

TẠP CHÍ

KHÍ TƯỢNG THỦY VĂN

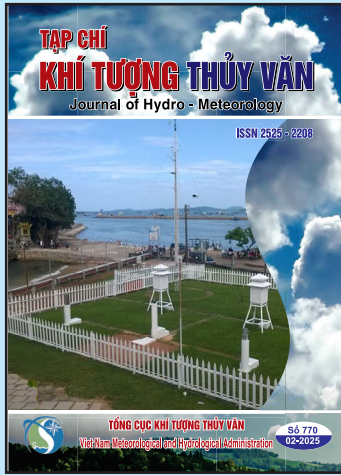
Journal of Hydro - Meteorology

ISSN 2525 - 2208



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

Số 770
02-2025



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

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

Giấy phép xuất bản

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

Tòa soạn

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

Chế bản và In tại:

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

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

Giá bán: 40.000 đồng

TẠP CHÍ KHÍ TƯỢNG THỦY VĂN
SỐ 770 - 2/2025

MỤC LỤC

Bài báo khoa học

- 1 Thân Văn Đón, Phạm Thị Thu, Phạm Thị Hồng Ngọc, Nguyễn Thị Lan Anh:** Nghiên cứu xây dựng bộ tiêu chí bảo vệ, chống suy thoái phục vụ khai thác bền vững nguồn nước dưới đất vùng núi cao, vùng khan hiếm nước khu vực Bắc Trung Bộ
- 14 Phạm Thị Làn:** Đánh giá mối quan hệ giữa biến động lớp phủ đất với điều kiện tự nhiên sử dụng viễn thám và hồi quy logistic: Thí điểm khu vực huyện Giao Thủy, Nam Định
- 29 Nguyễn Quang Minh, Bùi Tiến Diệu, Nguyễn Văn Trung:** Xác định khoảng cách hiệu dụng trong tìm kiếm, cứu nạn trên biển bằng công nghệ GIS và phương pháp mô hình hóa
- 43 Nguyễn Bách Tùng, Nguyễn Hồng Thủy, Lê Ngọc Quyền, Phạm Hồ Quốc Tuấn, Đặng Thị Hồng Nhung, Nguyễn Tường Vi, La Đức Dũng, Trần Ngọc Anh:** Đánh giá rủi ro do ngập lụt đến kinh tế - xã hội tỉnh Vĩnh Long
- 58 Đỗ Thị Phương Thảo, Lê Minh Huệ, Nguyễn Ngọc Nam, Vũ Thị Thanh Hiên, Nguyễn Khánh Vy:** Giám sát lớp phủ bề mặt khu dự trữ sinh quyển Cần Giờ sử dụng thuật toán Random Forest trên nền tảng điện toán đám mây
- 68 Lê Thị Huệ, Đào Tiến Đạt, Đinh Thị Hương Thơm, Phạm Thị Diệu Thúy, Nguyễn Thu Lan, Đỗ Thị Ngọc Hoa, Vũ Thị Thanh Huyền:** Đánh giá hiệu quả của việc ứng dụng bộ công cụ cảnh báo ngập lụt thành phố Nam Định do mưa lớn
- 84 Trần Mạnh Cường, Nguyễn Tiền Giang, Trần Anh Phương, Nguyễn Anh Đức:** Nghiên cứu giám sát hoạt động của các hồ chứa trên lưu vực sông Đà ngoài lãnh thổ Việt Nam từ dữ liệu vệ tinh và địa hình trên nền tảng Google Earth Engine
- 97 Dương Văn Hưng, Vũ Thị Hoà, Trần Văn Giáp, Đoàn Quang Trí, Trần Thị Thu Thảo:** Xây dựng hệ thống cảnh báo, dự báo xâm nhập mặn tỉnh Nam Định

Bài báo khoa học

Nghiên cứu xây dựng bộ tiêu chí bảo vệ, chống suy thoái phục vụ khai thác bền vững nguồn nước dưới đất vùng núi cao, vùng khan hiếm nước khu vực Bắc Trung Bộ

Thân Văn Đón^{1*}, Phạm Thị Thu¹, Phạm Thị Hồng Ngọc¹, Nguyễn Thị Lan Anh¹

¹ Trung tâm Công nghệ và Dữ liệu tài nguyên nước; thandontnmt@gmail.com; phamthud-ctv51@gmail.com; ngocpth870@gmail.com; lananh.cwt@gmail.com

*Tác giả liên hệ: thandontnn@gmail.com; tel: +84-976632126

Ban biên tập nhận bài: 17/7/2024; Ngày phản biện xong: 30/8/2024; Ngày đăng bài: 25/2/2025

Tóm tắt: Vùng núi cao, vùng khan hiếm nước khu vực Bắc Trung Bộ có 24 vùng theo Quyết định số 1553/QĐ-TTg ngày 08 tháng 11 năm 2019 của Thủ tướng Chính phủ và có 11 tầng chứa nước tuổi từ Neogen đến Cacbon-Pecmi. Kết quả tính toán tổng trữ lượng nước dưới đất có thể khai thác là 61.346 m³/ngày, tổng lưu lượng khai thác công trình dự báo là 10.237 m³/ngày và có khả năng cung cấp cho 102.370 người với tiêu chuẩn là 100 l/người/ngày. Để khai thác và chống suy thoái nguồn nước dưới đất, nhóm tác giả xây dựng bộ tiêu chí, gồm có 3 nhóm tiêu chí: Chống suy thoái về trữ lượng (có 3 tiêu chí và 6 chỉ số); Chống suy thoái về môi trường (có 4 tiêu chí và 5 chỉ số); Chống suy thoái do yếu tố kinh tế - xã hội (có 4 tiêu chí và 6 chỉ số). Trên cơ sở bộ tiêu chí trên, bài báo đã sử dụng phương pháp phân tích thứ bậc (AHP) để xác định trọng số và đánh giá các tiêu chí, kết quả cho thấy có 20 vùng có mức độ bảo vệ chống suy thoái trung bình, 5 vùng có mức độ bảo vệ chống suy thoái kém, nguyên nhân chủ yếu do các yếu tố suy giảm về chất lượng và quản lý tài nguyên nước, nhận thức cộng đồng

Từ khóa: Phương pháp AHP; Tiêu chí bảo vệ; Nước dưới đất; Khan hiếm nước; Bắc Trung Bộ.

1. Mở đầu

Trên thế giới và Việt Nam cũng đã có những nghiên cứu đưa ra các tiêu chí nhằm bảo vệ, khai thác bền vững nguồn nước dưới đất. Trong đó có những nghiên cứu điển hình, ở Ấn Độ [1] đã đưa ra phương pháp đánh giá khả năng khai thác nước ngầm bền vững, thông qua Bộ Chỉ số Bền vững Nước ngầm (*Groundwater Sustainability Index - GSI*), xác định được 5 nhóm tiêu chí và 15 chỉ số để đánh giá mức độ bền vững nguồn nước ngầm. Nghiên cứu ở Trung Quốc [2] đã xây dựng các tiêu chí bền vững của nước ngầm 4 tiêu chí chính được sử dụng để phân loại là: Sự suy giảm mực nước ngầm, tổng độ hạ thấp mực nước ngầm, Sự ô nhiễm nước ngầm thông qua chỉ số chất lượng nước và sự suy giảm nguồn nước mặt; nghiên cứu ở Việt Nam [3] đã đề xuất được 4 nhóm tiêu chí bao gồm 9 chỉ số làm cơ sở phân vùng khai thác bền vững nước dưới đất ở vùng đồng bằng Bắc Bộ và Nam Bộ. Nghiên cứu [4] đã đề xuất được bộ chỉ số tài nguyên nước trong tăng trưởng xanh bao gồm 24 chỉ tiêu thuộc 3 nhóm. Các nghiên cứu này được thực hiện đánh giá cho nước ngầm ở nhiều khu vực khác nhau như miền núi, đồng bằng trên các vùng lãnh thổ khác nhau. Tuy nhiên, để xây dựng bộ tiêu chí bảo vệ, chống suy thoái phục vụ khai thác bền vững nguồn nước dưới đất vùng núi cao, vùng khan hiếm nước cần có sự nghiên cứu phân tích cụ thể các nguyên nhân gây ra suy thoái nước dưới đất để đưa ra các tiêu chí cho phù hợp với từng khu vực nghiên cứu nói chung và khu vực Bắc Trung Bộ nói riêng.

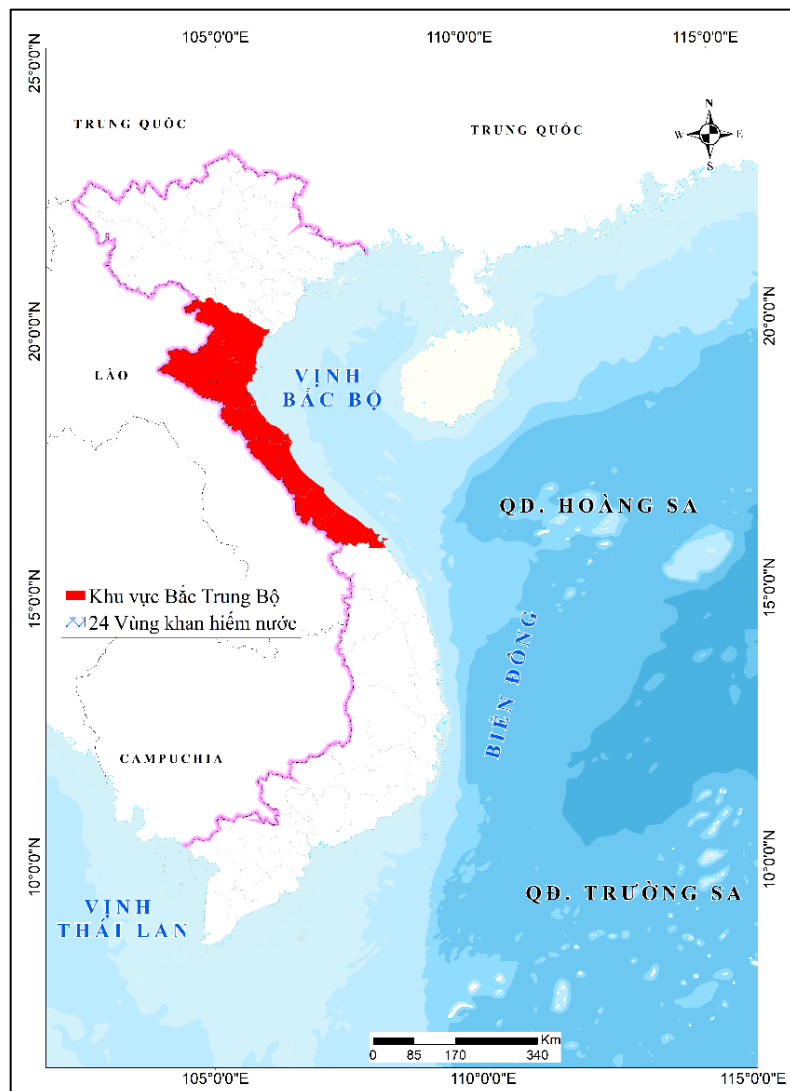
Nước dưới đất ở các vùng núi cao, vùng khan hiếm nước khu vực Bắc Trung Bộ đang có một số nguy cơ suy thoái nguồn nước dưới đất do đặc trưng cấu trúc địa chất, địa chất thủy văn của khu vực chủ yếu phân bố các tầng chứa nước khe nứt, tầng chứa nước karst là những tầng chứa nước có khả năng tự bảo vệ kém; do sự phân bố các đứt gãy địa chất; do lũ lụt, hạn hạn; xâm nhập mặn; do khai thác nước quá mức; do thói quen canh tác trồng trọt dùng thuốc bảo vệ thực vật, thuốc trừ sâu, xây dựng chuồng trại chăn nuôi chưa đúng, ... Tình trạng nhiễm bẩn nước ngầm nếu không ngăn ngừa hay khắc phục được sẽ không chỉ gây đe dọa đến sức khỏe cộng đồng mà còn gây đe dọa đến các hoạt động phát triển kinh tế - xã hội. Vì vậy, cần phải đánh giá mức độ suy thoái nguồn nước ngầm của khu vực từ đó đề xuất ra được các giải pháp khoa học kỹ thuật, chính sách nhằm bảo vệ và đảm bảo khai thác bền vững nguồn nước dưới đất.

Mức độ bảo vệ, chống suy thoái nguồn nước dưới đất được đánh giá qua bộ tiêu chí bảo vệ, chống suy thoái phục vụ khai thác bền vững nguồn nước dưới đất vùng núi cao, vùng khan hiếm nước. Nghiên cứu này sẽ trình bày phương pháp xây dựng bộ tiêu chí và kết quả đánh giá theo bộ tiêu chí cho khu vực Bắc Trung Bộ.

2. Dữ liệu và phương pháp nghiên cứu

2.1. Khu vực nghiên cứu

Theo Quyết định số 3318/QĐ-BTNMT ngày 19 tháng 12 năm 2019 của Bộ trưởng Bộ Tài nguyên và Môi trường về việc phê duyệt điều chỉnh dự toán kinh phí dự án “Điều tra tìm kiếm nguồn nước dưới đất tại các vùng núi cao, vùng khan hiếm nước” [5] thuộc Chương trình điều tra, tìm kiếm nguồn nước dưới đất để cung cấp nước sinh hoạt ở các vùng núi cao, vùng khan hiếm nước, phạm vi thực hiện dự án theo 5 khu vực: khu vực Bắc Bộ, khu vực Bắc Trung Bộ, khu vực Nam Trung Bộ, khu vực Tây Nguyên, khu vực Nam Bộ. Các vùng khan hiếm được lựa chọn dựa vào các nguyên tắc: các vùng thuộc miền núi thỏa mãn 2 điều kiện, có hệ số khu vực $\geq 0,5$ và chưa được điều tra, đánh giá tài nguyên nước dưới đất; các vùng trung du và đồng bằng thỏa mãn điều kiện là có hệ số khu vực $0,2$ và chưa được điều tra, đánh giá tài nguyên nước dưới đất phục vụ cấp

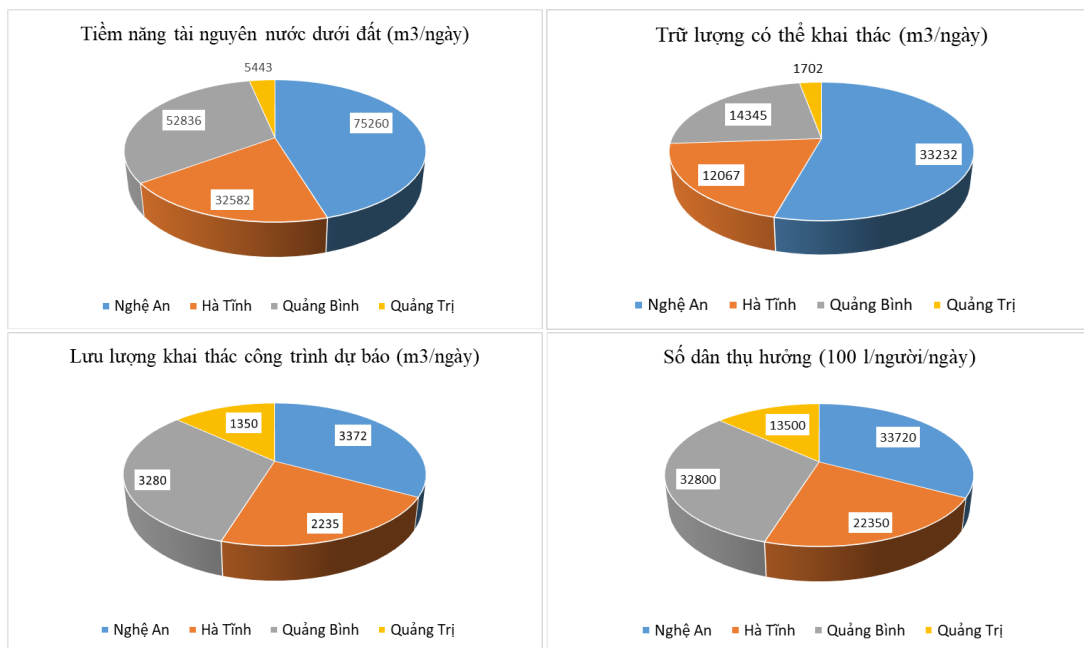


Hình 1. Sơ đồ các vùng khan hiếm nước thuộc khu vực Bắc Trung Bộ.

nước sinh hoạt. Trên cơ sở nguyên tắc trên khu vực Bắc Trung Bộ đã xác định được 24 vùng phân bố ở 4 tỉnh: Nghệ An (12 vùng thuộc các xã: Thọ Sơn, Mậu Đức, Đôn Phục, Châu Lộc, Hạ Sơn, Văn Lợi, Nghĩa Lợi, Nghĩa Thọ, Châu Thuận, Nghi Tiến, Nghi Yên, Thanh Xuân); Hà Tĩnh (06 vùng thuộc các xã: Sơn Ninh, Sơn Thọ, Đức An, Thạch Trị, Thạch Xuân, Xuân Lam); Quảng Bình (04 vùng thuộc các xã: Phúc Trạch, Thanh Hóa, Dân Hóa, Trung Hóa) và Quảng Trị (02 vùng thuộc các xã: Hương Phùng, Linh Thượng) là vùng núi cao, vùng khan hiếm nước (Hình 1).

Hiện trạng tài nguyên nước dưới đất khu vực Bắc Trung Bộ: Tổng tiềm năng tài nguyên nước dưới đất là 166.121 m³/ngày, trong đó Nghệ An với kết quả 75.260 m³/ngày với 12 vùng điều tra là tỉnh có tiềm năng tài nguyên nước dưới đất lớn nhất; Quảng Trị với 2 vùng điều tra, có tiềm năng nhỏ nhất là 5.443 m³/ngày [5]. Tổng trữ lượng có thể khai thác là 61.346 m³/ngày, tỉnh có trữ lượng có thể khai thác lớn nhất là Nghệ An với 33.232 m³/ngày, Quảng Trị với trữ lượng có thể khai thác nhỏ nhất, 1.702 m³/ngày [5].

Lưu lượng khai thác công trình dự báo là lưu lượng được tính toán trên cơ sở kết quả bơm thí nghiệm tại các lỗ khoan dự kiến khai thác trên cơ sở nhu cầu sử dụng nước của vùng. Trữ lượng công trình được tính toán với thời gian khai thác trong 27 năm. Kết quả tính toán lưu lượng khai thác công trình dự báo là 10.237 m³/ngày có khả năng cung cấp cho tổng số 102.370 người với tiêu chuẩn sử dụng nước 100 l/người/ngày. Trong khu vực Bắc Trung Bộ, Nghệ An có lưu lượng khai thác công trình dự báo lớn nhất, 3.372 m³/ngày; tiếp theo đó là Quảng Bình, Hà Tĩnh; Quảng Trị có lưu lượng khai thác công trình dự báo nhỏ nhất là 1.350,0 m³/ngày [5].



Hình 1. Hiện trạng tài nguyên nước dưới đất vùng núi cao, vùng khan hiếm nước thuộc khu vực Bắc Trung Bộ [5].

2.2. Dữ liệu sử dụng

Dữ liệu sử dụng trong báo cáo kế thừa từ kết quả thực hiện Dự án “Điều tra, tìm kiếm nguồn nước dưới đất tại các vùng núi cao, vùng khan hiếm nước”, giai đoạn 1 được triển khai thực hiện từ năm 2016-2020, khu vực Bắc Trung Bộ [5]. Đồng thời kết hợp với kết quả thu thập, điều tra, khảo sát bổ sung số liệu khí tượng thủy văn, hiện trạng khai thác, phong tục tập quán, các tác động đến công trình khai thác, tầng chứa nước [6].

Thông số các tầng chứa nước nghiên cứu được tổng hợp theo Bảng 1, trong đó các giá trị được ghi theo cấu trúc: giá trị nhỏ nhất - giá trị lớn nhất (giá trị trung bình) hoặc chỉ ghi giá trị trung bình.

Bảng 1. Thông số các TCN nghiên cứu [5, 7].

TT	TCN	Lưu lượng Q (l/s)	Hệ số dẫn nước Km (m ² /ng)	Hệ số thấm K (m/ng)	Chiều sâu mực nước Ht tính (m)
1	Neogen (n)	0,9 - 3,84	55,93	1,39	3,8 - 8,4
2	Trias trên (t ₃)	1,04 - 1,72	3,6 - 7,6	-	1,66 - 4,2
3	Trias giữa (t ₂)	1,21 - 2,4	20,67	0,26	1,71 - 6,18
4	Ocdovic - Silur (o3-s1)	1,27 - 4,2	52,27	0,84	3,05 - 9,58
5	Silua giữa (s ₂)	0,86 - 7,89	21,5 - 379,9 (143,2)	-	2,93 - 12,5
6	Silua giữa - devon dưới (S ₂ -d ₁)	1,2 - 3,2	8,21	0,09	3,34 - 5
7	Devon giữa (d ₂)	3,03 - 5,17	25,7 - 27 (26,35)	-	2,45 - 10,72
8	Devon dưới (d ₁)	1,2 - 5,2	-	-	5,4 - 7,2
9	Carbon - Pecmi (c-p)	1,27 - 7,82	102,23	1,19	2,45 - 13,02
10	Magma (g)	1,0 - 3,35	19,76 - 63,06 (40,26)	-	0 - 2,0 (1,23)
11	βq	0,7 - 1,4 (1,05)	4,12 - 4,71 (9,42)	-	6,5 - 16

2.2. Phương pháp nghiên cứu

- Phương pháp điều tra, thu thập dữ liệu: Thu thập, tổng hợp và hệ thống tài liệu, cũng như điều tra khảo sát thực tế về kinh tế, xã hội, phong tục tập quán và xác định cụ thể các tầng chứa nước, nguyên nhân suy thoái nguồn nước dưới đất.

- Phương pháp phân tích, kế thừa: Kế thừa các nghiên cứu trên thế giới và trong nước.

- Phương pháp phân tích dữ liệu: Thống kê, sử dụng GIS để thành lập sơ đồ các nguồn nước dưới đất cần bảo vệ.

- Phương pháp chuyên gia: Tổ chức các hội thảo, tham vấn ý kiến chuyên gia để lựa chọn bộ tiêu chí, cũng như các giải pháp.

- Phương pháp phân tích thứ bậc (AHP): để xác định trọng số và đánh giá các tiêu chí.

2.3. Cơ sở khoa học và thực tiễn

Dựa vào đặc điểm địa chất thủy văn, tiềm năng nước dưới đất vùng núi cao, vùng khan hiếm nước khu vực Bắc Trung Bộ và qua quá trình điều tra khảo sát và tổng hợp phân tích từ các dữ liệu nhận thấy, nguyên nhân suy thoái nguồn nước như sau: Khu vực tầng chứa nước có miền cấp trùng với miền phân bố của tầng chứa nước nên tạo điều kiện thuận lợi cho sự thấm thấu các chất gây ô nhiễm vào nước ngầm; Hiện tượng xói mòn đất do mưa lớn có thể cuốn theo các chất gây ô nhiễm từ bề mặt xuống nước ngầm; Do xâm nhập mặn; lũ lụt và hạn hán có thể làm thay đổi dòng chảy và sự thấm thấu của chất gây ô nhiễm nguồn nước ngầm; Thay đổi diện tích sử dụng đất; Khai thác nước khai thác quá mức gây suy giảm; Sử dụng phân bón hóa học và thuốc trừ sâu trong nông nghiệp; Chất thải từ hoạt động chăn nuôi; chưa đồng bộ, hệ thống hoá về quy trình vận hành khai thác nước; Phong tục tập quán và nhận thức cộng đồng có hạn chế trong khai thác và sử dụng nước.

Dựa vào kết quả của các công trình đã nghiên cứu trên thế giới như ở Ấn Độ, Trung Quốc, Brazil, Mỹ,... [1, 8–18] và Việt Nam như ở đồng bằng Bắc Bộ, đồng bằng Nam Bộ, Hà Nội, Tây Nguyên, ... [3, 4, 19, 20].

3. Kết quả và thảo luận

3.1. Xây dựng bộ tiêu chí bảo vệ, chống suy thoái nguồn nước dưới đất

3.1.1. Đề xuất bộ tiêu chí

Trên cơ sở các kết quả nghiên cứu, nguyên nhân gây suy thoái nguồn nước dưới đất vùng núi cao, vùng khan hiếm nước khu vực Bắc Trung Bộ và tham vấn ý kiến của các chuyên gia, nhóm tác giả đã xây dựng bộ tiêu chí bảo vệ, chống suy thoái nguồn nước dưới đất cụ thể. Chi tiết như sau:

1) Nhóm tiêu chí chống suy thoái về trữ lượng

* Tiêu chí 1: Về nguồn cấp

Đánh giá thay đổi về lượng bổ cấp cho miền cấp của nguồn nước dưới đất do ảnh hưởng của lượng mưa, thảm phủ, thay đổi đất rừng.

Tiêu chí này được đánh giá qua các chỉ số bao gồm:

+ Chỉ số 1 (I_1): Chỉ số đánh giá mức độ suy giảm về thảm phủ. Được đánh giá bằng sự suy giảm diện tích rừng: Suy giảm nhiều: 3 điểm, Suy giảm trung bình: 2 điểm, Suy giảm ít: 1 điểm.

$$I_1 = \frac{\text{Diện tích rừng năm 2016} - \text{Diện tích rừng năm 2021}}{\text{Diện tích rừng năm 2016}} \times 100\% \quad (1)$$

+ Chỉ số 2 (I_2): Chỉ số đánh giá về lượng mưa. Được đánh giá thông qua mức độ suy giảm lượng mưa trong vòng 10 năm kể từ năm nghiên cứu. Suy giảm > 20%: 3 điểm, từ 10-20%: 2 điểm, < 10%: 1 điểm.

$$I_2 = \frac{\text{Tổng lượng mưa năm 2011} - \text{Tổng lượng mưa năm 2021}}{\text{Tổng lượng mưa năm 2011}} \times 100\% \quad (2)$$

+ Chỉ số 3 (I_3): Chỉ số đánh giá về chiều sâu mực nước. Được đánh giá qua chiều sâu mực nước tĩnh > 20 m: 3 điểm, > 10-20 m: 2 điểm, < 10 m: 1 điểm.

Điểm của tiêu chí được tính bằng Σ (Điểm chỉ số \times Trọng số của chỉ số).

* Tiêu chí 2: Về trữ lượng khai thác an toàn tránh ô nhiễm, xâm nhập mặn, sụt lún nền đất

Tiêu chí này đánh giá khả năng đáp ứng khai thác tránh ô nhiễm, xâm nhập mặn, sụt lún nền đất [3]. Được đánh giá qua chỉ số 4: Chỉ số về trữ lượng khai thác an toàn

$$I_4 = \frac{\text{Tổng lượng khai thác nước dưới đất}}{\text{Trữ lượng khai thác an toàn}} \times 100\% \quad (3)$$

Có ba kịch bản đánh giá: Kịch bản 1: Tổng lượng khai thác < Trữ lượng khai thác an toàn nước dưới đất, tức là < 80 %, được tính 1 điểm; Kịch bản 2: Tổng lượng khai thác \approx Trữ lượng khai thác an toàn nước dưới đất, tức là 80% - 100%, được tính 2 điểm; Kịch bản 3: Tổng lượng khai thác > Trữ lượng khai thác an toàn nước dưới đất, tức là > 100%, được tính 3 điểm.

* Tiêu chí 3: Về giới hạn khai thác công trình

Giới hạn mực nước khai thác là mức độ tối đa mà nước ngầm có thể được khai thác từ một tầng chứa nước hoặc một nguồn nước ngầm cụ thể mà không gây ra các tác động tiêu cực đến môi trường và tài nguyên nước [3], được tính toán theo công thức như sau:

$$I_5 = \frac{\text{Tổng lượng khai thác nước dưới đất}}{\text{Tổng lượng bổ cấp tự nhiên}} \times 100\% \quad (4)$$

Có ba kịch bản đánh giá: Kịch bản 1: Đảm bảo khai thác an toàn: Tổng lượng hút ra \leq Tổng lượng bổ cấp tự nhiên, $I_5 < 80\%$: 1 điểm; Kịch bản 2: Khai thác kết hợp bổ sung nhân tạo trữ lượng: Tổng lượng hút ra gần bằng Tổng lượng bổ cấp tự nhiên, tức là $I_5 = 80-100\%$: 2 điểm; Kịch bản 3: Khai thác không an toàn, cần hạn chế khai thác: Tổng lượng hút ra > Tổng lượng bổ cấp tự nhiên, tức là $I_5 > 100\%$: 3 điểm.

Chỉ số đánh giá giới hạn mực nước khai thác được tính bằng tỷ lệ của chiều sâu hạ thấp mực nước của lỗ khoan so với ngưỡng mực nước khai thác cho phép.

$$I_6 = \frac{\text{Chiều sâu hạ thấp mực nước của lỗ khoan}}{\text{Ngưỡng mực nước khai thác cho phép}} \times 100\% \quad (5)$$

Chỉ số I_6 được phân thành 3 cấp như sau: $I_6 > 60\%$: tính 3 điểm; $30 < I_6 \leq 60\%$: tính 2 điểm; $0 < I_6 \leq 30\%$: tính 1 điểm.

Điểm của tiêu chí được tính bằng Σ (điểm tiêu chí \times trọng số của chỉ số).

Theo Khoản 2, Điều 32 Nghị định 53/2024/NĐ-CP ngày 16/5/2024 của Thủ tướng Chính phủ, quy định chi tiết thi hành một số điều của Luật Tài nguyên nước, ngưỡng khai thác nước dưới đất cho phép khu vực Bắc Trung Bộ là không vượt quá 50m.

2) Nhóm tiêu chí chống suy thoái về môi trường

* Tiêu chí 4: Về nguy cơ xâm nhập mặn nước dưới đất

Tiêu chí về nguy cơ xâm nhập mặn nước dưới đất được đánh giá khoảng cách từ ranh mặn 1,5 gram/lít đến công trình khai thác gần nhất. Chỉ số I_7 được phân thành 3 cấp: $I_7 \leq 1$ km: được tính 3 điểm; $1 \text{ km} < I_7 \leq 2 \text{ km}$: tính 2 điểm; $I_7 > 2 \text{ km}$: tính 1 điểm.

* Tiêu chí 5: Về nguy cơ ô nhiễm

Tiêu chí này được đánh giá dựa trên 2 chỉ số là Chỉ số 8 (I_8): Chỉ số đánh giá ảnh hưởng của chất gây ô nhiễm và Chỉ số 9 (I_9): Chỉ số đánh giá ảnh hưởng của nguồn có nguy cơ gây ô nhiễm.

Chỉ số 8 (I_8) được đánh giá bằng kết quả phân tích mẫu nước dưới đất so với Quy chuẩn 09:2023/BTNMT, quy chuẩn kỹ thuật quốc gia về chất lượng nước dưới đất và phân thành 3 cấp: Xuất hiện Ô nhiễm vi lượng (gồm các chỉ tiêu: As, Cd, Pb, Cr, Cu, Zn, Mn, g, CN, Phenol), Thuốc BVTV, phóng xạ, TDS: 3 điểm; Xuất hiện ô nhiễm ni tơ, sắt, vi sinh (Coliform, E. Coli): 2 điểm; Không xuất hiện ô nhiễm: 1 điểm.

Chỉ số 9 (I_9) được đánh giá dựa trên khoảng cách từ nguồn có khả năng gây ô nhiễm đến vùng nghiên cứu và phân chia thành 3 cấp, xác định như sau: $I_9 \leq 1$ km: 3 điểm; $1 \text{ km} < I_9 \leq 2$ km: 2 điểm; $I_9 > 2$ km và vùng không ảnh hưởng: 1 điểm.

Điểm của tiêu chí được tính bằng Σ (điểm tiêu chí x trọng số của chỉ số).

* Tiêu chí 6: Khả năng tự bảo vệ của nguồn nước dưới đất

Tiêu chí này đánh giá khả năng tự bảo vệ của các tầng chứa nước [3, 21], được đánh giá thông qua Chỉ số 10 (I_{10}): Chỉ số khả năng tự bảo vệ của nguồn nước.

Để tính toán I_{10} , nhóm tác giả sử dụng phương pháp GOD để phân vùng tự bảo vệ tầng chứa nước, do Foster đưa ra năm 1987. Các chữ viết tắt của GOD có ý nghĩa như sau: G - Tính chất áp lực của tầng chứa nước (có áp, bán áp, không áp...); O - Thành phần lớp phủ; D - Độ sâu đến mực nước dưới đất. Chỉ số I_{10} được phân thành 3 cấp. Tự bảo vệ tốt: 1 điểm; Tự bảo vệ trung bình: 2 điểm; Tự bảo vệ kém và rất kém: 3 điểm.

3) Nhóm tiêu chí chống suy thoái do yếu tố kinh tế - xã hội

* Tiêu chí 7: Về chế độ vận hành, bảo dưỡng công trình khai thác

Tiêu chí này được đánh giá thông qua Chỉ số 11 (I_{11}): Chỉ số về chế độ vận hành của công trình. Nguyên tắc cho điểm của chỉ số dựa trên: thời gian vận hành càng dài thì chi phí vận hành và chi phí bảo dưỡng càng tăng. $I_{11} < 6$ h/ngày: 1 điểm; $6 \leq I_{11} < 12$ h/ngày: 2 điểm; $I_{11} > 12$ h: 3 điểm.

* Tiêu chí 8: Về phong tục tập quán trong khai thác nước

Tiêu chí này được đánh giá dựa trên số lượng dân tộc thuộc nhóm dân tộc ít người (theo thống kê dân số Việt Nam, Tổng cục thống kê năm 2019) [22] sinh sống ở khu vực nghiên cứu. Tiêu chí này được đánh giá thông qua Chỉ số I_{12} được phân thành 3 cấp. Nhóm dân tộc < 10.000 người: 3 điểm; Nhóm dân tộc 100.000 - 1 triệu người: 2 điểm; Nhóm dân tộc > 1 triệu người: 1 điểm.

* Tiêu chí 9: Về giá nước

Tiêu chí này đánh giá mức độ chênh đơn giá nước của các địa phương với mức trần giá nước cho khu vực nông thôn theo Thông tư 44/2021/TT-BTC. Được đánh giá thông qua Chỉ số 13 (I_{13}) được phân thành 3 cấp: $0 \leq I_{13} \leq 2000$ đ: 3 điểm; $2000 < I_{13} \leq 5000$: 2 điểm; $I_{13} > 5000$ đ: 1 điểm.

* Tiêu chí 10: Tiêu chí về cơ chế, chính sách quản lý tài nguyên nước

Tiêu chí về cơ chế, chính sách quản lý tài nguyên nước đánh giá về mức độ quan tâm về quản lý đối với tài nguyên nước, thông qua việc ban hành các văn bản về quản lý tài nguyên nước của tỉnh bao gồm: Quy hoạch TNN; Phân vùng cấm, vùng hạn chế khai thác nước dưới đất; Kèm kê tài nguyên nước; Danh mục nguồn nước cần lập hành lang bảo vệ; Danh mục nguồn nước nội tỉnh; Danh mục hồ ao không được phép san lấp, ... Được phân thành 3 cấp: $I_{14} < 4$ văn bản - Mức độ quản lý (QL) thấp: 3 điểm; $4 \leq I_{14} \leq 6$ văn bản - Mức độ QL trung Bình: 2 điểm; $I_{14} > 6$ văn bản - Mức độ QL Cao: 1 điểm.

* Tiêu chí 11: Tiêu chí về nhận thức cộng đồng

Tiêu chí này được đánh giá qua 3 chỉ số:

Chỉ số 15 (I₁₅) - CF: Khả năng tài chính Thông số này được đánh giá khi quan sát thấy thặng dư thu so với chi trong mối tương quan với mức tối thiểu và tối đa của quốc gia [1]. Các giá trị tối thiểu và tối đa này được sử dụng làm chuẩn để tính giá trị cho chỉ báo tài chính (CF), như thể hiện trong biểu thức:

$$I_{15}(C_F) = 100 - \left(\frac{F_{\max} - s}{F_{\max} - F_{\min}} \times 100 \right) \tag{6}$$

Trong đó F_{min} là thặng dư tối thiểu bình quân đầu người của quốc gia; F_{max} là thặng dư tối đa bình quân đầu người của quốc gia; s là thặng dư trung bình bình quân đầu người của khu vực nghiên cứu.

Chỉ số 16 (I₁₆) - CE Giáo dục Giá trị chỉ số được đánh giá dựa trên trình độ học vấn trong xã hội [1].

Điểm của chỉ số (I₁₆) được tính toán dựa trên tỷ lệ phần trăm dân số dưới độ tuổi 18-50 đã đạt trình độ trung học phổ thông:

$$I_{16}(C_E) = 100 - \left(\frac{E_{\max} - e}{E_{\max} - E_{\min}} \times 100 \right) \tag{7}$$

Trong đó E_{max} là vùng có phần trăm dân số có trình độ tối thiểu là THPT nhiều nhất của quốc gia; E_{min} là vùng có phần trăm dân số có trình độ tối thiểu là THPT ít nhất của quốc gia; e là phần trăm dân số có trình độ tối thiểu là THPT của vùng nghiên cứu.

C_E = 100 nếu e = 76,56%; C_E = 0, nếu e = 54,86%; nếu 54,86% < e < 76,56%, thì phương trình trên được sử dụng.

Chỉ số 17 (I₁₇) - P_{TV}: Đào tạo Chỉ số này phản ánh năng lực của xã hội về mặt xử lý tài nguyên nước ngọt sau khi trao quyền cho họ bằng đào tạo cơ bản về xử lý và quản lý tài nguyên nước [1]. Để tính điểm cho chỉ số này (PTV), phần trăm số người được đào tạo và trao quyền đã được tính toán và nhân với một hệ số cho các lĩnh vực khác nhau như thể hiện trong biểu thức sau với hệ số được đào tạo công nghiệp là 1, đào tạo khác là 0,5 và không được đào tạo là 0.

$$I_{17}(P_{TV}) = (n + 0.5t) \times 100 \tag{8}$$

Trong đó n là số % người được trao quyền có đào tạo với các kỹ năng công nghiệp; t là số % người được đào tạo khác liên quan; Thang điểm đánh giá chỉ số I₁₅, I₁₆, I₁₇ như sau: < 50%: 3 điểm; 50-75%: 2 điểm; > 75%: 1 điểm.

Điểm tiêu chí bằng điểm trung bình cộng của các chỉ số.

3.2. Xác định trọng số bộ tiêu chí

3.2.1. Phương pháp xác định trọng số bộ tiêu chí

Mục đích là để sử dụng Bộ tiêu chí đánh giá mức độ bảo vệ, chống suy thoái phục vụ khai thác bền vững nguồn nước dưới đất vùng nghiên cứu. Sử dụng phương pháp phân tích thứ bậc (AHP) [23] để lựa chọn trọng số của các tiêu chí trong nhóm tiêu chí. Đối với các tiêu chí có 2 chỉ số, sử dụng phương pháp chuyên gia để xác định tiêu chí quan trọng hơn. Đối với các tiêu chí có từ 3 chỉ số trở lên, sử dụng phương pháp AHP để xác định trọng số cho các chỉ số trong tiêu chí.

Bảng 2. Bộ tiêu chí bảo vệ, chống suy thoái phục vụ khai thác bền vững nguồn nước dưới đất vùng núi cao, vùng khan hiếm nước thuộc khu vực Bắc Trung Bộ.

STT	Hiện trạng suy giảm về trữ lượng						Hiện trạng suy giảm về môi trường				Hiện trạng suy giảm do yếu tố kinh tế - xã hội						
	TC1	TC2	TC3	TC4	TC5	TC6	TC7	TC8	TC9	TC10	TC11	TC12	TC13	TC14	TC15	TC16	
Tên chỉ số	I1	I2	I3	I4	I5	I6	I7	I8	I9	I10	I11	I12	I13	I14	I15	I16	I17
Trọng số các nhóm tiêu chí	1,0						1,0				1,0						
Trọng số các tiêu chí	0,51	0,19	0,31	0,443	0,3873	0,17	0,07	0,14	0,11	0,25	0,44						

STT	Hiện trạng suy giảm về trữ lượng			Hiện trạng suy giảm về môi trường			Hiện trạng suy giảm do yếu tố kinh tế - xã hội										
	TC1	TC2	TC3	TC4	TC5	TC6	TC7	TC8	TC9	TC10	TC11						
Trọng số các chỉ số	0,22	0,46	0,32	1	0,4	0,6	1	0,6	0,4	1	1	1	1	1	1	1	1
Điểm tổng đánh giá mức độ bảo vệ, chống suy thoái nguồn nước	<p>< 4: Mức độ bảo vệ, chống suy thoái nguồn nước Tốt</p> <p>4 - 6 : Mức độ bảo vệ, chống suy thoái nguồn nước Trung Bình</p> <p>> 6: Mức độ bảo vệ, chống suy thoái nguồn nước Kém</p>																

3.2.2. Kiểm tra phù hợp của trọng số đề xuất

a) Tiêu chí nhóm 1:

Kết quả kiểm tra tính phù hợp của trọng số các tiêu chí thuộc nhóm tiêu chí 1 như sau:

Bảng 3. Tính tính phù hợp của trọng số nhóm tiêu chí 1.

Giá trị riêng lớn nhất của ma trận so sánh cặp	$y_{max} =$	3,01
Chỉ số ngẫu nhiên	RI =	0,58
Chỉ số nhất quán	CI =	0,01
Tỷ lệ nhất quán	CR =	0,92

Kết luận: $CR = 0,92\% < 10\%$, đạt yêu cầu.

Kết quả kiểm tra tính phù hợp của trọng số các chỉ số thuộc tiêu chí 1 như sau:

Bảng 4. Tính tính phù hợp của trọng số tiêu chí 1.

Giá trị riêng lớn nhất của ma trận so sánh cặp	$y_{max} =$	3,09
Chỉ số ngẫu nhiên	RI =	0,58
Chỉ số nhất quán	CI =	0,05
Tỷ lệ nhất quán	CR =	8,14

Kết luận: $CR = 8,14\% < 10\%$, đạt yêu cầu

b) Tiêu chí nhóm 2:

Bảng 5. Tính tính phù hợp của trọng số nhóm tiêu chí 2.

Giá trị riêng lớn nhất của ma trận so sánh cặp	$y_{max} =$	3,02
Chỉ số ngẫu nhiên	RI =	0,58
Chỉ số nhất quán	CI =	0,01
Tỷ lệ nhất quán	CR =	1,78

Kết luận: $CR = 1,78\% < 10\%$, đạt yêu cầu.

c) Tiêu chí nhóm 3:

Bảng 6. Tính tính phù hợp của trọng số nhóm tiêu chí 3.

Giá trị riêng lớn nhất của ma trận so sánh cặp	$y_{max} =$	5,19
Chỉ số ngẫu nhiên	RI =	1,12
Chỉ số nhất quán	CI =	0,05
Tỷ lệ nhất quán	CR =	4,27

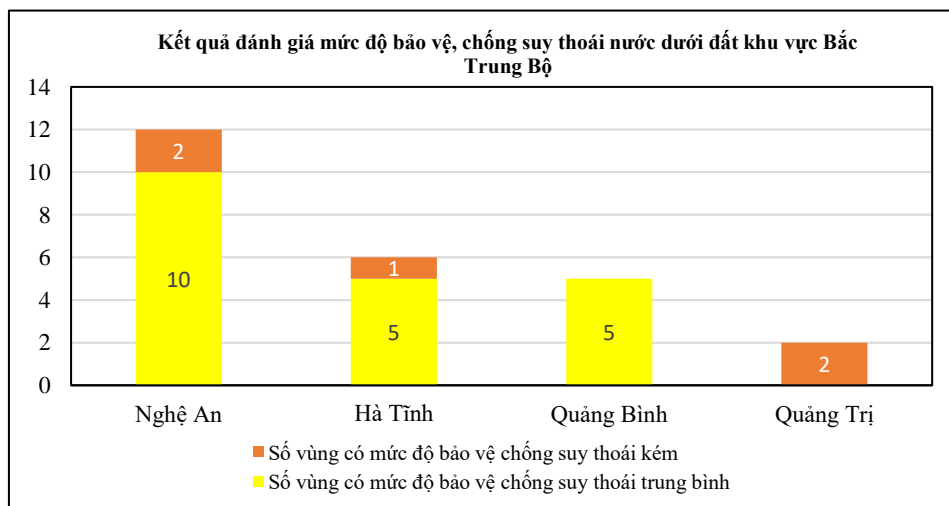
Kết luận: $CR = 4,27\% < 10\%$, đạt yêu cầu.

3.3. Kết quả tính toán định lượng bộ tiêu chí

Trên cơ sở bộ tiêu chí, nghiên cứu đã định lượng bộ tiêu chí cho vùng núi cao, vùng khan hiếm nước khu vực Bắc Trung Bộ được thể hiện trong bảng 7.

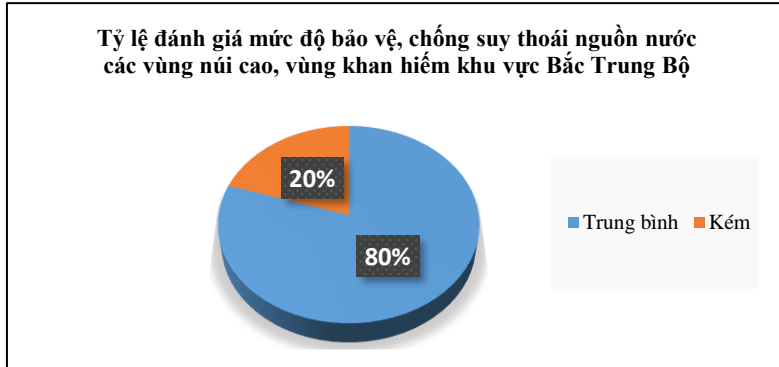
Bảng 7. Kết quả tính toán định lượng bộ tiêu chí bảo vệ, chống suy thoái phục vụ khai thác bền vững nguồn nước dưới đất vùng núi cao, vùng khan hiếm nước thuộc khu vực Bắc Trung Bộ.

STT	Tỉnh	Vùng	Tầng chứa nước	Điểm đánh giá hiện trạng suy giảm về trữ lượng	Điểm đánh giá hiện trạng suy giảm về môi trường	Điểm đánh giá hiện trạng suy giảm do yếu tố kinh tế - xã hội	Điểm tổng đánh giá mức độ bảo vệ, chống suy thoái nguồn nước	Đánh giá
1		Châu Lộc	c-p	1,58	1,34	2,19	5,11	Trung bình
2		Châu Thuận	c-p	1,40	1,57	2,12	5,09	Trung bình
3		Đôn Phục	n	1,74	1,40	2,19	5,34	Trung bình
4		Hạ Sơn	c-p	1,78	1,49	1,89	5,16	Trung bình
5		Mậu Đức	s ₂ - d ₁	1,96	1,40	2,19	5,55	Trung bình
6	Nghệ An	Nghi Tiến	t ₃	1,74	2,54	2,12	6,40	Kém
7		Nghi Yên	t ₃	1,56	2,54	2,19	6,28	Kém
8		Nghĩa Lợi	t ₂	2,14	1,34	2,19	5,67	Trung bình
9		Nghĩa Thọ	βq	1,82	1,88	2,19	5,89	Trung bình
10		Thanh Xuân	t ₂	1,78	1,49	1,68	4,95	Trung bình
11		Thọ Sơn	c-p	1,67	1,34	1,75	4,76	Trung bình
12		Văn Lợi	c-p	1,78	1,80	2,33	5,91	Trung bình
13		Thạch Trị	n	1,54	1,73	2,44	5,70	Trung bình
14		Thạch Xuân	t	1,54	1,88	2,44	5,86	Trung bình
15	Hà Tĩnh	Đức An	t ₂	1,54	2,11	2,44	6,09	Kém
16		Sơn Ninh	o ₃ - s ₁	1,43	1,80	2,44	5,67	Trung bình
17		Sơn Thọ	o ₃ - s ₁	1,94	1,57	2,44	5,95	Trung bình
18		Xuân Lam	g	1,74	1,65	2,44	5,83	Trung bình
19		Dân Hóa	d ₂	1,32	1,80	2,44	5,56	Trung bình
20		Thanh Hóa	d ₂	1,16	1,40	2,44	5,00	Trung bình
21	Quảng Bình	Trung Hóa	c-p	1,32	1,57	2,44	5,33	Trung bình
22		Phúc Trạch	d ₁	1,69	1,88	2,30	5,88	Trung bình
			c-p	1,69	1,88	2,30	5,88	Trung bình
23	Quảng Trị	Hương Phùng	s ₂	1,53	2,69	2,44	6,66	Kém
24		Linh Thượng	o ₃ - s ₁	1,69	2,69	2,44	6,82	Kém

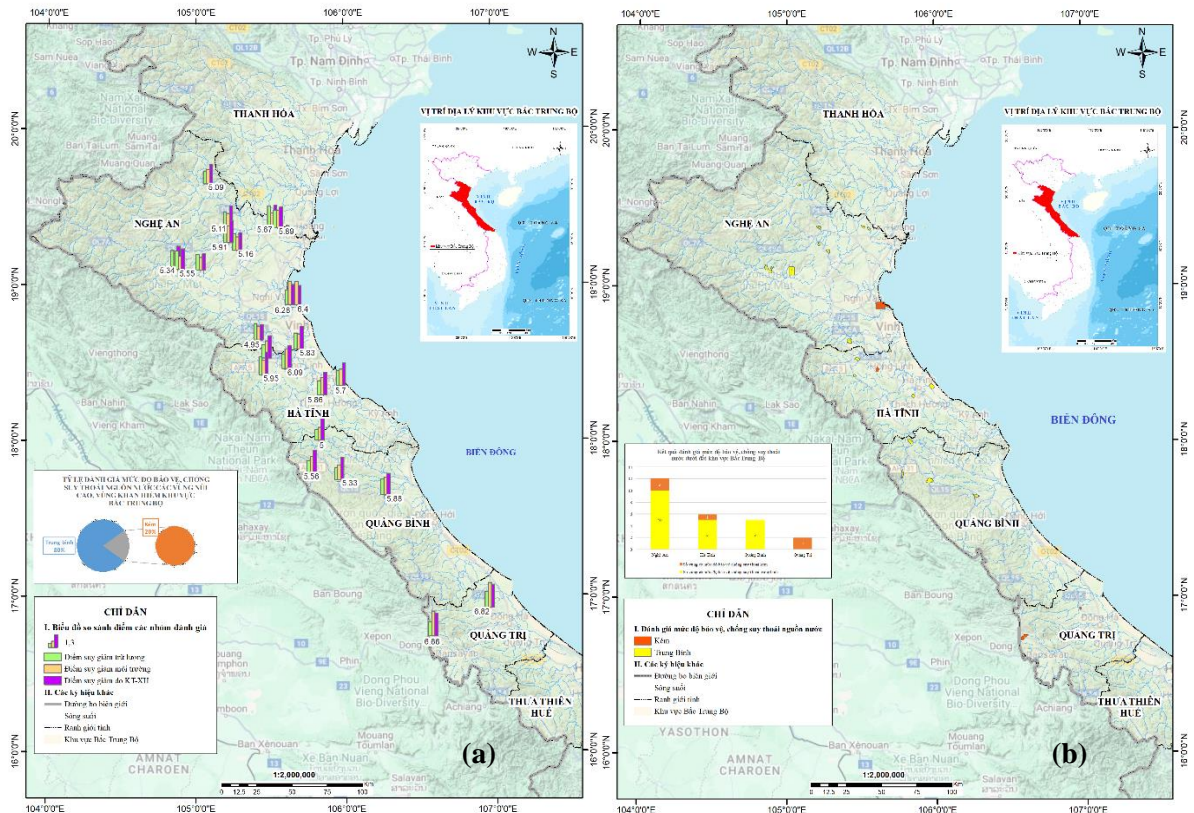


Hình 2. Biểu đồ kết quả đánh giá mức độ bảo vệ, chống suy thoái nước dưới đất vùng núi cao, vùng khan hiếm nước thuộc khu vực Bắc Trung Bộ.

Qua hình 2, kết quả đánh giá cho thấy: Tại khu vực Bắc Trung Bộ có 20 vùng có mức độ bảo vệ, chống suy thoái trung bình, trong đó tỉnh Nghệ An có 10 vùng, tỉnh Hà Tĩnh có 5 vùng, tỉnh Quảng Bình có 5 vùng (chiếm tỷ lệ 100%); 5 vùng có mức độ bảo vệ, chống suy thoái kém, trong đó tỉnh Nghệ An có 2 vùng, tỉnh Hà Tĩnh có 1 vùng và tỉnh Quảng Trị 2 vùng (chiếm tỷ lệ 100%).



Hình 3. Biểu đồ tỷ lệ đánh giá mức độ bảo vệ, chống suy thoái nước dưới đất vùng núi cao, vùng khan hiếm nước thuộc khu vực Bắc Trung Bộ.



Hình 4. (a) Bản đồ thể hiện đánh giá mức độ bảo vệ, chống suy thoái nước dưới đất theo các nhóm đánh giá về trữ lượng, môi trường, KT-XH khu vực Bắc Trung Bộ; (b) Bản đồ thể hiện kết quả đánh giá mức độ bảo vệ, chống suy thoái nước dưới đất vùng núi cao, vùng khan hiếm nước thuộc khu vực Bắc Trung Bộ.

Hình 4(a) cho thấy mức độ bảo vệ, chống suy thoái nước dưới đất theo các nhóm, trong đó mức độ bảo vệ, chống suy thoái của nhóm trữ lượng chiếm tỷ lệ cao nhất và nhóm suy giảm do yếu tố kinh tế xã hội là thấp nhất.

Hình 4(b) cho thấy vùng có mức độ bảo vệ, chống suy thoái nước dưới đất kém phân bố chủ yếu ở khu vực ven biển và vùng núi cao sát biên giới với Lào.

4. Kết luận và kiến nghị

Như vậy, từ kết quả nghiên cứu cho thấy vùng núi cao, vùng khan hiếm nước khu vực Bắc Trung Bộ có 11 tầng chứa nước tuổi từ Neogen đến Cacbon - Pecmi với lưu lượng khai thác công trình dự báo là 10.237 m³/ngày, có khả năng cung cấp cho tổng số 102.370 người ứng với tiêu chuẩn sử dụng nước 100 l/người/ngày.

Để bảo vệ và chống suy thoái nguồn nước ngầm khu vực này, nhóm tác giả đã xây dựng được bộ tiêu chí, gồm có 3 nhóm tiêu chí: Nhóm tiêu chí chống suy thoái về trữ lượng có 3 tiêu chí và 6 chỉ số; Nhóm tiêu chí chống suy thoái về môi trường (có 4 tiêu chí và 5 chỉ số); Nhóm tiêu chí chống suy thoái do yếu tố kinh tế - xã hội (có 4 tiêu chí và 6 chỉ số). Kết quả định lượng mức độ bảo vệ, chống suy thoái nguồn nước dưới đất ở khu vực có 5 vùng có mức độ bảo vệ chống suy thoái kém và 19 vùng có mức độ bảo vệ chống suy thoái trung bình, các vùng có mức độ chống suy thoái kém phân bố ở Nghệ An, Hà Tĩnh, Quảng Trị. Nguyên nhân chống suy thoái kém chủ yếu do các yếu tố suy giảm về chất lượng và do các yếu tố về quản lý tái nguyên nước, nhận thức cộng đồng.

Từ kết quả đánh giá bộ tiêu chí bảo vệ và chống suy thoái nguồn nước dưới đất nhóm tác giả đã sơ bộ xác định được các nguyên nhân dẫn đến suy thoái của khu vực nghiên cứu, từ đó đề xuất được các giải pháp khoa học, kỹ thuật cũng như những chính sách hỗ trợ để giảm thiểu suy thoái, bảo vệ và đảm bảo khai thác bền vững nguồn nước dưới đất [24, 25]. Các giải pháp bổ sung nhân tạo và chế độ khai thác hợp lý nguồn nước dưới đất là rất cần thiết, cũng như cần giám sát chặt chẽ vùng bảo hộ vệ sinh khu vực lấy nước sinh hoạt và vùng bảo vệ miền cấp (vùng bổ cấp) tại các công trình với bán kính vùng cho từng công trình tối thiểu là 20m, diện tích bảo vệ vùng bổ cấp từ 0,7 đến 11,0 km².

Các vùng nghiên cứu của Đề tài trải dài ở nhiều vùng khác nhau trên lãnh thổ, bộ tiêu chí được xây dựng cho 5 khu vực Bắc Bộ, Bắc Trung Bộ, Nam Trung Bộ, Tây Nguyên, Nam Bộ, mỗi khu vực đều có những đặc điểm cấu trúc địa chất, địa chất thủy văn, đặc điểm dân cư kinh tế xã hội khác nhau nên các tiêu chí đánh giá và mức độ ảnh hưởng của mỗi tiêu chí ở mỗi vùng cũng có sự khác nhau. Việc đưa ra các tiêu chí cũng như cách đánh giá các tiêu chí có thể có nhiều quan điểm khác nhau tuy nhiên nhóm tác giả đã cố gắng tận dụng phân tích các dữ liệu thực tiễn cũng như trao đổi, tham vấn ý kiến các chuyên gia trong các lĩnh vực để đưa ra được bộ tiêu chí và nguyên tắc đánh giá các tiêu chí đơn giản, hiệu quả nhằm đáp ứng cho nhu cầu áp dụng thực tế bộ tiêu chí ở các địa phương sau khi đề tài kết thúc.

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

Lời cảm ơn: Xin được cảm ơn Đề tài ĐTDL.CN-63/21 “Nghiên cứu xây dựng bộ tiêu chí nhằm quản lý, bảo vệ, chống suy thoái phục vụ khai thác bền vững nguồn nước dưới đất vùng núi cao, vùng khan hiếm nước” đã cung cấp số liệu và tài liệu để viết bài báo này.

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

Tài liệu tham khảo

1. Ajit, P.S., Bhatar, P. Development of groundwater sustainability index: a case study of westein arid region of Rajasthan, India. *Environ. Dev. Sustainability* **2021**, 23, 1844–1868.
2. Wang, Z.; Wu, Q.I.A.N.G. Development of groundwater sustainability indicators. IAHS Publication, 2006, 302, pp. 29.

3. Canh, D.V. Nghiên cứu đề xuất các tiêu chí và phân vùng khai thác bền vững, bảo vệ tài nguyên nước dưới đất vùng đồng bằng Bắc Bộ và đồng bằng Nam Bộ, Mã số: KC.08.06/11-15. Báo cáo tổng kết đề tài, 2015.
4. Hoa, L.T., T.X.Q. Đề xuất bộ chỉ số tài nguyên nước phục vụ công tác quản lý, bảo vệ tài nguyên nước trong tăng trưởng xanh. Đại học Duy Tân, 2017.
5. Hoan, H.V. Báo cáo kết quả giai đoạn 1 dự án “Điều tra, tìm kiếm nguồn nước dưới đất tại các vùng núi cao, vùng khan hiếm nước”, kèm theo quyết định số 673/QĐ-BTNMT ngày 06 tháng 4 năm 2022, Bộ trưởng Bộ Tài nguyên và Môi trường phê duyệt kết quả và quyết toán nhiệm vụ chuyên môn hoàn thành giai đoạn 1 dự án “Điều tra, tìm kiếm nguồn nước dưới đất tại các vùng núi cao, vùng khan hiếm nước”. Trung tâm Quy hoạch và Điều tra tài nguyên nước quốc gia, 2020.
6. Dan, N.V.; Vo, L.V.; Suu, G.; Ty, Đ.T.; Hai, N.T.; Thanh, T.N. Nước dưới đất đồng bằng ven biển Bắc Trung bộ. Cục Địa chất và Khoáng sản, 1996.
7. Tam, V.T. Báo cáo “Biên hội - thành lập bản đồ tài nguyên nước dưới đất tỷ lệ 1/200.000 cho các tỉnh trên toàn quốc”. Trung tâm Quy hoạch và Điều tra tài nguyên nước quốc gia, 2018.
8. Anna, B. Sustainability of groundwater resources and its indicators. Proceedings of symposium S3 held during the Seventh IAHS Scientific Assembly at Foz do Iguacu, Brazil, April 2005). IAHS Publ. 302, 2006.
9. Alley, W.M.; Reilly, T.E.; Franke, O.E. Sustainability of GW resources. U.S. Geological Survey Circular 1186, Denver, Colorado, 1999, pp. 79.
10. APN project. Enhancing the groundwater management capacity in Asian cities through the development and application of groundwater sustainability index in the context of global change. Project Reference Number: CBA2013-06NSY-SHRESTHA.
11. James, J.M.; Neil, A.L.; David, J.D.; Kasey, S.W. Climate Change: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Published by the press syndicate of the University of Cambridge, 2001.
12. Joseph, B.M.; James, N. A Hybrid AHP and Taguchi Loss Function Method for Supplier Selection. *J. Supply Chain Manage. Syst.* **2018**, 7(4), 20–30.
13. Melissa, M.R.; John, C.S.; Micheal, B.S.; Dar, A.R.; Kelly, K.C.; Christine, M.A. Establishing ecological thresholds and targets for groundwater management. *Nature Water* **2024**, 2, 312–323.
14. Russell, C. The Hydrological Impacts of Climate Change on Groundwater, 2007.
15. US geological survey. Effects of climate variability and change on groundwater resources of the United States. Fact Sheet 2009-3074, 2009.
16. Vrba, J.; Zaporozec, A. (Eds). Guidebook on mapping groundwater vulnerability. IAH/UNESCO, Vol.16. Heise, Hannover, 1994.
17. Vrba, J.; Girman, J.; van der Gun, J.; Haie, N.; Hirata, R.; Lopez-Gunn, E.; ... Wallin, B. Groundwater resources sustainability indicators. A. Lipponen (Ed.). Paris: Unesco, 2007, pp. 114.
18. William, C.W. Groundwater resource evaluation. McGraw-Hill Book Company, NewYork, 1970.
19. Giang, N.V. Nghiên cứu, xây dựng bộ tiêu chí bảo vệ các tầng chứa nước trong trầm tích Đệ tứ khi thi công xây dựng công trình ngầm. Áp dụng cho TP. Hà Nội, Mã số TNMT.2016.02.03. Báo cáo tổng kết đề tài, 2017.
20. Nguyet, V.T.M.; Canh, Đ.V.; Phuc, Đ.Đ.; Minh, T. Nghiên cứu xác lập tiêu chí, phương pháp và quy trình đánh giá trữ lượng khai thác nước dưới đất. Áp dụng thử nghiệm tại một số khu vực. Viện Khoa học Địa chất và Khoáng sản, 2009.
21. Aller, L.; Bennet, T.; Lehr, J.H.; Petty, R.J.; Hackett, G. DRASTIC: A Standardized System for Evaluating Groundwater Pollution Potential Using Hydrogeologic Settings. US Environmental Protection Agency. Ada, Oklahoma. EPA/600/2-87-036, 1987.

22. Tổng cục Thống kê. Dân số các dân tộc Việt Nam. Thông tin dân số, <https://danso.info/dan-so-cac-dan-toc-viet-nam/>.
23. Truong, N.H. Áp dụng phương pháp phân tích thứ bậc (AHP) trong lựa chọn phương án thiết kế các dự án thủy lợi. Trung tâm tư vấn PIM - Viện Khoa học Thủy lợi Việt Nam, 2020.
24. Duong, H.H. Nghiên cứu đề xuất các mô hình, giải pháp công nghệ khai thác và bảo vệ nguồn nước trong các thành tạo Bazan phục vụ cấp nước sinh hoạt bền vững tại các vùng núi cao, khan hiếm nước khu vực Tây Nguyên, Mã số ĐTĐL.CN-65/15. Báo cáo tổng kết đề tài, 2019.
25. Vinh, P.T. Nghiên cứu đề xuất các mô hình thu gom khai thác bền vững nguồn nước mạch lộ phục vụ cấp nước sạch cho các vùng núi cao, vùng khan hiếm nước khu vực Tây Nguyên, Mã số ĐTĐL.CN-64/15. Báo cáo tổng kết đề tài, 2018.

Proposing criteria for protection and prevention of degradation to sustainably exploit groundwater resources in high mountainous areas and water-scarce regions of North Central Vietnam

Than Van Don^{1*}, Pham Thi Thu¹, Pham Thi Hong Ngoc¹, Nguyen Thi Lan Anh¹

¹ Center for Water Resource Technology and Data; thandontnmt@gmail.com; phamthud-ctv51@gmail.com; ngocpth870@gmail.com; lananh.cwt@gmail.com

Abstract: The high mountainous and water-scarce regions of the North Central area include 24 regions, as identified by the Prime Minister's Decision No. 1553/QĐ-TTg dated November 8, 2019, and contain 11 aquifers ranging in age from the Neogene to the Carboniferous-Permian period. The calculated total exploitable groundwater reserves amount to 61,346 m³/day, with a predicted total extraction flow rate of 10,237 m³/day, which could potentially supply water to 102,370 people at a rate of 100 liters per person per day. To sustainably extract and prevent the degradation of groundwater resources, the authors developed a set of criteria, categorized into three groups: Prevention of quantity degradation (comprising 3 criteria and 6 indicators); Prevention of environmental degradation (comprising 4 criteria and 5 indicators); and Prevention of degradation due to socio-economic factors (comprising 4 criteria and 6 indicators). Using these criteria, the article employed the Analytic Hierarchy Process (AHP) method to determine the weights and evaluate the criteria. The results indicate that 20 regions have a medium level of protection against degradation, while 5 regions have a poor level of protection, mainly due to factors related to the deterioration of water quality and resource management, as well as community awareness.

Keywords: AHP method; Protection criteria; Groundwater; Water scarcity; North Central Vietnam.

Bài báo khoa học

Đánh giá mối quan hệ giữa biến động lớp phủ đất với điều kiện tự nhiên sử dụng viễn thám và hồi quy logistic: Thí điểm khu vực huyện Giao Thủy, Nam Định

Phạm Thị Làn^{1*}

¹ Trường Đại học Mở - Địa chất; phamthilan@humg.edu.vn

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

Ban Biên tập nhận bài: 14/8/2024; Ngày phản biện xong: 5/9/2024; Ngày đăng bài: 25/2/2025

Tóm tắt: Biến động lớp phủ ảnh hưởng tới điều kiện sống của con người và sinh vật. Biến động lớp phủ đất là hệ quả của tự nhiên và nhân tạo. Do đó, đánh giá biến động lớp phủ đất là nghiên cứu đa ngành, bao gồm kinh tế, xã hội và địa lý. Trong đó phải kể đến viễn thám và GIS. Mục tiêu của bài báo này là sử dụng phương pháp viễn thám và hồi quy logistic để không gian hóa và định lượng hóa nhằm đánh giá mối quan hệ giữa điều kiện tự nhiên với biến động lớp phủ đất huyện Giao Thủy, Nam Định. Ảnh Landsat được sử dụng trong phân loại thông tin lớp phủ đất qua các giai đoạn 1989, 2001, 2005 và 2023 bằng phương pháp phân loại hướng đối tượng kết hợp với phân vùng mẫu. Biến động lớp phủ tập chung chủ yếu là biến động lúa và hoa màu, biến động đất trồng, biến động rừng ngập mặn và biến động khu nuôi trồng thủy sản. Điều kiện tự nhiên được xác định trong mối quan hệ với lớp phủ đất tại khu vực Giao Thủy, Nam Định, bao gồm xói lở và bồi tụ, thổ nhưỡng, địa mạo và khoảng cách tới đường bờ. Mối quan hệ này được thể hiện bằng quan hệ không gian nhờ chức năng chồng xếp trong +GIS và được định lượng hóa bằng mô hình hồi quy logistic. Kết quả bài báo này chỉ ra rằng lớp phủ biến động khác nhau đối với mỗi yếu tố tự nhiên và có quan hệ thuận - nghịch khác nhau qua từng giá trị hồi quy, giá trị này là cơ sở hữu ích cho các nhà quản lý điều tiết sử dụng và khai thác điều kiện tự nhiên hợp lý.

Từ khóa: Lớp phủ đất; Điều kiện tự nhiên; Viễn thám; Hồi quy logistic.

1. Đặt vấn đề

Biến động lớp phủ/sử dụng đất là một nhân tố chủ yếu góp phần làm biến động môi trường và biến đổi toàn cầu [1-4]. Việc khai thác và sử dụng tài nguyên, đặc biệt là lớp phủ đất cần được thực hiện một cách hợp lý để đảm bảo sự phát triển kinh tế - xã hội, đồng thời bảo vệ môi trường. Do đó, khi đưa quyết định khai thác lớp phủ đất cần thiết phải đánh giá được sự tương tác giữa các điều kiện tự nhiên và xã hội đối với biến động lớp phủ đất để đưa ra quyết định phù hợp [5].

Sự biến đổi lớp phủ đất cũng được xem như là kết quả của mối quan hệ tổng hợp giữa các yếu tố tự nhiên và kinh tế - xã hội [6-9]. Các chính sách phát triển kinh tế và hoạt động kinh tế - xã hội ảnh hưởng trực tiếp đến hoạt động sử dụng đất [5, 10-13], làm thay đổi lớp phủ đất. Mặt khác, một số nghiên cứu cho rằng điều kiện tự nhiên là yếu tố tác động đến sự biến đổi lớp phủ/sử dụng đất [14-16]. Một số tác giả cũng nhận định rằng lớp phủ đất có mối quan hệ rất chặt chẽ với các điều kiện tự nhiên [4, 8, 17]. Nỗ lực nghiên cứu tương tác giữa sự thay đổi lớp phủ với điều kiện tự nhiên chẳng hạn như chu trình các bon, thủy văn, khí hậu, quá trình sinh địa hóa là rất cần thiết trong việc quản lý và điều chỉnh các ảnh hưởng của biến đổi khí hậu lên môi trường trong tương lai [18].

Giao Thủy là một huyện ven biển tỉnh Nam Định, thuộc đồng bằng sông Hồng, nơi đây lớp phủ đất có sự thay đổi lớn do tự tương tác của điều kiện tự nhiên như xói lở, bồi tụ, xâm

nhập mặn, sự thay đổi địa hình, địa mạo. Đặc biệt lớp phủ đất ở huyện Giao Thủy, Nam Định chịu tác động mang tính bước ngoặt bởi chính sách đổi mới trong những năm 1986 [19]. Xu hướng chung của việc biến động lớp phủ đất ở những năm trước đây là lúa và hoa màu giảm diện tích để chuyển thành khu dân cư và nuôi trồng thủy sản. Bên cạnh sự ảnh hưởng của chính sách đổi mới, chương trình trồng rừng ngập mặn cũng có tác động lớn đến biến động lớp phủ đất. Tuy nhiên, Đổi Mới cũng không thể trồng cói trên đất phù sa hay trồng lúa và hoa màu ở đất mặn nhiều. Như vậy, với bất kỳ yếu tố tác động nào thì sự biến động lớp phủ đất cũng phải dựa theo điều kiện tự nhiên để đạt được mục tiêu phát triển bền vững đối với địa phương và cho toàn cầu. Để thực hiện được định hướng đó, việc đánh giá mối quan hệ giữa điều kiện tự nhiên với sự thay đổi lớp phủ đất là rất quan trọng. Giao Thủy, Nam Định được đặc trưng về điều kiện tự nhiên bao gồm: thổ nhưỡng và địa mạo đặc trưng của khu vực châu thổ sông Hồng, hiện tượng xói lở do hoạt động nhân sinh và bồi tụ bờ biển do lượng trầm tích lớn và vận chuyển theo hướng chủ đạo là hướng Đông Bắc. Để nghiên cứu mối quan hệ giữa biến động lớp phủ đất và điều kiện tự nhiên, cần có một số lượng lớn số liệu và dữ liệu, đặc biệt là những nguồn dữ liệu đa thời gian, bao gồm cả tư liệu viễn thám.

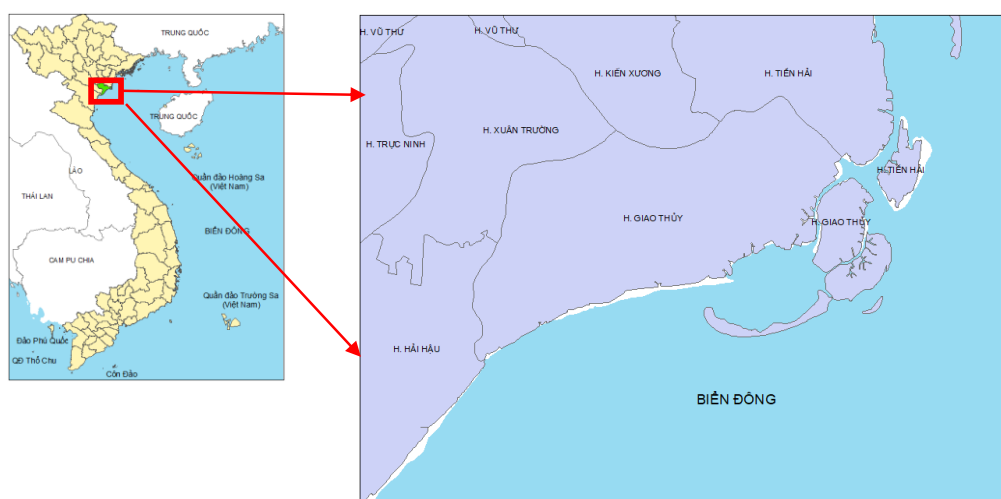
Viễn thám với đặc điểm đa thời gian đã thuận lợi cho việc theo dõi biến động lớp phủ đất [20]. Dữ liệu viễn thám còn được sử dụng trong việc xác định các thông tin về điều kiện tự nhiên ảnh hưởng đến biến động lớp phủ đất như là sự thay đổi địa hình và địa mạo [21, 22]. Tuy nhiên, viễn thám bị hạn chế khi phân tích dữ liệu mà không có tính không gian như là các tác nhân hay hệ quả của sự thay đổi lớp phủ đất [23], chẳng hạn như là việc định lượng hóa sự tương tác giữa điều kiện tự nhiên và biến động lớp phủ đất.

Phương pháp hồi quy logistic đã được áp dụng trong một số nghiên cứu về đánh giá động lực biến động lớp phủ đất [24–28]. Mô hình thống kê hồi quy logistic đa biến đã giải thích được mối quan hệ của yếu tố phụ thuộc (biến đổi lớp phủ đất) với yếu tố tác động (điều kiện tự nhiên) bằng hệ số hồi quy. Mục đích của nghiên cứu là đánh giá được mối quan hệ giữa biến động lớp phủ đất với địa mạo, thổ nhưỡng, khoảng cách tới đường bờ, xói lở và bồi tụ bờ biển sử dụng ảnh viễn thám và mô hình hồi quy logistic.

2. Phương pháp nghiên cứu và dữ liệu

2.1. Khu vực nghiên cứu và dữ liệu

Giao Thủy, Nam Định là một huyện ven biển thuộc châu thổ sông Hồng. Giao Thủy tiếp giáp với biển Đông về phía Đông, huyện Hải Hậu về phía Tây Nam, và huyện Xuân Trường về phía Tây Bắc (Hình 1). Vị trí địa lý của Giao Thủy rất đặc biệt, nơi đây có hệ thống thủy hệ dày đặc, đồng thời là một trong những vùng đất bồi tụ phù sa màu mỡ do ảnh hưởng từ sông Hồng và sông Sò. Nhờ vị trí nằm gần cửa Ba Lạt, điều kiện tự nhiên của Giao Thủy thuận lợi cho các hoạt động kinh tế như trồng lúa - hoa màu và nuôi trồng thủy sản. Huyện



Hình 1. Vị trí khu vực huyện Giao Thủy, tỉnh Nam Định.

Giao Thủy, Nam Định có đặc điểm địa hình, địa mạo đặc trưng bởi các đơn vị địa mạo xây dựng theo nguồn gốc phát sinh, xói lở, bồi tụ và khoảng cách tới đường bờ. Khu vực này cũng là cửa ngõ quan trọng dẫn vào Vườn quốc gia Xuân Thủy, là khu vực đất ngập nước có giá trị về sinh thái cảnh quan. Khu vực này cũng là nơi dự trữ sinh quyển của thế giới.

Lớp phủ đất ở huyện Giao Thủy có sự biến động lớn ở một số mốc thời gian chính. Đầu năm 1986 là thời điểm đánh dấu trong việc chuyển đổi cơ cấu kinh tế ở khu vực này, dẫn đến sự thay đổi lớn về lớp phủ đất. Trong điều kiện dữ liệu cho phép, ảnh Landsat năm 1989 được cho là thời điểm bắt đầu Đổi Mới. Tiếp đến là năm 2001, khi các dự án bảo tồn sinh thái rừng ngập mặn được thực hiện cũng làm thay đổi lớn diện tích rừng ngập mặn. Để chứng minh tính hiệu quả của các dự án rừng ngập mặn thì 2005 được lựa chọn là thời điểm tiếp theo. Cuối cùng là năm 2023 - thời điểm cập nhật nhất về thực trạng lớp phủ đất. Do vậy, dữ liệu sử dụng trong bài báo này, bao gồm dữ liệu ảnh Landsat TM, ETM+ và OLI ở các giai đoạn tương ứng 23/11/1989, 10/10/2005, và 07/12/2023, được chụp ở điều kiện gần giống nhau, các kênh ảnh sử dụng bao gồm kênh blue, green, red và near infrared. Bên cạnh đó là dữ liệu điều kiện tự nhiên, bao gồm: thổ nhưỡng, địa mạo, biến động đường bờ (biểu hiện bằng xói lở và bồi tụ) và khoảng cách tới đường bờ (Bảng 1, Hình 1).

Bảng 1. Dữ liệu điều kiện tự nhiên.

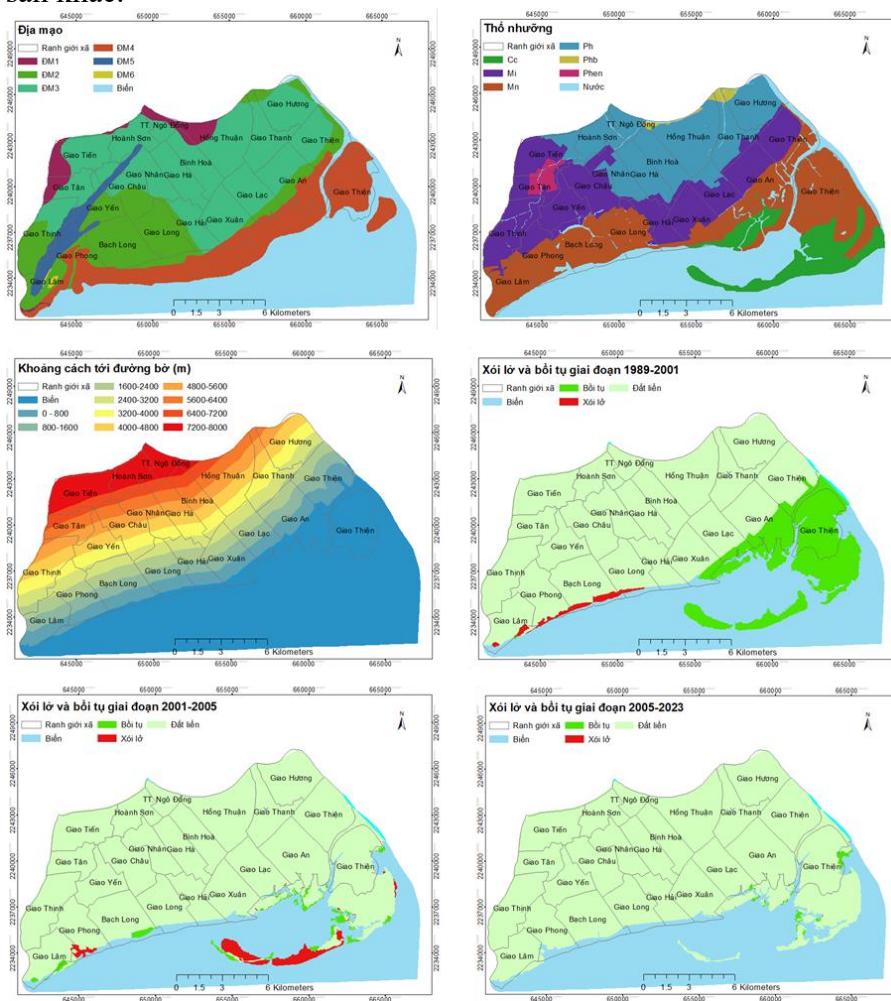
Điều kiện tự nhiên	Phân loại điều kiện tự nhiên	Ký hiệu	Điều kiện tự nhiên	Phân loại điều kiện tự nhiên	Ký hiệu
Địa mạo	Bãi bồi sông tuổi hiện đại Q ₂ ³	ĐM1	Biến động đường bờ	Xói lở	XM
	Bề mặt tích tụ hỗn hợp sông, biển - đầm lầy tuổi hiện đại Q ₂ ³	ĐM2		Bồi tụ	BT
	Bề mặt tích tụ hỗn hợp sông - biển tuổi hiện đại Q ₂ ³	ĐM3	Khoảng cách tới đường bờ	0 (biển)	ĐB 0
	Bề mặt tích tụ bãi triều tuổi hiện đại Q ₂ ³	ĐM4		0-800 m	ĐB 1
	Bề mặt tích tụ bar cát biển tuổi hiện đại Q ₂ ³	ĐM5		800-1600 m	ĐB2
	Bề mặt tích tụ biển gió tuổi hiện đại Q ₂ ³	ĐM6		1600-2400 m	ĐB3
Thổ nhưỡng	Đất cát, cồn cát ven biển	Cc		2400-3200 m	ĐB4
	Đất mặn ít, trung bình	Mi		3200-4000 m	ĐB5
	Đất mặn nhiều	Mn		4000-4800 m	ĐB6
	Đất phù sa không được bồi hàng năm	Ph		4800-5600 m	ĐB7
	Đất phù sa được bồi hàng năm	Phb		5600-6400 m	ĐB8
	Đất phèn tiềm năng	S		6400-7200 m	ĐB9
				7200-8000 m	ĐB10

Địa mạo được thu thập từ Liên đoàn bản đồ Địa chất - Bộ công nghiệp - Cục địa chất với 6 đối tượng. Phía ngoài đê phân bố bởi hai loại địa mạo là ĐM3 và ĐM6. Các loại địa mạo còn lại tập trung phía trong đê. Thổ nhưỡng ở Giao Thủy, Nam Định cũng gồm 6 loại: Đất cát, cồn cát ven biển được phân bố chủ yếu là phi lao; đất mặn ít, trung bình thường phân bố với lớp phủ đất là cối, ruộng muối, nuôi thủy sản; đất mặn nhiều phân bố bởi rừng ngập mặn, thủy sản; đất phù sa được bồi thường xuyên, đất phù sa không được bồi thường xuyên, và đất phèn tiềm tàng được phân bố trên đó là dân cư, lúa và hoa màu.

Biến động đường bờ biển, bao gồm cả do xói lở và bồi tụ [29]. Yếu tố đường bờ biển là một trong những yếu tố tự nhiên có ảnh hưởng quan trọng đến biến động lớp phủ đất vùng ven biển nói chung và huyện Giao Thủy, Nam Định nói riêng. Dưới tác động của các chu trình tự nhiên từ biển (sóng, bão, sự vận chuyển phù sa, mực nước biển dâng), bờ biển đã bị biến động lớn. Trong bài báo này, kỹ thuật kênh tỷ số và phân ngưỡng được sử dụng để trích xuất đường bờ [30]. Sự thay đổi đường bờ xảy ra do quá trình bồi tụ và xói lở. Khi đường bờ thay đổi, diện tích các khoanh vi xói lở hay bồi tụ cũng thay đổi. Diện tích bồi tụ phân bố

chủ yếu tại các cửa Ba Lạt và cửa sông Trà Lý. Hiện tượng xói lở có diện tích không nhiều, được phân bố tập trung ở các xã Giao Long, Giao Hải.

Đường bờ là một trong số các yếu tố tự nhiên có liên quan rất chặt chẽ với biến động lớp phủ đất khu vực huyện Giao Thủy, Nam Định. Khi đường bờ biến đổi, lớp phủ đất cũng bị biến đổi theo và sự tương tác này được chứng minh khi coi biến đổi đường bờ (xói lở và bồi tụ) là một biến độc lập. Bên cạnh đó, giả sử đối tượng đường bờ không thay đổi, thì giữa biến động lớp phủ đất với đường bờ vẫn có mối quan hệ vì lớp phủ đất ở khu vực ven biển chịu tác động rất lớn bởi độ mặn của thổ nhưỡng và chế độ dẫn nước. Độ mặn của đất phụ thuộc vào khoảng cách của khu vực đó tới đường bờ. chế độ dẫn nước của các khu vực nuôi trồng thủy sản và ruộng làm muối cũng phụ thuộc vào khoảng cách của khu vực đó tới đường bờ. Do vậy, trong nghiên cứu này coi đường bờ năm 1989 là cố định, và lấy tiêu chí khoảng cách tới đường bờ năm 1989 là yếu tố ảnh hưởng đến lớp phủ đất. Khoảng cách được tính đều với giá trị 800m là khoảng cách chiều ngang đầm nuôi tôm ở giai đoạn chuyển đổi lúa thành đầm nuôi trồng thủy sản khác.

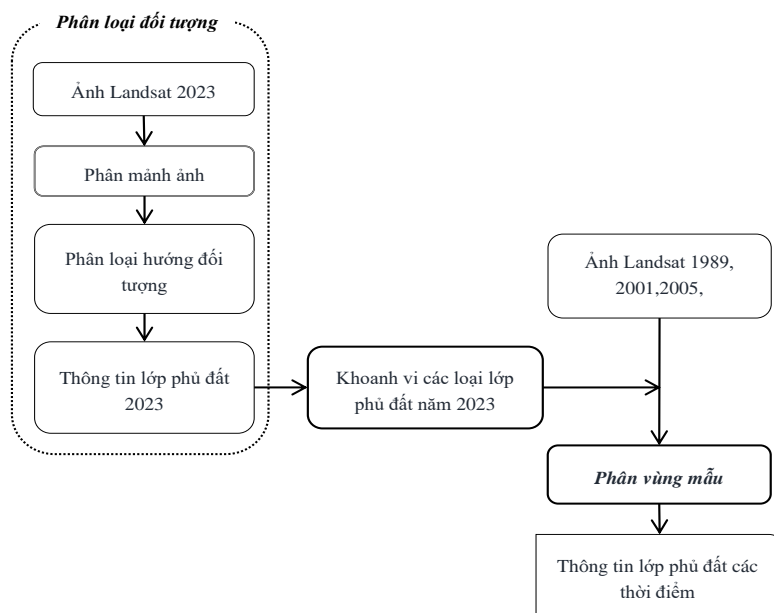


Hình 1. Các lớp dữ liệu điều kiện tự nhiên.

2.2. Chiết xuất thông tin lớp phủ đất

Phân loại lớp phủ đất có thể tổng hợp thành hai nhóm là phương pháp phân loại dựa vào pixel (*pixel - based*) và phương pháp phân loại hướng đối tượng (*object - oriented*). Phương pháp phân loại theo pixel-based bị hạn chế khi chỉ dựa vào giá trị phản xạ phổ của đối tượng nên không thể tách biệt được một số đối tượng như khu nuôi trồng thủy sản - ruộng muối, rừng ngập mặn - ruộng coi,... Phương pháp phân loại hướng đối tượng sử dụng kết hợp cả

thông tin phổ và thông tin cấu trúc đối tượng đã khắc phục được hạn chế trên tại huyện Giao Thủy, Nam Định năm 2023. Bên cạnh đó, bài báo còn sử dụng phương pháp phân loại phân vùng mẫu đối với các thời điểm ảnh 1989, 2001 và 2005 nhằm giảm sai số thô ở khu vực ranh giới những vùng không bị biến động. Sự kết hợp này là giải pháp hiệu trong việc đánh giá biến động lớp phủ đất bằng ảnh vệ tinh đa thời gian. Quy trình phân loại thông tin lớp phủ đất bằng phương pháp phân loại hướng đối tượng kết hợp phương pháp phân vùng mẫu khu vực Giao Thủy, Nam Định được trình bày trên Hình 2.



Hình 2. Quy trình phân loại lớp phủ đất.

Lớp phủ đất được chiết xuất với 8 đối tượng, bao gồm: dân cư, lúa và hoa màu, mặt nước và sông ngòi, đất trống, khu nuôi trồng thủy sản, rừng ngập mặn, ruộng muối, ruộng cói. Phương pháp phân loại hướng đối tượng được sử dụng để phân loại cho ảnh Landsat 2023. Kết quả phân loại có kiểm chứng và đánh giá độ tin cậy thông qua kết quả tổng hợp từ niên giám thống kê. Lớp thông tin lớp phủ đất năm 2023 lần lượt chồng xếp lên ảnh các thời điểm 1989, 2001 và 2005 nhằm hồi cứu lại thông tin lớp phủ các năm tương ứng. Độ tin cậy thông tin lớp phủ đất các thời điểm được so sánh với kết quả tổng hợp từ thống kê theo niên giám ở các năm tương ứng.

2.3. Xác định mối quan hệ

Các phương pháp hồi quy lý giải được mối quan hệ giữa biến động lớp phủ đất với các chỉ số tự nhiên, kinh tế - xã hội. Kỹ thuật này được sử dụng với hai mục đích: (1) Giải thích các tác nhân gây biến động; (2) Dự báo sự biến đổi đó theo không gian [31]. Dữ liệu biến động lớp phủ, lớp phủ đất thường được biểu diễn dưới dạng dữ liệu rời rạc (ví dụ như: Lúa chuyển thành dân cư, lúa chuyển thành nuôi trồng thủy sản). Do vậy, hồi quy logistic (nhị phân và đa thức) là mô hình thống kê phù hợp.

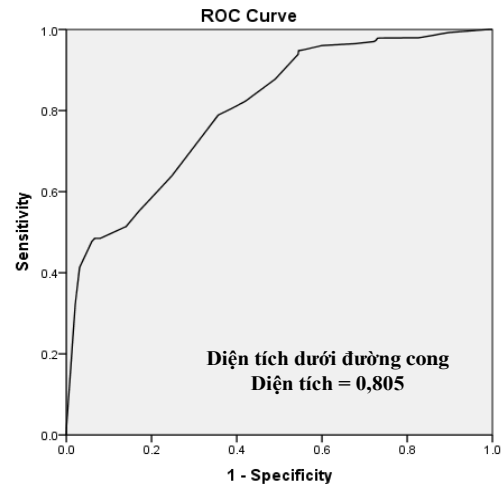
Trong nghiên cứu này, phân tích hồi quy đa biến được chạy ngẫu nhiên các điểm bằng phần mềm SPSS. Biến phụ thuộc là các cặp chuyển đổi lớp phủ đất với dạng dữ liệu nhị phân là 1 và biến 0 (không biến động). Các biến độc lập là điều kiện tự nhiên có trong Bảng 1.

$$\text{Loge} \left[\frac{P}{1-p} \right] = \beta_0 + \beta_0 X_1 + \beta_1 X_2 + \dots + \beta_i X_i \quad (1)$$

Trong đó P là xác suất chuyển đổi lớp phủ đất; X_1, \dots, X_i là các điều kiện tự nhiên có trong Bảng 1; β_0 là hằng số hồi quy; β_1, \dots, β_i là hệ số hồi quy ứng với từng điều kiện tự nhiên (Bảng 1) có tác động đến từng loại biến động lớp phủ đất.

Hệ số hồi quy có giá trị âm và dương thể hiện quan hệ nghịch và thuận của biến động lớp phủ đất đối với điều kiện tự nhiên. Hệ số hồi quy có giá trị càng lớn thể hiện quan hệ giữa biến động lớp phủ với mỗi một điều kiện tự nhiên tương ứng càng chặt chẽ.

Độ tin cậy của phương pháp hồi quy được đánh giá bằng hệ số R^2 (Nagelkerke R Square) lớn hơn 0,2 và diện tích phía dưới đường cong ROC đạt lớn hơn 0,7 (**Error! Reference source not found.**). Kết quả phân tích bằng phương pháp hồi quy logistic đối với huyện Giao Thủy, Nam Định đều đạt yêu cầu.

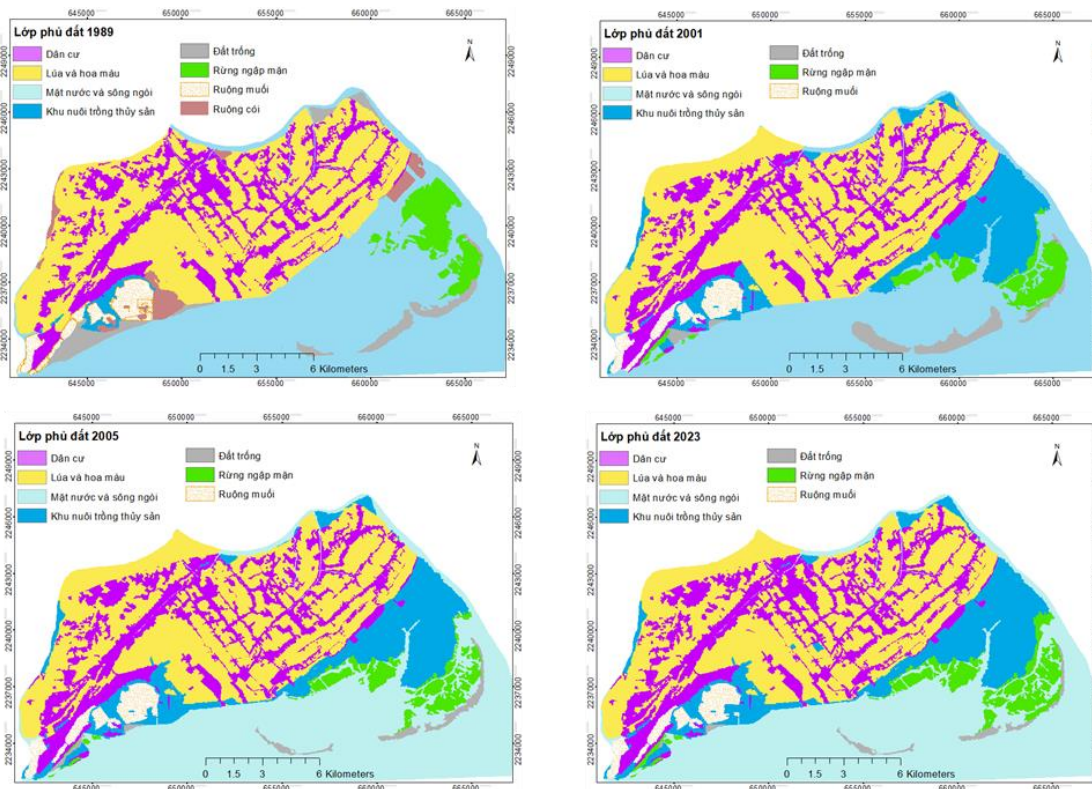


3. Kết quả và thảo luận

Hình 4. Đường cong ROC trong đánh giá độ tin cậy của phương pháp hồi quy logistic.

3.1. Độ tin cậy của lớp phủ đất

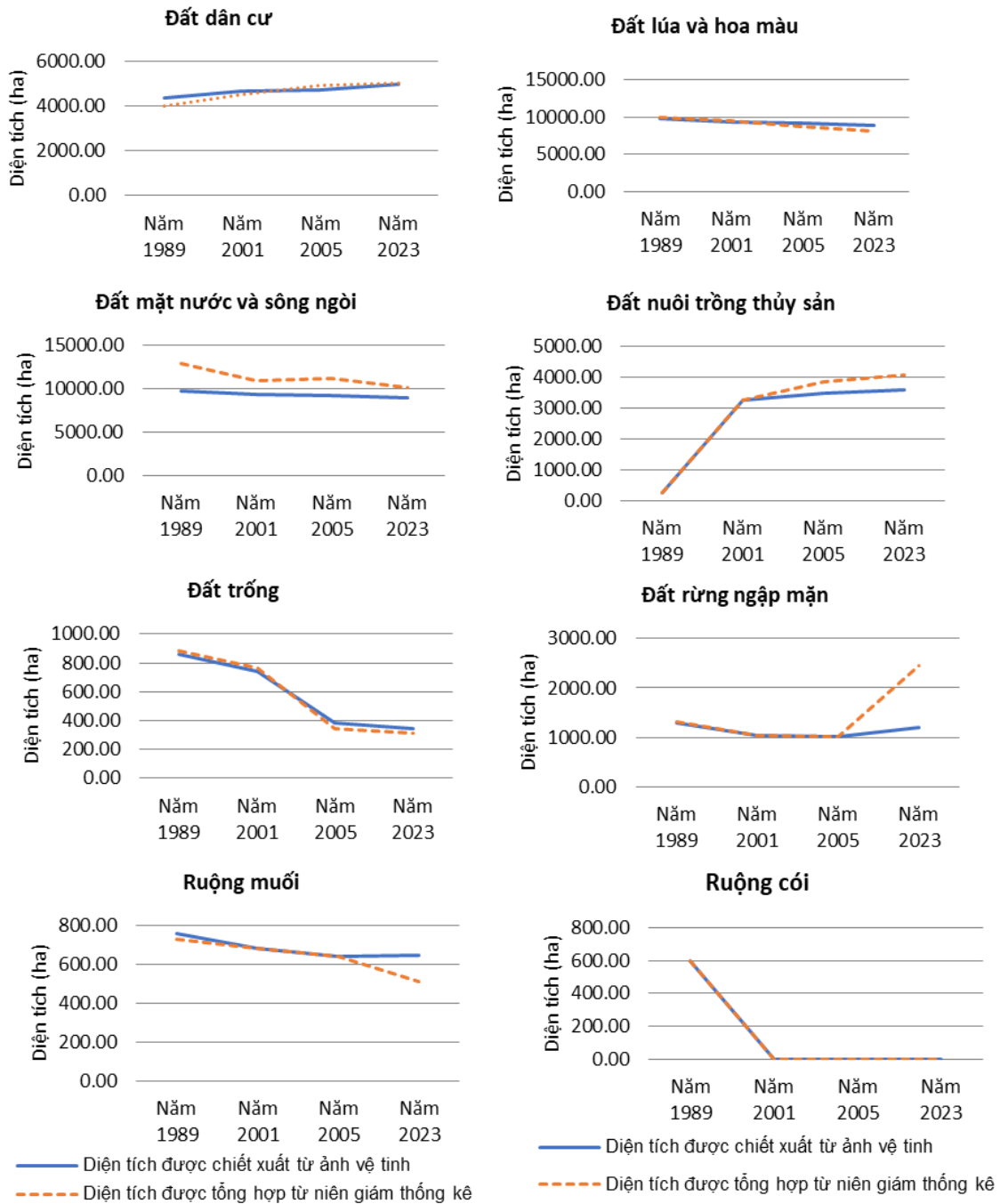
Kết quả phân loại lớp phủ đất từ ảnh vệ tinh Landsat được thể hiện như Hình 3 dưới đây. Trong đó, ruộng cối biến mất từ năm 2001 do chính sách chuyển đổi cơ cấu kinh tế của địa phương, một dấu mốc quan trọng trong phát triển kinh tế - xã hội của tỉnh Nam Định. Diện tích đất trồng cối chuyển đổi thành lúa phải là những khu vực được phân bố ở điều kiện thổ nhưỡng, địa mạo và đất cũng cần được cải tạo để phù hợp với cây lúa.



Hình 3. Kết quả phân loại lớp phủ đất từ ảnh vệ tinh.

Hình 6 chỉ ra sự tương quan lớn về số liệu thống kê diện tích lớp phủ đất được tổng hợp từ niên giám so với diện tích thông tin lớp phủ đất chiết xuất từ ảnh vệ tinh là lớn. Tương quan lớn nhất đối với diện tích dân cư; lúa và hoa màu và ruộng cối. Đối tượng rừng ngập mặn và khu nuôi trồng thủy sản có tương quan hoàn toàn ở giai đoạn 1989-2005, sang giai

đoạn 2005-2023 thì có sự chênh lệch. Các đối tượng lớp phủ đất còn lại có tương quan thấp hơn.

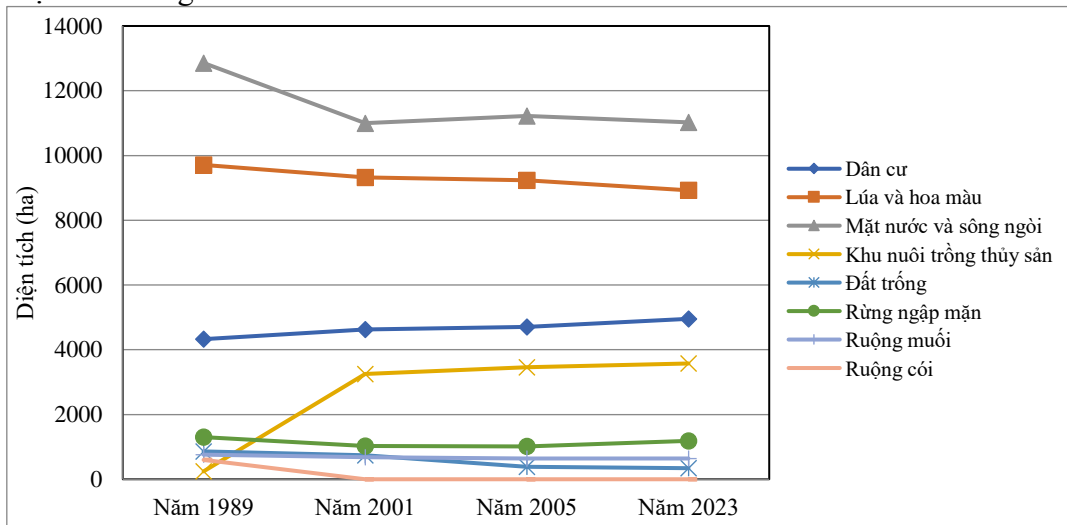


Hình 4. Biểu đồ tương quan diện tích (ha) lớp phủ đất được phân loại bằng ảnh vệ tinh so với niên giám thống kê ở khu vực Giao Thủy, Nam Định.

3.2. Biến động lớp phủ đất

Lớp phủ đất huyện Giao Thủy, Nam Định biến động tương đối phong phú trên tất cả các đối tượng. Tuy nhiên, Hình 7 chỉ ra rằng các đối tượng biến động trong hai giai đoạn chính là giai đoạn 1989-2001 và giai đoạn 2001-2023. Các đối tượng lớp phủ đất có thay đổi không đáng kể trong giai đoạn 2001-2023. Trong khi đó, giai đoạn 1989-2001 các đối tượng biến động khá rõ ràng, diện tích khu dân cư tăng từ 4327,59 ha lên 4631,35 ha. Ngược với xu thế đó, diện tích lúa và hoa màu lại giảm dần từ 10425,16 ha xuống còn 9332,71 ha. Diện tích hai loại lớp phủ đất có biến động lớn ở giai đoạn này là khu nuôi trồng thủy sản tăng vọt từ 243,02

ha lên 3248,65 ha cho chính sách chuyển đổi kinh tế làm đất trồng coi biến mất để thay thế cho diện tích trồng lúa.



Hình 5. Biểu đồ thống kê diện tích các đối tượng lớp phủ đất phân loại từ ảnh vệ tinh ở huyện Giao Thủy, Nam Định (ha) giai đoạn 1989-2023.

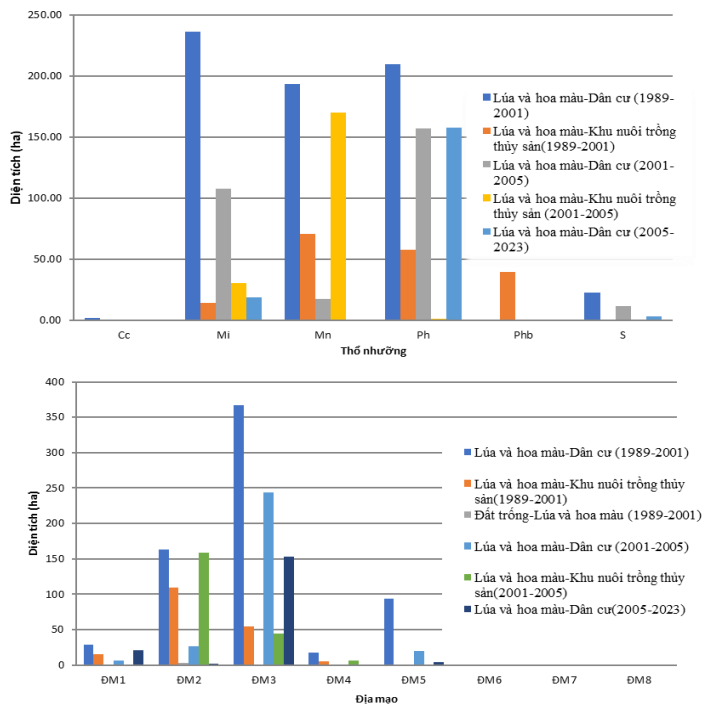
3.3. Đánh giá quan hệ giữa biến động lớp phủ đất và điều kiện tự nhiên

Lớp phủ đất ở huyện Giao Thủy, Nam Định biến động đa dạng trên cơ sở các điều kiện tự nhiên khác nhau. Tuy nhiên, sự biến động đó tập trung ở bốn loại lớp phủ chính, bao gồm: biến động lúa và hoa màu, biến động đất trồng, biến động rừng ngập mặn và biến động khu nuôi trồng thủy sản. Việc đánh giá quan hệ giữa 4 nhóm chuyển đổi này với điều kiện tự nhiên được phân tích theo diện tích phân bố trên không gian địa mạo, thổ nhưỡng và định lượng bằng hệ số hồi quy (β) đối với từng yếu tố tự nhiên.

3.3.1. Biến động lúa và hoa màu

Biến động đất lúa và hoa màu là sự suy giảm diện tích để chuyển đổi thành khu nuôi trồng thủy sản và dân cư. Bên cạnh sự gia tăng diện tích rất nhỏ của lúa và hoa màu từ ruộng coi và đất trồng, thì sự biến động đất lúa và hoa màu là sự suy giảm diện tích theo phân bố không gian các yếu tố địa mạo. Sự suy giảm này nhằm phục vụ nhu cầu đất ở và hoạt động nuôi trồng thủy sản. Do vậy, biến động lúa và hoa màu phân bố tập trung lớn nhất ở khu vực ĐM3, tiếp sau là ĐM2 và ĐM5 (Hình 8).

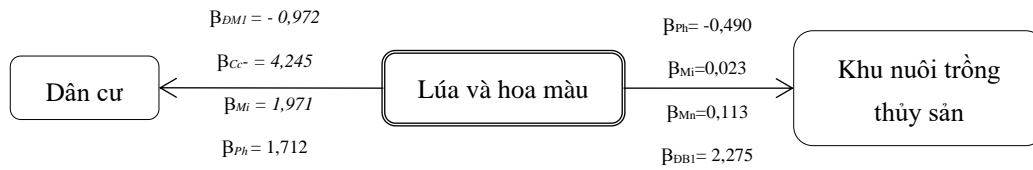
Hình 9 chỉ ra rằng, lúa và hoa màu biến đổi thành khu dân cư có quan hệ chặt chẽ với điều kiện thổ nhưỡng, thể hiện hệ số hồi quy lớn tập trung ở đất cát - cồn cát ($\beta C_c = 4,245$), đất phù sa ($\beta P_h = 1,712$) đất mặn ít ($\beta M_i = 1,971$) với khu vực trong đê là chủ yếu. Giai đoạn 2005-2023, khả năng lúa và hoa màu biến đổi thành dân cư xảy ra ít và



Hình 6. Biến động đất lúa và hoa màu theo thổ nhưỡng và địa mạo giai đoạn 1989-2023.

Giai đoạn 2005-2023, khả năng lúa và hoa màu biến đổi thành dân cư xảy ra ít và

nhỏ lẻ. Tuy nhiên, vẫn tuân theo quy luật tự nhiên là thích hợp với khu vực trong đê và bị hạn chế ở khu vực ĐM1 ($\beta_{DM1} = -0,972$).

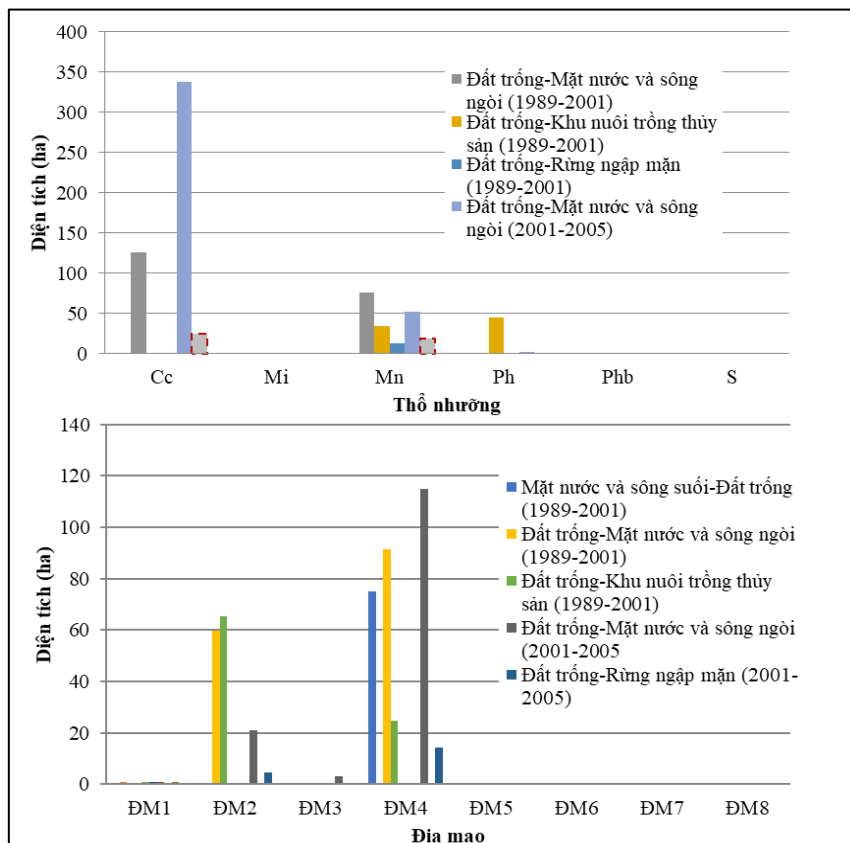


Hình 7. Biến đổi lúa và hoa màu trong quan hệ với điều kiện tự nhiên.

Trong khi đó sự thay đổi lúa và hoa màu để làm khu nuôi trồng thủy sản chỉ tập trung ở khu vực đất mặn nhiều, xảy ra bắt đầu từ giai đoạn vài năm đầu của chính sách ĐỔI MỚI (1989-2001), tiếp tục diễn ra vào giai đoạn 2001-2005. Giai đoạn 1989-2001, giá trị hồi quy chỉ ra khả năng xảy ra biến động này phù hợp trên khu vực đất mặn nhiều ($\beta_{Mn} = 0,113$) và đất mặn ít ($\beta_{Mi} = 0,023$). Ngược lại, khu vực đất phù sa khả năng lúa và hoa màu chuyển thành khu nuôi trồng thủy sản giảm với hệ số hồi quy âm ($\beta_{Ph} = -0,490$). Bên cạnh đó, sự chuyển đổi này không thích hợp với những khu vực trong đê. Sang giai đoạn 2001-2005, sự chuyển đổi này xác suất mở rộng sang diện tích phía sát trong đê với khoảng cách từ đê vào trong là 800 m ($\beta_{DB1} = 2,275$). Tuy nhiên, những khu vực có đất mặn ít xác suất chuyển đổi giảm.

3.3.2. Biến động đất trồng

Biến động đất trồng là chuyển đổi đa dạng giữa các đối tượng lớp phủ. Bên cạnh diện tích nhỏ đất trồng biến đổi thành dân cư và lúa phân bố phía trong đê là phần lớn diện tích đất trồng được bồi tụ, xói mòn, biến đổi thành rừng ngập mặn và thành khu nuôi trồng thủy sản. Sự chuyển đổi này chủ yếu phân bố theo không gian đất cát-cồn cát, đất mặn nhiều, ĐM4 và ĐM2 (Hình 10).

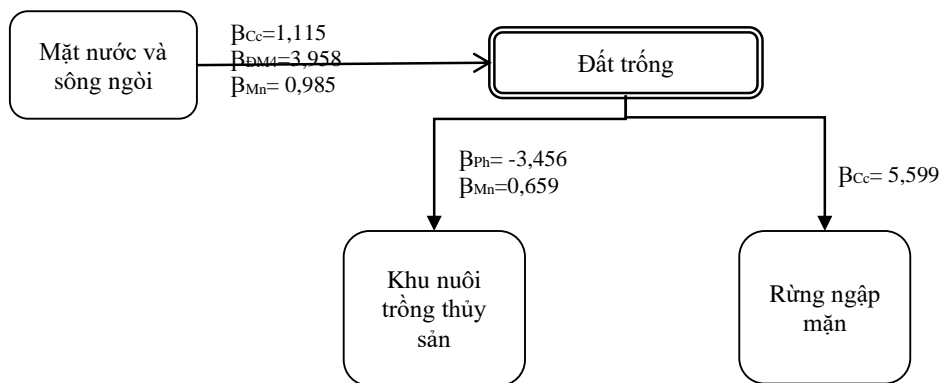


Hình 8. Biến động diện tích đất trồng.

Hệ số hồi quy trong Hình 11 chỉ ra rằng, biến động mặt nước và sông ngòi thành đất trồng có quan hệ thuận với đất cát - cồn cát ($\beta_{Cc} = 1,115$), khu vực ngoài khơi với đất mặn $\beta_{Mn} = 0,985$ và khu vực ĐM4 ($\beta_{ĐM4} = 3,958$). Điều đó có nghĩa là trên các đơn vị tự nhiên đó, quá trình bồi tụ chuyển mặt nước và sông ngòi thành đất trồng sẽ gia tăng.

Đất trồng biến đổi thành khu nuôi trồng thủy sản có xu thế tăng ở giai đoạn những năm Đổi Mới (1989-2001) với nhưng khu vực có đất mặn nhiều ($\beta_{Mn} = 0,659$) và sự chuyển đổi này sẽ giảm với khu vực đất phù sa ($\beta_{Ph} = -3,456$). Sự biến đổi này phù hợp với thực tế khu vực khi có chính sách phá rừng ngập mặn phục vụ hoạt động nuôi trồng thủy sản. Bên cạnh đó, rừng ngập mặn phát triển tự nhiên trên diện tích bãi bồi (đất trồng).

Đất trồng chuyển thành rừng ngập mặn qua hai giai đoạn 1989-2001 và 2001-2005 do dự án trồng rừng ngập mặn của Đan Mạch. Sự chuyển hóa này có quan hệ chặt chẽ với các điều kiện tự nhiên duy nhất là thổ nhưỡng. Hệ số hồi quy ($\beta_{Cc} = 5,599$) chỉ ra rằng, trên khu vực đất cát và cồn cát phù hợp cho sự tăng trưởng rừng ngập mặn. Sự phát triển đúng quy luật tự nhiên này chỉ diễn ra trên diện tích đất trồng là bãi bồi và đất cát-cồn cát sẽ trừ khu cồn cát trồng phi lao.

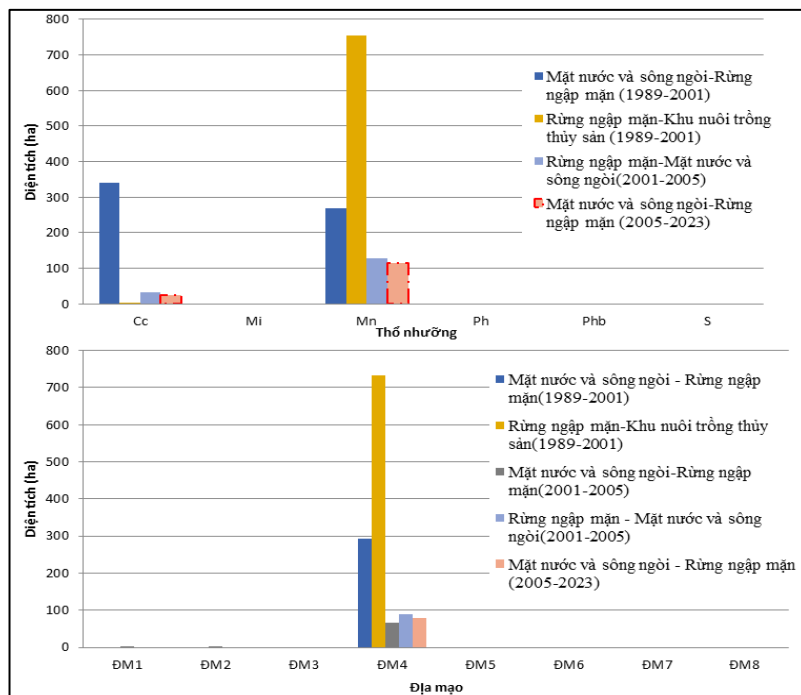


Hình 9. Quan hệ giữa biến động đất trồng và điều kiện tự nhiên.

3.3.3. Biến động rừng ngập mặn

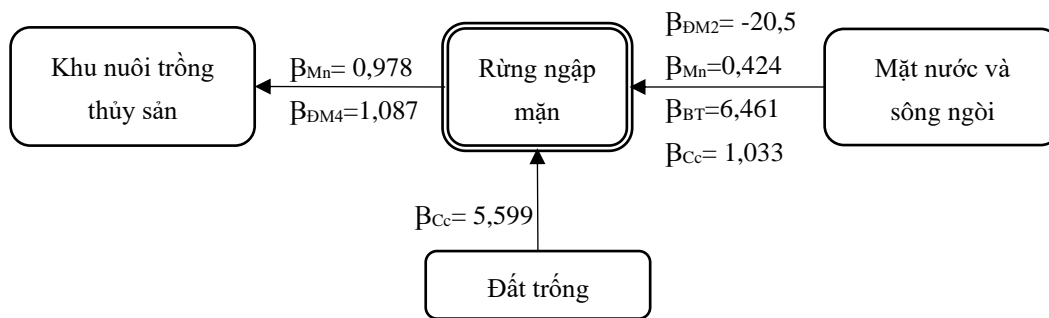
Tương tự như biến động đất trồng, biến động rừng ngập mặn chủ yếu phân bố theo không gian đất cát - cồn cát, đất mặn nhiều và ĐM4. Biến động tập trung hai hướng là suy giảm diện tích rừng ngập mặn để nuôi trồng thủy sản và gia tăng diện tích rừng ngập mặn từ đất trồng, mặt nước và sông ngòi.

Biến động đất trồng thành rừng ngập mặn chỉ diễn ra trong giai đoạn 2001-2005 và khả năng biến động tăng trên khu vực đất cát - cồn cát ($\beta_{Cc} = 5,599$). Thực tế đất trồng trong sự chuyển đổi này là



Hình 10. Biến động diện tích rừng ngập mặn.

các bãi bồi ven bờ, cửa sông hoặc phía ven rừng ngập mặn. Theo quy luật sinh thái tự nhiên, các trầm tích lắng đọng và hình thành các bãi triều, bãi bồi, sau đó các cây ngập mặn tự nhiên sẽ mọc trên diện tích đó.



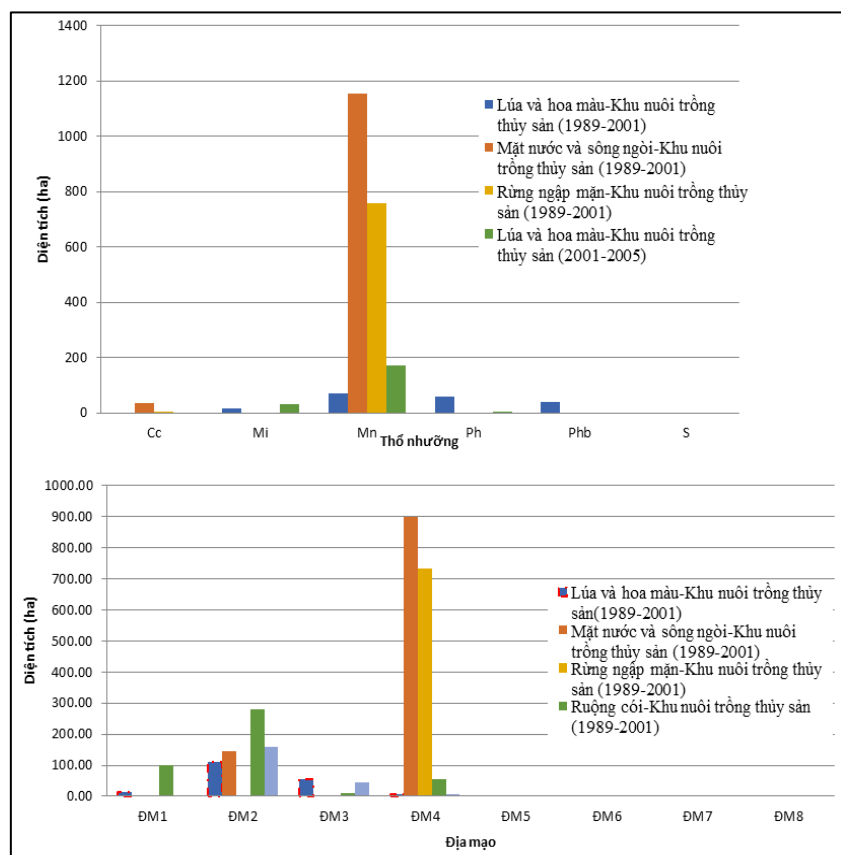
Hình 11. Quan hệ biến động rừng ngập mặn với điều kiện tự nhiên.

Biến động rừng ngập mặn thành khu nuôi trồng thủy sản cũng chỉ diễn ra vào giai đoạn 1989-2001. Đây là giai đoạn ban đầu của thời kỳ đổi mới, khu vực ven biển chuyển dịch cơ cấu theo hướng phá rừng ngập mặn để nuôi tôm. Sự chuyển đổi này gia tăng ở khu vực đất mặn nhiều ($\beta_{Mn} = 0,978$) và ĐM4 ($\beta_{DM4} = 1,087$), là nơi đáp ứng đủ nhu cầu sinh thái về độ mặn cũng như khả năng dẫn và lưu thông nước trong hoạt động nuôi trồng thủy hải sản.

3.3.4. Biến động khu nuôi trồng thủy sản

Biến động khu nuôi trồng thủy sản là sự chuyển đổi từ lúa, từ rừng ngập mặn, từ ruộng muối, từ đất trồng, từ mặt nước và sông ngòi. Hình 12 sau cho thấy rằng sự chuyển đổi này tập trung chính ở khu vực đất mặn nhiều và ĐM4. Tiếp đó có một số diện tích nhỏ phân bố sự chuyển đổi này trên ĐM2.

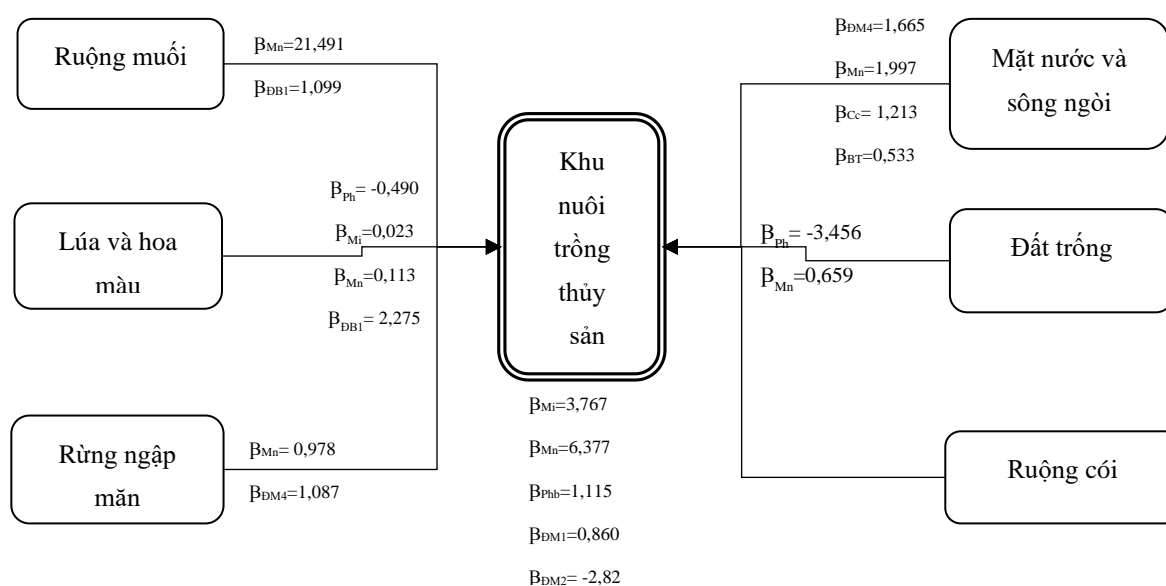
Đất trồng, mặt nước và sông ngoài biến động thành khu nuôi trồng thủy sản thực chất là quá trình bồi tụ. Đất trồng ở đây là các bãi bồi khu vực cửa sông. Sau khi các bãi bồi được hình thành là sự đắp đê và xây dựng các đầm nuôi tôm. Khu vực thích hợp với sự chuyển đổi này được thể hiện với hệ số hồi quy dương (Hình 13), cụ thể trên đất mặn nhiều, đất cát - cồn cát, khu vực bồi tụ và ĐM4. Ngược lại, trên khu vực đất phù sa không được bồi hàng năm ($\beta_{Ph} = -3,456$), tiềm năng biến đổi đất trồng, mặt nước và sông ngòi thành khu nuôi trồng thủy sản giảm.



Hình 12. Biến động diện tích nuôi trồng thủy sản.

Biến động điện tích nuôi trồng thủy sản từ rừng ngập mặn tăng khi diễn ra trên khu vực đất mặn nhiều ($\beta_{Mn} = 0,978$) và ĐM4 ($\beta_{DM4} = 1,087$) cũng được chỉ rõ bằng giá trị dương trong Hình 13 về hệ số hồi quy. Cùng với diễn thế chung của giai đoạn mấy năm thời kỳ đổi mới (1989-2001), khả năng ruộng cói cũng được biến đổi thành khu nuôi trồng thủy sản tăng khi xảy ra trên khu vực đất mặn ít ($\beta_{Mi} = 3,767$), đất mặn nhiều ($\beta_{Mn} = 6,377$), đất phù sa bồi hàng năm ($\beta_{Phb} = 1,115$) và ĐM1 ($\beta_{DM1} = 0,860$). Ngược lại, khả năng chuyển đổi này giảm trên khu vực ĐM2 ($\beta_{DM2} = -2,82$).

Ruộng muối được chuyển đổi thành khu nuôi trồng thủy sản trong những năm gần đây (2005-2023) do làm muối không đem lại thu nhập tốt cho diêm dân. Hình 15 về hệ số hồi quy trên chỉ ra rằng khả năng chuyển đổi này chỉ tăng và phù hợp trên những khu vực đất mặn nhiều ($\beta_{Mn} = 21,491$) và khu vực ven bờ với khoảng cách tới đường bờ về phía đất liền 800m ($\beta_{DB1} = 1,099$).



Hình 13. Mối quan hệ giữa biến động khu nuôi trồng thủy sản với điều kiện tự nhiên.

4. Kết luận

Lớp phủ đất phân loại từ ảnh vệ tinh Landsat có độ tin cậy cao khi so sánh tổng hợp với niên giám thống kê. Biến động lớp phủ tập trung ở biến động lúa và hoa màu, biến động đất trồng, biến động rừng ngập mặn và biến động khu nuôi trồng thủy sản.

Hồi quy logistic được lựa chọn để đánh giá quan hệ giữa biến động lớp phủ đất và điều kiện tự nhiên. Để đánh giá độ tin cậy của phương pháp hồi quy logistic, bài báo dựa trên thông số R^2 và đường cong ROC. Giá trị R^2 của các giai đoạn đều đạt mức lớn hơn 0,2 và độ tin cậy được đánh giá bằng ROC cũng đạt hơn 0,7. Điều này khẳng định rằng biến động các loại lớp phủ đất khu vực Giao Thủy, Nam Định có mối quan hệ chặt chẽ với địa mạo, thổ nhưỡng, biến động đường bờ và khoảng cách tới đường bờ.

Biến động lúa và hoa màu có mối quan hệ với nhóm yếu tố thổ nhưỡng và địa mạo. Trong giai đoạn gần 34 năm (1989-2023), khả năng chuyển đổi đối tượng lúa và hoa màu thành dân cư tăng trên khu vực đất cồn cát, đất phù sa và địa mạo bề mặt tích tụ sông, biển - đầm lầy tuổi hiện đại Q_2^3 , bề mặt tích tụ bãi triều tuổi hiện đại Q_2^3 với khu vực trong đê do nền đất chắc, thuận lợi cho việc xây dựng các công trình xây dựng như nhà ở, chuồng trại... Trong thời điểm đó, trên khu vực đất mặn ít và đất mặn nhiều ở phía ngoài hoặc trong sát đê, xác suất lúa và hoa màu biến đổi thành khu nuôi trồng thủy sản sẽ tăng. Sự chuyển đổi này ngoài việc đem lại hiệu quả kinh tế, mà còn phù hợp với quy luật tự nhiên với các loại thủy

sản yêu cầu độ mặn và khả năng dẫn nước mặn vào đầm phục vụ cho quá trình sinh trưởng và phát triển của hệ sinh thái thủy hải sản ven biển.

Sự chuyển đổi giữa đất trồng và mặt nước và sông ngòi là sự bồi tụ và quá trình này có quan hệ chặt chẽ với đất cát - cồn cát, khu vực ven bờ và ngoài biển do sự vận chuyển, lắng đọng các trầm tích từ các con sông. Vì vậy, sự chuyển đổi này xuất hiện tập trung ở các cửa sông lớn như cửa Ba Lạt, cửa Thái Bình. Bên cạnh đó, đất trồng chuyển đổi thành một số loại cây ngập mặn và đất làm muối lại có mối quan hệ tương hỗ với đất mặn nhiều do đặc tính sinh thái của cây ngập mặn chỉ xuất hiện trên khu vực đất mặn.

Biến động rừng ngập mặn và khu nuôi trồng thủy sản có quan hệ mật thiết với khu vực mặn nhiều, ĐM4, khu vực cồn cát và khu vực bồi tụ.

Nhìn chung, sự biến động các loại lớp phủ đất ở khu vực Giao Thủy, Nam Định tập trung với các đối tượng ven biển và ngoài biển phía bãi triều. Biến động lớp phủ đất ở khu vực này đa dạng và phức tạp những vẫn phát triển trên cơ sở quan hệ với điều kiện tự nhiên. Yếu tố nhân sinh là yếu tố tác động mạnh mẽ đến sự biến động lớp phủ đất còn là hạn chế trong bài báo này. Trong những nghiên cứu tương lai, sự tổng hợp đầy đủ yếu tố về tự nhiên và nhân tạo sẽ là giải pháp hoàn thiện để phục vụ định hướng quy hoạch sử dụng đất bền vững.

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

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.

Tài liệu tham khảo

- Ostwald, M.; Wibeck, V.; Stridbeck, P. Proximate causes and underlying driving forces of land-use change among small-scale farmers - illustrations from the Loess Plateau, China. *J. Land Use Sci.* **2009**, *4*(3), 157–171.
- Virginia, H.D. The relationship between land use change and climate change. *Ecol. Appl.* **1997**, *7*, 753–769.
- Mayer, W.B.; Turner, B.L. Changes in land - use and land cover: a global perspective. Cambridge University Press, Cambridge, 1991.
- Liding, C.; Jun, W.; Bojie, F.; Qiu, Y. Land-use change in a small catchment of northern Loess Plateau, China. *Agric. Ecosyst. Environ.* **2001**, *86*, 163–172.
- Lambin, E.; et al. Causes of land-use and land-cover change. 2007. Available online: <http://www.eoearth.org/view/article/51cbed2f7896bb431f6905af>.
- Kelarestaghi, A.; Jeloudar, Z.J. Land use/cover change and driving force analyses in parts of northern Iran using RS and GIS techniques. *Arab J Geosci.* **2011**, *4*, 401–411.
- Campbell, D.J.; Lusch, D.P.; Smucker, T.A.; Wangui, E.E. Multiple methods in the study of driving forces of land use and land cover change: A case study of SE Kajiado District, Kenya. *Human Ecology* **2005**, *33*(6), 763–794.
- Hietel, E.; Waldhardt, R.; Otte, A. Analysing land-cover changes in relation to environmental variables in Hesse, Germany. *Landscape Ecol.* **2004**, *19*, 473–489.
- Zdeněk, O.; Bořivoj, S.; Petr, K. Land-use changes and their relationships to selected landscape parameters in three Cadastral areas in Moravia (Czech Republic). *Moravian Geogr. Rep.* **2013**, *21*(1), 41–50.
- Qasima, M.; Hubacekb, K., and T. M. Underlying and proximate driving causes of land use change in district Swat, Pakistan. *Land Use Policy* **2013**, *34*, 146–157.
- Lambin, E.; Turner, II B.L.; Geist, H.J.; Samuel, B.A. The causes of land-use and land-cover change: moving beyond the myths. *Global Environ. Change* **2001**, *11*, 261–269.

12. Lubowski, R.N.; Shawn, B.; Roger, C.; Michael, J.R.; Joseph, C.C.; Anna, G.; Johansson, R. Environmental effects of agricultural land-use change: The role of economics and policy. United States Department of Agriculture, Ecosystems and Environment, 2006.
13. Wu, X.; Shen, Z.; Liu, R.; Xiaowen, D. Land use/cover dynamics in response to changes in environmental and socio-political forces in the upper reaches of Yangtze River, China. *Sensors* **2008**, 8(12), 8104–8122.
14. Veldkamp, A.; Lambin, E.F. Predicting land-use change. *Agric. Ecosyst. Environ.* **2001**, 85, 1–6.
15. Lambin, E.; Geist, H. Land-use and land-cover change. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2006.
16. Monica, G.T. Landscape ecology: the effect of pattern on process. *Annu. Rev. Ecol. Syst.* **1989**, 20, 171–197.
17. Pan, D.; Domon, G.; Blois, S., and Bouchard, A. Temporal (1958–1993) and spatial patterns of land use changes in Haut-Saint-Laurent (Quebec, Canada) and their relation to landscape physical attributes. *Landscape Ecol.* **1999**, 14(1), 35–52.
18. Roy, P.S.; Ramachandran, R.M.; Paul, O.; Thakur, P.K.; Ravan, S.; Behera, M.D.; Sarangi, C.; Kanawade, V.P. Anthropogenic land use and land cover changes: A review on its environmental consequences and climate change. *J. Indian Soc. Remote Sens.* **2022**, 50(8), 1615–1640.
19. Ngoc, L.B. Climate Change and landsse change of rural households in the Red River Delta, Vietnam. *J. Econ. Dev.* **2013**, 15(2), 79–94.
20. Anderson, J.R.; Hardy, E.E.; Roach, J.T., Witmer. R.E. A Land Use And Land Cover Classification System For Use With Remote Sensor Data. Washington: United States Department of the Interior, 1976.
21. Cornec, M.; Claustre, H.; Mignot, A.; Guidi, L.; Lacour, L.; Poteau, A.; D'Ortenzio, F.; Gentili, B.; Schmechtig, C. Deep chlorophyll maxima in the global ocean: Occurrences, drivers and characteristics. *Global Biogeochem. Cycles* **2021**, 35(4), e2020GB006759.
22. Skidmore, A.K.; Coops, N.C.; Neinavaz, E.; Ali, A.; Schaepman, M.E.; Paganini, M.; Kissling, W.D.; Vihervaara, P.; Darvishzadeh, R.; Feilhauer, H.; Fernandez, M.; Fernandez, N.; Gorelick, N.; Geijzendorffer, I.; Heiden, U.; Heurich, M.; Hobern, D.; Holzwarth, S.; Muller-Karger, F.E.; Van De Kerchove, R.; Lausch, A.; Leitao, P.J.; Lock, M.C.; Mucher, C.A.; O'Connor, B.; Rocchini, D.; Roeoesli, C.; Turner, W.; Vis, J.K.; Wang, T.; Wegmann, M.; Wingate, V. Priority list of biodiversity metrics to observe from space. *Nat. Ecol. Evol.* **2021**, 5(7), 896–906.
23. Bufebo, B.; Elias, E. Land use/land cover change and its driving forces in shenkolla watershed, South Central Ethiopia. *Sci. World J.* **2021**, 2021, 9470918.
24. Aspinall, R. Modelling land use change with generalized linear models--a multi-model analysis of change between 1860 and 2000 in Gallatin Valley, Montana. *J Environ. Manage.* **2004**, 72(1-2), 91–103.
25. McConnell, W.J.; Sweeney, S.P.; Mulley, B. Physical and social access to land: spatio-temporal patterns of agricultural expansion in Madagascar. *Agric. Ecosyst. Environ.* **2004**, 101(2-3), 171–184.
26. Williams, N.S.G.; McDonnell, M.J.; Seager, E.J. Factors influencing the loss of an endangered ecosystem in an urbanising landscape: A case study of native grasslands from Melbourne, Australia. *Landscape Urban Plann.* **2005**, 71(1), 35–49.
27. Estacio, I.; Sianipar, C.P.M.; Onitsuka, K.; Basu, M.; Hoshino, S. A statistical model of land use/cover change integrating logistic and linear models: An application to agricultural abandonment. *Int. J. Appl. Earth Obs. Geoinf.* **2023**, 120, 103339.

28. Pradana, A.N.; Djuraidah, A.; Soleh, A.M. Land use change modelling using logistic regression, random forest and additive logistic regression in Kubu Raya regency, West Kalimantan. *Forum Geogr.* **2023**, *37*(2), 149–163.
29. Phái, V.V.; Ngọc, D.T. Một số phương pháp nghiên cứu biến động đường bờ biển. in Hội nghị khoa học Địa lý - Địa chính. Đại học Khoa học Tự nhiên, Đại học Quốc gia Hà Nội, Hà Nội, 2010.
30. Lan, P.T.; Son, T.S.; Kavinda, G.; Nhan, N.T.; Hien, L.P. Application of remote sensing and GIS technology for monitoring coastal changes in estuary area of the Red river system, Vietnam. *J. Korean Soc. Surv. Geod. Photogramm. Cartogr.* **2013**, *31*(2-6), 343–353.
31. Millington, J.D.A.; Perry, G.L.W. Regression techniques for examining land use/cover change: A case study of a mediterranean landscape. *Ecosystems* **2007**, *10*, 562–578.

Assessing the relationship between land cover changes and natural condition using remote sensing and logistic regression: A case study in Giao Thuy District, Nam Dinh Province

Pham Thi Lan^{1*}

¹ Hanoi University of Mining and Geology; phamthilan@humg.edu.vn

Abstract: Land cover changes impact the living conditions of humans and organisms. Land use changes are the result of interactions between natural and human factors. Therefore, studying land cover changes is a multidisciplinary field, encompassing economics, sociology, and geography, including remote sensing and GIS. The objective of this paper is to use remote sensing and logistic regression methods to spatialize and quantify the relationship between land cover changes and natural conditions in Giao Thuy District, Nam Dinh Province. Landsat images were used to extract land cover information for the periods 1989, 2001, 2005, and 2023 using an object-oriented approach combined with sample-based segmentation. The focus of land cover changes includes changes in rice and crop lands, barren lands, mangrove forests, and aquaculture areas. Natural conditions were determined in relation to land cover in the Giao Thuy area, including erosion, saccretion, geomorphology, soil type, and distance to the shoreline. This relationship was represented spatially using GIS overlay functions and quantified through a logistic regression model. The results indicate that land cover changes vary under different natural conditions and have different positive or negative correlations depending on the regression values. These findings provide useful insights for policymakers in regulating the use and exploitation of natural resources.

Keywords: Land cover; Nature features; Remote sensing; Logistic regression.

Bài báo khoa học

Xác định khoảng cách hiệu dụng trong tìm kiếm, cứu nạn trên biển bằng công nghệ GIS và phương pháp mô hình hóa

Nguyễn Quang Minh^{1,3}, Bùi Tiến Diệu², Nguyễn Văn Trung^{3,4*}

¹ Cục Bản đồ - Bộ tổng tham mưu; nguyenvanquangminh.sar@gmail.com

² Đại học Đông Nam NaUy; dieu.t.bui@usn.no

³ Trường Đại học Mở - Địa chất; nguyenvantrung@humg.edu.vn

⁴ Nhóm nghiên cứu Công nghệ Địa tin học trong Khoa học Trái đất (GES), Trường Đại học Mở - Địa chất; nguyenvantrung@humg.edu.vn

*Tác giả liên hệ: nguyenvantrung@humg.edu.vn; Tel.: +84-986058067

Ban Biên tập nhận bài: 19/8/2024; Ngày phản biện xong: 9/9/2024; Ngày đăng bài: 25/2/2025

Tóm tắt: Việt Nam là quốc gia ven biển với đường bờ biển dài, vùng biển rộng dẫn đến các tai nạn, sự cố trên biển xảy ra thường xuyên, nhất là trong điều kiện chịu ảnh hưởng của biến đổi khí hậu. Bài báo này trình bày kết quả xác định khoảng cách hiệu dụng trong tìm kiếm, cứu nạn trên biển ở khu vực vịnh Bắc Bộ trên cơ sở phương pháp mô hình hóa và dữ liệu GIS. Trong nghiên cứu, các lớp dữ liệu bao gồm: (1) dữ liệu tàu tìm kiếm, cứu nạn; (2) tốc độ gió điều chỉnh (3) ảnh lấy gió; (4) gia tốc trọng trường và (5) bản đồ độ sâu được sử dụng để xác định thời gian phản hồi trong tìm kiếm, cứu nạn trên biển. Ba kịch bản với điều kiện thời tiết và đặc điểm tàu tìm kiếm, cứu nạn khác nhau được thử nghiệm để xây dựng bản đồ khoảng cách hiệu dụng trong tìm kiếm, cứu nạn trên biển. Kết quả nhận được trong nghiên cứu cung cấp thông tin quan trọng, giúp các lực lượng chức năng xây dựng các phương án tìm kiếm, cứu nạn phù hợp tùy theo điều kiện thời tiết, trang thiết bị cụ thể.

Từ khóa: Tìm kiếm - cứu nạn; Khoảng cách hiệu dụng; GIS; Mô hình hóa; Vịnh Bắc Bộ.

1. Mở đầu

Việt Nam có bờ biển dài hơn 3260 km, trải dài từ Bắc xuống Nam với hàng nghìn hòn đảo, đặc biệt có hai quần đảo Hoàng Sa và Trường Sa trên Biển Đông. Vùng biển Việt Nam có diện tích trên 1 triệu km², đóng vai trò vô cùng quan trọng trong phát triển kinh tế, đảm bảo an ninh, quốc phòng và giao thông hàng hải đối với nước ta [1]. Do diện tích vùng biển rộng, với nhiều tuyến vận tải biển quốc tế, trong nước và các tàu khai thác tài nguyên, đánh bắt cá nên dễ xảy ra các tai nạn trên biển, nhất là trong điều kiện chịu ảnh hưởng của thiên tai. Hơn nữa, những thiên tai trên biển thường xảy ra dữ dội, bất ngờ dẫn đến những khó khăn rất lớn trong công tác tìm kiếm, cứu nạn. Công tác cứu nạn hàng hải đòi hỏi tính khẩn cấp và yêu cầu về phương tiện, thiết bị, nhân lực cao trong khi vùng biển dài, trải rộng... Với đặc thù khu vực biển, việc xác định sớm vị trí cần tổ chức tìm kiếm, cứu nạn cũng như tiếp cận khu vực cần tìm kiếm, cứu nạn gặp rất nhiều khó khăn. Điều này ảnh hưởng rất lớn đến hiệu quả cũng như khả năng tìm kiếm, cứu nạn, làm giảm hiệu quả trong công tác ứng phó với thiệt hại do thiên tai gây ra. Để phục vụ công tác tìm kiếm, cứu nạn trên biển, việc ứng dụng công nghệ địa không gian đã được áp dụng hiệu quả ở nhiều nước trên thế giới, đặc biệt là ở các quốc gia phát triển, làm chủ các công nghệ như hệ thống vệ tinh định vị toàn cầu và các hệ thống viễn thám. Nhiều nghiên cứu đã phát triển các mô hình nhằm xác định vị trí xảy ra sự cố trên biển, tính toán thời gian tối ưu trong tìm kiếm, cứu nạn dựa trên các dữ liệu về dòng chảy, tốc độ gió, độ cao sóng biển... [2, 3].

Xác định khoảng cách hiệu dụng, hay bản chất là xác định thời gian phản hồi (response time) từ lúc nhận được thông tin khẩn cấp đến điều động tàu và tổ chức ứng phó sự cố là một vấn đề rất quan trọng, ảnh hưởng lớn đến quá trình lập kế hoạch và hiệu quả công tác tìm kiếm, cứu nạn trên biển. Nghiên cứu [4] đã sử dụng công nghệ GIS trong xác định thời gian phản hồi trong công tác tìm kiếm, cứu nạn với các sự cố do hoạt động chèo thuyền ở vịnh Phần Lan. Trong nghiên cứu này, phương pháp mô hình hóa được áp dụng để tính thời gian phản hồi cho toàn bộ khu vực nghiên cứu bằng cách sử dụng các thông tin như dữ liệu sự cố, đặc điểm tàu tìm kiếm, cứu nạn, kích bản về chiều cao sóng biển, gió biển. Nghiên cứu [5] phát triển một mô hình trên nền tảng GIS để tính toán quãng đường và chi phí trong cứu nạn trên biển sử dụng các thông tin như hướng gió, hướng sóng (swell direction), chiều cao sóng biển cũng như đặc điểm tàu cứu nạn. Nghiên cứu [6] đã đề xuất một mô hình lai kết hợp tối ưu hóa và mô phỏng để phân bổ máy bay trực thăng phục vụ tìm kiếm, cứu nạn trên biển. Phương pháp mô hình hóa cũng được sử dụng trong nghiên cứu [7] nhằm xác định tuyến đường tiếp cận khu vực xảy ra sự cố, giúp giảm thiểu thời gian tiếp cận bằng máy bay dựa trên các lớp thông tin như độ bền của máy bay, mức tiêu thụ nhiên liệu, tải trọng, trọng lượng cất cánh và hạ cánh, năng lực sân bay để khai thác các loại máy bay khác nhau. Nghiên cứu [8] đã phát triển một mô hình xác định thời gian phản hồi của tàu cứu hộ nhằm đánh giá khả năng tìm kiếm, cứu nạn hàng hải ở khu vực Biển Đông, tập trung vào 4 quốc gia gồm Trung Quốc, Việt Nam, Malaysia và Philippin. Nghiên cứu [9] đề xuất một khung mô hình hóa dựa trên tác nhân (ABM - Agent Based Modelling) để đánh giá hiệu suất của các hoạt động tìm kiếm, cứu nạn (SAR) nhằm giải quyết những thách thức liên quan đến điều kiện thời tiết ở Bắc Cực. Phương pháp mô phỏng Monte Carlo được sử dụng để mô hình hóa động lực và sự không chắc chắn của điều kiện thời tiết và biển bằng cách sử dụng dữ liệu lịch sử. Sau đó, quy trình đánh giá của chuyên gia sẽ được sử dụng để định lượng tác động của các mức độ nghiêm trọng đó đối với hoạt động của lực lượng cứu hộ cũng như tổng thời gian cứu hộ.

Tại Việt Nam, cho đến nay đã có một số nghiên cứu ứng dụng công nghệ địa không gian và các kỹ thuật mô hình hóa phục vụ công tác tìm kiếm, cứu nạn. Các nghiên cứu này tập trung vào các hướng chính như: (1) phát triển các thuật toán, phương pháp nhận dạng đối tượng cần tìm kiếm, cứu nạn trên ảnh viễn thám [10, 11], (2) xây dựng cơ sở dữ liệu phục vụ công tác tìm kiếm, cứu nạn [12–14] và (3) ứng dụng viễn thám và GIS trong xây dựng hệ thống cảnh báo sớm nguy cơ thiên tai, phục vụ tìm kiếm, cứu nạn [15]. Có thể nhận thấy, số lượng các nghiên cứu trong xây dựng các mô hình hỗ trợ công tác tìm kiếm, cứu hộ trên biển ở Việt Nam còn khá hạn chế, cả về số lượng cũng như kết quả đạt được. Phần lớn các nghiên cứu này mới tập trung ở đề xuất các mô hình hỗ trợ công tác tìm kiếm, cứu hộ hoặc phát triển các thuật toán để nhận dạng đối tượng trên biển. Chưa có nghiên cứu nào sử dụng các dữ liệu địa không gian và dữ liệu về khí tượng, hải văn nhằm mô hình hóa thời gian phản hồi trong quá trình tìm kiếm, cứu hộ.

Nghiên cứu này trình bày kết quả xác định khoảng cách hiệu dụng trong tìm kiếm, cứu nạn trên biển bằng dữ liệu GIS và phương pháp mô hình hóa. Các lớp dữ liệu đầu vào về tàu tìm kiếm, cứu nạn; tốc độ gió điều chỉnh, ảnh lầy gió, gia tốc trọng trường, độ sâu đáy biển được sử dụng để tính thời gian đi hết một đơn vị không gian (pixel ảnh), từ đó xác định thời gian phản hồi trong tìm kiếm, cứu nạn trên biển.

2. Dữ liệu và phương pháp nghiên cứu

2.1. Giới thiệu về khu vực thực nghiệm

Vịnh Bắc Bộ ở phía Tây Bắc của Biển Đông, nằm giữa Việt Nam và Trung Quốc là một trong những vịnh nước mặn lớn trên thế giới với diện tích khoảng 126.250 km², chiều ngang rộng nhất khoảng 310 km và hẹp nhất khoảng 207 km. Dọc theo bờ Vịnh Bắc Bộ bao gồm 10 tỉnh, thành phố của Việt Nam và hai tỉnh của Trung Quốc với tổng chiều dài khoảng 1458 km [1] (Hình 1) (website: <https://vdstravel.vn/>). Vịnh Bắc Bộ có nguồn tài nguyên biển đa

dạng với nhiều ngư trường lớn, có tiềm năng về dầu mỏ và khí đốt. Vịnh Bắc Bộ có độ sâu trung bình 50 m với điểm đáy biển sâu nhất là 107 m. Địa hình đáy vịnh phần lớn có góc dốc nhỏ hơn 5°, phần còn lại ít khi tới 10-30° với các trũng dạng tuyến cắt qua các đường đẳng. Bên cạnh đó, các đồi ngầm đá Đệ Tam và các đê cát ngầm xuất hiện dưới đáy vịnh [16, 17].

Với đặc điểm trên, Vịnh Bắc Bộ có tầm quan trọng đặc biệt đối với quá trình phát triển kinh tế, giao thương quốc tế và đảm bảo quốc phòng, an ninh của nước ta. Vịnh Bắc Bộ là một trong những tuyến đường hàng hải quan trọng trên thế giới với giao thông hàng hải nhộn nhịp, các tai nạn hàng hải, sự cố môi trường diễn ra rất phức tạp, nhất là trong điều kiện ảnh hưởng của biến đổi khí hậu. Vùng biển vịnh Bắc Bộ và các khu vực ven biển thường xảy ra các hiện tượng thiên tai bao gồm bão, lũ, triều cường, mưa lớn, thời tiết nguy hiểm trên biển và các ảnh hưởng của thiên tai như sóng, nước dâng do bão, ngập lụt, bồi lắng, xói lở, xâm nhập mặn đến quá trình phát triển kinh tế - xã hội trong khu vực. Theo thống kê từ trong giai đoạn 1961-2014, Việt Nam chịu ảnh hưởng của 364 cơn bão, trong đó tần số bão ảnh hưởng giảm dần từ Bắc và Nam. Khu vực từ Quảng Ninh đến Thanh Hóa có tần số bão ảnh hưởng lớn nhất trên cả nước với hơn 2 cơn bão/năm [18]. Bên cạnh đó, các hệ thống sông đổ ra biển ở vịnh Bắc Bộ cũng chịu ảnh hưởng của lũ thượng nguồn, mưa lớn, triều cường, sóng lớn và nước dâng do bão [19].



Hình 1. Khu vực nghiên cứu.

2.2. Dữ liệu sử dụng

Trên cơ sở đánh giá tổng quan về điều kiện tự nhiên, khí hậu khu vực vịnh Bắc Bộ cũng như hiện trạng nguồn dữ liệu và kinh nghiệm từ các nghiên cứu trên thế giới, trong bài báo đã xây dựng bộ dữ liệu đầu để tính toán khoảng cách hiệu dụng hỗ trợ công tác tìm kiếm, cứu nạn trên biển. Bộ dữ liệu đầu vào bao gồm 5 lớp thông tin: (1) Dữ liệu tàu tìm kiếm, cứu nạn; (2) tốc độ gió điều chỉnh; (3) ảnh lầy gió; (4) gia tốc trọng trường và (5) bản đồ độ sâu.

+ Dữ liệu tàu tìm kiếm, cứu nạn (tàu SAR). Dữ liệu các tàu tìm kiếm, cứu nạn (tàu SAR) được thu thập tại Cục Cứu hộ cứu nạn, Bộ Quốc phòng (lấy từ bảng danh mục tàu tìm kiếm, cứu nạn do Sở chỉ huy/Cục Cứu hộ cứu nạn cung cấp nội bộ) (Bảng 1), bao gồm tàu TS 01 của Quân chủng Hải quân, tàu CN-09 của Bộ đội Biên phòng (Bộ Quốc phòng) và tàu KN-579 của Cục Kiểm ngư (Bộ Nông nghiệp và Phát triển nông thôn). Đặc điểm các tàu SAR (vận tốc, tầm hoạt động) được thể hiện trong Bảng 1.

Bảng 1. Thông số lực lượng tàu tìm kiếm cứu nạn trên biển.

Đơn vị	Số hiệu	Vận tốc (Hải lý/giờ)		Tầm hoạt động (Hải lý)
		V _{kt}	V _{max}	
Hải quân	TS: 01.	10	12	4000
Biên phòng	CN-09	20	22	07 ngày (V = 10HL/h)
Cục Kiểm ngư	KN-579	22	25	13 ngày

+ Để xác định lớp dữ liệu tốc độ gió hiệu chỉnh, thông tin đầu vào bao gồm hướng gió, tốc độ gió phổ biến và thời gian xuất hiện ở khu vực thực nghiệm. Hướng gió (từ 0° đến 360°) được xác định là hướng gió trung bình theo tháng hoặc khoảng thời gian lựa chọn [20]. Thời gian xuất hiện là ngày xảy ra hướng gió và tốc độ gió đó. Tham số thời gian được định nghĩa dưới dạng dd-mm-yy (ví dụ: 061021, có nghĩa là ngày 06 tháng 10 năm 2021) [21, 22].

+ Lớp dữ liệu lấy gió (*wind fetch*) được xây dựng từ thông tin về hướng gió và ranh giới đất liền - mặt nước. Lấy gió (*wind fetch*) được định nghĩa là khoảng cách liên tục mà gió thổi trên mặt nước, không bị ảnh hưởng bởi địa hình hoặc các vật cản khác. Thông tin về dữ liệu lấy gió được tính bằng khoảng cách theo đường thẳng tính từ vị trí quan tâm đến vị trí xa nhất mà gió thổi liên tục trên mặt biển. Hay nói cách khác, lấy gió là khoảng cách không bị cản trở mà gió có thể di chuyển trên mặt nước theo một hướng không đổi. Khoảng cách lấy gió càng dài sẽ dẫn đến chiều cao sóng lớn hơn. Mô hình của Cục Khảo sát địa chất Hoa Kỳ (USGS) cung cấp ba phương pháp khác nhau để tính toán dữ liệu lấy gió, bao gồm đơn, SPM hạn chế và SPM [23]. Ranh giới đất liền - mặt nước được xây dựng dựa trên dữ liệu vector khu vực nghiên cứu và biển, sau đó chuyển đổi về định dạng raster theo độ phân giải không gian phù hợp (đảm bảo quá trình tính toán không bị tràn bộ nhớ) [24]. Trong nghiên cứu, độ phân giải không gian được lấy là 100 m × 100 m, trong đó đối tượng mặt nước có giá trị 0, đối tượng đất liền có giá trị 1.

+ Gia tốc trọng trường là một yếu tố có ảnh hưởng đến chiều cao sóng biển [25]. Trong nghiên cứu này, gia tốc trọng trường được sử dụng mặc định là 9,82 (m/s²).

+ Lớp dữ liệu về độ sâu được xây dựng dựa trên dữ liệu điểm độ sâu kết hợp với thuật toán nội suy không gian như IDW, Kriging hay Spline [26–28].

2.3. Phương pháp nghiên cứu

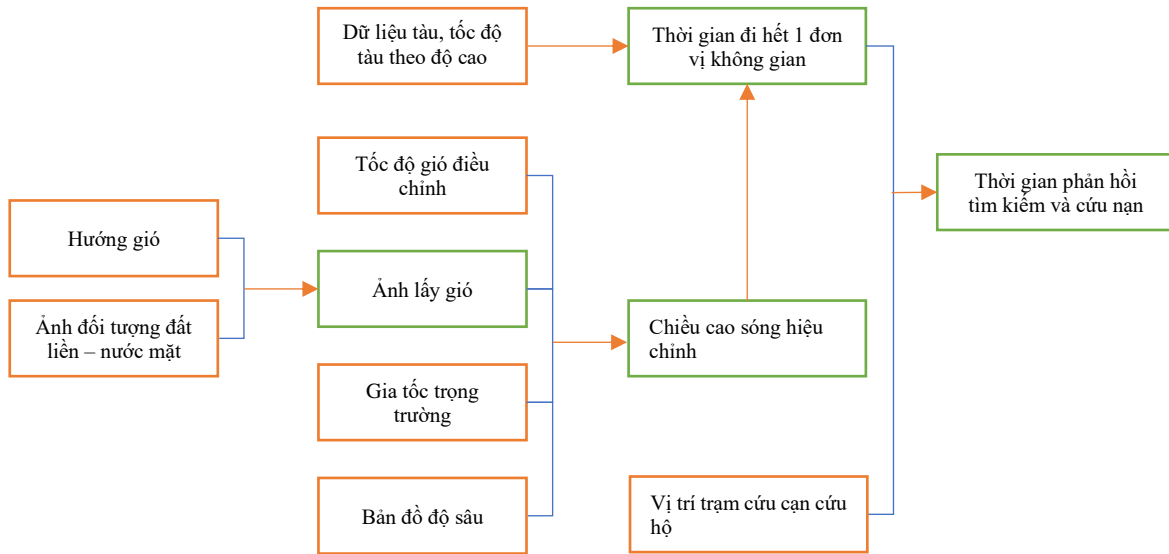
Tìm kiếm, cứu nạn là hoạt động thường được tiến hành trong điều kiện thời tiết khó khăn, nguy hiểm, địa hình khu vực gặp thiên tai, sự cố phức tạp, khó tiếp cận. So với tìm kiếm, cứu nạn trên đất liền, hoạt động tìm kiếm, cứu nạn trên biển còn gặp nhiều khó khăn, thách thức lớn hơn do đặc thù khu vực vùng biển. Công nghệ GIS với ưu điểm nổi bật trong phân tích, xử lý dữ liệu không gian là một phương pháp phù hợp trong xây dựng các mô hình hỗ trợ công tác tìm kiếm, cứu nạn trên biển. Các thuật toán phân tích không gian trong GIS cho phép sử dụng đa lớp dữ liệu đầu vào về điều kiện tự nhiên, thời tiết, sóng biển... để mô hình hóa và hỗ trợ ra quyết định trong tìm kiếm, cứu nạn trên biển [2–6].

Từ bộ dữ liệu đầu vào bao gồm 5 lớp thông tin: (1) Dữ liệu tàu tìm kiếm, cứu nạn; (2) tốc độ gió điều chỉnh (3) ảnh lấy gió; (4) gia tốc trọng trường và (5) bản đồ độ sâu, trong nghiên cứu này đã sử dụng công nghệ GIS để mô hình hóa và xác định khoảng cách hiệu dụng trong tìm kiếm, cứu nạn trên biển khu vực vịnh Bắc Bộ. Sơ đồ quy trình xử lý dữ liệu nhằm xác định khoảng cách hiệu dụng trong tìm kiếm, cứu nạn trên biển khu vực vịnh Bắc Bộ được thể hiện trên Hình 2.

Quá trình tính toán các lớp dữ liệu đầu được thực hiện như sau:

+ Lấy gió (*wind fetch*) được tính theo phương pháp SPM [4, 23]. Trong phương pháp này, dữ liệu ảnh lấy gió chỉ được tính trên phần diện tích của đối tượng nước, không tính đối với các khu vực đất liền. Ảnh đối tượng đất liền-nước mặt được sử dụng để xác định

vị trí khởi đầu và vị trí kết thúc của mỗi hướng gió cần phân tích. Vị trí này chính là phân giao giữa đối tượng đất liền và nước mặt. Sau khi tính toán được dữ liệu lấy gió, dữ liệu này được sử dụng cho tính toán chiều cao sóng hiệu chỉnh.



Hình 2. Quy trình xử lý dữ liệu phục vụ tính toán khoảng cách hiệu dụng trong tìm kiếm, cứu nạn trên biển.

+ Mô hình tính toán chiều cao sóng hiệu chỉnh với các công thức dưới được lấy từ Sổ tay kỹ thuật bờ biển (USACE) [29, 30]:

$$\begin{aligned}
 C_d &\approx 0.001 \times (1.1 + (0.035 \times U_A)) \\
 U_* &= (C_d)^{1/2} \times U_A \\
 x(g \times x) / (U_*)^2 & \\
 H_{m0} &= \lambda_1 * (x)^{m1} \\
 H_{m0} &= H_{m0} \times \frac{U_{**}^2}{g}
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

Trong đó U_A là tốc độ gió được điều chỉnh (m/s); z là độ cao quan sát được của tốc độ gió (s); t là số giây để đi được một dặm; C_d là hệ số lực cản; U_* là vận tốc ma sát; $\lambda_1 = 0,0413$; $m_1 = 1/2$; H_{m0} là chiều cao sóng có ý nghĩa không thứ nguyên; H_{m0} là chiều cao sóng đáng kể (m); x lấy gió không thứ nguyên; x : lấy gió (m); g là gia tốc trọng trường ($9,82 \text{ m/s}^2$).

Thời gian đi hết một đơn vị không gian được tính cho tàu tìm kiếm, cứu nạn theo mô hình của USACE như sau [30]:

Đầu tiên tính thời gian không hiệu chỉnh: $t = \frac{S}{v}$ với s là độ phân giải không gian, v là tốc độ của tàu. Sau đó, tiến hành chia các khoảng độ cao sóng với các vận tốc khác nhau, mỗi độ cao sóng tính toán các tham số:

$$\begin{aligned}
 a &= \frac{t_1 - t_2}{wh_1 - wh_2} \\
 b &= \frac{wh_1 \times t_2 - wh_2 \times t_1}{wh_1 - wh_2}
 \end{aligned}
 \tag{2}$$

Khi đó, thời gian đi hết 1 đơn vị không gian được tính bằng:

$$t = wh \times a + b
 \tag{3}$$

với wh là độ cao sóng, a và b lần lượt là các tham số ứng với độ cao wh .

Cuối cùng, thời gian phản hồi tìm kiếm và cứu nạn được tính toán theo khoảng cách hiệu dụng với đầu vào là vị trí các trạm cứu nạn cứu hộ và dữ liệu thời gian đi hết một đơn vị không gian.

3. Kết quả nghiên cứu và thảo luận

3.1. Kết quả xây dựng các lớp thông tin thành phần

Để xây dựng lớp dữ liệu tàu tìm kiếm, cứu nạn trên biển, trong nghiên cứu thử nghiệm với 03 loại tàu sau: TS-01 (Quân chủng Hải quân), vận tốc tối đa 12 hải lý/giờ; CN-09 (Bộ đội Biên phòng), vận tốc tối đa 22 hải lý/giờ và KN-579 (Cục Kiểm ngư, Bộ Nông nghiệp và Phát triển nông thôn), vận tốc tối đa 25 hải lý/giờ. Tại khu vực thử nghiệm, độ cao sóng thu thập được không vượt quá 4 m. Do sóng biển càng cao, vận tốc tàu càng thấp, từ đặc điểm này trong nghiên cứu, các tác giả đã giả định vận tốc tàu có sự thay đổi, giảm dần với các độ cao sóng khác nhau như trong Bảng 2. Các giá trị giả định này được lấy qua tham khảo một số cán bộ lực lượng Hải quân, trong đó khi sóng biển cao 4m các tàu thường hạ neo và không di chuyển.

Bảng 2. Vận tốc tàu thay đổi với các độ cao sóng khác nhau (hải lý/giờ).

Chiều cao sóng (m)	Tàu	Vận tốc tàu (hải lý/giờ)		
		TS-01	CN-09	KN-579
0		12	22	25
0,5		12	22	25
1		10	20	22
2		9	18	20
3		8	16	18
4		7	14	16

Tiếp theo, trong nghiên cứu tiến hành tính toán thời gian tàu tìm kiếm, cứu nạn đi hết một đơn vị không gian (100 m × 100 m). Với số liệu vận tốc tàu thay đổi dựa trên các độ cao sóng khác nhau ở Bảng 2, thời gian để một đơn vị tìm kiếm cứu nạn trên biển đi hết một đơn vị không gian được tính toán trong Bảng 3.

Bảng 3. Thời gian tàu đi hết một đơn vị không gian với các chiều cao sóng khác nhau (s).

Chiều cao sóng (m)	Tàu	Thời gian đi hết 1 đơn vị không gian (s)		
		TS-01	CN-09	KN-579
0		16,20	8,84	7,78
0,5		16,20	8,84	7,78
1		19,44	9,72	8,84
2		21,60	10,80	9,72
3		24,30	12,15	10,80
4		27,77	13,89	12,15

Sau đó, các tham số a và b trong phương trình $t = wh \times a + b$ dựa trên công thức (3) được tính toán, phục vụ cho quá trình xác định thời gian phản hồi ở các bước tiếp theo. Giá trị các tham số a và b tương ứng với các tàu tìm kiếm, cứu nạn (TS-01, CN-09, KN-579) đối với mỗi khoảng chiều cao sóng được tính toán trong Bảng 4.

Đặc điểm về hướng gió khu vực vịnh Bắc Bộ được thu thập từ Atlas Điều kiện Tài nguyên và Môi trường vùng biển Việt Nam [31]. Bảng 5 cung cấp thông tin chi tiết về tần suất các hướng gió tại Vịnh Bắc Bộ, trong đó gió thổi từ phía Đông Bắc và Bắc chiếm tỉ lệ cao hơn so với các hướng khác. Sự phân bố này cho thấy một xu hướng gió rõ ràng tại Vịnh Bắc Bộ, điều này có thể ảnh hưởng lớn đến các hoạt động hàng hải cũng như quá trình tổ chức công tác tìm kiếm, cứu nạn trong khu vực. Từ đặc điểm này, trong nghiên cứu đã sử dụng hướng gió với khu vực vịnh Bắc Bộ là các hướng Đông Bắc, Bắc và Nam trong 03 kịch bản thử nghiệm.

Bảng 4. Các tham số a và b ứng với các đơn vị thực nghiệm đối với mỗi khoảng chiều cao sóng khác nhau.

Chiều cao sóng (m)	Tàu	TS-01		CN-09		KN-579	
		a	b	a	b	a	b
0-0,5		0,00	16,20	0,00	8,84	0,00	7,78
0,5-1		6,48	12,96	1,77	7,95	2,12	6,72
1-2		2,16	17,28	1,08	8,64	0,88	7,95
2-3		2,70	16,20	1,35	8,10	1,08	7,56
3-4		3,47	13,89	1,74	6,94	1,35	6,75

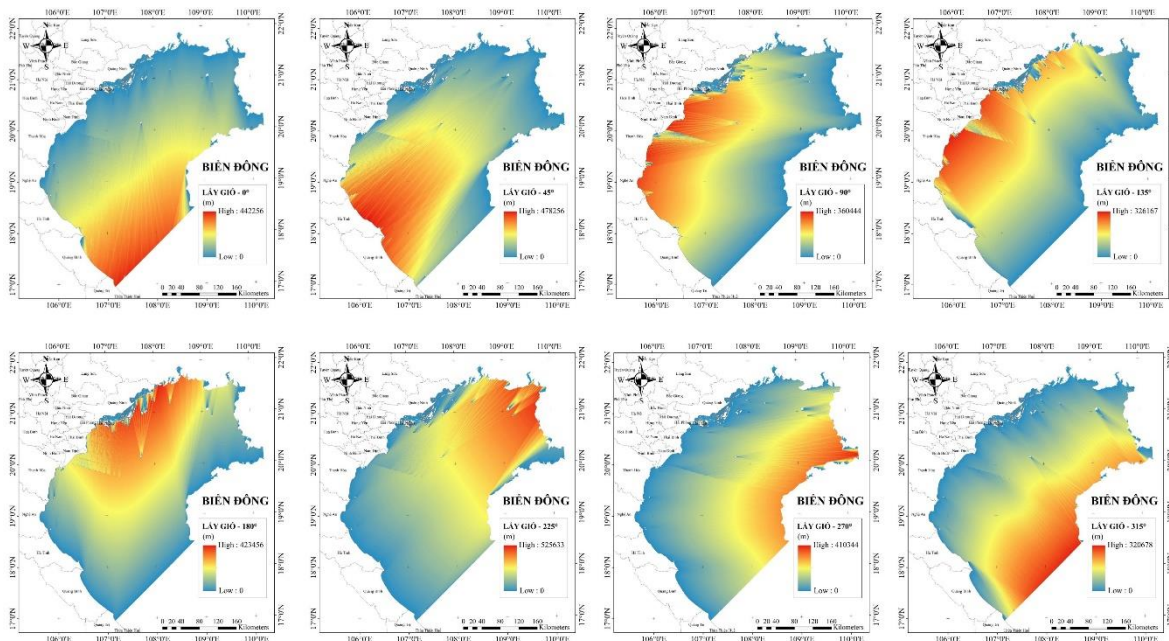
Bảng 5. Tần suất hướng gió thu thập tại Vịnh Bắc Bộ [31].

Hướng gió	Góc	Tần suất	Phần trăm
Đông Bắc	45°	20	17,39%
Bắc	0°	18	15,65%
Nam	180°	16	13,91%
Tây Bắc	315°	16	13,91%
Đông Nam	135°	14	12,17%
Tây Nam	225°	12	10,43%
Đông	90°	10	8,70%
Tây	270°	9	7,83%

Để xây dựng lớp dữ liệu về tốc độ gió điều chỉnh cần thu thập các dữ liệu liên quan đến tần suất xuất hiện của các cấp độ gió biển khác nhau tại khu vực nghiên cứu, từ đó lựa chọn các tốc độ gió phổ biến để xây dựng kịch bản thử nghiệm. Bảng 6 biểu diễn tần suất xuất hiện của các cấp độ gió biển khác nhau đo được tại Vịnh Bắc Bộ từ thông tin thu thập tại Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam.

Bảng 6. Tần suất tốc độ gió thu thập tại Vịnh Bắc Bộ.

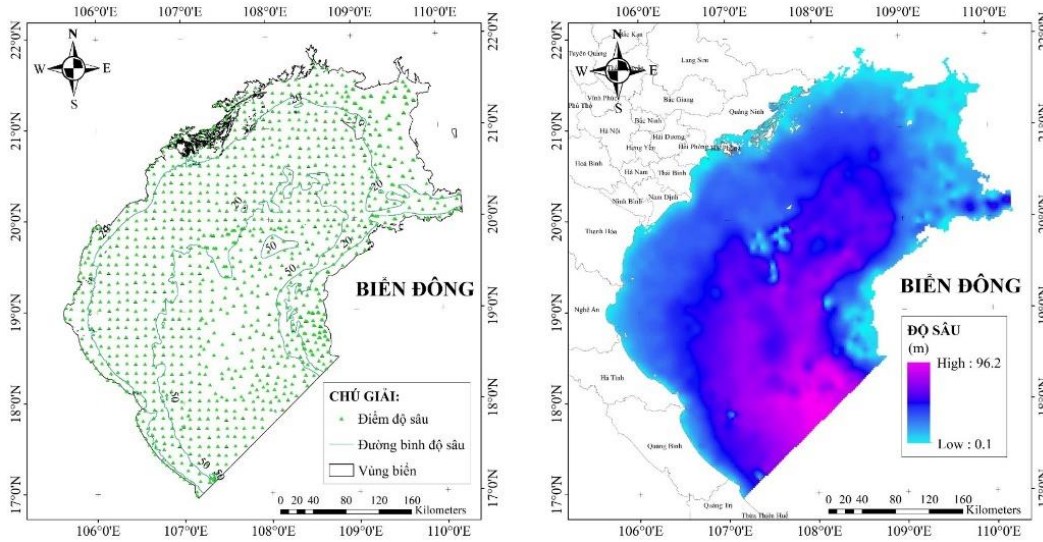
Tốc độ gió (m/s)	Tần suất (x 4696 lần)	Phần trăm (%)
1 - 5	20	17,39
6 - 10	38	33,04
10 - 15	48	41,74
> 15	9	7,83



Hình 3. Kết quả xác định lớp dữ liệu lấy gió (wind fetch) với các hướng gió khác nhau.

Trên các hình 3 trình bày kết quả xây dựng lớp dữ liệu lấy gió với các hướng gió khác nhau, bao gồm: 0°, 45°, 90°, 135°, 180°, 225°, 270° và 315°. Phương pháp SPM (*Shore Protection Manual*) được lựa chọn để tính toán lớp dữ liệu lấy gió.

Hình 4 biểu diễn dữ liệu điểm độ sâu thực tế thu thập tại khu vực Vịnh Bắc Bộ. Dữ liệu bao gồm 1180 điểm với độ sâu từ 0,1 m đến 96 m. Tiếp theo, trong nghiên cứu đã lựa chọn sử dụng thuật toán nội suy Spline để tạo bản đồ độ sâu dạng raster nhằm xây dựng dữ liệu đầu vào cho mô hình tính toán chiều cao sóng. Đây là phương pháp nội suy được sử dụng phổ biến trong xây dựng dữ liệu về địa hình, nhất là địa hình đáy biển, tạo ra bề mặt mượt mà và có độ chính xác cao. Dữ liệu độ sâu dạng raster được hiển thị trong Hình 4, trong đó độ sâu khu vực nghiên cứu có giá trị từ 0,1 m đến 96,2 m.



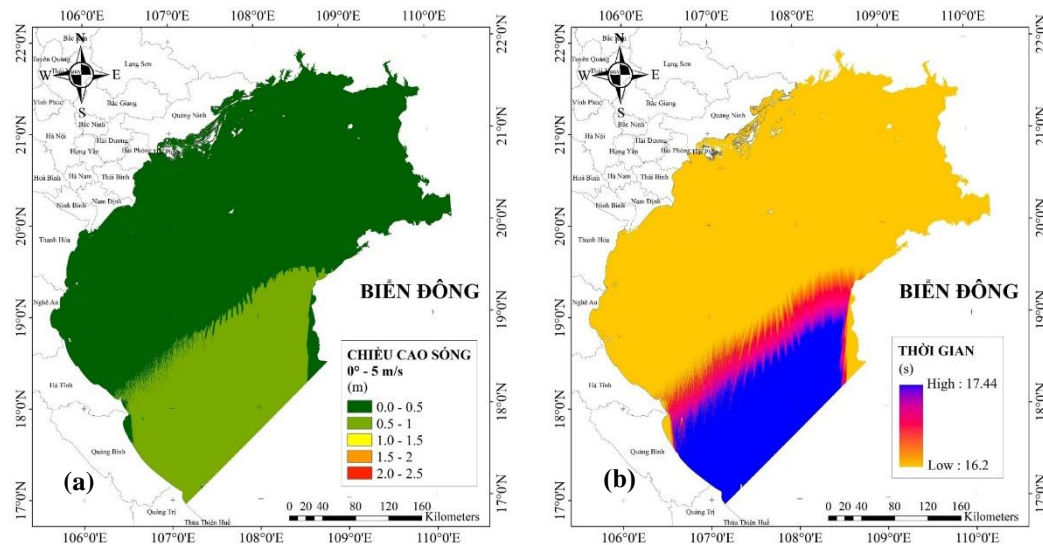
Hình 4. Kết quả xây dựng lớp dữ liệu độ sâu đáy biển bằng phương pháp nội suy Spline.

3.2. Xây dựng các kịch bản thử nghiệm

Trong nghiên cứu, các tác giả đã xây dựng 03 kịch bản thử nghiệm với các thông tin khác nhau về tàu tìm kiếm, cứu nạn cũng như đặc điểm điều kiện thời tiết.

a) Kịch bản 1: Sử dụng tàu TS-01 của lực lượng Hải quân trong tìm kiếm, cứu nạn. Thời tiết trời nắng, gió thổi hướng Bắc (0°), tốc độ gió là 5 m/s.

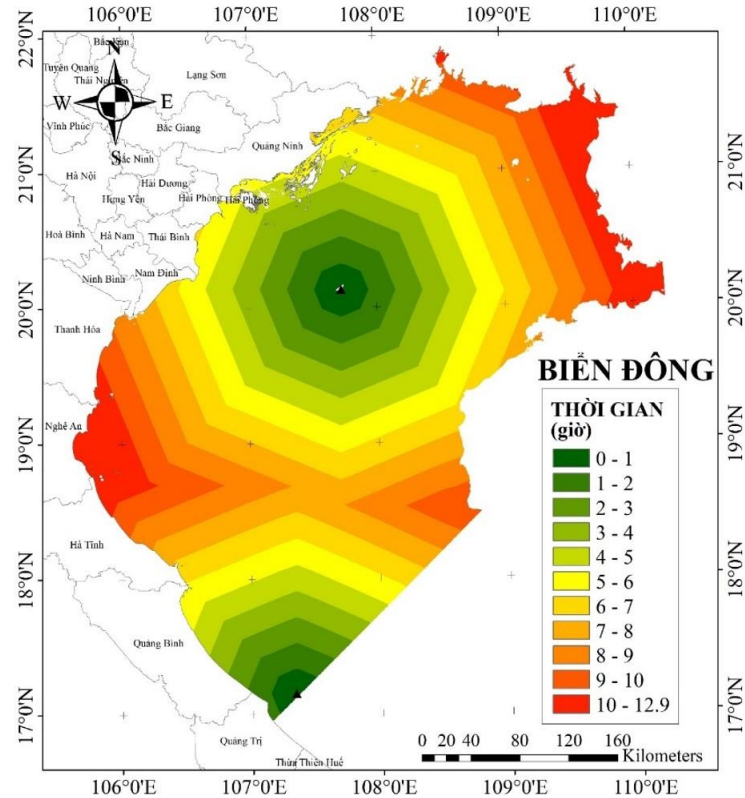
Trên hình 5a trình bày kết quả xây dựng lớp dữ liệu chiều cao sóng biển khu vực nghiên cứu. Có thể nhận thấy, trong kịch bản 1 khi thời tiết thuận lợi, gió nhẹ, chiều cao sóng biển khu vực vịnh Bắc Bộ đạt thấp, chủ yếu dưới 1 m. Khu vực ven bờ có độ cao sóng biển từ 0



Hình 5. Kết quả tính chiều cao sóng biển và thời gian đi hết một đơn vị không gian của tàu SAR (kịch bản 1).
đến 0,5 m; trong khi với khu vực xa bờ, độ cao sóng biển đạt từ 0,5 đến 1 m. Từ kết quả này, trong nghiên cứu đã xác định thời gian để tàu tìm kiếm, cứu nạn đi hết một đơn vị không gian

(kích thước 100 m) đối với kích bản 1 (Hình 5b). Có thể nhận thấy, với kích bản 1 (điều kiện thời tiết tốt, tốc độ gió biển 5 m/s), thời gian để tàu tìm kiếm, cứu nạn TS-01 của lực lượng Hải quân đi hết 01 đơn vị không gian ảnh (100 m) nằm trong khoảng từ 16,2 giây đến 17,44 giây. Thời gian phản hồi thấp tại khu vực gần bờ (độ cao sóng biển từ 0-0,5 m), tăng dần về phía xa bờ khi độ cao sóng biển nằm trong khoảng từ 0,5 m đến 1 m.

Bản đồ thời gian phản hồi (khoảng cách hiệu dụng) đối với tàu tìm kiếm, cứu nạn TS-01 khi xảy ra sự cố trên biển trong kích bản 1 được thể hiện trên hình 6, trong đó hình tam giác màu đen là ký hiệu các trạm tìm kiếm, cứu nạn, đặt tại đảo Bạch Long Vỹ (thành phố Hải Phòng) và đảo Cồn Cỏ (tỉnh Quảng Bình). Để trực quan, bản đồ thời gian phản hồi được chia thành các khoảng, cách nhau 1 giờ. Khi nhận được thông tin và vị trí xảy ra sự cố, bản đồ khoảng cách hiệu dụng cho phép xác định nhanh thời gian từ các trạm tìm kiếm, cứu nạn tới vị trí xảy ra sự cố; giúp nâng cao hiệu quả công tác tìm kiếm và cứu hộ trên biển.

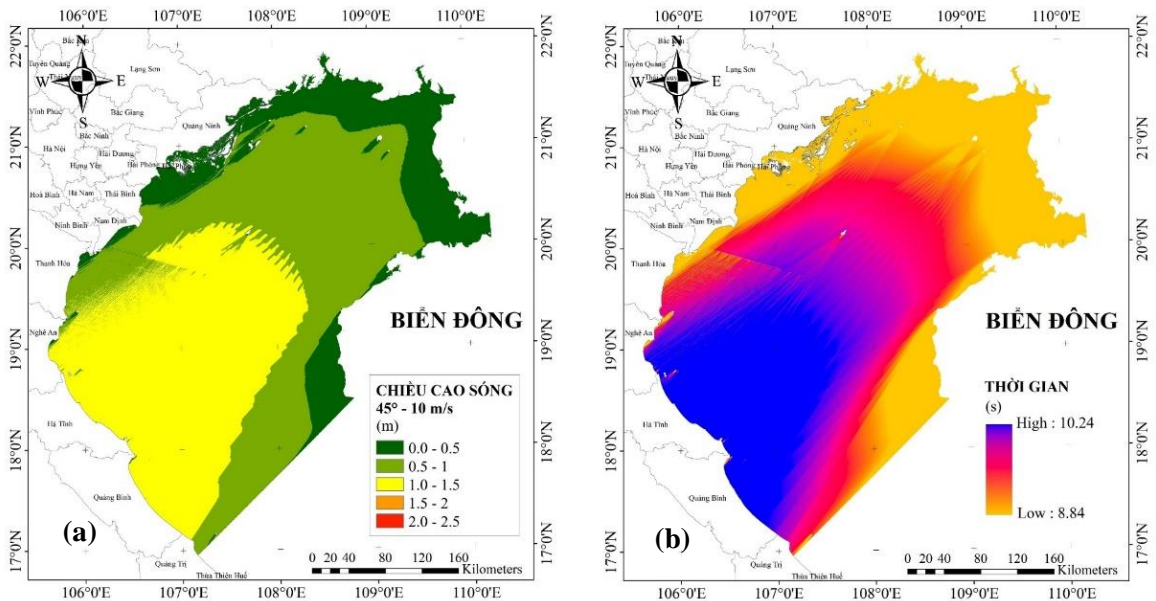


Hình 6. Bản đồ khoảng cách hiệu dụng trong tìm kiếm, cứu nạn trên biển (kích bản 1).

b) Kích bản 2: Trong kích bản này, các tác giả sử dụng tàu CN-09 của Bộ đội Biên phòng để tìm kiếm, cứu nạn.

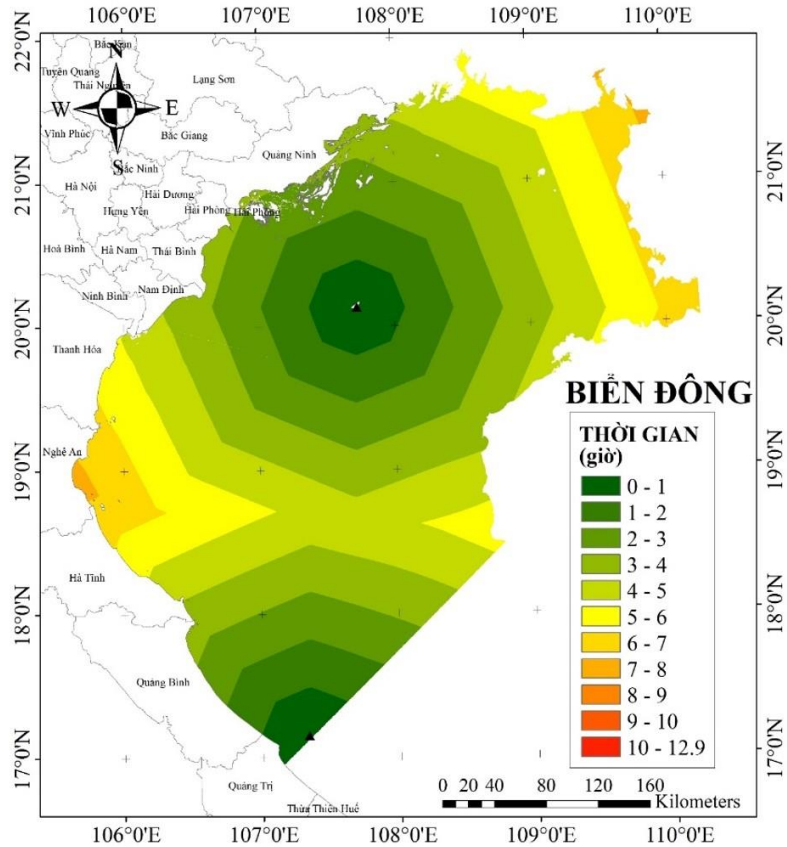
Thời tiết trời nắng, gió thổi hướng Đông Bắc (45°), tốc độ gió 10 m/s. Như vậy, tốc độ gió biển trong kích bản 2 cao hơn đáng kể so với kích bản 1 (5 m/s).

Từ thông tin về tốc độ gió điều chỉnh, ảnh lấy gió, gia tốc trọng trường và bản đồ độ sâu đáy biển, trong kích bản 2 cũng xây dựng được lớp dữ liệu về chiều cao sóng biển (Hình 7a),



Hình 7. Kết quả tính chiều cao sóng biển và thời gian đi hết một đơn vị không gian của tàu SAR (kích bản 2).

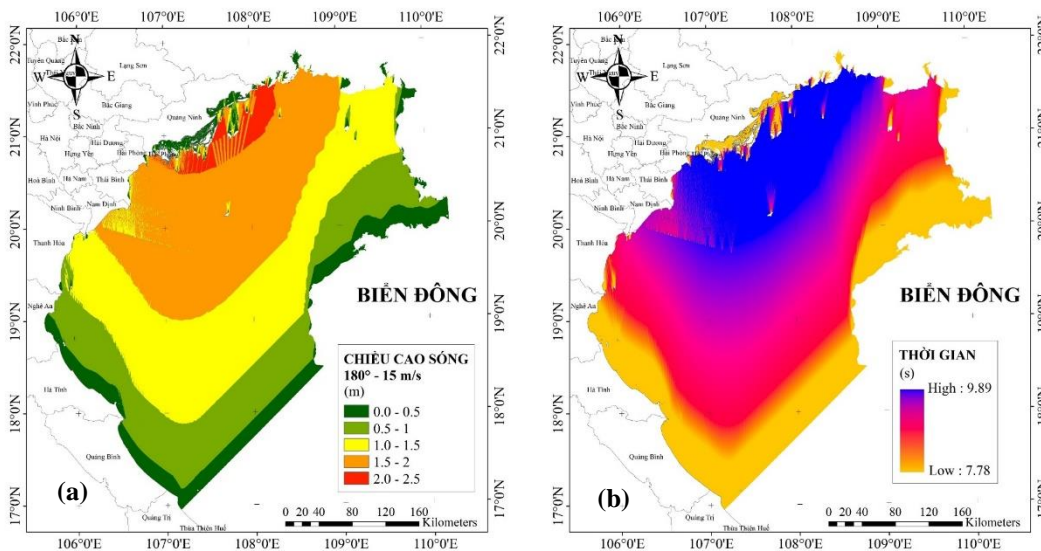
trong đó chiều cao sóng biển tại khu vực nghiên cứu nằm trong khoảng từ 0 đến 2,5 m. Hình 7b trình bày kết quả xác định thời gian đi hết 1 đơn vị không gian (100 m) của tàu CN-09 trong tìm kiếm, cứu nạn tại khu vực nghiên cứu đối với kịch bản 2. Tùy thuộc đặc điểm cụ thể tại từng vị trí ở khu vực nghiên cứu, thời gian để đi hết 01 đơn vị không gian của tàu CN-09 nằm trong khoảng từ 8,84 giây đến 10,24 giây. Kết quả xác định thời gian phản hồi (khoảng cách hiệu dụng) trong tìm kiếm, cứu nạn trên biển đối với kịch bản 2 được thể hiện trên hình 8. Có thể nhận thấy, với kịch bản 2, thời gian phản hồi khi nhận được thông tin về sự cố trên biển thấp hơn đáng kể so với kịch bản 1 do tốc độ của tàu CN-09 (Bộ đội Biên phòng) cao hơn nhiều so với tàu TS-01 (Quân chủng Hải quân).



Hình 8. Bản đồ khoảng cách hiệu dụng trong tìm kiếm, cứu nạn trên biển (kịch bản 2).

c) Kịch bản 3: Trong kịch bản 3, các tác giả sử dụng tàu tìm kiếm, cứu nạn KN-579 của Cục Kiểm ngư (Bộ Nông nghiệp và Phát triển nông thôn). Tàu có vận tốc lớn nhất đạt 25 hải lý/giờ. Thời tiết trời nắng, gió thổi hướng Nam (180°), tốc độ gió là 15 m/s. Như vậy, trong kịch bản này, tốc độ gió biển đạt cao nhất so với 02 kịch bản trước (15 m/s, so với 10 m/s và 5 m/s).

Kết quả xác định chiều cao sóng biển khu vực vịnh Bắc Bộ từ dữ liệu đầu vào trong kịch bản 3 được thể hiện trên hình 9a. Trong kịch bản này, chiều cao sóng biển cũng tương tự như với kịch bản 2, nằm trong khoảng từ 0 đến 2,5 m. Tuy nhiên, do tốc độ gió biển lớn hơn so



Hình 9. Kết quả tính chiều cao sóng biển và thời gian đi hết một đơn vị không gian của tàu SAR (kịch bản 3).

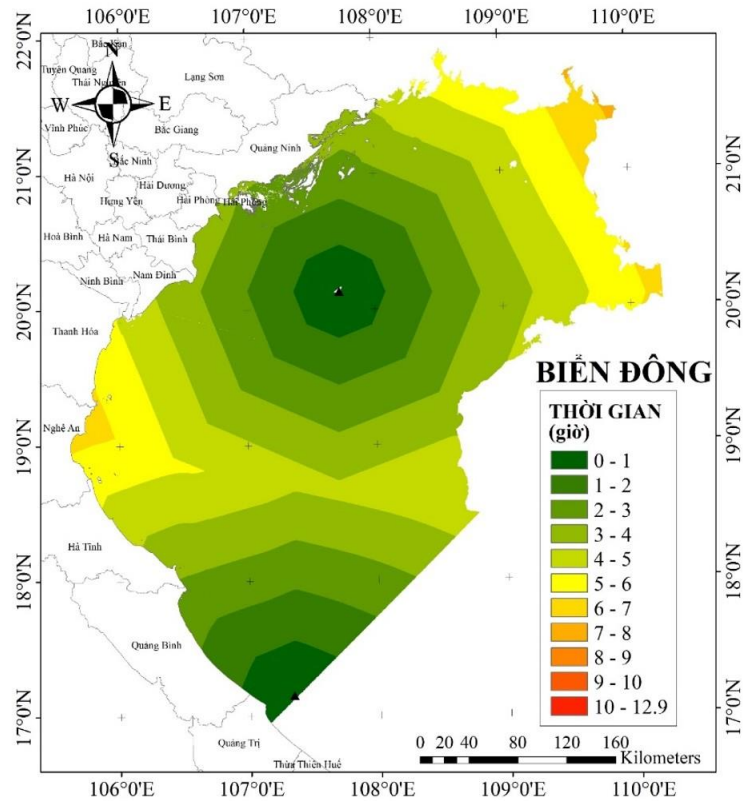
với kịch bản 2, trong kịch bản 3, chiều cao sóng biển có sự phân biệt khá rõ ràng đối với các khu vực khác nhau ở vịnh Bắc Bộ, trong đó chiều cao sóng biển đạt lớn nhất ở gần bờ (khu vực ven biển Quảng Ninh, Hải Phòng). Chiều cao sóng biển thấp dần về phía xa bờ, thể hiện bởi màu xanh trên hình 9a. Thời gian để tàu tìm kiếm, cứu nạn KN-579 của Cục Kiểm ngư (Bộ Nông nghiệp và Phát triển nông thôn) đi hết 01 đơn vị không gian ảnh (100 m) được thể hiện trên hình 9b. Do tốc độ tàu KN-579 cao nhất so với các tàu TS-01 và CN-09, thời gian đi hết 01 đơn vị không gian trong kịch bản 3 đạt thấp nhất, trong khoảng từ 7,78 giây đến 8,89 giây.

Từ kết quả này, trong nghiên cứu tiến hành tính toán thời gian phản hồi đối với tàu KN-579 tại 02 trạm cứu nạn ở đảo Bạch Long Vỹ (Hải Phòng) và Côn Cỏ (Quảng Bình) khi xảy ra sự cố trên biển đối với kịch bản 3. Kết quả xây dựng bản đồ thời gian phản hồi đối với kịch bản 3 được thể hiện trên hình 10. Có thể nhận thấy, với điều kiện thời tiết và thủy, hải văn như trong kịch bản 3, sử dụng tàu tìm kiếm, cứu nạn KN-579 cho phép tiếp cận khu vực gặp nạn trong khoảng từ 0 (màu xanh đậm) đến 8 giờ (màu cam) (Hình 10).

Ba kịch bản được xây dựng tương ứng với các điều kiện về khí tượng, hải văn phổ biến trên khu vực nghiên cứu cũng như đặc điểm các trang thiết bị tìm kiếm, cứu nạn trên biển. Các bản đồ khoảng cách hiệu dụng nhận được trong từng kịch bản cung cấp thông tin đầu vào quan trọng cho các lực lượng tìm kiếm, cứu nạn trên biển tùy theo từng điều kiện khí tượng, hải văn khác nhau trong xây dựng phương án tiếp cận khu vực xảy ra sự cố, trong đó các tàu tìm kiếm, cứu nạn xuất phát từ 02 trạm đặt tại đảo Bạch Long Vỹ (thành phố Hải Phòng) và đảo Côn Cỏ (tỉnh Quảng Bình).

4. Kết luận

Tìm kiếm, cứu nạn trên biển là một công việc có tính đặc thù, đòi hỏi tính khẩn cấp và yêu cầu cao về phương tiện, thiết bị, nhân lực. Việc sử dụng phương pháp mô hình hóa nhằm xác định thời gian phản hồi tới đối tượng cần tìm kiếm, cứu nạn sau khi tiếp nhận thông tin về sự cố trên biển là một tiếp cận phù hợp, cung cấp thông tin đầu vào kịp thời cho các lực lượng tìm kiếm, cứu nạn xây dựng kế hoạch khả thi, phù hợp với điều kiện cụ thể từng khu vực. Nội dung bài báo đã thu thập dữ liệu và xây dựng bộ dữ liệu đầu vào bao gồm các yếu tố: dữ liệu tàu tìm kiếm, cứu nạn; tốc độ gió điều chỉnh; lấy gió (*wind fetch*), gia tốc trọng trường, bản đồ độ sâu nhằm xác định chiều cao sóng biển hiệu chỉnh cũng như tính toán được thời gian các tàu tìm kiếm, cứu nạn đi hết một đơn vị không gian (100 m) trên khu vực biển vịnh Bắc Bộ. Từ kết quả này, trong nghiên cứu đã xây dựng được bản đồ thời gian phản hồi (khoảng cách hiệu dụng) trong tìm kiếm, cứu nạn trên biển với các kịch bản khác nhau. Thông



Hình 10. Bản đồ khoảng cách hiệu dụng trong tìm kiếm, cứu nạn trên biển (kịch bản 3).

tin này giúp các lực lượng chức năng xây dựng các phương án tìm kiếm, cứu nạn phù hợp tùy theo điều kiện thời tiết, trang thiết bị cụ thể.

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

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

Tài liệu tham khảo

1. An, L.Đ. Hệ thống đảo ven bờ Việt Nam - Tài nguyên và phát triển. Nhà xuất bản Khoa học tự nhiên và Công nghệ. 2008.
2. Breivik, O.; Allen, A.; Maisondieu, C.; Olagnon, M. Advances in search and rescue at sea. *Ocean Dyn.* **2013**, 63(1), 83–88.
3. Xiong, W.; van Gelder, P.; Yang, K. A decision support method for design and operationalization of search and rescue in maritime emergency. *Ocean Eng.* **2020**, 207, 107399. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2020.107399>.
4. Venalainen, E. Evaluating voluntary emergency response in the Gulf of Finland. Master thesis of Geography and Geoinformatics, 2014, pp. 118.
5. Burns, D. Application of GIS for coastal rescue response. Proceeding of the 2014 Esri User Conference Paper Sessions. 2014. Available online: <https://proceedings.esri.com/library/userconf/proc14/>.
6. Karatas, M.; Razi, N.; Gunal, M. An ILP and simulation model to optimize search and rescue helicopter operations. *J. Oper. Res. Soc.* **2017**, 68, 1335–1351.
7. Ferrrari, J. A study of optimal search and rescue operations planning problems. Thesis for degree of Doctor of Philosophy (Industrial Engineering). Concordia University, Montreal, Quebec, Canada, 2019.
8. Zhou, X.; Cheng, L.; Min, K.; Zuo, X.; Yan, Z.; Ruan, X.; Chu, S.; Li, M. A framework for assessing the capability of maritime search and rescue in the south China Sea. *Int. J. Disaster Risk Reduct.* **2020**, 47, 101568. <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2020.101568>.
9. Ashrafi, B.; Kim, G.; Naseri, M.; Barabady, J.; Dhar, S.; Heo, G.; Baek, S. An agent-based modelling framework for performance assessment of search and rescue operations in the Barents Sea. *Saf. Extreme Environ.* **2024**. <https://doi.org/10.1007/s42797-024-00101-2>.
10. Định, N.Đ.; Minh, T.B.; Toàn, H.V.; Pha, N.P.; Phục, Đ.N. Ứng dụng công nghệ thông tin trong hỗ trợ tính toán vị trí chuẩn, xác định khu vực tìm kiếm và xây dựng kế hoạch tìm kiếm, cứu nạn trên biển. *Tạp chí Nghiên cứu Khoa học và Công nghệ quân sự* **2018**, 253–263.
11. Phương, N.V.; Hoài, Đ.K.; Đức, T.M.; Vinh, C.T. Phương pháp phát hiện dị thường trên ảnh viễn thám quang học ứng dụng trong công tác tìm kiếm cứu nạn. *Tạp chí Khoa học trường Đại học Cần Thơ, phần A: Khoa học Tự nhiên, Công nghệ và Môi trường* **2020**, 56(1A), 21–36.
12. An, P.T.; Bắc, Đ.Đ.; Xuân, N.T. Tích hợp công nghệ viễn thám và GIS trong hỗ trợ công tác tìm kiếm cứu nạn thiên tai ở Việt Nam. *Tạp chí Khoa học Đo đạc và Bản đồ* **2011**, 9, 54–58.
13. Hải, L.V.H.; Thành, N.S.; Dương, Đ.V.; Nga, N.T.T.; Thủy, N.T.T.; Hạnh, T.T. Xây dựng cơ sở dữ liệu không gian hỗ trợ tìm kiếm, cứu nạn, cứu nạn trên biển dựa trên GIS mã nguồn mở. *Tạp chí Khoa học và Công nghệ Đại học Thái Nguyên* **2021**, 226(02), 42–50.

14. Thành, N.S.; Dương, Đ.V.; Hải, L.V.H.; Hoài, Đ.K.; Nga, N.T.T.; Lộc, L.Đ.; Thủy, N.T.T. Giải pháp hệ thống tin địa lý mã nguồn mở trong hỗ trợ hoạt động tìm kiếm cứu nạn hàng hải. *Tạp chí Khoa học Tài nguyên và Môi trường* **2022**, 41, 22–33.
15. Hà, P.N.; Ty, L.V.; Triều, T.H.; Đức, N.M. Nghiên cứu xây dựng mô hình hệ thống hỗ trợ tìm kiếm cứu nạn cho vùng biển Việt Nam. *Tạp chí Khoa học công nghệ Hàng hải* **2019**, 59, 90–95.
16. Sơn, N.T.; Huy, Đ.V.; Thanh, T.Đ. Địa hình đáy vịnh Bắc Bộ. Tài nguyên và Môi trường biển. Nhà xuất bản Khoa học tự nhiên và Công nghệ, Hà Nội, 1996, tr. 16–26.
17. Thanh, T.Đ.; An, L.Đ. Tài nguyên vị thế tự nhiên đảo Bạch Long Vỹ. *Tạp chí Các khoa học về Trái đất* **2012**, 34(4), 447–485.
18. Thắng, N.V.; Khiêm, M.V.; Hiệu, N.T.; Thăng, V.V.; Mậu, N.Đ.; Tuyết, L.T. Ảnh hưởng của bão ở Việt Nam thời kỳ 1961 - 2014. *Tạp chí Khoa học ĐHQGHN: Các Khoa học Trái đất và Môi trường* **2016**, 32(3S), 310–316.
19. Tuấn, N.N.; Hướng, N.V.; Thảo, Đ.T.P.; Huyền, N.T.T.; Văn, C.T. Nghiên cứu chế độ mưa, nhiệt tại vùng biển Vịnh Bắc Bộ từ dữ liệu vệ tinh. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* **2019**, 755(1), 19–28.
20. Lončar, G.; Šreng, Ž.; Miličević, H.; & Ostojić, S. Increase of Wave Height Due to Transition in Wind Direction—Example: Rijeka Bay. *Adv. Civil Archit. Eng.* **2019**, 10(18), 57–70.
21. Hoffmann, M.; Roy, S.; Berger, A.; Bergmann, W.; Chan, K.; Shubbak, M.; Langhorst, J.; Schnauder, T.; Strub, O.; Buskens, C. Wind affected maneuverability of Tungboat-controlled ships. *IFAC-PapersOnLine* **2021**, 54(16), 70–75.
22. Zhang, L.; Li, J.; Liu, C.; Zhang, W. A robust fuzzy speed regulator for unmanned sailboat robot via the composite ILOS guidance. *Nonlinear Dyn.* **2022**, 110(3), 1–16. <https://doi.org/10.1007/s11071-022-07763-2>.
23. Rohweder, J.; Rogala, J.; Johnson, B.; Anderson, D.; Clark, S.; Chamberlin, F.; Potter, D.; Runyon, K. Application of wind fetch and wave models for habitat rehabilitation and enhancement projects. Contract report prepared for U.S. Army Corps of Engineers' Upper Mississippi River Restoration - Environmental Management Program, 2012, pp. 52.
24. Siljander, M.; Venäläinen, E.; Goerlandt, F.; Pellikka, P. GIS-based cost distance modelling to support strategic maritime search and rescue planning: A feasibility study. *Appl. Geogr.* **2015**, 57, 54–70.
25. Castro, R. Gravitational acceleration equation with wavelength and speed of light without using the universal gravitational constant of Newton. HAL open Science, 2014, pp. 12. Available online: <https://hal.science/hal-00947254v6/document>.
26. Herterich, J.G.; Dias, F. Extreme long waves over a varying bathymetry. *J. Fluid Mechanics* **2019**, 878, 481–501.
27. Salameh, E.; Frappart, F.; Almar, R.; Baptista, P.; Heygster, G.; Lubac, B.; Raucoules, D.; Almeida, L.P.; Bergsma, E.W.J.; Capo, S.; De Michele, M.; Idier, D.; Li, Z.; Mariue, V.; Poupardin, A.; Silva, P.A.; Turki, I.; Laignel, B. Monitoring beach topography and nearshore bathymetry using spaceborne remote sensing: A review. *Remote Sens.* **2019**, 11(19), 2212.
28. Shepard, D. A two-dimensional interpolation function for irregularly spaced data. Proceedings of the 1968 23rd ACM national conference, 1968, pp. 517–524.
29. USACE. Shore Protection Manual. Coastal Engineering Research Center; Fort Belvoir, Virginia, 1984, pp. 652.
30. USACE. Coastal Engineering Manual 10-2-1100. Parts 1-6; Washington DC, 2002.
31. Tiệp, N.T. và cộng sự. Atlas Điều kiện Tài nguyên và Môi trường vùng biển Việt Nam. Nhà xuất bản Khoa học tự nhiên và Công nghệ, Hà Nội, 2009, tr. 112.

Determining cost distance in search and rescue at sea using GIS technology and modeling methods

Nguyen Quang Minh^{1,3}, Bui Tien Dieu², Nguyen Van Trung^{3,4*}

¹ Department of Cartography, The General Staff; nguyenquangminh.sar@gmail.com

² University of South-Eastern Norway; dieu.t.bui@usn.no

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

⁴ Geomatics in Earth Sciences Research Group, Hanoi University of Mining and Geology; nguyenvantrung@humg.edu.vn

Abstract: Vietnam is a coastal country with a long coastline and a large sea area, leading to frequent accidents and incidents at sea, especially under the influence of climate change. This paper presents the results of determining the cost distance in search and rescue at sea in the Gulf of Tonkin based on the modeling method and GIS data. In the study, the data layers include: (1) Search and rescue vessel data, (2) adjusted wind speed, (3) wind fetch, (4) gravitational acceleration and (5) bathymetric maps used to determine response time (cost distance) in search and rescue at sea. Three scenarios with different weather conditions and characteristics of search and rescue vessels were tested to build cost distance maps. The results obtained in the study provide important information, helping functional forces develop appropriate search and rescue plans depending on weather conditions and specific equipment.

Keywords: Search and Rescue; Cost distance; GIS; Modelling; Gulf of Tonkin.

Bài báo khoa học

Đánh giá rủi ro do ngập lụt đến kinh tế - xã hội tỉnh Vĩnh Long

Nguyễn Bách Tùng¹, Nguyễn Hồng Thủy¹, Lê Ngọc Quyên², Phạm Hồ Quốc Tuấn²,
Đặng Thị Hồng Nhung³, Nguyễn Tường Vĩ⁴, La Đức Dũng⁵, Trần Ngọc Anh^{1*}

¹ Trung tâm Động lực học Thủy khí Môi trường, Trường Đại học Khoa học tự nhiên, Đại học Quốc gia Hà Nội; bachtung_cefd@hus.edu.vn; tranngocanh@hus.edu.vn; nguyenhongthuy@hus.edu.vn

² Đài Khí tượng Thủy văn khu vực Nam Bộ, Tổng cục Khí tượng Thủy văn; quyentccb@gmail.com; phamhoquoctuan@yahoo.com

³ Viện Địa lý, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam; danghongnhung65@gmail.com

⁴ Chi cục Thủy lợi, Sở Nông nghiệp và Phát triển nông thôn tỉnh Bình Định; vint@snnptnt.binhdingh.gov.vn

⁵ Tổng cục Khí tượng Thủy văn, Bộ Tài nguyên và Môi trường; dunglaktv@gmail.com

*Tác giả liên hệ: tranngocanh@hus.edu.vn; Tel.: +84-915051515

Ban Biên tập nhận bài: 15/8/2024; Ngày phản biện xong: 9/9/2024; Ngày đăng bài: 25/2/2025

Tóm tắt: Nghiên cứu này đã đánh giá rủi ro do lũ đến kinh tế xã hội trên địa bàn tỉnh Vĩnh Long và là cơ sở để xác định cấp báo động lũ tại 9 vị trí sông trên địa bàn tỉnh Vĩnh Long. Nghiên cứu đã dựa trên các dữ liệu khảo sát thực tế tại tỉnh Vĩnh Long để xác định các đối tượng dễ bị tổn thương, vùng bị ảnh hưởng do ngập lụt và là dữ liệu đầu vào vào phục vụ tính toán rủi ro do ngập trên địa bàn tỉnh Vĩnh Long. Dựa trên thông tư 14/2021/TT-BTNMT quy định kỹ thuật xây dựng mực nước tương ứng với các cấp báo động lũ, nghiên cứu này sẽ xây dựng các bản đồ rủi ro do lũ lụt trên địa bàn tỉnh Vĩnh Long bằng cách phân tích tác động theo không gian của ngập lụt đến các loại sử dụng đất và mức độ rủi ro. Kết quả nghiên cứu cho thấy các tổng thiệt hại lớn nhất tại các xã tương ứng với 9 điểm báo động lũ như Tích Thiện, Hiếu Nhơn, Trung Thành Đông, Mỹ Lộc, Hòa Hiệp, Song Phú, Quới An, Tân Thành, Phú Đức lần lượt là 617,21 ha, 1233,88 ha, 1240,11 ha, 142,77 ha, 308,63 ha, 1672,9 ha, 1319,86 ha, 893,5 ha.

Từ khóa: Rủi ro do ngập lụt; Tỉnh Vĩnh Long.

1. Giới thiệu

Rủi ro thiên tai là thiệt hại mà thiên tai có thể gây ra về người, tài sản, môi trường, điều kiện sống và hoạt động kinh tế - xã hội [1]. Đánh giá rủi ro thiên tai là một quá trình thu thập, tổng hợp và phân tích thông tin về tình hình thiên tai, tình trạng dễ bị tổn thương, năng lực phòng chống thiên tai nhằm xác định mức độ rủi ro của một cộng đồng để tìm ra giải pháp giảm thiểu rủi ro thiên tai phù hợp [2]. Kết quả đánh giá rủi ro thiên tai sẽ giúp cung cấp thông tin cho việc lập kế hoạch phòng, chống thiên tai, xây dựng phương án ứng phó thiên tai phù hợp với điều kiện cụ thể của một địa phương.

Hiện nay, có nhiều hướng nghiên cứu khác nhau về rủi ro, nhằm phân loại các thành phần, yếu tố để đánh giá. Tuy nhiên, việc sử dụng các thuật ngữ liên quan đến rủi ro giữa các ngành, lĩnh vực nghiên cứu vẫn còn nhiều định hướng khác nhau. Phương pháp đánh giá định lượng cụ thể hóa số người bị ảnh hưởng và thiệt hại tính ra bằng đơn vị tiền tệ ưu thế hơn trong việc ước lượng giá trị kinh tế bị rủi ro. Phương pháp này đã giải quyết vấn đề so sánh mức độ rủi ro các đối tượng ở các khu vực khác nhau nhằm cung cấp thông tin để các nhà hoạch định lựa chọn khu vực ưu tiên đầu tư [3].

Một số nghiên cứu trước đây [4–7], phân tích rủi ro dựa trên việc xác định ba yếu tố cơ bản hiểm họa (H), tính dễ bị tổn thương xã hội (V) và mức phơi nhiễm (E). Rủi ro là một hàm số kết hợp của ba yếu tố $R = f(H, V, E)$ [5], để xác định bản chất và mức độ rủi ro thiên tai thông qua phân tích các hiểm họa tiềm ẩn và đánh giá các điều kiện phơi nhiễm và dễ bị tổn thương mà khi kết hợp có thể gây hại cho con người, tài sản, dịch vụ, sinh kế và môi trường [4]. Rủi ro thiên tai được quyết định bởi hiểm họa (H), nếu không có nguy cơ hiểm họa xảy ra thì không có rủi ro thiên tai cho dù tính dễ bị tổn thương của khu vực rất cao [6].

Đề lượng hóa được các hiểm họa tự nhiên liên quan đến nước (lũ, ngập lụt), nhiều phương pháp, công cụ và dữ liệu đã được sử dụng, bao gồm các mô hình thủy văn, thủy lực và chất lượng - nước, công cụ quan sát và GIS. Đối với sự phơi nhiễm, một số bộ dữ liệu tham chiếu địa lý và thông tin lãnh thổ đã được sử dụng, cho đến khi bị tổn thương, dẫn đến một cách tiếp cận định tính và định lượng hơn, tùy thuộc vào chất lượng và tính đồng nhất của dữ liệu, trong đó dữ liệu điều tra khảo sát các hiện trạng về sự phân bố dân cư, tính dễ bị tổn thương của cộng đồng, các hoạt động kinh tế xã hội chịu tác động của lũ, ngập lụt là rất quan trọng. Phương pháp đánh giá rủi ro định lượng đã được sử dụng trên Thế giới như các nghiên cứu [7–10], một số nghiên cứu có khung phương pháp chuẩn để đánh giá rủi ro thiên tai [11–16]; hoặc những nước đang phát triển với số liệu về các loại hình thiên tai thường không được cung cấp đầy đủ, dữ liệu tương đối ít. Tại Việt Nam, phương pháp đánh giá định lượng rủi ro (cụ thể hóa số người bị ảnh hưởng và thiệt hại tính ra bằng đơn vị tiền tệ) chưa sử dụng nhiều, mặc dù đã có các nghiên cứu [17–22]. Tuy nhiên, nghiên cứu này đã sử dụng phương pháp đánh giá rủi ro theo hướng dẫn của Thông tư 14/2021/TT-BTNMT [23] về quy định kỹ thuật xây dựng mực nước tương ứng với các cấp báo động lũ. Phương pháp đã xác định dựa trên 3 yếu tố Hiểm họa, mức độ phơi bày, tính dễ bị tổn thương từ đó tính toán ra mức độ rủi ro và bản đồ rủi ro do lũ, ngập lụt theo 5 cấp (rất thấp, thấp, trung bình, cao, rất cao) tương ứng với các cấp mực nước. Dựa trên kết quả tính toán rủi ro này sẽ là một phần cơ sở để có thể xác định mực nước tương ứng với cấp báo động lũ. Cụ thể, Nghiên cứu này đã sử dụng nguồn dữ liệu khảo sát xã hội học thực tế tại địa phương để làm cơ sở xác định mức độ rủi ro do lũ, ngập lụt ngoài các phương pháp đã được áp dụng về tính toán rủi ro trước đây [24].

2. Phương pháp đánh giá định lượng rủi ro và dữ liệu sử dụng

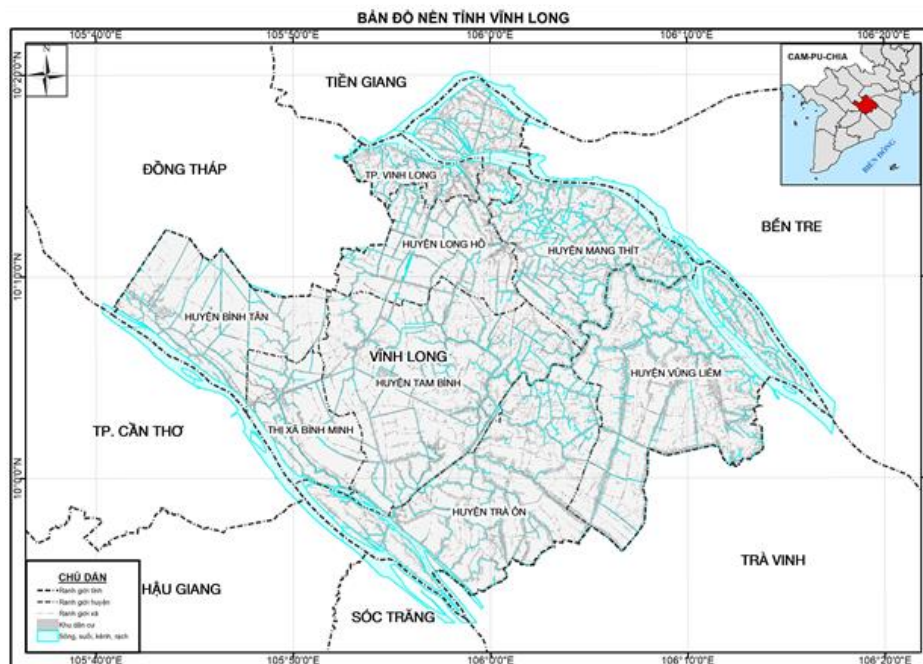
2.1. Giới thiệu khu vực nghiên cứu

Vĩnh Long là tỉnh thuộc hạ lưu sông Mê Công, nằm ở khu vực trung tâm vùng Đồng bằng sông Cửu Long, tỉnh có 08 đơn vị hành chính cấp huyện, diện tích tự nhiên 1.525 km² chiếm 3,7% diện tích vùng Đồng bằng sông Cửu Long, dân số khoảng 1.029.015 người, với mật độ dân số là 674 người/km² [25]. Tỉnh Vĩnh Long có địa hình tương đối bằng phẳng, cao độ đất trung bình từ 0,5-1,25 m, có xu thế thoải dần theo hướng Bắc - Nam, cao ở ven sông Tiền, sông Hậu, sông Cổ Chiên và thấp dần vào trung tâm, tạo thành địa hình lòng máng chạy song song với hướng sông Tiền, sông Hậu. Địa hình cao nhất nằm ở ven sông Tiền (1,75 m), tập trung ở phường Tân Ngãi (thành phố Vĩnh Long) và thấp nhất (< 0,5 m) nằm ở xã Song Phú, Mỹ Lộc, Hậu Lộc (huyện Tam Bình). Vĩnh Long có 02 mùa rõ rệt, mùa khô từ tháng 12 đến tháng 4 năm sau, chịu ảnh hưởng của gió mùa Đông Bắc, gây xâm nhập mặn; mùa mưa từ tháng 5 đến tháng 11, chịu ảnh hưởng của gió mùa Tây Nam, thường mưa lớn gây lũ, ngập lụt. Nước lũ từ thượng nguồn sông Mê Kông tràn vào Đồng Tháp Mười, Tứ Giác Long Xuyên, theo hai sông Tiền và sông Hậu đổ ra Biển. Mùa lũ hướng chảy từ phía sông Tiền vào đồng, một phần theo các kênh dọc đưa xuống sông Măng Thít, một phần chuyển ra sông Hậu. Do ảnh hưởng triều truyền từ hai phía sông tạo nên các vùng giáp nước, gây tiêu thoát chậm và gây ngập úng. Đỉnh lũ thường đạt mức cao nhất vào tháng 10. Độ ngập sâu trong vùng từ 0,7 m đến 1,5 m thời gian ngập từ 2 đến 3 tháng. Triều cường và mưa lớn là một loại hình thiên tai gây ra nhiều thiệt hại cho tỉnh Vĩnh Long [26].

Tỉnh Vĩnh Long, nằm giữa trung tâm của Đồng bằng sông Cửu Long, chịu nhiều ảnh hưởng do thiên tai gây ra. Những trận lũ lụt lớn không chỉ gây thiệt hại về nông nghiệp mà còn tác động sâu rộng đến cơ sở hạ tầng, sức khỏe cộng đồng và các hoạt động kinh tế - xã hội khác. Nhà cửa bị cuốn trôi, đường sá bị hư hỏng, các công trình công cộng bị phá hủy, và hệ thống y tế gặp khó khăn trong việc đối phó với các dịch bệnh lây lan. Việc đánh giá và hiểu rõ tác động của ngập lụt đối với kinh tế xã hội tỉnh Vĩnh Long không chỉ giúp nhận diện những thách thức hiện tại mà còn là cơ sở quan trọng để đề xuất các biện pháp phòng chống, ứng phó hiệu quả hơn trong tương lai.

Bảng 1. Tình hình thiệt hại do triều cường, mưa lớn từ năm 2011 đến 2020 (Đơn vị: Triệu đồng) [27].

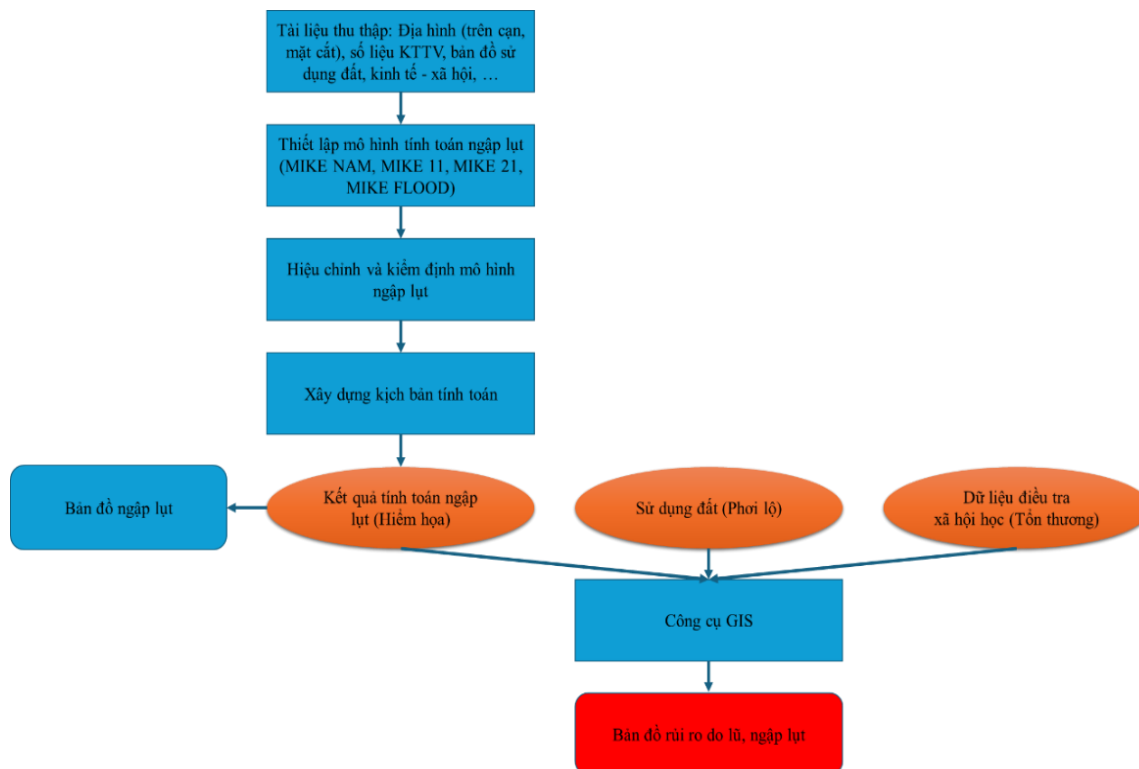
Năm	Nông nghiệp, chăn nuôi, thủy sản	Cơ sở hạ tầng				Tổng thiệt hại
		Nhà ở	Thủy lợi	Giao thông	Khác	
2011	132.326,46	-	58.281,65	47.485,60		238.093,71
2012			Thiệt hại không đáng kể			
2013	9.109,46	1.000,00	3.545,90	709,88		14.365,24
2014	1.866,50	100,00	996,00	170,00		3.132,50
2015			Thiệt hại không đáng kể			
2016	634,22		678,61			1.312,83
2017	1.450,50		3.585,60	1.074		6.110,10
2018	16.705	240	12.598	2.868	51	32.462,00
2019	6.951		5.111,50	8.607		20.669,50
2020	3.698,80		1.085	541,9		5.325,70
Tổng	172.741,94	1.340,00	85.882,26	61.456,38	51,00	321.471,58



Hình 1. Bản đồ vị trí tỉnh Vĩnh Long.

2.2. Phương pháp nghiên cứu

Nghiên cứu này đã tiến hành thu thập các dữ liệu tại địa phương để sử dụng làm đầu vào cho mô hình tính toán ngập lụt và tính toán rủi ro do lũ và ngập lụt. Sau đó, tiến hành xây dựng mô hình tính toán ngập lụt cho tỉnh Vĩnh Long và đã hiệu chỉnh, kiểm định với các trận lũ lịch sử gần đây. Kết quả tính toán ngập lụt (hiểm họa), Bản đồ sử dụng đất được xử lý chuẩn hóa (phoi lộ) và dữ liệu điều tra xã hội học xây dựng bản đồ tổn thương thông qua các phiếu điều tra (tổn thương) đã được đưa vào công cụ GIS để chồng lớp bản đồ và phân ra các mức độ rủi ro theo 5 cấp. Cụ thể sơ đồ nghiên cứu được thể hiện dưới Hình 2 và các phương pháp nghiên cứu sử dụng trong nghiên cứu này.



Hình 2. Cách tiếp cận của nghiên cứu.

Phương pháp điều tra khảo sát: Đã thực hiện điều tra xã hội học bằng phiếu để thu thập các thông tin về tác động của lũ đến đời sống dân cư, sản xuất và hoạt động kinh tế - xã hội tại 9 UBND xã có kế hoạch xây dựng cấp báo động lũ và 45 phiếu người dân sống khu vực để nắm rõ về tình hình lũ và phương pháp phòng tránh lũ tại địa phương.

Phương pháp mô hình: Phương pháp này được thực hiện trên cơ sở tận dụng tối đa sự phát triển của công nghệ thông tin trong lĩnh vực nghiên cứu phát triển mô hình ngập lụt trong nước và trên thế giới, cụ thể là các mô hình toán thủy văn thủy lực họ mô hình MIKE như MIKE 11, MIKE 21, MIKE FLOOD. Sử dụng công cụ mô hình để tính toán, mô phỏng dòng chảy đến, lượng mưa sinh ra dòng chảy, diễn toán dòng chảy trong sông, dòng chảy lũ, ngập lụt.

Phương pháp xây dựng bản đồ ngập lụt: Đã sử dụng kết hợp mô hình tính toán thủy văn thủy lực kết hợp với công cụ GIS để xây dựng bản đồ ngập lụt. Sử dụng công cụ mô hình để tính toán, mô phỏng dòng chảy đến, lượng mưa sinh ra dòng chảy, diễn toán dòng chảy trong sông, dòng chảy lũ, ngập lụt. Sau đó từ các kết quả tính toán mức độ ngập lụt của mô hình thủy động lực và các số liệu về kinh tế xã hội phân theo hành chính, dự án sẽ sử dụng phương pháp bản đồ để phân tích tác động theo không gian đến các hoạt động sản xuất nông lâm ngư nghiệp, hoạt động công nghiệp, dịch vụ và các hoạt động kinh tế khác trong điều kiện hiện trạng và quy hoạch hiện có

Phương pháp xây dựng bản đồ rủi ro: Đã dựa trên Điều 9 của Thông tư 14/2021/TT-BTNMT ngày 31/8/2021 của Bộ Tài nguyên và Môi trường cần xác định mức độ rủi ro (rất thấp, thấp, trung bình, cao, rất cao) đối với các khu vực sản xuất nông nghiệp, nuôi trồng thủy sản, bãi thấp ven sông, vùng dân cư của địa phương. Do vậy, xác định rủi ro bằng phương pháp đánh giá rủi ro định tính rất hữu ích cho các cơ quan quản lý địa phương cũng như các cơ quan lập kế hoạch phòng chống thiên tai. Phương pháp này khá dễ hiểu và có thể áp dụng dễ dàng với thu thập dữ liệu đơn giản. Phương pháp sử dụng đánh giá rủi ro như sự kết hợp của ba yếu tố cơ bản: Hiểm họa (H), Phơi lộ (E) và Tính dễ tổn thương (V) : $R = f(H,E,V)$. Từ các kết quả tính toán mức độ rủi ro và các số liệu về kinh tế xã hội phân theo hành chính, sẽ sử dụng phương pháp bản đồ để thể hiện các kết quả hiển thị lên bản đồ.

Bảng 2. Phân cấp hiểm họa theo độ sâu ngập lụt tỉnh Vĩnh Long.

Độ sâu ngập (m)	0,2 - 0,4	0,4 - 0,6	0,6 - 0,8	0,8 - 1,0	> 1,0
Cấp độ hiểm họa (H)	1 (rất thấp)	2 (thấp)	3 (trung bình)	4 (cao)	5 (rất cao)

Bảng 3. Phân cấp tính dễ bị tổn thương của các loại hình sử dụng đất tỉnh Vĩnh Long.

TT	Loại đất	Cấp độ dễ bị tổn thương (V)	TT	Loại đất	Cấp độ dễ bị tổn thương (V)
1.	Đất ở tại nông thôn	5 - cao	17.	Đất rừng phòng hộ	2 - thấp
2.	Đất chợ	5 - cao	18.	Đất rừng sản xuất	2 - thấp
3.	Đất chuyên trồng lúa nước	6 - rất cao	19.	Đất sinh hoạt cộng đồng	4 - trung bình
4.	Đất có mặt nước chuyên dùng	1 - rất thấp	20.	Đất sông, ngòi, kênh, rạch	1 - rất thấp
5.	Đất cơ sở sản xuất phi nông nghiệp	4 - trung bình	21.	Đất sử dụng cho hoạt động khoáng sản	4 - trung bình
6.	Đất công trình bưu chính viễn thông	4 - trung bình	22.	Đất thủy lợi	2 - thấp
7.	Đất công trình năng lượng	4 - trung bình	23.	Đất thương mại, dịch vụ	4 - trung bình
8.	Đất đồi núi chưa sử dụng	1 - rất thấp	24.	Đất trồng cây lâu năm	6 - rất cao
9.	Đất giao thông	5 - cao	25.	Đất trồng lúa nước còn lại	6 - rất cao
10.	Đất khu vui chơi giải trí công cộng	3 - vừa	26.	Đất xây dựng cơ sở giáo dục và đào tạo	3 - vừa
11.	Đất khu công nghiệp	4 - trung bình	27.	Đất xây dựng cơ sở thể dục thể thao	3 - vừa
12.	Đất nghĩa trang, nghĩa địa, nhà tang lễ, nhà hỏa táng	2 - thấp	28.	Đất xây dựng cơ sở tôn giáo	3 - vừa
13.	Đất nuôi trồng thủy sản	6 - rất cao	29.	Đất xây dựng cơ sở y tế	3 - vừa
14.	Đất nương rẫy trồng cây hàng năm khác	6 - rất cao	30.	Đất xây dựng cơ sở văn hoá	3 - vừa
15.	Đất phi nông nghiệp khác	2 - thấp	31.	Đất xây dựng trụ sở của tổ chức sự nghiệp	3 - vừa
16.	Đất quốc phòng	2 - thấp	32.	Đất xây dựng trụ sở cơ quan	3 - vừa

Phương pháp lập bản đồ rủi ro lũ, ngập lụt được xây dựng là sự kết của bản đồ ngập lụt với đối tượng dễ bị tổn thương được xác định trong vùng ngập lụt là hiện trạng sử dụng đất (bao gồm: Đất ở dân cư, đất nuôi trồng thủy sản, đất sản xuất nông nghiệp).

Bảng 4. Phân cấp cấp độ rủi ro.

Giá trị hàm rủi ro	2 - 4	> 4 - 6	> 6 - 8	> 8 - 10	> 10 - 12
Cấp độ rủi ro (R)	1 (rất thấp)	2 (thấp)	3 (trung bình)	4 (cao)	5 (rất cao)

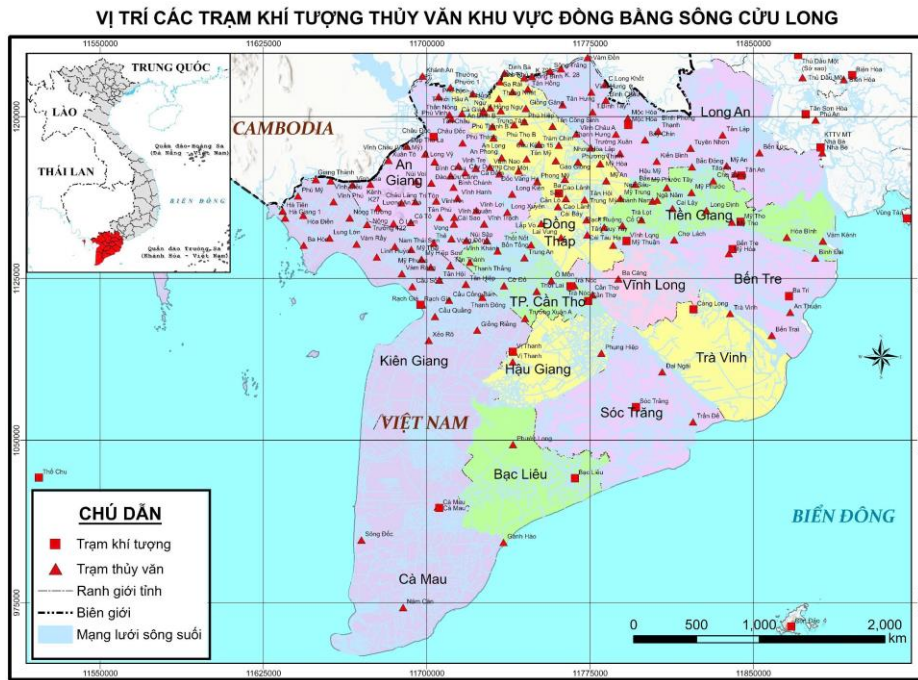
2.3. Số liệu sử dụng

Dữ liệu khí tượng: Số liệu mưa tại trạm Vĩnh Long, Trà Ôn, Tam Bình từ năm 2000 - 2021 được thu thập từ Đài Khí tượng Thủy văn tỉnh Vĩnh Long.

Dữ liệu thủy văn: Số liệu lưu lượng tại các trạm Tân Châu, Châu Đốc; số liệu mực nước, lưu lượng các trạm Cần Thơ, Mỹ Thuận, Long Xuyên, Đại Ngãi, Trà Vinh từ năm 2000 - 2021 thu thập từ Đài Khí tượng thủy văn Khu vực Nam Bộ. Số liệu đo đạc các trạm nội đồng tại các trạm Ba Càng, Nhà Đài, Tích Thiện, Năng Âm, Tân Thành, Phú Đức từ năm 2010 -

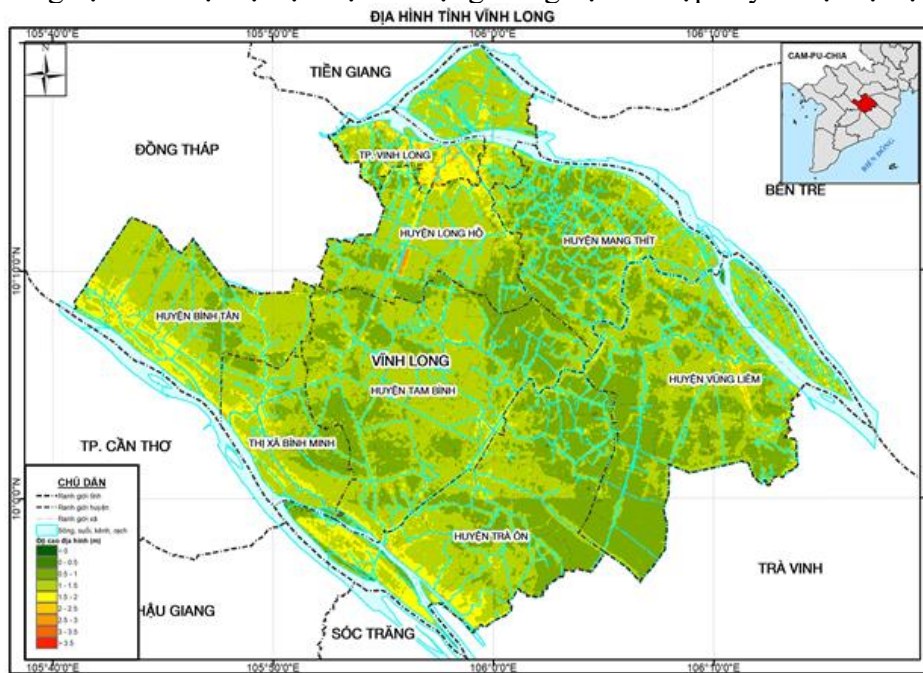
2021 được thu thập từ Đài Khí tượng Thủy văn tỉnh Vĩnh Long và đợt lũ tháng 8, 9 năm 2022 được Trung tâm Động lực học Thủy khí Môi trường thực hiện.

Dữ liệu hải văn: Số liệu mực nước triều được trích từ biên triều điều hòa trong mô hình MIKE làm số liệu điều kiện biên mở phía biển (biên mực nước).



Hình 3. Bản đồ trạm khí tượng thủy văn khu vực Đồng bằng sông Cửu Long [28].

Dữ liệu địa hình: Bản đồ địa hình 1/5.000 của toàn tỉnh Vĩnh Long và bản đồ địa hình 1/2000 tại thành phố Vĩnh Long do Trung tâm thông tin dữ liệu và đo đạc bản đồ - Cục bản đồ thực hiện được sử dụng để xây dựng mô hình số độ cao (DEM) với độ phân giải 10m×10m bằng các công cụ GIS. Hệ tọa độ được sử dụng trong hệ thiết lập này là hệ tọa độ VN2000.



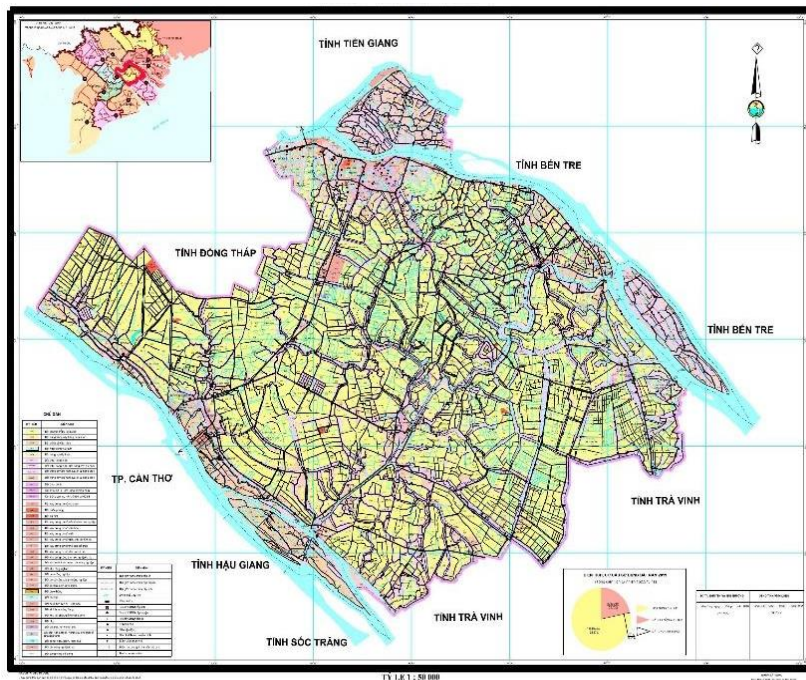
Hình 4. Bản đồ địa hình tỉnh Vĩnh Long.

Tài liệu mặt cắt ngang sông chính: Kế thừa, thu thập từ các đề tài, dự án có liên quan đến khu vực nghiên cứu các dữ liệu mặt cắt ngang sông.

Bảng 5. Số liệu mặt cắt đã thu thập.

TT	Tên sông	Chiều dài (km)	Số mặt cắt sông chính trong mô hình
1	Sông Tiền	230	158
2	Sông Hậu	230	155
3	Sông Cỏ Chiên	90	45
4	Sông Măng Thít	47	14

Dữ liệu sử dụng đất: Tỉnh Vĩnh Long có tổng diện tích đất tự nhiên 152.573,4 ha, trong đó đất nông nghiệp 119.691,6 ha, đất phi nông nghiệp 32.864,7 ha, đất chưa sử dụng 17 ha.



Hình 5. Bản đồ sử dụng đất tỉnh Vĩnh Long.

Ngoài các dữ liệu trên, nghiên cứu còn thu thập các dữ liệu giao thông, hệ thống công trình thủy lợi theo số liệu điều tra từ Chi cục Thủy lợi tỉnh Vĩnh Long, hiện trạng hệ thống thủy lợi của tỉnh đến tháng 8 năm 2021.

3. Kết quả

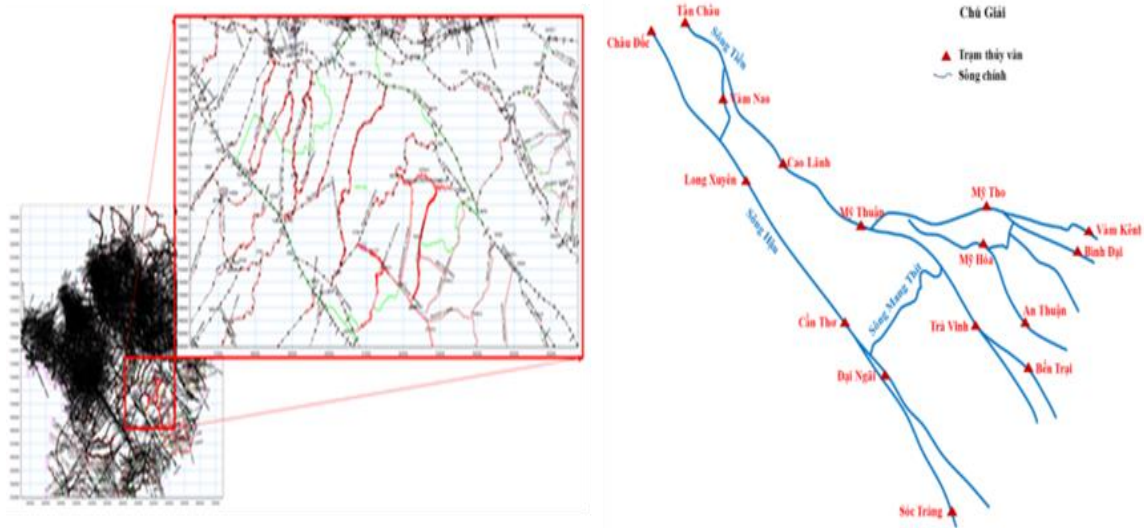
3.1. Xây dựng mô hình và các kịch bản tính toán

a) Thiết lập mô hình MIKE 11

Mạng lưới thủy lực 1D được mở rộng đến Krattie và Biên Hồ sau đó trích tại các trạm thủy văn trên dòng chính sông Tiền và sông Hậu. Với các số liệu được thu thập là dữ liệu đầu vào cho mô hình bao gồm lưu lượng quan trắc hàng ngày tại Tân Châu (sông Tiền), Châu Đốc (sông Hậu) được sử dụng là biên trên mô hình thủy lực 1D và mực nước triều tại 9 cửa sử dụng dữ liệu từ hàm điều hòa: Cửa Đại, Cửa Tiểu, Ba Lai, Hàm Luông, Cỏ Chiên, Cung Hầu, Bassac, Trần Đề, Định An được lấy làm biên dưới cho mô hình thủy lực 1D (Hình 6).

b) Thiết lập mô hình thủy lực 2 chiều

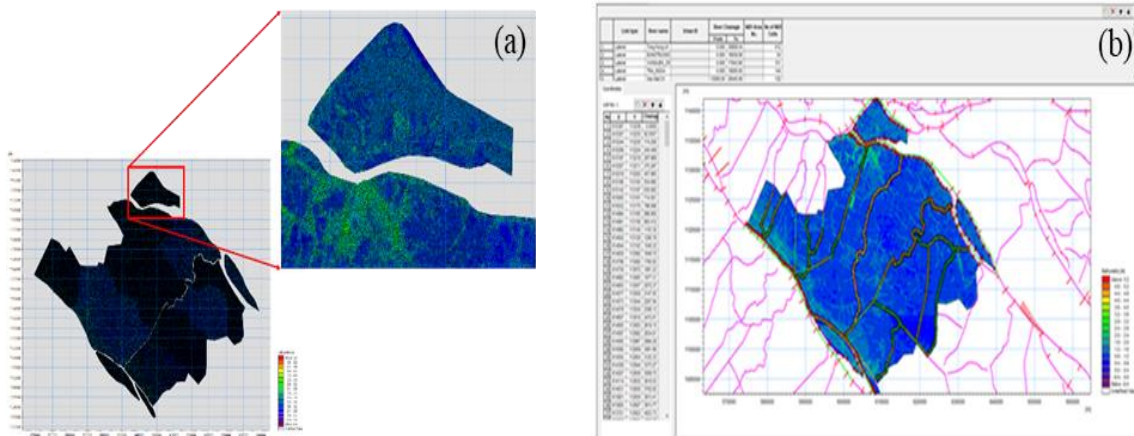
Đây là bước quan trọng trong việc xây dựng mô hình toán. Căn cứ vào địa hình và các khu vực khác nhau trong vùng tính toán mà chia lưới tính toán thủy lực khác nhau. Đối với khu vực ven sông và 9 vị trí cần xây dựng cấp báo động thì mức độ cần mô phỏng chi tiết hơn nên lưới tính toán được chia dày hơn với kích thước ô lưới từ 50-100 m, còn với khu vực bãi ở xa sông hơn và khả năng xảy ra ngập lũ ít thì chia lưới thưa hơn với kích thước từ 100-200 m. Lưới tính thiết lập là lưới cong trục giao (Hình 7a).



Hình 6. Sơ đồ mạng sông chính và mạng lưới thủy lực trong mô hình MIKE 11.

(c) Kết nối mô hình thủy lực 1-2 chiều

Sau khi xây dựng mạng lưới thủy lực MIKE 11 và MIKE 21, tiến hành kết nối cả hai mạng thủy lực một và hai chiều bằng MIKE FLOOD các sông chính của tỉnh Vĩnh Long: sông Tiền, sông Hậu chảy qua địa phận tỉnh Vĩnh Long, các sông rạch trên địa bàn tỉnh Vĩnh Long như hình 7b.



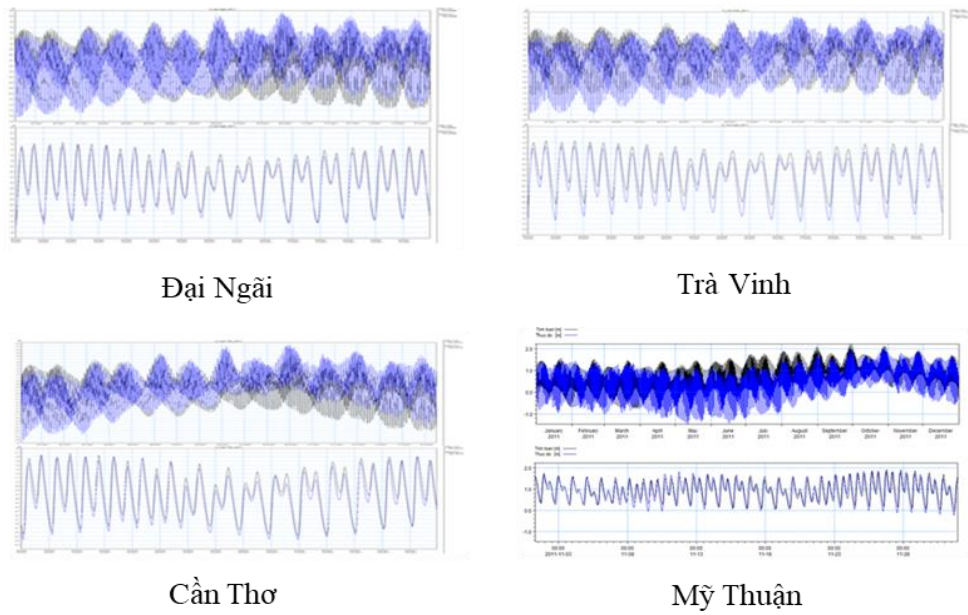
Hình 7. (a) Miền tính, lưới tính, (b) Liên kết cho mô hình MIKE FLOOD.

(d) Hiệu chỉnh mô hình

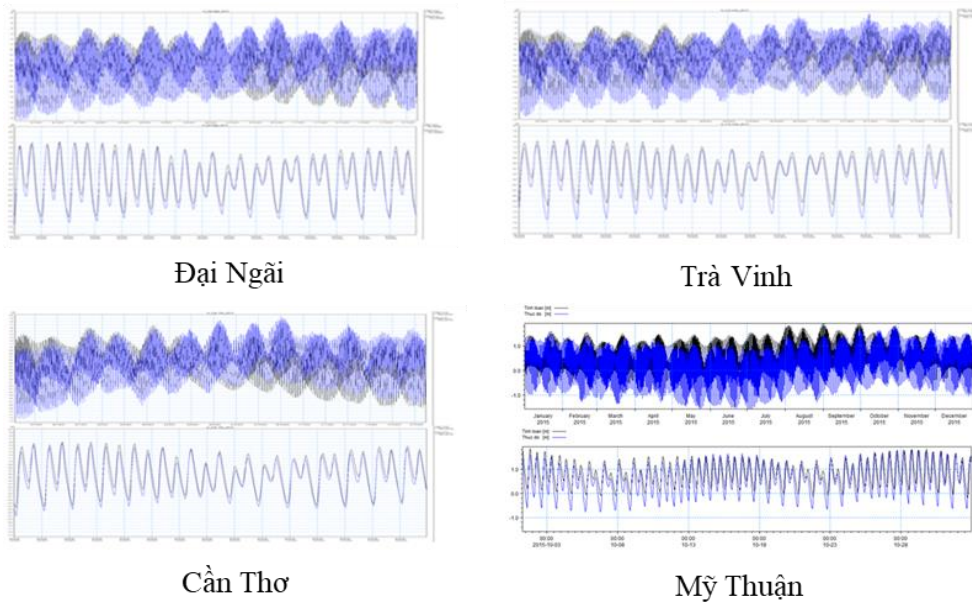
Số liệu mực nước mùa lũ thời đoạn 1/7/2011 - 31/12/2011, 1/7/2015 - 31/12/2015 được sử dụng để hiệu chỉnh mô hình. Kết quả tính toán khá tốt hệ số Nash đều trên 0,8 tại các trạm thủy văn Mỹ Thuận, Đại Ngãi, Trà Vinh (Bảng 6, Hình 8, 9).

Bảng 6. Hệ số Nash giai đoạn hiệu chỉnh.

Năm	Trạm	Yếu tố	Nash	Năm	Trạm	Yếu tố	Nash
2011	Đại Ngãi	H	0,84	2015	Đại Ngãi	H	0,9
	Trà Vinh	H	0,84		Trà Vinh	H	0,83
	Mỹ Thuận	H	0,87		Mỹ Thuận	H	0,84
	Cần Thơ	H	0,76		Cần Thơ	H	0,83



Hình 8. Kết quả hiệu chỉnh thời đoạn 1/1/2011 - 31/12/2011.



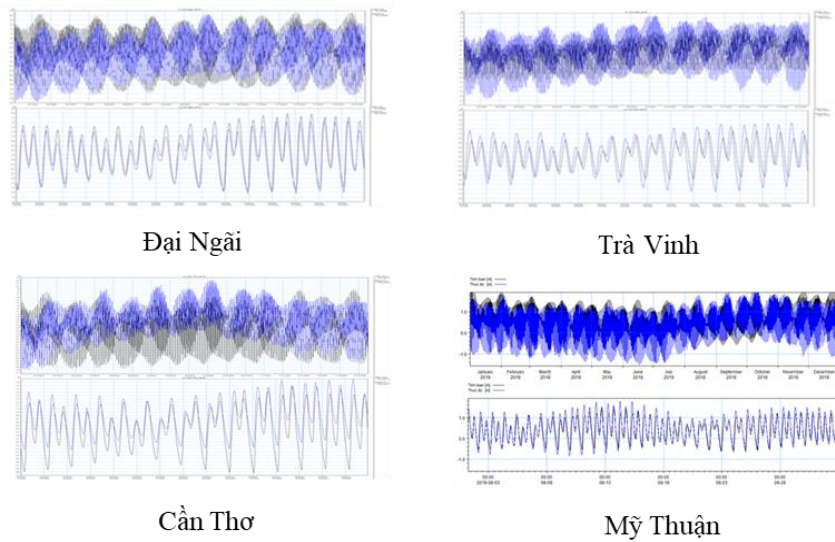
Hình 9. Kết quả hiệu chỉnh thời đoạn 1/1/2015 - 31/12/2015.

(e) Kiểm định mô hình

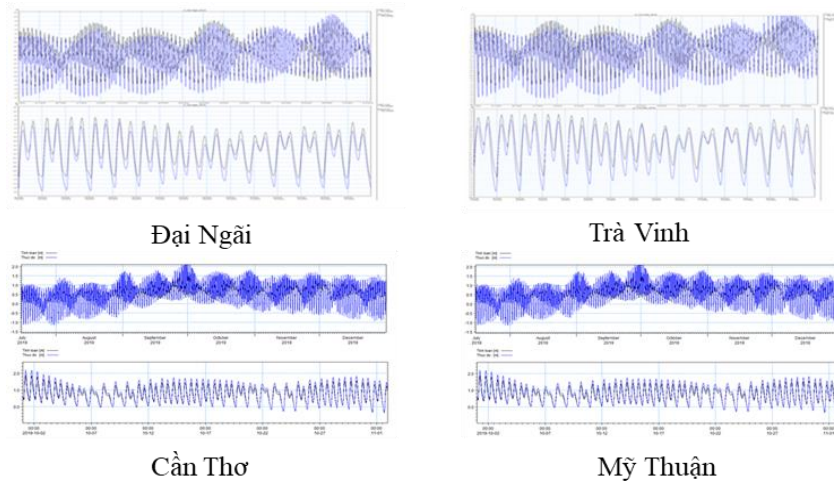
Số liệu mực nước mùa lũ thời đoạn 1/7/2018 - 31/12/2018, 16/7/2019 - 9/10/2019 được sử dụng để kiểm định mô hình. Kết quả tính toán khá tốt hệ số Nash đều trên 0,8 (Bảng 7). Mực nước thực đo và tính toán tại trạm thủy văn Mỹ Thuận, Đại Ngãi, Trà Vinh cho thấy sự phù hợp với thực tế (Hình 10, 11).

Bảng 7. Hệ số Nash giai đoạn hiệu chỉnh.

Năm	Trạm	Yếu tố	Nash	Năm	Trạm	Yếu tố	Nash
2018	Đại Ngãi	H	0,84	2019	Đại Ngãi	H	0,82
	Trà Vinh	H	0,9		Trà Vinh	H	0,88
	Mỹ Thuận	H	0,82		Mỹ Thuận	H	0,82
	Cần Thơ	H	0,77		Cần Thơ	H	0,86



Hình 10. Kết quả hiệu chỉnh thời đoạn 1/1/2018 - 31/12/2018.



Hình 11. Kết quả hiệu chỉnh thời đoạn 16/7/2019 - 09/10/2019.

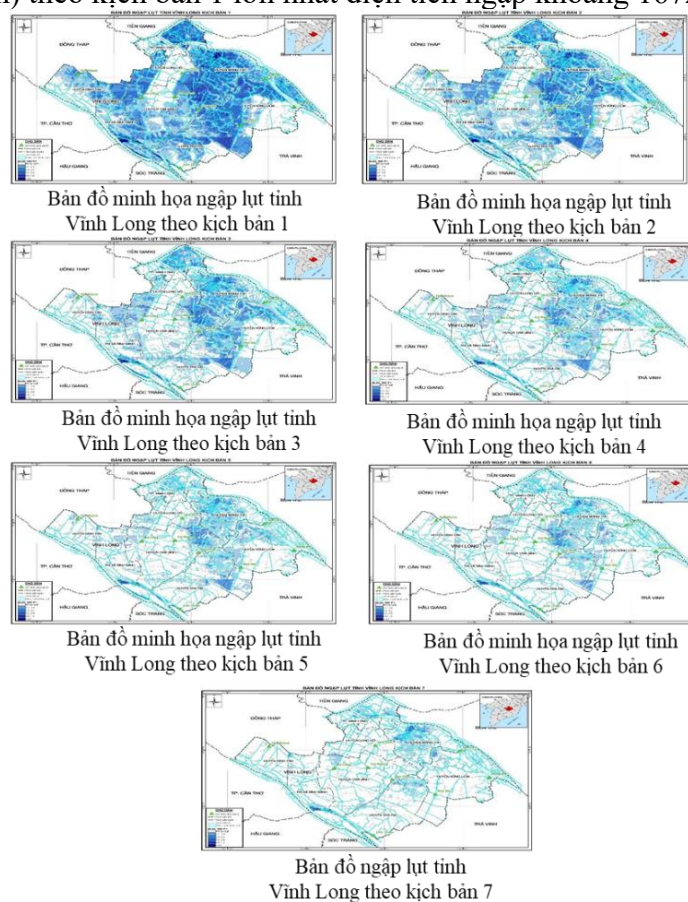
Dựa trên số liệu đo đạc nhiều năm tại trạm Mỹ Thuận, Cần Thơ, Trà Vinh, Đại Ngãi từ năm 2000-2021 và số liệu đo đạc các trạm nội đồng tại các trạm Ba Càng, Nhà Đài, Tích Thiện, Nàng Âm, Tân Thành, Phú Đức từ năm 2010-2021 và đợt lũ tháng 8,9 năm 2022. Từ đó, xác định ra mực nước lớn nhất tại các trạm thủy văn và trạm nội đồng để tính toán, phân tích lựa chọn xây dựng kịch bản mực nước lớn nhất (KB1) và mỗi kịch bản thay đổi giá trị mực nước 10cm. Do vậy, nghiên cứu đề ra 7 nhóm kịch bản ứng với các mực nước tại trạm thủy văn Vĩnh Long và 9 vị trí trạm nội đồng để tính toán và đánh giá mức độ thiệt hại (Bảng 8).

Bảng 8. Kịch bản và giá trị mực nước tương ứng tại các vị trí.

TT	Tên kịch bản	Trạm Vĩnh Long	Ba Càng	Nhà Đài	Nàng Âm	Quới An	Hòa Hiệp	Tân Thành	Phú Đức	Cái Ngang	Tích Thiện
1	KB1	2,2	2,1	2	2	2,1	2,2	2,2	2,2	2,2	2,1
2	KB2	2,1	2	1,9	1,9	2	2,1	2,1	2,1	2,1	2
3	KB3	2	1,9	1,8	1,8	1,9	2	2	2	2	1,9
4	KB4	1,9	1,8	1,7	1,7	1,8	1,9	1,9	1,9	1,9	1,8
5	KB5	1,8	1,7	1,6	1,6	1,7	1,8	1,8	1,8	1,8	1,7
6	KB6	1,7	1,6	1,5	1,5	1,6	1,7	1,7	1,7	1,7	1,6
7	Kb7	1,6	1,5	1,4	1,4	1,5	1,6	1,6	1,6	1,6	1,5

3.2. Kết quả tính toán ngập lụt

Tại vị trí sông Ba Càng (xã Song Phú, huyện Tam Bình) theo kịch bản 1 lớn nhất diện tích ngập khoảng 308,63 ha; sông Cái Cối (xã Phú Đức, huyện Long Hồ) theo kịch bản 1 lớn nhất diện tích ngập khoảng 893,50 ha; sông Ngã Hậu (xã Hiếu Nhơn, huyện Vũng Liêm) theo kịch bản 1 lớn nhất diện tích ngập khoảng 1343,13 ha; sông Hậu (xã Tích Thiện, huyện Trà Ôn) theo kịch bản 1 lớn nhất diện tích ngập khoảng 617,21 ha; sông Huyện Hàm (xã Tân Thành, huyện Bình Tân) theo kịch bản 1 lớn nhất diện tích ngập khoảng 1319,87 ha; sông Cái Ngang (xã Mỹ Lộc, huyện Tam Bình) theo kịch bản 1 lớn nhất diện tích ngập khoảng 1240,11 ha; sông Măng Thít (xã Hòa Hiệp, huyện Tam Bình) theo kịch bản 1 lớn nhất diện tích ngập khoảng 1431,80 ha; sông Nàng Âm (xã Trung Thành Đông, huyện Vũng Liêm) theo kịch bản 1 lớn nhất diện tích ngập khoảng 171,86 ha; sông Măng Thít (xã Quới An, huyện Vũng Liêm) theo kịch bản 1 lớn nhất diện tích ngập khoảng 1672,90 ha.

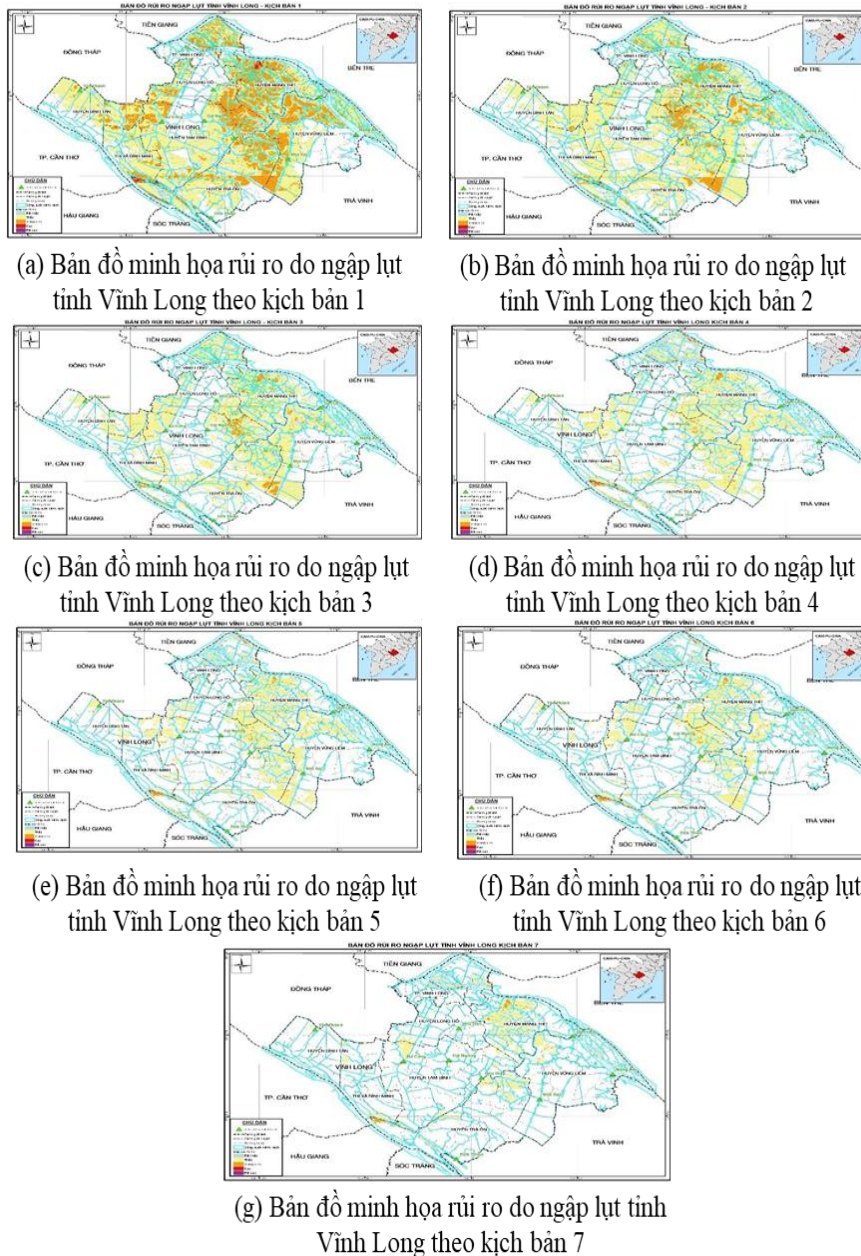


Hình 12. Bản đồ ngập lụt của tỉnh Vĩnh Long theo các kịch bản mực nước.

3.3. Kết quả đánh giá tác động của ngập lụt đến kinh tế - xã hội tỉnh Vĩnh Long

Dựa trên phương pháp điều tra, khảo sát, số liệu thống kê của địa phương và phương pháp chuyên gia, nhóm nghiên cứu xác định mức độ ngập sâu trên địa bàn tỉnh Vĩnh Long có mức ngập lớn nhất khoảng 1,0 m và các loại sử dụng đất chính từ đó làm cơ sở để phân cấp ra cấp độ hiểm họa và cấp độ dễ bị tổn thương làm đầu vào để tính toán các cấp độ rủi ro thiên tai do lũ lụt.

Kết quả toán diện tích rủi ro đã thể hiện rõ ràng các mức độ tác động khác nhau theo các kịch bản ngập lụt. Diện tích rủi ro gây ra bởi lũ KB1 là lớn nhất trong 7 kịch bản lũ được tính toán bao gồm KB1, KB2, KB3, KB4, KB5, KB6, KB7 với tổng diện tích rủi ro tại các xã Tích Thiện, Hiếu Nhơn, Trung Thành Đông, Mỹ Lộc, Hòa Hiệp, Song Phú, Quới An, Tân Thành, Phú Đức lần lượt là 617,21 ha, 1233,88 ha, 1240,11 ha, 142,77 ha, 308,63 ha, 1672,90 ha, 1319,86 ha, 893,5 ha (Hình 13, 14).

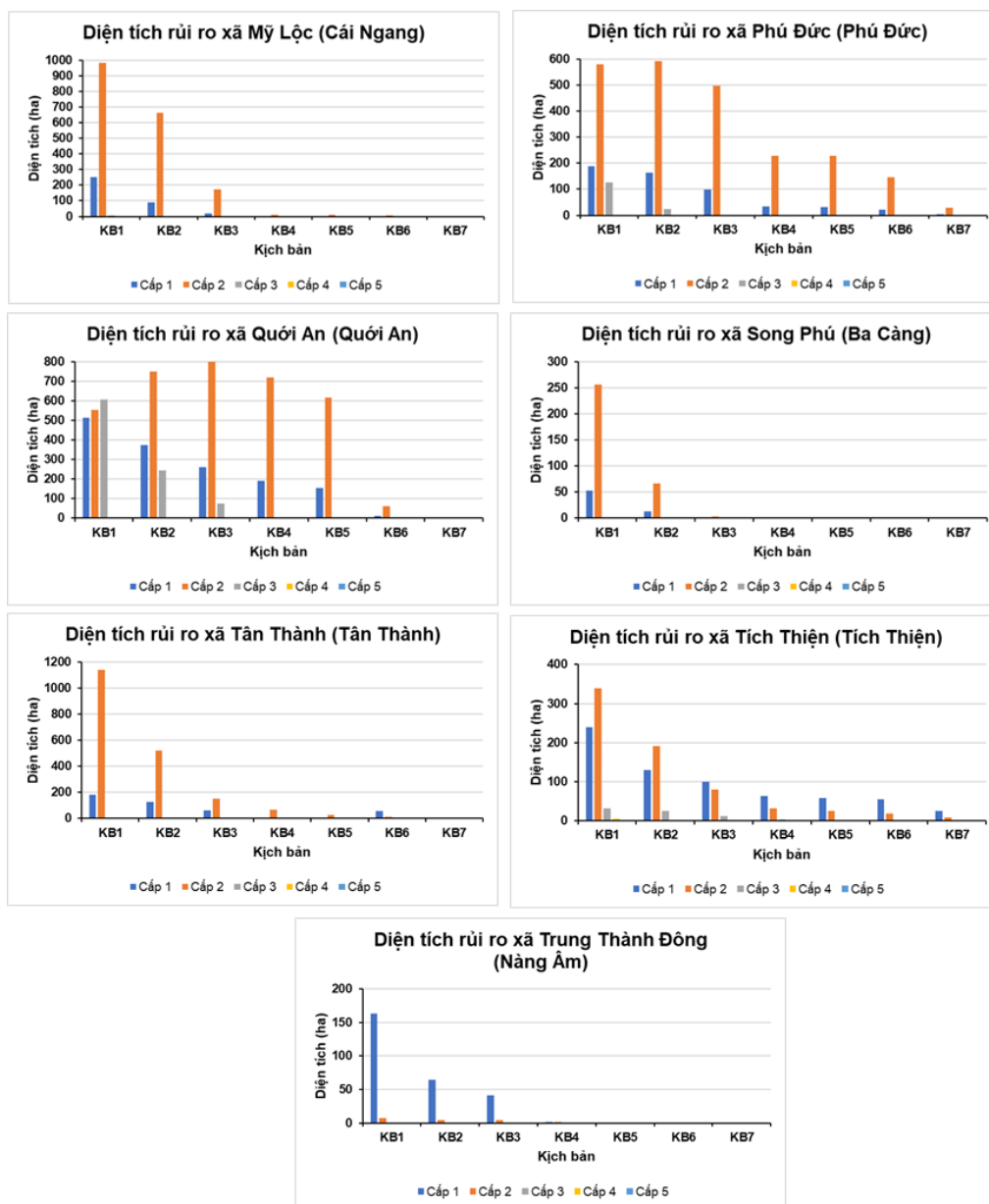


Hình 13. Bản đồ minh họa rủi ro do ngập lụt tỉnh Vĩnh Long theo các kịch bản.

4. Kết luận

Nghiên cứu đã dựa trên các dữ liệu khảo sát thực tế tại tỉnh Vĩnh Long để xác định các đối tượng dễ bị tổn thương, vùng bị ảnh hưởng do ngập lụt và là dữ liệu đầu vào vào phục vụ tính toán rủi ro do ngập trên địa bàn tỉnh Vĩnh Long. Nghiên cứu dựa trên thông tư 14/2021/BTNMT nhưng cũng là kết quả được tính toán xác định đầu tiên tại vùng Đồng bằng sông Cửu Long, qua đó các tỉnh xung quanh có cơ sở khoa học để thực hiện các dự án tương tự tiếp theo về tính toán rủi ro do lũ, ngập lụt.

Nghiên cứu này đã đánh giá rủi ro do lũ đến kinh tế - xã hội trên địa bàn tỉnh Vĩnh Long, đặc biệt tại 9 điểm xây dựng báo động lũ có diện tích rủi ro lớn nhất theo kịch bản tính toán lớn nhất tổng diện tích rủi ro tại các xã Tích Thiện, Hiếu Nhơn, Trung Thành Đông, Mỹ Lộc, Hòa Hiệp, Song Phú, Quới An, Tân Thành, Phú Đức lần lượt là 617,21 ha, 1233,88 ha, 1240,11 ha, 142,77 ha, 308,63 ha, 1672,9 ha, 1319,86 ha, 893,5 ha. Từ kết quả tính toán rủi ro theo các kịch bản là cơ sở để xác định mức nước theo cấp báo động lũ tại 9 vị trí sông trên địa bàn tỉnh Vĩnh Long, cung cấp thông tin quan trọng trong xây dựng phương án ứng phó với lũ lụt hiệu quả hơn trong thời gian tới.



Hình 14. Biểu đồ minh họa diện tích rủi ro theo các kịch bản tại 9 vị trí.

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

Lời cảm ơn: Bài báo cảm ơn Trung tâm Động lực học Thủy khí Môi trường (CEFD) đã hỗ trợ hoàn thành nghiên cứu này.

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

Tài liệu tham khảo

1. Luật Phòng chống thiên tai ngày 19 tháng 6 năm 2013.
2. Chương trình Phát triển Liên Hợp Quốc (UNDP). Tài liệu hướng dẫn đánh giá rủi ro thiên tai dựa vào cộng đồng của Bộ Nông nghiệp và PTNT ban hành, tái bản lần 2. 2015.

3. Anh, N.K.N.; Anh, T.N.; Bình, N.T.; Tuấn, P.H.Q.; Hải, L.T.A.; Quyền, L.N. Đánh giá định lượng rủi ro ngập lụt tỉnh Bà Rịa - Vũng Tàu trong bối cảnh Biến đổi khí hậu. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* **2022**, 734, 63–77.
4. Ngân hàng Thế giới. Quản lý Thiên tai Việt Nam (VN-Haz) của Chính phủ Việt Nam triển với khoản tín dụng của Hiệp hội Phát triển Quốc tế (IDA). 2020.
5. Hương, H.T.L.; Hiền, N.X.; Thủy, N.T.; Hằng, V.T.; Công, N.T. Công. Đánh giá rủi ro thiên tai do lũ lụt khu vực Trung Trung Bộ. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* **2020**, 715, 13–26.
6. Văn, C.T.; Sơn, N.T. Nghiên cứu thiết lập phương pháp cơ bản đánh giá rủi ro lũ lụt ở đồng bằng sông Cửu Long. *Tạp chí Khoa học Đại học Quốc gia Hà Nội: Các Khoa học Trái đất và Môi trường* **2016**, 32(3S), 264–270.
7. Sơn, N.T. Đánh giá mức độ tổn thương về kinh tế - xã hội do lũ lụt trên một số lưu vực sông chính ở miền Trung trong bối cảnh biến đổi khí hậu và khai thác công trình thủy điện, thủy lợi, mã số BĐKH-19, 2015.
8. Meyer, V.; Scheue, S.; Haase, D. A multicriteria approach for flood risk mapping exemplified at the Mulde river, Germany. *Nat. Hazards* **2009**, 48, 17–39.
9. Kandilioti, G.; Makropoulos, C. Preliminary, flood risk assessment: The case of Athens. *Nat. Hazards* **2012**, 61, 441–468.
10. Meyer, V.; Priest, S.; Kuhlicke, C. Economic evaluation of structural and non-structural flood risk management measures: Examples from the Mulde River. *Nat. Hazards* **2012**, 62(2), 301–324.
11. So, K.; Ayumu, S.; Seiki, K. Evaluating the cost of flood damage based on changes in extreme rainfall in Japan. *Sustainability Sci.* **2009**, 4(1), 61–69. <https://doi.org/10.1007/s11625-008-0066-1>.
12. Ganji, S.; Ardalan, A.; Sadeghi, M. Flood risk assessment in the urban areas: A case study of Tehran, Iran. *Nat. Hazard* **2012**, 63(2), 761–785. <https://doi.org/10.1007/s11069-012-0190-4>.
13. Guo, K.W.; Lo, W.; Chau, S.L. Flood risk management and risk-based analysis: A review. *Water Resour. Manage.* **2015**, 29(12), 4069–4083. <https://doi.org/10.1007/s11269-015-1077-1>.
14. Vorogushyn, A.; Castellarin, S.; Merz, A.; Brath, B.A.Domeneghetti. Probabilistic flood hazard mapping: Effects of uncertain boundary conditions. *Hydrol. Earth Syst. Sci.* **2015**, 19(1), 3245–3259. <https://doi.org/10.5194/hess-19-3245-2015>.
15. Burby, R.J. Involving citizens in hazard mitigation planning: Making the right decisions. *Aust. J. Emerg. Manage.* **2001**, 16(3), 45–54.
16. Messner, V.; Meyer, F. National flood damage evaluation methods: A review of applied methods in England, the Netherlands, the Czech Republic and Germany. UFZ-Discussion Papers, Department of Economics, UFZ Leipzig. 2005.
17. Anh, N.K.N.; Anh, T.N.; Bình, N.T.; Tuấn, P.H.Q.; Hải, L.T.A.; Quyền, L.N. Đánh giá định lượng rủi ro do ngập lụt tỉnh Bà Rịa–Vũng Tàu trong bối cảnh Biến đổi khí hậu. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* **2022**, 734, 63–77.
18. Cát, V.M. Đánh giá rủi ro thiên tai do lũ lụt lưu vực sông Dinh. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* **2020**, 717, 1–10.
19. Chau, V.N.; Cassells, S.; Holland, J. Economic impact upon agricultural production from extreme flood events in Quang Nam, central Vietnam. *Nat. Hazard* **2015**, 75, 1747–1765. <https://doi.org/10.1007/s11069-014-1395-x>.
20. Y, N.N.; Kha, D.D.; Ichikawa, Y. Developing a multivariable lookup table function for estimating flood damages of rice crop in Vietnam using a secondary research approach. *Int. J. Disaster Risk Reduct.* **2021**, 58, 102208. <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2021.102208>.

21. Y, N.N.; Ichikawa, Y.; Hiroshi, I. Establishing flood damage functions for agricultural crops using estimated inundation depth and flood disaster statistics in data - scarce regions. *Hydrol. Res. Lett.* **2017**, *11*, 12–18.
22. Bình, H.T.; Tùng, N.B.; Thủy, N.H.; Hoàng, M.Đ.; Cham, Đ.Đ.; Vĩ, N.T.; Anh, T.N. Đánh giá rủi ro ngập lụt khu vực hạ lưu sông Trà Khúc - sông Vệ, tỉnh Quảng Ngãi dưới tác động của các hoạt động kinh tế - xã hội. *Tap chí Khí tượng Thủy văn* **2025**, *769*, 102–116.
23. Bộ Tài nguyên và Môi trường. Thông tư 14/2021/TT-BTTTTNMT về quy định kỹ thuật xây dựng mực nước tương ứng với các cấp báo động lũ. 2021.
24. Sở Tài nguyên và Môi trường tỉnh Vĩnh Long. Điều tra, khảo sát và ban hành mực nước ứng với các cấp báo động lũ tại các vị trí trên địa bàn tỉnh Vĩnh Long. 2022.
25. Chi cục thống kê tỉnh Vĩnh Long. Niên giám thống kê tỉnh Vĩnh Long. 2021.
26. Ban chỉ huy PCTT và TKCN tỉnh Vĩnh Long. Kế hoạch Phòng, chống thiên tai và Tìm kiếm cứu nạn tỉnh Vĩnh Long giai đoạn 2021 - 2025. 2021.
27. Ban chỉ huy PCTT và TKCN tỉnh Vĩnh Long. Tổng hợp các báo cáo tổng kết Kế hoạch Phòng, chống thiên tai và Tìm kiếm cứu nạn tỉnh Vĩnh Long giai đoạn 2011 - 2020.
28. Đài Khí tượng Thủy văn Khu vực Nam Bộ. Bản đồ mạng lưới trạm Khí tượng và Thủy văn khu vực Nam Bộ. 2021.

Assessment of flood risk to socio-economic aspects in Vinh Long Province

Nguyen Bach Tung¹, Nguyen Hong Thuy¹, Le Ngoc Quyen², Pham Ho Quoc Tuan², Dang Thi Hong Nhung³, Nguyen Tuong Vi⁴, La Duc Dung⁵, Tran Ngoc Anh^{1*}

¹ Center for Environmental Fluid Dynamics, VNU University of Science, Vietnam National University, Hanoi; bachtung_cefd@hus.edu.vn; tranngocanh@hus.edu.vn; nguyenhongthuy@hus.edu.vn

² Southern Regional Hydrometeorological Center, Viet Nam Meteorological and Hydrological Administration; quyentccb@gmail.com; phamhoquoctuan@yahoo.com

³ Institute of Geography, Vietnam Academy of Science and Technology; danghongnhung65@gmail.com

⁴ Sub-Department of Water Resources, Department of Agriculture and Rural Development of Binh Dinh Province; vint@snnptnt.binhdin.gov.vn

⁵ Viet Nam Meteorological and Hydrological Administration, Ministry of Natural Resources and Environment; dunlaktv@gmail.com

Abstract: This study assesses the flood risk to the socio-economic aspects of Vinh Long Province and serves as a basis for determining flood warning levels at nine river locations within the province. The research is based on actual survey data from Vinh Long to identify vulnerable entities and areas affected by flooding, providing input data for calculating flood risk across the province. Following the technical guidelines outlined in Circular 14/2021/TT-BTNMT for constructing water levels corresponding to different flood warning levels, this study aims to create flood risk maps for Vinh Long Province by analyzing the spatial impacts of flooding on various land uses and risk levels. The findings indicate that the greatest total damages occurred in the communes corresponding to nine flood warning points: Tich Thien, Hieu Nhon, Trung Thanh Dong, My Loc, Hoa Hiep, Song Phu, Quoi An, Tan Thanh, and Phu Duc, with affected areas being 617.21 hectares; 1233.88 hectares; 1240.11 hectares, 142.77 hectares, 308.63 hectares, 1672.9 hectares, 1319.86 hectares, and 893.5 hectares, respectively.

Keywords: Flood risk; Vinh Long Province.

Bài báo khoa học

Giám sát lớp phủ bề mặt khu dự trữ sinh quyển Cần Giờ sử dụng thuật toán Random Forest trên nền tảng điện toán đám mây

Đỗ Thị Phương Thảo^{1,2*}, Lê Minh Huệ³, Nguyễn Ngọc Nam³, Vũ Thị Thanh Hiền³, Nguyễn Khánh Vy⁴

¹ Trường Địa học Mỏ - Địa chất; dothiphuongthao@humg.edu.vn

² NNC Nghiên cứu phát triển công nghệ quản lý và phân tích dữ liệu không gian địa lý;

³ Cục Viễn thám Quốc gia; minhhue.nrsd@gmail.com; nguyennam2000@gmail.com; hienvursc@gmail.com

⁴ Trường PTTT Chu Văn An, Hà Nội; izumisenaistj3w4@gmail.com

*Tác giả liên hệ: dothiphuongthao@humg.edu.vn; Tel.: +84-982688385

Ban Biên tập nhận bài: 10/8/2024; Ngày phản biện xong: 12/9/2024; Ngày đăng bài: 25/2/2025

Tóm tắt: Khu dự trữ sinh quyển thế giới là những cảnh quan có nhiều đặc điểm sinh thái khác nhau được quốc tế công nhận. Việt Nam có 11 khu trong đó Cần Giờ nằm trên địa phận thành phố Hồ Chí Minh, nơi có tốc độ đô thị hoá nhanh nên không tránh khỏi ảnh hưởng một phần bởi các hoạt động dân sinh xã hội một phần là các hiện tượng cực đoan của thời tiết tác động xấu đến môi trường. Việc quản lý và bảo vệ khu DTSQ là trách nhiệm chung của toàn xã hội, đặc biệt cần có một công cụ theo dõi giám sát những thay đổi đang diễn ra để điều chỉnh kịp thời và cũng cần chú trọng đến việc tận dụng kết hợp các công nghệ đã có để giám sát hiệu quả các khu vực này. Mục tiêu của báo cáo là sử dụng công cụ Google Earth Engine với dữ liệu ảnh Sentinel-2 để giám sát lớp phủ bề mặt khu dự trữ sinh quyển Cần Giờ giai đoạn 2019-2022. Kết quả cho thấy toàn bộ khu vực đã có biến động mạnh trong 2 năm 2019, 2020. Diện tích đất nông nghiệp và xây dựng tăng lên đáng kể dẫn đến sụt giảm diện tích nước mặt, rừng ngập mặn và đất khác. Vùng lõi ít biến động nhất, vùng chuyển tiếp biến động mạnh mẽ do các hoạt động du lịch và dân sinh. Giai đoạn 2020-2022 có sự phục hồi do các chính sách phát triển và bảo vệ hợp lý của thành phố cũng như của ban quản lý khu di sản. Đây cũng là những tín hiệu có tác động tốt đến môi trường, hệ sinh thái của khu vực nghiên cứu.

Từ khóa: Giám sát lớp phủ bề mặt; Dự trữ sinh quyển Cần Giờ; Random Forest.

1. Đặt vấn đề

Khu dự trữ sinh quyển là nguyên mẫu của cảnh quan thiên nhiên bao gồm diện tích lớn các hệ sinh thái khác nhau [1]. Tại Việt Nam có 11 khu vực được công bố là khu dự trữ sinh quyển của thế giới trong đó có Cần Giờ [2]. Nơi đây được xem là lá phổi xanh hoặc bức tường xanh của thành phố Hồ Chí Minh, là nơi lưu giữ nhiều hệ động thực vật, hệ sinh thái đa dạng, phong phú [3]. Hiện nay, rừng ngập mặn Cần Giờ bắt đầu từng bước được quan tâm của người dân và nhà nước khi xu thế du lịch trở về với thiên nhiên được ưa chuộng do đó tình hình suy thoái môi trường vẫn đang diễn ra từng ngày, từng giờ. Rừng ngập mặn bị tàn phá để lấy đất nuôi tôm, để xây dựng các khu dân cư mới [4]. Trên thế giới nói chung và các khu dự trữ sinh quyển tại Việt Nam cũng vậy, diện tích khu dự trữ sinh quyển đang bị thu hẹp một phần do tình trạng cực đoan của khí hậu, thời tiết nên đang dần dần đến suy thoái môi trường và đất đai, làm giảm khả năng phát triển của hệ thực vật cũng như làm xáo trộn trạng thái cân bằng thường xuyên của hệ sinh thái, mất đa dạng sinh học, biến đổi khí hậu địa phương cực bộ [1, 5-7] khiến mục tiêu của các nhà quản lý tại khu dự trữ sinh quyển là cần có một hệ thống thực hiện giám sát tất cả các hoạt động liên quan đến sự thay đổi của

Tạp chí Khí tượng Thủy văn **2025**, 770, 58-67; doi:10.36335/VNJHM.2025(770).58-67 <http://tapchikttv.vn/>

khu dự trữ từ cập nhật hiện trạng khai thác đến theo dõi những biến đổi về diện tích thực phủ [7, 8].

Ở Việt Nam sử dụng công nghệ viễn thám trong xây dựng các bản đồ hiện trạng cũng như biến động về thực phủ đã được thực hiện ở nhiều khu vực, mang lại nhiều lợi ích lớn, nhanh chóng nhưng dữ liệu phân loại này đa số là rời rạc, cục bộ tuy nhiên cũng đáp ứng một phần nào trong giải quyết kịp thời các bài toán biến động [9–12]. Gần đây, vì tính khả dụng của các tập dữ liệu lớn và việc xử lý chúng cũng phức tạp hơn trong lĩnh vực khoa học không gian địa lý nên sự kết hợp giữa dữ liệu viễn thám và trí tuệ nhân tạo đã tạo ra một chân trời mới đầy tiềm năng, hiệu quả cho việc giải đoán đối tượng, phân loại lớp phủ bề mặt [1, 13]. Nhiều nghiên cứu đã sử dụng các thuật toán phân loại học máy khác nhau (*Neutral Networks - NNet, Random Forest - RF và Support Vector Machine - SVM*) để phân loại hiện trạng bề mặt phủ đất từ ảnh vệ tinh Sentinel-2, Landsat. Phương pháp Random Forest thường được được kết luận là có độ chính xác cao nhất (90%) [14–17]. Giải pháp giám sát biến động dựa trên phân loại theo hướng này cũng được đặt ra. Khoa học dữ liệu và viễn thám đã bắt đầu liên kết nhờ các công cụ lập trình thân thiện với người dùng, khả năng tiếp cận sức mạnh tính toán cao và sự sẵn có của dữ liệu vệ tinh miễn phí đặc biệt là các dữ liệu có sẵn công khai của Cơ quan Vũ trụ Châu Âu và vệ tinh quan sát Trái đất của Mỹ đã được sử dụng trong nhiều ứng dụng viễn thám khác nhau [1, 14]. Google Earth Engine (GEE) là một công cụ cho phép sử dụng công khai các bộ dữ liệu có sẵn này. Có một lượng lớn dữ liệu có sẵn trong GEE, đang được sử dụng cho nhiều mục đích tính toán và phân tích [1, 15, 18].

Sử dụng ảnh vệ tinh để lập bản đồ lớp phủ bề mặt khu dự trữ sinh quyển, định lượng theo các mốc thời gian và tính toán diện tích thay đổi với từng loại phủ bề mặt sẽ cho thấy chiều hướng, sự phát triển của khu dự trữ sinh quyển [1, 5, 7]. Dữ liệu viễn thám là nguồn chính, được sử dụng rộng rãi để phát hiện thay đổi trong những thập kỷ gần đây. Sự thay đổi về bề mặt lớp phủ có tác động rất lớn đến môi trường sống toàn cầu [5, 7, 19]. Việc kịp thời phát hiện và đưa ra chính sách bảo tồn, phát triển bền vững tại ủa đa dạng sinh học, là một cách tiếp cận quan trọng để đánh giá sự mất đa dạng sinh học to các khu dự trữ sinh quyển là nhiệm vụ của các cơ quan chuyên môn, tổ chức trong và ngoài nước [6, 20]. Nhiều nỗ lực đã được thực hiện trong thập kỷ qua để tính toán sự thay đổi trong các lớp che phủ đất, đặc biệt là ở các khu vực rừng nhưng hầu hết các nghiên cứu đều bị hạn chế về độ phân giải và độ chính xác theo không gian hoặc thời gian [21–22].

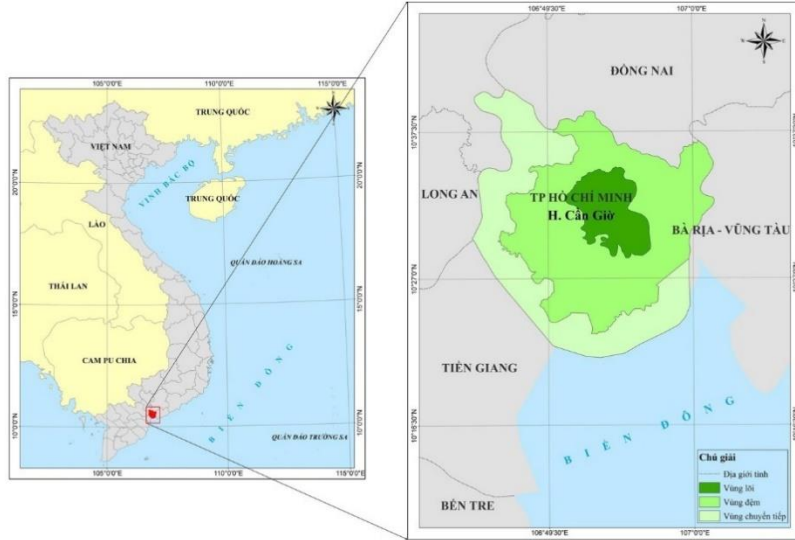
Giám sát biến động từ phân loại lớp phủ mặt đất qua các chu kỳ (2 năm, 5 năm, 10 năm,...) tùy theo mức độ quan trọng hoặc sự thay đổi nhanh hay chậm tại một khu vực sẽ có cái nhìn bao quát về biến đổi của các lớp thực phủ trên bề mặt đất cũng như sự biến đổi về quy hoạch sử dụng đất [7]. Qua số liệu phân tích của từng loại lớp phủ theo các chu kỳ có thể xác định được khu vực nào thay đổi và tính chất thay đổi như thế nào theo thời gian, ví dụ xác định được diện tích mặt nước trước đây bây giờ là diện tích đất xây dựng hoặc trước đây là rừng bây giờ là đất trồng,... Câu hỏi đặt ra vẫn luôn là các lớp phủ bề mặt thay đổi nhanh chóng như thế nào trong thời gian đã qua [7, 22]. Việc phát hiện chính xác và hoàn toàn tự động những thay đổi về lớp phủ mặt đất từ dữ liệu vệ tinh đa thời gian ở độ phân giải không gian trung bình là rất khó [23]. Để phát hiện sự thay đổi lớp phủ mặt đất hiệu quả và chính xác từ các vệ tinh quan sát trái đất, còn phải giải quyết các vấn đề về tính khách quan, chính xác, khả năng ứng dụng cũng như cung cấp quyền truy cập cho nhiều người dùng [1, 18]. Do vậy, trong bài báo này, nhóm tác giả sử dụng công cụ Google Earth Engine để phân tích ảnh Sentinel-2 chiết xuất các thông tin về thực phủ, nước mặt, các đối tượng bề mặt, từ đó xác định những biến động của chúng giai đoạn 2019, 2020, 2022.

2. Dữ liệu và phương pháp

2.1. Khu vực nghiên cứu

Khu dự trữ sinh quyển rừng ngập mặn Cần Giờ được hình thành ở hạ lưu hệ thống sông Đồng Nai - sông Sài Gòn, nằm ở huyện ven biển Cần Giờ, thành phố Hồ Chí Minh. Tọa độ:

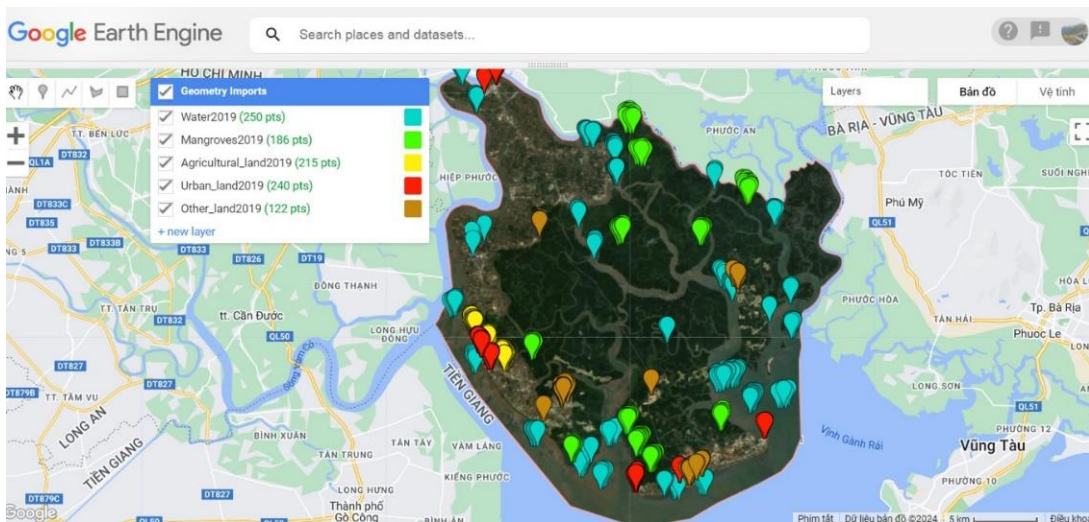
10°22' - 10°40' độ vĩ Bắc và 106°46' - 107°01' kinh độ Đông, cách trung tâm Thành phố Hồ Chí Minh khoảng 60 km về phía Đông nam. Phía Bắc giáp huyện Nhơn Trạch tỉnh Đồng Nai, phía Nam giáp biển Đông, phía Tây giáp tỉnh Tiền Giang, Long An và phía Đông giáp tỉnh Bà Rịa - Vũng Tàu (Hình 1). Tổng diện tích khu dự trữ sinh quyển rừng ngập mặn Cần Giờ là 75.740 ha, trong đó: vùng lõi 4.721 ha, vùng đệm 41.139 ha, và vùng chuyển tiếp 29.880 ha. Đây là khu rừng ngập mặn với một quần thể động thực vật đa dạng phong phú [24]. Đứng trước thực trạng tăng trưởng kinh tế, du lịch phát triển khu vực này đang có nguy cơ chịu sự tác động từ những dự án mới sẽ được mở ra. Bên cạnh đó việc khai thác diện tích để nuôi tôm, tạo thêm thu nhập tận dụng từ chặt gỗ cũng ngày càng ảnh hưởng đến diện tích rừng ngập mặn vùng chuyển tiếp [25].



Hình 1. Khu vực nghiên cứu.

2.2. Dữ liệu

Ảnh Sentinel-2 bao gồm 13 dải quang phổ: bốn dải có độ phân giải 10 m, sáu dải có độ phân giải 20 m và 03 dải ở độ phân giải không gian 60 m. Chiều rộng quỹ đạo là 290 km, phục vụ chiết tách các thông tin về môi trường sống của đa dạng sinh học tại khu dự trữ sinh quyển Cần Giờ về: thực phủ, nước mặt, các đối tượng bề mặt,...

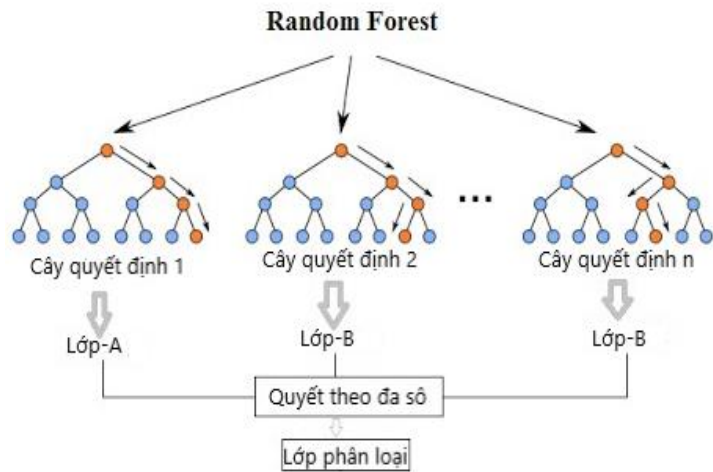


Hình 2. Sơ đồ điểm lấy mẫu.

Dữ liệu mẫu bao gồm các điểm training và testing được trích xuất từ dữ liệu WorldCover 2021; từ các bản đồ hiện trạng sử dụng đất của khu vực; từ số liệu của cục Bảo tồn và Ban quản lý khu vực. Toàn khu vực dự trữ sinh quyển Cần Giờ được phân loại đất và các loại thực phủ theo 5 lớp chính, bao gồm: lớp nước mặt (ao hồ, sông suối, mặt nước biển,...), lớp rừng ngập mặn (rừng tự nhiên, rừng trồng), lớp đất khác (đất nông nghiệp chưa trồng trọt, đất khai hoang, đất trống chưa sử dụng,...), lớp đất nông nghiệp (lúa, hoa màu) và lớp đất xây dựng (đất xây dựng đô thị, nhà ở nông thôn, các công trình xây dựng,...) (Hình 2).

2.3. Phương pháp

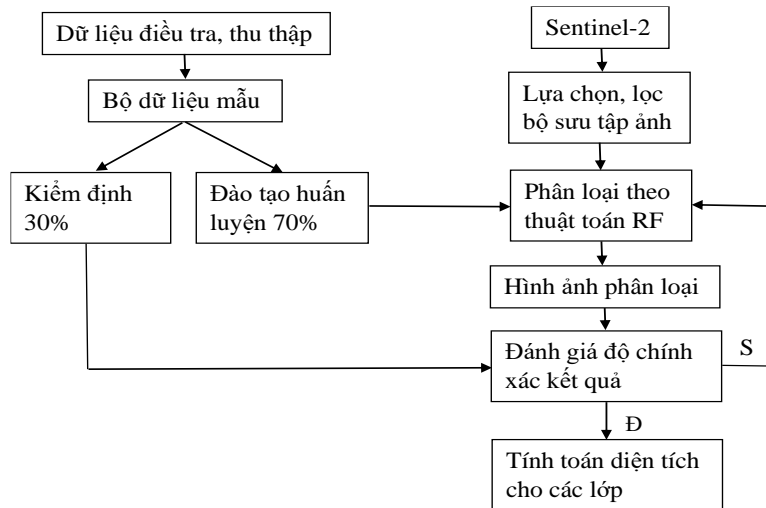
Công tác phân loại lớp phủ mặt đất được thực hiện tự động trên nền tảng Google Earth Engine (GEE) thông qua các thuật toán để phân tích bộ dữ liệu không gian và tính toán các tham số từ nguồn tư liệu ảnh viễn thám độ phân giải trung bình Sentinel-2 có sẵn trên điện toán đám mây [1,14]. Thuật toán Random Forest rất hiệu quả cho các bài toán phân loại vì nó hoạt động cùng lúc nhiều mô hình nhỏ hơn bên trong với quy luật khác nhau để đưa ra quyết định cuối cùng [13–15].



Hình 3. Mô hình ra quyết định của Random Forest.

Mỗi mô hình con có thể mạnh yếu khác nhau nhưng theo nguyên tắc đa số nên sẽ có cơ hội phân loại chính xác hơn khi sử dụng bất kỳ một mô hình đơn lẻ nào. Mô hình con bên trong của Random Forest là Decision Tree (Cây quyết định). Mỗi cây quyết định gồm nút gốc (*root node*), các nút lá (*leaf nodes*) và các nhánh (*branches*). Thuật toán RF đầu tiên sẽ chọn số lượng các cây quyết định (*n-tree*) sau đó chọn số lượng các thuộc tính sẽ dùng tại mỗi node của cây (*m-try*). Tiếp theo tạo cây quyết định bằng cách hoán vị các tập mẫu khởi động (*bootstrap*). Khi tạo cây, tại mỗi node sẽ chọn ra *m-try* thuộc tính, và sử dụng các thuộc tính này để tìm ra cách phân chia tốt nhất. Cuối cùng thu thập kết quả phân tích trên tất cả các cây quyết định và sử dụng kết quả được chọn nhiều nhất (theo đa số) làm kết quả cuối cùng [1, 13–15]. Số lượng cây quyết định càng nhiều càng làm tăng độ chính xác kết quả của phương pháp (Hình 3). Các bước phân loại lớp phủ đất bằng thuật toán Random Forest trên nền tảng GEE thực hiện theo sơ đồ Hình 4.

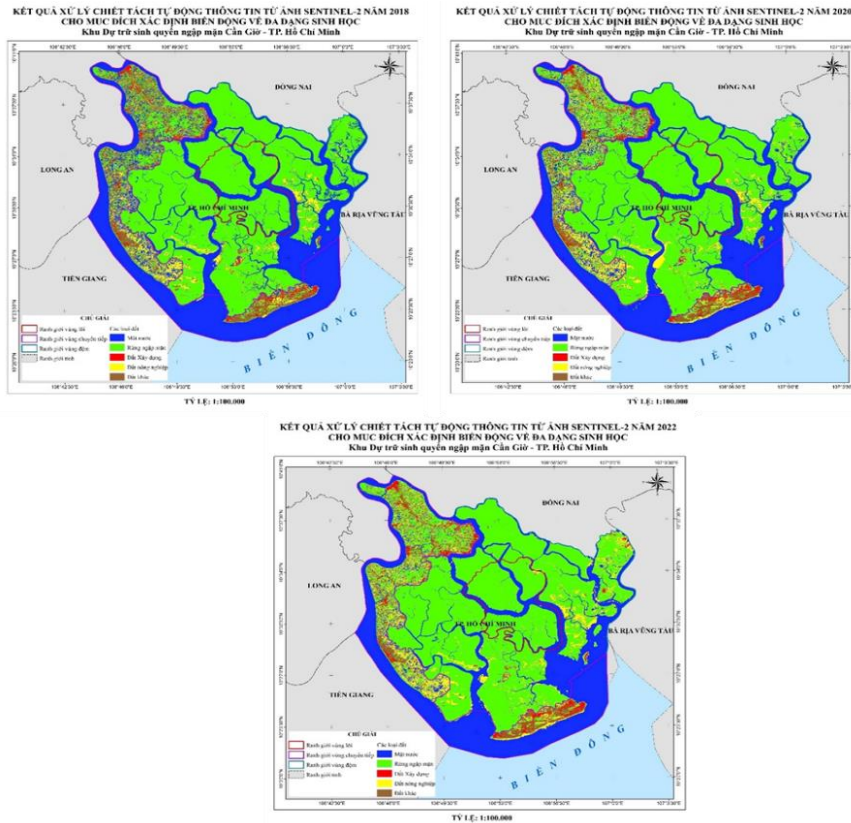
Sau khi các hình ảnh đã được chuyển đổi và phân biệt để làm nổi bật các khu vực đang thay đổi, bước tiếp theo là phân loại hình ảnh đó thành bản đồ chuyên đề bao gồm các lớp ổn định và thay đổi. Điều này có thể được thực hiện khá đơn giản bằng cách đặt ngưỡng cho lớp thay đổi hoặc bằng cách sử dụng các kỹ thuật phân loại như thuật toán học máy, quan trọng là biết cách chọn ngưỡng phù hợp để phân vùng các khu vực đã thay đổi khỏi các lớp ổn định.



Hình 4. Sơ đồ qui trình phân loại lớp phủ đất bằng thuật toán Random Forest.

3. Kết quả

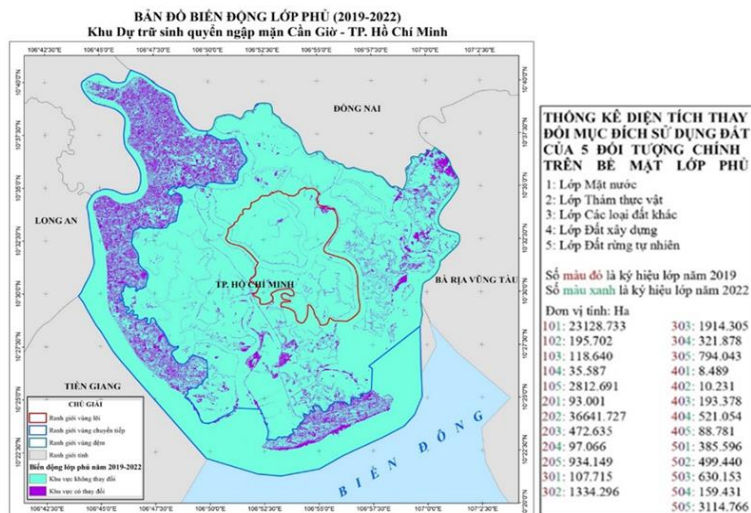
Kết quả phân loại được thể hiện ở Hình 5 cho các năm 2019, 2020, 2022. Độ chính xác kết quả phân loại sử dụng ma trận nhầm lẫn (*Confusion Matrix*) với hệ số Kappa và Độ chính xác tổng thể (*Overall Accuracy - OA*). Các kết quả đánh giá độ chính xác phân loại đều đạt trên 90% chứng tỏ được độ tin cậy của phương pháp phân loại.



Hình 5. Kết quả chiết tách tự động lớp phủ bề mặt khu dự trữ sinh quyển Cần Giờ năm 2019, 2020, 2022.

Với chức năng phân tích biến động lớp phủ trên nền tảng GEE, sử dụng 3 thời điểm phân loại như trên thu được giá trị biến động lớp phủ theo 2 giai đoạn 2019-2020 và 2020-2022 thể hiện bằng 2 hình thức: (1) Bảng số liệu thống kê về diện tích. Kết quả được hiện thị dưới dạng số theo quy định của người dùng gán, ví dụ 1 = nước; 2 = thực vật; 3 = đất trống; 4 = đất xây dựng; 5 = rừng kết quả sẽ cho ra bảng 101 là Nước chuyển thành nước; 102 là nước chuyển thành thực vật,... (2) Bản đồ về các vùng biến động lớp phủ bề mặt: thể hiện các vùng phủ đã có sự thay đổi từ đối tượng này sang đối tượng kia giữa 2 thời điểm ảnh. Khi sử dụng bản đồ này chèn ghép lớp phủ của từng thời điểm ảnh sẽ thấy được sự biến động rõ rệt (Hình 6).

Tại khu dự trữ sinh quyển Cần Giờ, chủ yếu là đất mặt nước, chiếm 39,3% diện tích cả khu vực. Tuy nhiên, từ năm 2019 đến năm 2020, diện tích đất mặt nước giảm hơn 10.000 ha do phần lớn chuyển sang đất nông nghiệp, nuôi trồng thủy sản. Giai đoạn 2020-2022 đất mặt nước đã tăng trở lại hơn 8.000 ha nhưng nhìn chung vẫn giảm trong cả quá trình nghiên cứu (2019-2022). Đất nông nghiệp và xây dựng nhà cửa tăng mạnh trong giai đoạn 2019-2022 kéo theo diện tích các loại hình đất trên khu vực đều giảm. Rừng ngập mặn giảm 11.000 ha và đất khác giảm đáng kể (27.667 ha) để phục vụ nhu cầu mưu sinh, xây dựng nhà ở, canh tác nông nghiệp. Đến năm



Hình 6. Bản đồ diễn tả biến động lớp phủ khu dự trữ sinh quyển Cần Giờ giai đoạn 2019 - 2022.

2022 do chính sách của thành phố Hồ Chí Minh đã khuyến khích bảo vệ rừng, giao khoán trồng rừng đến 135 hộ dân của Cần Giờ [3], diện tích các loại đất đã giảm đi (nước mặt, đất khác) có xu thế phục hồi tăng trở lại. Tốc độ tăng của diện tích đất nông nghiệp và xây dựng nhà cửa đã giảm hẳn so với 2 năm trước. Riêng diện tích rừng ngập mặn mất đi chỉ gần 67 ha so với 10.000 ha giai đoạn 2019-2020 vẫn là con số ngoạn mục đáng ghi nhận (Bảng 1, Hình 7).

Bảng 1. Diễn biến các đối tượng lớp phủ bề mặt khu dự trữ sinh quyển Cần Giờ và vùng phát triển kinh tế xung quanh.

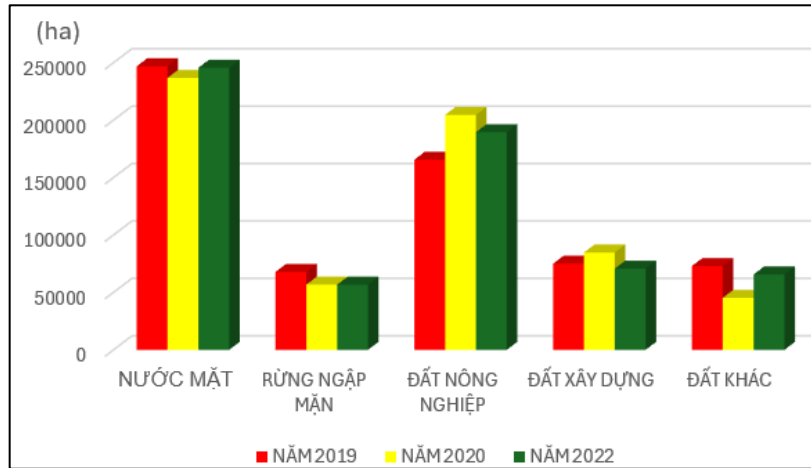
Vùng	Diện tích phân tích tự động từ ảnh viễn thám SENTINEL_2 (10M)					Đánh giá	
	Năm 2019 (ha)	Năm 2020 (ha)	Năm 2022 (ha)	Biến động 2019 - 2020 (ha)	Biến động 2020 - 2022 (ha)	Năm 2020	Năm 2022
Nước mặt	246.864,815	236.762,785	245.564,128	-10.102,030	8.801,343	giảm	tăng
Rừng ngập mặn	67.818,660	56.804,927	56.738,040	-11.013,733	-66,887	giảm	giảm
Đất nông nghiệp	165.483,605	204.550,098	189.498,549	39.066,493	-15.051,549	tăng	giảm
Nhà cửa	75.007,476	84.724,541	70.679,858	9.717,065	-14.044,683	tăng	giảm
Đất khác	72.941,091	45.273,295	65.635,072	-27.667,796	20.361,777	giảm nhiều	tăng nhiều
Tổng diện tích	628.115,65	628.115,65	628.115,65	0,00	0,00		

Bảng 2. Diễn biến các đối tượng lớp phủ bề mặt các vùng chức năng khu dự trữ sinh quyển Cần Giờ.

Vùng	Diện tích phân tích tự động từ ảnh viễn thám Sentinel 2 - độ phân giải 10m					Đánh giá		
	Năm 2019 (ha)	Năm 2020 (ha)	Năm 2022 (ha)	Biến động 2019-2020	Biến động 2020-2022	Năm 2020	Năm 2022	
Vùng lõi	Nước mặt	1,477.05	1,630.37	1,784.75	153.32	154.37	tăng	tăng
	Rừng ngập mặn	6,513.20	6,347.07	6,279.33	-166.13	-67.74	giảm	giảm
	Đất nông nghiệp	29.96	153.43	66.47	123.47	-86.96	tăng	giảm
	Đất xây dựng	1.00	26.20	0.00	25.20	-26.20	tăng	nguyên
	Đất khác	135.87	0.00	26.52	-135.87	26.52	giảm	tăng
Tổng diện tích	8,157.07	8,157.07	8,157.07	0.00	0.00			
Vùng đệm	Nước mặt	8,737.47	9,085.44	10,179.00	347.97	1,093.56	tăng	tăng
	Rừng ngập mặn	28,993.60	27,699.50	27,484.06	-1,294.10	-215.44	giảm	giảm
	Đất nông nghiệp	397.04	2,212.93	1,468.79	1,815.89	-744.14	tăng	giảm
	Đất xây dựng	138.14	168.35	41.22	30.21	-127.13	tăng	giảm
	Đất khác	1,978.73	1,078.76	1,071.91	-899.97	-6.85	giảm	giảm
Tổng diện tích	40,244.99	40,244.99	40,244.99	0.00	0.00			
Vùng chuyên tiếp	Nước mặt	15,194.21	14,530.38	14,867.27	-663.84	336.89	giảm	tăng
	Rừng ngập mặn	2,744.85	1,662.98	1,508.57	-1,081.87	-154.41	giảm	giảm
	Đất nông nghiệp	2,247.00	7,235.60	6,532.74	4,988.59	-702.86	tăng	giảm
	Đất xây dựng	841.86	1,130.65	820.78	288.79	-309.87	tăng	giảm
	Đất khác	5,202.08	1,670.40	2,500.64	-3,531.67	830.24	giảm	tăng
Tổng diện tích	26,230.00	26,230.00	26,230.00	0.00	0.00			

Xét về biến động đối với các vùng chức năng thì vùng lõi là vùng bảo tồn hệ sinh thái cả rừng trồng và rừng tự nhiên; động vật hoang dã; thủy vực; các bãi bồi, ... Các hoạt động bảo vệ, quản lý được qui định nghiêm ngặt nên diện tích cả 5 đối tượng phân loại gần như không biến động nhiều. Đặc biệt đất xây dựng không thay đổi chút nào, rừng ngập mặn cũng được bảo tồn khá tốt, diện tích rừng ngập mặn có giảm chút ít, không đáng kể. Vùng đệm là vùng bảo vệ vùng lõi, diện tích rừng ngập mặn bị giảm 1294,10 ha theo xu thế chung của 2 năm 2019-2020 nhưng thay vào đó là diện tích đất nông nghiệp tăng lên 1815.89 ha, đất xây dựng biến động không nhiều, việc bảo tồn vẫn tốt, vẫn theo chủ trương phát triển kinh tế của thành phố. Vùng chuyên tiếp cũng mang chức năng bảo vệ vùng lõi; vùng đệm, tạo thêm không gian cho động thực vật, cảnh quan tự nhiên và có phục vụ du lịch sinh thái kết hợp nông lâm ngư nghiệp nên đã chịu nhiều tác động của con người đến khu vực này. Diện tích các loại đất

biến động lớn, nhất là về phía Tây Bắc của khu vực, nơi giáp với trung tâm thành phố Hồ Chí Minh. Phía Tây khu DTSQ mang chức năng khuyến khích phát triển kinh tế nên diện tích đất nông nghiệp phát triển khá mạnh, tăng gần 5000 ha, diện tích này được khai thác từ đất khác và một phần của rừng ngập mặn. Tuy nhiên, giai đoạn này, diện tích nước mặt ngày càng có xu hướng cân bằng về thời điểm ban đầu nghiên cứu là năm 2019 (Bảng 2, Hình 6).



Hình 7. Biểu đồ thể hiện biến động các loại lớp phủ bề mặt khu DTSQ Cần Giờ.

4. Kết luận

Chiết tách thông tin lớp phủ mặt đất từ dữ liệu viễn thám quang học Sentinel-2 bằng cách sử dụng phương pháp Random Forest (RF) góp phần giảm thiểu chi phí cũng như đẩy nhanh tốc độ thành lập bản đồ lớp phủ mặt đất tại các thời điểm khác nhau. Xác định biến động giữa hai thời kỳ sử dụng công cụ GEE trên nền tảng điện toán đám mây rất thuận tiện không mất nhiều thời gian tính toán, chuyển đổi sang các định dạng cũng như các phần mềm khác. Ngoài việc lập bản đồ các khu vực khó tiếp cận, giải pháp này cũng giúp xác định các hành vi lấn chiếm sử dụng đất trái phép và các hoạt động khai thác tài nguyên thiên nhiên bừa bãi để lại dấu vết trong ranh giới khu vực được theo dõi.

Tại khu dự trữ sinh quyển Cần Giờ, giai đoạn 2019-2020, đất nông nghiệp và xây dựng tăng mạnh, đất mặt nước, đất khác và đất rừng ngập mặn giảm tương ứng. Giai đoạn gần đây (2020-2022) đã có sự phục hồi của các loại đất mất đi giai đoạn trước, xu thế trả dần về tự nhiên dẫn đến các loại đất trở về cân bằng gần với thời điểm đầu của nghiên cứu (2019). Vùng lõi là vùng ít có biến động nhất, vùng đệm và vùng chuyển tiếp đã có sự chuyển đổi mạnh mẽ. Các biến động này đều do chính sách của thành phố với ưu tiên bảo vệ nghiêm ngặt vùng lõi, khuyến khích trồng rừng tái sinh vùng đệm và cơ cấu phát triển kinh tế đối với vùng chuyển tiếp. Nghiên cứu có thể áp dụng đối với 11 khu dự trữ sinh quyển thế giới tại Việt Nam.

Lời cảm ơn: Bài báo là một phần kết quả của đề tài “Xây dựng hệ thống hỗ trợ quản lý, giám sát và đề xuất giải pháp bảo tồn, phát triển bền vững các khu dự trữ sinh quyển Thế giới tại Việt Nam bằng công nghệ viễn thám”, mã số: TNMT.2023.02.35. Các tác giả xin chân thành cảm ơn sự hợp tác của tất cả các thành viên đề tài để thực hiện bài báo này.

Đóng góp của tác giả: Xây dựng ý tưởng nghiên cứu: L.M.H., N.K.V.; Xử lý số liệu: N.V.N., Đ.T.P.T.; Viết bản thảo bài báo: Đ.T.P.T., V.T.T.H.; Chỉnh sửa bài báo: V.T.T.H., Đ.T.P.T.

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

Tài liệu tham khảo

1. Abdul, R.S.; Venkatesh, R. Application of remote sensing and Google Earth Engine for monitoring environmental degradation in the Nilgiri biosphere reserve and its

- ecosystem of western Ghats, India. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XLIII-B3-2020, 2020
2. XXIV ISPRS Congress, 2020, XLIII-B3, pp. 933–940.
 3. Hong, P.N. Severe impacts of herbicides on mangroves in the Vietnam war and ecological effects of reforestation. Paper presented at the Centre for Excellence (COE) international seminar "Changing People-Environment Interactions in Contemporary Asia: An Area Study Approach", Kyoto, Japan. 15-17 November 2021.
 4. Trục tuyến: <https://www.rungngapmancangio.org/>.
 5. Son, L.V.; Phong, N.V.; Hòa, L.T.; Châu, N.T.P.; Phú, V.L. Tổng quan về hoạt động sinh kế tại rừng ngập mặn Cần Giờ: một cách tiếp cận cho việc xây dựng mô hình sinh kế bền vững và quản lý rừng ngập mặn dựa vào cộng đồng. Kỷ yếu Hội nghị Khoa học Địa lý toàn Quốc Lần thứ 12. 2021. ISBN978-604-334-789-0.
 6. Hermann, L.C.; Fritz, R.; Susanne, S.K. Socio-Ecological Monitoring of Biodiversity Change Building upon the World Network of Biosphere Reserves. Protected Areas, Gaia 17/S1, 2008, pp. 107–115.
 7. Melanie, E.; Agumassie, G.G.; Andargachew, A.D.; Daniel, A.M.; Tirusew, A.E.; Michael, J.; Adrijana, C. Collaborative monitoring for sustainable development of Lake Tana UNESCO biosphere reserve. Paper presented at the 16th Research Forum of Austrian Universities of Applied Sciences from 19-20 April at the St. Pölten University of Applied Sciences. 2023.
 8. Ahmed, M.H.; Amr, E.; Haifa, A.A.; Shaimaa, M.E.; Haitham, F. Environmental monitoring and prediction of land use and land cover spatio-temporal changes: A case study from El-Omayed biosphere reserve, Egypt. *Environ. Sci. Pollut. Res.* **2020**, 27(34), 42881–42897. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-10208-1>.
 9. Asif, I.; Arif, M.; Yasin, W.R.; Tasnuba, J.; Ashraf, D. Remote sensing-based research for monitoring progress towards SDG 15 in Bangladesh: A review. *Remote Sens.* **2020**, 12, 691. <https://doi.org/10.3390/rs12040691>.
 10. Hiền, N.T.T.; Thành, P.V.; Thời, N.K. Đánh giá biến động sử dụng đất/lớp phủ huyện Tiên Yên, tỉnh Quảng Ninh giai đoạn 2000-2010. *Tap chí Khoa học và Phát triển* **2014**, 12(1), 43–51.
 11. Ty, P.H.; Quyền, V.M.; Thanh, N.N. Đánh giá biến động lớp phủ mặt đất sử dụng dữ liệu viễn thám tại huyện Lệ Thủy tỉnh Quảng Bình trong giai đoạn 2010-2020. *Tap chí Khoa học Đại học Huế: Nông nghiệp và Phát triển Nông thôn* **2021**, 130(3D), 183–202.
 12. Cảnh, L.X.; Đỗ Hữu Thư, Đ.H.; Phương, Đ.H.; Quỳnh, H.Q. Ứng dụng công nghệ viễn thám và GIS để đánh giá biến động lớp phủ thực vật 3 xã (TàBinh, ChàVàl, LaDe, huyện Nam Giang, tỉnh Quảng Nam) bị ảnh hưởng chất độc hoá học phục vụ bảo tồn đa dạng sinh học. *Tap chí Khoa học và công nghệ* **2010**, 48(5), 71–79.
 13. Son, N.T. Nghiên cứu sử dụng ảnh vệ tinh và công nghệ GIS trong việc giám sát hiện trạng tài nguyên rừng thử nghiệm tại một khu vực cụ thể. *Đặc san viễn thám và địa tin học* **2009**, 6, 17–26.
 14. Hải, P.M.; Hoài, Đ.T.; Thành, B.Q.; Quang, N.N. Nghiên cứu cơ sở khoa học ứng dụng thuật toán Random Forest trong phân loại ảnh vệ tinh SPOT 6 với khu vực thực nghiệm tại tỉnh Cà Mau. Kỷ yếu Hội nghị: Nghiên cứu cơ bản trong Khoa học Trái đất và Môi trường, 2019. <https://doi.org/10.15625/vap.2019.000155>.
 15. Tuấn, N.T.; Tuấn, P.V.; Quý, N.V.; Nhung, H.T.P. Sử dụng ảnh vệ tinh sentinel 2 và thuật toán học máy thành lập bản đồ hiện trạng rừng tại huyện Bù Đăng, tỉnh Bình Phước. *Tap chí Khoa học Đại học Cần Thơ* **2022**, 58(6), 150–163.

16. Hương, N.T.T.; Trung, Đ.M. Áp dụng thuật toán phân loại Random Forest để xây dựng bản đồ sử dụng đất/thảm phủ tỉnh Đắk Lắk dựa vào ảnh vệ tinh Landsat 8 OLI. *Tạp chí Nông nghiệp & Phát triển nông thôn* **2018**, 13, 122–129.
17. Tùng, Đ.T.; Tùng, N.T.; Thủy, H.T.; Nhàn, T.T.T.; Hằng, Đ.T.; Hải, V.N.; Dương, N.D. Khai thác trực tuyến cơ sở dữ liệu ảnh vệ tinh, so sánh thuật toán học máy về phân loại lớp phủ trên nền Google Earth Engine. Kỷ yếu hội thảo khoa học quốc gia giải pháp kết nối và chia sẻ hệ thống cơ sở dữ liệu phục vụ công tác đào tạo, quản lý lĩnh vực tài nguyên và môi trường, NXB Khoa học Tự nhiên và Công nghệ - Hà Nội, 2021.
18. Anh, T.V.; Hạnh, T.H.; Nghi, L.T.; Hoà, P.T.T.; Anh, T.Q.; Anh, N.T.V.; Thu, P.T.; Thọ, T.Q. Nghiên cứu một số phương pháp học máy trong thành lập bản đồ lớp phủ bề mặt tỉnh Cà Mau trên nền tảng Google Earth Engine. *Tạp chí Khoa học đo đạc và Bản đồ*. **2023**, 55(3), 18–26.
19. Lichen, L.; Huiling, S. Dynamic monitoring of surface water areas of nine plateau lakes in Yunnan Province using long time-series Landsat imagery based on the Google Earth Engine platform. *Geocarto Int.* **2023**, 38(1), 2253196.
20. Ana, S.V.; Ricardo, A.M.L.; João, F.; Gonçalves, J.R.V.; Pablo, F.M.; Eloy, R.; Luis, S.; Francisco, J.B.G.; João, P.H.; Domingo, A.S. Digital conservation in biosphere reserves: Earth observations, social media, and nature's cultural contributions to people. *Conserv. Lett.* **2020**, 13, e12704. <https://doi.org/10.1111/conl.12704>.
21. Kathrine, S.W. Remote sensing change detection for ecological monitoring in United States protected areas. *Biol. Conserv.* **2015**, 182, 233–242.
22. Sader, S.A.; Hayes, D.J.; Hepinstall, J.A.; Coan, M.; Soza, C. Forest change monitoring of a remote biosphere reserve. *Int. J. remote Sens.* **2001**, 22(10), 1937–1950.
23. Satish, K.V.; Saranya, K.R.L.; Sudhakar, R.C.; Hari, K.P.; Jha, C.S.; Prasada, P.V.V.R. Geospatial assessment and monitoring of historical forest cover changes (1920–2012) in Nilgiri Biosphere Reserve, Western Ghats, India. *Environ Monit Assess.* **2014**, 186, 8125–8140. <https://doi.org/10.1007/s10661-014-3991-3>.
24. Rao, D.P. Role of remote sensing and geographic information system in sustainable development. *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens.* **2000**, 33, 1231–1251.
25. Trục tuyến: <https://baovemoitruong.org.vn/>: Rừng ngập mặn Cần Giờ có thể gặp rủi ro. 2020.
26. Thiện, B.B.; Hương, Đ.T.V.; Liêm, N.D. Đánh giá biến động rừng ngập mặn huyện Cần Giờ, thành phố Hồ Chí Minh trên cơ sở ảnh vệ tinh giai đoạn 1990-2020, Hội nghị Khoa học Địa lý toàn quốc lần thứ XIII. Hà Nội, 2022, tr. 133–142.

Monitoring the land use/ land cover at Can Gio biosphere reserve using random forest algorithm on cloud computing platform

Do Thi Phuong Thao^{1,2*}, Le Minh Hue³, Nguyen Ngoc Nam³, Vu Thi Thanh Hien³, Nguyen Khanh Vy⁴

¹ Hanoi University of Mining and Geology; dothiphuongthao@humg.edu.vn;

² Research and Development of Geospatial Data Management and Analysis Techniques;

³ Department of National Remote Sensing; minhhue.nrsd@gmail.com; nguyennam2000@gmail.com; hienvurc@gmail.com;

⁴ Chu Van An High School (Hanoi); izumisenaistj3w4@gmail.com

Abstract: World biosphere reserves are landscapes with many different ecological characteristics that are internationally recognized. Vietnam has 11 such biosphere reserves, of which Can Gio is located in Ho Chi Minh City, where rapid urbanization so it is inevitably

affected, partly by social activities, other by extreme weather phenomena that have a negative impact on the environment here. The management and protection of biosphere reserves is a common responsibility of the whole society, especially need for a tool to monitor ongoing changes in order to timely adjustments and focus on utilizing a combination of existing technologies to effectively monitor these areas. The objective of this paper is use to Google Earth Engine with Sentinel-2 data for monitor land use/ land cover at Can Gio Biosphere Reserve on period 2019-2022. The results show that all entire area has had strong fluctuations in the year 2019, 2020. The area of agricultural and construction has increased leading to a decrease in the area of surface water, mangrove forests and other land. The core area is the least volatile, transition area is the most volatile due to tourism and residential activities. Period of 2020-2022 has seen a gradual recovery of the areas due to reasonable development and protection policies of the city as well as the heritage management board. These are also effective recovery signals that have a positive impact on the environment and ecosystem of this region.

Keywords: Land use/Land cover monitoring; Can Gio Biosphere Reserve; Random Forest.

Bài báo khoa học

Đánh giá hiệu quả của việc ứng dụng bộ công cụ cảnh báo ngập lụt thành phố Nam Định do mưa lớn

Lê Thị Huệ^{1*}, Đào Tiến Đạt¹, Đinh Thị Hương Thơm¹, Phạm Thị Diệu Thúy¹, Nguyễn Thu Lan¹, Đỗ Thị Ngọc Hoa¹, Vũ Thị Thanh Huyền¹

¹ Đai Khí tượng Thủy văn khu vực Đồng bằng và Trung du Bắc Bộ;

minhhuekttv@gmail.com; daodat81@gmail.com; thomdth91@gmail.com; phamdieu-thuykttv@gmail.com; nguyenslandbbb@gmail.com; ngochoaktv@gmail.com; vthu-yen1999@gmail.com

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

Ban Biên tập nhận bài: 5/8/2024; Ngày phản biện xong: 12/9/2024; Ngày đăng bài: 25/2/2025

Tóm tắt: Hiện nay có nhiều nghiên cứu xây dựng hệ thống cảnh báo sớm thiên tai đã được thực hiện trên thế giới cũng như ở Việt Nam. Thành phố Nam Định là một trong những khu vực xảy ra ngập lụt nặng nề và thường xuyên. Khi mưa lớn kéo dài khoảng 30 phút, nhiều tuyến đường đã bắt đầu ngập. Các tuyến đường như Hàng Thao, Ngô Quyền, Máy Tơ, Trần Phú, Trần Hưng Đạo... với lượng mưa trên 50mm thì đã ngập từ 30-40 cm có nơi 50-70 mm thời gian ngập từ 1-2 giờ. Do đó, rất cần có một bộ công cụ được xây dựng để cảnh báo sớm ngập lụt cho thành phố Nam Định. Nghiên cứu này đưa ra bộ công cụ cảnh báo ngập thành phố Nam Định do mưa lớn với lõi của hệ thống là mô hình MIKE Urban đã được hiệu chỉnh và kiểm định, biên mưa đầu vào là mưa dự báo ước lượng từ radar, vệ tinh. Ba trận mưa lớn vào các năm 2022, 2023, 2024 được dùng để đánh giá khả năng ứng dụng của bộ công cụ này và cho hiệu quả tốt, có thể đưa vào nghiệp vụ thực tế và nhân rộng cho các đô thị khác.

Từ khóa: Công cụ cảnh báo ngập lụt; Mô hình MIKE Urban; Thành phố Nam Định; Mưa tổ hợp; Mưa vệ tinh; Mưa radar.

1. Giới thiệu

Trên thế giới đã và đang có nhiều nghiên cứu ứng dụng công nghệ hiện đại trong ngập úng đô thị [1–6], đặc biệt có thể kể đến một vài nghiên cứu như [7] đã kết hợp các mô hình khí quyển có độ phân giải cao với mô hình thủy động lực để dự báo ngập lụt đô thị. Nhằm mục đích kéo dài thời gian dự báo để giải quyết vấn đề về độ phân giải thấp và thời gian thực hiện ngắn của phương pháp dự báo ngập úng đô thị truyền thống. Lượng mưa đo được trên mặt đất cần được thay thế bằng các sản phẩm mưa dự báo có độ phân giải cao từ mô hình khí quyển qui mô trung bình (dự báo thời tiết số, NWP) làm dữ liệu đầu vào của hệ thống dự báo ngập úng. Hệ thống đã được áp dụng cho khu vực Fengxi New Town (Trung Quốc). Kết quả cho thấy mô hình có thể dự báo chính xác các điểm ngập úng. Xu hướng diễn biến mô phỏng theo diện tích và độ sâu ngập cũng phù hợp với tình hình thực tế, từ đó cho thấy hệ thống có khả năng dự báo tốt quá trình ngập úng đô thị. Phạm vi lũ lụt được phát hiện từ xa thu được trong thời gian gần thực có thể được sử dụng để quản lý sự cố lũ lụt khẩn cấp và làm quan sát để đồng hóa vào các mô hình dự báo lũ lụt. Các cảm biến radar khẩu độ tổng hợp (SAR) có độ phân giải cao có khả năng phát hiện phạm vi lũ lụt ở các khu vực đô thị thông qua các đám mây vào cả ban ngày và ban đêm [8]. Quy trình dự báo và cảnh báo ngập lụt đô thị ở Hàn Quốc được xây dựng cho một lưu vực đô thị phức hợp trong đó đất liền và sông được kết nối hữu cơ [9], nghiên cứu dựa trên mô hình đô thị tích hợp mô hình lượng mưa - dòng chảy và phương pháp dựa trên dữ liệu của mô hình học sâu đã được sử dụng để dự đoán thiệt

hại do lũ lụt đô thị; dự báo lũ và cảnh báo dòng chảy trong đô thị, mô hình học sâu, vanilla ANN, dài hạn ngắn hạn Bộ nhớ (LSTM), Stack-LSTM và LSTM hai chiều đã được xây dựng. Các mô hình sử dụng dữ liệu chuỗi thời gian thủy văn 10 phút từ các trạm đo để cảnh báo nguy cơ ngập lụt dự kiến dựa trên mực nước dòng chảy trong đô thị. Nghiên cứu [10] dự báo lũ được thực hiện bằng cách sử dụng kết quả đầu ra từ tổ hợp WRF và Hệ thống dự báo toàn cầu (GFS); các mô hình WRF và PCSWMM được kết hợp một chiều với các dự báo lượng mưa từ lưới độ phân giải cao của mô hình khí quyển được đưa vào mô hình thủy văn để tạo dự báo lũ lụt tại các địa điểm được xác định trước trong thành phố.

Ngập úng đô thị đã và đang là vấn đề được quan tâm trong nhiều năm qua, một số đề tài dự án đã và đang thực hiện với mục đích cảnh báo sớm ngập úng đô thị giúp nhà quản lý chủ động đưa ra các kế hoạch ứng phó [11]. Nghiên cứu [12] đưa ra tiếp cận mô phỏng 2 chiều cho thành phố Hà Tĩnh để xác định những nguyên nhân gây ngập lụt cụ thể; sau khi hiệu chỉnh và kiểm định đã đưa ra được bộ thông số thủy văn, thủy lực 1 chiều, 2 chiều của mô hình và tài liệu địa hình đã xử lý phù hợp; nghiên cứu khẳng định một trong những nguyên nhân chính của ngập lụt là do hiện trạng thoát nước không đồng bộ giữa hệ thống cũ và hệ thống mới, hệ thống cũ có kích thước đường ống quá nhỏ, theo thời gian độ sâu chôn cống bị thay đổi nhiều nên không còn đủ khả năng tiêu thoát nước. Các nghiên cứu [13–15] ứng dụng mô hình MIKE FLOOD có sự kết hợp các mô đun MIKE 11, MIKE 21 và MIKE Urban, để thiết lập hệ thống thoát nước khu vực nội thành Hà Nội và xây dựng hệ thống dự báo ngập lụt đô thị cho khu vực Hà Nội sử dụng số liệu mưa lưới độ phân giải cao. Nghiên cứu [16] đã chỉ ra được tình trạng hệ thống mất cân bằng cục bộ là nguyên nhân gây úng ngập cho khu vực nội thành Hà Nội. Dự án [17] sử dụng gói phần mềm thương mại của DHI gồm các modul MIKE11; MIKE21; MIKE Flood và MIKE Urban. Ngoài ra còn sử dụng phần mềm Downscaling (*SDSM: Statistical Downscaling Model*) để nghiên cứu về biến đổi khí hậu. Việc thiết lập mô phỏng MIKE Urban đưa ra kết quả xây dựng bản đồ ngập lụt, do đó có thể nói MIKE Urban là mô hình chính của Dự án. Tiến hành sử dụng MIKE Urban để mô phỏng tính toán quá trình mưa - dòng chảy trong hệ thống cống và hồ ga thu nước, sau đó kết nối kết quả thu được với lưới cấu trúc tạo trên nền DEM để xây dựng bản đồ cảnh báo úng ngập cho khu vực nghiên cứu. Nghiên cứu [18] đã nghiên cứu ứng dụng các mô hình MIKE FLOOD, MIKE Urban, MIKE 21 để đánh giá tác động của biến đổi khí hậu (BĐKH) đến tình trạng ngập lụt ở thành phố Nam Định theo 2 kịch bản RCP4.5 và RCP8.5. Nghiên cứu cho thấy BĐKH có tác động mạnh đến ngập lụt ở thành phố Nam Định, diện tích ngập, độ sâu ngập có nguy cơ tăng mạnh, đặc biệt là trong thời kỳ cuối của thế kỷ 21.

Qua các nghiên cứu về ngập lụt đô thị trong và ngoài nước, nhận thấy rằng vấn đề ngập lụt đô thị đã được nghiên cứu nhiều và chi tiết. Các nghiên cứu đã sử dụng các mô hình thủy văn, thủy lực khác nhau, các dữ liệu khí tượng thủy văn (KTTV), địa hình, để phân tích nguyên nhân hình thành, đặc điểm, đặc trưng ngập lụt các đô thị; đã sử dụng các nguồn mưa dự báo từ các mô hình khác nhau để mô phỏng tính toán, xây dựng bản đồ nguy cơ ngập lụt với nhiều phương án khác nhau, có tính đến sự ảnh hưởng của BĐKH theo các kịch bản đã được công bố. Tuy nhiên hiện nay chưa có công cụ mô phỏng ngập lụt do mưa lớn cho thành phố Nam Định và hệ thống cảnh báo ngập úng do mưa lớn cho thành phố Nam Định. Nghiên cứu này đã sử dụng mô hình MIKE Urban để mô phỏng ngập lụt do mưa lớn và từ đó xây dựng được bộ công cụ cảnh báo sớm ngập lụt trước 6 giờ cho thành phố Nam Định với đầu vào là lượng mưa ước lượng từ vệ tinh, radar đầu ra là bản đồ cảnh báo ngập, dự báo ngập lụt tại các địa điểm được xác định trước trong thành phố và sau đó đánh giá hiệu quả của việc ứng dụng bộ công cụ trong một vài trận mưa thực tế.

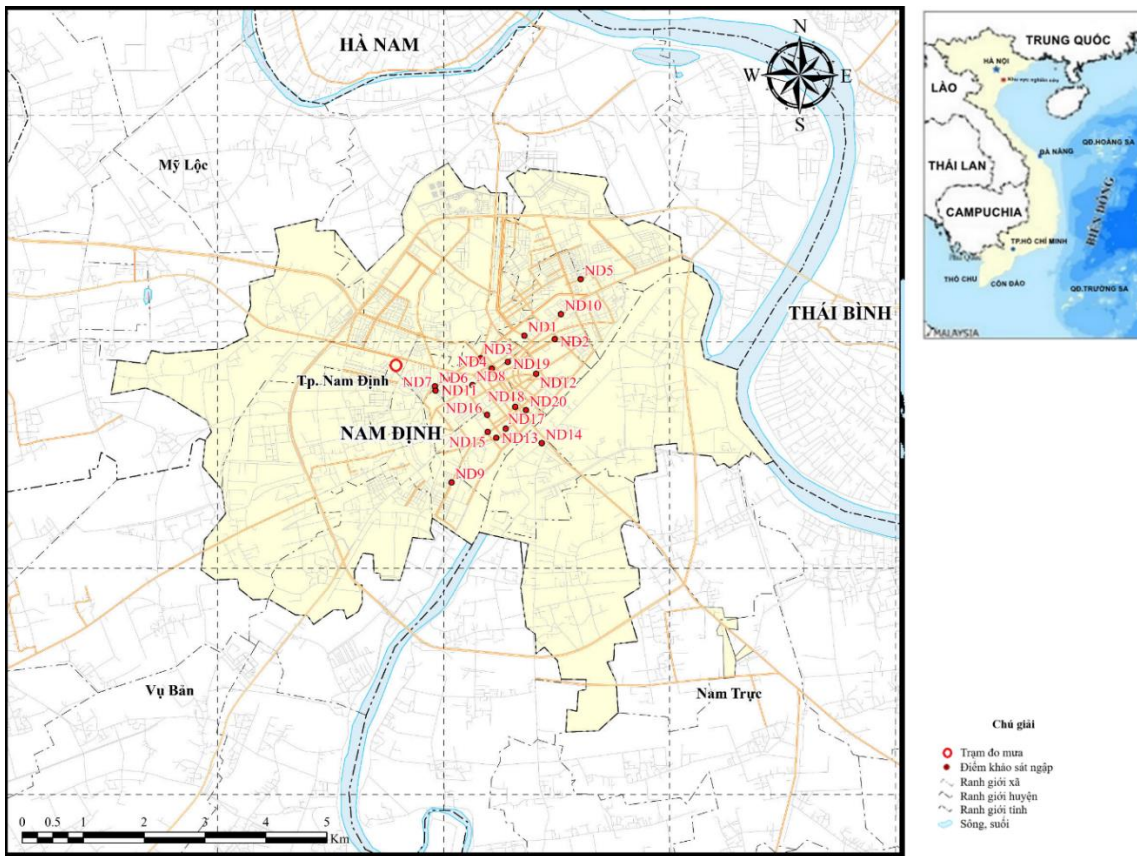
2. Số liệu sử dụng và phương pháp nghiên cứu

2.1. Khu vực nghiên cứu

Thành phố Nam Định ở vị trí 106°12' Đông, 20°24' Bắc, cách Hà Nội, Hải Phòng từ 80-90 km, cách Ninh Bình 28 km và cách biển khoảng 45 km. Nam Định là một thành phố nằm

ở phía Bắc của tỉnh Nam Định và nằm ở trung tâm đồng bằng Bắc Bộ có mạng lưới giao thông quốc gia: đường bộ, đường sắt, đường thủy thuận tiện. Phía Bắc và Đông Bắc tiếp giáp Thái Bình. Phía Tây Bắc và Tây Nam giáp các giáp huyện Mỹ Lộc, Vụ Bản. Phía Đông Nam giáp huyện Nam Trực [19].

Cũng như nhiều thành phố khác ở Việt Nam, thành phố Nam Định có hệ thống thoát nước chung. Nước mưa và nước thải tại trung tâm thành phố tập trung vào các cống ngầm rồi đổ vào hệ thống kênh thoát nước chung của khu vực. Ngoại thành thành phố chủ yếu thoát nước tự nhiên chảy theo địa hình rồi tập trung nước vào hệ thống kênh rạch hoặc qua hệ thống cống, trạm bơm cưỡng bức ra kênh tự nhiên và sông Hồng. Hệ thống thoát nước trung tâm thành phố Nam Định có cấu trúc hỗn hợp gồm 48,5 km cống bê tông cốt thép có kích thước từ 300÷2000 m; 22 km mương hở (mương đào và mương đất) và 60 ha hồ, ao là các hồ: Truyền Thống, Vỹ Hoàng, Vỹ Xuyên, Năng Tĩnh, Sơn Nam, Bảo Bồi, An Trạch, Lộc Vương, đầm Đò, Hang Nàn. Hệ thống thoát nước trung tâm thành phố Nam Định được chia thành ba lưu vực thoát nước chính: Đông Bắc, Tây Nam và Tây Bắc. Mặc dù mạng lưới thoát nước hiện tại của thành phố về cơ bản hoàn chỉnh, nhưng vẫn chưa đáp ứng được yêu cầu tách nước mưa và nước thải. Khi có mưa lớn, nước mưa không thoát được do kích thước cống không đủ tiêu chuẩn nên sẽ xuất hiện các khu vực bị ngập. Thống kê cho thấy, thời gian gần đây, mức độ ngập lụt đô thị đã tăng lên (năm 2015 có 8 điểm ngập, năm 2023 có hơn 20 điểm ngập (thời gian ngập 20-25 giờ, độ sâu ngập khoảng 30-100 cm) (Hình 1).



Hình 1. Vị trí khu vực nghiên cứu.

2.2. Thu thập số liệu

a) Số liệu mưa

Dữ liệu từ trạm đo mưa tự động Nam Định, mưa thực đo thủ công (nguồn Đài KTTV khu vực Đồng bằng và Trung du Bắc Bộ) để hiệu chỉnh, kiểm định mô hình, đánh giá mưa dự báo và tái phân tích các trận mưa ngập đã qua. Mưa ước lượng từ vệ tinh, mưa ước lượng từ radar (nguồn Trung tâm Dự báo KTTV Quốc gia) làm biên đầu vào cho hệ thống khi thực hiện cảnh báo ngập cho khu vực nghiên cứu.

b) Dữ liệu hệ thống hồ ga, cống rãnh và trạm bơm tại khu vực nghiên cứu
 Hệ thống cống rãnh và hồ ga, trạm bơm của thành phố Nam Định được thu thập từ sơ đồ hiện trạng hệ thống thoát nước thải và nước mưa của thành phố Nam Định trong quy hoạch thành phố Nam Định đến năm 2030, tầm nhìn đến năm 2050.

c) Tài liệu địa hình
 - Sử dụng lớp DEM 10m×10m của thành phố Nam Định được thu thập từ Cục Đo đạc và Bản đồ Việt Nam, kết hợp với lớp DEM của đường phố, nhà cửa, các công trình kiến trúc sông, hồ, ao... từ hình ảnh thực tế trên Google Earth sau đó số hóa bằng phần mềm ArcGIS.

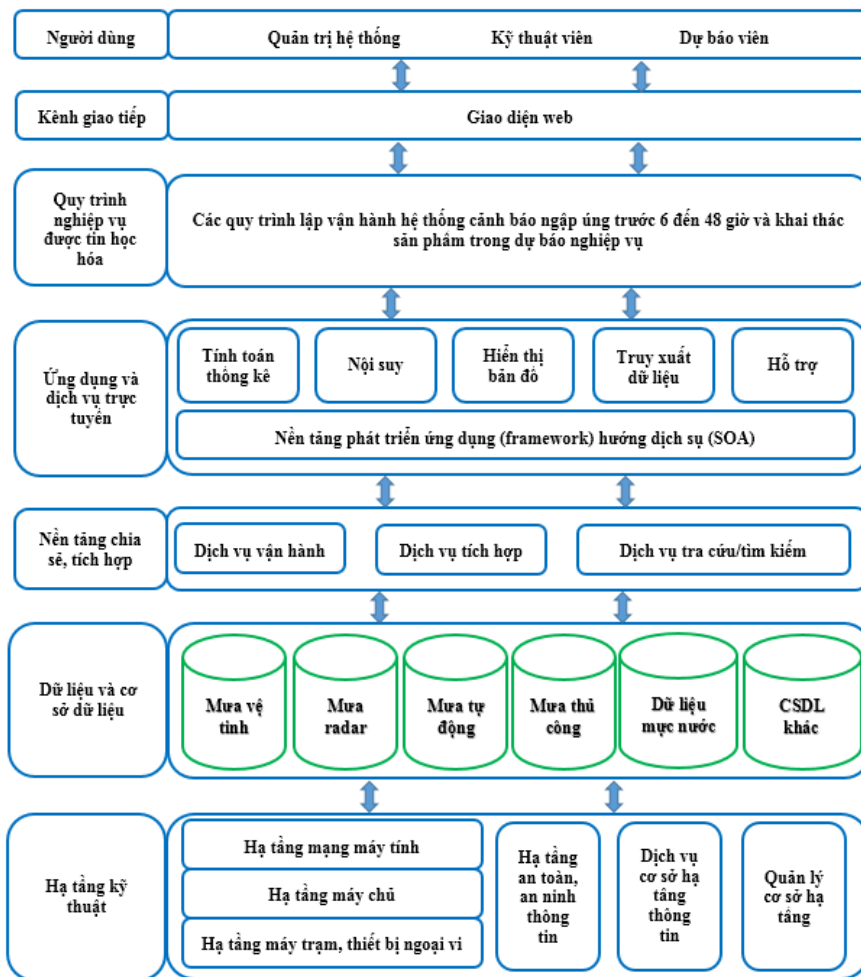
- Dữ liệu mặt cắt ngang của các sông chính trong khu vực nghiên cứu được thu thập từ các dự án đã thực hiện tại thành phố Nam Định.

d) Vị trí khảo sát ngập
 Khảo sát ngập tại các vị trí ngập trong thực tế đã xảy ra với các trận mưa lớn (trận 1: ngày 14-15/10/2020 và trận 2: Ngày 8-9/9/2021) để hiệu chỉnh và kiểm định mô hình MIKE Urban; các trận mưa ngày 8-9/9/2022; ngày 28/9/2023 và ngày 9/6/2024 chạy thử nghiệm bộ công cụ cảnh báo ngập cho thành phố Nam Định và đánh giá hiệu quả cảnh báo ngập của bộ công cụ này.

2.3. Phương pháp sử dụng

- Mô hình MIKE Urban mô phỏng ngập lụt từ dữ liệu mưa thu thập tại các trạm đo mưa tự động, đo mưa thủ công, mưa dự báo ước lượng từ radar, vệ tinh

- Xây dựng bộ công cụ cảnh báo ngập cho Thành phố Nam Định bằng ngôn ngữ lập trình Python và Dart với các chức năng chính được thể hiện trong hình 2.



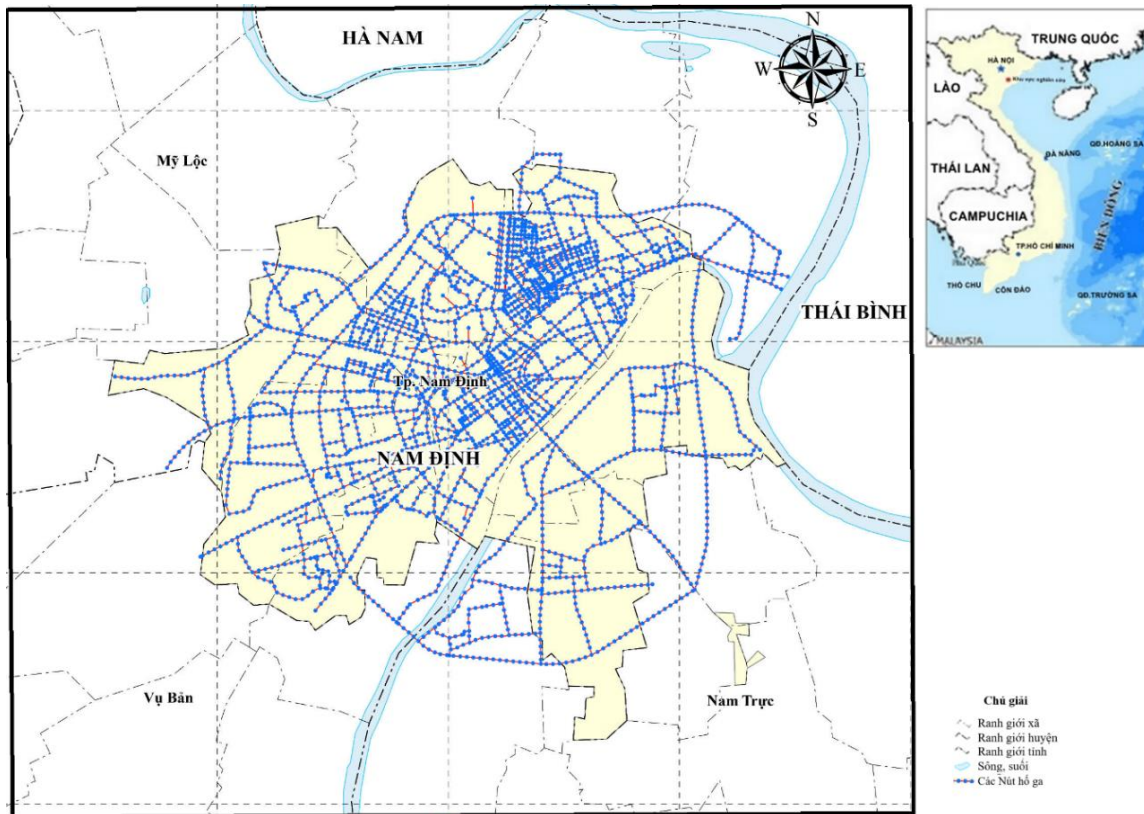
Hình 2. Mô hình kiến trúc phần mềm của bộ công cụ cảnh báo ngập lụt do mưa lớn trước 6 giờ cho thành phố Nam Định.

Bộ công cụ cảnh báo ngập lụt có lõi là mô hình MIKE Urban với mưa tổ hợp dự báo ước lượng từ vệ tinh, ước lượng từ radar làm biên đầu vào. Bộ công cụ mô phỏng quá trình mưa - dòng chảy trong hệ thống cống và hồ ga thu nước, sau đó kết nối kết quả thu được với lưới cấu trúc tạo trên nền DEM để xây dựng bản đồ cảnh báo ứng ngập cho khu vực nghiên cứu và tạo dự báo ngập lụt tại các địa điểm được xác định trước trong thành phố.

3. Kết quả và thảo luận

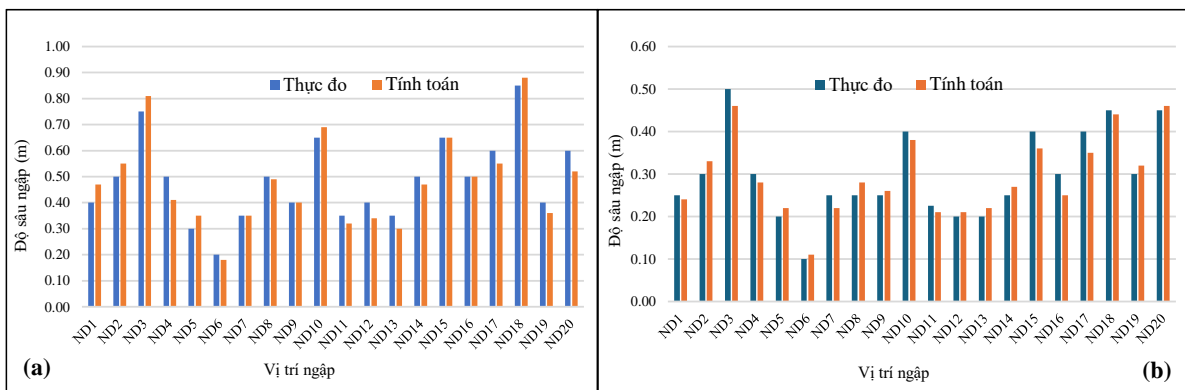
3.1. Kết quả mô phỏng mô hình Mike Urban

Mô hình MIKE Urban được thiết lập cho Thành phố Nam Định, mô hình được thiết lập mô phỏng như hình 3 và các vị trí khảo sát ngập lụt thể hiện trong Hình 1.



Hình 3. Mạng mô phỏng hệ thống thoát nước thành phố Nam Định trong MIKE Urban.

Với hệ thống đã thiết lập bên trên kết hợp tài liệu điều tra vết ngập thực tế với biên đầu vào là dữ liệu mưa giờ tại trạm đo mưa tự động, đo mưa thủ công Nam Định đo ngày 14-15/10/2020 để hiệu chỉnh mô hình và đo ngày 8-9/9/2021 để kiểm định mô hình. Kết quả hiệu chỉnh, kiểm định độ sâu ngập lụt được thể hiện như các bảng 1,2 và hình 4a, b.



Hình 4. Kết quả độ sâu ngập lụt: (a) Hiệu chỉnh, (b) Kiểm định.

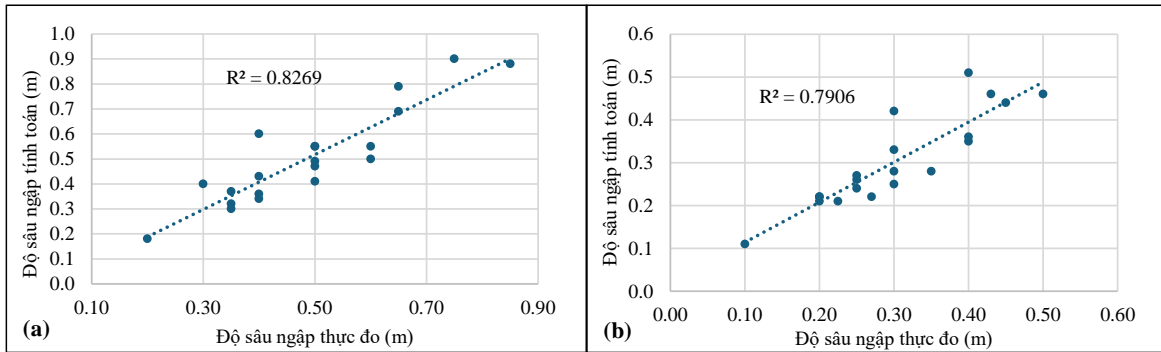
Bảng 1. Sai số hiệu chỉnh mô hình MIKE Urban.

Vị trí ngập	Địa điểm khảo sát	Thực đo	Tính toán	$\Delta H(m)$
ND1	Đường Vị Hoàng	0,40	0,60	0,20
ND2	Đường Nguyễn Du	0,50	0,55	0,05
ND3	Đường Trần Hưng Đạo	0,75	0,90	0,15
ND4	Đường Lý Thường Kiệt	0,50	0,41	-0,09
ND5	Đường Lương Văn Can	0,30	0,40	0,10
ND6	Đường Lương Thế Vinh	0,20	0,18	-0,02
ND7	Đường Đoàn Trần Nghiệp	0,35	0,37	0,02
ND8	Đường Trần Đăng Ninh	0,50	0,49	-0,01
ND9	Đường Trần Bình Sơn	0,40	0,43	0,03
ND10	Đường Hàn Thuyên	0,65	0,79	0,14
ND11	Đường Lê Hồng Sơn	0,35	0,32	-0,03
ND12	Đường Lê Hồng Phong	0,40	0,34	-0,06
ND13	Đường Trần Quang Khải	0,35	0,30	-0,05
ND14	Đường Cầu Đò Quan	0,50	0,47	-0,03
ND15	Đường Hàng Thao	0,65	0,69	0,04
ND16	Đường Tô Hiệu	0,50	0,55	0,05
ND17	Đường Ngô Quyền	0,60	0,55	-0,05
ND18	Đường Máy Tơ	0,85	0,88	0,03
ND19	Đường Hàng Tiện	0,40	0,36	-0,04
ND20	Đường Hàng Cau	0,60	0,50	-0,10

Bảng 2. Sai số kiểm định mô hình MIKE Urban.

Vị trí ngập	Địa điểm khảo sát	Thực đo	Tính toán	$\Delta H(m)$
ND1	Đường Vị Hoàng	0,25	0,24	-0,01
ND2	Đường Nguyễn Du	0,30	0,33	0,03
ND3	Đường Trần Hưng Đạo	0,50	0,46	-0,04
ND4	Đường Lý Thường Kiệt	0,30	0,28	-0,02
ND5	Đường Lương Văn Can	0,20	0,22	0,02
ND6	Đường Lương Thế Vinh	0,10	0,11	0,01
ND7	Đường Đoàn Trần Nghiệp	0,27	0,22	-0,05
ND8	Đường Trần Đăng Ninh	0,35	0,28	-0,07
ND9	Đường Trần Bình Sơn	0,25	0,26	0,01
ND10	Đường Hàn Thuyên	0,40	0,51	0,11
ND11	Đường Lê Hồng Sơn	0,23	0,21	-0,02
ND12	Đường Lê Hồng Phong	0,20	0,21	0,01
ND13	Đường Trần Quang Khải	0,20	0,22	0,02
ND14	Đường Cầu Đò Quan	0,25	0,27	0,02
ND15	Đường Hàng Thao	0,40	0,36	-0,04
ND16	Đường Tô Hiệu	0,30	0,25	-0,05
ND17	Đường Ngô Quyền	0,40	0,35	-0,05
ND18	Đường Máy Tơ	0,45	0,44	-0,01
ND19	Đường Hàng Tiện	0,30	0,42	0,12
ND20	Đường Hàng Cau	0,43	0,46	0,03

Kết quả hiệu chỉnh và kiểm định của mô hình cho thấy mô hình đã mô phỏng tương đối tốt độ sâu ngập tại một số vị trí kiểm tra với sai số độ sâu ngập trung bình là 0,01-0,20m, tương quan giữa độ sâu ngập thực đo và tính toán khoảng 0,8 (Hình 5). Do đó, mô hình MIKE Urban với bộ thông số tìm được sẽ được sử dụng để thiết lập bộ công cụ cảnh báo ngập cho thành phố Nam Định.

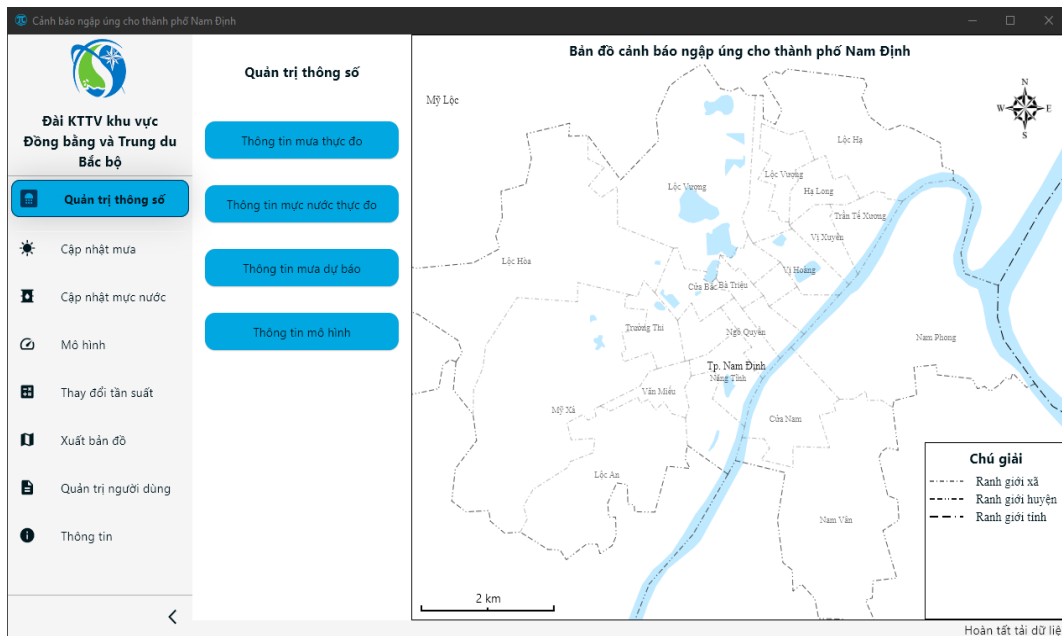


Hình 5. Tương quan giữa độ sâu ngập thực đo và tính toán: (a) Hiệu chỉnh, (b) Kiểm định.

3.2. Kết quả xây dựng bộ công cụ cảnh báo ngập cho thành phố Nam Định

3.2.1. Bộ công cụ cảnh báo ngập cho thành phố Nam Định

Bộ công cụ cảnh báo ngập lụt được xây dựng với lõi của bộ công cụ là mô hình MIKE Urban mô phỏng ngập lụt cho thành phố Nam Định đã được hiệu chỉnh - kiểm định để tìm ra bộ thông số phù hợp. Hình 6 là giao diện chính của bộ công cụ.



Hình 6. Giao diện bộ công cụ cảnh báo ngập lụt thành phố Nam Định do mưa lớn.

3.2.2. Thử nghiệm bộ công cụ với một số trận mưa ngập

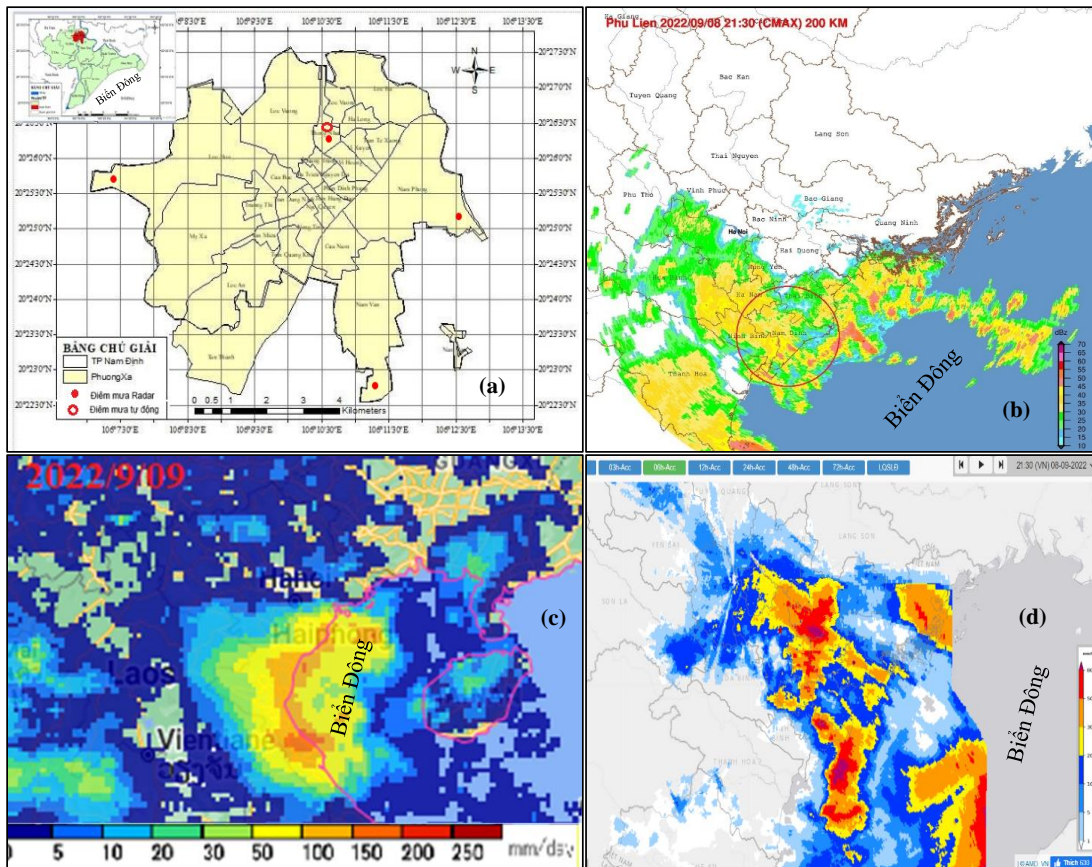
Trong khuôn khổ nghiên cứu này, trước hết sử dụng mưa tổ hợp dự báo thời hạn 06h ước lượng từ radar và ước lượng từ vệ tinh [23] để đánh giá hiệu quả của bộ công cụ, trong tương lai sẽ thêm modul sử dụng mưa dự báo thời hạn từ 06h-48h từ các mô hình dự báo số khí tượng để tăng thời hạn cảnh báo sớm ngập lụt cho thành phố Nam Định.

a) Số liệu mưa dự báo trận mưa 8-9/9/2022 với hạn dự báo 06h

Bảng 3. Mưa tổ hợp ước lượng từ vệ tinh và radar và mưa thực đo từ trạm đo mưa tự động Nam Định (Đơn vị: mm).

Thời gian	Tp. Nam Định 20.43'-106.15'	Phía tây Tp. Nam Định 20.33'-106.07'	Phía đông Tp. Nam Định 20.43'-106.23'	Phía nam Tp. Nam Định 20.31'-106.18'	Mưa tự động tại Nam Định
8/9/2022	1,9	2,4	1,0	2,9	2,2
8/9/2022	0,9	1,0	0,3	2,1	10,0
8/9/2022	0,9	2,6	0,0	3,2	6,6
8/9/2022	1,6	2,9	1,5	4,4	6,1

Thời gian	Tp. Nam Định 20.43'-106.15'	Phía tây Tp. Nam Định 20.33'-106.07'	Phía đông Tp. Nam Định 20.43'-106.23'	Phía nam Tp. Nam Định 20.31'-106.18'	Mưa tự động tại Nam Định
8/9/2022	8,9	7,2	8,1	8,1	19,9
9/9/2022	12,0	9,7	10,8	10,4	17,7
9/9/2022	31,3	49,5	10,9	11,4	56,8
9/9/2022	21,6	20,6	10,9	12,8	56,6
9/9/2022	8,7	8,1	8,2	10,9	11,9
9/9/2022	4,7	5,2	4,1	7,3	8,8
9/9/2022	4,2	3,4	5,6	5,2	1,9
9/9/2022	5,5	3,1	5,3	3,2	0,8
9/9/2022	6,2	4,9	6,7	4,6	1,5
9/9/2022	6,3	7,1	6,6	5,9	3,9
9/9/2022	9,9	11,7	5,5	7,6	5,9
9/9/2022	4,4	6,9	1,7	5,0	7,5
9/9/2022	6,9	6,4	4,2	12,1	4,6
9/9/2022	4,8	5,9	3,5	8,9	2,0
Tổng	140,7	158,6	94,9	126,0	224,7



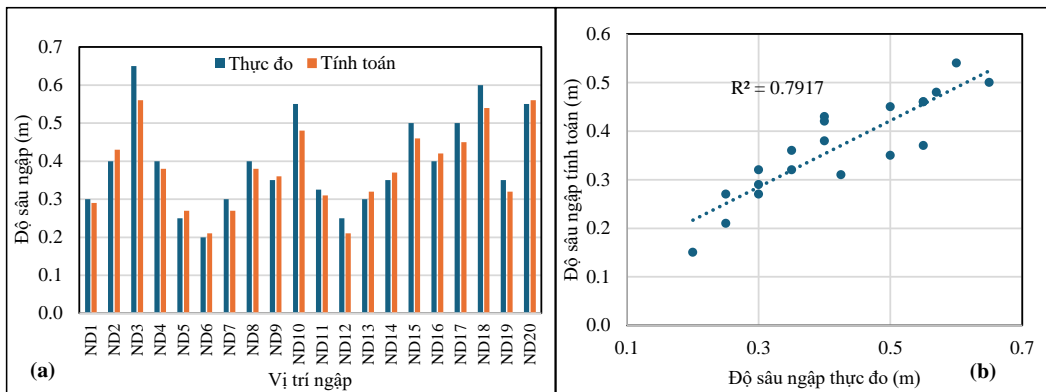
Hình 7. (a) Các điểm trích xuất mưa ước lượng, (b) Ảnh radar tại trạm Radar Phù Liên lúc 21h30 ngày 08/9/2022; (c) Ảnh vệ tinh lúc 21h30 ngày 08/9/2022, (d) Ảnh mưa dự báo lúc 21h30 ngày 08/9/2022 [25].

Kết quả bộ công cụ được so sánh với các vị trí ngập xảy ra trong khu vực nghiên cứu và được thể hiện trong hình 8 và bảng 4.

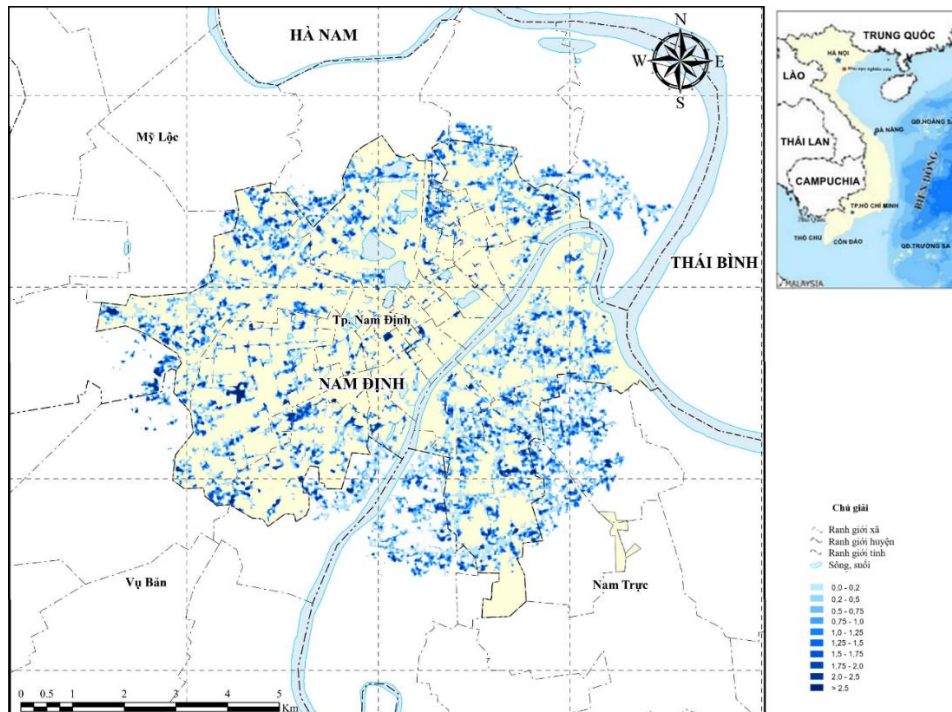
Bảng 4. Sai số kết quả bộ công cụ cảnh báo ngập lụt.

Vị trí ngập	Địa điểm khảo sát	Thực đo	Tính toán	$\Delta H(m)$
ND1	Đường Vị Hoàng	0,30	0,29	-0,01
ND2	Đường Nguyễn Du	0,40	0,43	0,03
ND3	Đường Trần Hưng Đạo	0,65	0,50	-0,15
ND4	Đường Lý Thường Kiệt	0,50	0,35	-0,15
ND5	Đường Lương Văn Can	0,25	0,27	0,02
ND6	Đường Lương Thế Vinh	0,20	0,15	-0,05
ND7	Đường Đoàn Trần Nghiệp	0,30	0,27	-0,03

Vị trí ngập	Địa điểm khảo sát	Thực đo	Tính toán	$\Delta H(m)$
ND8	Đường Trần Đăng Ninh	0,40	0,38	-0,02
ND9	Đường Trần Bình Sơn	0,35	0,36	0,01
ND10	Đường Hàn Thuyên	0,57	0,48	-0,09
ND11	Đường Lê Hồng Sơn	0,43	0,31	-0,115
ND12	Đường Lê Hồng Phong	0,25	0,21	-0,04
ND13	Đường Trần Quang Khải	0,30	0,32	0,02
ND14	Đường Cầu Đò Quan	0,55	0,37	-0,18
ND15	Đường Hàng Thao	0,55	0,46	-0,09
ND16	Đường Tô Hiệu	0,40	0,42	0,02
ND17	Đường Ngô Quyền	0,50	0,45	-0,05
ND18	Đường Máy Tơ	0,60	0,54	-0,06
ND19	Đường Hàng Tiện	0,35	0,32	-0,03
ND20	Đường Hàng Cau	0,55	0,46	-0,09



Hình 8. (a) So sánh kết quả cảnh báo ngập từ bộ công cụ với số liệu thực đo, (b) Tương quan giữa ngập thực đo và dự báo trong trận mưa ngày 8-9/9/2022.



Hình 9. Bản đồ cảnh báo ngập lớn nhất thành phố Nam Định với số liệu mưa dự báo ngày 8-9/8/2022.

Có thể nhận thấy bộ công cụ cảnh báo ngập lụt thành phố Nam Định đã đưa ra kết quả tương đối chính xác; các vị trí ngập xảy ra trong thực tế đã mô phỏng được và sai số giữa độ sâu ngập lụt dự báo từ bộ công cụ với độ sâu ngập lụt xảy ra trong thực tế là tương đối thấp (0,03-0,18 m). Theo bảng 3 mưa tổ hợp ước lượng từ vệ tinh và radar thiên thấp hơn so với mưa thực đo tại trạm Nam Định và trong hình 8, bảng 4 cũng cho thấy độ sâu ngập tính toán

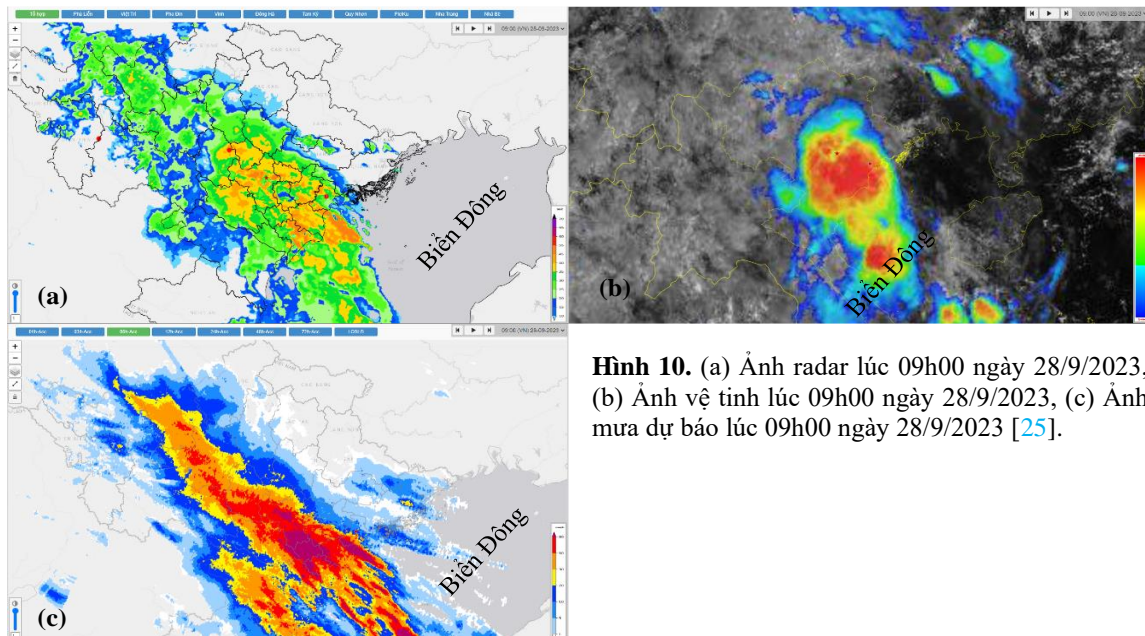
thiên thấp hơn so với độ sâu ngập khảo sát được. Kết quả cuối cùng bộ công cụ đưa ra bản đồ cảnh báo ngập lụt thành phố Nam Định như hình 9. Có thể nhận thấy bộ công cụ cảnh báo ngập lụt thành phố Nam Định đã đưa ra bản đồ thể hiện được toàn bộ các vị trí ngập và độ sâu ngập tương đối chính xác so với thực tế.

b) Số liệu mưa dự báo trận mưa ngày 28/9/2023 với thời hạn dự báo 06h

Tổng lượng mưa từ 01h00 đến 13h00 ngày 28/9/2023 là 168,0 mm. Trong trận mưa này nhiều tuyến đường của thành phố Nam Định ngập nặng như các tuyến đường: Hàn Thuyên, Hùng Vương, Trần Hưng Đạo... ngập sâu 50-70 cm [24]. Trong trận mưa này lượng mưa tổ hợp ước lượng từ radar và ước lượng vệ tinh đều thấp hơn lượng mưa thực đo tại trạm đo mưa tự động (Bảng 5).

Bảng 5. Mưa tổ hợp ước lượng từ vệ tinh, radar và mưa thực đo từ trạm đo mưa tự động Nam Định (Đơn vị: mm).

Thời gian	TP.Nam Định 20.43'-106.15'	Phía tây TP.Nam Định 20.33'-106.07'	Phía đông TP.Nam Định 20.43'-106.23'	Phía nam TP.Nam Định 20.31'-106.18'	Mưa tự động tại Nam Định
01:00 28/09	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0
02:00 28/09	0,2	0,6	0,4	0,0	0,2
03:00 28/09	6,4	3,2	5,8	0,0	4,8
04:00 28/09	5,6	0,2	0,0	0,0	1,2
05:00 28/09	0,0	0,0	0,4	4,2	13,2
06:00 28/09	6,0	45,8	31,0	44,2	65,8
07:00 28/09	36,0	37,4	16,0	15,2	12,6
08:00 28/09	9,4	11,4	7,2	2,4	23,0
09:00 28/09	7,2	8,6	14,6	4,2	13,8
10:00 28/09	23,2	7,4	1,8	2,8	26,6
11:00 28/09	33,2	2,8	4,8	2,4	3,4
12:00 28/09	2,2	2,6	3,6	1,6	2,4
13:00 28/09	0,4	1,0	0,2	0,2	1,0
Tổng lượng	130,0	121,0	85,8	77,2	168,0



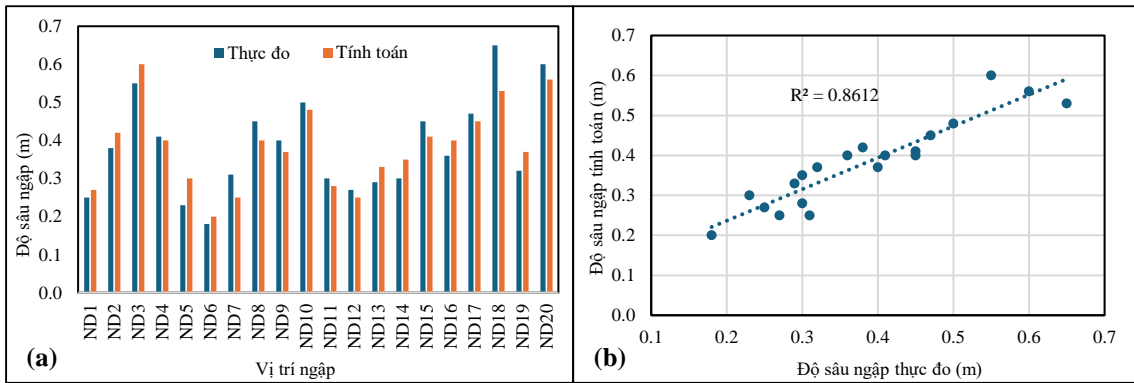
Hình 10. (a) Ảnh radar lúc 09h00 ngày 28/9/2023, (b) Ảnh vệ tinh lúc 09h00 ngày 28/9/2023, (c) Ảnh mưa dự báo lúc 09h00 ngày 28/9/2023 [25].

Bảng 6. Sai số kết quả bộ công cụ cảnh báo ngập lụt.

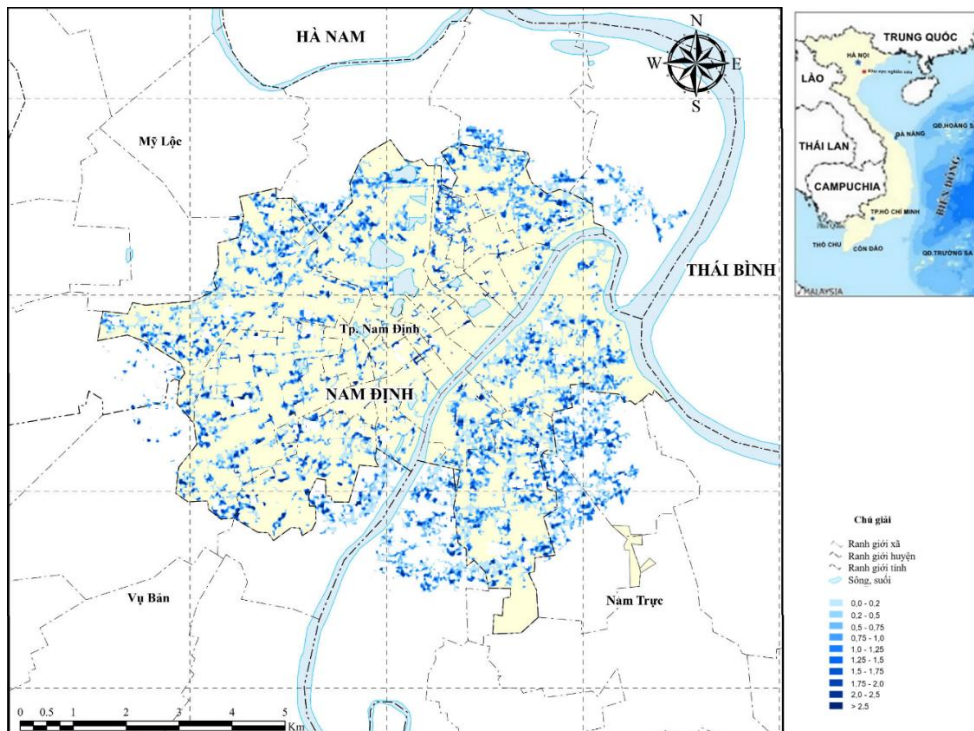
Vị trí ngập	Địa điểm khảo sát	Thực đo	Tính toán	$\Delta H(m)$
ND1	Đường Vị Hoàng	0,25	0,27	0,02
ND2	Đường Nguyễn Du	0,38	0,42	0,04
ND3	Đường Trần Hưng Đạo	0,55	0,60	0,05
ND4	Đường Lý Thường Kiệt	0,41	0,40	-0,01

Vị trí ngập	Địa điểm khảo sát	Thực đo	Tính toán	$\Delta H(m)$
ND5	Đường Lương Văn Can	0,23	0,30	0,07
ND6	Đường Lương Thế Vinh	0,18	0,20	0,02
ND7	Đường Đoàn Trần Nghiệp	0,31	0,25	-0,06
ND8	Đường Trần Đăng Ninh	0,45	0,40	-0,05
ND9	Đường Trần Bình Sơn	0,40	0,37	-0,03
ND10	Đường Hàn Thuyên	0,50	0,48	-0,02
ND11	Đường Lê Hồng Sơn	0,30	0,28	-0,02
ND12	Đường Lê Hồng Phong	0,27	0,25	-0,02
ND13	Đường Trần Quang Khải	0,29	0,33	0,04
ND14	Đường Cầu Đò Quan	0,30	0,35	0,05
ND15	Đường Hàng Thao	0,45	0,41	-0,04
ND16	Đường Tô Hiệu	0,36	0,40	0,04
ND17	Đường Ngô Quyền	0,47	0,45	-0,02
ND18	Đường Máy Tơ	0,65	0,53	-0,12
ND19	Đường Hàng Tiện	0,32	0,37	0,05
ND20	Đường Hàng Cau	0,60	0,56	-0,04

Kết quả bộ công cụ được so sánh với các vị trí ngập xảy ra trong khu vực nghiên cứu và được thể hiện trong hình 11 và bảng 6.



Hình 11. (a) So sánh kết quả cảnh báo ngập từ bộ công cụ với số liệu thực đo, (b) Tương quan giữa ngập thực đo và dự báo trong trận mưa ngày 28/9/2023.



Hình 12. Bản đồ cảnh báo ngập lớn nhất thành phố Nam Định với số liệu mưa dự báo ngày 28/9/2023.

Các vị trí ngập xảy ra trong thực tế đã mô phỏng được và sai số giữa độ sâu ngập lụt dự báo từ bộ công cụ với độ sâu ngập lụt xảy ra trong thực tế từ 0,01-0,12 m. Kết quả cuối cùng bộ công cụ đưa ra bản đồ cảnh báo ngập lụt thành phố Nam Định như hình 12.

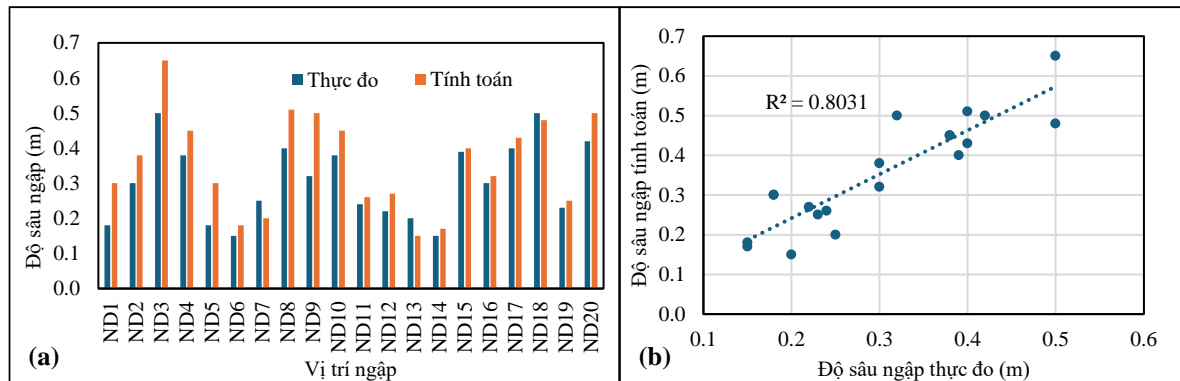
c) Số liệu mưa dự báo trận mưa 9/6/2024 với thời hạn dự báo 06h

Tổng lượng mưa từ 00h00 đến 09h00 ngày 9/6 tại Nam Định là 120,0 mm, mưa tổ hợp ước lượng từ Radar và ước lượng từ vệ tinh tại Tp.Nam Định là 170,0 mm cao hơn so với mưa thực đo (Bảng 7).

Bảng 7. Mưa tổ hợp ước lượng từ vệ tinh, radar và mưa thực đo từ trạm đo mưa tự động Nam Định (Đơn vị: mm).

Thời gian	Tp.Nam Định 20.43'-106.15'	Phía tây Tp.Nam Định 20.33'-106.07'	Phía đông Tp.Nam Định 20.43'-106.23'	Phía nam Tp.Nam Định 20.31'-106.'18	Mưa tự động tại Nam Định
9/6/2024 0:00	0,8	1,2	7,0	7,0	4,8
9/6/2024 1:00	2,2	18,8	31,0	6,2	3,8
9/6/2024 2:00	2,6	42,8	9,6	21,8	6,2
9/6/2024 3:00	5,4	15,8	27,8	10,2	8,8
9/6/2024 4:00	13,8	5,4	20,6	1,0	12,4
9/6/2024 5:00	42,4	2,8	9,2	17,8	41,6
9/6/2024 6:00	46,4	3,2	0,2	18,2	31,6
9/6/2024 7:00	23,0	7,2	8,2	9,2	5,2
9/6/2024 8:00	20,4	21,8	18,0	41,0	4,8
9/6/2024 9:00	16,6	14,0	7,6	18,0	0,8
Tổng lượng	173,6	133,0	139,2	150,4	120,0

Kết quả bộ công cụ được so sánh với các vị trí ngập xảy ra trong khu vực nghiên cứu được thể hiện trong hình 13 và bảng 8.



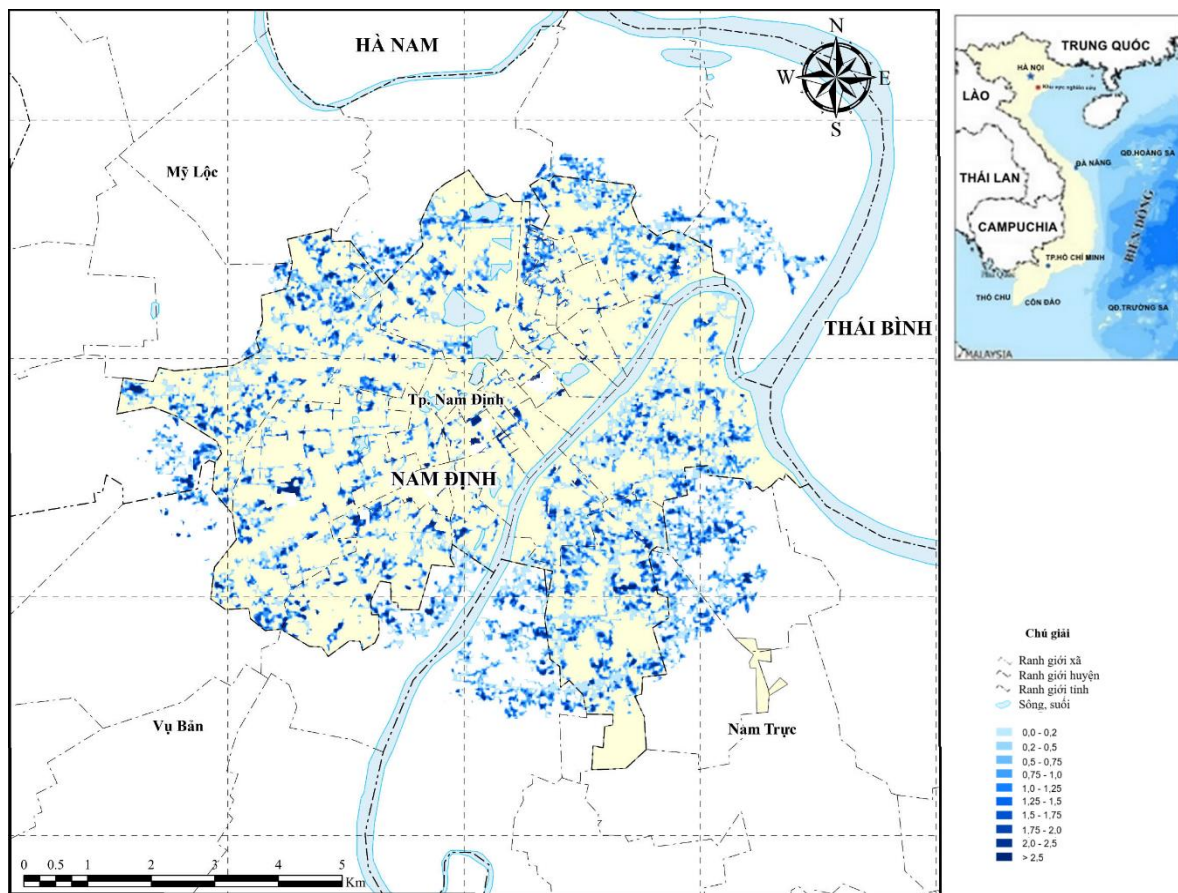
Hình 13. (a) So sánh kết quả cảnh báo ngập từ bộ công cụ với số liệu thực đo, (b) Tương quan giữa ngập thực đo và dự báo trận mưa ngày 9/6/2024.

Bảng 8. Sai số kết quả bộ công cụ cảnh báo ngập lụt.

Vị trí ngập	Địa điểm khảo sát	Thực đo	Tính toán	$\Delta H(m)$
ND1	Đường Vị Hoàng	0,18	0,30	0,12
ND2	Đường Nguyễn Du	0,30	0,38	0,08
ND3	Đường Trần Hưng Đạo	0,50	0,65	0,15
ND4	Đường Lý Thường Kiệt	0,38	0,45	0,07
ND5	Đường Lương Văn Can	0,18	0,30	0,12
ND6	Đường Lương Thế Vinh	0,15	0,18	0,03
ND7	Đường Đoàn Trần Nghiệp	0,25	0,20	-0,05
ND8	Đường Trần Đăng Ninh	0,40	0,51	0,11
ND9	Đường Trần Bình Sơn	0,32	0,50	0,18
ND10	Đường Hàn Thuyên	0,38	0,45	0,07
ND11	Đường Lê Hồng Sơn	0,24	0,26	0,02
ND12	Đường Lê Hồng Phong	0,22	0,27	0,05
ND13	Đường Trần Quang Khải	0,20	0,15	-0,05

Vị trí ngập	Địa điểm khảo sát	Thực đo	Tính toán	$\Delta H(m)$
ND14	Đường Cầu Đò Quan	0,15	0,17	0,02
ND15	Đường Hàng Thao	0,39	0,40	0,01
ND16	Đường Tô Hiệu	0,30	0,32	0,02
ND17	Đường Ngô Quyền	0,40	0,43	0,03
ND18	Đường Máy Tơ	0,50	0,48	-0,02
ND19	Đường Hàng Tiện	0,23	0,25	0,02
ND20	Đường Hàng Cau	0,42	0,50	0,08

Các vị trí ngập xảy ra trong thực tế đã mô phỏng được và sai số giữa độ sâu ngập lụt dự báo từ bộ công cụ với độ sâu ngập lụt xảy ra trong thực tế từ 0,01-0,18 m. Độ sâu ngập tính toán thiên cao hơn so với độ sâu ngập thực tế. Lượng mưa dự báo cũng thiên cao hơn so với lượng mưa thực tế đã xảy ra. Tổng lượng mưa dự báo cả trận tại Nam Định là 170 mm, tổng lượng mưa thực tế tại trạm đo mưa tự động là 120 mm. Kết quả cuối cùng bộ công cụ đưa ra bản đồ cảnh báo ngập lụt thành phố Nam Định như hình 14.



Hình 14. Bản đồ cảnh báo ngập thành phố Nam Định với số liệu mưa dự báo ngày 9/6/2024.

Thử nghiệm bộ công cụ cảnh báo ngập thành phố Nam Định với 3 trận mưa dự báo trên để đánh giá hiệu quả của việc ứng dụng bộ công cụ cảnh báo ngập lụt thành phố Nam Định do mưa lớn có thể nhận thấy bộ công cụ đã dự báo được diện tích ngập và độ sâu ngập phù hợp với tình hình thực tế. Sai số giữa độ sâu ngập dự báo và thực tế tương đối thấp (0,01-0,18 m), hệ số tương quan giữa mô phỏng và thực tế từ 0,7-0,8 cho thấy hệ thống có khả năng dự báo tốt quá trình ngập úng cho thành phố Nam Định. Chất lượng dự báo, cảnh báo của bộ công cụ cảnh báo ngập phụ thuộc rất nhiều vào ước lượng mưa từ radar, vệ tinh, dự báo mưa các mô hình dự báo số khí tượng. Như các trận mưa năm 2022 và 2023 dự báo mưa thiên thấp so với mưa thực đo dẫn đến độ sâu ngập dự báo thấp hơn độ sâu ngập thực tế. Trong trận mưa năm 2024 dự báo mưa thiên cao do đó độ sâu ngập dự báo cũng thiên cao so với thực tế.

4. Kết luận

Bài báo đã nghiên cứu ứng dụng mô hình MIKE Urban để mô phỏng ngập lụt thành phố Nam Định, từ đó xây dựng bộ công cụ cảnh báo ngập lụt khu vực nghiên cứu dựa trên số liệu mưa dự báo tại Nam Định. Kết quả hiệu chỉnh - kiểm định với hai trận mưa lớn xảy ra trong thành phố Nam Định đã tìm được bộ thông số phù hợp.

Mô hình này đã được sử dụng để xây dựng công cụ cảnh báo ngập lụt đô thị tại Đài Khí tượng Thủy văn khu vực Đồng bằng và Trung du Bắc Bộ. Kết quả nghiên cứu này sẽ được tích hợp vào hệ thống cảnh báo sớm cho Đài Khí tượng Thủy văn tỉnh Nam Định. Ngay sau khi có dữ liệu dự báo lượng mưa, bản đồ cảnh báo nguy cơ lũ lụt và dự báo ngập lụt tại các địa điểm được xác định trước trong thành phố sẽ được ban hành. Dựa trên kết quả này, người dự báo sẽ cung cấp bản tin cảnh báo cho các cơ quan và nhà quản lý có liên quan để đưa ra các biện pháp ứng phó phù hợp như: chỉ đạo giao thông tránh các đoạn đường có khả năng nguy hiểm có khả năng ngập lụt cao, kiểm tra tình trạng nắp hố ga thoát nước. Sau khi đánh giá hiệu quả của việc ứng dụng bộ công cụ cảnh báo ngập lụt thành phố Nam Định do mưa lớn, bộ công cụ sẽ được thêm các modul tích hợp với các mô hình dự báo số khí tượng để tăng thời hạn dự báo lên đến 48h. Ưu điểm của bộ công cụ này so với các bộ công cụ đã xây dựng cho các đô thị khác (như thành phố Hà Nội) đó là số liệu đầu vào được cập nhật tự động. Có nhiều nguồn lượng mưa đầu vào (mưa ước lượng từ radar, mưa ước lượng từ vệ tinh, mưa dự báo từ các mô hình NWP) giúp các dự báo viên có nhiều tham khảo khi đưa ra các dự báo và khi nguồn dữ liệu đầu vào này gặp sự cố có thể sử dụng được nguồn dữ liệu khác, phù hợp. Có thể mở rộng tích hợp thêm cảnh báo ngập cho các đô thị đã xây dựng mô hình mô phỏng ngập lụt như thành phố Thái Bình [26].

Nghiên cứu và phát triển các kịch bản dự báo ngập lụt đô thị có tính đến tác động của biến đổi khí hậu là một vấn đề khác cũng được nghiên cứu sâu hơn trong quy hoạch đô thị trong tương lai gần vì trong hệ thống mô hình MIKE Urban, có thể cập nhật thêm các công trình thoát nước theo quy hoạch phát triển và tính toán theo các kịch bản đầu vào của biến đổi khí hậu để đưa ra các kịch bản dự báo trong tương lai.

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

Lời cảm ơn: Bài báo hoàn thành nhờ vào kết quả của đề tài: “Nghiên cứu xây dựng hệ thống cảnh báo ngập úng do mưa lớn dựa trên cách tiếp cận dự báo tối hợp cho một số đô thị khu vực Đồng bằng Bắc Bộ”.

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. Rossman, L.A.; Huber, W.C. Storm water management model reference manual volume I, hydrology. U.S. EPA Office of Research and Development, Washington, DC, EPA/600/R-15/162A, 2015.
2. Rossman, L.A.; Dickinson, R.E.; Schade, T.; Chan, C.C.; Burgess, E.; Sullivan, D.; Lai, F.H. SWMM 5–The next generation of EPA’s storm water management model. *J. Water Manag. Model.* **2004**, *12*, 339–358.
3. Wu, W.L.; Lu, L.J.; Huang, X.F.; Shangguan, H.D.; Wei, Z.Q. An automatic calibration framework based on the InfoWorks ICM model: The effect of multiple objectives during multiple water pollutant modeling. *Environ. Sci. Pollut. Res.* **2021**, *28*, 31814–31830.
4. Benito, G.; Lang, M.; Barriendos, M.; Llasat, M.C.; Francés, F.; Ouarda, T.; Thorndycraft, V.; Enzel, Y.; Bardossy, A.; Coeur, D.; Bobée, B. Use of systematic,

- palaeoflood and historical data for the improvement of flood risk estimation. *Nat. Hazards* **2004**, *31*, 623–643.
5. Agarwal, S.; Kumar, S. Urban flood modeling using SWMM for historical and future extreme rainfall events under climate change scenario. *Indian J. Ecol.* **2020**, *47(11)*, 48–53.
 6. Henonin, J.; Russo, B.; Mark, O.; Gourbesville, P. Real-time urban flood forecasting and modelling – A state of the art. *J. Hydroinf.* **2013**, *15(3)*, 717–736.
 7. Chen, G.; Hou, J.; Zhou, N.; Yang, S. High-resolution urban flood forecasting by using a coupled atmospheric and hydrodynamic flood models. *Front. Earth Sci.* **2020**, *8*, 545612.
 8. Mason, D.C.; Bevington, J.; Dance, S.; Revilla-Romero, B.; Smith, R.; Vetra-Carvalho, S.; Cloke, H.L. Improving urban flood mapping by merging synthetic aperture radar-derived flood footprints with flood hazard maps. *Water* **2021**, *13(11)*, 1577. <https://doi.org/10.3390/w13111577>.
 9. Won, Y.M.; Lee, J.H.; Moon, H.T.; Moon, Y.I. Development and application of an urban flood forecasting and warning process to reduce urban flood damage: A case study of Dorim River Basin, Seoul. *Water* **2022**, *14*, 187. <https://doi.org/10.3390/w14020187>.
 10. Davis, S.; Pentakota, L.; Saptarishy, N.; Mujumdar, P. A flood forecasting framework coupling a high resolution WRF ensemble with an urban hydrologic model. *Front. Earth Sci.* **2022**, *10*, 883842. <https://doi.org/10.3389/feart.2022.883842>
 11. Trục tuyến: <http://iwrp.gov.vn/d1860/tinh-hinh-ngap-lut-cac-do-thi-vung-dong-bang-bac-bo--thuc-trang-va-giai-phap.html>.
 12. Hung, N.Q.; Liên, N.T. Ứng dụng mô hình Thủy văn đô thị 2D và thiết kế xanh cho hệ thống thoát nước thành phố Hà Tĩnh. *VNU J. Sci.: Earth Environ. Sci.* **2021**, *37(3)*, 50–62.
 13. Dũng, N.K.; Tuyết, Q.T.T. Ứng dụng MIKE FLOOD xây dựng bản đồ nguy cơ ngập lụt và hệ thống cảnh báo sớm ứng ngập cho lưu vực sông Kim Ngưu và tám quận nội thành Hà Nội. *Tap chí Khoa học ĐHQGHN: Các Khoa học Trái đất và Môi trường* **2016**, *32(3S)*, 34–42.
 14. Đại, N.V.; Nam, N.A.; Thịnh, Đ.Q.; Hiệp, N.V.; Tuấn, P.V. Xây dựng hệ thống dự báo ngập lụt đô thị cho khu vực Hà Nội sử dụng số liệu mưa lưới độ phân giải cao. *Tap chí Khoa học biến đổi khí hậu* **2019**, *12*, 32–41.
 15. Côn, P.M. Nghiên cứu cơ sở khoa học mô phỏng hệ thống cân bằng nước mặt trong ngập úng khu vực nội thành Hà Nội, Luận án tiến sĩ cấp Đại học Quốc Gia, 2015.
 16. Sở giao thông công chính. Báo cáo dự án thoát nước Thành phố Hà Nội (giai đoạn 1), UBND Tp. Hà Nội, 2015.
 17. Bộ Tài nguyên và Môi trường và Quỹ phát triển Bắc Âu (NDF). Xây dựng hệ thống cảnh báo ngập úng thời gian thực cho nội thành Hà Nội, 2015.
 18. Đại, N.V.; Tuyên, N.K.; Thịnh, Đ.Q.; Long, P.B. Đánh giá tác động của biến đổi khí hậu đến tình hình ngập lụt ở thành phố Nam Định. *Tap chí khoa học biến đổi khí hậu* **2018**, *5*, 51–58.
 19. Trục tuyến: <https://namdinh.gov.vn/portal/Pages/2020-11-3/Thanh-pho-Nam-Dinh-habi7pl.aspx>
 20. DHI. MIKE_FLOOD_UserManual. 2014.
 21. DHI. MIKE_FLOOD_Urban_Flood_Modelling_Step_by_Step. 2014.
 22. DHI. MFLOODToolbox. 2014.
 23. Tri, D.Q.; Thu, N.V.; Hoa, B.T.K.; Nguyen-Thi, H.A.; Hoa, V.V.; Hue, L.T.; Dat, D.T.; Pham, H.T.T. Application of Radar-Based Precipitation Data Improves the Effectiveness of Urban Inundation Forecasting. *Sustainability* **2024**, *16*, 3736. <https://doi.org/10.3390/su16093736>.

24. Trực tuyến: <https://baotintuc.vn/dia-phuong/mua-lon-keo-dai-nhieu-tuyen-pho-o-tp-nam-dinh-ngap-trong-bien-nuoc-20230928121050124.htm>.
25. Trực tuyến: <http://hymetnet.gov.vn/radar/>.
26. Huệ, L.T.; Đạt, Đ.T.; Thom, Đ.T.H.; Thúy, P.T.D.; Lan, N.T.; Hoa, Đ.T.N.; Huyền, V.T.T. Ứng dụng mưa dự báo từ mô hình WRF3KM-IFS-DA nâng cao hiệu quả dự báo cảnh báo ngập lụt đô thị. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* **2024**, 763, 48–65.

Evaluate the effectiveness of applying the flood warning toolkit in Nam Dinh city due to heavy rain

Le Thi Hue^{1*}, Dao Tien Dat¹, Dinh Thi Huong Thom¹, Pham Thi Dieu Thuy¹, Ngu Yen Thu Lan¹, Do Thi Ngoc Hoa¹, Vu Thi Thanh Huyen¹

¹ Northern Delta and Midland regional Hydrometeorological Center
minhhuekttv@gmail.com; daodat81@gmail.com; thomdth91@gmail.com; phamdieu-thuykttv@gmail.com; nguyelandbbb@gmail.com; ngochoaktv@gmail.com; vthu-yen1999@gmail.com

Abstract: Currently, many studies on building natural disaster early warning systems have been carried out in the world as well as in Vietnam. Nam Dinh city is one of the areas with heavy and frequent flooding. When heavy rain lasted about 30 minutes, many roads began to flood. Roads such as Hang Thao, Ngo Quyen, May To, Tran Phu, Tran Hung Dao... with rainfall over 50 mm, were flooded by 30-40 cm, some places were 50-70 mm, and flooded for 1-2 hours. Therefore, there is a great need to have a set of tools built to provide early warning of flooding for Nam Dinh city. This study presents a toolkit to warn of flooding in Nam Dinh city due to heavy rain. The core of the system is the MIKE Urban model that has been calibrated and tested, the input rain boundary is forecast rain estimated from radar and satellite. Three heavy rains in 2022, 2023, 2024 were used to evaluate the applicability of this toolkit and showed good effectiveness, which can be put into practical operations and replicated for other urban areas.

Keywords: Flood warning tool; MIKE Urban model; Nam Dinh City; Combined rain; Satellite rain; Radar rain.

Bài báo khoa học

Nghiên cứu giám sát hoạt động của các hồ chứa trên lưu vực sông Đà ngoài lãnh thổ Việt Nam từ dữ liệu vệ tinh và địa hình trên nền tảng Google Earth Engine

Trần Mạnh Cường^{1*}, Nguyễn Tiên Giang², Trần Anh Phương¹, Nguyễn Anh Đức¹

¹ Viện Khoa học tài nguyên nước, Bộ Tài nguyên và Môi trường; man-
hcuongkt11@gmail.com; phuongtran.monre@gmail.com; nganhduc@yahoo.com;

² Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, Đại học Quốc gia Hà Nội; giangnt@vnu.edu.vn

*Tác giả liên hệ: manhcuongkt11@gmail.com; Tel.: +84-987986233

Ban Biên tập nhận bài: 15/9/2024; Ngày phản biện xong: 2/10/2024; Ngày đăng bài: 25/2/2025

Tóm tắt: Trong những năm qua, hệ thống các hồ chứa xây dựng trên thượng nguồn sông Đà ngoài lãnh thổ Việt Nam đã làm thay đổi chế độ dòng chảy tự nhiên trên sông, ảnh hưởng đến công tác dự báo, vận hành hồ chứa và quản lý tài nguyên nước trên lưu vực. Do đó việc nghiên cứu hoạt động của các hồ chứa này là nhiệm vụ rất cần thiết. Những tiến bộ gần đây của công nghệ viễn thám đã cho phép giám sát hoạt động của các hồ chứa ngoài lãnh thổ tương đối hiệu quả. Bài báo trình bày một phương pháp hiện đại trong giám sát hồ chứa ngoài lãnh thổ sử dụng kết hợp thuật toán Otsu và công nghệ viễn thám trên nền tảng Google Earth Engine để đánh giá nhanh biến động về diện tích mặt nước, dung tích và mực nước các hồ chứa. Kết quả kiểm chứng với hồ chứa ở Việt Nam cho thấy phương pháp được đề xuất có khả năng giám sát tốt biến động của các hồ chứa. Khi áp dụng cho các hồ chứa ngoài lãnh thổ trên sông Đà trong giai đoạn 2018-2023, nghiên cứu đã xác định được quy luật vận hành cơ bản của các hồ chứa này. Theo đó, các hồ chứa thường tích nước trong khoảng thời gian tháng 7 đến tháng 12 và xả nước trong khoảng thời gian từ tháng 1 đến tháng 6. Kết quả của nghiên cứu này sẽ làm tiền đề quan trọng cho việc xác định quy trình vận hành các hồ chứa ngoài lãnh thổ và tích hợp các quy trình này vào các mô hình dự báo dòng chảy ngoài lãnh thổ vào Việt Nam.

Từ khóa: Sông Đà; Hồ chứa; Viễn thám; Google Earth Engine; Otsu.

1. Mở đầu

Sông Đà là phụ lưu lớn nhất trong hệ thống sông Hồng, tổng diện tích lưu vực sông Đà là 52.900 km², trong đó phần thuộc lãnh thổ Trung Quốc chiếm khoảng 47%, phần thuộc lãnh thổ Việt Nam khoảng 51% và khoảng 2% thuộc lãnh thổ Lào [1]. Trên dòng chính sông Đà thuộc địa phận Việt Nam, nhiều hồ chứa đã được xây dựng với mục tiêu phát điện, phòng lũ, cấp nước cho hạ du [2], hàng năm cung cấp sản lượng điện lớn và có vai trò quan trọng đối với an ninh năng lượng và an ninh nguồn nước quốc gia. Hiện nay, phần lưu vực sông Đà thuộc Trung Quốc có sáu hồ thủy điện lớn trên dòng chính gồm Yayangshan, Shimenkan, Longma, Jufudu, Gelantan, Tukahe. Từ khi các hồ chứa này đi vào hoạt động, dòng chảy sông Đà về Việt Nam có nhiều thay đổi, đã có sự phân phối lại dòng chảy mùa ở hạ lưu sông [3]. Các hồ chứa thượng nguồn sông Đà làm tăng dòng chảy vào mùa khô và giảm dòng chảy vào mùa mưa, và cả năm. Cụ thể, tại trạm Lai Châu, vào mùa khô dòng chảy tăng từ 22,74% (giai đoạn 1961-2006, trước khi có các hồ chứa Trung Quốc) lên 29,34% (giai đoạn 2007-2014, sau khi có các hồ chứa Trung Quốc) [4]. Trong bối cảnh số liệu vận hành các hồ chứa này chưa được chia sẻ cho Việt Nam [1], việc vận hành các hồ chứa đã gây ra những khó

khả rất lớn cho công tác dự báo, quản lý tài nguyên nước. Do đó, việc giám sát diễn biến hồ chứa Trung Quốc ngoài lãnh thổ trên thượng nguồn sông Đà sử dụng các công nghệ giám sát gián tiếp là rất cần thiết, phục vụ cung cấp thông tin, góp phần nâng cao chất lượng dự báo và quản lý tài nguyên nước trên sông Đà nói riêng và sông Hồng nói chung.

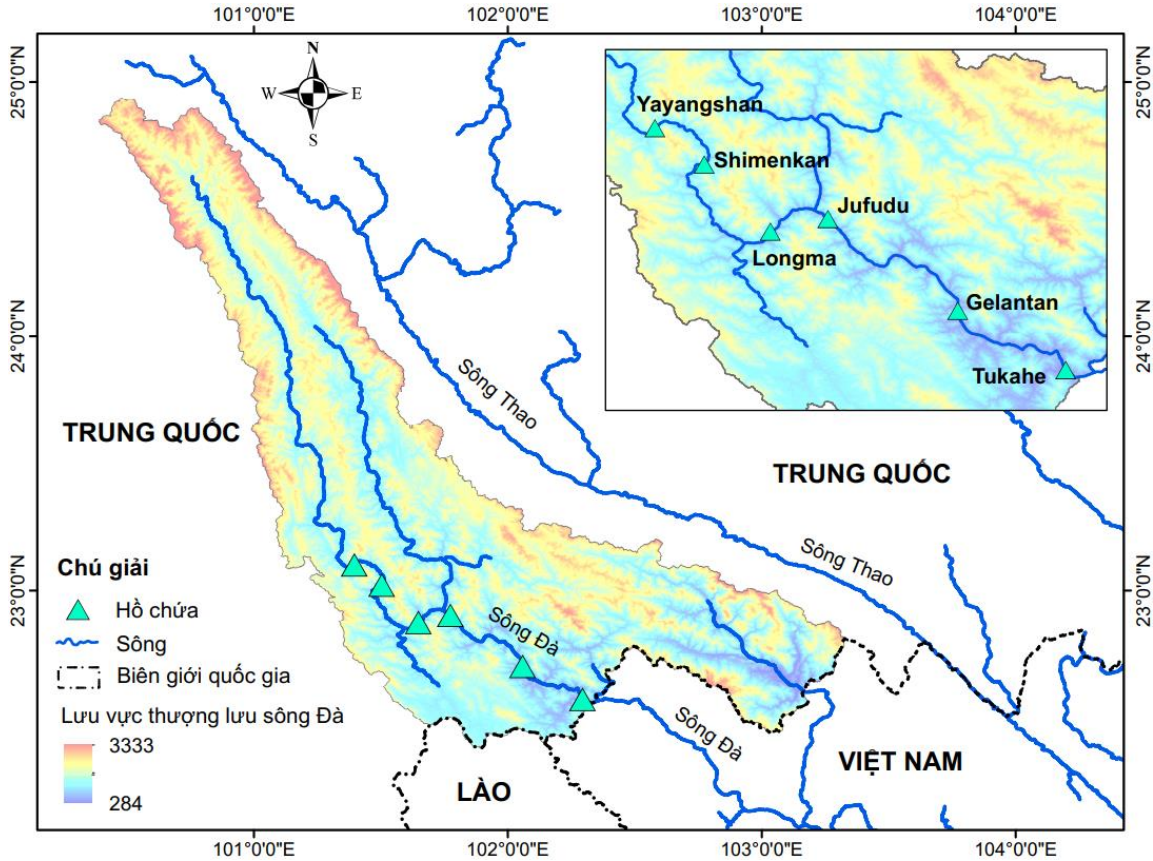
Trong những năm gần đây, với sự phát triển của công nghệ xử lý ảnh và sự gia tăng của các nguồn ảnh viễn thám mở với độ phân giải không gian, thời gian ngày càng cao, việc giám sát hoạt động của các hồ chứa ngoài lãnh thổ từ viễn thám ngày càng trở nên khả thi. Trong các nghiên cứu sử dụng công nghệ viễn thám để giám sát hồ chứa, phương pháp giám sát thông qua biến động diện tích mặt nước hồ là phương pháp được áp dụng rộng rãi nhất. Phương pháp này cho phép xác định diện tích mặt nước hồ chứa từ giải đoán ảnh viễn thám. Sau đó, các đặc trưng mực nước và dung tích hồ sẽ được xác định dựa vào các đường quan hệ đặc tính hồ mực nước - diện tích mặt nước và dung tích - diện tích mặt nước [5, 6]. Các đường đặc tính này thường có sẵn với các hồ chứa trong nước [7]. Tuy nhiên, với các hồ chứa ngoài lãnh thổ, các đường này thường phải được xây dựng từ mô hình số độ cao (DEM) [8–11] hoặc từ số liệu đo đạc mực nước hồ và diện tích mặt nước [12]. Phương pháp sử dụng số liệu đo đạc mực nước và diện tích mặt nước đòi hỏi các dữ liệu được thu nhận tại các thời điểm giống nhau mới đảm bảo độ chính xác trong mối quan hệ giữa các thông số hồ chứa. Trong bối cảnh đó, việc sử dụng dữ liệu DEM địa hình của hồ chứa để xây dựng quan hệ giữa các thông số mực nước, diện tích mặt nước, dung tích hồ là giải pháp được nhiều nghiên cứu sử dụng [13, 14]. Chẳng hạn, nghiên cứu [15] sử dụng DEM từ nguồn SRTM để xây dựng mối quan hệ diện tích mặt nước - cao độ mặt nước - dung tích hồ để ước tính sự thay đổi lưu trữ nước của các hồ chứa trên khu vực tiểu vùng Mê Công mở rộng. Nghiên cứu [16] đã sử dụng ảnh vệ tinh Sentinel 1 cùng với mô hình số độ cao để ước tính lượng nước được giữ lại trong các hồ. Dự án giám sát đập trên sông Mê Công của trung tâm Stimson [10] dùng dữ liệu vệ tinh Sentinel 1 để xác định diện tích mặt nước, kết hợp sử dụng DEM cùng nền tảng xử lý đám mây Google Earth Engine (GEE) để giám sát biến động hồ chứa. Nghiên cứu [17] đề xuất một phương pháp kết hợp việc sử dụng DEM và hình ảnh Landsat với GEE để giám sát các số liệu hồ chứa gồm diện tích bề mặt, mực nước và dung tích hữu ích. Trong nước, các nghiên cứu cũng được thực hiện để giám sát dung tích hồ chứa. Nghiên cứu [18] tính toán mực nước và dung tích hồ từ ảnh vệ tinh tuy nhiên cần phải tải và xử lý từng cảnh ảnh. Nghiên cứu [19] kết hợp ảnh vệ tinh radar và vệ tinh quang học để xác định mặt nước hồ chứa, tuy nhiên các dữ liệu vệ tinh này có độ phân giải khác nhau sẽ dẫn đến không đồng nhất, việc xác định ngưỡng thủ công cho nhiều cảnh ảnh sẽ tốn nhiều thời gian.

Nghiên cứu này tiến hành nghiên cứu các hồ chứa thượng nguồn sông Đà bên ngoài lãnh thổ trong những năm gần đây để xem xét tác động của các hồ này đến chế độ thủy văn phía hạ lưu thuộc Việt Nam. Bài báo sử dụng thuật toán Otsu, cho phép tự động tìm ra giá trị ngưỡng linh hoạt để phân tách mặt nước theo từng điều kiện cảnh ảnh khác nhau. Khi nghiên cứu với lượng lớn các cảnh ảnh vệ tinh, so với phương pháp phân tích sử dụng ngưỡng cố định, nhìn chung thuật toán Otsu cho kết quả xác định diện tích mặt nước hồ chính xác hơn [20, 21]. Đồng thời, để giảm ảnh hưởng của mây, nghiên cứu cũng sử dụng ảnh vệ tinh Sentinel 1, là loại vệ tinh radar nhằm cung cấp nhiều dữ liệu ảnh vệ tinh hơn và do đó giúp cung cấp thông tin về hồ chứa liên tục. Cuối cùng, để tăng hiệu suất xử lý, toàn bộ dữ liệu vệ tinh được thực hiện tính toán trên nền tảng GEE với các công cụ mạnh mẽ trong xử lý ảnh viễn thám, phân tích không gian và khả năng tính toán vượt trội trên máy chủ của Google, thuật toán Otsu cũng được lập trình tính toán trong GEE. Nền tảng GEE giúp việc xử lý, giải đoán nhiều cảnh ảnh được thực hiện cùng lúc, nhanh chóng mà không cần tải về từng ảnh với độ tin cậy cao [22, 23]. Nhờ xây dựng trên nền tảng, việc giám sát hồ chứa có thể được thực hiện theo gần thời gian thực, phục vụ cung cấp kịp thời hiện trạng các hồ chứa. Đây là hướng nghiên cứu đang được nghiên cứu rộng rãi trên thế giới nhưng còn tương đối mới ở Việt Nam về ứng dụng công nghệ viễn thám trong giám sát hồ chứa ngoài lãnh thổ.

2. Dữ liệu và phương pháp nghiên cứu

2.1. Khu vực nghiên cứu

Bài báo tiến hành nghiên cứu các hồ chứa đã được xây dựng và vận hành trên thượng nguồn sông Đà bên ngoài lãnh thổ Việt Nam, gồm: Yayangshan, Shimenkan, Longma, Jufudu, Gelantan, Tukahe, trong giai đoạn 2018-2023, nhằm xác định tác động gần nhất của các hồ chứa bên ngoài lãnh thổ đến hạ lưu sông Đà. Vị trí và các thông tin cơ bản về các hồ chứa này được trình bày ở Bảng 1 và Hình 1.



Hình 1. Các hồ chứa nghiên cứu trên thượng lưu sông Đà bên ngoài lãnh thổ Việt Nam.

Bảng 1. Thông tin chính của các hồ chứa nghiên cứu.

Hồ chứa	Năm xây dựng - Năm vận hành	Dung tích hồ (triệu m ³)	Chiều cao đập (m)
Yayangshan	2003 - 2006	247	88
Shimenkan	2007 - 2010	197	116
Longma	2003 - 2007	590	135
Jufudu	2004 - 2008	174	95
Gelantan	2003 - 2008	409	113
Tukahe	2003 - 2008	88	59,2

2.2. Dữ liệu nghiên cứu

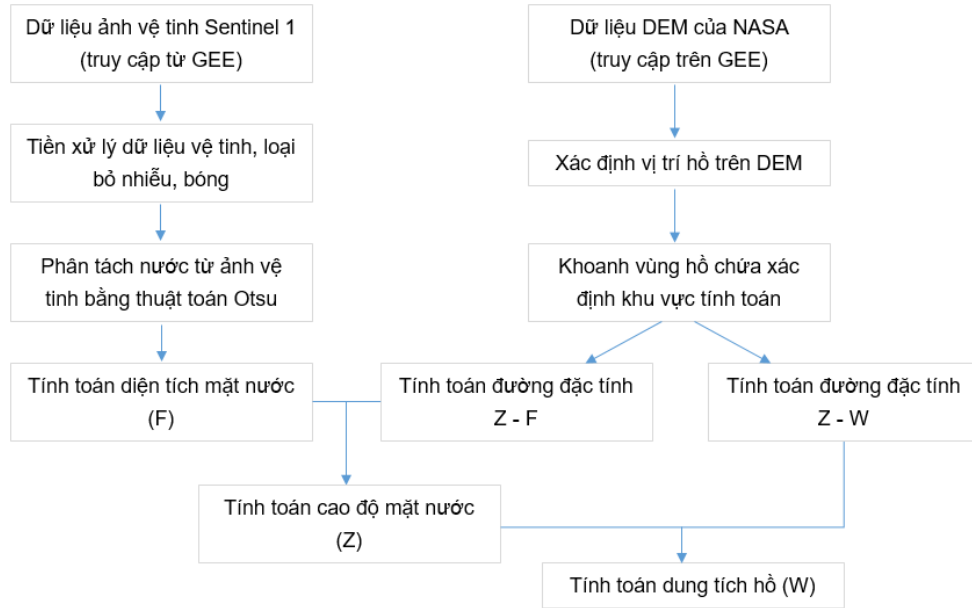
- Ảnh vệ tinh: Dữ liệu vệ tinh Sentinel 1 SAR GRD với độ phân giải 10 m được thu thập trong giai đoạn 2018-2023 từ Cơ quan Hàng không vũ trụ Châu Âu.

- Mô hình số độ cao: Bài báo sử dụng dữ liệu DEM là NASADEM với độ phân giải 30 m để mô phỏng địa hình các hồ chứa, đây là dữ liệu có độ tin cậy cao khi được cải thiện bằng cách kết hợp dữ liệu phụ trợ từ các bộ dữ liệu ASTER GDEM, ICESat GLAS và PRISM. Dữ liệu được thu thập từ Cơ quan hàng không vũ trụ Mỹ NASA.

Bảng 2. Dữ liệu sử dụng trong nghiên cứu.

Dữ liệu	Năm thu thập	Số cảnh ảnh	Độ phân giải	Nguồn dữ liệu
Sentinel 1 SAR GRD	2018	143	10 m	ESA
	2019	139		
	2020	156		
	2021	147		
	2022	135		
	2023	134		
NASADEM	2000		30 m	NASA

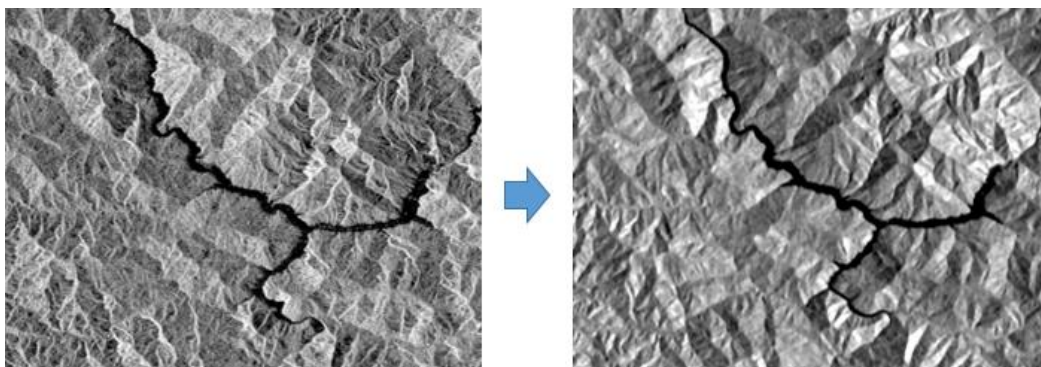
2.3. Phương pháp nghiên cứu



Hình 2. Sơ đồ các bước xác định các đặc trưng hồ chứa bao gồm diện tích mặt nước, mực nước và dung tích hồ chứa từ ảnh viễn thám trên công cụ GEE.

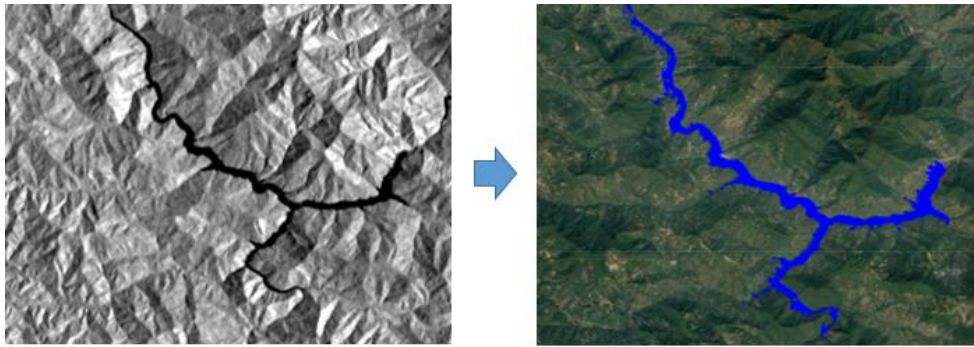
Sơ đồ các bước xác định các đặc trưng hồ chứa bao gồm diện tích mặt nước, mực nước và dung tích hồ chứa từ ảnh viễn thám trên công cụ GEE được trình bày ở Hình 2. Các bước này được mô tả cụ thể như sau:

- Xử lý ảnh viễn thám: Tất cả các cảnh ảnh dữ liệu vệ tinh Sentinel 1 được truy cập trên công cụ GEE mà không cần tải từng cảnh ảnh về máy tính. Các ngọn núi có thể cản trở đường đi của chùm tia radar, các khu vực có thảm phủ bề mặt phức tạp, hay các thung lũng, vách núi độ dốc lớn làm cho dữ liệu radar phản hồi không chính xác [24], do vậy các cảnh ảnh vệ tinh được xử lý loại bỏ nhiễu, bóng, các ảnh kém chất lượng bị loại bỏ nhằm giảm sai số. Các công việc này đều được thực hiện sử dụng các công cụ có sẵn trên GEE (Hình 3).



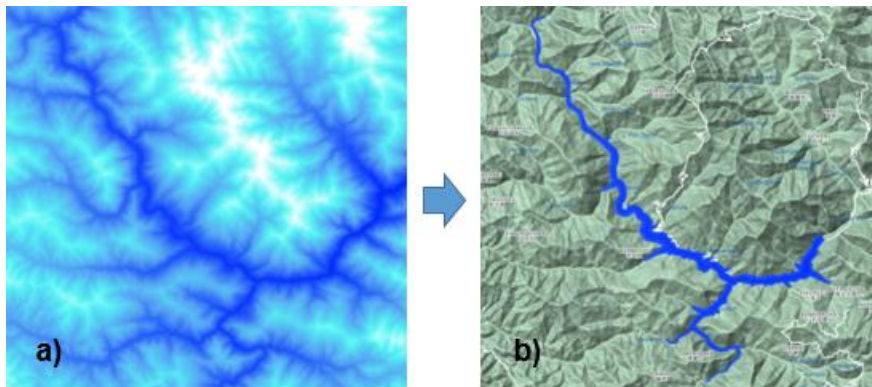
Hình 3. Xử lý nhiễu và bóng trên cảnh ảnh Sentinel 1 bằng công cụ GEE.

- Phân tách đối tượng nước từ ảnh viễn thám: Mặt nước trên ảnh vệ tinh radar được xác định từ ngưỡng phân loại, dựa theo loại sóng VV của Sentinel 1, giá trị sóng tán xạ ngược khi gặp mặt nước luôn thấp hơn các đối tượng khác [25]. Như vậy những điểm ảnh có giá trị thấp hơn ngưỡng được xác định là mặt nước, giá trị cụ thể được xác định phụ thuộc vào từng khu vực địa lý nhất định. Khi xác định mặt nước trên nhiều cảnh ảnh vệ tinh được thu thập tại các thời điểm khác nhau thì việc sử dụng một giá trị ngưỡng duy nhất là không phù hợp. Nhiều nghiên cứu trên thế giới hiện nay đã ứng dụng thuật toán Otsu để tự động xác định ngưỡng cho từng cảnh ảnh. Phương pháp của Otsu giúp xác định ngưỡng cho từng cảnh ảnh bằng cách chuyển đổi hình ảnh kỹ thuật số thành các điểm ảnh được đặc trưng bằng màu thuộc thang độ xám (từ mức xám tối thiểu đến mức xám tối đa) [26]. Dựa vào một giá trị t được gọi là ngưỡng, hình ảnh được tạo thành hai phần gồm tiền cảnh (điểm ảnh gần với mức xám tối thiểu) và hậu cảnh (điểm ảnh gần với mức xám tối đa) [26]. Tỷ lệ các điểm tiền cảnh trong hình ảnh là w_0 và độ chuyển màu xám trung bình là u_0 ; tỷ lệ các điểm hậu cảnh trong hình ảnh là w_1 và độ chuyển màu xám trung bình là u_1 , khi t làm cho biểu thức $w_0 * w_1 * (u_0 - u_1)$ đạt giá trị lớn nhất thì t là ngưỡng phân đoạn tối ưu [26]. Thay vì phải lựa chọn ngưỡng cho mỗi cảnh ảnh thì thuật toán Otsu tự động lựa chọn ngưỡng tối ưu từ hình ảnh thang màu xám để tối đa hóa sự khác biệt giữa các lớp, từ đó xác định những vùng điểm ảnh là mặt nước [27]. Thuật toán Otsu được xây dựng trong GEE bằng nhiều hàm như `ee.Array`, `ee.Dictionary` để tìm giá trị tối đa hóa phương sai giữa các lớp. Diện tích mặt nước là tổng diện tích tất cả các điểm ảnh đã được xác định, quá trình phân tách mặt nước bằng thuật toán Otsu và tính diện tích mặt nước đều được thực hiện bằng công cụ GEE.



Hình 4. Vùng mặt nước (màu xanh) được xác định bằng thuật toán Otsu xây dựng trong GEE.

- Xây dựng các đường đặc tính hồ chứa: Đường đặc tính của hồ chứa gồm mực nước - diện tích mặt nước ($Z \sim F$) và mực nước - dung tích hồ ($Z \sim W$) được xác định từ dữ liệu DEM. Tại mỗi giá trị mực nước sẽ xác định một phần mặt phẳng bị giới hạn bởi DEM, diện tích phần mặt phẳng này chính là diện tích mặt nước tại giá trị mực nước đã chọn. Phần thể tích bị giới hạn bởi DEM và phần mặt phẳng trên chính là dung tích hồ tại giá trị mực nước đã chọn.



Hình 5. Xác định phạm vi tính toán của hồ trên DEM: (a) dữ liệu NASADEM, (b) khoanh vùng hồ trên DEM.

Phần dung tích giữa hai mặt nước liền kề được tính gần đúng bằng thể tích hình chóp cụt (công thức 1), dung tích nước của hồ chứa là tổng thể tích các hình chóp cụt trên (công thức 2).

$$\Delta W_{i+1} = W_{i+1} - W_i = \frac{F_{i+1} + F_i}{2} \times (Z_{i+1} - Z_i) \quad (1)$$

$$W = \sum_{i=0}^n \frac{F_{i+1} + F_i}{2} \times (Z_{i+1} - Z_i) \quad (2)$$

Trong đó F_i, F_{i+1} (m^2) lần lượt là diện tích mặt nước hồ tại mực nước Z_i, Z_{i+1} ; W_i, W_{i+1} (m^3) lần lượt là diện tích mặt nước hồ tại mực nước Z_i, Z_{i+1} ; ΔW_{i+1} là dung tích giữa F_i, F_{i+1} .

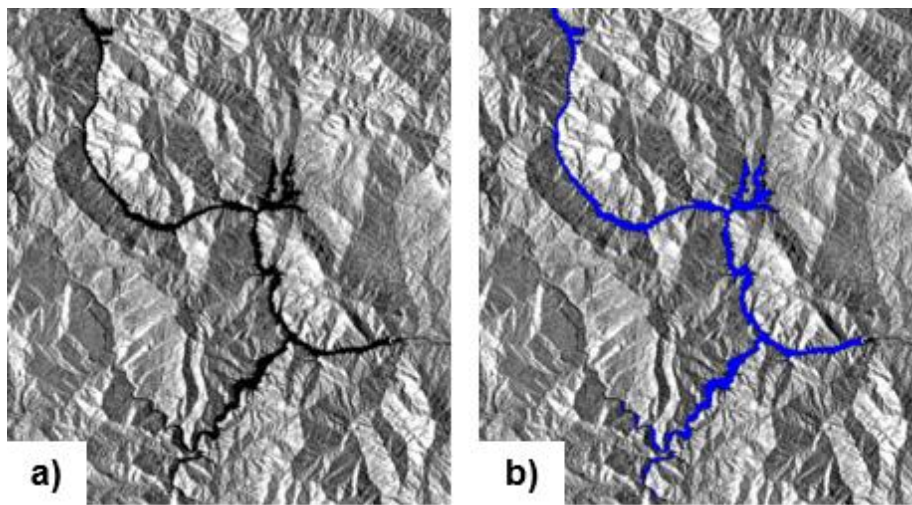
Từ dữ liệu NASADEM, tại mỗi giá trị mực nước tính toán được diện tích mặt nước và dung tích hồ tương ứng, tập hợp nhiều giá trị tính toán để có đường đặc tính $Z \sim F, Z \sim W$.

- Xác định diện tích mặt nước, mực nước và dung tích hồ chứa: Với mỗi giá trị diện tích mặt nước hồ chứa trích xuất từ ảnh vệ tinh, nghiên cứu sẽ xác định được diện tích mặt nước. Sau đó, sử dụng các đường đặc tính hồ chứa, mực nước và dung tích hồ chứa có thể xác định.

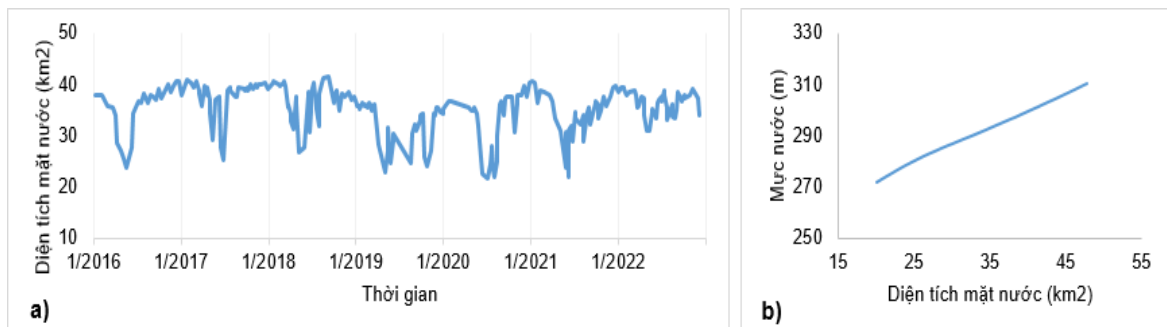
3. Kết quả

3.1. Tính toán thử nghiệm cho hồ chứa ở Việt Nam

Để đánh giá độ tin cậy của phương pháp đề xuất, nghiên cứu tiến hành tính toán thử nghiệm với hồ chứa cũng nằm trên sông Đà là Lai Châu với chuỗi số liệu viễn thám trong giai đoạn 2016-2022. Sau khi loại bỏ nhiễu và bóng trên các cảnh ảnh vệ tinh Sentinel 1, mặt nước hồ tại mỗi cảnh ảnh được xác định như Hình 6. Diễn biến diện tích mặt nước xác định từ ảnh viễn thám giai đoạn 2016-2022 và quan hệ giữa mực nước - diện tích mặt nước xác định từ mô hình số độ cao DEM được trình bày ở Hình 7.



Hình 6. Ảnh vệ tinh Sentinel 1 khu vực hồ Lai Châu (a), mặt nước hồ Lai Châu (b).



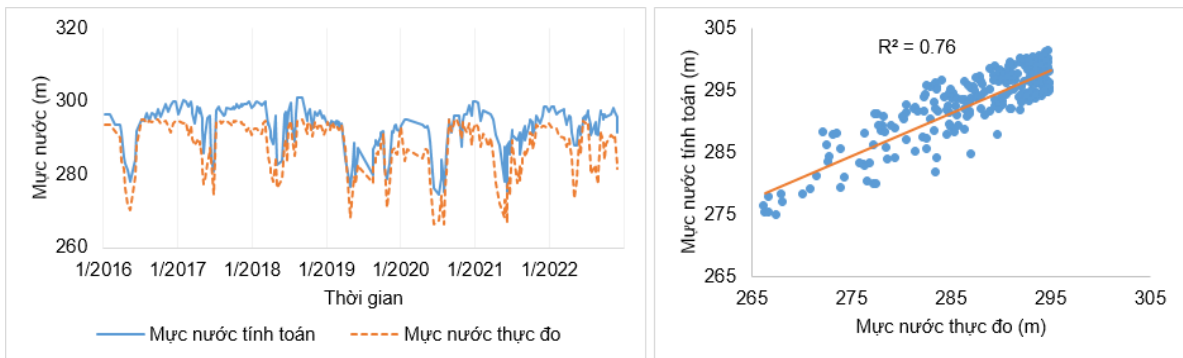
Hình 7. Diễn biến diện tích mặt nước hồ tính toán từ dữ liệu Sentinel 1 (a) và mối quan hệ mực nước - diện tích mặt nước hồ Lai Châu (b).

Mối quan hệ mực nước - diện tích mặt nước xây dựng từ DEM của hồ Lai Châu được so sánh với đường đặc tính thực tế thông qua các chỉ số đánh giá gồm hệ số tương quan (CC), hệ số xác định (R^2), độ thiên lệch (PBIAS), căn bậc hai sai số toàn phương (RMSE), tỉ số của RMSE và độ lệch chuẩn của số liệu đo đạc (RSR). Bảng 3 cho thấy có sự tương đồng giữa hai dữ liệu đường đặc tính này, quan hệ mực nước - diện tích mặt nước xây dựng từ DEM đảm bảo độ tin cậy để áp dụng tính toán mực nước từ diện tích mặt nước.

Bảng 3. So sánh diện tích mặt nước của đường đặc tính xây dựng từ DEM và đường đặc tính thực tế.

Hồ chứa	CC	R^2	PBIAS	RMSE	RSR
Lai Châu	0,99	0,98	6,74	2,99	0,27

Hình 8 so sánh mực nước tính toán của hồ Lai Châu tính từ diện tích mặt nước dựa trên mối quan hệ mực nước - diện tích mặt nước đã xây dựng và mực nước thực đo trong giai đoạn 2016-2022. Kết quả so sánh giữa mực nước tính toán và thực đo cũng sử dụng các chỉ số đánh giá bao gồm hệ số tương quan (CC), hệ số xác định (R^2), độ thiên lệch (PBIAS), căn bậc hai sai số toàn phương (RMSE), tỉ số của RMSE và độ lệch chuẩn của số liệu đo đạc (RSR) được trình bày ở Bảng 4. Kết quả tính toán cho thấy nhìn chung diễn biến mực nước tính toán bằng công nghệ viễn thám tương quan rất tốt với mực nước thực đo với hệ số tương quan là 0,87. Điều này chứng tỏ công nghệ viễn thám có thể giám sát tốt biến động của các hồ chứa. Về giá trị tuyệt đối, hồ Lai Châu sai số xuất hiện ở cả phần mực nước thấp và mực nước cao. Sai số tuyệt đối có thể gây ra do hai nguyên nhân chính bao gồm sai số trong việc xác định diện tích mặt nước từ ảnh viễn thám (gây ra bởi các sai số do chất lượng ảnh, do ngưỡng phân tách nước, độ phân giải ảnh) và sai số trong xây dựng quan hệ mực nước - diện tích mặt nước từ DEM (độ phân giải 30 m có thể chưa đủ để xây dựng quan hệ mực nước - diện tích mặt nước hoàn toàn chính xác).



Hình 8. So sánh mực nước tính toán và mực nước thực đo hồ Lai Châu.

Bảng 4. Tương quan giữa mực nước tính toán và mực nước thực đo của hồ Lai Châu.

Hồ chứa	CC	R^2	Pbias	RMSE	RSR
Lai Châu	0,87	0,76	-1,87	6,40	1,06

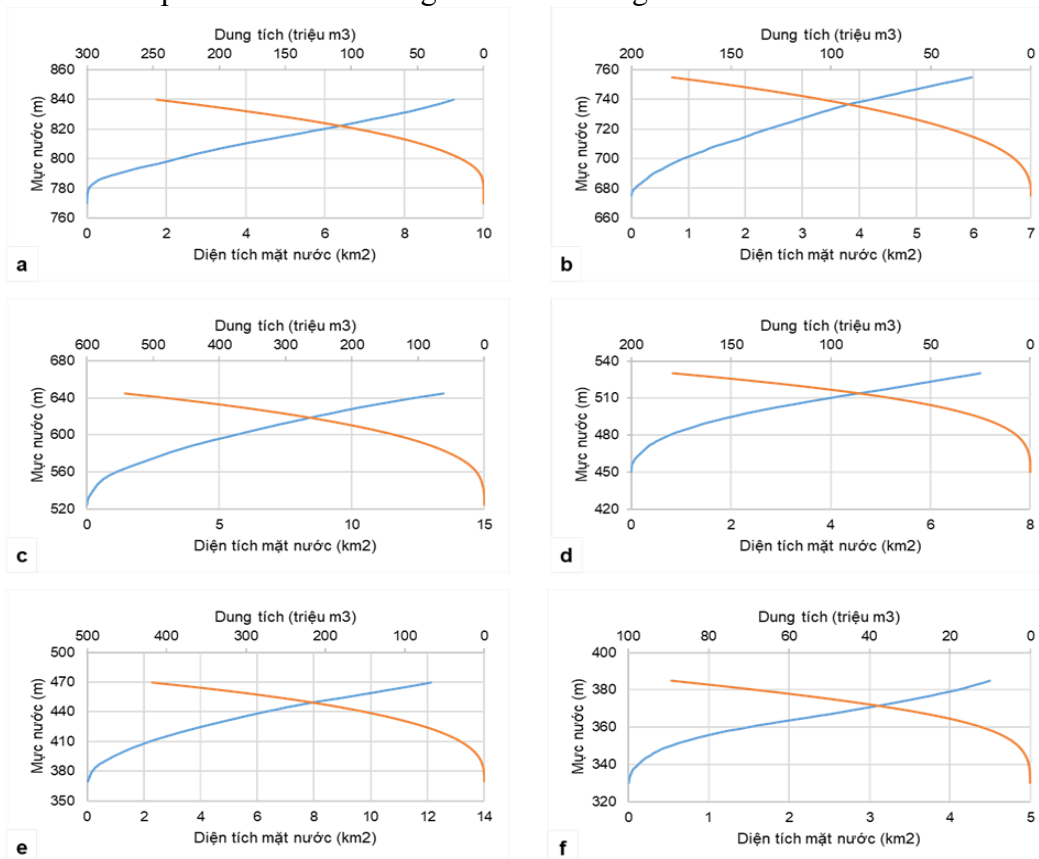
3.2. Tính toán diễn biến hồ chứa thượng lưu sông Đà

Các hồ chứa thượng nguồn sông Đà bên ngoài lãnh thổ Việt Nam có nhiều điểm tương đồng với hồ Lai Châu từ đặc điểm địa hình đến quá trình hình thành hồ. Đường đặc tính hồ chứa thể hiện mối quan hệ mực nước - diện tích mặt nước - dung tích tính toán trên GEE như Hình 9. Diễn biến diện tích mặt nước các hồ thay đổi theo thời gian được giám sát bằng công nghệ viễn thám thể hiện như Hình 10. Từ đường đặc tính hồ chứa và diễn biến diện tích mặt nước hồ tính toán diễn biến mực nước các hồ nghiên cứu giai đoạn 2018-2023 (Hình 11). Từ đường đặc tính hồ chứa và mực nước hồ tính toán diễn biến dung tích các hồ nghiên cứu giai đoạn 2018-2023 (Hình 12). Kết quả tính toán cho thấy các hồ trên thượng lưu sông Đà trong giai đoạn 2018-2023 có xu hướng tích nước trong khoảng thời gian tháng 6 - tháng 12, các

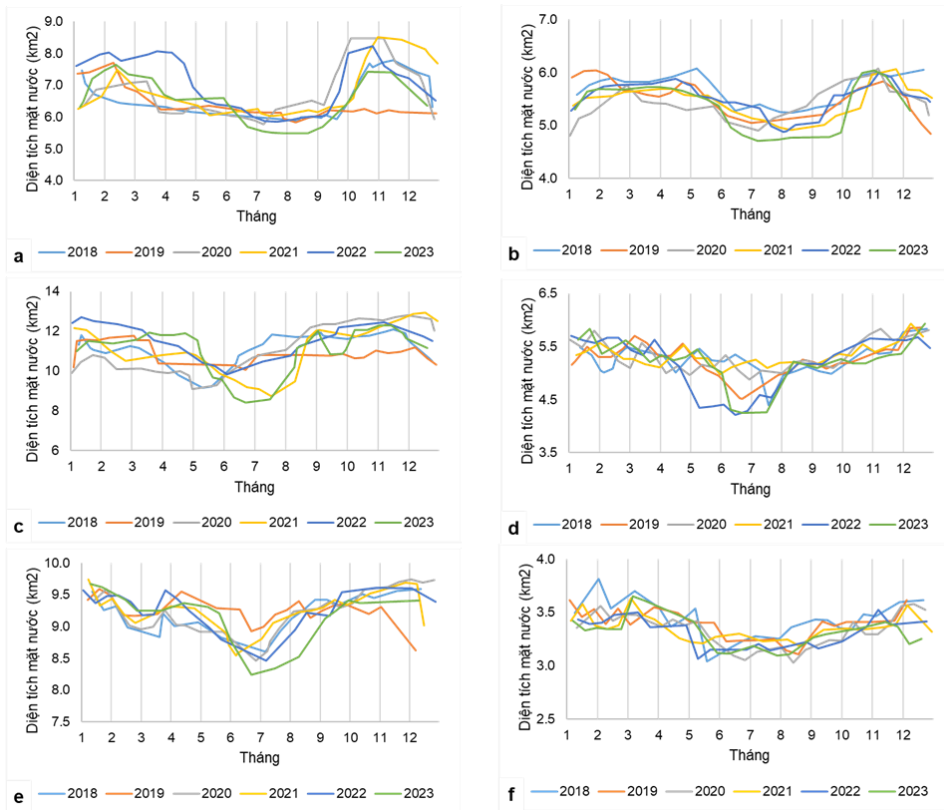
hồ thượng nguồn gồm Yayangshan, Shimenkan tích nước muộn hơn so với các hồ hạ nguồn gồm Longma, Jufudu, Gelantan, Takuhe. Cụ thể, các hồ Yayangshan, Shimenkan thường tích nước trong thời gian tháng 8 - tháng 9, trong khi các hồ Longma, Jufudu, Gelantan, Takuhe thường tích nước trong thời gian tháng 6 - tháng 8.

Các hồ thường đạt lượng nước lớn nhất vào tháng 11, 12, một vài hồ trong một vài năm thì sớm hơn (tháng 10) hoặc muộn hơn (tháng 1 năm kế tiếp). Hồ Yayangshan, hồ đầu tiên tính từ thượng nguồn xuống, thường tích nước sớm nhất, vào các năm 2020, 2021, 2022, 2023 hồ đạt lượng nước lớn nhất tháng 10, sớm hơn các hồ hạ nguồn. Hồ Shimenkan chủ yếu đạt lượng nước lớn nhất thời điểm tháng 11, vào các năm 2020, 2021, 2022, 2023. Tương tự, hồ Longma cũng chủ yếu đạt lượng nước lớn nhất thời điểm tháng 11, vào các năm 2018, 2020, 2023. Hồ Jufudu, Gelantan đạt lượng nước lớn nhất muộn hơn so với các hồ trên, tại thời điểm cuối tháng 11, đầu tháng 12. Hồ Tukahe, hồ cuối cùng trong chuỗi hồ, đạt lượng nước lớn nhất vào cuối tháng 11, tháng 12. Kết quả này cho thấy, nhìn chung các hồ thường tích đầy nước lần lượt từ thượng nguồn đến hạ nguồn, hồ Yayangshan tích đầy nước trước, tiếp đến là các hồ Shimenkan, Longma, sau đó đến các hồ Jufudu, Gelantan, và cuối cùng là hồ Tukahe.

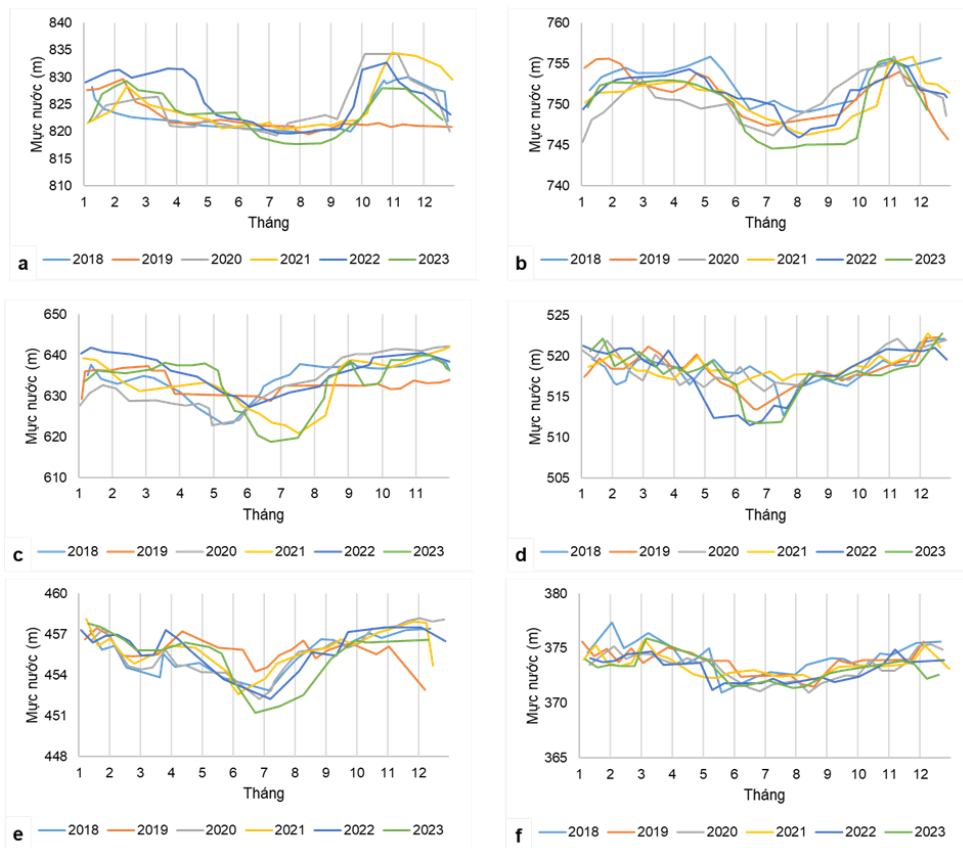
Các hồ có xu hướng xả nước trong khoảng thời gian tháng 1 - tháng 5, trong đó chủ yếu là tháng 1 - tháng 4. Các hồ thượng nguồn gồm Yayangshan, Shimenkan, Longma xả nước sớm hơn so với các hồ hạ nguồn gồm Jufudu, Gelantan, Tukahe. Cụ thể, các hồ Yayangshan, Shimenkan, Longma thường xả nước trong thời gian tháng 1 - tháng 4, còn các hồ Jufudu, Gelantan, Tukahe thường xả nước trong thời gian tháng 3 - đầu tháng 5. Một số năm, các hồ thực hiện quy trình xả nước trong thời gian ngắn, tích nước trở lại, sau đó bắt đầu xả nước đến khi lượng nước trong hồ đạt mức thấp nhất. Các hồ chứa thường đạt lượng nước nhỏ nhất vào các tháng 5, 6, 7, 8. Hồ Yayangshan, Shimenkan đạt mức nước thấp nhất vào tháng 7, 8; trong khi hồ Longma, Jufudu đạt mức nước thấp nhất vào tháng 6, 7; và hồ Gelantan, Takuhe đạt mức nước thấp nhất vào cuối tháng 5 đến đầu tháng 7.



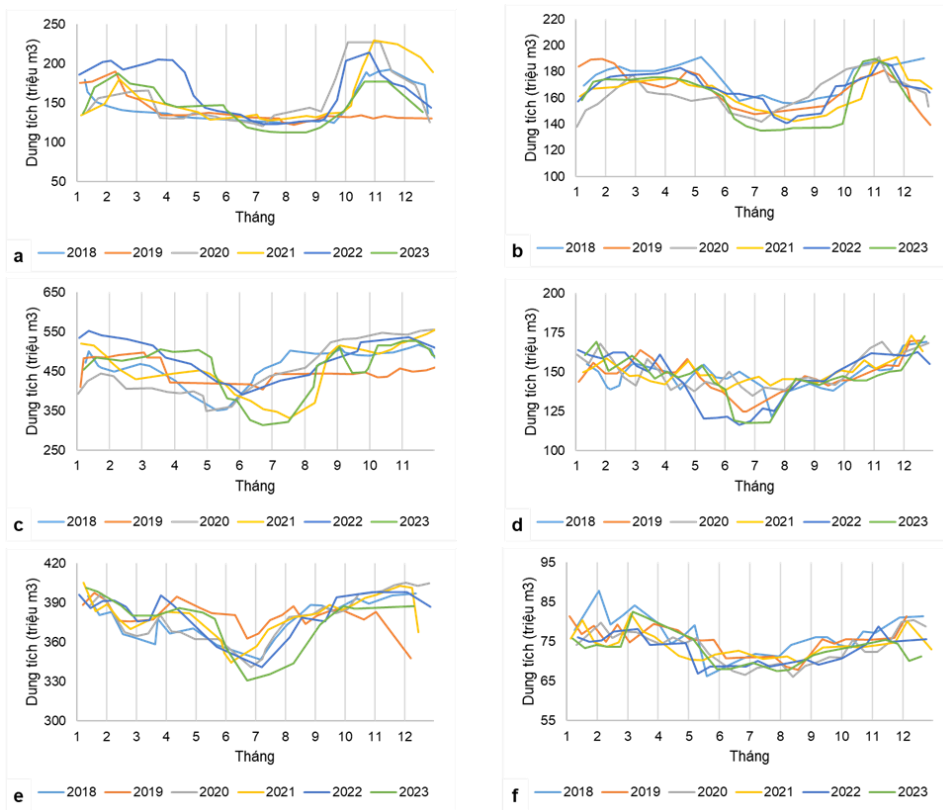
Hình 9. Đường đặc tính các hồ nghiên cứu: a) Hồ Yayangshan, b) Hồ Shimenkan, c) Hồ Longma, d) Hồ Jufudu, e) Hồ Gelantan, f) Hồ Tukahe.



Hình 10. Diễn biến diện tích mặt nước hồ chứa giai đoạn 2018 - 2023: a) Hồ Yayangshan, b) Hồ Shimenkan, c) Hồ Longma, d) Hồ Jufudu, e) Hồ Gelantan, f) Hồ Tukahe.



Hình 11. Diễn biến mực nước hồ chứa giai đoạn 2018 - 2023: a) Hồ Yayangshan, b) Hồ Shimenkan, c) Hồ Longma, d) Hồ Jufudu, e) Hồ Gelantan, f) Hồ Tukahe.



Hình 12. Diễn biến dung tích hồ chứa giai đoạn 2018 - 2023: a) Hồ Yayangshan, b) Hồ Shimenkan, c) Hồ Longma, d) Hồ Jufudu, e) Hồ Gelantan, f) Hồ Tukahe.

4. Thảo luận

Vào thời điểm mùa mưa, lượng nước về hồ nhiều, các hồ thủy điện bắt đầu tích nước để đảm bảo phát điện cho mùa khô kế tiếp. Hầu hết các hồ đều bắt đầu tích nước từ tháng 7 hoặc 8 đến tháng 10, 11 đầy hồ. Các hồ xả nước phát điện, cấp nước từ tháng 1, 2 cho đến hết tháng 6. Thực tế, diễn biến tích nước và xả nước tại mỗi hồ sẽ có sự sai khác giữa các năm tuy nhiên chỉ chênh lệch trong khoảng gian ngắn, quá trình tích và xả nước cũng có thể đan xen nhau tùy thời điểm và tùy tiểu lưu vực nhưng số liệu tính toán cho thấy có xu thế chung trong diễn biến tích và xả nước của các hồ thủy điện như đã nêu ở trên. Các hồ thượng nguồn có xu hướng tích nước muộn nhưng đạt mực nước lớn nhất sớm hơn so với các hồ hạ nguồn, các hồ thượng nguồn cũng xả nước sớm hơn nhưng đạt mực nước thấp nhất muộn hơn các hồ hạ nguồn. Điều này phụ thuộc nhiều vào lượng nước đến trong mùa mưa cũng như kế hoạch phát điện trong mùa khô của mỗi hồ, vai trò của từng hồ trong chuỗi bậc thang hồ chứa.

Dữ liệu mô hình số độ cao NASADEM có độ phân giải 30 m, chưa phải là dữ liệu có độ phân giải cao và với đặc điểm này có thể gây ra sai số nhất định, tuy nhiên trong số các dữ liệu mô hình số độ cao được cung cấp miễn phí hiện nay bao phủ toàn bộ khu vực nghiên cứu thì NASADEM là dữ liệu phù hợp cho nghiên cứu này. Ngoài ra, dữ liệu NASADEM đã được hiệu chỉnh từ các bộ dữ liệu ASTER GDEM, ICESat GLAS và PRISM, giúp nâng cao độ chính xác so với các dữ liệu mô hình số độ cao khác. Độ phân giải của dữ liệu Sentinel 1 là 10 m dẫn đến mặt nước xác định bằng ảnh vệ tinh có sự sai khác với mặt nước thực tế, quá trình tính toán sẽ có những sai số nhất định, tuy vậy đây là dữ liệu miễn phí được sử dụng phổ biến trong nhiều nghiên cứu trên thế giới, trong các nghiên cứu cơ bản thì dữ liệu này vẫn có sự đóng góp quan trọng. Một số cảnh ảnh vệ tinh Sentinel 1 có chất lượng không tốt, thể hiện các thông tin bề mặt đất không đúng với thực tế, khiến cho kết quả giải đoán có sự sai số. Tuy nhiên điều này chỉ diễn ra tại một khoảng thời gian ngắn và chỉ tại một vài hồ,

trong khi dữ liệu nghiên cứu cho toàn bộ sáu hồ trong giai đoạn 2018 - 2023 là rất lớn, vì vậy kết quả nghiên cứu vẫn đảm bảo độ tin cậy.

5. Kết luận

Phương pháp giám sát liên tục lượng nước trữ trong các hồ bằng công nghệ viễn thám dựa trên thuật toán tự động phân ngưỡng mặt nước Otsu và công cụ phân tích không gian địa lý GEE trong nghiên cứu này đạt kết quả tốt khi thử nghiệm cho hồ chứa ở Việt Nam. Phương pháp này hoàn toàn có thể áp dụng để tính toán các thông số mực nước, diện tích mặt nước, dung tích cho nhiều hồ chứa khác, ngay cả với các hồ chứa không có số liệu bên ngoài lãnh thổ của một quốc gia.

Kết quả tính toán diễn biến các thông số mực nước, diện tích mặt nước, dung tích cho thấy quy luật chung của các hồ chứa trên thượng lưu sông Đà bên ngoài lãnh thổ Việt Nam. Các hồ chứa này thường có xu hướng tích nước trong khoảng thời gian tháng 7 - tháng 12, và xả nước trong khoảng thời gian tháng 1 - tháng 6. Như vậy sau khi các hồ chứa thượng nguồn vận hành, vào mùa khô tổng lượng dòng chảy sông Đà về Việt Nam sẽ tăng lên do các hồ chứa xả nước, vào mùa mưa tổng lượng giảm do các hồ chứa tích nước. Các hồ chứa trên sông Đà thuộc lãnh thổ Việt Nam sẽ bị tác động đáng kể khi diễn biến dòng chảy đến thay đổi so với trước đây, do đó cần có các kế hoạch chủ động trong quá trình vận hành hồ chứa. Các số liệu về diễn biến tích trữ nước các hồ chứa thượng nguồn sông Đà là tài liệu bổ sung quan trọng để nghiên cứu về chế độ dòng chảy về Việt Nam trong những năm gần đây.

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

Lời cảm ơn: Chúng tôi xin cảm ơn các đề tài “Nghiên cứu đánh giá tác động của hệ thống hồ chứa và sử dụng đất ngoài lãnh thổ Việt Nam trên lưu vực sông Đà ảnh hưởng đến biến đổi dòng chảy và hàm lượng phù sa bùn cát vào Việt Nam” - Mã số TNMT.2023.02.30 và “Nghiên cứu xây dựng phương pháp, công nghệ dự báo dòng chảy mùa cạn, thời hạn 10 ngày, tháng, mùa đến biên giới Việt - Trung” - Mã số ĐTDL.CN.06/23 đã hỗ trợ để thực hiện nghiên cứu này.

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

Tài liệu tham khảo

1. Anh, V.T.; Hiền, N.T.; Khánh, Đ.Q. Nghiên cứu đánh giá lượng dòng chảy sông Đà từ Trung Quốc vào Việt Nam phục vụ cho bài toán quy hoạch và quản lý tài nguyên nước lưu vực sông Đà. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* **2017**, 678, 54–62.
2. Ngô, L.A.; Trịnh, T.P. Nghiên cứu khả năng ứng dụng mô hình thủy văn thông số phân bố tính toán dòng chảy lũ lưu vực sông Đà. *Tạp chí Khoa học Kỹ thuật Thủy lợi và Môi trường* **2010**, 30, 115–120.
3. Khối, H.V.; Huệ, V.T.M. Phân tích ảnh hưởng của các hồ chứa thượng nguồn trên địa phận Trung Quốc đến dòng chảy hạ lưu sông Đà, sông Thao. *Tạp chí Khoa học Thủy lợi và Môi trường* **2012**, 38(09), 3–8.
4. Linh, B.H.; Phương, T.A. Đánh giá ảnh hưởng của các hồ chứa đến dòng chảy trên sông Đà. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* **2021**, 731, 97–107.
5. Duan, Z.; Bastiaanssen, W.G.M. Estimating water volume variations in lakes and reservoirs from four operational satellite altimetry databases and satellite imagery data. *Remote Sens. Environ.* **2013**, 134, 403–416.

6. Nguyen, N.T.; Du, T.L.T., Park, H.; Chang, C.H., Choi, S.; Chae, H.; Lee, H. Estimating the impacts of ungauged reservoirs using publicly available streamflow simulations and satellite remote sensing. *Remote Sens.* **2023**, *15*(18), 4563.
7. Condeça, J.; Nascimento, J.; Barreiras, N. Monitoring the storage volume of water reservoirs using Google Earth Engine. *Water Resour. Res.* **2022**, *58*(3), e2021WR030026.
8. Gourgouletis, N.; Bariamis, G.; Anagnostou, M. N.; Baltas, E. Estimating reservoir storage variations by combining Sentinel-2 and 3 measurements in the Yliki Reservoir, Greece. *Remote Sens.* **2022**, *14*(8), 1860.
9. Ghanbari, R.; Tayfehrostami, A.; Forouzanfar, M.; Tashakori, M. Using optical satellite images and satellite altimetry data to estimate volume variations in dams. *ISPRS Ann. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.* **2024**, *48*, 189–196.
10. Eyler, B.; Basist, A.; Carr, A.; Williams, C. Mekong dam monitor: Methods and processes. **2020**. Available online: <https://www.stimson.org/2020/mekong-dam-monitor-methods-and-processes/>.
11. Avisse, N.; Tilmant, A.; Müller, M.F.; Zhang, H. Monitoring small reservoirs' storage with satellite remote sensing in inaccessible areas. *Hydrol. Earth Syst. Sci.* **2017**, *21*(12), 6445–6459.
12. Zhang, S.; Gao, H.; Naz, B.S. Monitoring reservoir storage in South Asia from multisatellite remote sensing. *Water Resour. Res.* **2014**, *50*(11), 8927–8943.
13. Ouma, Y.O. Evaluation of multiresolution digital elevation model (DEM) from real-time kinematic GPS and ancillary data for reservoir storage capacity estimation. *J. Hydrol.* **2016**, *3*(2), 16.
14. Cao, S.; You, R.; Li, X.; Jia, J.; Wang, J.; Liu, Y. A novel approach for estimating the capacity of ungauged small reservoirs using remote sensing and DEM. *Hydrol. Res.* **2022**, *53*(7), 1001–1016.
15. Du, T.L.; Lee, H.; Bui, D.D.; Graham, L.P.; Darby, S.D.; Pechlivanidis, I.G.; Hwang, E. Streamflow prediction in highly regulated, transboundary watersheds using multi-basin modeling and remote sensing imagery. *Water Resour. Res.* **2022**, *58*(3), e2021WR031191.
16. Amitrano, D.; Martino, G.D.; Iodice, A.; Mitidieri, F.; Papa, M.N.; Riccio, D.; Ruello, G. Sentinel-1 for monitoring reservoirs: A performance analysis. *Remote Sens.* **2014**, *6*(11), 10676–10693.
17. Valadão, L. V., Cicerelli, R. E., de Almeida, T., Ma, J. B. C., & Garnier, J. Reservoir metrics estimated by remote sensors based on the Google Earth Engine platform. *Remote Sens. Appl.: Soc. Environ.* **2021**, *24*, 100652.
18. Hoàng, T.T.; Nguyễn, H.S.; Nguyễn, Q.K.; Nguyễn, L.B. Tính toán mực nước và dung tích hồ chứa từ ảnh vệ tinh. *Tap chí Khoa học Kỹ thuật Thủy lợi và Môi trường* **2020**, *71*, 116-123.
19. Hùng, Đ.X.; Thành, H.T.; Lân, H.T.; Tuấn, N.V. Ứng dụng công nghệ viễn thám xây dựng, kiểm đếm nguồn nước cho các hồ chứa Việt Nam. *Tap chí Khoa học và Công nghệ Thủy lợi* **2021**, *68*, 1–8.
20. Goh, T.Y.; Basah, S.N.; Yazid, H.; Safar, M.J.A.; Saad, F.S.A. Performance analysis of image thresholding: Otsu technique. *Meas.: Sens.* **2018**, *114*, 298–307.
21. Tran, K.H.; Menenti, M.; Jia, L. Surface water mapping and flood monitoring in the Mekong Delta using sentinel-1 SAR time series and Otsu threshold. *Remote Sens.* **2022**, *14*(22), 5721.
22. Gorelick, N.; Hancher, M.; Dixon, M.; Ilyushchenko, S.; Thau, D.; Moore, R. Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. *Remote Sens. Environ.* **2017**, *202*, 18–27.

23. Tamiminia, H.; Salehi, B.; Mahdianpari, M.; Quackenbush, L.; Adeli, S.; Brisco, B. Google Earth Engine for geo-big data applications: A meta-analysis and systematic review. *ISPRS J. Photogramm. Remote Sens.* **2020**, *164*, 152–170.
24. Jiang, H.; Wang, M.; Hu, H.; Xu, J. Evaluating the performance of Sentinel-1A and Sentinel-2 in small waterbody mapping over urban and mountainous regions. *Water J.* **2021**, *13*(7), 945.
25. Carreño Conde, F.; De Mata, M.M. Flood monitoring based on the study of Sentinel-1 SAR images: The Ebro River case study. *Water J.* **2019**, *11*(12), 2454.
26. Liu, Y. Study on automatic threshold selection algorithm of sensor images. *Physics Procedia.* **2012**, *25*, 1769–1775.
27. Donchyts, G.; Schellekens, J.; Winsemius, H.; Eisemann, E.; Van de Giesen, N. A 30 m resolution surface water mask including estimation of positional and thematic differences using landsat 8, srtm and openstreetmap: a case study in the Murray-Darling Basin, Australia. *Remote Sens.* **2016**, *8*(5), 386.

Application of the Otsu algorithm on the Google Earth Engine platform for monitoring the operation of reservoirs in the Da river basin outside Vietnam from satellite imagery

Tran Manh Cuong^{1*}, Nguyen Tien Giang², Tran Anh Phuong¹, Nguyen Anh Duc¹

¹ Water Resources Institute, Ministry of Natural Resources Environment; manhcuongkt11@gmail.com; phuongtran.monre@gmail.com; nganhduc@yahoo.com;

² VNU University of Science, Vietnam National University, Hanoi; giangnt@vnu.edu.vn

Abstract: In recent years, the system of reservoirs constructed upstream of the Da River, located outside Vietnam's territory, has significantly altered the natural flow regime of the river, impacting forecasting, reservoir operation, and water resource management in the basin. Therefore, studying the operation of these reservoirs is essential. Recent advances in remote sensing technology have enabled relatively effective monitoring of these external reservoirs. This paper presents a modern method for monitoring reservoirs located outside the territory using a combination of the Otsu algorithm and remote sensing technology on the Google Earth Engine platform to rapidly assess changes in water surface area, capacity, and water levels. Validation results from two reservoirs in Vietnam have demonstrated that the proposed method is capable of effectively monitoring changes in reservoir conditions. When applied to the reservoirs located outside the territory on the Da River from 2018 to 2023, the study identified the fundamental operational patterns of these reservoirs. Specifically, the reservoirs typically accumulate water from July to December and release water from January to June. The findings of this study will serve as an important foundation for determining the operational processes of these reservoirs located outside the territory and integrating these processes into flow forecasting models for transboundary inflows into Vietnam.

Keywords: Da river; Reservoir; Remote sensing; Google Earth Engine; Otsu.

Bài báo khoa học

Xây dựng hệ thống cảnh báo, dự báo xâm nhập mặn tỉnh Nam Định

Dương Văn Hưng¹, Vũ Thị Hoà^{1*}, Trần Văn Giáp¹, Đoàn Quang Trí², Trần Thị Thu Thảo³

¹ Đài Khí tượng Thủy văn tỉnh Nam Định; hungkttv@gmail.com; vuhoakhtn@gmail.com; trangiap2010@gmail.com

² Trung tâm Thông tin và Dữ liệu khí tượng thủy văn; doanquangtrikttv@gmail.com

³ Trường Đại học Tài nguyên và Môi trường Thành Phố Hồ Chí Minh; ttthao@hcmunre.edu.vn

*Tác giả liên hệ: vuhoakhtn@gmail.com; Tel.: +84-973121678

Ban biên tập nhận bài: 25/8/2024; Ngày phản biện xong: 14/10/2025; Ngày đăng bài: 25/2/2025

Tóm tắt: Nghiên cứu xây dựng và hoàn thiện hệ thống dự báo, cảnh báo xâm nhập mặn gây ra tại tỉnh Nam Định. Hệ thống cảnh báo, dự báo được xây dựng dựa trên phương pháp mô hình hóa kết hợp với hiện thị kết quả dựa trên công nghệ GIS. Hệ thống đã được đưa vào sử dụng dự báo, cảnh báo xâm nhập mặn từ tháng 01 đến tháng 04 năm 2024. Kết quả cho thấy hệ thống chạy khá ổn định, số liệu cập nhật liên tục, đầy đủ. Kết quả dự báo được so sánh với thực đo cho thấy phạm vi và giá trị nồng độ mặn xâm nhập mặn đạt kết quả tốt. Hệ thống đưa ra bản đồ rủi ro do xâm nhập mặn chi tiết đến cấp xã với tần suất kiệt $P = 90\%$ và $P = 95\%$. Kết quả tính toán thể hiện với kịch bản tần suất $P = 95\%$ cho thấy số lượng các xã bị ảnh hưởng với cấp rủi ro cao và rất cao tăng (3 xã cấp độ rủi ro cao và 12 xã cấp độ rủi ro rất cao). Theo thang chia cấp độ rủi ro thì nồng độ mặn tương ứng cấp rủi ro này chỉ thích hợp khai thác sử dụng nước cho nông nghiệp, không đảm bảo cho nước sinh hoạt. Hệ thống dự báo, cảnh báo xâm nhập mặn này sẽ là bộ công cụ hữu hiệu giúp Đài Khí tượng Thủy văn tỉnh Nam Định thực hiện công tác dự báo, cảnh báo sớm xâm nhập mặn có thể xảy ra trên địa bàn tỉnh. Hệ thống này còn có thể được sử dụng làm cơ sở lý thuyết áp dụng cho những vùng ven biển khác.

Từ khóa: Hệ thống cảnh báo, dự báo; Xâm nhập mặn; Nam Định.

1. Giới thiệu

Biến đổi khí hậu hiện nay, các hiện tượng thiên tai xảy ra ngày càng bất thường, diễn biến khó lường. Trước thực trạng đó, con người không ngừng tìm tòi biện pháp, học hỏi phòng chống, thích ứng với nó [1, 2]. Trong nghiên cứu dự báo, cảnh báo các hiện tượng thời tiết nguy hiểm, việc ứng dụng các công nghệ mới nhằm nâng cao năng lực tính toán, ứng phó với thiên tai là hết sức cần thiết. Với công nghệ hiện đại ngày càng phát triển, hệ thống cảnh báo, dự báo thời tiết nguy hiểm cũng được phát triển nhiều hơn. Nghiên cứu [3] đã xây dựng được phần mềm dự báo, lũ, xâm nhập mặn sông Cửu Long sử dụng bộ mô hình MIKE 11 và MIKE 11 - GIS hiện thị kết quả dự báo độ mặn lên Google Earth gồm: (1) khối dữ liệu, (2) khối giám sát, (3) khối dự báo, (4) khối xuất bản tin trong đó khối dự báo sẽ bao gồm 2 modul điều khiển và chạy mô hình MIKE 11 và MIKE 11 - GIS (Hình 1). Kết quả mô phỏng và thử nghiệm chỉ ra rằng công cụ phần mềm có khả năng dự báo tương đối tốt về mặt xu thế giữa đường quá trình mực nước thực đo và tính toán. Kết quả phân bố nê-mặn trong sông tương đối phù hợp với kết quả thực đo tại các trạm. Kết quả dự báo

mực nước lớn nhất và thực đo dao động từ 7-14 cm. Mức đảm bảo tại các trạm Tân Châu và Châu Đốc khá cao hầu hết là đạt trên 75-78%. Bộ công cụ dự báo được xây dựng trên nền cơ sở ngôn ngữ lập trình hiện đại, có tính mở, có khả năng tích hợp bổ sung và nâng cấp các modul khi cần thiết. Chất lượng thử nghiệm công cụ cho thấy, công cụ dự báo có thể đáp ứng được yêu cầu nghiệp vụ dự báo khí tượng thủy văn quốc gia.



Hình Error! No text of specified style in document.. Sơ đồ phần mềm điều khiển mô hình MIKE 11 và MIKE 11 - GIS.

Nhóm nghiên cứu Viện Công nghệ Nano (INT) thuộc Đại học Quốc gia TP.HCM đã nghiên cứu và sản xuất, lắp đặt hệ thống quan trắc và cảnh báo xâm nhập mặn tự động tại các địa phương thuộc vùng Đồng bằng sông Cửu Long như Vĩnh Long, Bến Tre, An Giang [4]. Ưu điểm của hệ thống là không cần lấy mẫu nước thủ công mỗi giờ trong ngày, hệ thống quan trắc và cảnh báo xâm nhập mặn, có thể thay thế cách quan trắc truyền thống, giúp giảm nhân công, cho độ chính xác cao. Theo đó, hệ thống quan trắc và cảnh báo xâm nhập mặn tự động được tích hợp đầu dò cảm biến chuyên dụng để theo dõi và cảnh báo độ mặn của nước trên kênh rạch hoặc cửa biển, nhằm chủ động trong việc tưới tiêu, nuôi trồng thủy hải sản và sinh hoạt. Hệ thống làm việc 24/24, cập nhật thông tin liên tục và đặc biệt là có khả năng kết nối không dây đến các thiết bị ngoại vi như điện thoại di động, máy tính để cảnh báo độ mặn khi vượt ngưỡng. Hệ thống được thiết kế có phần phao và cảm biến có thể thả nổi trên mặt nước. Ngoài quan trắc liên tục độ mặn, hệ thống còn đo được nhiệt độ của nước. Dữ liệu đo đạc được ghi trực tiếp và liên tục vào máy tính, có thể truy cập dữ liệu từ xa qua mạng Internet thông qua Web Server. Khi các thông số vượt ngưỡng, hệ thống tự động gửi tin nhắn cảnh báo trên máy tính hoặc điện thoại. Hệ thống cũng kích hoạt tự động máy bơm thông qua kết nối không dây khi độ mặn nhỏ hơn mức ngưỡng. Toàn bộ hệ thống được vận hành từ nguồn năng lượng mặt trời có sẵn trên hệ thống.

Ngoài ra, các nghiên cứu đánh giá được thực trạng xâm nhập triều, mặn khu vực đồng bằng sông Hồng - Thái Bình [5], sông Mã [6, 7]; xây dựng chương trình dự báo XNM cho khu vực sông Mã và cơ sở dữ liệu và công nghệ dự báo xâm nhập mặn (XNM). Nghiên cứu đánh giá, phân vùng XNM dựa trên cơ sở công nghệ viễn thám đa tầng, đa độ phân giải, đa thời gian, ứng dụng thí điểm cho tỉnh Bến Tre [8]. Kết quả nghiên cứu đã xây dựng được bản đồ phân vùng XNM, mức độ, diễn biến XNM của tỉnh Bến Tre với các cấp độ mặn từ: Không mặn, mặn nhẹ, mặn vừa đến mặn nặng. Trong đó các huyện ven biển như: Bình Đại, Thạnh Phú, Ba Tri có mức độ từ vừa đến nặng. Nghiên cứu ứng dụng công nghệ viễn thám trong nghiên cứu XNM là một phương pháp có thể đánh giá nhanh, hiệu quả diễn biến XNM qua các thời kỳ trên một khu vực địa lý rộng lớn. Nghiên cứu cơ sở khoa học phân vùng hạn - mặn và đề xuất giải pháp thích ứng cho vùng đồng bằng sông Mã đã chỉ rõ mối quan hệ hạn - mặn theo nhu cầu sử dụng nước và đề xuất các giải pháp theo tư duy vừa thích nghi, vừa phòng chống [7, 9].

Những năm gần đây, do diễn biến bất thường của thời tiết, nhất là ảnh hưởng của biến đổi khí hậu và tác động từ các hoạt động kinh tế - xã hội tại vùng ven biển Nam Định, tỉnh

hình xâm nhập mặn ngày càng nghiêm trọng. Ranh giới xâm nhập mặn ngày càng tiến sâu vào nội đồng cùng với giá trị mặn cũng tăng cao. Theo tổng hợp của Bộ Nông nghiệp và Phát triển nông thôn từ báo cáo của các địa phương, những năm gần đây khu vực ven biển Nam Định đã chịu ảnh hưởng ngày càng mạnh mẽ của xâm nhập mặn. Tình trạng hạn hán, xâm nhập mặn trên địa bàn Nam Định đang tăng cả về tần suất và cường độ. Vào mùa khô thường gặp hạn hán kéo dài, kèm theo triều cường, nước mặn lấn sâu vào các cửa sông lớn từ 30-40 km. Ước tính mỗi năm có trên 11 nghìn ha đất canh tác chân ruộng cao bị thiếu nước và 52 nghìn ha đất trồng lúa của 6 huyện phía nam gặp rất nhiều khó khăn về nước tưới. Có gần 38 nghìn ha đất canh tác của các huyện Giao Thủy, Hải Hậu, Nghĩa Hưng, Xuân Trường, Trực Ninh hàng năm đều bị ảnh hưởng do hạn hán, triều cường và xâm nhập mặn, đe dọa an ninh lương thực và ảnh hưởng đến tài nguyên nước, vệ sinh môi trường. Kết quả khảo sát tại các Công ty Khai thác công trình Thủy lợi Nam Ninh, Xuân Thủy, Hải Hậu, Nghĩa Hưng thấy rằng vụ Đông Xuân năm 2019-2020 mặn xâm nhập sâu vào các triền sông gây rất nhiều khó khăn cho công tác lấy nước [10]. Trên triền sông Hồng mặn lên tới qua cống Số 7 (cách biển 28 km, gần ngã ba sông Ninh Cơ - sông Hồng và đây là cống xa biển nhất của hệ thống thủy nông Xuân Thủy trên triền sông Hồng) với độ mặn lớn nhất đo được ngày 13/01/2020 là 3,75‰, vượt ngưỡng cho phép lấy vào trong đồng là 2,75‰; đã có thời gian mặn xâm nhập qua Mon Rô xuống triền sông Ninh Cơ. Đối với sông Ninh Cơ mặn lên tới cống Trê (cách biển 29 km) với độ mặn lớn nhất đo được ngày 14/01/2020 là 3‰, vượt ngưỡng cho phép lấy vào trong đồng là 2 ‰, Trên triền sông Đáy mặn lên tới cống Tam Tòa (cách biển 35 km) với độ mặn lớn nhất đo được vào ngày 14/01/2020 là 2‰, vượt ngưỡng cho phép lấy vào trong đồng là 1‰ [11–14]. Mục đích nghiên cứu là xây dựng được hệ thống hỗ trợ dự báo, cảnh báo nguy cơ rủi ro xâm nhập mặn khu vực tỉnh Nam Định hỗ trợ cho công tác nghiệp vụ của dự báo viên. Giải pháp công nghệ được xây dựng dựa trên việc lựa chọn kết hợp bộ mô hình MIKE 11 (HD, AD) và GIS để xây dựng hệ thống dự báo cảnh báo nguy cơ rủi ro do xâm nhập mặn gây ra cho tỉnh Nam Định.

2. Số liệu sử dụng và phương pháp nghiên cứu

2.1. Số liệu

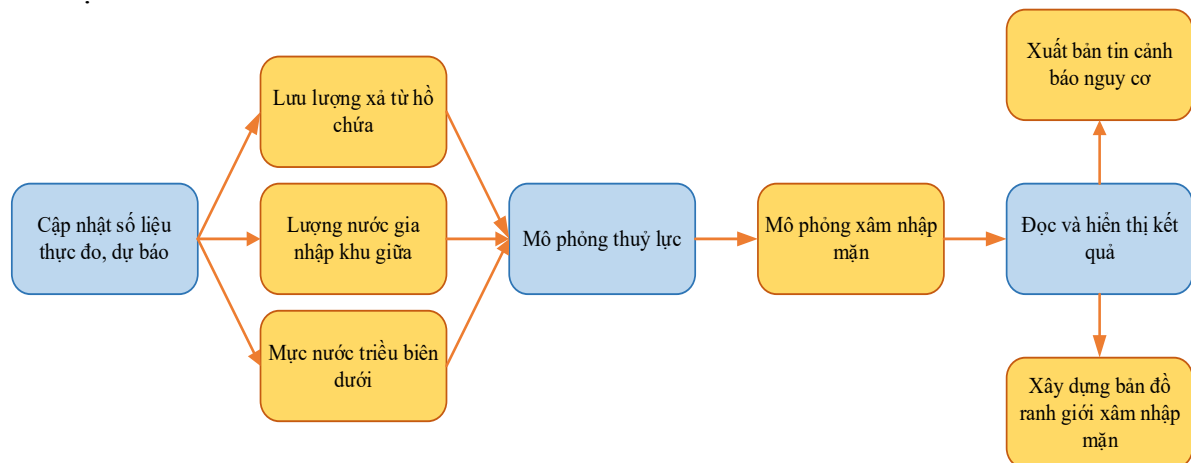
- Số liệu quan trắc các yếu tố mưa, nhiệt độ lưu vực, khu vực dự báo trong thời khoảng đã qua.
- Diễn biến mực nước, lưu lượng các trạm thượng lưu trên lưu vực sông, khu vực dự báo trong thời khoảng đã qua.
- Diễn biến của thủy triều trong lưu vực, khu vực dự báo trong thời khoảng đã qua. Thu thập số liệu quan trắc của các trạm hải văn có ảnh hưởng đến khu vực dự báo, cảnh báo.
- Thu thập thông tin, dữ liệu vận hành hồ chứa và các công trình thủy lợi thuộc khu vực dự báo và lân cận.
- Thu thập số liệu đo mặn tại các trạm đo mặn trên lưu vực, khu vực dự báo và lân cận.
- Thông tin, kế hoạch dự kiến nhu cầu sử dụng nước trên lưu vực, khu vực dự báo, cũng như nhu cầu sử dụng nước trong nông nghiệp, thủy sản và các hoạt động kinh tế - xã hội khác.
- Bản tin dự báo xâm nhập mặn cung cấp cho chính quyền địa phương các xã huyện chịu ảnh hưởng.

2.2. Phương pháp nghiên cứu

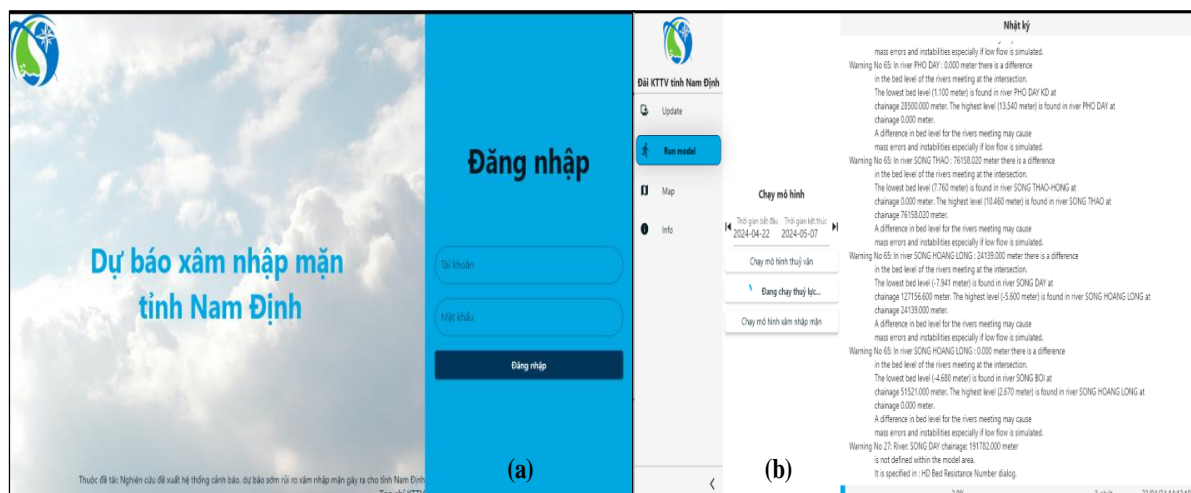
Hệ thống cảnh báo, dự báo rủi ro xâm nhập mặn tỉnh Nam Định được xây dựng dựa trên việc kết hợp bộ mô hình MIKE 11 (HD, AD) và công nghệ GIS đã được hiệu chỉnh - kiểm định bộ thông số phù hợp với khu vực nghiên cứu, kết quả mô phỏng nồng độ mặn được tính toán từ mô hình sẽ được hiển thị dưới dạng bản đồ trực quan nhờ công nghệ GIS [15, 16]. Nghiên cứu ứng dụng ngôn ngữ lập trình Python và Dart để xây dựng hệ thống

cảnh báo, dự báo: Ngôn ngữ lập trình Python sửa và loại bỏ dữ liệu không chính xác, hay còn được gọi là làm sạch dữ liệu; trích xuất và chọn lọc các đặc điểm đa dạng của dữ liệu; ghi nhãn dữ liệu gắn tên có ý nghĩa cho dữ liệu; tìm các số liệu thống kê khác nhau từ dữ liệu; trực quan hóa dữ liệu bằng cách sử dụng các biểu đồ và đồ thị; theo dõi lỗi trong mã của phần mềm; tự động xây dựng phần mềm; đảm nhận quản lý dự án phần mềm; phát triển nguyên mẫu phần mềm. Ngôn ngữ lập trình Dart sử dụng để xây dựng giao diện người dùng và hiển thị kết quả hệ thống cảnh báo, dự báo xâm nhập mặn cho khu vực nghiên cứu. Giao diện người sử dụng (tiếng Anh: User Interface, viết tắt: UI) là điểm tương tác và giao tiếp giữa người và máy tính trong một thiết bị. Điều này có thể bao gồm màn hình hiển thị, bàn phím, chuột và sự xuất hiện của máy tính để bàn. Đó cũng là cách mà người sử dụng tương tác với một ứng dụng hoặc trang web. Bên cạnh đó, sự phụ thuộc ngày càng nhiều của doanh nghiệp vào các ứng dụng web, ứng dụng di động, mạng xã hội đã khiến nhiều công ty đặt ưu tiên cao hơn cho UI trong nỗ lực cải thiện trải nghiệm chung của người dùng [17–24].

Việc dự báo, cảnh báo xâm nhập mặn được thực hiện theo quy trình kỹ thuật quy định tại Thông tư 25/2022/TT-BTNM quy định về quy trình kỹ thuật dự báo, cảnh báo hiện tượng khí tượng thủy văn nguy hiểm [25] và Căn cứ Quyết định số 18/2021/QĐ-TTg ngày 22 tháng 4 năm 2021 của Thủ tướng Chính phủ quy định về dự báo, cảnh báo, truyền tin thiên tai và cấp độ rủi ro thiên tai [26]. Hệ thống cảnh báo, dự báo xâm nhập mặn được xây dựng với các mô đun cập nhật số liệu mực nước biên triều, lưu lượng xả từ hồ chứa, lượng nước gia nhập khu giữa, mô phỏng thủy lực, mô phỏng xâm nhập mặn, đọc và hiển thị kết quả, xây dựng bản đồ ranh giới xâm nhập mặn (Hình 2). Giao diện đăng nhập hệ thống và vận hành hệ thống được thể hiện trên hình 3.



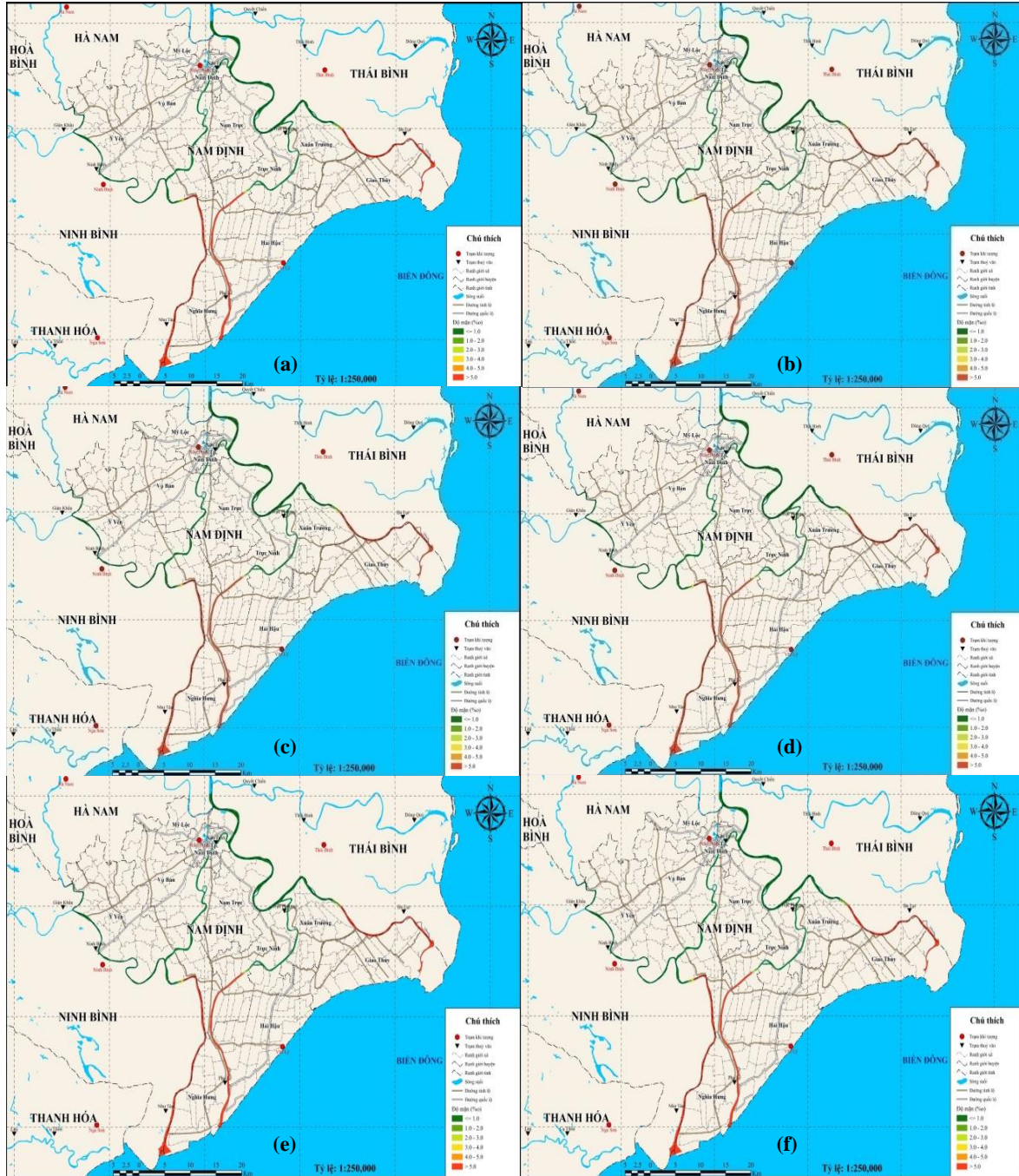
Hình 2. Sơ đồ hệ thống dự báo, cảnh báo xâm nhập mặn tỉnh Nam Định.



Hình 3. (a) Giao diện đăng nhập vào hệ thống, (b) Giao diện hệ thống khi chạy.

3. Kết quả

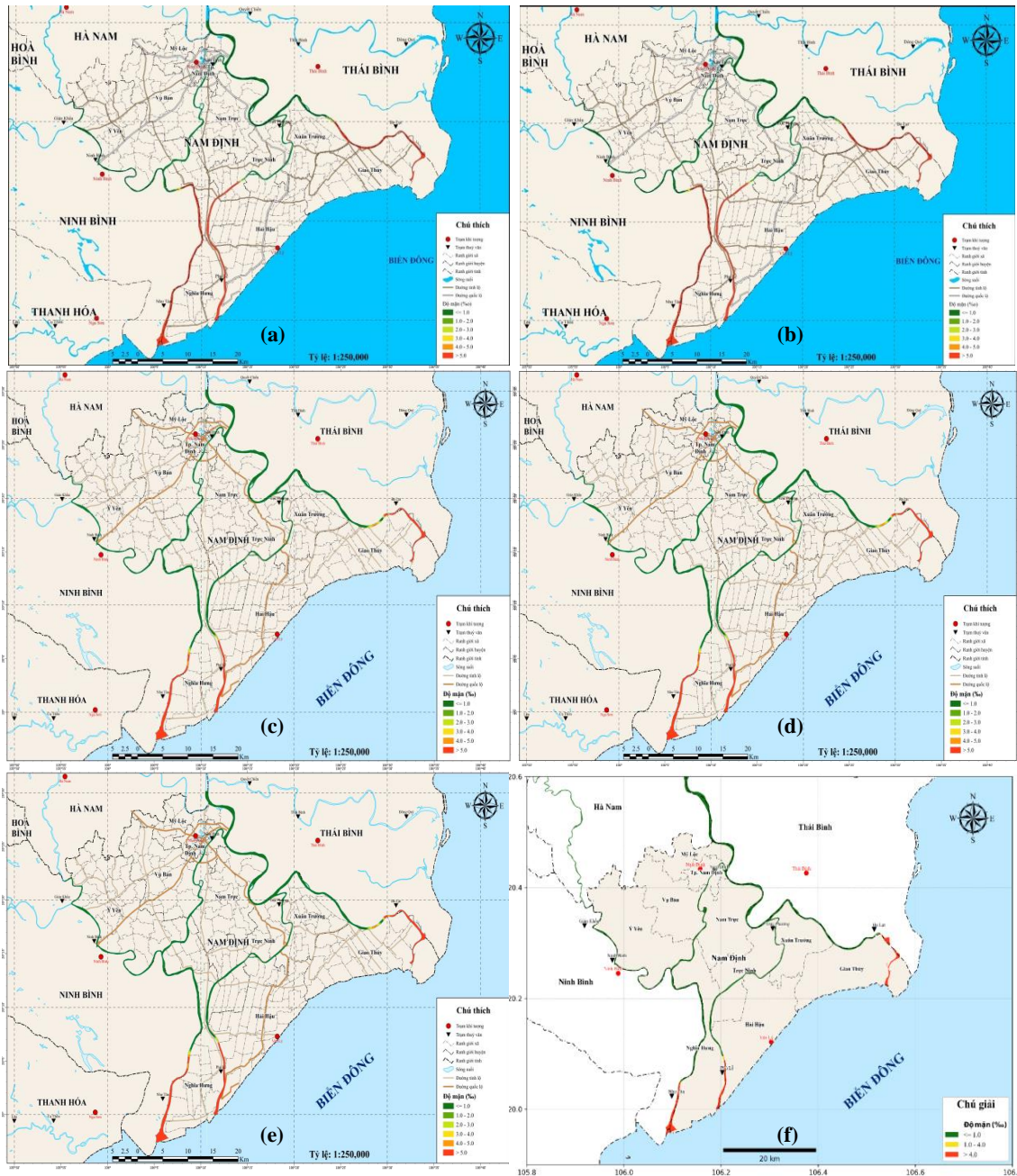
Kết quả chạy thử hệ thống cảnh báo, dự báo xâm nhập mặn từ tháng 01 đến tháng 04 năm 2024. Thời đoạn dự báo, cảnh báo là 10 ngày vào các ngày 01, 10, 20 hàng tháng từ tháng 01 đến 04 năm 2024 được thể hiện trên hình 4, 5.



Hình 4. Bản đồ cảnh báo, dự báo xâm nhập mặn: (a) ngày 01 - 10/01/2024; (b) ngày 11 - 20/01/2024; (c) ngày 21 - 31/01/2024; (d) ngày 01 - 10/02/2024; (e) ngày 11 - 20/02/2024; (f) ngày 21 - 29/02/2024.

Bản đồ cảnh báo, dự báo xâm nhập mặn tỉnh Nam Định từ tháng 01 đến tháng 4 năm 2024 từ hình 4, hình 5 thể hiện trị số và ranh giới xâm nhập mặn giảm dần từ tháng 01 đến tháng 4. Xâm nhập mặn lớn và sâu vào nội đồng tập trung vào tháng 01, 02, 3 đến tháng 4 xâm nhập mặn giảm dần nhưng vẫn còn ở mức cao. Tuần giữa tháng 3 xâm nhập mặn giảm rõ rệt do các hồ chứa phía thượng lưu tăng cường xả nước đổ ải vụ Đông Xuân. So sánh với

giá trị thực đo trong khoảng thời gian trên (Bảng 1) cho thấy hệ thống chạy ổn định, kết quả cảnh báo, dự báo đạt kết quả tốt cả về trị số và thời gian xuất hiện xâm nhập mặn.



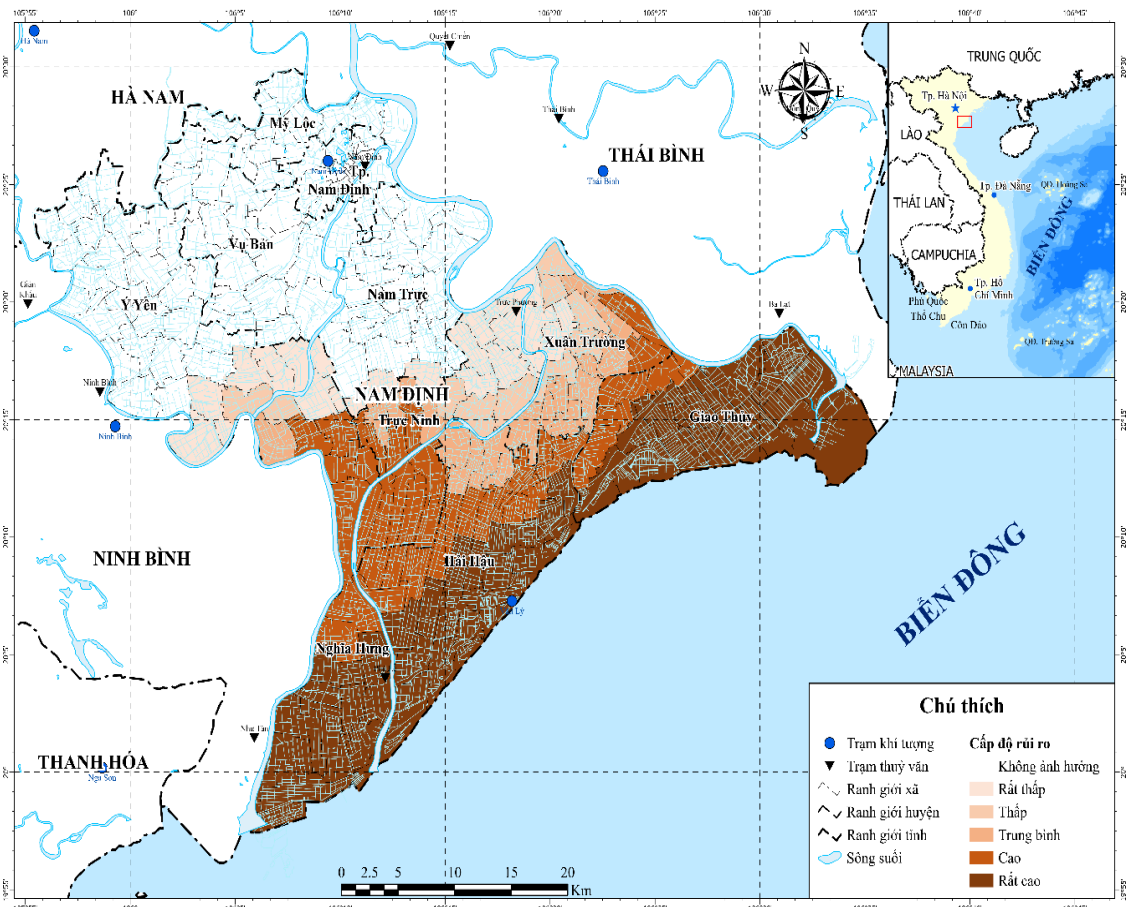
Hình 5. Bản đồ cảnh báo, dự báo xâm nhập mặn: (a) ngày 01 - 10/3/2024; (b) ngày 11 - 20/3/2024; (c) ngày 21 - 31/3/2024; (d) ngày 01 - 10/4/2024; (e) ngày 11 - 20/4/2024; (f) ngày 21 - 30/4/2024.

Bảng 1. Bảng kết quả cảnh báo dự báo và thực đo xâm nhập mặn từ tháng 01 đến tháng 4 năm 2024 tại tỉnh Nam Định.

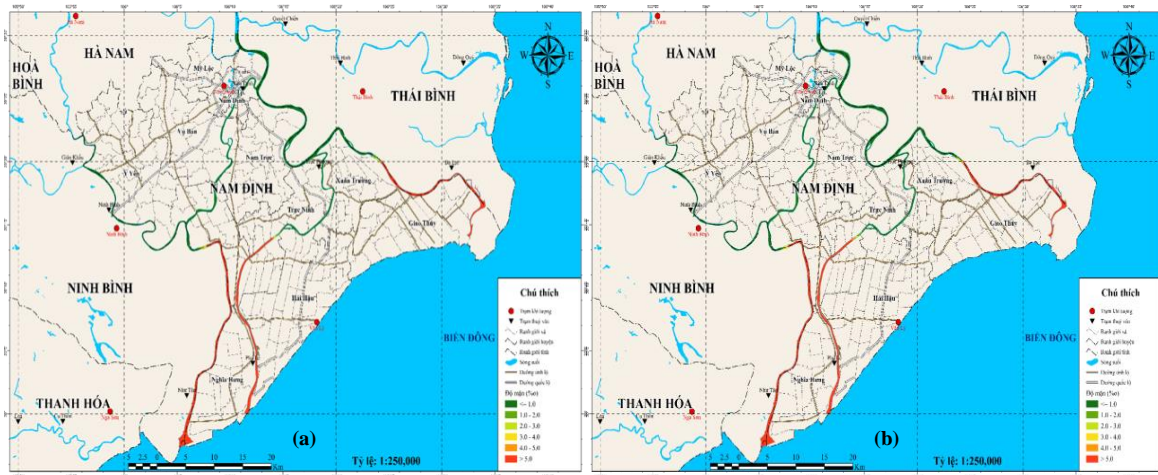
Tên điểm dự báo, cảnh báo	Độ mặn max (%)		Thời gian xuất hiện		Khoảng cách chịu độ mặn 1 ⁰ / ₀₀ (km)		Khoảng cách chịu độ mặn 4 ⁰ / ₀₀ (km)	
	Dự báo	Thực đo	Dự báo	Thực đo	Dự báo	Thực đo	Dự báo	Thực đo
Phú Lễ	29	28,93	12 - 13/01	13/01	20 - 25		15-20	
Ngô Đồng	15	13,20	11 - 13/01	13/01	25 - 30		20-25	
Như Tân	22,5	24,88	12 - 14/01	13/01	30 - 35		20 - 25	
Phú Lễ	27	29,20	24 - 26/01	25/01	20 - 25		15-20	
Ngô Đồng	6	4,20	24 - 26/01	23/01	25 - 30		20-25	
Như Tân	12	10,33	24 - 26/01	25/01	30 - 35		20 - 25	
Phú Lễ	30	29,83	07 - 09/2	09/2	20 - 25		15-20	

Tên điểm dự báo, cảnh báo	Độ mặn max (%)		Thời gian xuất hiện		Khoảng cách chịu độ mặn 1 ⁰ / ₀₀ (km)		Khoảng cách chịu độ mặn 4 ⁰ / ₀₀ (km)	
	Dự báo	Thực đo	Dự báo	Thực đo	Dự báo	Thực đo	Dự báo	Thực đo
Ngô Đồng	14	13,50	07 - 09/2	09/2	25 - 30		20-25	
Như Tân	18	20,08	07 - 09/2	09/2	30 - 35		20 - 25	
Phú Lễ	8	7,05	15 - 16/02	15/02	20 - 25		15-20	
Ngô Đồng	12	13,20	15 - 16/02	15/02	25 - 30		20-25	
Như Tân	7	5,93	15 - 16/02	15/02	20 - 25		15 - 20	
Phú Lễ	25	23,58	21 - 22/02	22/02	20 - 25		15-20	
Ngô Đồng	12	15,80	21 - 22/02	22/02	25 - 30		20-25	
Như Tân	9	7,80	21 - 22/02	22/02	20 - 25		15 - 20	
Phú Lễ	28	32,60	14 - 16/3	15/3	20 - 25		15-20	
Ngô Đồng	12	14,50	14 - 16/3	15/3	25 - 30		20-25	
Như Tân	15	18,08	14 - 16/3	15/3	25 - 30		15 - 20	
Phú Lễ	21	20,90	19 - 20/3	20/3	20 - 25		15-20	
Ngô Đồng	12	14,50	19 - 20/3	18/3	25 - 30		20-25	
Như Tân	9	9,30	18 - 20/3	20/3			20 - 25	
Phú Lễ	22	22,75	21, 28/3	28/3	20 - 25		15-20	
Ngô Đồng	12		21, 28/3	28/3	25 - 30		20-25	
Như Tân	9	11,30	21, 28/3	28/3			20 - 25	
Phú Lễ	24	15,95	03 -05/4	04/4	15 - 20		20 - 25	
Ngô Đồng	11		03-05/4	04/4	20 - 25		25 - 30	
Như Tân	11	10,25	03-05/4	04/4	20 - 25		25 - 30	
Phú Lễ	8	6,80	28-30/4	30/4	15 - 20		20 - 25	
Ngô Đồng	8		28-30/4	30/4	15 - 20		20 - 25	
Như Tân	10	3,125	28-30/4	30/4	15 - 20		20 - 25	

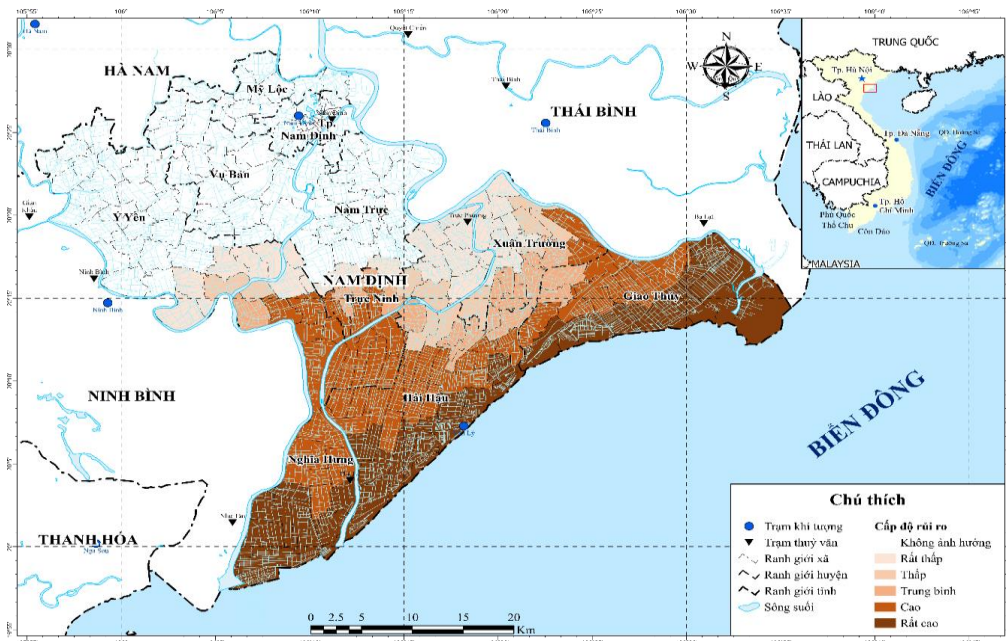
Kết hợp bản đồ nền bao gồm các lớp bản đồ sông suối, giao thông, ranh giới hành chính với bản đồ dự báo, cảnh báo từ hệ thống trên, nghiên cứu xây dựng bản đồ xâm nhập mặn và bản đồ phân vùng nguy cơ rủi ro do xâm nhập mặn gây ra cho tỉnh Nam Định theo tần suất 90% và 95% (Hình 6-8).



Hình 6. Bản đồ phân vùng rủi ro tương ứng với kịch bản P = 95%.



Hình 7. Bản đồ xâm nhập mặn tần suất: (a) 90%, (b) 95%.



Hình 8. Bản đồ phân vùng rủi ro tương ứng với kịch bản P = 90%.

Kết quả thống kê các xã chịu ảnh hưởng theo các cấp rủi ro xâm nhập mặn theo kịch bản tần suất 95% và 90% thể hiện trong bảng 2 và bảng 3. Kết quả cho thấy nguy cơ rủi ro do xâm nhập mặn tập trung chủ yếu ở 3 huyện: Hải Hậu, Giao Thủy, Nghĩa Hưng. Theo kịch bản tần suất kiệt $P = 90\%$ cho thấy tại huyện Giao Thủy số xã có nguy cơ rủi ro rất cao chiếm 50%, nguy cơ cao chiếm 32%, còn lại 4 xã có nguy cơ thấp và trung bình. Tại huyện Hải Hậu số xã có nguy cơ rủi ro rất cao chiếm 37%, nguy cơ cao chiếm 31%, còn lại 32% xã có nguy cơ thấp và trung bình. Tại huyện Nghĩa Hưng số xã có nguy cơ rủi ro rất cao chiếm 52%, nguy cơ cao chiếm 20%, còn lại 28% xã có nguy cơ trung bình, thấp và rất thấp.

Bảng 2. Bảng thống kê nguy cơ rủi ro do xâm nhập mặn theo kịch bản P = 90%.

Huyện	Không ảnh hưởng	Rất thấp	Thấp	Trung bình	Cao	Rất cao	Tổng
Giao Thủy			2	2	7	11	22
Hải Hậu			5	6	11	13	35
Mỹ Lộc	11						11
Nam Định	25						25
Nam Trực	18	2					20

Huyện	Không ảnh hưởng	Rất thấp	Thấp	Trung bình	Cao	Rất cao	Tổng
Nghĩa Hưng		2	4	1	5	13	25
Trực Ninh		7	3	3	8		21
Vụ Bản	18						18
Xuân Trường		7	5	6	2		20
Ý Yên	26	5	1				32
Tổng	98	23	20	18	33	37	229

Bảng 3. Bảng thống kê nguy cơ rủi ro do xâm nhập mặn theo kịch bản P = 95%.

Huyện	Không ảnh hưởng	Rất thấp	Thấp	Trung bình	Cao	Rất cao	Tổng
Giao Thủy					5	17	22
Hải Hậu				4	13	18	35
Mỹ Lộc	11						11
Nam Định	25						25
Nam Trực	18	2					20
Nghĩa Hưng		2	1	1	7	14	25
Trực Ninh		6	3	3	9		21
Vụ Bản	18						18
Xuân Trường		3	6	9	2		20
Ý Yên	26	5	1				32
Tổng	98	18	11	17	36	49	229

Theo kịch bản tần suất kiệt P = 95% cho thấy số lượng các xã bị ảnh hưởng cấp rủi ro cao và rất cao tăng (3 xã cấp độ rủi ro cao và 12 xã cấp độ rủi ro rất cao). Theo thang chia cấp độ rủi ro thì độ mặn tương ứng cấp rủi ro này chỉ thích hợp khai thác sử dụng nước cho nông nghiệp, không đảm bảo cho nước sinh hoạt.

4. Kết luận

Trong lĩnh vực khí tượng thủy văn tài nguyên nước ở Việt Nam những năm gần đây đã và đang có nhiều tổ chức, cơ quan và nhiều người quan tâm nghiên cứu ứng dụng các ngôn ngữ lập trình thiết kế hệ thống, trang web, bộ công cụ hoàn thiện tích hợp với các nền dữ liệu vệ tinh, công nghệ GIS và các mô hình mô phỏng để nâng cao mức độ dự báo, cảnh báo. Bài báo trình bày kết quả rủi ro xâm nhập mặn với các tần suất kiệt 90%, 95% và sản phẩm vận hành hệ thống cảnh báo, dự báo xâm nhập mặn được xây dựng với các mô đun cập nhật số liệu mực nước biên triều, lưu lượng xả từ hồ chứa, lượng nước gia nhập khu giữa để phục vụ tính toán điều tiết hồ chứa, diễn toán thủy lực, mô phỏng xâm nhập mặn ở khu vực cửa sông khu vực nghiên cứu kết hợp ứng dụng công nghệ hệ thống tin địa lý GIS, từ đó đưa ra các bản đồ cảnh báo, dự báo xâm nhập mặn trong các bản tin cảnh báo nguy cơ xâm nhập mặn cho tỉnh Nam Định. Kết quả vận hành dự báo, cảnh báo thử nghiệm trong khoảng thời gian từ tháng 01 đến tháng 4 năm 2024 cho 3 điểm dự báo là trạm Thủy văn Phú Lễ (S. Ninh Cơ), trạm thủy văn Như Tân (S. Đáy) và cống Ngô Đồng (S. Hồng) khá ổn định, chất lượng dự báo cả về trị số và thời gian xuất hiện đều đạt kết quả tốt.

Đóng góp của tác giả: Xây dựng ý tưởng nghiên cứu: V.T.H., Đ.Q.T.; Lựa chọn phương pháp nghiên cứu: V.T.H., T.T.T.T.; Xử lý và xây dựng bộ công cụ: D.V.H., T.V.G.; Viết bản thảo bài báo: V.T.H., Đ.Q.T.

Lời cảm ơn: Bài báo hoàn thành nhờ vào một phần kết quả của nhiệm vụ khoa học: “Nghiên cứu đề xuất hệ thống cảnh báo, dự báo sớm rủi ro do xâm nhập mặn gây ra tại tỉnh Nam Định”.

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. Trung tâm Cảnh báo và Dự báo tài nguyên nước. Phát triển và thực hiện các giải pháp thích ứng với BĐKH khu vực ven biển Việt Nam. Trung tâm Quy hoạch và Điều tra TNN Quốc gia, 2016.
2. Greenberg, D.A.; Blanchard, W.; Smith, B.; Barrow, E. Climate change, mean sea level and high tides in the Bay of Fundy. *Atmosphere-Ocean* **2012**, 50(3), 261–276.
3. Hải, Đ.V.; Huệ, L.T.; Trí, Đ.Q. Nghiên cứu ứng dụng mô hình hoá xây dựng phần mềm dự báo lũ, xâm nhập mặn sông Cửu Long hiển thị kết quả dự báo mặn lên Google Earth. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* **2020**, 710, 33–42.
4. Hằng, Đ.T. Xây dựng chương trình dự báo xâm nhập mặn đồng bằng sông Hồng - Thái Bình. Đề tài nghiên cứu khoa học cấp Bộ, 2010.
5. Hà, L.T. Xây dựng mô hình dự báo xâm nhập mặn vùng hạ lưu sông Mã, sông Yên tỉnh Thanh Hóa, 2014.
6. Dũng, N.V. An Giang ứng phó với hạn hán và xâm nhập mặn. *Tạp chí Tài nguyên và Môi trường* **2018**, 1, 47–48.
7. Thường, L.T. Nghiên cứu cơ sở khoa học phân vùng hạn - mặn và đề xuất giải pháp thích ứng cho vùng đồng bằng ven biển sông Mã. Luận án Tiến sĩ kỹ thuật, Trường Đại học Thủy lợi, 2020.
8. Dương, V.N. Nghiên cứu chế độ vận hành thích nghi hồ chứa nước Cửa Đạt trong mùa kiệt phục vụ quy hoạch phát triển kinh tế - xã hội tỉnh Thanh Hóa. Luận án Tiến sĩ kỹ thuật, Trường Đại học Thủy lợi, 2017.
9. Trục tuyến: <https://tainguyenmoitruong.gov.vn/linh-vuc-chuyen-nganh/tai-nguyen-nuoc/202210/tinh-hinh-xam-nhap-man-khu-vuc-bac-bo-367FC77/>.
10. Hưng, D.V.; Hòa, V.T.; Giáp, T.V.; Hòa, V.V.; Trí, Đ.Q. Ứng dụng mô hình MIKE 11 mô phỏng quá trình xâm nhập mặn ven biển tỉnh Nam Định. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* **2024**, 759, 75–86.
11. Trục tuyến: <http://namdinh.tv.vn/chinh-tri-xa-hoi/tinh-trang-xam-nhap-man-o-dia-ban-tinh-ngay-cang-phuc-tap-hon>
12. Hòa, P.V. Nghiên cứu, đánh giá và phân vùng xâm nhập mặn trên cơ sở công nghệ viễn thám đa tầng, đa độ phân giải, đa thời gian - Ứng dụng thí điểm tại tỉnh Bến Tre. Viện Địa lý Tài nguyên TP. HCM. Đề tài nghiên cứu khoa học cấp Quốc gia, 2019.
13. Cường, H.V.; Anh, T.N.; Tùng, N.B. Ứng dụng mô hình MIKE 3 mô phỏng xâm nhập mặn sông Ninh Cơ trong điều kiện biến đổi khí hậu và nước biển dâng. *Tạp chí khoa học và thủy lợi* **2020**, 58, 21–32.
14. Chiến, N.Q.; Trịnh, M.V. Ứng dụng mô hình LEACHMOD mô phỏng động thái mặn trong đất lúa tại nông trường Rạng Đông, huyện Nghĩa Hưng, tỉnh Nam Định.
15. Nash, J.E.; Sutcliffe, J.V. River flow forecasting through conceptual models: part I - A discussion of principles. *J. Hydrol.* **1970**, 10(3), 282–290.
16. McCuen, R.H.; Knight, Z.; Cutter, A.G. Evaluation of the Nash-Sutcliffe efficiency Index. *J. Hydrol. Eng.* **2006**, 11, 597–602.
17. Trục tuyến: <https://moitruongxaydungvn.vn/he-thong-canh-bao-som-thien-tai-giai-phap-ky-thuat>
18. Trục tuyến: <https://vsi-international.com/top-10-ngon-ngu-lap-trinh-pho-bien-nhat-2022>
19. Trục tuyến: <https://vsi-international.com/top-10-ngon-ngu-lap-trinh-pho-bien-nhat-2022>
20. Trục tuyến: <https://itguru.vn/blog/rust-la-gi-va-tai-sao-ngon-ngu-lap-trinh-nay-duoc-yeu-thich-den-vay/>
21. Trục tuyến: <https://monre.gov.vn/Pages/cong-nghe-canh-bao-xam-nhap-man.aspx>

22. Trực tuyến: <https://ictvietnam.vn/dbscl-ung-dung-cong-nghe-4-0-du-bao-xam-nhap-man-22772.html>
23. Denmark Hydraulic institute (DHI). MIKE 11 User Manual, DHI, 2014, pp. 90.
24. Trực tuyến:
https://vi.wikipedia.org/wiki/Giao_di%E1%BB%87n_ng%C6%B0%E1%BB%9Di_d%C3%B9ng#:~:text=Giao%20di%E1%BB%87n%20ng%C6%B0%E1%BB%9Di%20s%E1%BB%AD%20d%E1%BB%A5ng,%E1%BB%A9ng%20d%E1%BB%A5ng%20ho%E1%BA%B7c%20trang%20web.
25. Thông tư 25/2022/TT-BTNM quy định về quy trình kỹ thuật dự báo, cảnh báo hiện tượng khí tượng thủy văn nguy hiểm.
26. Quyết định số 18/2021/QĐ-TTg ngày 22 tháng 4 năm 2021 của Thủ tướng Chính phủ quy định về dự báo, cảnh báo, truyền tin thiên tai và cấp độ rủi ro thiên tai.

Establish a warning and forecasting system saltwater intrusion in Nam Dinh province

Duong Van Hung¹, Vu Thi Hoa^{1*}, Tran Van Giap¹, Doan Quang Tri², Tran Thi Thu Thao³

¹ Nam Dinh Provincial Hydrometeorological Center; hungkttv@gmail.com; vuhoakhtn@gmail.com; trangiap2010@gmail.com

² Information and Data Center, Vietnam Meteorological and Hydrological Administration; doanquangtrikttv@gmail.com

³ Ho Chi Minh City University of Natural Resources and Environment; tttthao@hcmunre.edu.vn

Abstract: The study presents the results of the forecast, warnings system by saltwater intrusion in Nam Dinh province. The warning, forecasting system is built based on modeling methods combined with MIKE 11 HD, AD and GIS technology. The system has applied to forecast and warn of saltwater intrusion from January to April 2024. Results show that the system runs quite stably with data updated continuously and fully. The forecast results with actual measurements of the scope and concentration of saltwater intrusion achieved good results. The system provided a detailed risk map due to saltwater intrusion at the commune level with drought frequency $P = 90\%$ and $P = 95\%$. The calculation results show that with the frequency scenario $P = 95\%$, the number of communes affected at high and very high-risk levels increases (three communes at high-risk level and 12 communes at very high-risk level). According to the risk level scale, the salinity corresponding to this risk level is only suitable for water exploitation and use for agriculture, not guaranteed for domestic water use. Saltwater intrusion forecasting, warning system will be an effective toolkit for the Nam Dinh province hydrometeorological station to forecast and warn early that may occur in the province. This system can also be used as a theoretical basis for other coastal areas.

Keywords: Warning, forecast system; Saltwater intrusion; Nam Dinh.

Table of content

- 1** Don, T.V.; Thu, P.T.; Ngoc, P.T.H.; Anh, N.T.L. Proposing criteria for protection and prevention of degradation to sustainably exploit groundwater resources in high mountainous areas and water-scarce regions of North Central Vietnam. *J. Hydro-Meteorol.* **2025**, *770*, 1–13.
- 14** Lan, P.T. Assessing the relationship between land cover changes and natural condition using remote sensing and logistic regression: A case study in Giao Thuy District, Nam Dinh Province. **2025**, *770*, 14–28.
- 29** Minh, N.Q.; Dieu, B.T.; Trung, N.V. Determining cost distance in search and rescue at sea using GIS technology and modeling methods. *J. Hydro-Meteorol.* **2025**, *770*, 29–42.
- 43** Tung, N.B.; Thuy, N.H.; Quyen, L.N.; Tuan, P.H.Q.; Nhung, D.T.H.; Vi, N.T.; Dung, L.D.; Anh, T.N. Assessment of flood risk to socio-economic aspects in Vinh Long Province. *J. Hydro-Meteorol.* **2025**, *770*, 43–57.
- 58** Thao, D.T.P.; Hue, L.M.; Nam, N.N.; Hien, V.T.T.; Vy, N.K. Monitoring the land use/ land cover at Can Gio biosphere reserve using random forest algorithm on cloud computing platform. *J. Hydro-Meteorol.* **2025**, *770*, 58–67.
- 68** Hue, L.T.; Dat, D.T.; Thom, D.T.H.; Thuy, P.T.D.; Lan, N.T.; Hoa, D.T.N.; Huyen, V.T.T. Evaluate the effectiveness of applying the flood warning toolkit in Nam Dinh city due to heavy rain. *J. Hydro-Meteorol.* **2025**, *770*, 68–83.
- 84** Cuong, T.M.; Giang, N.T.; Phuong, T.A.; Duc, N.A. Application of the Otsu algorithm on the Google Earth Engine platform for monitoring the operation of reservoirs in the Da river basin outside Vietnam from satellite imagery. *J. Hydro-Meteorol.* **2025**, *770*, 84–96.
- 97** Hung, D.V.; Hoa, V.T.; Giap, T.V.; Tri, D.Q.; Thao, T.T.T. Establish a warning and forecasting system saltwater intrusion in Nam Dinh Province. *J. Hydro-Meteorol.* **2025**, *770*, 97–107.