẫn khu vực nghiên cứu.



Hình 5. Lưới thủy lực cho khu vực a) biển Đông và biển Tây và b) cửa sông Cỏ Chiên.

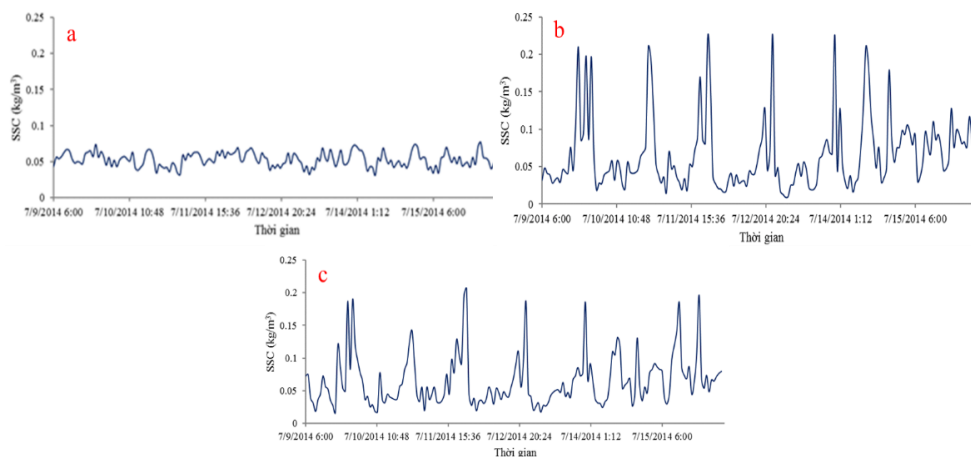
Số liệu lưu lượng và mực nước:

+ Biên thượng nguồn: lưu lượng theo giờ tại trạm Tân Châu – Châu Đốc năm 2014 được sử dụng để hiệu chỉnh mô hình và lưu lượng năm 2016 được sử dụng để kiểm định mô hình.

+ Biên hạ lưu: dữ liệu mực nước tại các cửa sông gồm trạm Vàm Kênh (cửa Tiểu), Bình Đại (cửa Đại), An Thuận (cửa Hàm Luông), Bến Trại (cửa Cỏ Chiên), và Mỹ Thanh (cửa Mỹ Thanh, Định An) và Trần Đề (cửa Trần Đề) vào các năm 2014 và 2016.

+ Số liệu mực nước được thu thập bao gồm các trạm thủy văn Vàm Nao, Mỹ Thuận, Mỹ Tho (sông Tiền), Cần Thơ, Đại Ngãi, Trần Đề (sông Hậu), trạm Chợ Lách, Trà Vinh (sông Cỏ Chiên) và Mỹ Hóa (sông Hàm Luông) được thu thập từ Đài Khí tượng Thủy văn khu vực Nam Bộ từ năm 2014 đến 2016 phục vụ cho hiệu chỉnh và kiểm định mô hình MIKE.

Dữ liệu bùn cát: Điều kiện ban đầu về nồng độ phù sa trên toàn vùng được thiết lập dựa vào số liệu đo đạc tại một số vị trí trên sông thuộc khu vực nghiên cứu. Bùn cát ở trạm trong sông VT01 (Hình 6a) và các trạm biên phía biển VT04 và VT05 (Hình 6b, 6c) được đo năm 2014.



Hình 6. Nồng độ bùn cát lơ lửng tại các trạm VT01, VT04 và VT05 được đo đạc phục vụ làm dữ liệu đầu vào cho mô phỏng biến đổi hình thái sông.

3. Kết quả và thảo luận

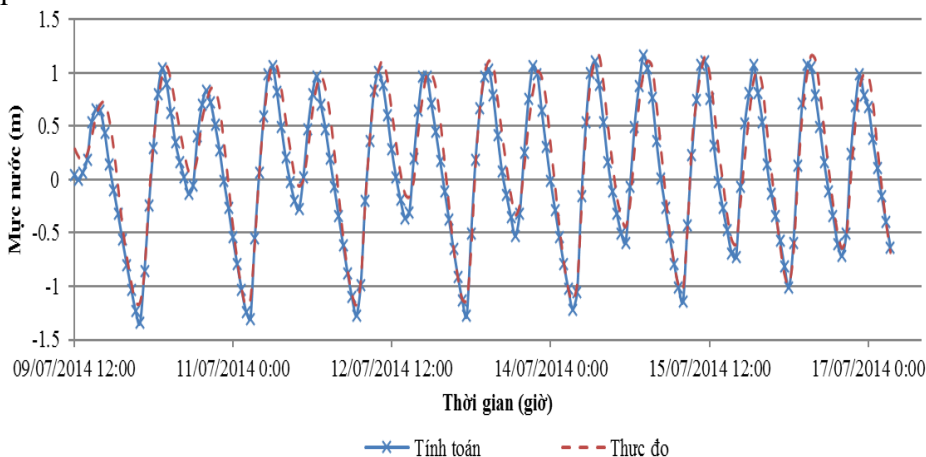
3.1. Hiệu chỉnh các mô hình toán

Hiệu chỉnh mô hình được tiến hành dựa vào bộ số liệu năm 2014 đo đạc tại các vị trí như minh họa ở Bảng 1. Số liệu gồm mực nước, dòng chảy và trường sóng thực đo vào tháng 7 năm 2014. Để chạy hiệu chỉnh mô hình 1D, chuỗi số liệu mực nước được hiệu chỉnh năm 2014 cho thấy mối tương quan tốt về pha và độ lớn với hệ số tương quan trên 0,90 và chỉ số NASH trên 0,80 (Bảng 1).

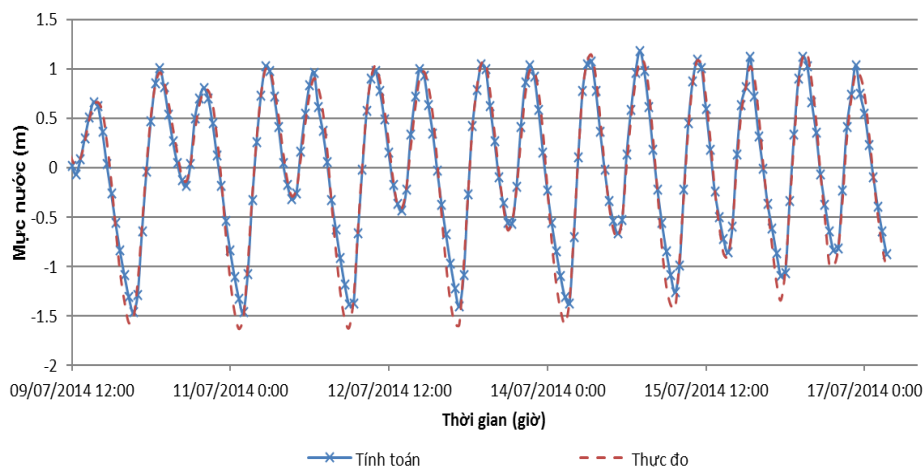
Bảng 1. Tương quan kết quả hiệu chỉnh mực nước năm 2014.

STT	Tên trạm	Tương quan	
		R ²	NSE
1	Chợ Lách	0,91	0,89
2	Mỹ Thuận	0,92	0,88
3	Trà Vinh	0,92	0,83
4	Bến Trại	0,92	0,89

Đối với hiệu chỉnh mô hình 2D, kết quả hiệu chỉnh mực nước tại 2 vị trí VT02 và VT03 thông qua hình 7a và 7b là khá tốt.



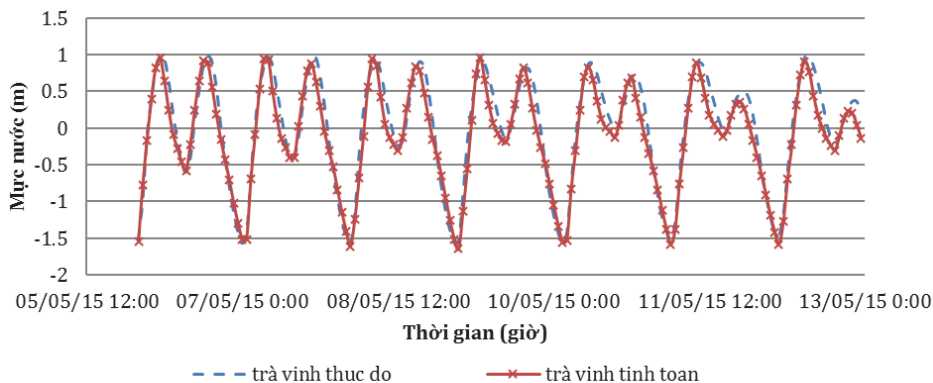
Hình 7a. Kết quả hiệu chỉnh mực nước tại trạm VT02.



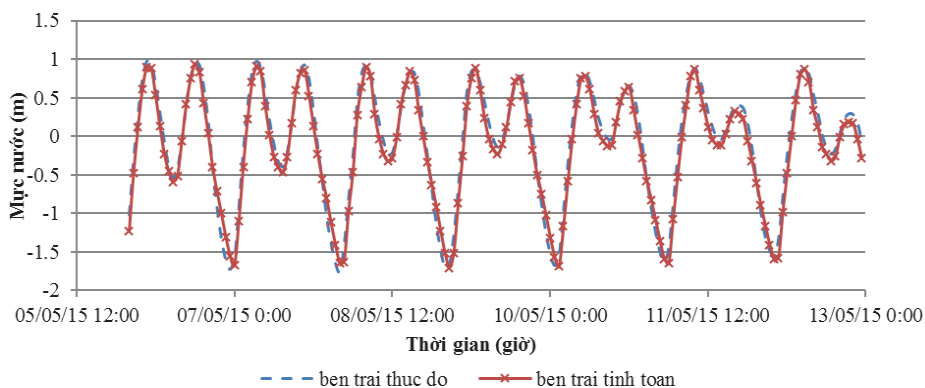
Hình 7b. Kết quả hiệu chỉnh mực nước tại trạm VT03.

3.2. Kiểm định các mô hình

Kiểm định mô hình MIKE21 FM: Sau khi hiệu chỉnh biên mở từ biển của miền tính từ dữ liệu triều trung bình nhiều năm, kết quả tính toán mực nước tại khu vực nghiên cứu cho thấy có sự phù hợp tốt với dữ liệu thực đo. Hình 8a và 8b miêu tả kết quả tính toán kiểm định mực nước tại các trạm VT02 và VT03 từ ngày 5 đến 12/5/2015. Từ các kết quả hiệu chỉnh và kiểm định thu được tương đối cao trên 0,80. Từ kết quả kiểm định mực nước tại hai trạm VT02 và VT03 có thể nhận xét rằng, mô hình MIKE-21FM có khả năng áp dụng mô phỏng thủy động lực cho khu vực nghiên cứu.

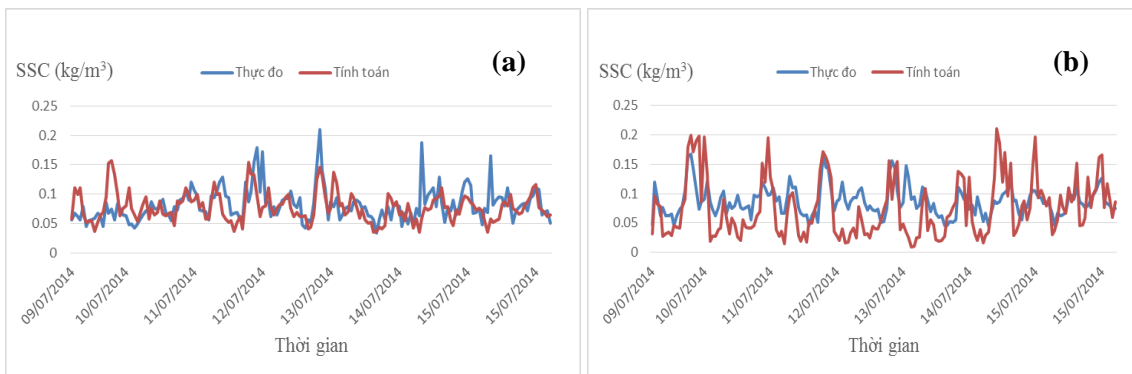


Hình 8a. Kiểm định mực nước tại trạm VT02



Hình 8b. Kiểm định mực nước tại trạm VT03

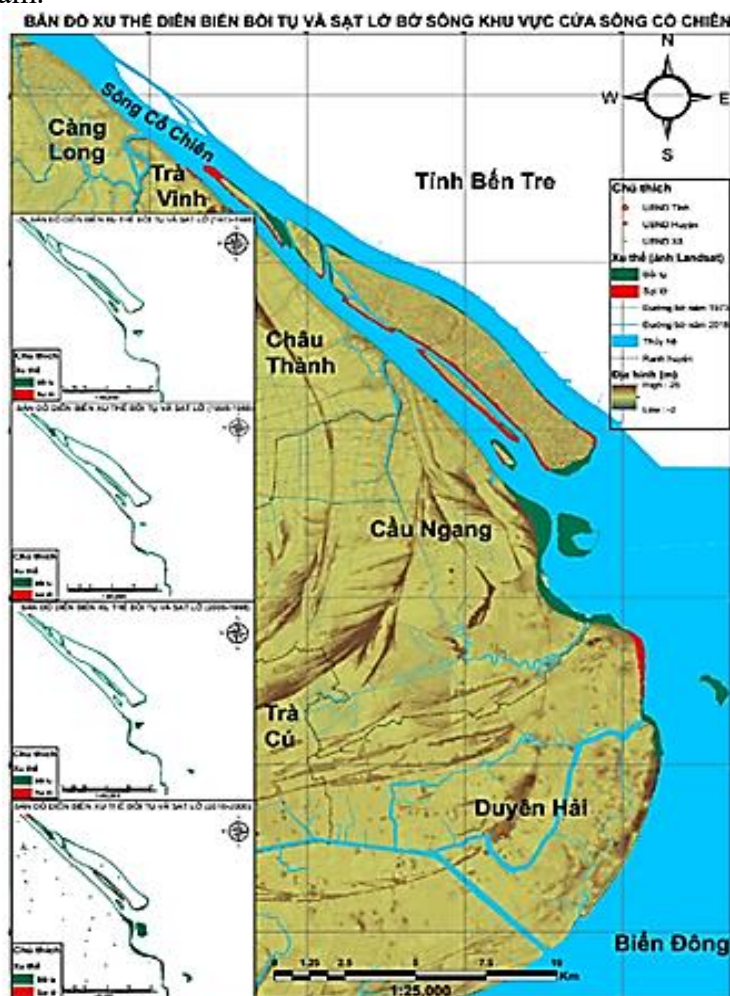
Đối với kiểm định mô hình MIKE-21MT: nồng độ trầm tích từ mô phỏng từ mô hình tại các vị trí VT02 (Hình 9a) và VT03 (Hình 9b) cho kết quả phù hợp với dữ liệu thực đo trong khoảng thời gian từ ngày 05-12/05/2015. Do đó, bộ thông số này tiếp tục dùng để mô phỏng kết quả tính toán hàm vận chuyển bùn cát cho khu vực nghiên cứu.



Hình 9. Kiểm định nồng độ trầm tích tại hai trạm VT02 và VT03 từ ngày 05-12/05/2015.

3.3. Phân tích xói lở và bồi tụ khu vực nghiên cứu bằng ảnh viễn thám

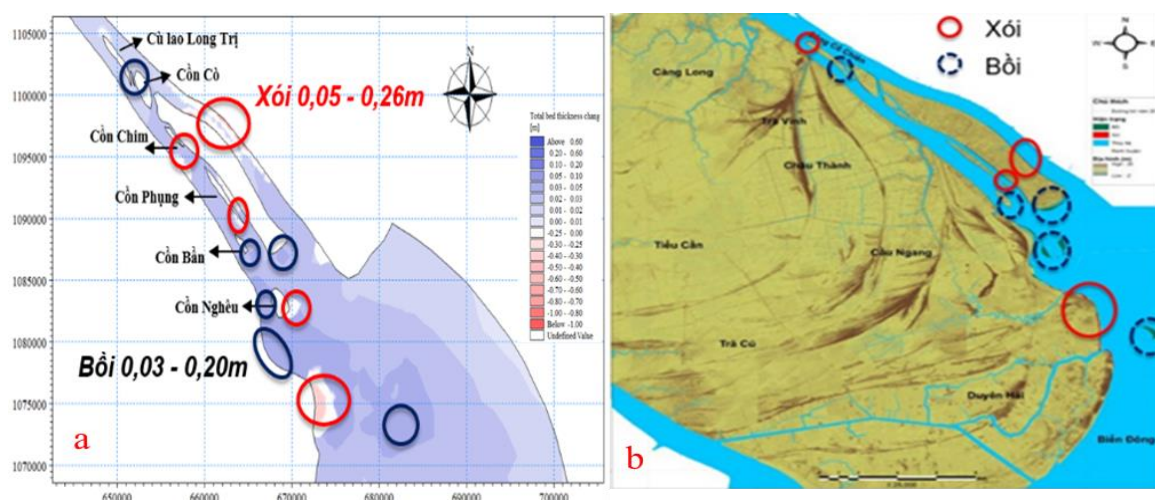
Các kết quả phân tích, xử lý ảnh viễn thám từ năm 1973–2018 được thể hiện ở hình 10, bồi tụ được thể hiện màu xanh lá, sạt lở được thể hiện màu đỏ. Các kết quả được thể hiện cho thấy khu vực bị sạt lở nghiêm trọng xảy ra trong sông là mũi phía thượng lưu của các cù lao và bờ của các cù lao nhỏ, hẹp. Mũi của các cù lao bị sạt lở trung bình khoảng 3,2 m/năm. Trong khi bờ của các cù lao hẹp bị sạt lở trung bình khoảng 2,4 m/năm. Đối với khu vực cửa sông và bờ biển hiện tượng sạt lở nghiêm trọng xảy ra trên khu vực dài khoảng 12 km bờ biển bên phải cửa sông. Mức độ bờ bị xâm thực nghiêm trọng nhất là khoảng 17 m/năm khu vực bờ biển bên phải kênh Quan Chánh Bó. Các khu vực còn lại bị xâm thực từ 4,5 m/năm đến mức 9,3 m/năm.



Hình 10. Bản đồ thể hiện xu thế bồi, xói khu vực nghiên cứu.

Tại khu vực nghiên cứu, xu thế bồi xảy ra chủ yếu ở cửa sông Cung Hầu (Hình 11), với mức độ bồi trong khoảng 0,03 đến 0,20 m/năm. Cụ thể, phía đuôi cù lao Long Trị (thành phố Trà Vinh), phía đuôi đoạn thuộc xã Long Hòa (huyện Châu Thành), cồn Nghêu, đoạn thuộc xã Mỹ Long Nam (huyện Cầu Ngang) tỉnh Trà Vinh, cồn Vượt (xã Hiệp Thạnh, thị xã Duyên Hải). Đoạn đầu cù lao Long Trị (TP.Trà Vinh), phía cuối cồn Chim, cồn Phụng, cồn Nghêu, đoạn sông Cỏ Chiên qua xã Hòa Minh (huyện Châu Thành) và đoạn thuộc xã Hiệp Thạnh (thị xã Duyên Hải), đoạn dọc sông Cỏ Chiên thuộc xã Long Hòa (huyện Châu Thành), tỉnh Trà Vinh xuất hiện xói với mức độ khoảng 0,05 đến 0,26 m (Hình 11).

Hiện trạng các vị trí bồi, xói ở khu vực cửa sông Cỏ Chiên tỉnh Trà Vinh (Hình 11) năm 2018 tính toán từ mô hình cho kết quả phù hợp với các vị trí bị bồi lắng và sạt lở thông qua phân tích ảnh viễn thám bản đồ hiện trạng bồi lắng và sạt lở trong 10 năm từ 2008 đến 2018 (Hình 11b).



Hình 11. a) Quá trình bồi, xói đáy sông khu vực nghiên cứu và b) bản đồ hiện trạng bồi tụ, sụt lở khu vực nghiên cứu trích xuất từ ảnh viễn thám.

4. Kết luận

Nghiên cứu đã tiến hành đánh giá xu thế bồi, xói khu vực cửa sông Cỏ Chiên từ thành phố Trà Vinh đến Thị xã Duyên Hải tỉnh Trà Vinh. Kết quả tính toán cho thấy, xu thế bồi xảy ra chủ yếu ở khu vực cửa sông Cung Hầu, ở phía đuôi cù lao Long Trị (thành phố Trà Vinh), phía đuôi đoạn thuộc xã Long Hòa (huyện Châu Thành), cồn Nghêu, đoạn thuộc xã Mỹ Long Nam (huyện Cầu Ngang) tỉnh Trà Vinh, cồn Vọt (xã Hiệp Thạnh, thị xã Duyên Hải) với tốc độ bồi đáy trung bình 0,03–0,20 m/năm.

Đoạn đầu cù lao Long Trị (Tp.Trà Vinh), phía cuối cồn Chim, cồn Phụng, cồn Nghêu, đoạn sông Cỏ Chiên qua xã Hòa Minh (huyện Châu Thành) và đoạn thuộc xã Hiệp Thạnh (thị xã Duyên Hải), đoạn dọc sông Cỏ Chiên thuộc xã Long Hòa (huyện Châu Thành), tỉnh Trà Vinh xuất hiện xói với mức độ trung bình 0,05–0,26 m/năm.

Nhìn chung, hướng tiếp cận mô hình số kết hợp phân tích ảnh viễn thám trong nghiên cứu xói lở và bồi tụ đã góp phần củng cố độ tin cậy từ kết quả tính toán của mô hình.

Đóng góp của tác giả: Xây dựng ý tưởng nghiên cứu: N.V.Hồng, D.T.An.; Lựa chọn phương pháp nghiên cứu: N.V.Hồng., D.T.An.; Viết bản thảo bài báo: N.V.Hồng., D.T.An.; Chính sửa bài báo: N.V.Hồng., D.T.An.

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

Tài liệu tham khảo

1. IPCC. The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, 2007.
2. Guan, M.; Wright, N.G.; Sleigh, P.A.; Ahilan, S.; Lamb, R. Physical complexity to model morphological changes at a natural channel bend. *Water Resour. Res.* **2015**, *52*, 6348–6364.
3. Bart van den Hurk, Peter Siegmund, Albert Klein Tank. *Climate Change scenarios for the 21st Century – A Netherlands perspective*. Scientific Report WR2014–01, KNMI, De Bilt, The Netherlands, 2014.
4. IPCC. The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, 2013.
5. Bộ Tài nguyên Môi trường. Kịch bản Biến đổi khí hậu, nước biển dâng cho Việt Nam, 2012.

6. Vu, D.T.; Yamada, T.; Ishidaira, H. Assessing the impact of sea level rise due to climate change on seawater intrusion in Mekong Delta, Vietnam. *Water Sci. Technol.* **2018**, 77, 1632–1639.
7. Bộ Tài nguyên Môi trường. Kịch bản Biến đổi khí hậu, nước biển dâng cho Việt Nam, 2016.
8. Lee, S.K.; Dang, T.A.; Le, V.T. Assessment of river morphological change for Co Chien Estuary applying the CCHE2D model. *J. Indian Soc. Remote Sens.* **2019**, 47, 1623–1632.
9. Phân Viện Khoa học Khí tượng Thủy văn và Biến đổi khí hậu (SIHYMECC). Nghiên cứu đánh giá tình hình sạt lở khu vực cửa sông Cỏ Chiên, đề xuất giải pháp bảo vệ, phát triển bền vững. Dự án cấp Tỉnh Trà Vinh, 2019.
10. Chen, X.; Wang, D.; Tian, F.; Sivapalan, M. From channelization to restoration: Sociohydrologic modeling with changing community preferences in the Kissimmee River Basin, Florida. *Water Resour. Res.* **2016**, 52, 1227–1244.
11. Giasemi, G.M.; Kourgialas, N.N.; Nikolaidis, N.P. Assessing hydro–morphological changes in Mediterranean stream using curvilinear grid modeling approach – climate change impacts. *Earth Sci. Inform.* **2018**, 11, 205–216,.
12. Wang, Q.; Peng, W.; Dong, F.; Liu, X.; Ou, N. Simulating flow of an urban river course with complex cross sections based on the MIKE21 FM model. *Water* **2020**, 12, 761.
13. Morianou, G.G.; Kourgialas, N.N.; Karatzas, G.P.; Nikolaidis, N.P. River flow and sediment transport simulation based on a curvilinear and rectilinear grid modelling approach – a comparison study. *Water Supply* **2017**, 17, 1325–1334.
14. Kaergaard, K.; Fredsoe, J. Numerical modeling of shoreline undulations part 1: Constant wave climate. *Coast. Eng.* **2013**, 75, 64–76.
15. Uddin, M.; Alam, J.B.; Khan, Z.H.; Hasan, G.J.; Rahman, T. Two–dimensional hydrodynamic modelling of Northern Bay of Bengal coastal waters. *Comput. Water Energy Environ. Eng.* **2014**, 3, 140–151.
16. Nguyễn Văn Hồng và cs. Nghiên cứu biến động hình thái cửa sông Cỏ Chiên dưới tác động thủy động lực học. Báo cáo tổng kết Đề tài cấp Bộ, Bộ TNMT, Mã số: TNMT.05.50, 2014–2016.
17. Hồng, N.V.; Nam, B.C. Ứng dụng viễn thám và GIS nghiên cứu biến động đường bờ ở cửa sông Cỏ Chiên. *Tap chí Khí tượng Thủy văn* **2016**, 666, 31–37.
18. Hồng, N.V.; Hoàng, T.T.; Vi, V.T.T.; Linh, H.T.M. Nghiên cứu tính toán dòng chảy khu vực cửa sông Cỏ Chiên bằng mô hình MIKE 21 FM. *Tap chí Khí tượng Thủy văn* **2016**, 666, 21–25.
19. Hồng, N.V.; Thịnh, N.N.; Hoàng, T.T. Nghiên cứu tính toán trường sóng ven bờ khu vực cửa sông Cỏ Chiên bằng mô hình MIKE 21 SW. *Tap chí Khí tượng Thủy văn* **2015**, 650, 11–16.
20. Hồng, N.V. và cs. Nghiên cứu đặc điểm khí tượng, thủy hải văn khu vực cửa sông Cỏ Chiên. *Tap chí Khí tượng Thủy văn* **2014**, 648, 11–15.
21. Hồng, N.V. và cs. Đánh giá xu thế và nguyên nhân thay đổi hình thái sông Cỏ Chiên. Tuyển tập Báo cáo Hội thảo Quốc gia về Khí tượng, Thủy văn, Môi trường và Biến đổi khí hậu lần thứ XVIII, Viện KH KTTV & ĐKHH, ISBN 978–604–904–468–7, 2015, 419–425.
22. Hồng, N.V. và cs. Nghiên cứu đặc điểm khí tượng – thủy hải văn khu vực cửa sông Cỏ Chiên trong đợt khảo sát tháng 7/2014. Tuyển tập Báo cáo Hội thảo khoa học 2014, Phân viện KH Khí tượng Thủy văn và Môi trường, 2014, 111–117.
23. IPCC Fifth Assessment Report. Climate Change 2013 – The Physical Science Basis. Cambridge University Press, Cambridge, UK, 2013, pp. 1535.

Evaluation of river morphological changes based on a combination of hydrodynamic model and remote sensing image

Nguyen Van Hong^{1*}, Dang Trung An²

¹ Sub-Institute HydroMeteorology and Climate Change; nguyenvanhong79@gmail.com

² University of Sciences–Vietnam National University HCM City; dtan@hcmus.edu.vn

Abstract: The study was conducted to evaluate the erosion and deposition processes in Co Chien estuary area in the period 1973–2018. The study was deployed based on a combination of the hydrodynamic models belonging to the MIKE family which is developed by the Danish Institute of Hydraulics (DHI) and analysis of high-resolution remote sensing images to determine the erosion and deposition processes in the study area. The results showed that the study area has occurred a mixture of erosion and deposition. Specifically, deposition has occurred in some sub-areas such as Cung Hau estuary, the end of Long Tri islet, the end of the river section belongs to Long Hoa commune, Clam islet, and Qua Thu island in Hiep Thanh commune with an average speed of about 0.03–0.20 m/year. Meanwhile, erosion was also identified at the beginnings of Long Tri isle in Tra Vinh City, at the end of Chim islet, Phung islet, Clam islet and Co Chien river section passing Hoa Minh commune, Long Hoa commune of Chau Thanh district, Hiep Thanh commune belongs to Duyen Hai Town with an average speed of about 0.05–0.26 m/year. In general, the combination of hydrodynamic model and remote sensing method contributes to reinforcing the reliability of the hydrodynamic model in the simulation of river morphology variation.

Keywords: Aggradation; Degradation; Estuaries; Climate change; Sea level rise.

Bài báo khoa học

Áp dụng thử nghiệm phần mềm mã nguồn mở OpenFOAM mô phỏng lũ bùn đá

Đặng Trường An^{1*}

¹ Trường Đại học Khoa học Tự Nhiên, Đại học Quốc gia TP. HCM; dtan@hcmus.edu.vn

*Tác giả liên hệ: dtan@hcmus.edu.vn; Tel.: +84-909719878

Ban Biên tập nhận bài: 12/3/2021; Ngày phản biện xong: 9/5/2021; Ngày đăng bài: 25/6/2021

Tóm tắt: Lũ bùn đá là một dạng dòng chảy năng lượng cao chứa nước, đất, cát và sỏi đá trộn lẫn với nhau thường hình thành ở các vùng đồi núi dốc. Năng lượng mà lũ bùn đá tạo ra khi va chạm với các chướng ngại vật trên đường di chuyển của chúng thường rất lớn, có thể gây thiệt hại về người và tài sản. Trong nghiên cứu này, phần mềm OpenFOAM bước đầu được áp dụng thử nghiệm để mô phỏng dòng lũ bùn đá của một kênh thực nghiệm. Khả năng mô phỏng lũ bùn đá của phần mềm được đánh giá thông qua so sánh các chỉ số thống kê sai số giữa kết quả mô phỏng của nó với dữ liệu đo đạc và với kết quả mô phỏng từ phần mềm InterMixingflow. Sai số R_{mean} và RMSE giữa kết quả mô phỏng của phần mềm với dữ liệu thực đo lần lượt là 0,72 và 5,43 trong khi giá trị tương ứng từ phần mềm InterMixingflow là 0,85 và 5,83. Thông qua phân tích các chỉ số sai số từ phần mềm đã áp dụng và phần mềm InterMixingflow, có thể thấy phần mềm OpenFOAM rất có triển vọng để xem xét áp dụng mô phỏng lũ bùn đá cho các trường hợp kênh tự nhiên.

Từ khóa: Lũ bùn đá; OpenFOAM; Áp suất cao; Bão; Dòng năng lượng cao.

1. Mở đầu

Lũ bùn đá là một hiện tượng tự nhiên thường xuất hiện ở các vùng đồi núi, năng lượng được tạo ra khi dòng chảy này tiếp xúc với vật cản trên đường chúng di chuyển là rất lớn [1–3]. Theo [4] dòng chảy lũ bùn là một dạng dòng chảy bao gồm hỗn hợp nước, đất, đá và thậm chí chứa cả vật liệu thô xảy ra phổ biến ở khu vực đồi núi gây thiệt hại lớn về người và tài sản. Do dòng chảy lũ bùn pha trộn nhiều loại vật liệu khác nhau nên năng lượng chúng tạo ra lớn hơn nhiều so với dòng chảy chỉ chứa nước và vì thế thiệt hại do chúng gây ra cho các khu vực chịu tác động trực tiếp là rất lớn [3, 5–7]. Cho đến nay, các khảo sát thực địa để tìm hiểu nghiên cứu về dòng chảy lũ bùn vẫn còn gặp phải nhiều thách thức do chi phí khá tốn kém và mất an toàn đối với người tham gia khảo sát [7–9]. Chính vì thế, các tiếp cận nghiên cứu về dòng chảy lũ bùn đang được áp dụng phổ biến hiện nay là sử dụng thiết bị công nghệ bay độ phân giải cao giám sát bề mặt (*Airborne Lidar*) [10–12]. [10] đã tiến hành một nghiên cứu về lũ bùn đá xảy ra tại thị trấn Matata ở Plenty, phía Đông New Zealand. Nhóm nghiên cứu đã sử dụng thiết bị bay độ phân giải cao *Airborne Lidar* để giám sát bề mặt đất của khu vực xảy ra lũ bùn sau sự kiện mưa cực lớn. Sự kiện mưa này gây ra hiện tượng sạt trượt đất, đá trên diện rộng và dòng chảy lũ bùn gây ảnh hưởng lớn đến khu vực Awatarariki và Waitepuru thuộc Matata. Nghiên cứu đã chỉ ra, việc áp dụng công nghệ bay giám sát *Airborne Lidar* nghiên cứu dòng chảy lũ bùn cho thấy triển vọng khả quan của kỹ thuật này. Năm 2016, [12] đã áp dụng thiết bị công nghệ bay *Airborne Lidar* giám sát những thay đổi về bề mặt địa hình do dòng chảy lũ bùn gây ra cho khu vực Umyeon, Hàn Quốc. Trong nghiên cứu đã sử

dụng thiết bị Airborne Lidar bay giám sát xung quanh khu vực xảy ra lũ bùn và rút ra nhận xét rằng, phương pháp sử dụng công nghệ bay Airborne Lidar trong giám sát dòng chảy lũ bùn nên được khuyến khích áp dụng nhiều hơn cho các khu vực thường xảy ra lũ bùn khác của Hàn Quốc cũng như các khu vực trên thế giới. Bên cạnh sử dụng công nghệ bay Airborne Lidar để giám sát, nghiên cứu về dòng chảy lũ bùn, hướng tiếp cận sử dụng mô hình số mô phỏng diễn biến dòng chảy lũ bùn cũng được áp dụng rộng rãi ở nhiều nơi trên thế giới [13–15]. Cụ thể, năm 2013 [16] đã tiến hành nghiên cứu đánh giá khả năng áp dụng của mô hình số mô phỏng dòng chảy lũ bùn cho 16 trường hợp kênh thực nghiệm được thiết lập tại Viện Kỹ thuật Giám sát Rủi ro Miền núi thuộc trường Đại học Tài nguyên Thiên nhiên và Đời sống Vienna.

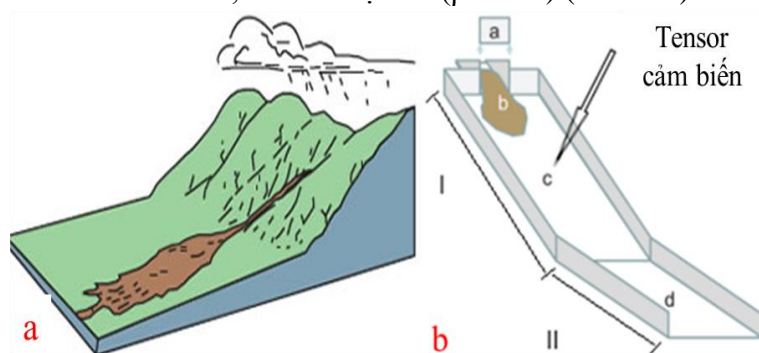
Kết quả nghiên cứu chỉ ra rằng, phương pháp tiếp cận mô hình số mô phỏng dòng chảy lũ bùn đã cho sự tương đồng tốt với dữ liệu đo đạc thực nghiệm từ mô hình vật lý phòng thí nghiệm. Một nghiên cứu được tiến hành bởi [17] sử dụng mô hình số 3 chiều Mohr–Coulomb dựa trên 2 pha dòng chảy rắn (bùn, đá) và lỏng (nước) cho kênh thực nghiệm có độ dốc lớn. Các kết quả mô phỏng chỉ ra khả năng ứng dụng tiềm năng của mô hình số trong mô phỏng các quá trình thủy động học phức tạp của các dòng chảy hỗn hợp lũ bùn với vật liệu rắn có kích thước hạt khá đa dạng. Việc khảo sát thực địa để nghiên cứu về dòng chảy lũ bùn như được trình bày còn đối mặt nhiều thách thức và chưa được tiến hành rộng rãi, trong khi tiếp cận dựa vào thiết bị công nghệ bay Airborne Lidar còn khá tốn kém thì mô hình số được xem là hướng tiếp cận dễ khả thi hiện nay [1, 13–14].

Chính vì vậy, mục tiêu của nghiên cứu này là: a) áp dụng phần mềm mã nguồn mở OpenFOAM mô phỏng dòng chảy hỗn hợp lũ bùn cho trường hợp kênh nhân tạo được xây dựng từ phòng thí nghiệm và b) tiến tới xem xét áp dụng phần mềm mô phỏng dòng chảy lũ bùn cho trường hợp kênh tự nhiên trong một nghiên cứu tiếp theo.

2. Phương pháp nghiên cứu và dữ liệu

2.1. Khu vực nghiên cứu

Trong nghiên cứu này, dữ liệu để tiến hành mô phỏng lũ bùn đã được thu thập từ [8]. Kênh thực nghiệm xây dựng trong phòng thí nghiệm dựa trên hình dạng lũ bùn xảy ra trong kênh tự nhiên (Hình 1a) và kênh thực nghiệm trong trường hợp nghiên cứu này được thiết kế có chiều dài 7,5 m và rộng 2,0 m (Hình 1b). Kênh thực nghiệm được chia 2 đoạn với độ dốc kênh thay đổi từ 10 đến 30°. Trong đó, đoạn kênh thứ I dài 4,4 m và độ dốc kênh ($\beta = 30^\circ$) và đoạn kênh thứ II có chiều dài 3,1 m với độ dốc ($\beta = 10^\circ$) (Hình 1b).

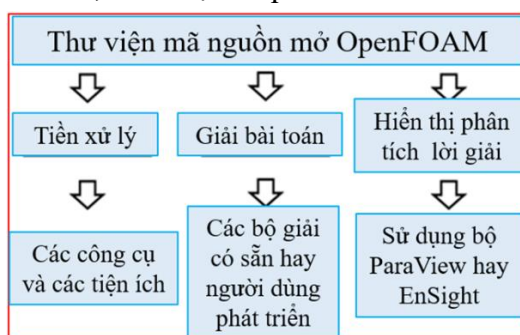


Hình 1. Phác thảo lũ bùn đá a) kênh tự nhiên và b) kênh thực nghiệm quy mô phòng thí nghiệm [8, 15].

2.2. Tổng quan về phần mềm OpenFOAM

OpenFOAM được viết tắt từ cụm từ **Open Source Field Operation And Manipulation**, là phần mềm nguồn mở được phát triển bởi Đại học Imperial, Anh Quốc [19]. Phần mềm này được Henry Weller xây dựng dựa trên ý tưởng chính lấy từ mô phỏng động lực học cơ lưu

chất (CFD–Computational Fluid Dynamics) với phương pháp thể tích hữu hạn được sử dụng làm thuật giải [19, 20–22]. Năm 2000, phần mềm OpenFOAM được công bố như một phần mềm thương mại [19]. Sau đó, phần mềm OpenFOAM được sở hữu bởi Quỹ OpenFOAM và đến những năm 2013, phần mềm này được hợp nhất cho cả hai phiên bản thương mại và mã nguồn mở [20–21]. Các module của phần mềm OpenFOAM viết trên nền tảng lập trình hướng đối tượng sử dụng ngôn ngữ C++ [19]. OpenFOAM là tập hợp của khoảng 250 chương trình con được nhúng trong hơn 100 module [19–22]. Về cơ bản, các chương trình con của phần mềm OpenFOAM được tổ chức thành 3 khối (Hình 2) bao gồm: (1) Khối tiền xử lý (Pre-processing) gồm các công cụ mô hình hóa và chia lưới; (2) Khối giải (Solving) gồm các bộ giải chuẩn được cung cấp sẵn hoặc do người dùng tự xây dựng và bổ sung thêm vào thư viện của OpenFOAM; và (3) Khối phân tích, thể hiện lời giải (Post-processing) gồm các thư viện công cụ phục vụ việc biểu diễn, hiển thị kết quả tính toán.



Hình 2. Phác thảo ba khối hoạt động trong phần mềm OpenFOAM.

2.3. Cơ sở lý thuyết của phần mềm OpenFOAM

Hầu hết các chương trình con mô phỏng dòng chảy trong phần mềm OpenFOAM sử dụng một trong các thuật toán PISO–Pressure–Implicit Split–Operator, SIMPLE–Semi–Implicit Method for Pressure–Linked Equations hay kết hợp cả hai thuật giải PISO và SIMPLE được gọi với tên PIMPLE [20]. Trong đó, thuật giải PIMPLE thực thi vòng lặp ghép nối tích hợp phương trình động lượng và bảo toàn khối lượng từ các phương trình rời RANS (hệ phương trình Reynolds–averaged Navier–Stokes) [20, 23]. Thuật giải PIMPLE tích hợp trong phần mềm OpenFOAM có thể áp dụng cho các nghiên cứu:

Mô phỏng hoạt động của cánh turbine tàu ngầm, mô phỏng tương tác giữa thuyền và nước, mô phỏng diễn biến vỡ đập và mô phỏng chuyển động của dòng chảy lũ bùn. Phần mềm OpenFOAM được xây dựng dựa trên hệ phương trình chủ đạo sau:

Phương trình liên tục

$$\nabla \cdot U = 0 \tag{1}$$

Phương trình vận chuyển

$$\frac{\partial \alpha_m}{\partial t} + \nabla \cdot (U \alpha_m) = 0 \tag{2}$$

Phương trình động lượng

$$\frac{\partial(\rho U)}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho U \times U) = -\nabla p + \nabla \cdot \mathbf{T} + \rho f \tag{3}$$

Trong đó U là thành phần vận tốc; ρ là mật độ trung bình của các chất; \mathbf{T} là tensor ứng suất nhớt của hỗn hợp; f là tổng các lực khác; α_m là tổng của phân số biểu thị thành phần của thành phần bùn và cát tại một điểm không thời gian [19].

Trong đó α_m trong phương trình (2) được xác định bởi phương trình (4).

$$\alpha_m = \alpha_2 + \alpha_3 \tag{4}$$

Phần không khí cũng ảnh hưởng đến α_m này qua phương trình (5).

$$\alpha_1 = 1 - \alpha_m \tag{5}$$

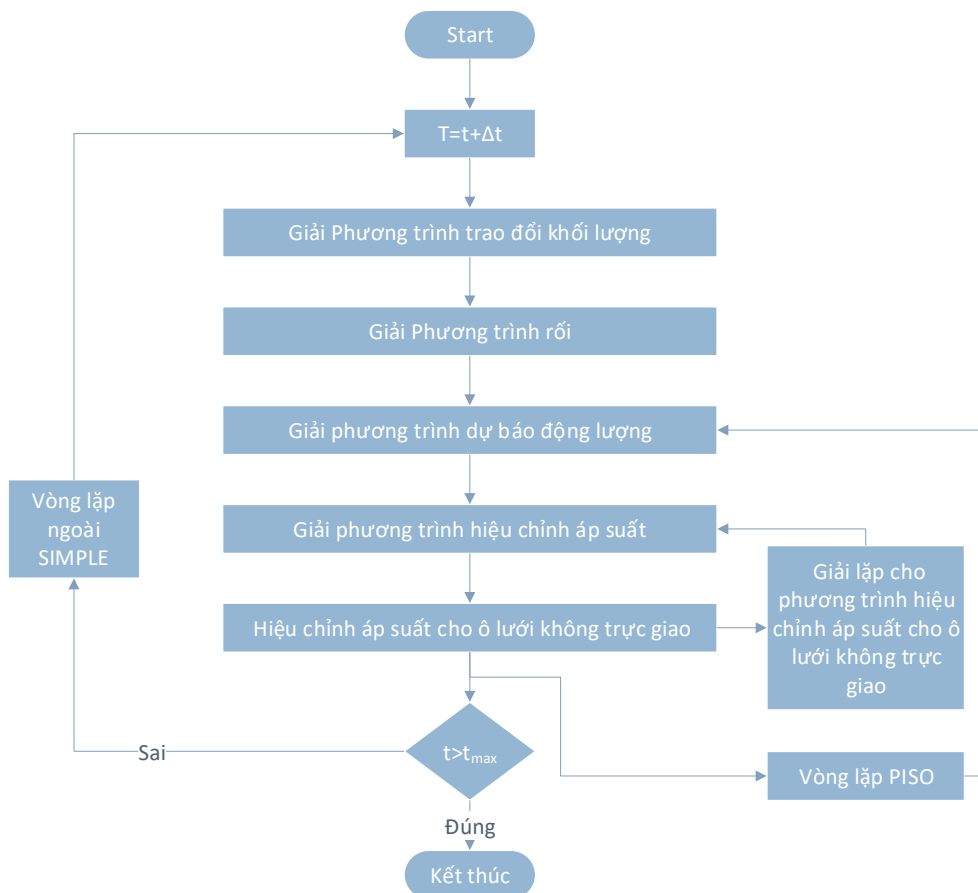
Trong đó α_1 là tham số biểu thị thành phần không khí; α_2 là tham số biểu thị thành phần bùn; α_3 là tham số biểu thị thành phần cát.

Phương trình (2) chỉ xét đến pha lỏng, nên cần phải xét thêm pha khí cho các mô phỏng dòng chảy bùn. Đối với pha rắn (dòng chảy bùn) phương trình vận chuyển có dạng sau:

$$\frac{\partial \alpha_m}{\partial t} + \nabla \cdot (U \alpha_m) + \nabla \cdot (U_c \alpha_1) = 0 \tag{6}$$

Trong đó U_c là thành phần vận tốc giao thoa giữa hai pha lỏng và khí.

Thuật toán PIMPLE áp dụng cho mô phỏng dòng chảy lũ bùn được minh họa ở hình 3.



Hình 3. Thuật toán PIMPLE áp dụng cho mô phỏng lũ bùn đá.

2.4. Các điều kiện đầu và biên

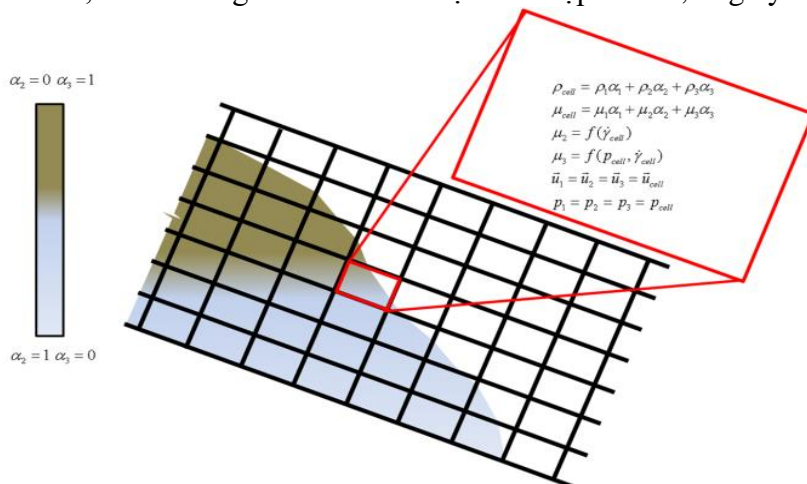
Các dữ liệu thu thập phục vụ mô phỏng lũ bùn đá trong trường hợp nghiên cứu này gồm: thể tích dòng chảy, mật độ hỗn hợp (ρ_{hh}). Trong đó, thực nghiệm được tiến hành với tỷ lệ pha trộn giữa nước (ρ_w), bùn khoáng với kích thước mịn, bùn khoáng với kích thước thô, cát mịn, cát thô và các hạt có kích thước từ sỏi trở lên với góc ma sát $\delta = 36^\circ$. Đối với pha khí, mật độ nước (ρ_w) và ứng suất mặt thoáng (τ_{00}) được miêu tả chi tiết ở Bảng 1.

Bảng 1. Các tham số thiết lập và thu thập phục vụ mô phỏng dòng chảy lũ bùn.

Tham số	Ký hiệu	Giá trị	Đơn vị
Mật độ nước	ρ_w	1000	kg.m ⁻³
Mật độ hỗn hợp	ρ_{hh}	1802	kg.m ⁻³
Ứng suất mặt thoáng	τ_{00}	41,33	Pa
Thể tích dòng chảy	V	0,01	m ³
Tỷ lệ pha trộn nước	ρ_w/hh	28,5	%

Tham số	Ký hiệu	Giá trị	Đơn vị
Tỷ lệ bùn khoáng mịn	ρ_{sf}/hh	1,6	%
Tỷ lệ bùn khoáng thô	ρ_{sr}/hh	8,8	%
Tỷ lệ cát mịn	ρ_{sf}/hh	27,8	%
Tỷ lệ cát thô	ρ_{sr}/hh	47,8	%
Tỷ lệ hạt kích thước từ sỏi trở lên	ρ_{src}/hh	14,0	%

Nghiên cứu được tiến hành với không gian lưới $\Delta x = 0,02$ m, $\Delta y = 0,01$ m và Δz thay đổi từ 0,001 đến 0,025 m (Hình 4). Để đảm bảo các thiết lập mô phỏng bắt được các chuyển động với vận tốc lớn, bước thời gian tính toán được thiết lập $\Delta t = 0,04$ giây.

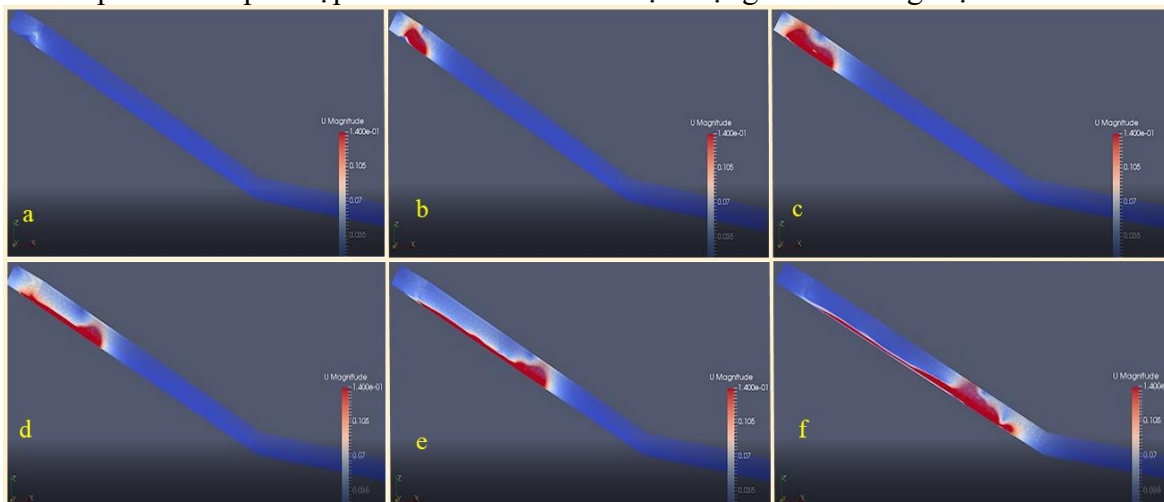


Hình 4. Minh họa lưới sử dụng mô phỏng dòng chảy lũ bùn đá [19].

3. Kết quả và thảo luận

3.1. Kết quả mô phỏng dòng chảy lũ bùn

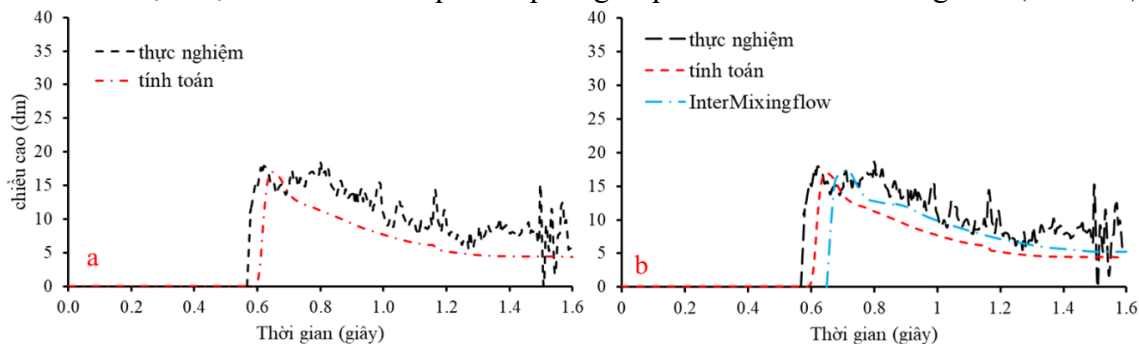
Mô phỏng diễn biến dòng chảy hỗn hợp lũ bùn được minh họa trên hình 5. Hình 5 thể hiện các khoảng thời gian di chuyển của dòng chảy lũ bùn từ lúc bắt đầu mô phỏng (Hình 5a) đến khoảng thời gian sau 2 giây di chuyển của dòng lũ bùn (Hình 5b) và sau các khoảng thời gian di chuyển tiếp theo của chúng từ giây thứ tư (Hình 5c), giây thứ 8, 16 và giây thứ 20 (Hình 5d, 5e và 5f). Nhìn chung, hình 5 thể hiện kết quả mô phỏng dòng chảy lũ bùn từ phần mềm OpenFOAM phù hợp với xu thế diễn biến hiện tượng lũ bùn trong thực tế.



Hình 5. Minh họa kết quả mô phỏng dòng lũ bùn đá theo thời gian từ lúc bắt đầu xảy ra sự kiện (Hình 5a) đến khi kết thúc sự kiện (Hình 5f) của khối vật liệu nước và hỗn hợp bùn, đất và cát.

3.2. Đánh giá kết quả mô phỏng

Kết quả mô phỏng dòng chảy lũ bùn từ phần mềm OpenFOAM được so sánh với dữ liệu đo đạc thực nghiệm và so với kết quả nghiên cứu từ công trình nghiên cứu đã được công bố [4] dùng phần mềm InterMixingflow cho cùng dữ liệu mà nghiên cứu này áp dụng (Bảng 2). Bảng 2 và hình 6a thể hiện dòng chảy lũ bùn mô phỏng từ phần mềm OpenFOAM cho trị số thấp hơn so với dữ liệu thực đo và phần mềm InterMixingflow. Tuy nhiên, về diễn biến xu thế và thời gian trễ của dòng chảy lũ bùn thì phần mềm OpenFOAM cho kết quả phù hợp hơn với dữ liệu thực đo và với kết quả mô phỏng từ phần mềm InterMixingflow (Hình 6b).



Hình 6. So sánh kết quả mô phỏng từ phần mềm OpenFOAM với a) dữ liệu đo đạc và b) với phần mềm InterMixingflow.

Bảng 2. Dữ liệu độ cao dòng chảy lũ bùn trích xuất từ dữ liệu đo đạc, mô phỏng từ phần mềm OpenFOAM và phần mềm InterMixingflow từ một nghiên cứu khác.

Thời gian	Dữ liệu đo đạc h (dm)	Mô phỏng từ các phần mềm h (dm)	
		OpenFOAM	InterMixingflow
0,60	15,02	0,56	0,00
0,65	17,97	10,04	0,00
0,70	14,28	15,47	15,59
0,75	17,29	13,28	17,16
0,80	14,91	12,16	14,85
0,85	18,37	11,28	12,76
0,90	13,44	10,36	12,34
0,95	13,72	9,35	11,93
1,00	12,76	8,29	10,67
1,05	10,66	7,71	9,83
1,10	12,87	7,04	9,10
1,15	8,84	6,60	8,37
1,20	10,20	6,15	7,74
1,25	8,16	5,22	7,11
1,30	6,35	4,85	6,69
1,35	6,97	4,68	6,17
1,40	8,79	4,56	5,86
1,45	7,99	4,50	5,65
1,50	8,84	4,46	5,44
1,55	15,14	4,46	5,23
1,60	1,76	4,46	5,23
1,65	5,56	4,39	5,23

So sánh kết quả tính toán dòng chảy lũ bùn từ phần mềm OpenFOAM và từ kết quả mô phỏng của [8] cho thấy, về trị số phần mềm OpenFOAM cho giá trị tính nhỏ hơn so với kết quả tính từ phần mềm InterMixingflow, tuy nhiên về xu hướng và thời gian trễ thì phần mềm OpenFOAM có thời gian trễ so với dữ liệu đo đạc nhỏ (0,01 giây) trong khi phần mềm InterMixingflow cho thời gian trễ (0,03 giây) (Bảng 2, Hình 6b).

3.3. Phân tích mức độ phù hợp

Mức độ phù hợp giữa kết quả mô phỏng diễn biến dòng chảy lũ bùn từ phần mềm OpenFOAM và phần mềm InterMixingflow được đánh giá thông qua các chỉ dẫn sai số tỷ lệ sai khác trung bình (R_{mean}) và sai số toàn phương trung bình (RMSE). Bảng 3 thể hiện kết quả phân tích mức độ phù hợp của các phần mềm mô phỏng độ cao dòng chảy lũ bùn dựa trên chỉ dẫn sai số R_{mean} và RMSE. Từ bảng 4 có thể nhận thấy, kết quả mô phỏng từ phần mềm OpenFOAM cho các sai số R_{mean} và RMSE lần lượt là 0,72 và 5,43 trong khi các giá trị sai số tương ứng thu được từ phần mềm InterMixingflow lần lượt là 2.3 là 0,85 và 5,83. Theo đó, chỉ số R_{mean} được xác định dựa trên so sánh kết quả mô phỏng của phần mềm OpenFOAM và dữ liệu đo đạc là 0,72. Theo [21], khi chỉ số R_{mean} tiến đến 1,0 có nghĩa là kết quả tính toán của một yếu tố phù hợp tốt với thực tế và điều này đồng nghĩa với phương pháp được áp dụng cho một nghiên cứu bất kỳ có độ chính xác cao. Thêm vào đó, sai số RMSE tính được từ phần mềm OpenFOAM cho giá trị nhỏ hơn so với phần mềm InterMixingflow, điều đó có nghĩa rằng phần mềm OpenFOAM rất có triển vọng để xem xét áp dụng cho các nghiên cứu mô phỏng dòng chảy lũ bùn tương tự cho các kênh tự nhiên.

Bảng 3. Kết quả phân tích các chỉ số sai số thống kê cho các phần mềm mô phỏng.

Phần mềm	R_{mean}	RMSE
OpenFOAM	0,72	5,43
InterMixingflow	0,85	5,83

3.4 Hạn chế của nghiên cứu

Nghiên cứu được tiến hành dựa trên dữ liệu thực nghiệm mô hình vật lý, chính vì vậy một số tham số còn chưa được thu nhỏ quy mô phù hợp với thực tế (ví dụ như kích thước hạt sỏi, độ dốc kênh) và đây cũng chính là một trong những nguyên nhân dẫn đến kết quả mô phỏng còn số khác biệt so với thực tế.

4. Kết luận

Nghiên cứu được triển khai nhằm mục tiêu bước đầu thử nghiệm khả năng áp dụng phần mềm mã nguồn mở OpenFOAM mô phỏng dòng lũ bùn đá cho trường hợp kênh thực nghiệm. Kết quả thu được là cơ sở để xem xét áp dụng phần mềm OpenFOAM cho các nghiên cứu xa hơn đối với các kênh tự nhiên. Kết quả nghiên cứu cho thấy, phần mềm OpenFOAM bước đầu áp dụng mô phỏng độ cao dòng lũ bùn đá cho trường hợp kênh thực nghiệm thu được khá khả quan. Cụ thể, kết quả chạy mô phỏng độ cao dòng lũ bùn đá từ phần mềm mã nguồn mở OpenFOAM cho sai khác thông qua các chỉ số sai số thống kê tương đương với phần mềm InterMixingflow. Mặc dù kết quả nghiên cứu dòng lũ bùn đá thông qua áp dụng phần mềm OpenFOAM khả quan, tuy nhiên cần có những nghiên cứu xa hơn để đánh giá khả năng mô phỏng của phần mềm này cho những trường hợp sông, kênh trong thực tế.

Đóng góp của tác giả: Tác giả là người đã lên ý tưởng và tiến hành thực hiện nghiên cứu.

Lời cảm ơn: Tác giả chân thành cảm ơn Giáo sư Paik Joongcheol–Viện nghiên cứu dòng chảy năng lượng cao, Đại học Quốc Gia Gangneung đã trao đổi, đóng góp ý kiến giúp tác giả hoàn thành nghiên cứu này.

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

Tài liệu tham khảo

1. Paik, J.C.; Park, S.D. Numerical simulation of flood and debris flow through drainage culvert. *Proceeding of 5th International Conference on Debris–Flow Hazards Mitigation: Mechanics, Prediction and Assessment* **2011**, 487–493.
2. Yu, B.; Ma, Y.; Xing Q. Experimental study on the influence of clay minerals on the yield stress of debris flows. *J. Hydraul. Eng.* **2013**, 139, 364–373.
3. Takahashi, T. Debris flow, disaster prevention research institute, Kyoto University. *Japan, Ann. Rev. Fluid Mech.*, **1981**, 13, 57–77.
4. Albrecht, V.B. Debris inter–mixing–2.3: a finite volume for three–dimensional debris–flow simulations with two calibration parameters. *Geosci. Model Dev.* **2016**, 9, 2909–2923.
5. Kiên, N.T. Nghiên cứu khả năng áp dụng đập hở khung thép ngăn lũ bùn đá tại khu vực miền núi phía bắc Việt Nam. *Tap chí Khoa học Công nghệ Xây dựng* **2019**, 13(5), 28–37.
6. Yu, B.; Ma, Y.; Qi, X. Experimental study on the influence of clay minerals on the yield stress of debris flows. *Eng. ASCE* **2013**, 139, 364–373.
7. Ko, S.M.; Lee, S.W.; Yune, C.Y.; Kim, G. Topographic analysis of landslides in Umyeonsan. *J. Korean Society Sur.* **2013**, 32, 55–62.
8. Hürlimann, M.; McArdell, W.; Rickli, C. Field and laboratory analysis of the runout characteristics of hillslope debris flows in Switzerland. *Geomorphology* **2015**, 232, 20–32. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2014.11.030>.
9. Bull, J.M.; Miller, H.; Gravley, D.M. Assessing debris flow using LiDAR differencing: 18 May 2005 Matata event, New Zealand. *Geomorphology*, **2010**, 124, 75–84.
10. Logan, M.; Iverson, R. Video documentation of experiments at the USGS debris–flow flume 1992–2006. Website U.S. Geological Survey Open–File Report 2007–1315, v.1.3, 2013. Available online: <http://pubs.usgs.gov/of/2007/1315/> (last access: 5 February 2014).
11. Kim, H.; Lee, S.W.; Yune, C.Y.; Kim, G. Volume estimation of small–scale debris flows based on observations of topographic changes using airborne LiDAR DEMs. *J. Mount. Sci.* **2014**, 11, 578–591.
12. Kim, G.; Yune, C.Y.; Paik, J.; Lee, S.W. Analysis of debris flow behavior using airborne lidar and image data. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sens. and Spatial Inf. Sci. Volume XLI–B8, 2016 XXIII ISPRS Congress, 12–19 July 2016, Prague, Czech Republic, 2016.*

13. Mergili, M.; Fischer, J.; Krenn, J.; Pudasaini, S.P. Rava-flow v1, an advanced open-source computational framework for the propagation and interaction of two-phase mass flows. *Geosci. Model Dev.* **2017**, *10*, 553–569.
14. Kattel, P.; Khattri, K.B.; Pokhrel, P.R.; Kafle, J.; Tuladhar, B.M.; Pudasaini, S.P. Simulating glacial lake outburst floods with a two-phase mass flow model. *Ann. Glaciol.* **2016**, *57*, 349–358.
15. King, H.M. What is a debris flow? Geoscience news and information. Tham khảo từ website: <https://geology.com/articles/debris-flow/>, 2018.
16. Lee, C.W.; Woo, C.S.; Youn, H.J. Analysis of debris flow hazard by the optimal parameters extraction of random walk model. *J. Korean Forest Soc.* **2011**, *100*, 664–671.
17. Scheidl, C.; Chiari, M.; Kaitna, R.; Müllegger, M.; Krawtschuk, A.; Zimmermann, T.; Proske, D. Analysing debris-flow impact models, based on a small-scale modelling approach. *Surv Geophys.* **2013**, *34*, 121–140.
18. Pudasaini, S. A general two-phase debris flow model. *J. Geophys. Res.* **2012**, *117*, F03010. <https://doi.org/10.1029/2011JF002186>.
19. OpenFOAM–Foundation: OpenFOAM Standard Solvers. Website User Guide of OpenFOAM, 2016, pp. 12. <http://www.openfoam.org/docs/user/standard-solvers.php>.
20. O’Brian, J.; Julien, P.Y. Laboratory analysis of mudflow properties. *J. Hydraul. Eng.* **1988**, *114*, 877–887.
21. Bertolo, P.; Wiczorek, G.F. Calibration of numerical models for small debris flows in Yosemite Valley, California, USA. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.* **2005**, *5*, 993–1001. <https://doi.org/10.5194/nhess-5-993-2005>.
22. Wardle, K.E.; Weller, H. Hybrid multiphase CFD solver for coupled dispersed/segregated flows in liquid extraction. *Int. J. Chem. Eng.* **2013**, 128936, <https://doi.org/10.1155/2013/128936>.
23. Yilma, H.; Moges, S.A. Application of semi-distributed conceptual hydrological model for flow forecasting on upland catchments of Blue Nile River Basin, a case study of Gilgel Abbay catchment. *Catchment Lake Res.* **2007**, pp. 200.

Application of the OpenFOAM open–source software debris flow simulations

Dang Truong An^{1*}

¹ University of Science, Vietnam National University, Ho Chi Minh City;
dtan@hcmus.edu.vn

Abstract: Debris flow is a form of high–energy flow that includes a mixture of water, soil, sand and gravel and they frequently occur in mountainous areas. Debris flow generated a high–energy when they collide with obstacles in the flowing processes is enormous, which can result in massive loss of lives and property. In this study, the OpenFOAM software was initially tested to simulate the debris flow in the artificial channel. The performance of the applied software is assessed by comparing the simulated results with observed data and the simulated results of the InterMixingflow software. The statistical indicators of the OpenFOAM software are $R_{\text{mean}} = 0.72$ and $RMSE = 5.43$, respectively while the correspond values of the InterMixingflow software are $R_{\text{mean}} = 0.85$ and $RMSE = 5.83$, respectively. The obtained statistical indicators implied that the OpenFOAM software is capable to simulate the debris flow in the natural channel cases.

Keywords: Debris flow; OpenFOAM; High pressure; Typhoon; High energy flow.

Bài báo khoa học

Đánh giá tác động của biến đổi khí hậu đến tiềm năng khai thác khoáng sản tỉnh Bình Phước

Lê Hoài Nam^{1*}, Hồ Công Toàn², Phạm Thanh Long²

¹ Trung tâm Quan trắc Môi trường miền Nam; lhnamm@gmail.com

² Phân Viện Khoa học Khí tượng Thủy văn và Biến đổi khí hậu; hocongtoanhdh@gmail.com; longphamsihymete@gmail.com

*Tác giả liên hệ: lhnamm@gmail.com; Tel.: +84-913145914

Ban Biên tập nhận bài: 16/3/2021; Ngày phản biện xong: 8/5/2021; Ngày đăng bài: 25/6/2021

Tóm tắt: Nghiên cứu đưa ra kết quả phân tích, đánh giá tác động của biến đổi khí hậu (BĐKH) đến tiềm năng khai thác khoáng sản ở tỉnh Bình Phước. Để thực hiện đánh giá nghiên cứu đã kế thừa kết quả xây dựng kịch bản nhiệt độ, lượng mưa, hạn hán và ngập theo kịch bản BĐKH và nước biển dâng (NBD) năm 2016 của Bộ Tài nguyên và Môi trường và bộ chỉ số đánh giá được xây dựng theo hướng dẫn của Ban Liên Chính phủ về Biến đổi khí hậu (IPCC) năm 2007. Trên cơ sở đó, kết quả về mức độ tác động và ảnh hưởng của BĐKH đến khu vực khai thác khoáng sản ở tỉnh Bình Phước được đánh giá đến từng huyện và khu vực, cụ thể: các khu vực khai thác khoáng sản ở thành phố Đồng Xoài (TP. Đồng Xoài) chịu mức độ tác động thấp nhất từ 0,36–0,38; huyện Bù Gia Mập có mức tác động do BĐKH đến khu vực khai thác khoáng sản ở mức cao, với chỉ số tác động khoảng 0,6. Những địa phương còn lại của tỉnh Bình Phước có tiềm năng khai thác khoáng sản bị tác động vừa với chỉ số tác động từ 0,43–0,53 dưới ảnh hưởng của BĐKH. Tuy bài báo mới chỉ đưa ra mức độ tác động của BĐKH, chưa đề cập đến những chỉ số khác nhưng kết quả nghiên cứu đã góp phần cung cấp thông tin cho tỉnh Bình Phước, phục vụ quy hoạch những khu vực khai thác khoáng sản trước bối cảnh BĐKH.

Từ khóa: Mức độ tác động; Biến đổi khí hậu; Khoáng sản.

1. Mở đầu

Đánh giá tác động do BĐKH là nghiên cứu xác định các ảnh hưởng của BĐKH lên môi trường và các hoạt động kinh tế xã hội của địa phương. Ngoài ảnh hưởng bất lợi còn có thể mang lại những ảnh hưởng có lợi. Đánh giá tác động của BĐKH cũng bao gồm việc xác định và đánh giá các giải pháp thích ứng với BĐKH [1]. Hiện nay có nhiều cách tiếp cận trong đánh giá tác động của BĐKH. Theo IPCC, có 3 cách: Tiếp cận tác động (*impact–approach*), tiếp cận tương tác (*interaction–approach*) và tiếp cận tổng hợp (*integrated–approach*). Mỗi cách tiếp cận có những điểm mạnh và hạn chế riêng, theo đó, tùy thuộc vào nhiều yếu tố khác nhau (yêu cầu đánh giá, phạm vi, khung thời gian và nguồn lực...) để lựa chọn [1–2].

Đánh giá tác động của BĐKH bao gồm các phương pháp định tính và định lượng, chia thành các nhóm chính: (i) các phương pháp thực nghiệm: Trong đánh giá tác động của BĐKH, phương pháp này được dùng để xác định các yếu tố khí hậu và môi trường (nhiệt độ, lượng mưa, ngập, xâm nhập mặn, ...) đến đối tượng nghiên cứu (năng suất cây trồng, nguy cơ dịch bệnh, ...); (ii) phương pháp ngoại suy số liệu lịch sử: các mô hình toán được sử dụng để dự đoán những tác động trong tương lai bằng cách ngoại suy các số liệu trong quá khứ;

(iii) các phương pháp ngoại suy, nghiên cứu sử dụng các trường hợp tương tự: sử dụng số liệu của các trường hợp tương tự ở một khu vực khác để đánh giá tác động của BĐKH lên đối tượng đang xem xét. Các loại nghiên cứu tương tự được dùng là: sự kiện lịch sử tương tự, xu hướng lịch sử tương tự, khu vực khí hậu hiện tại và tương lai tương tự; (iv) phương pháp chuyên gia: phương pháp này tập hợp các ý kiến và đánh giá của các chuyên gia (từ các tài liệu, các báo cáo đánh giá hoặc các cuộc họp chuyên gia, hội thảo, ...) [1]. Bên cạnh đó, đánh giá tác động của BĐKH cũng có thể thực hiện theo phương pháp có sự tham gia của cộng đồng và các bên liên quan ở địa phương [1]. Thời gian đầu, xu hướng nghiên cứu tác động của BĐKH tập trung vào các tác động đơn thuần đến những biểu hiện của BĐKH. Xây dựng kịch bản BĐKH và NBD cho Việt Nam theo hướng dẫn của IPCC [3–4]; Đánh giá hiện trạng ngập lụt và xác định kịch bản BĐKH và NBD cho TP. Hồ Chí Minh [5] hay xây dựng kịch bản BĐKH và dự báo xâm nhập mặn theo kịch bản BĐKH cho khu vực Đồng bằng sông Cửu Long [6]. Năm 2020, nghiên cứu [7] đã tiến hành xây dựng bản đồ phân bố cấp độ tác động của BĐKH đến quy hoạch, thăm dò, khai thác, chế biến và sử dụng các khoáng sản chủ yếu ở Việt Nam. Cùng năm, [8] đã thực hiện đánh giá tác động của nước biển dâng do BĐKH đến vùng nuôi trồng thủy sản khu vực ven biển Bắc Bộ và Bắc Trung Bộ. [9] đã đánh giá tác động của BĐKH đến ngập lụt tại TP. Hồ Chí Minh và đề xuất giải pháp thích ứng với BĐKH. Nghiên cứu [10] đã đánh giá tác động của BĐKH đến tự nhiên, con người và kinh tế-xã hội thành phố Hồ Chí Minh. Bên cạnh đó, Bộ Tài nguyên và Môi trường đã chủ trì xây dựng Thông báo quốc gia lần thứ hai [11], lần thứ ba [12] cho Công ước khung của Liên Hợp Quốc về BĐKH nhằm cung cấp thông tin về kiểm kê quốc gia khí nhà kính (KNK), phân tích, đánh giá tác động của BĐKH, giảm nhẹ phát thải KNK trong các ngành, lĩnh vực kinh tế-xã hội chủ yếu ở Việt Nam.

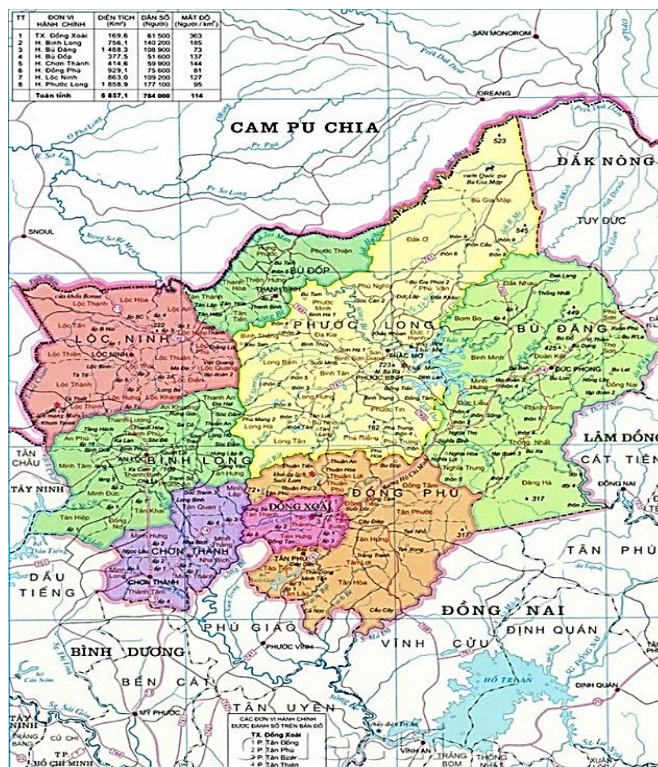
Trước các sức ép về tốc độ phát triển kinh tế-xã hội trên địa bàn tỉnh Bình Phước, sự gia tăng các hoạt động khai thác khoáng sản quá mức mà không quan tâm đến những biến đổi của khí hậu sẽ ảnh hưởng rất lớn đến những quy hoạch tương lai của Tỉnh, đồng thời, khai thác khoáng sản không quan tâm đến các biện pháp phòng chống nhiệt độ tăng, lượng mưa thay đổi, mưa cực đoan hay ngập sẽ làm giảm năng suất và gây thoái hóa đất ở những vùng khai thác khoáng sản. Để nghiên cứu đánh giá tác động của BĐKH đến tiềm năng khai thác khoáng sản, nhóm tác giả đã sử dụng phương pháp bộ chỉ số đánh giá dựa trên những kết quả kịch bản của mô hình khí hậu và mô hình ngập. Với mục tiêu đánh giá tác động của BĐKH đến tiềm năng khai thác, vùng khai thác khoáng sản theo các cấp thang đo trong bộ chỉ số cho tỉnh Bình Phước.

2. Phương pháp nghiên cứu

2.1 Giới thiệu khu vực nghiên cứu

Nghiên cứu được thực hiện trên khu vực tỉnh Bình Phước, là một tỉnh thuộc miền Đông Nam Bộ, có đường biên giới tiếp giáp với Campuchia dài 260,433 km (Hình 1). Khu vực nghiên cứu có địa bàn trung chuyển giữa Nam Tây Nguyên và miền Đông Nam Bộ, nên tỉnh có địa hình rất đa dạng, gồm cả địa hình cao nguyên, đồi núi và đồng bằng. Nằm trong vùng kinh tế trọng điểm phía Nam, có vị trí không xa Thành phố Hồ Chí Minh – trung tâm kinh tế lớn nhất của cả nước-lại có cửa khẩu thông thương với Campuchia, Bình Phước có rất nhiều cơ hội để phát triển thương mại, du lịch và xuất khẩu, ... Tài nguyên khoáng sản tỉnh Bình Phước không đa dạng về chủng loại nhưng một số có trữ lượng khá lớn, có giá trị công nghiệp. Theo kết quả điều tra của Liên đoàn Địa chất Bản đồ Miền Nam, tỉnh hiện có 91 mỏ, điểm quặng, điểm khoáng hóa và phân bố rải rác, chủ yếu ở vùng phía Tây và một ít ở trung tâm với các loại khoáng sản như: than bùn, đá xây dựng, cát, cuội sỏi, sét gạch ngói, laterit, sỏi đỏ. Theo những kết quả xây dựng kịch bản BĐKH, đến giữa thế kỷ nhiệt độ trung bình tỉnh Bình Phước tăng 1,40°C, lượng mưa năm có mức biến đổi từ 9,2–9,9%. Vào cuối thế kỷ, mức tăng nhiệt độ khoảng 1,9°C. Đối với lượng mưa mức biến đổi khoảng 14,5–16,6% theo

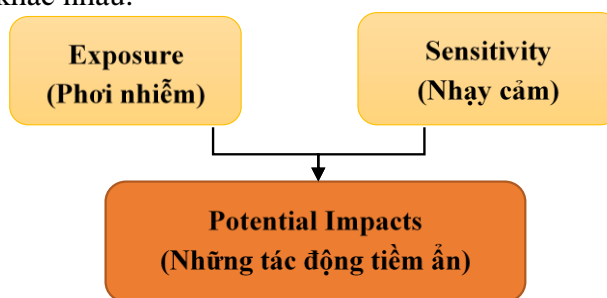
kịch bản phát thải trung bình (RCP4.5) [3]. Với những biến đổi về nhiệt độ và lượng mưa như vậy tạo nên sự khắc nghiệt có khả năng thúc đẩy các quá trình hạn hán, hoang mạc hóa đất, nguy cơ ngập, lũ cũng gia tăng và tác động bởi các hiện tượng cực đoan như mưa cực đoan, dông, sét cũng tăng lên đáng kể [3].



Hình 1. Bản đồ hành chính tỉnh Bình Phước [13].

2.2. Phương pháp đánh giá tác động của BĐKH bằng chỉ số (kết hợp GIS)

Chỉ số những tác động của BĐKH được xác lập trong mối quan hệ của 03 yếu tố (Hình 12): mức độ phơi nhiễm (E), mức độ nhạy cảm (S) [1, 14]. Các thuật ngữ này có thể thay đổi trong các nghiên cứu khác nhau.



Hình 2. Mô hình ý niệm đánh giá tính DBTT do BĐKH [1].

Áp dụng phương pháp chỉ số để đánh giá tác động tiềm ẩn và tính dễ bị tổn thương (DBTT) đối với biến đổi khí hậu theo quy trình như sau [1–2]:

Bước 1: Xác định bộ chỉ thị (BCT)

BCT và trọng số tương ứng phục vụ đánh giá tác động của BĐKH (Bảng 2 và 3) bao gồm các chỉ thị thể hiện khả năng phơi nhiễm (E), tính nhạy cảm (S) (từ đó đánh giá được tác động I). Phương pháp tổng quan tài liệu và tham vấn chuyên gia cũng đồng thời được sử dụng ở nội dung này.

Bước 2: Chuẩn hóa các số liệu thực (chỉ thị) theo thang điểm 0–1

Các chỉ thị có đơn vị và tỷ lệ khác nhau, vì thế cần chuẩn bằng cách đồng nhất giá trị từ 0–1 (bảng 1).

– Đối với các chỉ thị tỉ lệ (%): nếu tỉ lệ được xét trong cùng một hệ thống (toàn vùng nghiên cứu), chỉ thị được chuẩn hoá bằng cách giữ nguyên giá trị và bỏ đơn vị %.

– Đối với hầu hết các chỉ thị E (như nhiệt độ, lượng mưa, bão), S và AC: chuẩn hóa theo công thức sau:

+ Quan hệ thuận với cấu phần đang xét:

$$\text{Chỉ số} = \frac{(\text{Giá trị thực} - \text{Giá trị nhỏ nhất})}{(\text{Giá trị lớn nhất} - \text{Giá trị nhỏ nhất})} \tag{1}$$

+ Quan hệ nghịch với cấu phần đang xét:

$$\text{Chỉ số} = \frac{(\text{Giá trị lớn nhất} - \text{Giá trị thực})}{(\text{Giá trị lớn nhất} - \text{Giá trị nhỏ nhất})} \tag{2}$$

Bước 3: Tính toán chỉ số tổng hợp

Chỉ số tổng hợp của từng cấu phần (E, S) được tính toán dựa trên giá trị chuẩn hoá của chỉ thị i và trọng số ưu tiên wi theo các công thức dưới đây. Chỉ số I là hàm số của nhóm chỉ số E và S.

$$E = \sum_{i=1}^n E_i * WE_i \tag{3} \quad S = \sum_{i=1}^n S_i * WS_i \tag{4} \quad I = E * S \tag{5}$$

Trong đó I là tác động của thiên tai; E là nguy cơ hứng chịu thiên tai; S là các tổn thất đối với thiên tai (mức độ nhạy cảm với nguy cơ thiên tai); Ei, Si lần lượt là giá trị chuẩn hoá của chỉ thị thứ i trong cấu phần E, S; WEi, WSi lần lượt là trọng số ưu tiên của chỉ thị thứ i trong cấu phần E, S; n là số lượng các chỉ thị thành phần (của mỗi cấu phần E, S, AC).

Bước 4: Thành lập bộ chỉ số và đánh giá

Bảng 1. Thang chỉ số đánh giá E, S và I [2].

Chỉ số	0–0,2	0,2–0,4	0,4–0,6	0,6–0,8	0,8–1,0
E	Rất thấp	Thấp	Vừa	Cao	Rất cao
S	Rất thấp	Thấp	Vừa	Cao	Rất cao
I	Rất thấp	Thấp	Vừa	Cao	Rất cao

Bảng 2. Bộ chỉ thị nguy cơ hứng chịu thiên tai (E) trên địa bàn tỉnh Bình Phước.

Hiện tượng (1)	Chỉ thị (2)	Ký hiệu	Quan hệ
Nhiệt độ	Mức độ gia tăng nhiệt độ tối cao so với giai đoạn 1986–2005 (°C)	E.1.1	+
Lượng mưa	Mức độ gia tăng lượng mưa năm so với giai đoạn 1986–2005 (%)	E.1.2	+
Bão, ATNĐ	Số lượng cơn bão, áp thấp nhiệt đới, gây ảnh hưởng trong 10 năm (cơn)	E.1.3	+
Hạn hán	Chỉ số khô hạn và mức độ biến đổi trong 20 năm	E.1.6	+
Ngập lũ	Phạm vi ngập lớn nhất (>0.1 m) (ha)	E.1.7	+
	Độ sâu ngập lớn nhất (m)	E.1.8	+

Bảng 3. Bộ chỉ thị mức độ nhạy cảm với nguy cơ thiên tai (S) trên địa bàn tỉnh Bình Phước.

Khía cạnh (1)	Chỉ thị (2)	Ký hiệu	Mối quan hệ
Tài nguyên rừng	Diện tích rừng phòng hộ (ha)	S.1.1.1	-
	Diện tích rừng đặc dụng (ha)	S.1.1.2	-
	Diện tích rừng sản xuất (ha)	S.1.1.3	-
Sử dụng đất	<i>Đất sản xuất nông nghiệp:</i> Đất trồng cây hàng năm, đất trồng lúa, đất cỏ dùng vào chăn nuôi, đất trồng cây hàng năm khác (ha)	S.1.2.1	+
	<i>Đất lâm nghiệp:</i> có rừng (rừng sản xuất rừng phòng hộ, rừng đặc dụng) (ha)	S.1.2.2	-
	<i>Đất chuyên dùng:</i> Đất trụ sở cơ quan, công trình sự nghiệp, đất quốc phòng – an ninh, đất sản xuất, kinh doanh phi nông nghiệp, đất có mục đích công cộng (ha)	S.1.2.3	+
	<i>Đất ở:</i> Đất ở đô thị, đất ở nông thôn (ha)	S.1.2.4	+
Tài nguyên khoáng sản	Tổng diện tích khoáng sản theo từng huyện/thị (ha)	S.1.3.1	-
Tài nguyên nước	Nhu cầu sử dụng nước dưới đất (m ³ /ngày)	S.1.4.1	-
	Nhu cầu sử dụng nước sinh hoạt tại các vùng đô thị (m ³ /ngày)	S.1.4.2	-
	Nhu cầu sử dụng nước sinh hoạt tại các vùng nông thôn (m ³ /ngày)	S.1.4.3	-

2.3. Phương pháp nội suy không gian

Phương pháp này được áp dụng để tính toán khả năng phơi nhiễm của các khu vực khác nhau trong phạm vi nghiên cứu. Phương nghịch đảo khoảng cách (Inverse Distance to a Power) và phần mềm Surfer 10.0 được sử dụng.

Phương pháp nghịch đảo khoảng cách xác định các giá trị cho các ô lưới bằng cách tính trung bình các giá trị của các điểm mẫu trong vùng lân cận của mỗi ô lưới. Điểm càng gần điểm trung tâm (đang xác định) càng có ảnh hưởng nhiều hơn.

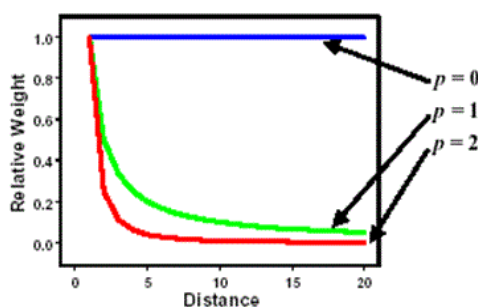
Công thức nội suy:

$$\hat{Z}(S_0) = \sum_{i=1}^n \lambda_i Z(S_i) \tag{6}$$

Trong đó:

$$\lambda_i = \frac{d_{i0}^{-p}}{\sum_{i=1}^n d_{i0}^{-p}} \tag{7}$$

Trong đó d_{ij} là khoảng cách không gian giữa 2 điểm thứ i và thứ j , số mũ p càng cao, mức độ ảnh hưởng của các điểm ở xa càng thấp và một số xem như không đáng kể, thông thường $p = 2$. Tuy nhiên, trong một số trường hợp mật độ dữ liệu đầu vào cao, p phải tăng cao tương ứng. Trong đề tài này, dự kiến áp dụng $p = 5$.



Hình 3. Mối quan hệ giữ sự ảnh hưởng và khoảng cách.

2.4. Phương pháp lập bản đồ

Lớp bản đồ chỉ số tác động được tính toán từ đề tài nghiên cứu chồng lớp lên các lớp ranh giới hành chính, lớp dữ liệu khoáng sản.

Và các bản đồ chỉ số tác động được xây dựng bằng kỹ thuật tích hợp thông tin, chồng ghép các lớp thông tin có trọng số, tổng hợp, tính toán cho các chỉ số chính và chỉ số phụ... thông qua phần mềm ArcGIS 10.1 trên bản đồ nền tỷ lệ 1: 50.000, hệ tọa độ VN_2000.

3. Kết quả và thảo luận

Dựa trên bản đồ hiện trạng khoáng sản năm 2015 (khai thác khoáng sản) và bản đồ loại khoáng sản và công ty khai thác kết hợp với bộ chỉ số hứng chịu (E) và bộ chỉ số nhạy cảm (S) trình bày ở mục 2.2 trong bảng 2 và bảng 3. Từ đó, chúng tôi thực hiện tính toán mức độ nhạy cảm, hứng chịu cho tỉnh Bình Phước và tác động của BĐKH đến lĩnh vực khai thác khoáng sản khu vực tiềm năng khoáng sản sẽ bị ảnh hưởng lớn.

Bảng 4. Kết quả tính toán chỉ số tác động I đến lĩnh vực khoáng sản tỉnh Bình Phước.

Huyện thành	Chỉ số E	Chỉ số S	I KS	I KS	I KS	I KS	I KS	I KS	I KS	I KS	I KS	I KS
			45-2025	45-2030	45-2050	45-2070	45-2100	85-2025	85-2030	85-2050	85-2070	85-2100
Đồng Xoài	0,33	0,21	0,36	0,37	0,36	0,38	0,37	0,37	0,37	0,37	0,38	0,38
Phước Long	0,37	0,24	0,45	0,48	0,47	0,49	0,49	0,43	0,44	0,49	0,49	0,49
Bình Long	0,37	0,24	0,45	0,43	0,43	0,43	0,44	0,44	0,42	0,43	0,43	0,43
Chơn Thành	0,35	0,25	0,45	0,45	0,44	0,44	0,45	0,45	0,45	0,44	0,44	0,44
Hớn Quản	0,37	0,25	0,51	0,50	0,50	0,49	0,51	0,51	0,50	0,50	0,49	0,49
Đồng Phú	0,32	0,26	0,44	0,47	0,45	0,46	0,46	0,45	0,48	0,46	0,46	0,47
Lộc Ninh	0,38	0,19	0,48	0,47	0,47	0,46	0,48	0,46	0,46	0,47	0,46	0,46
Phú Riềng	0,36	0,25	0,49	0,51	0,49	0,51	0,51	0,47	0,48	0,50	0,51	0,49
Bù Đăng	0,36	0,21	0,47	0,47	0,46	0,48	0,47	0,47	0,46	0,48	0,48	0,48
Bù Đốp	0,41	0,23	0,51	0,50	0,51	0,52	0,53	0,48	0,48	0,52	0,52	0,50
Bù Gia Mập	0,43	0,17	0,60	0,60	0,59	0,59	0,60	0,55	0,56	0,60	0,59	0,58

Kết quả chỉ số tác động (I) trong bảng 4 và hình 4, hình 5 cho thấy, mức độ tác động do BĐKH đến tiềm năng khai thác khoáng sản là ở mức vừa và cao, cao nhất là 0,60, dao động từ 0,36–0,60, tức là ở thang thứ 3 (màu cam) và thứ 4 (màu đỏ) trong thang mức độ tác động.

– Các huyện, thành, thị như Đồng Xoài, Phước Long, Bình Long, Chơn Thành, Hớn Quản, Đồng Phú, Lộc Ninh, Phú Riềng, Bù Đăng hứng chịu trước BĐKH thấp, nhưng tiệm cận đến mức vừa (chỉ số E từ 0,32–0,38), còn huyện Bù Đốp và Bù Gia Mập hứng chịu trước BĐKH vừa (E từ 0,41–0,43).

– Trong khi đó, tỉnh Bình Phước mức độ nhạy cảm với BĐKH là thấp, trong đó thấp nhất là huyện Lộc Ninh và Bù Gia Mập. Huyện Bù Gia Mập có tỷ lệ rừng cao nên mức nhạy cảm trung bình rất thấp nhưng nếu rừng suy giảm thì mức nhạy cảm cần xem xét lại. Các huyện thành còn lại có mức độ nhạy cảm ở thang thứ hai là thấp, từ 0,20–0,40.

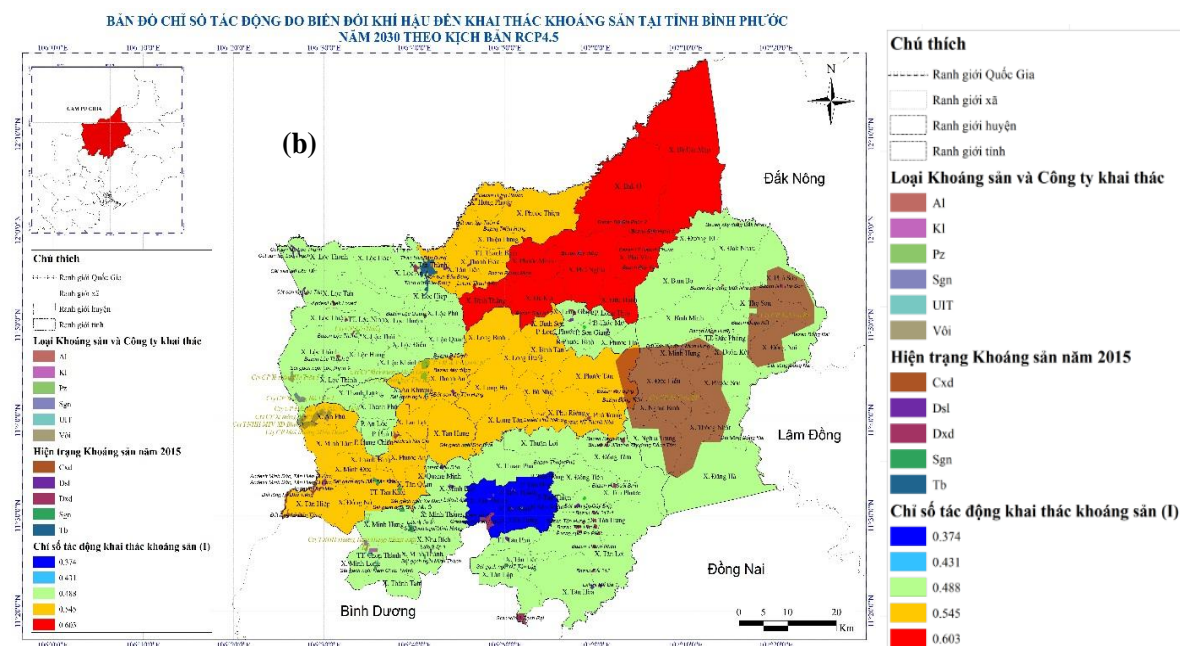
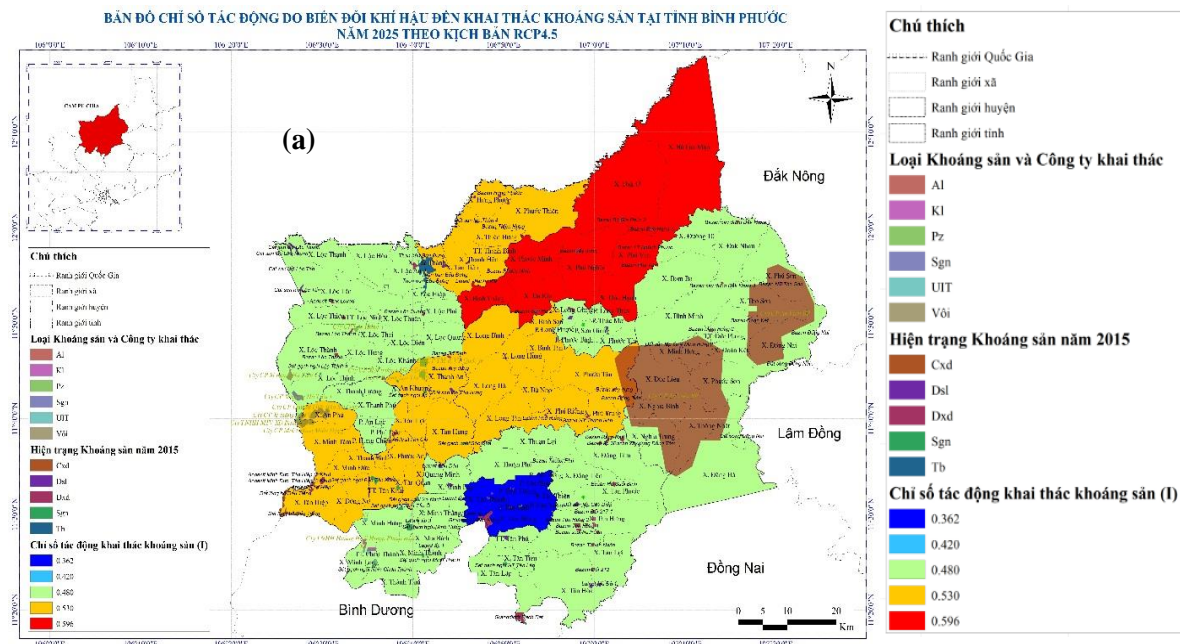
+ TP. Đồng Xoài chịu mức độ tác động thấp nhất ở tất cả kịch bản, mức độ tác động cũng ở mức thấp theo 5 thang đánh giá, giá trị I là 0,36–0,38. Điều này cũng giải thích rằng vì mức độ hứng chịu (khoảng 0,33) và nhạy cảm (khoảng 0,21) trước BĐKH của TP. Đồng Xoài là thấp, bên cạnh đó thành phố có khả năng thích cao, đồng thời thành phố là trung tâm dịch vụ, giáo dục của tỉnh, không có nhiều các khu vực khai thác khoáng sản.

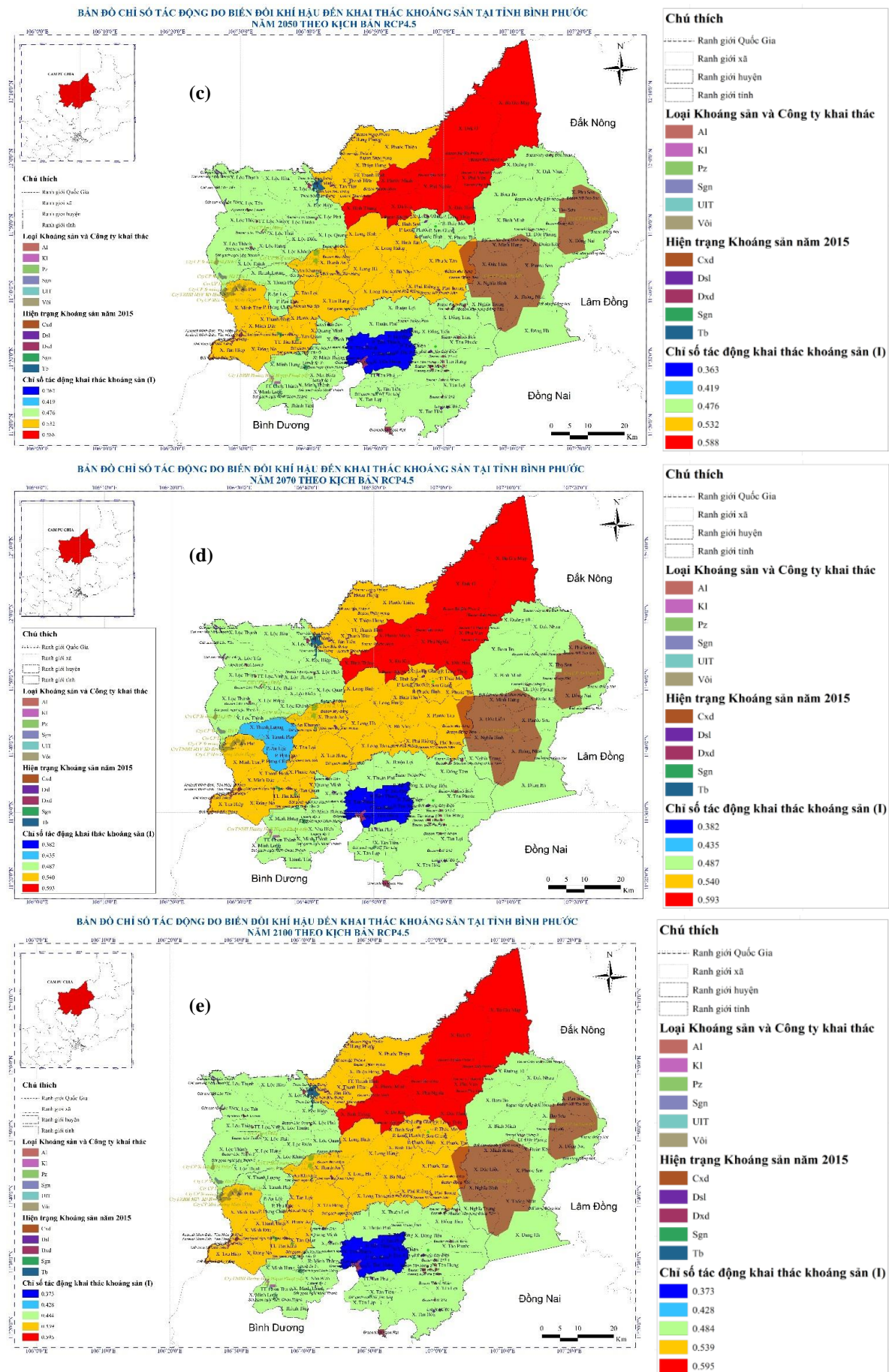
+ Bốn huyện gồm Bù Đốp, Bù Gia Mập, Hớn Quản và Phú Riềng chịu tác động do BĐKH cao nhất trong các huyện thị, ở mức cao trong thang thứ 3 (theo thang đánh giá), ở tất cả các kịch bản đều màu cam. Riêng huyện Bù Gia Mập lên đến mức đỏ là phải cảnh trọng

nhất bởi mức tác động do BĐKH, khu vực khai thác khoáng sản phải được xem xét kỹ lưỡng, các loại đất cũng cần được kiểm tra do mưa lớn, hạn hán và ngập sẽ ảnh hưởng lớn (0,36–0,43, chỉ số E).

+ Các huyện, thị còn lại có mức độ tác động do BĐKH đến tiềm năng khai thác khoáng sản cũng đáng quan tâm, vì dao động từ 0,42–0,51. Những huyện thị này tập trung nhiều mỏ khai thác lớn, gần như tập trung ở các huyện như Bù Đăng, Lộc Ninh, Chơn Thành. Do vậy cần cần trọng và các biện pháp và quy hoạch đáng lưu ý.

Trước những tác động như vậy của BĐKH, các huyện thị cũng cần lưu ý biện pháp và khả năng thích ứng trước BĐKH để làm giảm mức hứng chịu xuống, trong đó phải lồng ghép đến lĩnh vực khoáng sản. Những khu vực tiềm năng khoáng sản như huyện Hớn Quản và Phú Riềng cần đặc biệt cần trọng do hai huyện này chịu tác động vừa nhưng mức độ tổn thương cũng cao. Khi quy hoạch khai thác khoáng sản cần lưu tâm đến huyện Bù Đốp và Bù Gia Mập đây là hai huyện có mức hứng chịu BĐKH lớn, tác động cao, tổn thương cao.



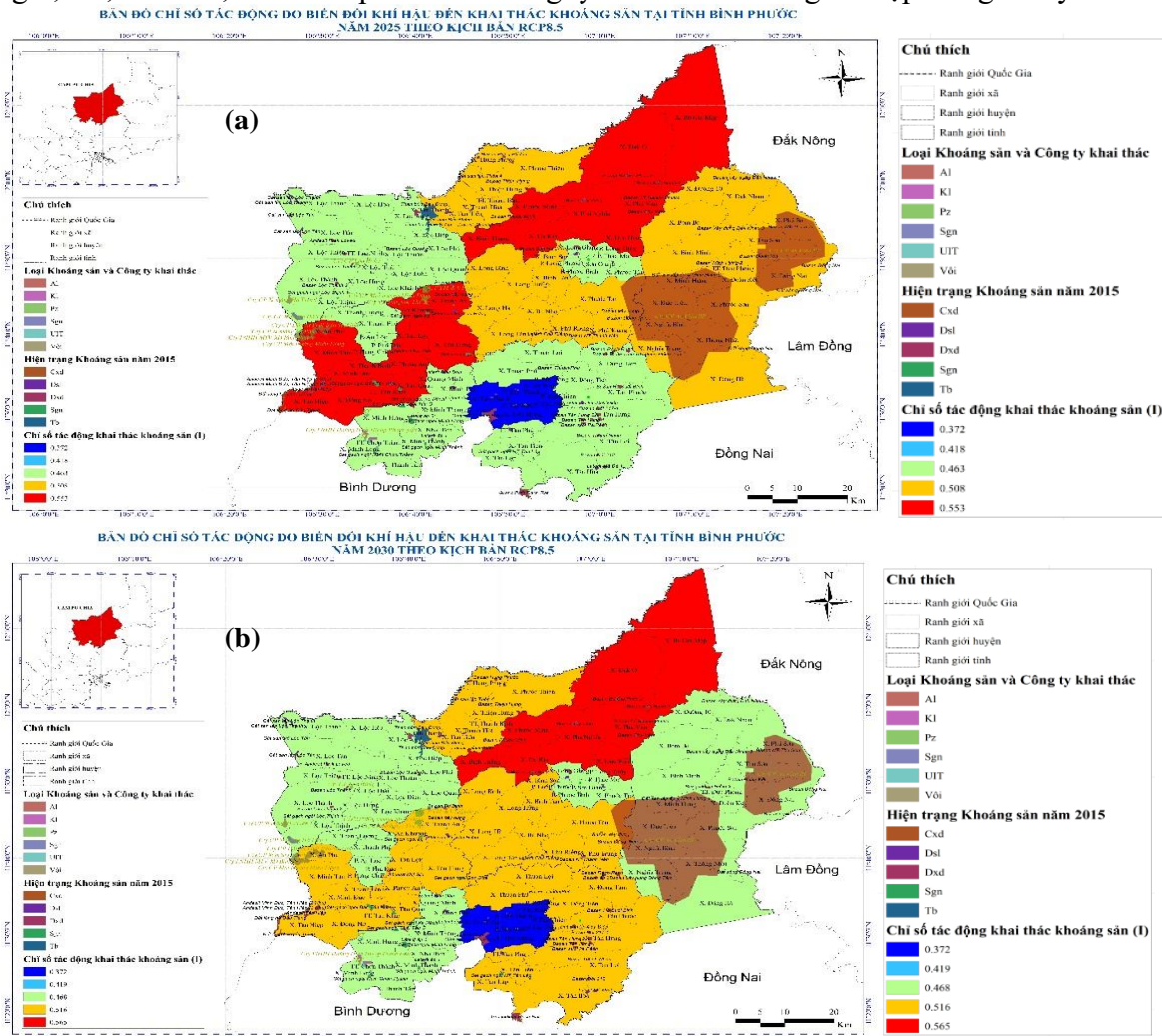


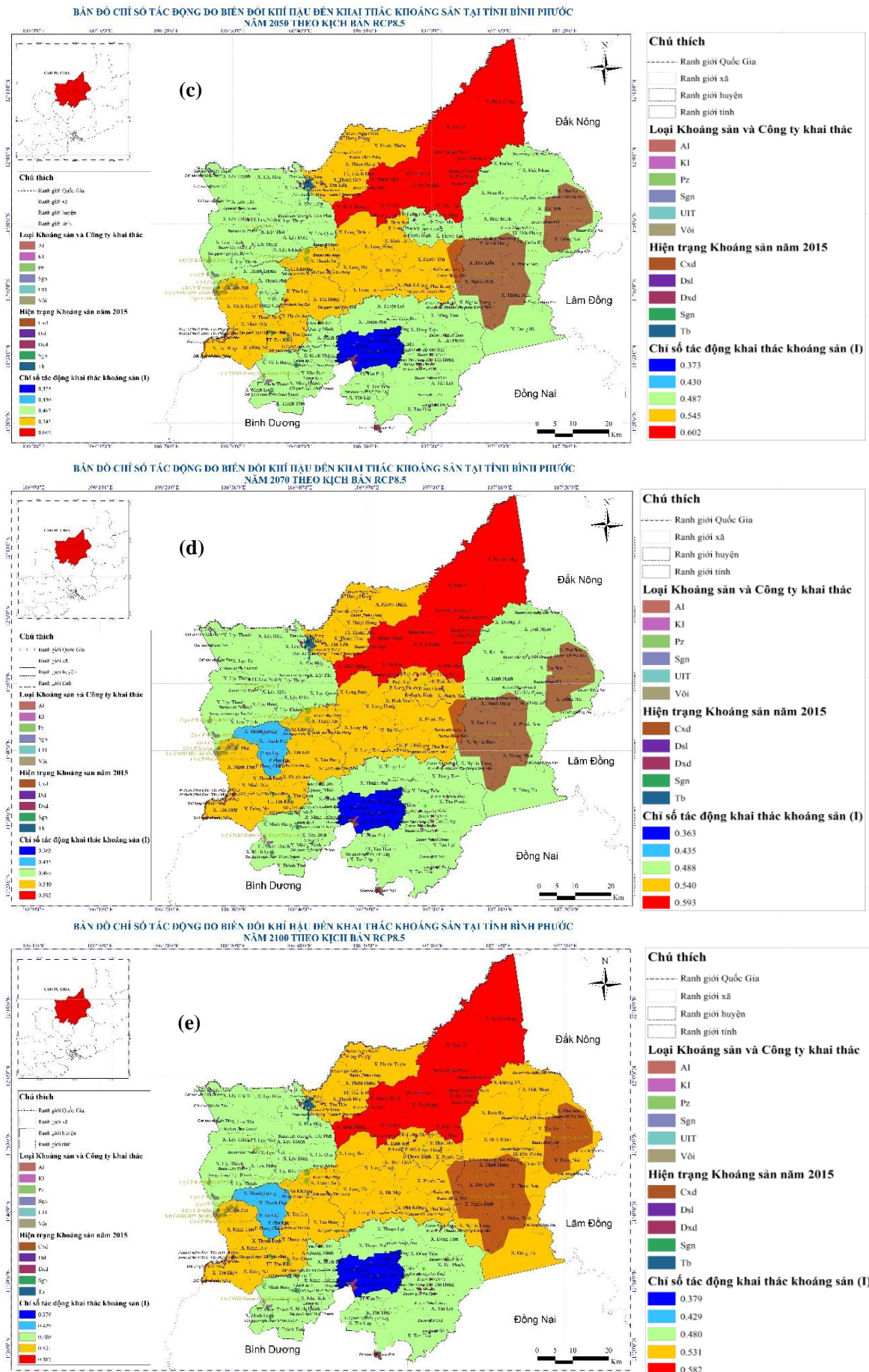
Hình 4. Bản đồ chỉ số tác động do BĐKH tỉnh Bình Phước theo kịch bản RCP4.5.

Theo từng kịch bản BĐKH, mức độ tác động đến khu vực tiềm năng khai thác khoáng sản. Vào năm 2025, chỉ số I ở mức từ 0,37–0,55. Tuy nhiên các khu vực có chịu tác động cao là ở các huyện Bù Gia Mập, Hớn Quản, kể đến là Bù Đốp, Bù Đăng và Phú Riềng.

Đến năm 2030, chỉ số I ở mức từ vừa, tăng hơn một chút so với năm 2025 ở kịch bản RCP 4.5. Tuy nhiên các khu vực khai thác khoáng sản bị tác động cao đã thay đổi, Đồng Phú ở giữa thế kỷ chịu mức tác động vừa. Vào năm 2050, chỉ số I cao nhất tới 0,60, dao động trong khoảng từ 0,37–0,60. Trong đó có 4/11 huyện thị ở mức vừa là Bù Gia Mập, Bù Đốp, Phú Riềng, Hớn Quản. Khu vực không thay đổi nhiều so với năm 2025 và 2030 nhưng mức tác động cao hơn. Đến cuối thế kỷ, phạm vi tác động rộng không thay đổi, và mức độ tác động cao từ 0,36–0,59. Và 4/11 huyện thị xuyên suốt luôn bị mức tổn thương cao là Bù Gia Mập, Bù Đốp, Phú Riềng, Hớn Quản. TP. Đồng Xoài vẫn là thành phố chịu mức độ tổn thương thấp nhất từ 0,35–0,38, ở kịch bản này TX. Bình Long có mức tác động giảm xuống so với các tỉnh khác.

Nguyên nhân dẫn đến mức độ tác động của BĐKH đến khoáng sản cao là do phơi nhiễm của tỉnh có nguy cơ tăng cao chủ yếu do các hiện tượng thời tiết cực đoan (mưa, bão, nhiệt, ngập, hạn hán, ...) ngày càng có xu hướng gia tăng do BĐKH. Bên cạnh đó, tính nhạy cảm của địa phương cũng khá cao, xuất phát từ các loại tài nguyên thiên nhiên cũng như lĩnh vực kinh tế còn phụ thuộc vào thời tiết, sức ép gia tăng dân số. Biểu hiện rõ nét nhất đó là huyện Bù Gia Mập và Lộc Ninh dù mức độ nhạy cảm trung bình của kinh tế xã hội với BĐKH ở thang rất thấp nhưng mức độ hứng chịu trung bình của kinh tế xã hội cao, dẫn đến tác động cao, còn TP. Đồng Xoài thì ngược lại. Những khu vực tiềm năng khai thác khoáng sản là Phú Riềng, Hớn Quản, Bù Đăng cần đáng lưu tâm nhất, nơi đây tập trung các mỏ Laterit, sét gạch ngói, cát, Andesit, đất san lấp và nhiều công ty khai thác khoáng sản tập trung ở đây.





Hình 5. Bản đồ chỉ số tác động do BĐKH tỉnh Bình Phước theo kịch bản RCP8.5.

4. Kết luận

Bài báo đã đánh giá mức độ tác động của BĐKH đến tiềm năng khai thác khoáng sản tỉnh Bình Phước. Qua quá trình phân tích, đánh giá mức độ tổn thương đến tiềm năng kinh tế xã hội dựa trên mức độ nhạy cảm, khả năng hứng chịu và khả năng thích ứng có thể nhận thấy rằng:

– Các huyện, thành, thị như: Đồng Xoài, Phước Long, Bình Long, Chơn Thành, Hớn Quản, Đồng Phú, Lộc Ninh, Phú Riềng, Bù Đăng hứng chịu trước BĐKH thấp (chỉ số E trung bình từ 0,32–0,38), còn huyện Bù Đốp và Bù Gia Mập hứng chịu trước BĐKH vừa (E trung bình từ 0,41–0,43). Trong khi đó, tiềm năng kinh tế xã hội có mức nhạy cảm với BĐKH thấp, trong đó thấp nhất là huyện Lộc Ninh và Bù Gia Mập, các huyện thành còn lại có mức độ nhạy cảm thấp. Tuy nhiên vì mức độ hứng chịu trước thiên tai của huyện Lộc Ninh và Bù Gia Mập là mức vừa, kết hợp khả năng thích ứng tương đối thấp do vậy mức độ tổn thương là cao trên 0,70.

– Bốn huyện gồm Bù Đốp, Bù Gia Mập, Hớn Quản và Phú Riềng chịu tác động do BĐKH đến tiềm năng khai thác khoáng sản cao nhất trong các huyện thị, ở mức cao trong thang thứ 3 (theo thang đánh giá), ở tất cả các kịch bản đều màu cam. Riêng huyện Bù Gia Mập lên đến mức đỏ là phải cẩn trọng nhất bởi mức tác động do BĐKH, khu vực khai thác khoáng sản phải được xem xét kỹ lưỡng, các loại đất cũng cần được kiểm tra do mưa lớn, hạn hán và ngập sẽ ảnh hưởng lớn. Do vậy các huyện này phải đánh giá lại tiềm năng có nên khai thác thêm hay không, và khi khai thác cần cẩn trọng trong đánh giá khai thác tài nguyên trong tương lai. Chính vì thế, khai thác quá mức đặc biệt là rừng, bazan: những loại nhạy cảm do mưa, ngập sẽ khiến mức độ nhạy cảm tăng và như vậy sự tác động là rất lớn, ngoài ra huyện Phú Riềng và huyện Hớn Quản tập trung nhiều công ty, mỏ khai thác khoáng sản nên đặc biệt phải lưu tâm sự tác động.

– Các huyện, thị còn lại của tỉnh Bình Phước có mức độ tác động do BĐKH đến tiềm năng khai thác khoáng sản cũng đáng quan tâm, vì dao động từ 0,42–0,51. Những huyện thị này tập trung nhiều mỏ khai thác lớn, gần như tập trung ở các huyện như Bù Đăng, Lộc Ninh, Chơn Thành. Do vậy cần cẩn trọng và các biện pháp và quy hoạch đáng lưu ý.

– Đến cuối thế kỷ, phạm vi tác động rộng không thay đổi, và mức độ tác động cao từ 0,36–0,59. Trong đó, 4/11 huyện thị luôn bị mức tổn thương cao là Bù Gia Mập, Bù Đốp, Phú Riềng, Hớn Quản. TP. Đồng Xoài vẫn là thành phố chịu mức độ tổn thương thấp nhất từ 0,35–0,38, ở kịch bản này TX. Bình Long có mức tác động giảm xuống so với các huyện khác.

Những khu vực tiềm năng khai thác khoáng sản là Phú Riềng, Hớn Quản, Bù Đăng cần đáng lưu tâm nhất, nơi đây tập trung các mỏ Laterit, sét gạch ngói, cát, Andesit, đất san lấp và nhiều công ty khai thác khoáng sản tập trung ở đây. Nhưng những tài nguyên khoáng sản, các mỏ khai thác dễ bị tổn thương với các yếu tố BĐKH. Nhiệt độ cao, khô hạn sẽ làm nghiêm trọng hơn các vụ cháy rừng trên địa bàn tỉnh, các trận mưa lớn, ngập dễ phá hủy các loại khoáng sản, nguy hiểm cho các mỏ đang khai thác.

Đóng góp của tác giả: Xây dựng ý tưởng nghiên cứu: L.H.N., P.T.L.; Lựa chọn phương pháp nghiên cứu: L.H.N., P.T.L., T.T.H.; Xử lý số liệu: N.V.T., H.C.T.; Tính toán: N.V.T., H.C.T.; Phân tích kết quả: L.H.N., N.V.T., H.C.T.; Viết bản thảo bài báo: L.H.N., N.V.T., H.C.T.; Chỉnh sửa bài báo: H.C.T.

Lời cảm ơn: Nghiên cứu này được thực hiện dưới sự tài trợ của đề tài nghiên cứu khoa học cấp Tỉnh là đề tài: “Đánh giá ảnh hưởng của BĐKH đến biến động diện tích và cơ cấu sử dụng đất, tiềm năng phát triển kinh tế xã hội, tiềm năng khai thác các loại tài nguyên khoáng sản trên địa bàn tỉnh Bình Phước”.

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. Viện Khoa học Khí tượng Thủy văn và Môi trường. Hướng dẫn Đánh giá tác động của biến đổi khí hậu và xác định các giải pháp thích ứng. NXB Tài nguyên–Môi trường và Bản đồ Việt Nam, 2011.
2. IPCC. Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Parry, M.L.; Canziani, O.F.; Palutikof, J.P.; van der Linden, P.J.; Hanson, C.E. (Eds.) Cambridge University Press, Cambridge, UK, 2007, pp. 976.
3. Bộ Tài nguyên và Môi trường. Kịch bản biến đổi khí hậu và nước biển dâng cho Việt Nam, 2012.
4. Bộ Tài nguyên và Môi trường. Kịch bản biến đổi khí hậu và nước biển dâng cho Việt Nam, 2016.
5. Hoàng, T.T. Đánh giá hiện trạng ngập lụt và xác định kịch bản biến đổi khí hậu và nước biển dâng cho TP. Hồ Chí Minh. Dự án: Việt Nam xây dựng Thông báo Quốc Gia lần thứ ba cho Công ước khí hậu, 2017.
6. Long, P.T. Xây dựng kịch bản biến đổi khí hậu và dự báo xâm nhập mặn theo các kịch bản biến đổi khí hậu cho khu vực Đồng bằng sông Cửu Long. Dự án: Việt Nam xây dựng Thông báo Quốc Gia lần thứ ba cho Công ước khí hậu, 2017.
7. Thủy, T.T.T.; Thăng, V.V.; Quyền, N.H.; Hiệu, N.T.; Hiền, T.D.; Thanh, L.H. Xây dựng bản đồ phân bố cấp độ tác động của biến đổi khí hậu đến quy hoạch, thăm dò, khai thác, chế biến và sử dụng các khoáng sản chủ yếu ở Việt Nam. *Tap chí Khí tượng Thủy văn* **2020**, 720, 23–31.
8. Khắc, H.N.; Hải, T.T.T. Tác động của nước biển dâng do biến đổi khí hậu đến vùng nuôi trồng thủy sản khu vực ven biển Bắc Bộ và Bắc Trung Bộ. *Tap chí Khí tượng Thủy văn* **2020**, 715, 68–77. [https://doi.org/10.36335/VNJHM.2020\(715\).68–77](https://doi.org/10.36335/VNJHM.2020(715).68-77).
9. Khiêm, M.V. Đánh giá tác động của biến đổi khí hậu đến ngập lụt tại TP. Hồ Chí Minh và đề xuất các biện pháp thích ứng với biến đổi khí hậu. Dự án: Việt Nam xây dựng Thông báo Quốc Gia lần thứ ba cho Công ước khí hậu, 2017.
10. Phùng, N.K.; Tâm, L.V. Đánh giá tác động của biến đổi khí hậu đến tự nhiên, con người và kinh tế–xã hội thành phố Hồ Chí Minh, 2011.
11. Bộ Tài nguyên và Môi trường. Thông báo Quốc Gia lần thứ hai cho Công ước khung của Liên Hợp Quốc về biến đổi khí hậu, 2010.
12. Bộ Tài nguyên và Môi trường. Thông báo Quốc Gia lần thứ ba cho Công ước khung của Liên Hợp Quốc về biến đổi khí hậu, 2018.
13. Cổng thông tin điện tử Tỉnh Bình Phước: <https://binhphuoc.gov.vn/>.
14. Allison, P.D. Fixed Effects Regression Models. Library in the United States of America. SAGE Publications Asia–Pacific Pte. Ltd, 2009.
15. Thục, T.; Tường, L.N.; Thắng, N.V.; Thái, T.H. Thích ứng với biến đổi khí hậu và phát triển bền vững. Báo cáo hội thảo Tham vấn quốc gia về chương trình mục tiêu quốc gia ứng phó với biến đổi khí hậu và nước biển dâng, 2008, 4–12.
16. Thục, T.; Hương, T.T.T.; Thắng, N.V.; Nhuận, M.T.; Trí, L.Q.; Thành, L.Đ.; Hương, H.T.L.; Sơn, V.T.; Thuận, N.T.H. và Tường, L.N. Báo cáo đặc biệt của Việt Nam về Quản lý rủi ro thiên tai và hiện tượng cực đoan nhằm thúc đẩy thích ứng với biến đổi khí hậu. NXB Tài nguyên–Môi trường và Bản đồ Việt Nam, Hà Nội, Việt Nam, 2015.
17. Nam, L.H.; Tín, N.V.; Toàn, H.C.; Hoàng, T.T.; Long, P.T. Đánh giá xu thế và xây dựng kịch bản biến đổi khí hậu cho tỉnh Bình Phước. *Tap chí Khí tượng Thủy văn* **2020**, 717, 32–43. [https://doi.org/10.36335/VNJHM.2020\(717\).32–43](https://doi.org/10.36335/VNJHM.2020(717).32-43).

18. Thăng, N.V.; Hiệu, N.T.; Thục, T. *Biến đổi khí hậu và tác động ở Việt Nam*. NXB Khoa học Công nghệ, Hà Nội, 2011.
19. Thủy, T.T.; Thục, T.; Hương, H.T.L. Đánh giá tính dễ bị tổn thương đối với đa thiên tai ở ven biển Trung Trung Bộ. *Tap chí Khí tượng Thủy văn* **2020**, 718, 72-84. [http://doi.org/10.36335/VNJHM.2020\(718\).72-84](http://doi.org/10.36335/VNJHM.2020(718).72-84).

Assess the impact of climate change on the mineral exploitation potential of Binh Phuoc Province

Le Hoai Nam¹, Ho Cong Toan², Pham Thanh Long²

¹ Southern Center for Environmental Monitoring; lhnamm@gmail.com;

² Sub-Institute of Hydrometeorology and Climate change; hocongtoanhdh@gmail.com; longpham.sihymete@gmail.com

Abstract: The study provides analysis and assessment results of climate change (CC) impacts on mineral exploitation potentials in Binh Phuoc Province. To perform the study evaluation inherited the results of constructing the scenarios of temperature, rainfall, drought and inundation under the scenario of CC and sea level rise (SLR) in 2016 of the Ministry of Natural Resources and Environment and the set of indicators. The assessment is developed according to the guidance of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) in 2007. On that basis, the results on the level of impacts and effects of CC on the mineral exploitation area in the province. Binh Phuoc is assessed to each district and region, specifically: the mining areas in Dong Xoai city (Dong Xoai city) suffer the lowest impact from 0.36–0.38; Bu Gia Map district has a high level of impacts from climate change on the mining area, with an impact index of about 0.60. The remaining provinces of Binh Phuoc province have mining potentials that are affected moderately with the impact index of 0.43–0.53 under the influence of CC. Although the article only shows the extent of the impact of CC, not to mention other indicators, the research results have contributed to providing information for Binh Phuoc Province, serving the planning of areas exploiting the worms. in the context of CC.

Keywords: Impact of Climate change; Mineral.

Bài báo khoa học

Nghiên cứu phân vùng khí hậu nông nghiệp phục vụ mục đích chuyển đổi cơ cấu cây trồng tỉnh Tuyên Quang

Nguyễn Thị Liễu^{1*}, Nguyễn Đăng Tiên²

¹ Viện Khoa học Khí tượng Thủy văn và Biến đổi khí hậu; lieuminh2011@gmail.com

² Trường Đại học Sao Đỏ; dangtien.dhsd@gmail.com

*Tác giả liên hệ: lieuminh2011@gmail.com; Tel: +84-989316846

Ban Biên tập nhận bài: 16/3/2021; Ngày phản biện xong: 14/5/2021; Ngày đăng bài: 25/6/2021

Tóm tắt: Nghiên cứu khí hậu ứng dụng là một trong những hướng nghiên cứu có tính thực tiễn cao nhằm phục vụ phát triển kinh tế theo hướng bền vững. Đồng thời, góp phần khai thác sử dụng hợp lý nguồn tài nguyên thiên nhiên, bảo vệ môi trường cho một vùng lãnh thổ nhất định để hướng tới sản xuất ngành nông nghiệp một cách hiệu quả. Bài báo áp dụng phương pháp phân vùng khí hậu nông nghiệp bằng công cụ Luset được tham số hóa các yếu tố khí tượng, thổ nhưỡng, địa hình. Kết quả tính toán cho thấy: Tỉnh Tuyên Quang được phân thành 4 vùng khí hậu nông nghiệp chính đó là: vùng rất thích nghi khoảng 281.406 ha, chiếm 48,5% tổng diện tích toàn tỉnh; Vùng thích nghi khoảng 164.088 ha, chiếm 28,3%; Vùng ít thích nghi khoảng 70.813 ha, chiếm 12,2% và vùng không thích nghi khoảng 64.375 ha, chiếm 11,1%.

Từ khóa: Phân vùng; Khí hậu nông nghiệp; Công cụ Luset.

1. Mở đầu

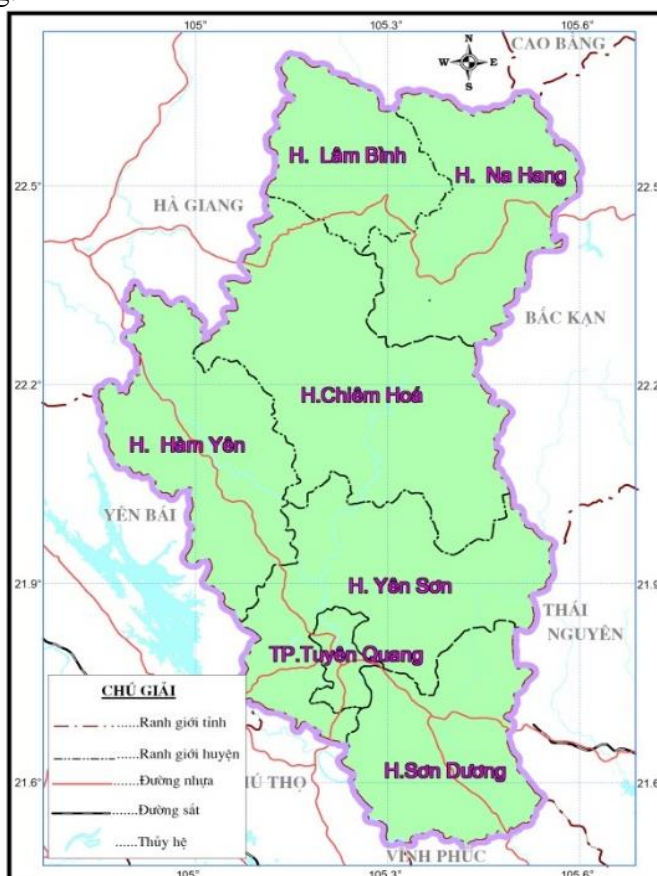
Nông nghiệp có mối quan hệ chặt chẽ đối với các điều kiện tự nhiên, trong đó khí hậu là yếu tố có tác động mạnh mẽ nhất đến sản xuất nông nghiệp. Yếu tố khí hậu chính được xác định cho hoạt động trồng trọt là: ánh sáng, nhiệt độ, độ ẩm [1–2, 4–8, 11–12]. Đây là những yếu tố không thể thiếu và không thay thế cho nhau được đối với sự sống nói chung, sự sinh trưởng, phát triển và hình thành năng suất, cây trồng nói riêng.

Điều kiện khí hậu nông nghiệp ở mỗi nơi là khác nhau và căn cứ vào sự khác nhau đó để phân chia thành các đơn vị khí hậu nông nghiệp được gọi là phân vùng khí hậu nông nghiệp. Nhiệm vụ của phân vùng khí hậu nông nghiệp là thực hiện phân chia các đơn vị khí hậu nông nghiệp thành vùng, tiểu vùng, ... khác nhau bởi các chỉ tiêu khí hậu nông nghiệp và các điều kiện sản xuất nông nghiệp. Trong quá trình phân vùng có thể phát hiện ra được các vùng tuy rất xa nhau nhưng rất tương đồng về tài nguyên khí hậu nông nghiệp, rất bổ ích để di thực hoặc nhập nội giống cây trồng thích hợp [14–16]. Kết quả nghiên cứu [17] chỉ ra rằng các bản đồ phân vùng được xem là một trong những dịch vụ khí hậu nông nghiệp không thể thiếu trong quy hoạch và phát triển nông nghiệp. Tổ chức Khí tượng Thế giới (WMO) cho rằng mục đích của phân vùng khí hậu nông nghiệp nhằm phát triển hệ thống trồng trọt thích nghi, tăng thu nhập cho nông dân, quản lý được rủi ro [18–20].

Tuyên Quang là tỉnh có tiềm năng phát triển nông nghiệp, theo định hướng phát triển của tỉnh trọng tâm trong giai đoạn tới bao gồm các nội dung cụ thể như: (1) Phát triển nông nghiệp theo hướng xây dựng các cánh đồng mẫu lớn; (2) Tập trung chuyển đổi cơ cấu kinh tế nông nghiệp, gia tăng giá trị sản phẩm trên một đơn vị diện tích; (3) Nâng cao năng suất, chất lượng nông sản, đạt hiệu quả cao và bền vững. Có thể thấy đây là chiến lược lâu dài

trong phát triển nông nghiệp của tỉnh, do vậy, cần có những đánh giá đúng mức về tài nguyên KHNN, có những định hướng quy hoạch, mở rộng không gian phát triển trồng trọt, phát triển các vùng chuyên canh cây ăn quả có giá trị kinh tế hàng hoá một cách cụ thể. Trong đó, việc xác định những vùng có khả năng mở rộng sản xuất nông nghiệp, lựa chọn những loại cây trồng phát triển Thích nghi là những vấn đề cấp thiết. Cây trồng trong nông nghiệp có rất nhiều loại nên khi tiến hành nghiên cứu, đánh giá và phân vùng KHNN cho phát triển nông nghiệp ở Tuyên Quang, Bài báo đã lựa chọn một số cây trồng chủ lực, có thể thích hợp với điều kiện khí hậu địa phương, có giá trị kinh tế, ưu tiên các loại cây trồng đang là thế mạnh của tỉnh. Trong đó, tập trung vào 3 nhóm cây: Nhóm cây lương thực (lúa, ngô); Nhóm cây ăn quả (cam, nhãn); Nhóm cây công nghiệp (chè, mía).

Mục tiêu nghiên cứu của bài báo là áp dụng phương pháp phân vùng khí hậu nông nghiệp dựa trên công cụ LUSSET (*Land Use Suitability Evaluation Tool*) [13] để phân vùng khí hậu nông nghiệp cho khu vực nghiên cứu tỉnh Tuyên Quang phục vụ mục đích chuyển đổi cơ cấu cây trồng.



Hình 1. Sơ đồ khu vực nghiên cứu tỉnh Tuyên Quang.

2. Dữ liệu sử dụng và phương pháp nghiên cứu

2.1. Dữ liệu sử dụng

Phân vùng khí hậu nông nghiệp tỉnh Tuyên Quang áp dụng cho lĩnh vực trồng trọt với một số cây trồng chính được nhóm tác giả nghiên cứu và sử dụng các số liệu đầu vào như sau:

- Dữ liệu khí tượng: Sử dụng dữ liệu nhiệt độ trung bình tháng, tổng lượng mưa trung bình tháng giai đoạn 1961–2018 của 15 trạm khí tượng vùng nghiên cứu và khu vực lân cận.
- Dữ liệu bản đồ đất và địa hình: được sử dụng để tính toán độ sâu tầng đất và độ dốc địa hình, làm đầu vào cho việc đánh giá khả năng trồng trọt của các loại cây trồng.

2.2. Phương pháp nghiên cứu

- Phương pháp tính toán thống kê: Phương pháp này được áp dụng để tính toán các đặc trưng tài nguyên khí hậu nông nghiệp (ánh sáng, nhiệt, ẩm) từ số liệu các trạm quan trắc [10].

- Phương pháp nội suy: Sử dụng phương pháp nội suy để tính toán thông số độ dốc và phân bố theo không gian của dữ liệu khí tượng, dữ liệu tầng dày đất [3, 9].

- Phương pháp phân vùng khí hậu nông nghiệp dựa trên công cụ LUSSET:

Công cụ LUSSET (*Land Use Suitability Evaluation Tool*) [13], là công cụ tích hợp các Module tính toán bao gồm: Module về nhu cầu của cây trồng, Module về thông tin đơn vị đất và Module tính toán mức độ thích nghi. Công cụ LUSSET cho phép tính toán sự thích nghi (OVS) riêng biệt của từng nhóm yếu tố và tích hợp tất cả nhóm yếu tố thành chỉ số OVS tổng hợp. Chỉ số thích nghi được xác định là điểm số thấp nhất trong tất cả các yếu tố được xem xét, OVS được tính theo công thức sau:

$$OVS = \text{Min} (SF1, SF2, SF3 \dots SFn) \tag{1}$$

Trong đó OVS là giá trị thích nghi; SF1, SF2, SF3 ... SFn là điểm số thích nghi (dao động từ 0 đến 100) của n yếu tố được chọn.

Quá trình tính toán chỉ số OVS được thực hiện theo 2 bước:

Bước 1: Tính toán OVS riêng biệt cho từng nhóm yếu tố (OVSg), OVSg có thể là nhóm đất–địa hình (độ dốc, độ sâu tầng đất), nhóm nhiệt độ (nhiệt độ trung bình theo tháng) hoặc nhóm nước (lượng mưa theo tháng và giả định không tưới).

$$OVSg = f (S1, S2, \dots, Sn) \tag{2}$$

Trong đó S1, S2, ... Sn là điểm số thích nghi của các yếu tố trong một nhóm; f là hàm chức năng để tính toán sự thích nghi tổng thể (hàm Min).

Bảng 1. Các mức thích nghi tương ứng với nhân tố trọng số [13].

Mức độ thích	Trọng số = 1	Trọng số = 2	Trọng số = 3
S1	85	95	100
S2	60	65	70
S3	40	45	50
S4	0	10	15

Bước 2: Tính toán sự Thích nghi tổng thể từ ba nhóm yếu tố (đất–địa hình, nhiệt, mưa)

$$OVS = f (S1, St, Sw) \tag{3}$$

Trong đó S1, St, Sw là giá trị OVSg tương ứng đối với các nhóm yếu tố đất–địa hình, nhiệt và mưa.

Trên cơ sở kết hợp giữa các loại thích nghi cho từng nhóm yếu tố OVSg và sử dụng phương pháp tối thiểu (công thức 1 và 2) để tạo ra một giá trị có khoảng dao động từ 0 đến 100, giá trị này chính là điểm số OVS của yếu tố được xét đối với một cây trồng cụ thể trong một đơn vị diện tích. Từ kết quả này, sẽ phân loại được theo các mức độ thích nghi S1, S2, S3 và N.

Bảng 2. Phân cấp mức độ thích nghi tổng thể [13].

STT	Điểm số tổng	Ký hiệu	Mức độ thích
1	≥ 85	S1	Rất thích nghi
2	≥ 60 và < 85	S2	Thích nghi
3	≥ 40 và < 60	S3	Ít thích nghi
4	< 40	N	Không thích

Các kết quả đầu ra từ công cụ LUSSET là bảng giá trị các điểm số tổng hợp đối với các loại cây trồng đã lựa chọn. Sau đó sử dụng phần mềm Arcgis để chồng ghép các bản đồ

phân bố không gian cho các nhóm cây trồng đã lựa chọn để xác định bản đồ phân vùng khí hậu nông nghiệp chung cho tỉnh Tuyên Quang.

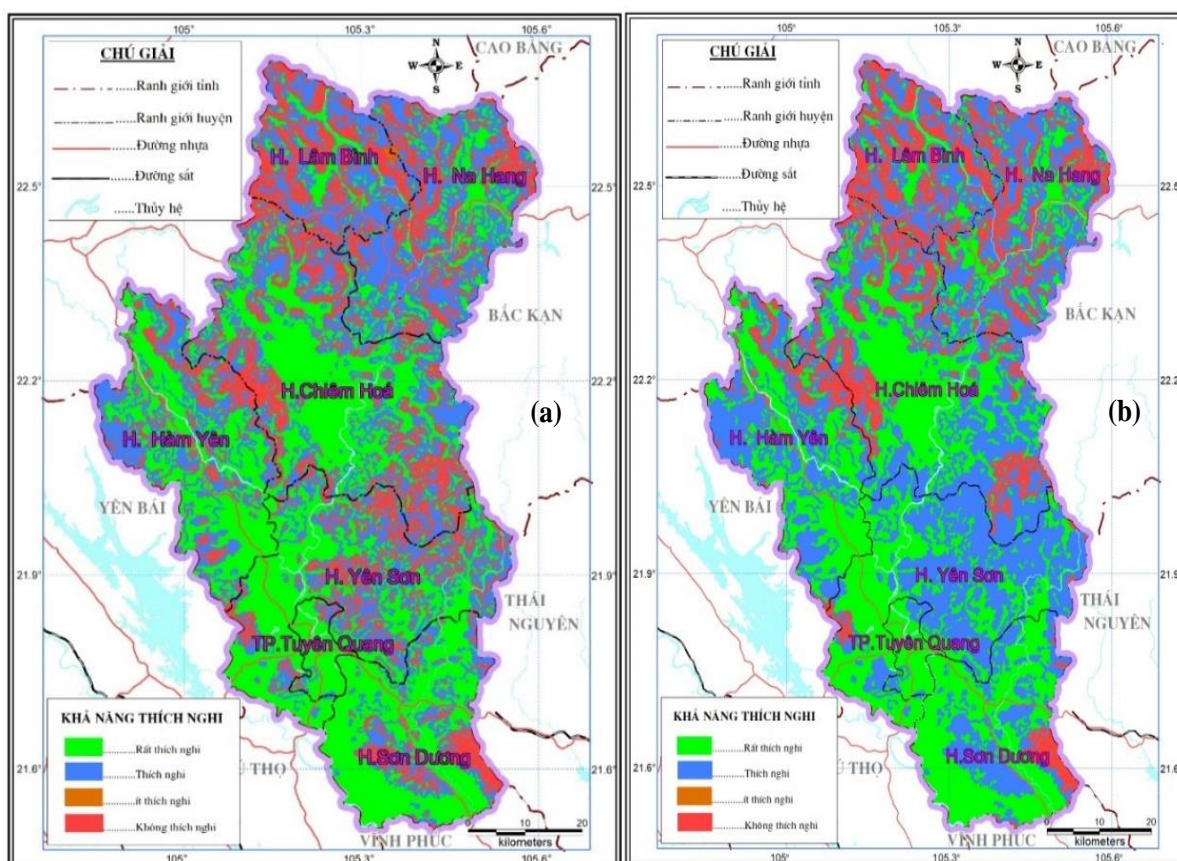
3. Kết quả và thảo luận

Nghiên cứu đã tính toán và phân vùng khí hậu nông nghiệp cho các cây trồng chủ lực của Tuyên Quang đó là: (1) Nhóm cây lương thực (lúa, ngô); (2) Nhóm cây ăn quả (bưởi, cam); (3) Nhóm cây công nghiệp (chè, mía). Kết quả phân vùng như sau:

a) Đối với nhóm cây lương thực (lúa, ngô)

Phần lớn các khu vực có địa hình thấp, độ dốc nhỏ ở địa bàn các huyện như: Chiêm Hóa, Hàm Yên, Sơn Dương, TP Tuyên Quang và Yên Sơn được đánh giá là rất thích nghi cho phát triển cây lúa. Một số khu vực ven sông suối của các huyện Lâm Bình và Na Hang với phân hạng thích nghi cũng có thể phát triển loại cây trồng này (Hình 2a).

Vùng rất thích nghi của cây ngô phân bố khá rộng, tập trung hầu hết diện tích ở các huyện Sơn Dương, Yên Sơn, TP Tuyên Quang, Chiêm Hóa, Hàm Yên. Khu vực Na Hang, Lâm Bình cũng có thể phát triển loại cây trồng này trên các vùng gò, đồi và ven sông suối có độ dốc dưới 300 (thuộc vùng thích nghi) (Hình 2b).

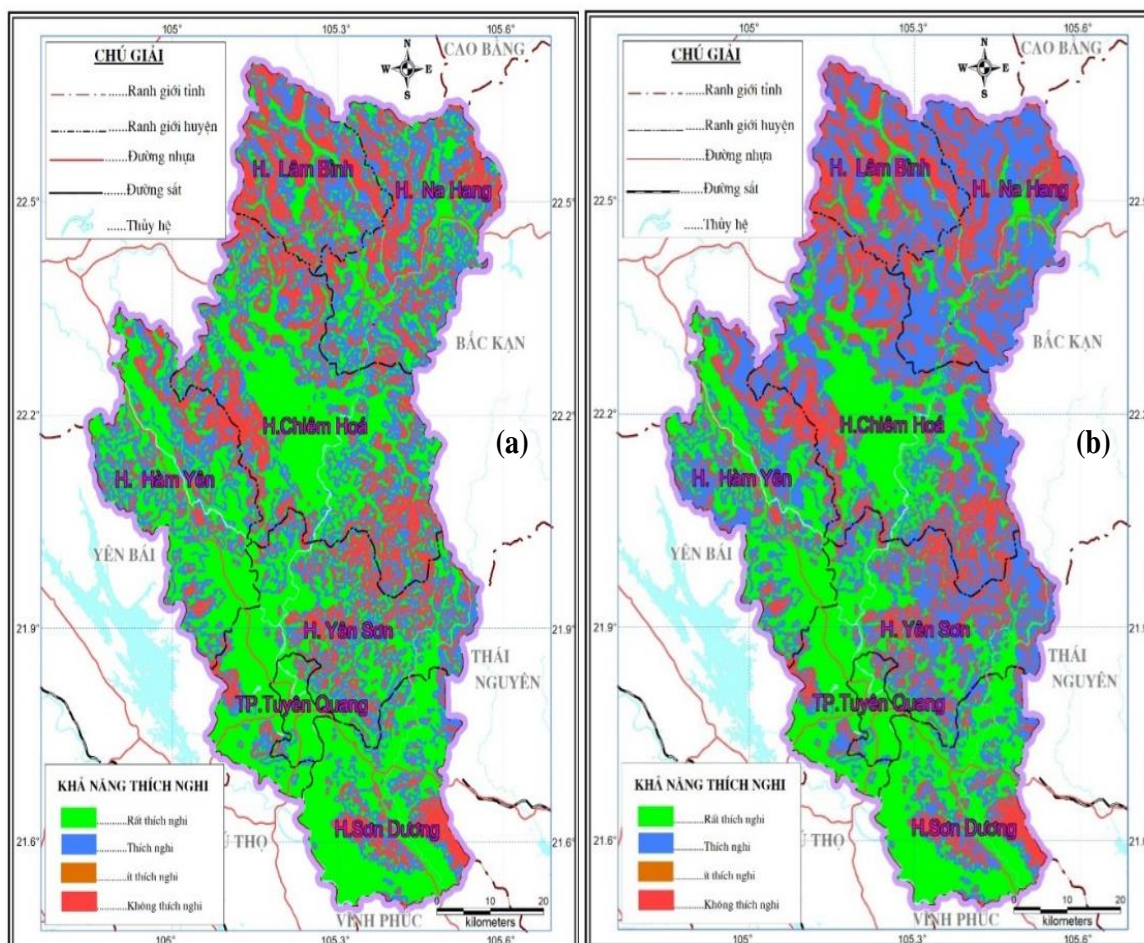


Hình 2. (a) Bản đồ phân vùng KHNN đối với cây lúa tỉnh Tuyên Quang; (b) Bản đồ phân vùng KHNN đối với cây ngô tỉnh Tuyên Quang.

b) Đối với nhóm cây ăn quả (cam, nhãn)

Vùng rất thích nghi đối với cây cam phân bố phần lớn ở các huyện Chiêm Hóa, Sơn Dương, Yên Sơn và TP Tuyên Quang và phần nhỏ ở khu vực thung lũng các huyện Lâm Bình và Na Hang. Vùng thích nghi phân bố rải rác khắp các huyện, nơi có địa hình thấp, độ dốc nhỏ, điều kiện khí hậu phù hợp với yêu cầu sinh thái của cây cam (Hình 3a).

Khu vực rất thích nghi đối với cây nhãn phân bố tương tự như đối với cây cam, tuy nhiên phần diện tích thích nghi được mở rộng hơn ở khu vực huyện Lâm Bình và Na Hang (Hình 3b).



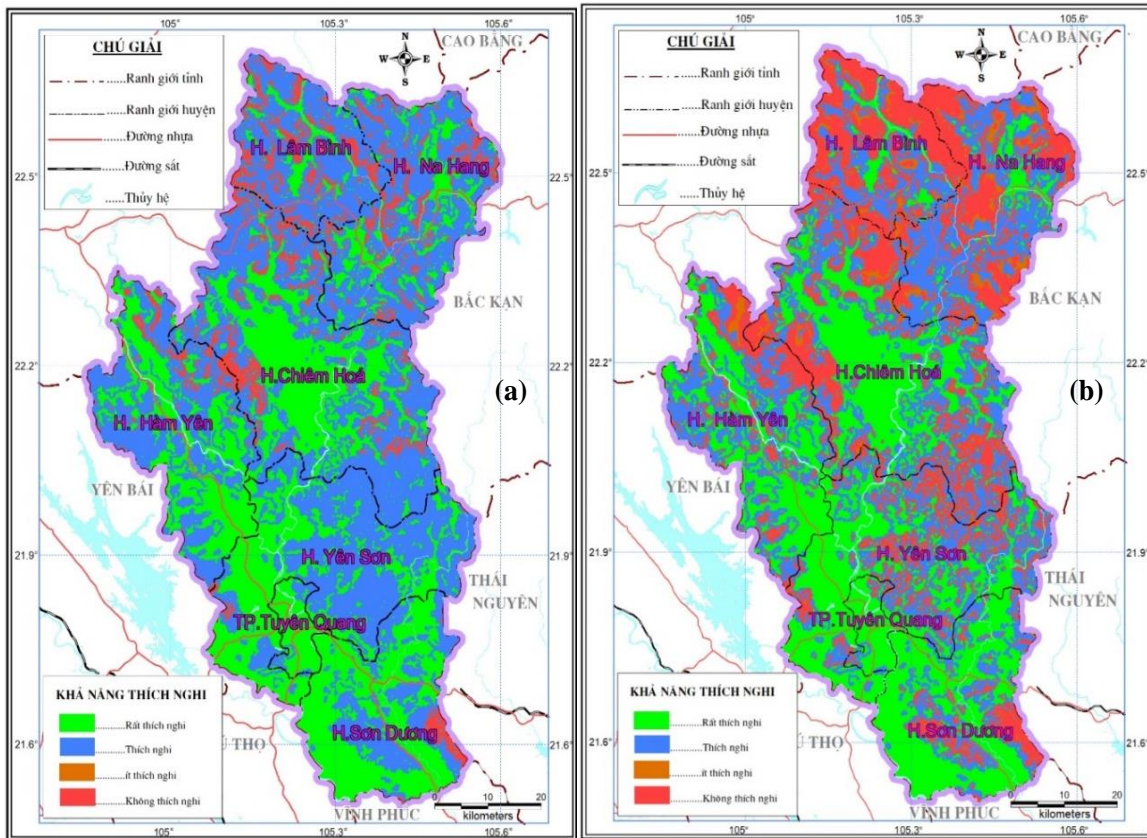
Hình 3. (a) Bản đồ phân vùng KHNN đối với cây cam tỉnh Tuyên Quang; (b) Bản đồ phân vùng KHNN đối với cây nhân tỉnh Tuyên Quang.

c) Đối với nhóm cây công nghiệp (chè, mía)

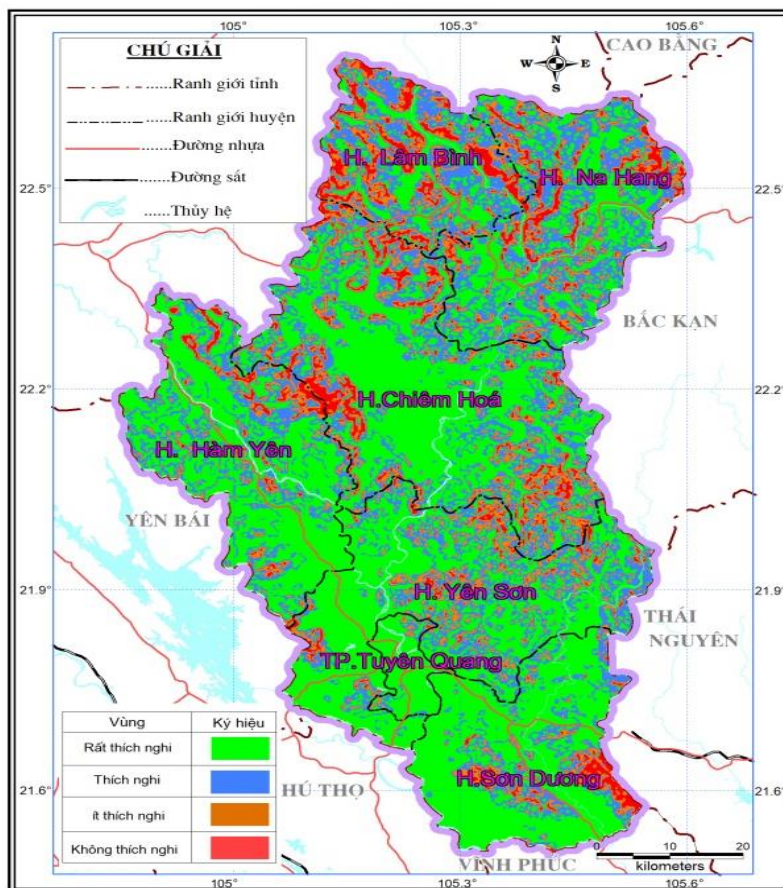
Cây chè có thể thích nghi trên phần lớn diện tích lãnh thổ tỉnh Tuyên Quang, chỉ trừ những khu vực có địa hình cao và độ dốc lớn. Vùng rất thích nghi đối với cây chè phân bố ở các huyện Sơn Dương, Yên Sơn, Chiêm Hóa, Hàm Yên và TP Tuyên Quang (Hình 4a).

Khu vực rất thích nghi đối với cây mía phân bố ở các huyện Sơn Dương, Yên Sơn, Chiêm Hóa, Hàm Yên và TP Tuyên Quang. Một số khu vực có địa hình thấp của huyện Lâm Bình và Na Hang thuộc phân hạng thích nghi cũng thuận lợi cho cây mía phát triển (Hình 4b).

Từ các bản đồ phân vùng thành phần ở trên, nhóm nghiên cứu đã tiến hành phân tích và chồng xếp các bản đồ để cấu thành bản đồ phân vùng nông nghiệp cho trồng trọt của tỉnh Tuyên Quang. Kết quả cho thấy, Tuyên Quang được phân thành 4 vùng khí hậu nông nghiệp (Hình 5, Bảng 3): Vùng I (Vùng rất thích nghi-S1): có diện tích 281.406 ha chiếm 48,5% tổng diện tích, ưu tiên phát triển cây lương thực, hoa màu; Vùng II (vùng thích nghi-S2): có diện tích 164.088 ha chiếm 28,3% tổng diện tích, ưu tiên phát triển cây ăn quả, cây công nghiệp; Vùng III (vùng ít thích nghi-S3): 70.813 ha chiếm 12,2% tổng diện tích, vùng này ít phù hợp cho phát triển nông nghiệp, vì vậy ưu tiên trồng rừng sản xuất; Vùng IV (vùng không thích nghi-N): có diện tích 64.375 ha chiếm 11,1% tổng diện tích toàn tỉnh, vùng này hoàn toàn không phát triển được nông nghiệp, hướng tốt nhất là bảo vệ rừng tự nhiên và trồng rừng phòng hộ. Như vậy, qua tính toán phân tích có thể thấy rằng, không gian phát triển nông nghiệp ở Tuyên Quang rất rộng, với gần 80% tổng diện tích toàn tỉnh phù hợp để phát triển nông nghiệp. Đây là lợi thế khá lớn để Tuyên Quang đẩy mạnh quy hoạch phát triển ngành nông nghiệp hàng hóa.



Hình 4. Bản đồ phân vùng KHNN đối với cây chè tỉnh Tuyên Quang; Bản đồ phân vùng KHNN đối với cây lúa tỉnh Tuyên Quang.



Hình 5. Bản đồ phân vùng khí hậu nông nghiệp tỉnh Tuyên Quang.

Bảng 3. Khả năng trồng trọt trong các vùng KHNN tỉnh Tuyên Quang.

Tên vùng	Điểm số tổng hợp	Ký hiệu	Mức độ thích nghi	Diện tích (ha)	Khuyến cáo khả năng trồng trọt
I	≥ 85	S1	Rất thích nghi	281.406	Các loại cây lương thực hàng năm như lúa, ngô, khoai lang, lạc, đậu các loại và các loại cây rau màu, cây ăn quả, cây công nghiệp.
II	≥ 60 và < 85	S2	Thích nghi	164.088	Các loại cây ăn quả có múi, cây ăn quả hàng năm, lâu năm như nhãn, xoài, hồng,...các cây công nghiệp như mía, chè.
III	≥ 40 và < 60	S3	Ít thích nghi	70.813	Phát triển trồng rừng sản xuất
IV	< 40	N	Không thích nghi	64.375	Rừng tự nhiên và rừng phòng hộ đầu nguồn, đảm bảo cân bằng hệ sinh thái.

4. Kết luận

Kết quả phân vùng khí hậu nông nghiệp tỉnh Tuyên Quang đã thể hiện được phân bố không gian các vùng thích nghi cho phát triển nông nghiệp. Việc tích hợp các thông tin về điều kiện khí hậu, địa hình, thổ nhưỡng để xây dựng bản đồ phân vùng khí hậu nông nghiệp chung và phân vùng KHNN đối với từng nhóm cây trồng tỉnh Tuyên Quang là cơ sở khoa học quan trọng trong việc quy hoạch không gian canh tác và phát triển các loại cây trồng, trong đó trọng tâm là các cây lương thực, cây công nghiệp và cây ăn quả. Bản đồ phân vùng khí hậu nông nghiệp cần có sự kết hợp với dịch vụ khí hậu trong nông nghiệp và kiến thức bản địa để đưa ra khuyến cáo thực tế và phù hợp. Các thông tin dự báo thời tiết, dự báo mùa là các yếu tố cần thiết để điều chỉnh cơ cấu cây trồng, lịch mùa vụ. Dự báo thời tiết hàng ngày, theo tuần cần được cập nhật và cung cấp thường xuyên cho cán bộ nông nghiệp và người dân để việc áp dụng kết quả nghiên cứu này hiệu quả hơn.

Đóng góp của tác giả: Xây dựng ý tưởng nghiên cứu: N.T.L., N. D.T.; Lựa chọn phương pháp nghiên cứu: N.T.L., N. D.T.; Xử lý số liệu: N. D.T.; Tính toán: N.T.L., N. D.T.; Phân tích kết quả: N.T.L.; Viết bản thảo bài báo: N.T.L., N. D.T.; Chỉnh sửa bài báo: N.T.L.

Lời cảm ơn: Nghiên cứu này được thực hiện dưới sự tài trợ của đề tài nghiên cứu khoa học cấp tỉnh, mã số ĐT.08–2018.

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. Giai, N.S. Bước đầu đánh giá mức độ sử dụng tài nguyên khí hậu nông nghiệp của các cây trồng chính ở 3 vùng trọng điểm của Việt Nam. Báo cáo kết quả đề tài nghiên cứu khoa học, Viện KTTV, Hà Nội, 1992.
2. Hạnh, T.Đ.; Điềm, Đ.V.; Việt, N.V. Lý thuyết khai thác tài nguyên khí hậu nông nghiệp; Nhà xuất bản Nông nghiệp Hà Nội, 1997.
3. Khảm, D.V.; Tâm, T.T.; Quyền, N.H.; Sơn, N.H. Phương pháp xây dựng bản đồ phân vùng an toàn sương muối, nhiệt độ thấp khu vực Tây Bắc. Hội thảo Quốc gia về Khí tượng Thủy văn Môi trường và Biến đổi khí hậu, Viện KTTV, 2013.
4. Khảm, D.V.; Quyền, N.H. Đánh giá đặc điểm khí hậu và điều kiện khí hậu nghiệp huyện Ba Bể. Báo cáo hợp đồng tư vấn của CARE, 2015.
5. Khảm, D.V. Nghiên cứu phân vùng sương muối và xây dựng mô hình giám sát, cảnh báo sương muối, nhiệt độ thấp phục vụ phát triển kinh tế xã hội, phòng tránh thiên tai ở các tỉnh miền núi, trung du phía đông bắc bộ. Báo cáo tổng kết đề tài cấp Bộ. Viện KTTV&BĐKH, 2017.
6. Lan, H.N. Điều kiện khí hậu nông nghiệp và cơ cấu mùa vụ của một số cây trồng chính ở Nam Bộ. Tập công trình Phân viện KTTV phía Nam, 1993.

7. Liem, N.V. Điều tra khảo sát và đánh giá điều kiện khí hậu nông nghiệp phục vụ tái định cư thủy điện Sơn La tại các vùng Ba Chà, Mường Toong - Mường Nhé tỉnh Điện Biên. Báo cáo kết quả Dự án, Viện KTTV, 2006.
8. Quang, L.V. Tìm các chỉ tiêu khí hậu nông nghiệp tổng hợp cho một số cây trồng chủ yếu ở Nam Bộ. Tập báo cáo khoa học chương trình nghiên cứu khí hậu nông nghiệp đồng bằng Nam Bộ, Phân viện KTTV, 1992.
9. Quyền, N.H.; Khảm, D.V.; Tâm, T.T.; Trang, N.T. Nội suy dữ liệu không gian bằng thông tin viễn thám và GIS phục vụ xây dựng bản đồ sương muối và nhiệt độ thấp vùng Tây Bắc. Hội thảo Quốc gia về Khí tượng Thủy văn Môi trường và Biến đổi khí hậu, Viện KTTV, 2013.
10. Tân, P.V. Phương pháp thống kê trong khí hậu, NXB Đại học Quốc gia Hà Nội, 2005.
11. Toàn, P.N.; Thanh, V. Nghiên cứu khí hậu nông nghiệp và phân vùng khí hậu nông nghiệp Nam Bộ. Phân Viện KTTV phía Nam, 1992.
12. Việt, N.V. Tài nguyên khí hậu nông nghiệp Việt Nam. Nhà xuất bản nông nghiệp Hà Nội, 2009, tr. 406.
13. Yen, B.T.; Pheng, K.S.; Hoanh, C.T. LUSSET User's guide. International Rice Research Institute, 2006, pp. 15.
14. Jiang, A.L. Climate and Agriculture in China. Springer, Dordrecht, 1997. https://doi.org/10.1007/978-94-017-1055-8_13.
15. Huard, F.; Paranaud, V. Agrometeorological database management strategies and tool in France. WMO & USDA, 2001. https://doi.org/10.1007/978-3-540-74698-0_106.
16. Jagtap, S.S. Planning sustainable agriculture using agroclimatic database. WMO-CAGM. 2001, pp. 85. https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=9164.
17. Stigter, K. Applied Agrometeorology, Berlin, Germany: Springer, 2010, pp. 1100. <https://doi.org/10.1007/978-3-540-74698-0>.
18. Mischenko, Z.A. Agroclimatic mapping of the continents. WMO, CAGM report 1984, 23, pp. 1-83. https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=7033.
19. Patel, N.R. Remote sensing and GIS application in agro-ecological zoning. AGM-8, WMO/TD-No. 1182, 2003. <http://www.wamis.org/agm/pubs/agm8/Paper-11.pdf>.
20. William, G.D.V. Agroclimatic resource analysis on ex. using an index derived and applied for Canada. *Agri-Meteorology* 1983, 28, 31-47. [https://doi.org/10.1016/0002-1571\(83\)90021-3](https://doi.org/10.1016/0002-1571(83)90021-3).

Research on agricultural climate zoning for the purpose of crop restructuring in Tuyen Quang province

Nguyen Thi Lieu^{1*}, Nguyen Dang Tien²

¹ Institute of Meteorology, Hydrology and Climate Change; lieuminh2011@gmail.com

² Red Star University; dangtien.dhsd@gmail.com

Abstract: Applied Research on climate is one of the highly practical research directions for sustainable economic development. At the same time, it makes contribution to the rational exploitation and use of natural resources, protecting the environment for certain territory in order to obtain efficient agricultural production. The article applies the method of zoning agro-climate by Luset tool parameterized with meteorological, pedigree and topographic factors. Calculation results show that: Tuyen Quang province is divided into 4 main agro-climatic regions: the highly adaptive area is about 281,406 ha, accounting for 48.5% of the total area of the province; The adaptive area is about 164,088 ha, accounting for 28.3%; Less suitable area is about 70,813 ha, accounting for 12.2% and non-adapted area is about 64,375 ha, accounting for 11.1%.

Keywords: Zoning; Agro-climatology; Luset Tool.

Bài báo khoa học

Khảo sát diễn biến tình hình nhiễm Fluor răng (dental fluorosis) trên địa bàn thị xã Ninh Hòa, tỉnh Khánh hòa

Huỳnh Tiến Đạt^{1*}, Hoàng Thị Thanh Thủy¹, Cán Thu Văn¹, Từ Thị Cẩm Loan¹, Bùi Thế Vinh¹

¹ Trường Đại học Tài nguyên và Môi trường thành phố Hồ Chí Minh, 236B Lê Văn Sỹ, Phường 1, Quận Tân Bình, Thành phố Hồ Chí Minh; datht@hcmunre.edu.vn; htthuy@hcmunre.edu.vn; ttcloan@hcmunre.edu.vn; ctvan@hcmunre.edu.vn

*Tác giả liên hệ: datht@hcmunre.edu.vn; Tel: +84-977888777

Ban Biên tập nhận bài: 16/4/2021; Ngày phản biện xong: 21/5/2021; Ngày đăng bài: 25/6/2021

Tóm tắt: Bệnh nhiễm fluor răng (*Dental fluorosis*) – một bệnh răng miệng cộng đồng thường gặp, nhưng có thể phòng ngừa được do nguyên nhân tăng cao quá mức flour trong các nguồn nước dưới đất. Hiện nay, nhiễm fluor răng vẫn là một vấn đề sức khỏe cộng đồng lớn trên toàn thế giới, trong đó có Việt Nam. Các nghiên cứu trước đây được thực hiện từ những năm 2000 đã chứng minh mối liên hệ giữa cải thiện sức khỏe răng miệng và nồng độ flo (F) cao trong nước uống (nước giếng) ở thị xã Ninh Hòa, tỉnh Khánh Hòa. Do đó, một nghiên cứu về diễn biến nguy cơ nhiễm dental fluorosis trong cộng đồng đã được thực hiện. Kết quả khảo sát bằng bảng hỏi đã cho thấy tỷ lệ dân số có nguy cơ mắc bệnh dental fluorosis đã giảm so với các nghiên cứu trước đây. Đặc biệt, ngay tại khu vực dễ bị tổn thương là những khu vực có hàm lượng F cao (> 6 mg/L) như thôn Ninh Xuân và Ninh Phụng, số dân số có nguy cơ nhiễm bệnh đã giảm xuống chỉ còn 18 và 12%. Nhìn chung, chỉ có 25% dân số của thị xã Ninh Hòa có nguy cơ mắc bệnh dental fluorosis. Đó là kết quả từ việc thực hiện các dự án cấp nước sạch của chính phủ. Tuy nhiên, trong thời gian tới vẫn cần tăng cường hơn nữa các dự án này để có thể thay thế hoàn toàn việc sử dụng nước giếng trong cộng đồng. Bên cạnh đó, cũng cần triển khai các nghiên cứu chi tiết hơn về tình hình dịch tễ và nguồn cung cấp F ở khu vực nghiên cứu.

Từ khóa: Thủy địa hóa; Ô nhiễm Fluor; Nước dưới đất; Nhiễm fluor răng.

1. Mở đầu

Flour (F) là nguyên tố rất cần thiết cho cơ thể sống. Tuy nhiên, khi nồng độ F trong nước uống cao hơn mức 1,5 ppm sẽ gây tác hại lâu dài cho sức khỏe, đặc biệt gây bệnh nhiễm flo răng (*dental fluorosis*) [1–3]. Theo y văn, bệnh dental fluorosis được định nghĩa là răng bị nhiễm độc mãn tính bởi F do sử dụng nước uống có nồng độ F cao [1]. Người nhiễm bệnh xuất hiện những đốm nâu, đen trên răng và có thể hình thành các mảng, lỗ gây hại cho men răng. Ô nhiễm F trong nước uống là nguyên nhân chính trong tất cả các nguyên nhân gây bệnh dental fluorosis. Các kết quả nghiên cứu trước đây đã cho thấy 25 quốc gia trên thế giới có nồng độ florua cao trong các nguồn nước và khoảng 200 triệu người sống dựa vào các nguồn nước có chứa quá nhiều florua gây hậu quả nghiêm trọng đến sức khỏe người tiêu dùng [4–5]. Các quốc gia được ghi nhận trong bản đồ ô nhiễm fluor thế giới điển hình bao gồm Ethiopi (8 đến 10 triệu người bị ảnh hưởng; [6]); Mexico (5 triệu người bị ảnh hưởng;

[7]); Argentina (1,2 triệu người; [8]). Châu Âu là khu vực có rủi ro thấp, chỉ có một số khu vực như Tây Ban Nha [9] và Na Uy [10].

Ở Châu Á, các quốc gia có hàm lượng F cao bao gồm Ấn độ, Trung Quốc, Sri Lanka [2–3, 11–12]. Khoảng 66 triệu người dân Ấn độ và 45 triệu người dân Trung Quốc sinh sống trong vùng có nguy cơ ô nhiễm. Ở Việt Nam, Bình Định, Khánh Hòa và Phú Yên là các địa phương có xuất hiện bệnh dental fluorosis [13–15]. Thị xã Ninh Hòa (tỉnh Khánh Hòa) là một trong những địa phương đầu tiên đã phát hiện dấu hiệu của bệnh. Các kết quả nghiên cứu giai đoạn 1990–2002 đã bước đầu kết luận nguyên nhân gây ra bệnh chết răng là do sự xuất hiện của dị thường F trong nước uống từ các giếng đào của người dân. Kể từ khi dấu hiệu bệnh hồng men răng, người dân địa phương gọi là chết răng được đề cập đến từ năm 1985. Vào năm 1999, số người mắc bệnh dental fluorosis ở Ninh Hòa đã phát hiện được trên 76% dân số khảo sát có dấu hiệu mắc bệnh. Đến năm 2000, một nghiên cứu khá chi tiết về sự phân bố F trong các hợp phần môi trường tự nhiên (nước mặt, nước dưới đất và môi trường đất). Kết quả nghiên cứu cũng xác nhận người dân địa phương bị hồng răng ở các mức độ khác nhau vì sử dụng nước giếng đào có hàm lượng fluor cao [15–17]. Gần đây nhất, kết quả phân tích cũng cho thấy sự hiện diện của dị thường F trong nước dưới đất ở khu vực Ninh Hòa. 50% tổng số mẫu (trong tổng số 26 mẫu phân tích) đã có hàm lượng F cao hơn quy chuẩn cho phép [18]. Giá trị F lớn nhất đo được tại Xã Ninh Xuân đã lên tới 10 mg/L, cao hơn giá trị giới hạn 7 lần.

Với thực tế hiện nay tuy nguồn nước cấp đã đến được nhiều nơi nhưng nước giếng vẫn được các hộ sử dụng rộng rãi, nhất là các hộ người dân tộc, thì nguy cơ tiếp diễn bệnh fluorosis vẫn là vấn đề cần được quan tâm của thị xã Ninh Hòa. Do đó, mục tiêu của đề tài là khảo sát sự chuyển biến đối với các bệnh về răng có thể liên quan đến dư lượng F trong cộng đồng ở khu vực thị xã Ninh Hòa. Phạm vi nghiên cứu là 11 xã thuộc thị xã Ninh Hòa, là các địa phương đã được ghi nhận xuất hiện bệnh dental fluorosis trong các nghiên cứu trước đây.

2. Phương pháp nghiên cứu

Nhóm nghiên cứu đã tiến hành thu thập thông tin bằng phiếu khảo sát các hộ gia đình sinh sống tại 11 xã thuộc thị xã Ninh Hòa, tỉnh Khánh Hòa. Thông tin về các hộ khảo sát ở mỗi xã được tổng hợp tại Bảng 1.

Bảng 1. Thông tin về các hộ khảo sát thuộc địa bàn thị xã Ninh Hòa.

STT	Xã	Số hộ khảo sát	Thời gian sinh sống tại địa phương (năm)	Nguồn nước sử dụng	
				Nước thủy cục	Nước giếng
	Ninh Bình (NB)	4	27–65	x	x
	Ninh Giang (NG)	1	30		x
	Ninh Hưng (NH)	8	26–61	x	x
	Ninh Phụng (NP)	8	5–61	x	x
	Ninh Quang (NQ)	4	39–56	x	x
	Ninh Sim (NS)	13	28–60		x
	Ninh Tây (NT)	6	2–64	x	x
	Ninh Thân (NTha)	10	10–57	x(03)	x
	Ninh Thượng (NThu)	6	24–50	x	x
	Ninh Trung (NTr)	11	32–55	x(02)	x
	Ninh Xuân (NX)	22	14–69	x(11)	x

Số lượng phiếu khảo sát là 93 phiếu bao gồm các thông tin về thời gian sinh sống tại địa phương, nguồn nước sử dụng, thông tin về giếng và dấu hiệu các bệnh răng có thể liên quan trong hộ gia đình. Do có hai phiếu khảo tại xã Ninh Tây có thời gian sinh sống tại địa phương

ngắn (< 5 năm) do đó đã loại ra khỏi dữ liệu để xử lý. Các thông tin ghi nhận được tổng hợp và đối sánh với các nghiên cứu trước đây ở khu vực nghiên cứu.

3. Kết quả và thảo luận

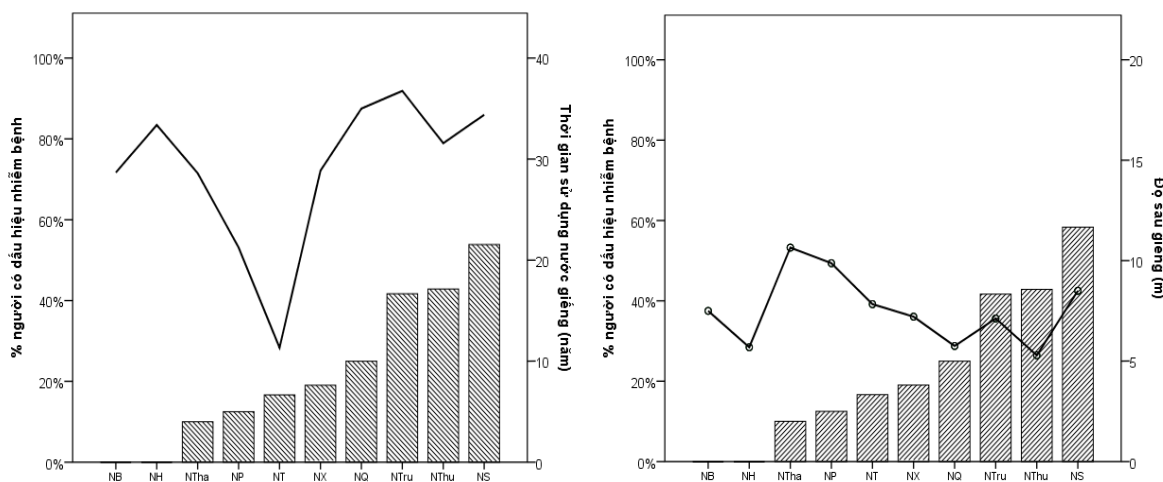
3.1. Tình hình nhiễm độc flo trên răng

Kết quả khảo sát của nhóm nghiên cứu vào năm 2019 đã cho thấy trong số 11 xã khảo sát đã có 8 xã có dấu hiệu vẫn còn người dân bị nhiễm bệnh dental fluorosis. Tỷ lệ người dân có các dấu hiệu nhiễm bệnh dental fluorosis được sắp xếp theo thứ tự giảm dần như sau:

Ninh Sim (53%) > Ninh Trung (45%) > Ninh Thượng (33%) > Ninh Quang (25%) > Ninh Xuân (18%) > Ninh Tây (16%) > Ninh Phụng (13%) > Ninh Thân (10%)

Khi so sánh với các nghiên cứu trước đây cho thấy tỷ lệ người dân nhiễm bệnh đã có xu thế giảm rõ rệt. Ví dụ trong các nghiên cứu trước đây thì Ninh Xuân, Ninh Phụng và Ninh Hương là các địa phương có tỷ lệ người mắc bệnh cao lên đến đều ở mức cao (67–97%) [15]; và 100% [17]. Nhưng theo khảo sát của nhóm nghiên cứu, tỷ lệ người có dấu hiệu nhiễm bệnh cao nhất là ở xã Ninh Sim (53%). Ở hai xã Ninh Bình và Ninh Hưng thì 100% người dân được khảo sát không có dấu hiệu nhiễm bệnh (Hình 1). Về mối tương quan giữa tỷ lệ người dân có dấu hiệu bị nhiễm bệnh với hàm lượng F trong nước giếng cũng có những khác biệt so với các kết quả đã công bố. Trước đây, Ninh Thượng và Ninh Xuân là hai xã có tỷ lệ người nhiễm bệnh cao nhất [15]. Tuy nhiên, đến thời điểm hiện nay thì Ninh Sim và Ninh Trung là hai xã có tỷ lệ người nhiễm bệnh cao hơn các địa phương khác. Các khu vực có lượng F ở mức cao (> 2 mg/L) bao gồm các xã Ninh Phụng, Ninh Xuân, Ninh Bình và Ninh Tây đều có số lượng người có dấu hiệu dental fluorosis rất thấp. Còn ở các xã có tỷ lệ người dân có nguy cơ nhiễm bệnh cao như Ninh Sim lại là khu vực có hàm lượng F khá thấp (0,96 mg/l) [15]. Riêng đối với xã Ninh Trung là khu vực có hàm lượng F cao (0,3–1,9 mg/l) [7]; (0,5–2,8 mg/l) [8] thì tỷ lệ người dân có nguy cơ nhiễm bệnh tuy đã giảm nhưng vẫn còn ở mức cao (45%).

Một minh chứng khác liên quan đến bệnh nhiễm F răng là thói quen sử dụng nước trong sinh hoạt. Xã Ninh Sim là khu vực có địa hình đồi núi thấp nằm về phía tây cách thị xã Ninh Hòa 13 km. Theo khảo sát đã cho thấy người dân vẫn sử dụng nguồn nước giếng là chủ yếu. Thời gian sử dụng giếng thay đổi từ 25 đến 40 năm, ngoại lệ là 50 năm.



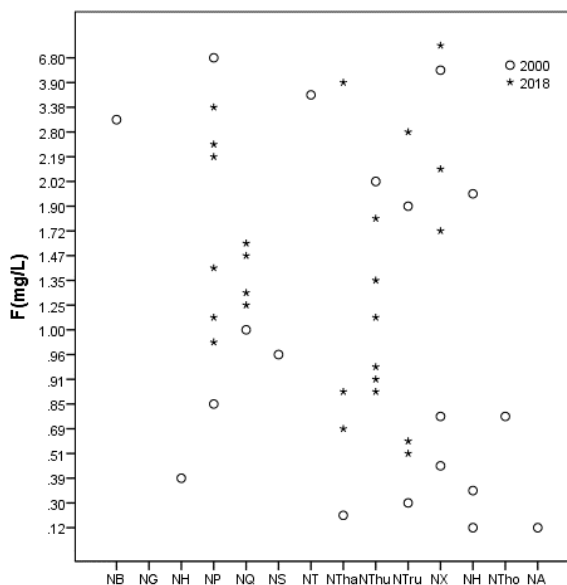
Hình 1. Tỷ lệ người có dấu hiệu nhiễm bệnh liên quan đến thời gian sử dụng nước giếng và độ sâu giếng.

Thôn Đông Đa là khu vực có nhiều người có dấu hiệu nhiễm bệnh với thời gian sinh sống ở địa phương từ 28–60 năm. Tương tự, ở xã Ninh Trung, nguồn nước sử dụng chủ yếu là nước giếng từ 30–50 năm. Người dân có dấu hiệu nhiễm dental fluorosis như vàng răng,

đục răng đều là người dân sinh sống trên 30 năm tại thôn Quảng Cư. Ở các xã khác có sử dụng cả hai nguồn nước thì tỷ lệ người dân có dấu hiệu nhiễm dental fluorosis đều giảm.

3.2. Nguồn cung cấp F trong nước dưới đất

Sự hình thành hàm lượng F cao trong nước dưới đất có thể có nhiều nguyên nhân từ hoạt động của con người (nước thải công nghiệp, phân hoá học trong nông nghiệp, chất thải công nghiệp hoặc từ các nghĩa trang) và đặc điểm địa chất khu vực (thành phần đất đá, từ các mỏ fluor và nước khoáng–nước nóng giàu F). Tại thời điểm năm 2000, hàm lượng F trong nước dưới đất (nước giếng) đã được thực hiện khảo sát tại 13 xã trên địa bàn khu vực Ninh Hòa (Ninh Tây, Ninh Sim, Ninh Xuân, Ninh Thân, Ninh Thượng, Ninh Phụng, Ninh Trung, Ninh Hòa, Ninh Quang, Ninh Hưng, Ninh Thọ và Ninh An) có khoảng biến thiên từ 0,1 đến 6,8 mg/l. Dị thường của F là 1 mg/L và 1,5 mg/L đã phát hiện trong 41% và 37% tổng số mẫu phân tích. Gần đây nhất, vào năm 2017, kết quả khảo sát được thực hiện trên địa bàn 6 xã (Ninh Xuân, Ninh Thân, Ninh Quang, Ninh Thượng, Ninh Phụng và Ninh Trung đã cho thấy hàm lượng F trong nước dưới đất vẫn ở mức cao. Hai dị thường F là 1 mg/L và 1,5 mg/L đã phát hiện trong 27% và 47% tổng số mẫu phân tích. Tại khu vực xã Ninh Xuân đã xác định được nồng độ F lên đến 11 mg/L [18]. Do đó có thể nói nguồn nước giếng tại khu vực thị xã Ninh Hòa vẫn liên tục được bổ sung F.



Hình 2. Diễn biến hàm lượng F trong nước dưới đất khu vực thị xã Ninh Hòa, tỉnh Khánh Hòa [14–18].

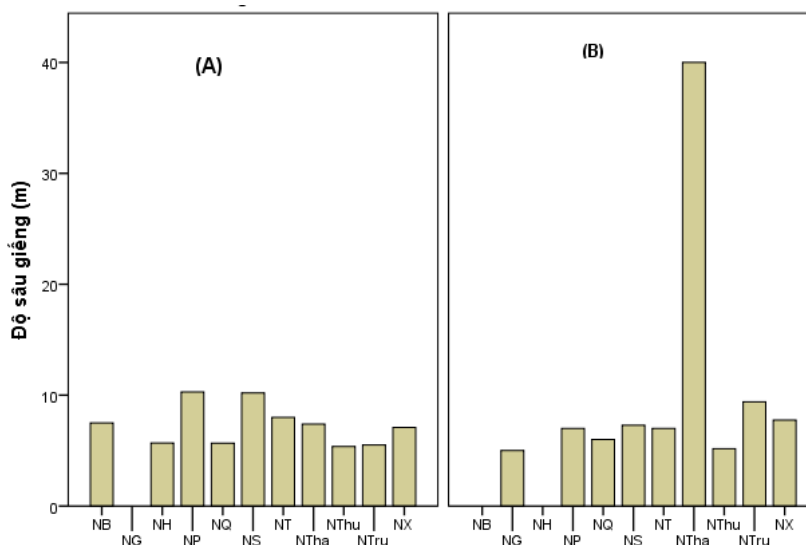
Các nghiên cứu trước đây đã chỉ ra rằng nguyên nhân hình thành nồng độ F cao trong nước ngầm ở Ninh Hòa là do đặc điểm địa chất khu vực. Các dị thường F trong nước dưới đất hiện diện ở các khu vực có hoạt động công nghiệp, sử dụng phân hoá học trong nông nghiệp, chất thải công nghiệp hoặc chất bán từ các nghĩa trang không nhiều, nên nguyên nhân nhân tạo không có khả năng gây ra sự ô nhiễm fluor cho nước dưới đất. Sự phân bố không gian của F trong nước dưới đất ở Ninh Hòa không đồng đều thể hiện qua sự đan xen giữa các vùng hàm lượng F cao và thấp, hình thành hai tuyến tương đối rõ: một tuyến kéo dài theo phương T–Đ từ Ninh Tây đến Ninh Quang và tuyến khác theo phương TN–ĐB từ Ninh Xuân đến Ninh Thượng. Do đó, F được xác định là có nguồn gốc từ các thành tạo địa chất dưới sâu và di chuyển thông qua hệ thống kênh dẫn có áp là các đứt gãy kiến tạo, các đới phá hủy và khe nứt. Vùng Ninh Hòa nằm ở rìa ĐN địa khối Kon Tum, trong đới hoạt hóa MZ–KZ, đặc trưng bằng các hoạt động magma xâm nhập và phun trào–trầm tích đa dạng, thuộc các hệ

tầng Mang Yang, Nha Trang, La Ngà, đèo Bảo Lộc. Đá magma tiêu biểu là các đá granitoid thuộc các phức hệ Định Quán, Đèo Cả và Cà Ná. Trong các đá này có mặt nhiều khoáng vật có chứa F như biotit, muscovit, apatit và đặc biệt là fluorit, v.v... Thêm vào đó, trong vùng có điểm quặng Hòn Sạn, nguồn gốc nhiệt dịch, nằm trong khối xâm nhập granit và fluorit là một thành phần đi kèm với khoáng vật molybdenit và các khoáng vật chứa Ta.

Bảng 2. Hàm lượng F (%) trong các khoáng vật liên quan đến các đá magma granit [12].

Khoáng vật	Thành phần hóa học	Hàm lượng F (%) (*)
Fluorit	CaF ₂	47,81–48,80
Biotit	K(Mg,Fe) ₃ [AlSi ₃ O ₁₀ (OH,F)] ₂	0,08–3,5
Muscovit	KAl ₂ (AlSi ₃ O ₁₀)(F,OH)	0,02–2,95
Apatit	Ca ₅ (PO ₄) ₅ (F,Cl,OH)	1,35–3,77

Sự xuất hiện của các nguồn nước khoáng nóng cũng có thể là nguồn cung cấp F trực tiếp khối lượng lớn nhất. Từ các khe nứt trong đá xâm nhập granitoid hoặc phun trào axit, F có thể xuất lộ trên mặt đất theo các nguồn nước khoáng nóng với lưu lượng lớn, chảy liên tục. Hàm lượng F trong nước khoáng rất cao, lên đến 9–9,3 mg/l (Buôn M’Dung). Vì vậy các giếng nước ở gần điểm xuất lộ nước khoáng, đều có hàm lượng fluor khá cao ví dụ như ở xã Ninh Tây. Mặt khác, kết quả khảo sát cũng cho thấy các giếng ở những hộ có nguy cơ nhiễm dental fluorosis thường là các giếng có độ sâu < 10 m. Do đó rất có thể đã có những nguồn cung cấp F khác cho tầng chứa nước.



Hình 3. Mối tương quan giữa độ sâu giếng và nguy cơ nhiễm bệnh dental fluorosis.

(A: Khu vực không có người nhiễm bệnh, B: khu vực có người nhiễm bệnh)

Tóm lại, tuy tỷ lệ người dân có nguy cơ nhiễm dental fluorosis đã giảm đáng kể so với các kết quả đã công bố nhưng vẫn cần có nghiên cứu chi tiết hơn để đánh giá lại nguồn gốc của F trong nước dưới đất và hệ quả đến sức khỏe cộng đồng ở khu vực nghiên cứu.

4. Kết luận

Sự hiện diện của nồng độ cao ion F trong nước ngầm là một vấn đề lớn, nó làm cho nước không phù hợp để sử dụng cho mục đích ăn uống. Việc sử dụng nước có nồng độ florua cao lâu dài sẽ gây ảnh hưởng tiềm tàng đến sức khỏe con người. Hiện tượng nhiễm bệnh dental fluorosis ở khu vực thị xã Ninh Hòa, tỉnh Khánh Hòa có tính chất lịch sử. Hiện nay, do nhiều khu vực đã được cung cấp nước máy nên tình hình nhiễm bệnh đã có dấu hiệu chuyển biến tích cực. Tỷ lệ người dân có dấu hiệu nhiễm bệnh đã giảm rất nhiều so với các kết quả nghiên cứu trước đây. Tuy nhiên, kết quả điều tra cho thấy người dân vẫn có thói quen sử dụng nước giếng trong sinh hoạt. Nguồn cung cấp F chủ yếu là thành phần khoáng vật của các đá magma

xâm nhập và phun trào axit cùng với các nguồn nước khoáng, nước nóng. Các đới phá hủy kiến tạo đóng vai trò như những hệ thống kênh dẫn F có áp đến các giếng nước của hộ dân. Do đó, nếu người dân vẫn tiếp tục sử dụng nước giếng thì nguy cơ nhiễm bệnh dental fluorosis sẽ vẫn tiếp tục xảy ra. Chính vì vậy, cần nâng cao nhận thức cộng đồng để người dân từ bỏ thói quen sử dụng nước giếng để không làm ảnh hưởng đến sức khỏe cộng đồng. Bên cạnh đó, cũng cần triển khai các nghiên cứu chi tiết hơn để làm sáng tỏ các nguồn gốc khác của F ở khu vực nghiên cứu. Để bảo vệ sức khỏe cộng đồng, các điều tra dịch tễ học liên quan đến bệnh dental fluorosis cũng vẫn cần được triển khai rộng rãi, đặc biệt là trong chương trình khám sức khỏe ở các trường học.

Đóng góp cho nghiên cứu: Xây dựng ý tưởng nghiên cứu: H.T.Đ., H.T.T.T.; Lựa chọn phương pháp nghiên cứu: H.T.Đ.; Thu thập, phân tích, xử lý số liệu: H.T.Đ., T.C.L.; Viết bản thảo bài báo: H.T.Đ., C.T.V.; Chỉnh sửa bài báo: B.T.V.

Lời cảm ơn: Nghiên cứu này được thực hiện dưới sự tài trợ của đề tài nghiên cứu khoa học cấp tỉnh, mã số ĐT.08–2018.

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. Kimambo, V.; Bhattacharya, P.; Mtalo, F.; Mtamba, J.O.D. Fluoride occurrence in groundwater systems at global scale and status of defluoridation – State of the art. *Groundwater Sustainable Dev.* **2019**, *9*, 100–223. <https://doi.org/10.1016/j.gsd.2019.100223>.
2. Yadav, K.K.; Kumar, S.; Pham, Q.B.; Gupta, N.; Rezanian, S.; Kamyab, H.; Yadav, S.; Vymazal, J.; Kumar, V.; Tri, D.Q.; Talaiekhosani, A.; Prasad, S.; Reece, L. M.; Singh, N.; Maurya, P.K.; Ghosh, J. Fluoride contamination, health problems and remediation methods in Asian groundwater: A comprehensive review. *Ecotoxicol. Environ. Saf.* **2019**, *182*, 109362.
3. Mukherjee, I.; Singh, U.K. Groundwater fluoride contamination, probable release, and containment mechanisms: a review on Indian context. *Environ. Geochem. Health.* **2018**, *40(6)*, 2259–2301.
4. Vithanage, M.; Prosun, B. Fluoride in drinking water: health effects and remediation. In: *Environmental Chemistry for a Sustainable World*. 2015a, 105–151.
5. Vithanage, M.; Prosun, B. Fluoride in the environment: sources, distribution and defluoridation. *Environ. Chem. Lett.* **2015b**, *13(2)*, 131–147.
6. Rango, T.; Kravchenko, J.; Atlaw, B.; McCornick, P.G.; Jeuland, M.; Merola, B.; Vengosh, A. Groundwater quality and its health impact: an assessment of dental fluorosis in rural inhabitants of the main Ethiopian rift. *Environ. Int.* **2012**, *43(1)*, 37–47. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2012.03.002>.
7. Farooqi, A. Arsenic and fluoride pollution in water and soils. *Arsenic Fluoride Contam.* **2015**, 1–16.
8. Borgnino, L.; Garcia, M.G.; Bia, G.; Stupar, Y.V.; Le Coustumer, Ph.; Depetris, P.J. Mechanisms of fluoride release in sediments of Argentina's central region. *Sci. Total Environ.* **2013**, *443*, 245–255.
9. Hardisson, A.; Rodríguez, M.; Burgos, A.; Díaz Flores, L.; Gutiérrez, R.; Várela, H. Fluoride Levels in Publicly Supplied and Bottled Drinking Water in the Island of Tenerife, Spain. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* **2001**, *67*, 163–170. <https://doi.org/10.1007/s001280106>.
10. Bårdsen, A.; Klock, K.S.; Bjorvatn, K. Dental fluorosis among persons exposed to high- and low-fluoride drinking water in western Norway. *Community Dent. Oral Epidemiol.* **1999**, *27(4)*, 259–267.

11. Edmunds, W.M.; Smedley, P.L. Fluoride in Natural Waters: Essential of Medical Geology. British Geological Survey Commissioned Report 2013, 311–336.
12. Dissanayake, C.B.; Chandrajith, R. Introduction to Medical Geology. *Erlangen Earth Conference Series, Springer-Verlag Berlin Heidelberg*. **2010**. ISBN 978-3-642-00484-1.
13. Nguyệt, P.N.; Hiền, T.T. Ô nhiễm fluoride trong nước ngầm và đánh giá phơi nhiễm fluoride cho người dân huyện Tây Sơn, tỉnh Bình Định. *Tap chí phát triển khoa học và công nghệ* **2013**, 16, 61–72.
14. Hoan, Đ.K.; Trân, V.N.; Bảo, N.D.; Tiến, N.Đ. Sự phân bố nước dưới đất bị nhiễm fluor ở tỉnh Khánh Hòa và các giải pháp xử lý. *Tap chí địa chất* **2008**, 296, 112–118.
15. Thuận, Đ.T.; Tú, Đ.T. Ô nhiễm fluor và bệnh chêt răng ở vùng Nam Trung bộ. *Tap chí địa chất* **2008**, 309. <http://phantichmoitruong.com/detail/o-nhiem-fluor-va-benh-chet-rang-o-vung-nam-trung-bo-.html>.
16. Tín, Q.Đ.; Huyền, Đ.T.N. Địa hóa nguyên tố fluor và vai trò đối với sức khỏe cộng đồng ở Việt Nam. Viện Khoa học Địa chất và Khoáng sản, 2008.
17. Sĩ, H.T.; Liêm, N.T. Nghiên cứu tình hình nhiễm độc flo trên răng vĩnh viễn của người dân huyện Ninh Hòa – Khánh Hòa và xây dựng qui trình xử lý flo trong nước giếng. *Tap chí Y học thực hành* **2010**, 699+700.
18. Huyền, Đ.T.; Quang, N.N.; Bách, N.D.; Thịnh, Trông, N.T.H.; Anh, N.N. Ô nhiễm Fluoride trong nước dưới đất tại huyện Ninh Hòa, tỉnh Khánh Hòa. Hội nghị Khoa học Công nghệ 15, 2017.

Temporal variation of dental fluorosis in Ninh Hoa district, Khanh Hoa Province

Huynh Tien Dat^{1*}, Hoang Thi Thanh Thuy¹, Can Thu Van¹, Tu Thi Cam Loan¹, Bui The Vinh¹

¹ Hochiminh City Univeristy of Natural Resources and Environment, 236B Le Van Sy, 1 Ward, Tan Binh district, Hochiminh City; datht@hcmunre.edu.vn; htthuy@hcmunre.edu.vn; ttcloan@hcmunre.edu.vn; ctvan@hcmunre.edu.vn

Abstract: Dental fluorosis—a major, but preventable, oral diseases and public oral health problems—related with exceeded the fluoride level in natural groundwater sources. Dental fluorosis remains as a major public health problem worldwide, including Vietnam. Previous studies carried out since the 2000s demonstrated a link between dental fluorosis and increased fluoride levels in drinking water of Ninh Hoa town, Khanh Hoa province. The aim of this study was to determine the temporal variation of district’s population, who at risk for dental caries or dental fluorosis, with questionair survey in Ninh Hoa town. The results indicated that the rate of population at risk for dental fluorosis, has been decreased in comparision with previous studies. In especially, in the vulnerable area with high fluorid zones like Ninh Xuan, Ninh Phung wards (> 6mg/L), the number of population at risk decreases to only 18 and 12%, respectively. Overall, only 25% district’s population were risk of potential dental fluorosis. It is the results from implementation of drinking water supply projects from government. However, the long-term operation of the replacement of groundwater project need to be further strengthened. In addition, a further study on dental fluorosis and sources of F should be carried out.

Keywords: Hydrogeochemistry; Contamination; Fluor; Groundwater; Dental fluorosis.

Table of content

- 1** Phuong, L.C.; Hung, L.T.; Huy, M.X.; Linh, T.V.; Hoai, N.X.; Hai, H.P.; Hai, V. Develop technology solutions to recognize hydro–meteorological diagrams. *VN J. Hydrometeorol.* **2021**, 726, 1–11.
- 12** Anh, N.T.; Ky, N.M.; Hai, N.N.; Dung, B.Q. Assessing the current situation and microbiological risks in domestic water supply in peri–urban areas: A case study in Pleiku, Gia Lai Province, Vietnam. *VN J. Hydrometeorol.* **2021**, 726, 12–24.
- 25** An, D.T. Evaluation of the applicability of the semi–experimental bedload formulae for river basins with steep slope. *VN J. Hydrometeorol.* **2021**, 726, 25–35.
- 36** Hong, N.V.; An, D.T. Evaluation of river morphological changes based on a combination of hydrodynamic model and remote sensing image. *VN J. Hydrometeorol.* **2021**, 726, 36–46.
- 47** An, D.T. Application of the OpenFOAM open–source software debris flow simulations. *VN J. Hydrometeorol.* **2021**, 726, 47–56.
- 57** Nam, L.H.; Toan, H.C.; Long, P.T. Assess the impact of climate change on the mineral exploitation potential of Binh Phuoc Province. *VN J. Hydrometeorol.* **2021**, 726, 58–69.
- 70** Lieu, N.T. Tien, N.D. Research on agricultural climate zoning for the purpose of crop restructuring in Tuyen Quang Province. *VN J. Hydrometeorol.* **2021**, 726, 70–77.
- 78** Dat, H.T.; Thuy, H.T.T.; Van, C.T.; Loan, T.T.C.; Vinh, B.T. Temporal variation of dental fluorosis in Ninh Hoa district, Khanh Hoa Province. *VN J. Hydrometeorol.* **2021**, 726, 88–84.