

TẠP CHÍ

KHÍ TƯỢNG THỦY VĂN

Vietnam Journal of Hydro - Meteorology

ISSN 2525 - 2208



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

Số 732
12-2021



Q. TÔNG BIÊN TẬP
TS. Đoàn Quang Trí

Trị sự và Phát hành
Đặng Quốc Khánh

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

Giấy phép xuất bản

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

Tòa soạn

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

Chế bản và In tại:

Công ty TNHH Đầu Tư Nông Nghiệp Việt Nam
ĐT: 0243.5624399

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

Giá bán: 25.000 đồng

TẠP CHÍ KHÍ TƯỢNG THỦY VĂN
SỐ 732 - 12/2021

MỤC LỤC

Bài báo khoa học

- 1** Lê Hoàng Tú, Đinh Văn Duy, Lê Hải Trí, Nguyễn Thái An, Huỳnh Vương Thu Minh, Huỳnh Thị Cẩm Hồng, Trần Văn Tý: Phân tích các yếu tố ảnh hưởng đến thay đổi diện tích cù lao Long Khánh, huyện Hồng Ngự, tỉnh Đồng Tháp
- 13** Lê Hoàng Tú, Nguyễn Thị Huyền, Phan Thị Hà, Đặng Nguyễn Đông Phương, Nguyễn Thành Nghĩa, Lê Minh Hải, Nguyễn Duy Liêm, Hoàng Hà Anh, Phạm Gia Điệp, Nguyễn Kim Lợi: Ứng dụng mô hình SWAT phục vụ phân vùng tài nguyên nước mặt và xói mòn đất tại tỉnh Gia Lai
- 28** Nguyễn Thanh Trang, Trần Hồng Lam, Trần Mạnh Cường, Nguyễn Anh Ngọc, Vũ Tiến Thành, Lưu Quang Hải: Ứng dụng mô hình ROMS mô phỏng trường dòng chảy khu vực vịnh Bắc Bộ
- 38** Huỳnh Vương Thu Minh, Nguyễn Thành Tâm, Đái Thị Huỳnh Như, Nguyễn Trường Thành, Trần Văn Tý: Đánh giá hiện trạng chất lượng nước mặt và hiệu quả mô hình canh tác lúa nếp ba vụ ở Bắc Vàm Nao, An Giang
- 49** Nguyễn Thị Mai Lan, Trần Đức Dũng, Châu Nguyễn Xuân Quang, Ngô Ngọc Hoàng Giang, Hồ Văn Hòa, Lưu Văn Tấn: Đánh giá khả năng áp dụng giải pháp thoát nước đô thị bền vững tại khu vực đang đô thị hóa ở huyện Bình Chánh, thành phố Hồ Chí Minh
- 65** Nguyễn Văn Đào, Vũ Thanh Tú, Trần Hồng Thái, Nguyễn Mai Đăng: Nghiên cứu phương pháp đánh giá rủi ro do xâm nhập mặn vùng đồng bằng ven biển Nam Định và Thái Bình
- 79** Nguyễn Cao Đơn, Phạm Thị Nga, Trần Đức Thiện: Xác định các chỉ tiêu kiểm kê tài nguyên nước cho Việt Nam và áp dụng thử nghiệm cho lưu vực sông Ba
- 93** Nguyễn Ngọc Thuận, Trần Văn Tý, Trần Văn Hùng, Huỳnh Thị Cẩm Hồng, Hà Ngọc Nhạn, Trần Hải Lâm, Đinh Văn Duy, Trần Khánh Hải, Trịnh Văn Tuấn, Trần Minh Quảng: Đánh giá hiệu quả của các công trình kè giảm sóng tại bờ biển Tây tỉnh Cà Mau

Bài báo khoa học

Phân tích các yếu tố ảnh hưởng đến thay đổi diện tích cù lao Long Khánh, huyện Hồng Ngự, tỉnh Đồng Tháp

Lê Hoàng Tú¹, Đinh Văn Duy^{2*}, Lê Hải Trí², Nguyễn Thái An², Huỳnh Vương Thu Minh³, Huỳnh Thị Cẩm Hồng², Trần Văn Tỷ²

¹ Sở Nông nghiệp & Phát triển Nông thôn tỉnh Đồng Tháp; tucctldt@gmail.com.

² Khoa Công nghệ, Trường Đại học Cần Thơ; dvduduy@ctu.edu.vn; lehaitri@gmail.com; anb1908310@student.ctu.edu.vn; htchong@ctu.edu.vn; tvty@ctu.edu.vn.

³ Khoa Môi trường & Tài nguyên Thiên nhiên, Trường Đại học Cần Thơ; hvtminh@ctu.edu.vn.

*Tác giả liên hệ: dvduduy@ctu.edu.vn; Tel.: +84-906975999.

Ban Biên tập nhận bài: 13/8/2021; Ngày phản biện xong: 8/9/2021; Ngày đăng bài: 25/12/2021

Tóm tắt: Mục tiêu của nghiên cứu này là sử dụng ảnh viễn thám để quan sát sự thay đổi diện tích và vị trí của cù lao Long Khánh, huyện Hồng Ngự, tỉnh Đồng Tháp dựa theo phân tích các yếu tố ảnh hưởng như hàm lượng bùn cát lơ lửng (SSC), lưu lượng dòng chảy (Q) và vận tốc dòng chảy (V) thông qua đo đạc thực tế. Ảnh Landsat 5, 8 và Sentinel-2 được sử dụng để phân tích hiện trạng thay đổi đường bờ và diện tích bề mặt (A) của cù lao giai đoạn 2000–2021. Các số liệu thứ cấp về hàm lượng bùn cát và lưu lượng dòng chảy được phân tích để tìm mối tương quan giữa các đại lượng này đến sự thay đổi diện tích bề mặt cù lao. Vận tốc dòng chảy đo đạc được so sánh với vận tốc không xói (V_{kx}) của bùn cát cấu tạo bờ sông. Các kết quả phân tích cho thấy các yếu tố hàm lượng bùn cát lơ lửng, lưu lượng và vận tốc dòng chảy đều ảnh hưởng đến sự thay đổi diện tích cù lao. Tại đầu cù lao, vận tốc dòng chảy đang gây ra xói lở. Hiện nay, có rất ít các nghiên cứu về tương quan giữa các yếu tố thủy lực, thủy văn đến sự biến động diện tích của các cù lao ở Đồng bằng sông Cửu Long (ĐBSCL). Do đó, kết quả nghiên cứu này sẽ góp phần bổ sung một phần kiến thức về các yếu tố ảnh hưởng đến sự biến động của các cù lao trên các hệ thống sông của ĐBSCL.

Từ khóa: Cù lao Long Khánh; Đường bờ; Ảnh Landsat; Bùn cát lơ lửng; Lưu lượng; Vận tốc dòng chảy.

1. Mở đầu

Đồng bằng sông Cửu Long (ĐBSCL) là điểm cuối trong hành trình của dòng Mê Kông trước khi đổ ra biển thông qua hệ thống sông Tiền và sông Hậu [1] với rất nhiều cù lao (bãi giữa) dọc theo sông. Thông thường, các đoạn sông nơi xuất hiện các cù lao có hình dáng phình rộng ở giữa và co hẹp lại ở hai đầu cù lao, giống hình dáng dĩa dày [2]. Cù lao là các vùng đất giữa sông được bồi đắp liên tục bằng trầm tích sông nên rất màu mỡ và đóng góp đáng kể cho sự phát triển kinh tế của các địa phương thông qua các ngành nghề như trồng trọt, thủy sản, du lịch sinh thái. Trong những năm gần đây, dưới tác động của thay đổi dòng chảy do biến đổi khí hậu (BĐKH) và việc xây dựng các đập thượng nguồn, sạt lở nghiêm trọng đang xảy ra trên các cù lao trên hai hệ thống sông Tiền và sông Hậu.

Trên thế giới đã có nhiều nghiên cứu về cù lao trên sông với nhiều cách tiếp cận khác nhau như phân loại hình dạng các cù lao trên sông và tìm ra mối quan hệ giữa việc hình thành

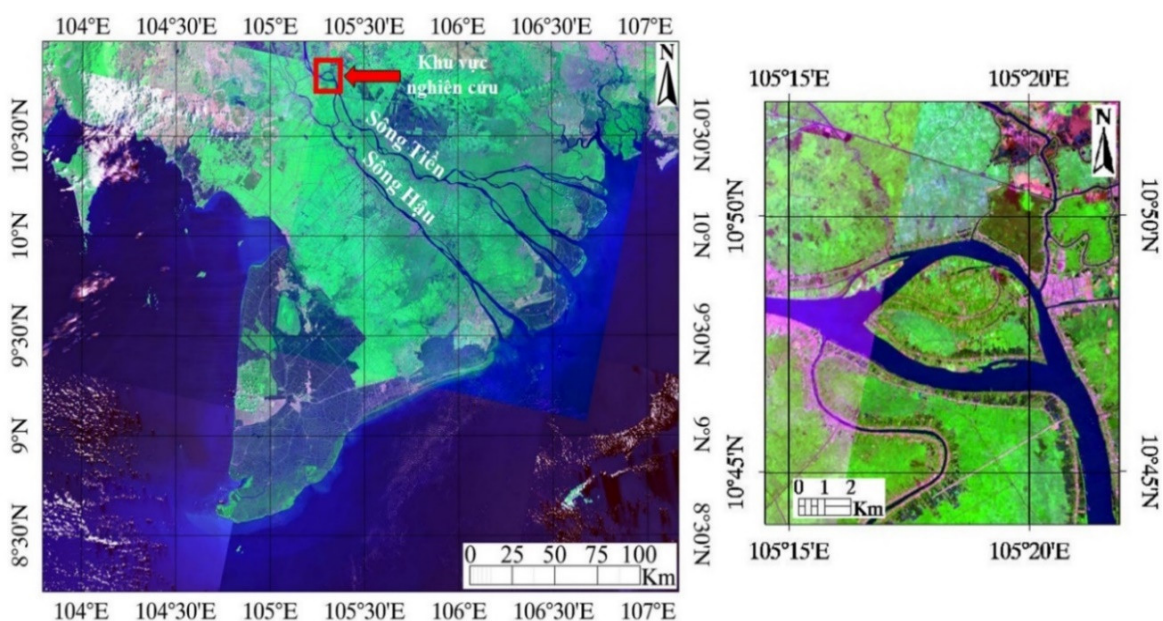
các cù lao với các quá trình thủy động lực học trong sông và trên lưu vực sông [3]. Mô hình số được áp dụng để tính toán tác động của sự thay đổi hình thái cù lao trên sông đến thay đổi đường bờ sông đoạn chảy qua cù lao [4]. Công nghệ viễn thám cũng được áp dụng để phân tích diễn biến diện tích cù lao trên sông nhằm đề ra các giải pháp quản lý bền vững cho các vùng đất cù lao trên sông Dương Tử [5].

Mặc dù các cù lao có ảnh hưởng đến hầu hết mọi khía cạnh của hệ sinh thái sông [6], các nghiên cứu về cù lao trên sông ở khu vực ĐBSCL còn rất hạn chế. Hầu hết các nghiên cứu trước đây chỉ tập trung phân tích sạt lở bờ sông và cù lao chỉ được nhắc đến như một phần trong các nghiên cứu về sạt lở bờ sông trên hai hệ thống sông chính là sông Tiền và sông Hậu, như nghiên cứu ứng dụng nền tảng điện toán đám mây Google Earth Engine (GEE) trong giám sát biến động đường bờ khu vực ĐBSCL [7]; nghiên cứu ứng dụng công nghệ viễn thám và GIS theo dõi biến động đường bờ và đánh giá tình hình sạt lở trên hai hệ thống sông Tiền và sông Hậu giai đoạn 1989–2017 [8]; nghiên cứu nguyên nhân gây gia tăng xói lở bờ sông ở ĐBSCL [9]; nghiên cứu ảnh hưởng của các yếu tố địa chất, thủy văn đến sạt lở bờ sông của các chi lưu như sông Cái Lân (Tiền Giang) [10], sông Cái Vũng (Đồng Tháp) [11], và sông Cái Sắn (Cần Thơ) [12]. Vì những lý do nêu trên, cần thiết phải có một nghiên cứu về các yếu tố ảnh hưởng đến sự xói lở của các cù lao trên sông. Trong nghiên cứu này, diễn biến đường bờ và diện tích bề mặt cù lao Long Khánh trên sông Tiền thuộc huyện Hồng Ngự, tỉnh Đồng Tháp sẽ được theo dõi bằng công nghệ phân tích ảnh viễn thám và các yếu tố ảnh hưởng đến sự thay đổi này sẽ được phân tích và đánh giá.

2. Phương pháp nghiên cứu

2.1. Khu vực nghiên cứu

Cù lao Long Khánh nằm ở phần thượng nguồn của sông Tiền thuộc huyện Hồng Ngự, tỉnh Đồng Tháp. Cù lao có diện tích khoảng 1960 ha (số liệu năm 2001), phân bố từ 105°16' đến 105°22' Đông và từ 10°46' đến 10°50' Bắc (Hình 1). Cù lao nằm trên dòng chảy chính của sông Tiền nên được phù sa bồi đắp rất màu mỡ và là nơi an cư của gần 18 nghìn nhân khẩu với các ngành nghề chính là trồng trọt và nuôi trồng, đánh bắt thủy sản. Với khí hậu trong lành cùng đặc sản đồng quê, du lịch sinh thái cũng là một ngành nghề đang phát triển trên cù lao trong những năm gần đây. Hàng năm, cù lao thu hút rất nhiều du khách trong và ngoài nước đến tham quan.



Hình 1. Khu vực nghiên cứu (tổ hợp SWIR2–NIR–G).

2.2. Số liệu thứ cấp

Số liệu thứ cấp về tình hình sạt lở, địa hình lòng sông và thủy văn (lưu lượng, mực nước, hàm lượng bùn cát lơ lửng) được thu thập từ các nguồn như trình bày trong Bảng 1.

Bảng 1. Số liệu và nguồn số liệu thứ cấp.

STT	Tên số liệu	Thời gian	Nguồn
1	Số liệu sạt lở	2020	Chi cục Thủy lợi tỉnh Đồng Tháp
2	Địa hình lòng sông	2015, 2019	Chi cục Thủy lợi tỉnh Đồng Tháp
3	Thủy văn (lưu lượng, mực nước, SSC)	2000–2020	Trạm Khí tượng Thủy văn Tân Châu

2.3. Giải đoán ảnh viễn thám

Ảnh Landsat 5, 8 và ảnh Sentinel-2 được thu thập để giải đoán đường bờ cù lao Long Khánh và tính toán diện tích bề mặt của cù lao cũng như sự dịch chuyển của cù lao trong các năm. Vì số liệu về thủy lực, thủy văn chỉ thu thập được trong khoảng thời gian từ năm 2000 đến năm 2021 nên các ảnh viễn thám cũng được thu thập trong khoảng thời gian này. Các ảnh Landsat có độ phân giải thấp nên không thể quan sát được diễn biến đường bờ theo từng năm mà được phân tích theo khoảng thời gian cách đều nhau 5 năm. Chi tiết thông số ảnh viễn thám được trình bày như trong Bảng 2. Các ảnh được chọn trong các tháng có cao độ mực nước thấp trong năm [13] để hạn chế ảnh hưởng của dao động mực nước theo mùa.

Bảng 2. Dữ liệu ảnh viễn thám.

Thời gian	Vệ tinh	Bộ cảm	Độ phân giải (m)	Tỷ lệ mây (%)	Hệ tọa độ
26/03/2000	Landsat 5	TM	30	13,00	UTM
19/01/2005	Landsat 5	TM	30	1,00	UTM
27/02/2010	Landsat 5	TM	30	23,00	UTM
21/04/2015	Landsat 8	ETM+	30	0,87	UTM
10/03/2020	Landsat 8	ETM+	30	9,28	UTM
16/03/2020	Sentinel-2	MSI	10	1,20	UTM
15/01/2021	Sentinel-2	MSI	10	0,28	UTM

Chỉ số thực vật (NDVI) được sử dụng để phân tách vùng đất của cù lao với vùng nước bao bọc xung quanh cù lao theo các công thức sau:

Đối với ảnh Landsat 5 [14]:

$$NDVI = \frac{\text{Kênh 4} - \text{Kênh 3}}{\text{Kênh 4} + \text{Kênh 3}} \quad (1)$$

Trong đó kênh 4 là kênh cận hồng ngoại (NIR) và kênh 3 là kênh màu đỏ (RED).

Đối với ảnh Landsat 8 [15]:

$$NDVI = \frac{\text{Kênh 5} - \text{Kênh 4}}{\text{Kênh 5} + \text{Kênh 4}} \quad (2)$$

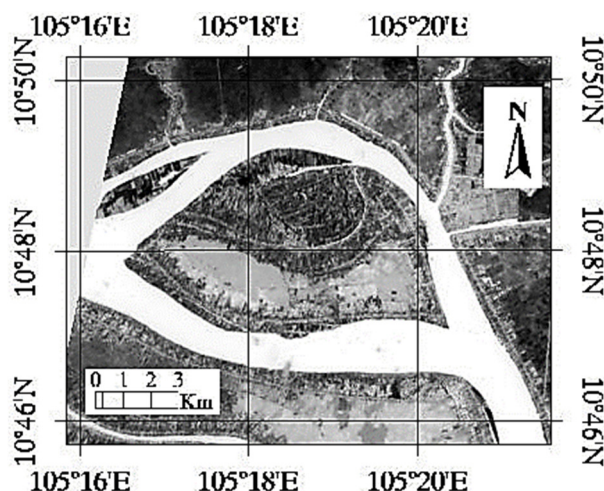
Trong đó kênh 5 là kênh cận hồng ngoại (NIR) và kênh 4 là kênh màu đỏ (RED).

Phần mềm ArcGIS được sử dụng để phân loại ảnh chỉ số thực vật thành vùng đất và nước sử dụng công cụ Reclassify. Dữ liệu raster vùng đất và nước được chuyển thành các Polygon và lưu dưới dạng tập tin .dwg. Kết quả giải đoán đường bờ không được hiệu chỉnh theo số liệu mực nước vì độ phân giải của ảnh Landsat thấp (30 m) nên ảnh hưởng của mực nước đến độ chính xác của kết quả giải đoán là không đáng kể [16]. Kết quả tính chỉ số thực vật NDVI được trình bày như trong Hình 2.

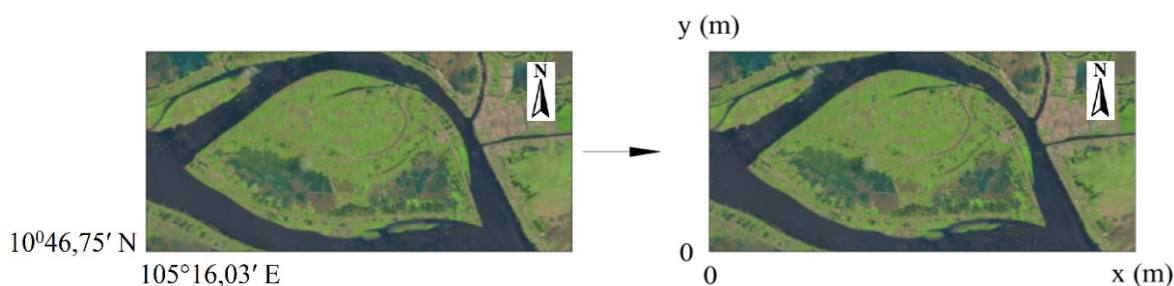
2.4. Phân tích sự thay đổi diện tích và vị trí của cù lao Long Khánh

Để thuận tiện cho việc biểu diễn sự thay đổi vị trí của cù lao Long Khánh, một hệ tọa độ giả định được sử dụng với gốc O (0;0) trùng với điểm có tọa độ (10°46,75' N; 105°16,03' E)

trong hệ tọa độ địa lý toàn cầu WGS-84. Chi tiết việc chuyển đổi hệ tọa độ được thể hiện trên Hình 3.



Hình 2. Chỉ số thực vật (NDVI) dùng để giải đoán đường bờ cù lao Long Khánh.



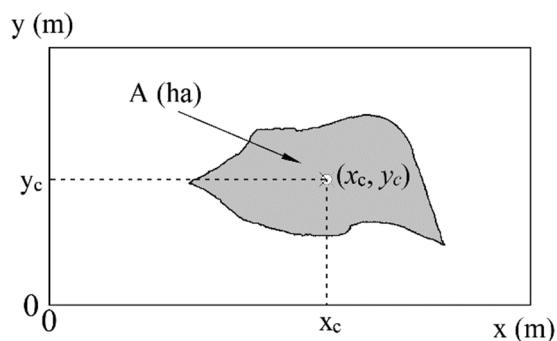
Hình 3. Chuyển đổi hệ trục tọa độ.

Thông thường, sự dịch chuyển của các cù lao trên sông là do xói lở ở đầu cù lao và bồi tụ ở phía đuôi cù lao. Độ dịch chuyển của cù lao Long Khánh được tính theo độ dịch chuyển của trọng tâm diện tích bề mặt của cù lao. Các đường bờ của cù lao qua các năm được lưu dưới dạng tập tin .dwg và diện tích cũng như trọng tâm của các diện tích này được tính toán trong phần mềm AutoCAD. Sự thay đổi diện tích bề mặt hoặc thay đổi vị trí của cù lao Long Khánh được dự báo thông qua mô hình hồi quy tuyến tính theo công thức:

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

Trong đó y biểu diễn đại lượng cần tính toán (diện tích hoặc tọa độ trọng tâm cù lao Long Khánh); t là thời gian (năm), a là vận tốc thay đổi của diện tích hoặc vị trí của cù lao, và b là hằng số.

Sơ họa diện tích bề mặt của cù lao và trọng tâm của diện tích này được thể hiện trên Hình 4. Trong đó diện tích bề mặt cù lao là phần được tô xám và tọa độ trọng tâm diện tích bề mặt cù lao Long Khánh (trọng tâm cù lao) là (x_c, y_c) .



Hình 4. Sơ họa diện tích bề mặt và trọng tâm phần diện tích bề mặt cù lao Long Khánh.

2.5. Khảo sát vận tốc dòng chảy và phân tích mẫu bùn cát đáy

Để có thể xác định ảnh hưởng của vận tốc dòng chảy đến diễn biến xói lở khu vực cù lao, vận tốc dòng chảy tại khu vực cù lao đã được đo đạc trong ngày 16/01/2021. Song song với việc đo đạc vận tốc dòng chảy, các mẫu bùn cát tại các vị trí sạt lở cũng được thu thập và phân tích thành phần hạt theo phương pháp rây sàng và tỷ trọng kế. Dựa vào kích thước hạt trung bình của mẫu bùn cát đáy (d_{50}) và chiều sâu cột nước tại vị trí lấy mẫu (h), vận tốc không xói (V_{kx}) của bùn cát cấu tạo bờ cù lao được xác định dựa vào TCVN 4118:2012 [17].

Thiết bị đo vận tốc dòng chảy MIDAS-ECM được sử dụng để đo vận tốc dòng chảy theo từng thủy trực. Thiết bị MIDAS-ECM được kết nối trực tiếp với máy tính và truyền tín hiệu liên tục về máy tính trong quá trình đo thông qua cáp kết nối dài 30 m.

Thiết bị đo vận tốc dòng chảy, các vị trí đo vận tốc dòng chảy và lấy mẫu bùn cát được thể hiện trong Hình 5. Bùn cát được lấy mẫu tại hai vị trí sạt bờ trái cho mặt cắt MC 1-1 và sạt bờ phải cho mặt cắt MC 2-2.



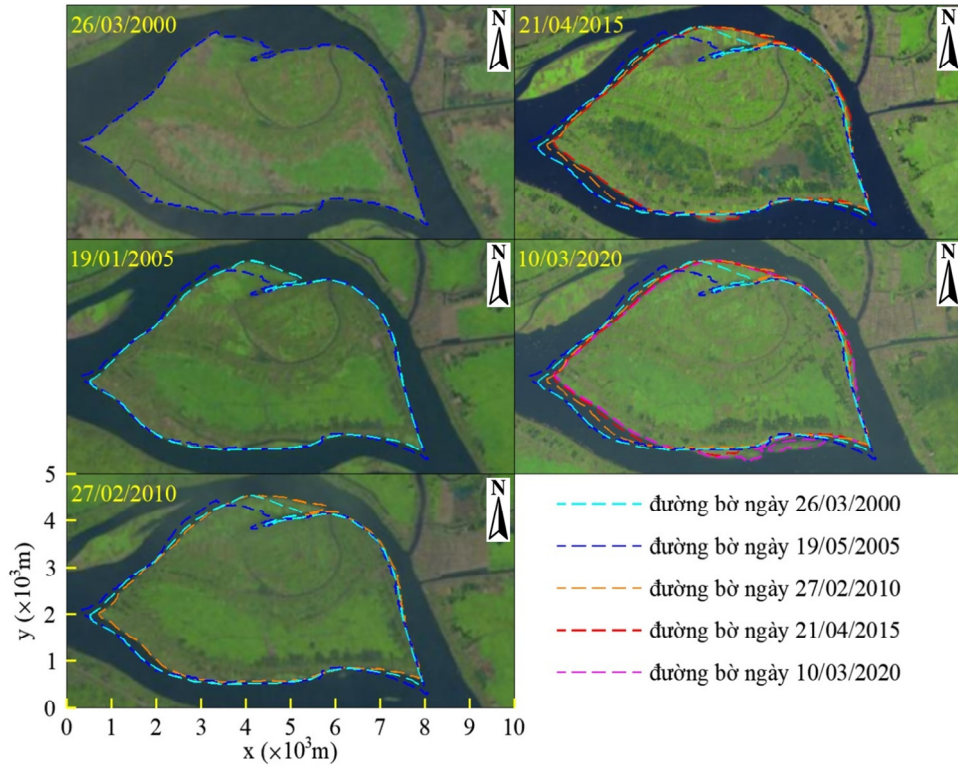
Hình 5. Đo vận tốc dòng chảy và lấy mẫu bùn cát.

3. Kết quả và thảo luận

3.1. Biến động đường bờ của cù lao Long Khánh

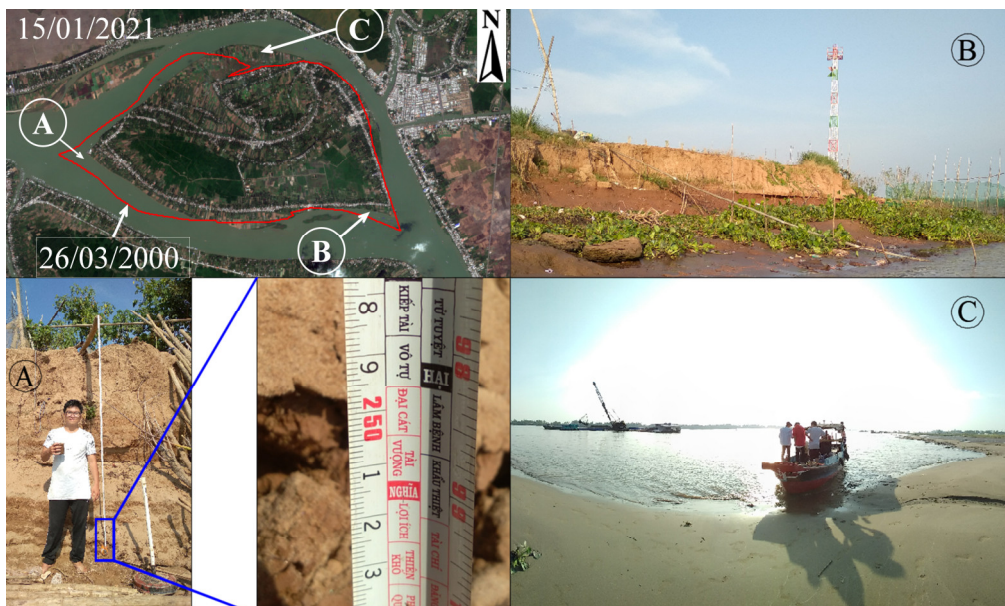
Sự biến động đường bờ cù lao Long Khánh giai đoạn 2000–2020 được biểu diễn trên Hình 6 với hệ trục tọa độ giả định như đã quy ước trong Hình 3. Đường bờ các năm trước được chồng lên các ảnh trong các năm tiếp theo để có thể quan sát sự thay đổi vị trí đường bờ. Có thể nhận thấy, xói lở diễn ra rất mạnh tại đầu cù lao trong khi bồi tụ đang diễn ra tại phía bờ Bắc của cù lao. Diễn biến đường bờ cù lao Long Khánh phù hợp với kết quả khảo sát thực địa ngày 16/01/2021. Thông qua vị trí đường bờ các năm 2000, 2005 và 2015, có thể nhận thấy sự phát triển của một doi cát ở phía Bắc cù lao. Giai đoạn 2000–2005, xói lở đã xảy ra ở đầu cù lao tuy nhiên mức độ xói lở không nghiêm trọng. Trong giai đoạn này, sự

phát triển của doi cát ở phía Bắc cù lao có thể quan sát được một cách rất rõ ràng. Trong giai đoạn 2005–2010, xói lở ở đầu cù lao đã xảy ra với mức độ nghiêm trọng hơn. Doi cát ở phía Bắc cù lao vẫn phát triển với tốc độ như trong giai đoạn trước đó. Trong các năm 2015 và 2020, xói lở vẫn tiếp tục xảy ra ở đầu cù lao và vị trí của doi cát ở phía Bắc cù lao gần như đã ổn định.



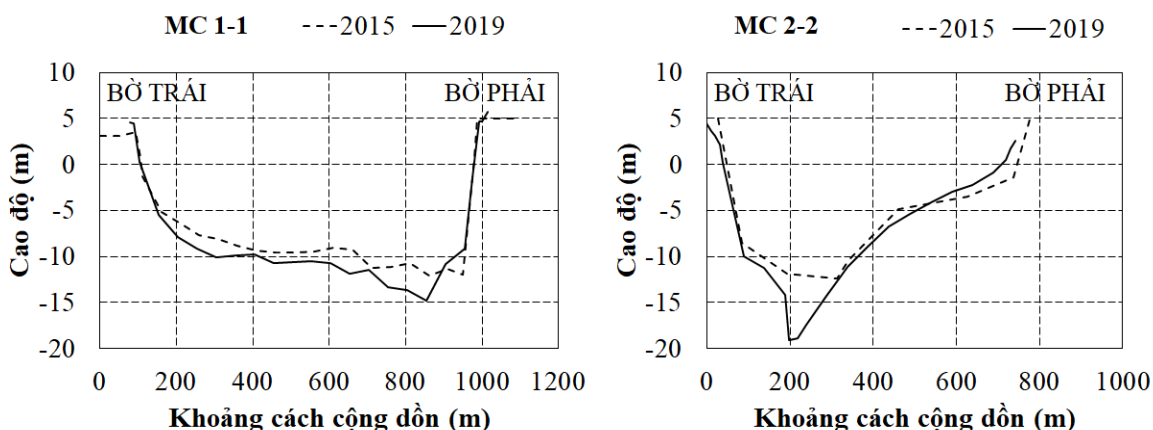
Hình 6. Biến động đường bờ cù lao Long Khánh.

Hiện trạng xói lở và bồi tụ của cù lao Long Khánh trong chuyến khảo sát ngày 16/01/2021 được thể hiện trên Hình 7. Tại các điểm A và B là điểm đầu và đuôi của cù lao, xói lở đang diễn ra rất nghiêm trọng với các vách xói lở thẳng đứng và cao đến 2,5 m tại phía đầu cù lao. Hiện tượng bồi tụ ở phía bờ bắc của cù lao cũng được thể hiện bằng một bãi bồi tại điểm C như trên Hình 7.



Hình 7. Hiện trạng xói lở và bồi tụ tại cù lao Long Khánh.

Mặt cắt lòng dẫn tại vị trí MC 1-1 và MC 2-2 trong các năm 2015 và 2019 được trình bày trên Hình 8. Có thể nhận thấy xói lở đang diễn ra tại bờ trái mặt cắt MC 1-1 và bồi tụ đang diễn ra tại bờ phải của mặt cắt MC 2-2. Điều này phù hợp với kết quả phân tích diễn biến đường bờ bằng ảnh viễn thám như đã trình bày ở trên.



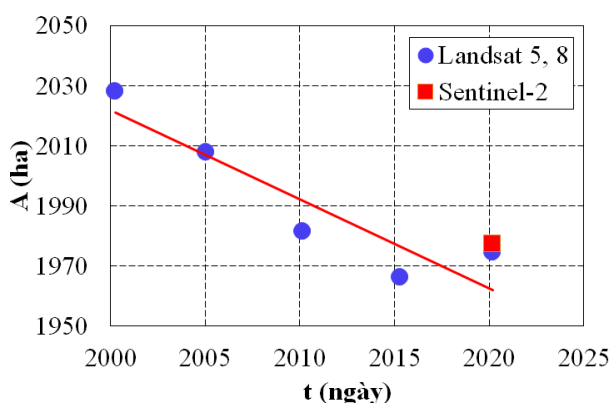
Hình 8. Mặt cắt sông các năm 2015 và 2019.

3.2. Biến động diện tích và sự dịch chuyển của cù lao Long Khánh

Sự biến đổi diện tích cù lao Long Khánh được mô tả trên Hình 9. Diện tích của cù lao được tính bằng ảnh Sentinel-2 (độ phân giải 10 m) cũng được sử dụng để so sánh với diện tích cù lao tính bằng ảnh Landsat 8 (độ phân giải 30 m). Cụ thể, ảnh Sentinel-2 được sử dụng là ảnh chụp ngày 16/03/2020 và chỉ cách 6 ngày so với ảnh Landsat 8 được chụp vào ngày 10/03/2020. Có thể thấy diện tích của cù lao ngày 10/03/2020 được tính bằng ảnh Landsat 8 (1974,59 ha) xấp xỉ diện tích của cù lao ngày 16/03/2020 được tính bằng ảnh Sentinel-2 (1977,25 ha). Như vậy việc sử dụng ảnh Landsat có độ phân giải 30 m để tính toán diện tích cù lao là phù hợp.

Có thể thấy diện tích cù lao có xu hướng giảm từ năm 2000 đến 2020 với vận tốc trung bình là 2,92 ha/năm. Theo phân tích hồi quy tuyến tính [18], diện tích của cù lao giảm theo quy luật:

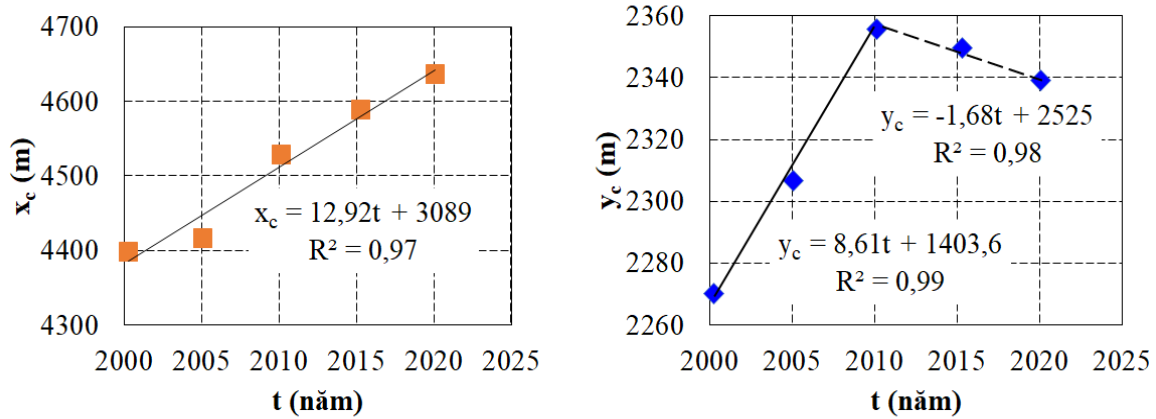
$$A = -2,92 \times t + 2319,4 \quad (4)$$



Hình 9. Thay đổi diện tích cù lao Long Khánh.

Tọa độ trọng tâm (x_c ; y_c) của cù lao Long Khánh trong giai đoạn 2000–2020 được thể hiện trên Hình 10. Trong đó, x_c thể hiện tọa độ trọng tâm của cù lao theo hướng dòng chảy từ Tây sang Đông và y_c thể hiện tọa độ trọng tâm của cù lao theo hướng Nam–Bắc. Theo phương x , có thể thấy cù lao đang dịch chuyển về phía hạ lưu với vận tốc trung bình là 12,92 m/năm. Theo phương y (hướng Nam–Bắc), trọng tâm cù lao có xu hướng dịch chuyển lên phía Bắc với vận tốc trung bình là 8,61 m/năm trong giai đoạn 2000–2010 và có xu hướng đi

chuyên xuống phía Nam với vận tốc trung bình là 1,68 m/năm trong giai đoạn 2010–2020. Điều này có thể giải thích bằng sự hình thành một doi cát phía Bắc cù lao (Hình 6). Trong giai đoạn 2000–2010, doi cát có xu hướng phát triển lên phía Bắc nên kéo trọng tâm của cù lao lên phía Bắc. Tuy nhiên, doi cát sau đó bị kéo dài ra và có xu hướng phát triển về phía đuôi cù lao nên đã làm cho trọng tâm của cù lao dịch chuyển xuống phía Nam.



Hình 10. Sự dịch chuyển của cù lao Long Khánh.

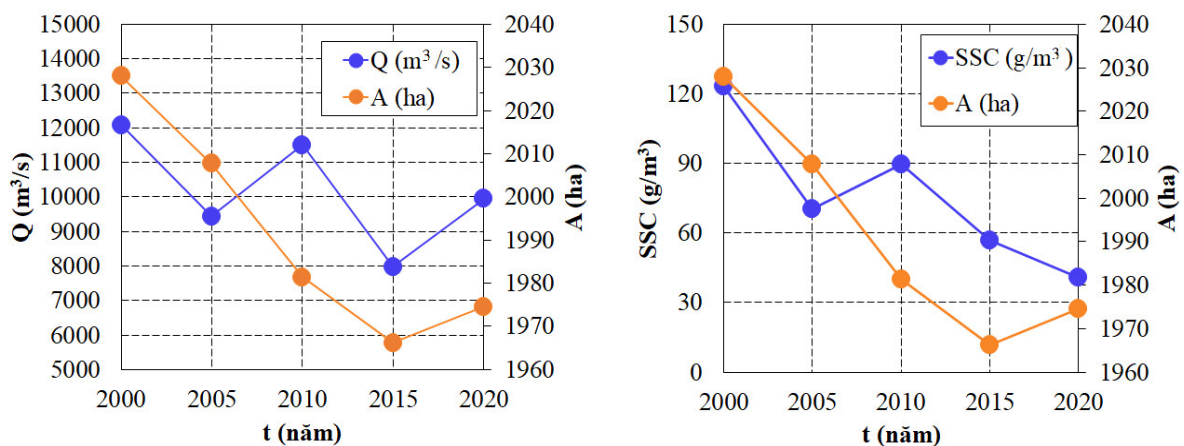
3.3. Ảnh hưởng của lưu lượng dòng chảy (Q) và hàm lượng bùn cát lơ lửng (SSC) đến sự thay đổi diện tích cù lao Long Khánh

Số liệu lưu lượng dòng chảy (Q) và hàm lượng bùn cát lơ lửng (SSC) được sử dụng để tính toán tương quan của các đại lượng này đến sự thay đổi diện tích bề mặt cù lao (A). Các số liệu được trình bày trong Bảng 3.

Bảng 3. Số liệu A (ha), Q (m³/s) và SSC (g/m³).

Năm	A (ha)	Q (m ³ /s)	SSC (g/m ³)
2000	2.028,01	12.087	123
2005	2.007,71	9.435	70
2010	1.981,36	11.507	90
2015	1.966,22	7.971	57
2020	1.974,59	9.950	41

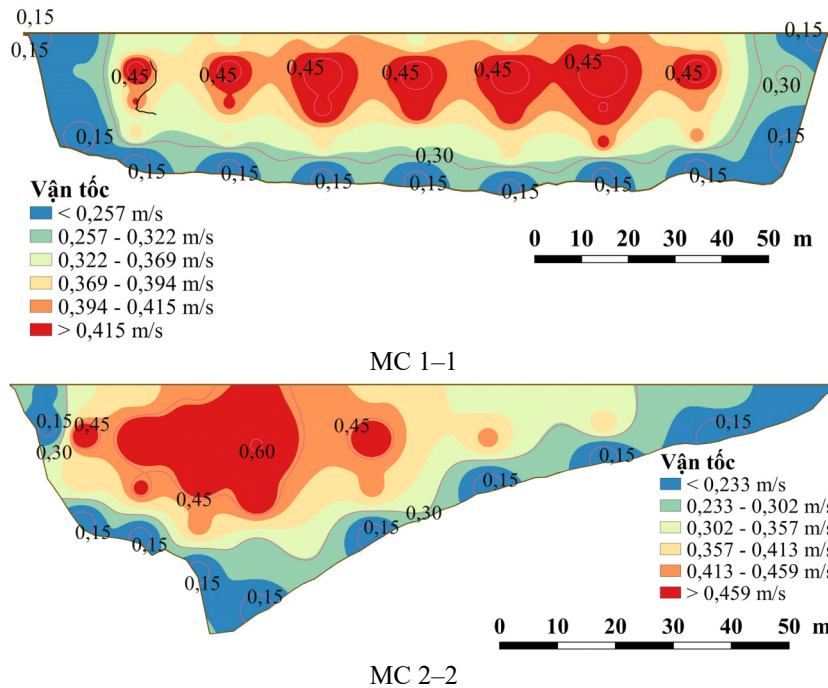
Tương quan giữa các giá trị Q, SSC và A qua các năm cũng được thể hiện trên Hình 11. Có thể nhận thấy sự biến thiên của Q, SSC có tương quan tốt với sự biến thiên của A qua các năm. Ngoại trừ giai đoạn 2005–2010, sự biến thiên của Q, SSC là tăng trong khi A giảm.



Hình 11. Tương quan giữa Q (m³/s) với A (ha) và giữa SSC (g/m³) với A (ha).

3.4. Vận tốc dòng chảy

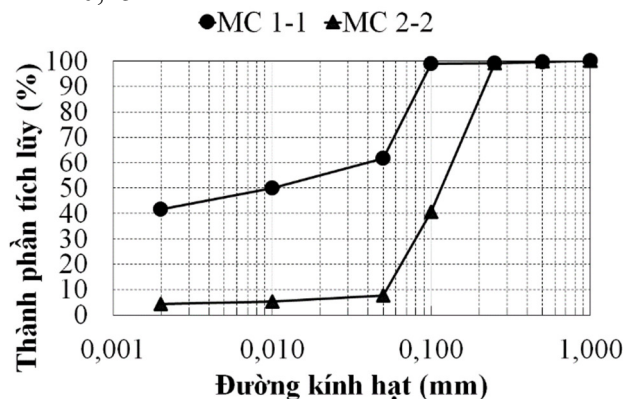
Sự phân bố của vận tốc dòng chảy trên các mặt cắt MC 1-1 và MC 2-2 được vẽ từ giá trị vận tốc thực đo tại các thủy trực và các giá trị nội suy như trên Hình 12. Có thể nhận thấy tại MC 1-1, vận tốc dòng chảy phân bố tương đối cân xứng trên toàn bộ mặt cắt sông vì đây là đoạn sông thẳng. Tại các vị trí gần bờ, vận tốc dòng chảy có giá trị từ 0,15 m/s đến 0,32 m/s. Tại mặt cắt MC 2-2, vận tốc dòng chảy phân bố lệch về phía bờ trái vì đây là đoạn sông cong (vận tốc tại bờ phải (bờ cù lao Long Khánh) có giá trị từ 0,15 m/s đến 0,23 m/s).



Hình 12. Phân bố vận tốc dòng chảy tại các mặt cắt.

3.5. Phân tích thành phần hạt bùn cát đáy sông

Hình 13 thể hiện đường cong cấp phối hạt của mẫu bùn cát đáy được lấy mẫu sát bờ cù lao Long Khánh trên các mặt cắt MC 1-1 và MC 2-2. Từ biểu đồ đường cong cấp phối hạt, có thể xác định được kích thước hạt trung bình (d_{50}) của mẫu bùn cát đáy tại MC 1-1 và MC 2-2 lần lượt là 0,01 mm và 0,15 mm.



Hình 13. Đường cong cấp phối hạt bùn cát tại các vị trí sát bờ cù lao trên MC 1-1 và MC 2-2.

Dựa vào giá trị kích thước hạt trung bình (d_{50}) của bùn cát đáy sông và chiều sâu cột nước trong sông ($h > 3$ m), ta xác định được vận tốc không xói của bùn cát theo TCVN 4118:2012 [17] như được trình bày trong Bảng 4. Có thể thấy, tại vị trí bờ trái mặt cắt MC 1-1, giá trị vận tốc thực đo lớn hơn giá trị vận tốc không xói của bùn cát. Như vậy, tại vị trí

này dòng chảy là nguyên nhân gây xói lở bờ sông. Tuy nhiên, tại mặt cắt MC 2–2, vận tốc thực đo nhỏ hơn vận tốc không xói của bùn cát đáy nên dòng chảy không có khả năng gây ra xói lở tại khu vực này. Kết quả này phù hợp với kết quả phân tích diễn biến thay đổi đường bờ cù lao như trong Hình 6.

Bảng 4. Giá trị d_{50} , V_{kx} và V tại các vị trí dọc bờ cù lao Long Khánh.

Mặt cắt	d_{50} (mm)	V_{kx} (m/s)	V (m/s)
1–1	0,01	0,19–0,26	0,15–0,32
2–2	0,15	0,26–0,40	0,15–0,23

4. Kết luận

Xói lở đang xảy ra nghiêm trọng tại đầu cù lao Long Khánh với các vách xói lở lên đến 2,5 m và bồi tụ đang diễn ra tại phía Bắc cù lao với sự xuất hiện của một doi cát tại vị trí này. Kết quả phân tích thay đổi hình dạng mặt cắt sông trong hai năm 2015 và 2019 cũng cho thấy sự xói lở tại đầu cù lao và bồi tụ tại phía Bắc của cù lao. Diện tích bề mặt của cù lao đang giảm dần từ năm 2000 đến năm 2020 với vận tốc trung bình là 2,92 ha/năm. Trong giai đoạn 2000–2020, cù lao có xu hướng dịch chuyển theo dòng chảy với vận tốc trung bình là 12,92 m/năm. Theo phương ngang sông, cù lao dịch chuyển lên phía Bắc và xuống phía Nam với vận tốc trung bình lần lượt là 8,61 m/năm (giai đoạn 2000–2010) và 1,68 m/năm (giai đoạn 2010–2020).

Thay đổi của lưu lượng dòng chảy (Q) và hàm lượng bùn cát lơ lửng (SSC) có tương quan tốt với sự thay đổi diện tích cù lao (A). So sánh kết quả vận tốc thực đo (V) với vận tốc không xói (V_{kx}) của bùn cát đáy cho thấy vận tốc dòng chảy đang gây ra xói lở tại đầu cù lao. Tại phía Bắc cù lao, vận tốc dòng chảy nhỏ hơn vận tốc không xói của bùn cát đáy nên vận tốc dòng chảy không gây ra xói lở khu vực này. Các số liệu đo vận tốc dòng chảy trong nghiên cứu này chỉ thực hiện trong thời gian ngắn (ngày 16/01/2021); do đó cần được tiếp tục đo đạc đặc biệt trong mùa lũ để có thể đánh giá chính xác ảnh hưởng của vận tốc dòng chảy đến xói lở cù lao.

Đóng góp của tác giả: Xây dựng ý tưởng nghiên cứu: L.H.T., D.V.D., T.V.T.; Lựa chọn phương pháp nghiên cứu: L.H.T., D.V.D., T.V.T.; Xử lý số liệu: L.H.T., D.V.D., L.H.T., N.T.A.; Lấy mẫu: L.H.T., D.V.D., T.V.T.; Phân tích mẫu: T.V.T., D.V.D., L.H.T.; Viết bản thảo bài báo: L.H.T., D.V.D., H.T.C.H.; Chỉnh sửa bài báo: D.V.D., H.V.T.M., T.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. Anthony, E.J.; Brunier, G.; Besset, M.; Goichot, M.; Dussouillez, P.; and Lap, N.V. Linking rapid erosion of the Mekong River delta to human activities. *Sci. Rep.* **2015**, *5*(1), 1–12.
2. Dũng, N.V. Nghiên cứu dự báo sạt lở tại khu vực cù lao Long Khánh trên sông Tiền và đề xuất các giải pháp bảo vệ. Luận văn thạc sĩ, 2014, tr.124.
3. Wyrick, J.R.; and Klingeman, P.C. Proposed fluvial island classification scheme and its use for river restoration. *River Res. Appl.* **2011**, *27*, 814–825.
4. Sadek, N. Island development impacts on the Nile River morphology. *Ain Shams Eng. J.* **2013**, *4*, 25–41.
5. Sun, J.; Ding, L.; Li, J.; Qian, H.; Huang, M.; and Xu, N. Monitoring Temporal Change of River Islands in the Yangtze River by Remotely Sensed Data. *Water* **2018**, *10*, 1484.
6. Shi, H.; Gao, C.; Dong, C.; Xia, C.; and Xu, G. Variation of River Islands around a

- Large City along the Yangtze River from Satellite Remote Sensing Images. *Sensors* **2017**, 17(10), 2213.
7. Long, V.H.; Giang, N.V.; Hoàn, T.P.; và Hòa, P.V. Ứng dụng công nghệ xử lý ảnh viễn thám trên nền tảng điện toán đám mây (GEE) trong theo dõi biến động đường bờ sông – thí điểm tại sông Cửu Long. *Tap chí khoa học Tự nhiên và Công nghệ – Trường Đại học Sư phạm Thành phố Hồ Chí Minh* **2019**, 16(S6), 38–49.
 8. Điệp, N.T.H.; Minh, V.Q.; Trường, P.N.; Thành, L.K.; và Vinh, L.T.Q. Diễn tiến tình hình sạt lở ven bờ sông Tiền và sông Hậu, vùng đồng bằng sông Cửu Long. *Tap chí Khoa học Trường Đại học Cần Thơ* **2019**, 55, 125–133.
 9. Hoài, H.C.; Bảy, N.T.; Khôi, Đ.N.; và Nga, T.N.Q. Phân tích nguyên nhân gây gia tăng xói lở bờ sông ở Đồng bằng sông Cửu Long. *Tap chí Khí tượng Thủy văn* **2019**, 7, 42–50.
 10. Trí, L.H.; Thành, Đ.T.; Linh, L.T.C.; Thịnh, L.H.; và Tỳ, T.V. Phân tích ảnh hưởng của các yếu tố đến ổn định bờ sông: Trường hợp nghiên cứu tại sông Cái Lân, huyện Cái Bè, tỉnh Tiền Giang. *Tap chí Nông nghiệp & Phát triển Nông thôn* **2021**, 15, 25–34.
 11. Bằng, L.H.; Thịnh, L.V.; Trí, L.H.; Duy, Đ.V.; Tỳ, T.V.; và Minh, H.V.T. Nghiên cứu ảnh hưởng của các yếu tố địa chất, thủy văn đến ổn định bờ sông Cái Vừng, huyện Hồng Ngự, tỉnh Đồng Tháp. *Tap chí Khí tượng Thủy văn* **2021**, 731, 16–25.
 12. Lộc, N.Đ.; Linh, L.T.C.; Minh, H.V.T.; Luận, T.C.; Tho, N.V.; Hưng, V.V.; và Tỳ, T.V. Xác định nguyên nhân sạt lở bờ sông theo phương pháp khảo sát thực địa: nghiên cứu tại sông Cái Sắn, thành phố Cần Thơ. *Tap chí Xây dựng* **2020**, 7, 146–151.
 13. Binh, D.V.; Kantoush, S.A.; Sumi, T.; Mai, N.T.P.; Ngoc, T.A.; Trung, L.V.; and An, T.D. Effects of riverbed incision on the hydrology of the Vietnamese Mekong Delta. *Hydrol. Processes* **2021**, 35(2), e14030.
 14. Sayler, K. Landsat 4–7 Collection 1 (C1) Surface Reflectance (LEDAPS) Product Guide. 2020, pp. 39.
 15. Sayler, K. Landsat 8 Collection 1 (C1) Land Surface Reflectance Code (LaSRC) Product Guide. 2020, pp. 38.
 16. Quỳnh, H.N.N.; Khôi, Đ.N.; Hoài, H.C.; và Bảy, N.T. Ứng dụng viễn thám và GIS đánh giá biến động đường bờ sông Tiền và sông Hậu. *Tap chí Khí tượng Thủy văn* **2018**, 6, 12–22.
 17. Bộ Khoa học và Công nghệ. TCVN 4118 : 2012 Công trình thủy lợi – Hệ thống tưới tiêu – Yêu cầu thiết kế. 2012.
 18. Schober, P.; Boer, C.; and Schwarte, L.A. Correlation Coefficients: Appropriate Use and Interpretation. *Anesth. Analg.* **2018**, 126(5), 1763–1768.

Analyzing the factors affecting the surface area change of Long Khanh island in Hong Ngụ district, Dong Thap province

Le Hoang Tu¹, Dinh Van Duy^{2*}, Le Hai Tri², Nguyen Thai An², Huynh Vuong Thu Minh³, Huynh Thi Cam Hong², Tran Van Ty²

¹ Department of Agriculture and Rural Development of Đồng Tháp province; tucctldt@gmail.com.

² College of Engineering Technology, Can Tho University; dvduy@ctu.edu.vn; lehaitri@gmail.com; htchong@ctu.edu.vn; anb1908310@student.ctu.edu.vn; tvty@ctu.edu.vn.

³ College of Environment and Natural Resources, Can Tho University; hvtminh@ctu.edu.vn.

Abstract: The objective of this study is to use satellite images to analyze the temporal variation of the surface area (A) and location of Long Khanh Island. Landsat images were used to analyze the riverbank line and area changes of Long Khanh island from 2000 to 2020. Secondary data such as discharge (Q) and Suspended Sediment Concentration (SSC) are collected to observe the correlation between Q, SSC, and A. Flow velocity (V) was also measured to compare with the allowed non-erosion velocity (V_{kx}) of bed sediment. The analysis results show that Q, SSC, and V are factors causing the changes in the island's shoreline and area. Specifically, the flow velocity is causing erosion at the head of the island. To date, few studies on the correlation between river island's area changes and hydrological and hydraulic conditions of the rivers in the Vietnamese Mekong Delta (VMD) have been conducted. Therefore, the results from this study will contribute to some extent of the relationship between river island area (A) and its influencing factors such as Q, SSC, and V in the VMD.

Keywords: Long Khanh Island; Riverbank line; Landsat image; Suspended sediment; Flow velocity.

Bài báo khoa học

Ứng dụng mô hình SWAT phục vụ phân vùng tài nguyên nước mặt và xói mòn đất tại tỉnh Gia Lai

Lê Hoàng Tú^{1*}, Nguyễn Thị Huyền², Phan Thị Hà¹, Đặng Nguyễn Đông Phương¹, Nguyễn Thành Nghĩa¹, Lê Minh Hải^{3,4}, Nguyễn Duy Liêm², Hoàng Hà Anh⁵, Phạm Gia Điệp⁶, Nguyễn Kim Lợi¹

¹ Trung tâm Nghiên cứu Biến đổi Khí hậu, Trường Đại học Nông Lâm Tp. Hồ Chí Minh; tu.lehoang@hcmuaf.edu.vn; haphan0604@gmail.com;

dangnguyendongphuong@gmail.com; 13162055@st.hcmuaf.edu.vn; ngkloi@hcmuaf.edu.vn

² Khoa Tài nguyên và Môi trường, Trường Đại học Nông Lâm Tp. Hồ Chí Minh; nt.huyen@hcmuaf.edu.vn; nguyenduyliem@hcmuaf.edu.vn

³ Trung tâm Ứng dụng và Chuyển giao công nghệ, Sở Khoa học và Công nghệ tỉnh Gia Lai; minhhai.sokhcn@gmail.com

⁴ Viện Môi trường và Tài nguyên, Đại học Quốc Gia Tp. Hồ Chí Minh;

⁵ Khoa Kinh tế, Trường Đại học Nông Lâm Tp. Hồ Chí Minh; hoanghaanh@hcmuaf.edu.vn

⁶ Phòng Thông tin và Truyền thông, Trường Đại học Nông Lâm Tp. Hồ Chí Minh; phamgiadiiep@hcmuaf.edu.vn

*Tác giả liên hệ: tu.lehoang@hcmuaf.edu.vn; Tel.: +84-931844631

Ban Biên tập nhận bài: 24/8/2021; Ngày phản biện xong: 11/9/2021; Ngày đăng bài: 25/12/2021

Tóm tắt: Đánh giá hiện trạng tài nguyên đất và nước là yêu cầu tiên quyết hỗ trợ công tác quản lý và sử dụng hiệu quả, bền vững các nguồn tài nguyên này. Theo yêu cầu đó, nghiên cứu đã ứng dụng mô hình SWAT để mô phỏng lưu lượng dòng chảy và xói mòn đất phục vụ công tác xây dựng bản đồ phân vùng xói mòn đất và tài nguyên nước mặt. Nghiên cứu được tiến hành tại tỉnh Gia Lai. Kết quả hiệu chỉnh, kiểm định lưu lượng dòng chảy và lượng bùn cát lơ lửng theo tháng trong giai đoạn 1990–2011 tại lưu vực sông Ba cho thấy mô hình SWAT khá phù hợp. Theo kết quả ước tính thì tài nguyên nước mặt tương đối dồi dào và có khác biệt nhỏ trong phân bố tài nguyên nước mặt giữa các vùng trên địa bàn tỉnh Gia Lai. Nhưng nếu xem xét phân bố của tài nguyên nước mặt theo các mùa trong năm thì lại có sự khác biệt rất rõ rệt. Trong khi đó, kết quả mô phỏng từ mô hình SWAT chỉ ra rằng hiện tượng xói mòn đất trên địa bàn tỉnh Gia Lai là không đáng kể (nhỏ hơn 1 tấn/ha.năm). Bản đồ phân vùng xói mòn đất cho thấy xói mòn đất nhiều ở các khu vực phía bắc và phía tây của tỉnh Gia Lai.

Từ khóa: Mô hình SWAT; Bản đồ phân vùng; Xói mòn đất; Tài nguyên nước mặt; Tỉnh Gia Lai.

1. Mở đầu

Tài nguyên nước và đất đai không chỉ là đối tượng của lao động mà còn là tư liệu sản xuất quan trọng bậc nhất hiện nay trong sản xuất nông nghiệp, lâm nghiệp, là thành phần quan trọng hàng đầu của môi trường sống, là địa bàn phân bố các khu dân cư, xây dựng các

cơ sở kinh tế, văn hoá, xã hội, an ninh và quốc phòng [1–2]. Tuy nhiên, trong những thập niên gần đây, sự tăng nhanh về dân số và khai thác quá mức tài nguyên nước, đất và rừng đã làm suy kiệt các nguồn tài nguyên này. Suy thoái tài nguyên nước trên lưu vực sông được biểu hiện ở sự giảm sút cả về số lượng và chất lượng. Việt Nam đã được xếp loại quốc gia có tài nguyên nước suy thoái [3]. Trong khi đó, nguồn tài nguyên đất của nước ta cũng bị suy thoái do tác động của tự nhiên như sông suối thay đổi dòng chảy, thay đổi khí hậu, xói mòn đất vùng đồi núi. Bên cạnh đó, nhiều hoạt động sản xuất của con người dẫn đến làm thoái hoá và sa mạc hoá đất như chặt đốt rừng làm nương rẫy, thiếu các biện pháp chống xói mòn đất vào mùa mưa và giữ ẩm đất vào mùa khô, không chăm sóc đất canh tác. Các nghiên cứu trước cũng đã chỉ ra rằng một trong những nguyên nhân chính khiến đất bị suy thoái là do mất rừng và xói mòn đất [4]. Thêm vào đó, việc khai thác tài nguyên đất và nước không hợp lý, đặc biệt dưới tác động của biến đổi khí hậu, góp phần tác động tiêu cực đến môi trường ngày càng trầm trọng [5–8].

Khu vực Tây nguyên từng được báo cáo là vùng có nguồn tài nguyên đất và nước phong phú [9]. Nhưng việc khai thác quá mức các nguồn tài nguyên đặc biệt là tài nguyên rừng và xây dựng nhiều nhà máy thủy điện, cùng với sự tác động của biến đổi khí hậu, đã dẫn đến suy kiệt nguồn nước phục vụ sản xuất nông nghiệp ở khu vực này [9–10]. Thêm vào đó, do phương thức canh tác thiếu khoa học đã làm thay đổi lớp thảm phủ bề mặt nhanh chóng kéo theo tình trạng xói mòn đất ngày càng gia tăng [11–12]. Để giải quyết được bài toán quản lý tài nguyên đất và nước dựa trên cơ sở bảo vệ môi trường và phát triển bền vững, đòi hỏi phải có sự phối hợp chặt chẽ giữa các cơ quan chức năng và người dân. Trong đó, trước tiên cần phải đánh giá hiện trạng tài nguyên nước và xói mòn đất tại vùng Tây Nguyên. Từ đó, đề ra các giải pháp khai thác và quản lý tài nguyên đất và nước một cách hợp lý và bền vững.

Một trong những phương pháp phổ biến của các nghiên cứu gần đây về đánh giá xói mòn đất và tài nguyên nước cho các lưu vực sông ở Việt Nam là sử dụng cách tiếp cận mô hình hóa [13–14]. Các mô hình thủy văn được áp dụng rộng rãi để đưa ra những kịch bản biến động khác nhau của tài nguyên đất và nước trong tương lai ở nhiều quy mô khác nhau và phù hợp với tình hình nghiên cứu trên thế giới [15]. Trong các nghiên cứu về đánh giá xói mòn đất và tài nguyên nước, mô hình đánh giá đất và nước (Soil and Water Assessment Tool–SWAT) là một trong số những mô hình thủy văn được ứng dụng khá rộng rãi trên thế giới. Ở Việt Nam, trong những năm gần đây, các nghiên cứu ứng dụng SWAT có thể được phân loại thành các chủ đề sau: (i) đánh giá tác động của biến đổi khí hậu; (ii) đánh giá thay đổi sử dụng đất; (iii) đánh giá bốc hơi; (iv) phân tích diễn biến cực đoan của tài nguyên nước; (v) tác động của hệ thống tưới; (vi) xói mòn, bồi lắng và vận chuyển bùn cát; (vii) chất lượng nước; (viii) phân tích tính bất định của đầu vào mô hình; (ix) phát triển tham số vùng [16–17]. Năm 2016, [18] đã nghiên cứu ứng dụng mô hình hóa dòng chảy nước mặt và xói mòn đất cho tỉnh Yên Bái. Mối liên hệ giữa lượng mưa, phủ bề mặt, dòng chảy nước mặt và xói mòn đất cũng được các tác giả phân tích và trình bày chi tiết [18]. Nghiên cứu [19] đánh giá tác động của che phủ rừng tới dòng chảy và xói mòn đất tại các lưu vực sông thuộc vùng Tây Nguyên. Nghiên cứu này đã sử dụng mô hình SWAT để xác định tác động của che phủ rừng tới dòng chảy và xói mòn đất trên toàn lưu vực. Kết quả cho thấy, biến động về dòng chảy và tình trạng xói mòn đất được xác định là chịu ảnh hưởng của các yếu tố địa hình, địa chất, lượng mưa, che phủ rừng và kỹ thuật canh tác. Nhiều nghiên cứu khác cũng đã ứng dụng mô hình SWAT trong đánh giá tác động của thay đổi lớp phủ bề mặt đến lưu lượng dòng chảy hoặc tải lượng bùn cát lơ lửng vào các vùng nước mặt [20–21]. Bằng việc sử dụng SWAT và chỉ số sai chuẩn mưa (SPI), Vũ cùng cộng sự đã bước đầu đánh giá hạn hán trên một lưu vực sông ở Tây Nguyên [22]. Kết quả cho thấy hạn hán trong lưu vực thường xuất hiện sau các đợt hoạt động mạnh của El Niño. Hai mô đun dòng chảy và vận chuyển bùn cát trong SWAT đã được Bách và cộng sự sử dụng để tính toán lưu lượng dòng chảy và bùn cát trên lưu vực sông Cầu. Kết quả cho thấy lượng bùn cát tại sông Cầu có biến động theo không gian và thời

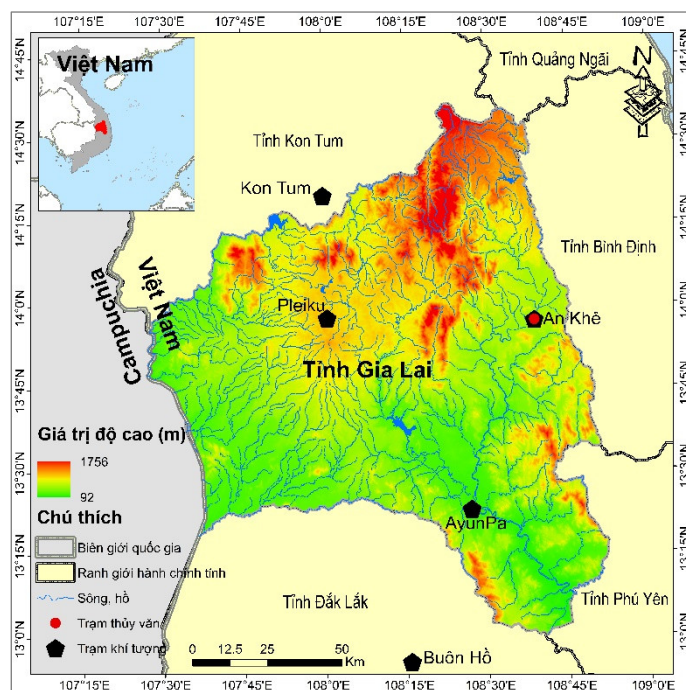
gian với tổng lượng hàng năm khoảng 940.000 tấn [23]. Ngoài ra, một số nghiên cứu ứng dụng tự cũng được tiến hành trên các lưu vực sông DakBla và Sê San [14, 24].

Trên cơ sở các yếu tố đã nêu, các mục tiêu của nghiên cứu là xây dựng bản đồ phân vùng và đánh giá tài nguyên nước mặt và xói mòn đất. Trong nghiên cứu này do hạn chế về mặt số liệu thu thập được nên việc đánh giá tài nguyên nước mặt và xói mòn đất được tiến hành trên địa bàn tỉnh Gia Lai thuộc khu vực Tây Nguyên.

2. Phương pháp nghiên cứu

2.1 Khu vực nghiên cứu

Gia Lai là một tỉnh biên giới miền núi nằm ở vùng Tây Nguyên và có diện tích tự nhiên khoảng 15.536,92 km² [25] (Hình 1). Tỉnh nằm độ cao trung bình 800–900 m, với đỉnh cao nhất là Konkakinh thuộc huyện Kbang (1.748 m) và nơi thấp nhất là vùng hạ lưu sông Ba thuộc huyện Krông Pa (92 m) [26]. Gia Lai thuộc vùng khí hậu cao nguyên nhiệt đới gió mùa với hai mùa rõ rệt là mùa mưa và mùa khô. Nhiệt độ trung bình năm là 22–25°C. Vùng Đông Trường Sơn có lượng mưa trung bình năm 1.200–1.750 mm, Tây Trường Sơn có lượng mưa trung bình năm 2.200–2.500 mm [27–28].



Hình 1. Vị trí địa lý, địa hình tỉnh Gia Lai và các trạm khí tượng và thủy văn sử dụng trong nghiên cứu.

Tỉnh Gia Lai có các nhóm đất chính gồm đất cát; đất phù sa; đất gley; đất mới biến đổi; đất đen; đất nâu vùng bán khô hạn; đất có tầng đá ong; đất xám; đất đỏ; đất xói mòn tro sỏi đá; đất nâu thẫm; đất sét chặt và than bùn theo phân loại của FAO–UNESCO [26]. Trong đó, nhóm đất đỏ vàng là nhóm đất chiếm diện tích lớn nhất với 756.842 ha, chiếm 48,71% tổng diện tích tự nhiên. Theo bản đồ hiện trạng sử dụng đất năm 2020 tỉnh Gia Lai có thể phân thành 6 nhóm sử dụng đất chính gồm đất sản xuất nông nghiệp; đất lâm nghiệp; đất ở; đất chuyên dùng; đất sông suối, mặt nước và đất chưa sử dụng. Trong đó đất lâm nghiệp chiếm 46,87% tổng diện tích đất tự nhiên toàn tỉnh [28]. Tỉnh Gia Lai có hai hệ thống sông chính là hệ thống sông Ba và sông Sê San, ngoài ra còn có các phụ lưu của sông Srêpok. Bên cạnh hệ thống sông suối khá phong phú, trên địa bàn tỉnh hiện nay còn có rất nhiều hồ nước tự nhiên và nhân tạo như: hồ thủy lợi Ayun Hạ, Biển Hồ, Ia Hrun, Ia Năng; hồ thủy điện: Ya Ly, Ry Ninh [27].

2.2. Mô hình SWAT

Công cụ đánh giá đất và nước (*Soil and Water Assessment Tool-SWAT*) là mô hình thủy văn bán phân bố được phát triển để dự báo những ảnh hưởng của thực hành quản lý sử dụng đất đến nước, sự bồi lắng và lượng hóa chất sinh ra từ hoạt động nông nghiệp trên những lưu vực rộng lớn và phức tạp trong khoảng thời gian dài [29–30]. Mô hình được xây dựng dựa trên bản chất vật lý của hiện tượng tự nhiên và sử dụng các phương trình tương quan, hồi quy để mô tả mối quan hệ giữa thông số đầu vào (ví dụ sử dụng đất/thảm thực vật, đất, địa hình và khí hậu) và biến số đầu ra (ví dụ lưu lượng dòng chảy, bồi lắng, chất lượng nước). Tiến trình mô phỏng của mô hình tại một lưu vực được phân chia thành hai pha chính [31]: (1) Pha đất của chu trình thủy văn: kiểm soát lượng nước, bùn cát, dinh dưỡng và thuốc trừ sâu được đưa từ trong mỗi tiểu lưu vực ra sông chính; (2) Pha nước của chu trình thủy văn: kiểm soát quá trình di chuyển của dòng nước, quá trình bồi lắng, chất dinh dưỡng, thuốc bảo vệ thực vật diễn ra thông qua hệ thống sông ngòi của lưu vực đến cửa ra lưu vực.

Trong nghiên cứu này mô hình SWAT được dùng để mô phỏng lưu lượng dòng chảy và xói mòn đất cho các lưu vực trên địa bàn tỉnh Gia Lai. Dòng chảy mặt có thể được mô phỏng trong SWAT theo hai phương pháp là ước lượng dòng chảy mặt là đường cong số SCS (*Soil Conservation Service*) [31] hoặc Green-Ampt [31]. Phương pháp SCS (1) được chọn trong nghiên cứu này vì tính phổ biến và độ tin cậy cao [31].

$$Q_{surf} = \frac{R_{day} - I_a}{R_{day} - I_a + S} \quad (1)$$

Trong đó Q_{surf} là dòng chảy mặt (mm); R_{day} là lượng mưa trong ngày (mm); I_a là lưu lượng dòng chảy mất đi ban đầu bao gồm lưu trữ bề mặt, thấm trước khi hình thành dòng chảy (mm); S là lượng thấm cho phép tối đa có thể trữ trong đất (mm).

Đối với mô phỏng xói mòn đất trong lưu vực, mô hình SWAT tính toán dựa theo công thức mất đất phổ dụng hiệu chỉnh (*Modified Universal Soil Loss Equation-MUSLE*). Theo phương pháp này, lượng xói mòn được tính theo công thức [31]:

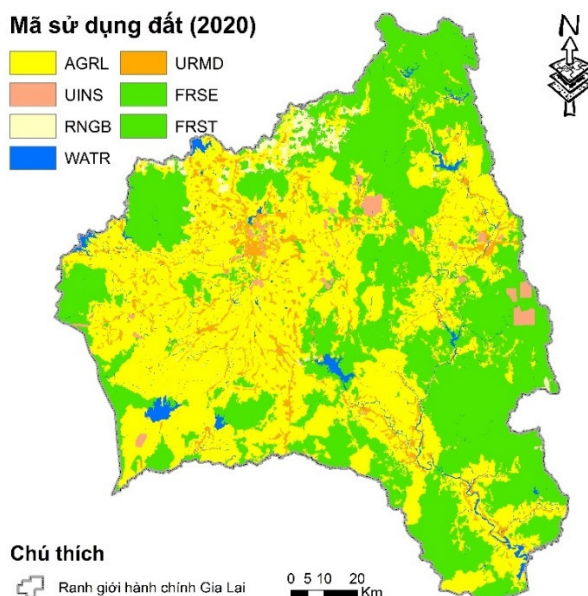
$$sed = 11,8 \times (Q_{surf} \times q_{peak} \times Area_{hru})^{0,56} \times K_{USLE} \times C_{USLE} \times P_{USLE} \times LS_{USLE} \times CFRG \quad (2)$$

Trong đó sed là lượng đất bị xói mòn trong ngày (tấn); Q_{surf} là tổng lượng dòng chảy mặt (mm/ha); q_{peak} là lưu lượng đỉnh lũ (m^3/s); $Area_{hru}$ là diện tích của một đơn vị thủy văn (ha); K_{USLE} là hệ số xói mòn đất đặc trưng cho từng loại đất; C_{USLE} là hệ số ảnh hưởng của cây trồng đến xói mòn đất; P_{USLE} là hệ số ảnh hưởng của biện pháp canh tác đến xói mòn đất; LS_{USLE} là hệ số xói mòn do ảnh hưởng của chiều dài sườn dốc và độ dốc; $CFRG$ là hệ số hạt đất thô.

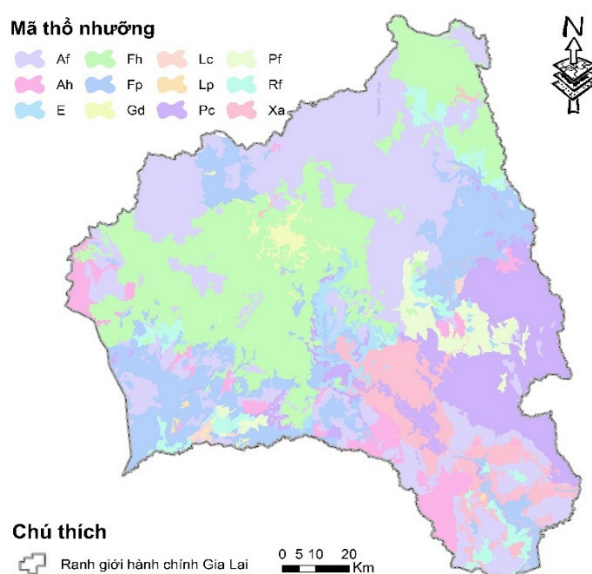
Các loại dữ liệu đầu vào và nguồn thu thập dữ liệu được thể hiện tại Bảng 1. Hình 2 và 3 thể hiện bản đồ sử dụng đất và thổ nhưỡng theo yêu cầu của mô hình SWAT. Thời gian chạy mô hình là giai đoạn 1990–2011 tương ứng với các dữ liệu mưa và nhiệt độ thu thập tại các trạm khí tượng và thủy văn trên địa bàn tỉnh và các tỉnh lân cận (Hình 1). Thời gian chạy mô hình được chia ra làm 2 giai đoạn gồm (i) giai đoạn hiệu chỉnh mô hình (1990–2000) và (ii) giai đoạn kiểm định mô hình (2001–2011). Do hạn chế về mặt số liệu quan trắc mà nghiên cứu có thể thu thập được nên việc hiệu chỉnh và kiểm định mô hình cho lưu lượng dòng chảy và bùn cát lơ lửng chỉ được tiến hành cho lưu vực sông Ba tại trạm thủy văn An Khê (Hình 1). Các lưu vực còn lại trên địa bàn tỉnh áp dụng bộ thông số đã được hiệu chỉnh và kiểm định từ lưu vực sông Ba. Để hỗ trợ cho quá trình hiệu chỉnh và kiểm định mô hình phần mềm SWAT-CUP đã được áp dụng [32]. Độ tin cậy của mô hình SWAT được đánh giá thông qua ba chỉ số gồm (i) Nash–Sutcliffe Efficiency (*NSE*), (ii) Tỷ số giữa căn bậc hai sai số quân phương của số liệu thực đo và số liệu mô phỏng với độ lệch chuẩn của số liệu thực đo (*Ratio of standard deviation of the observation to the root mean square error-RSR*) và (iii) Phần trăm độ lệch (*Percent Bias-PBIAS*) [33–34]. Độ chính xác của mô hình của mô hình sẽ được đánh giá qua giá trị tính toán của các chỉ số này và bảng phân loại của Moriasi và cs [33–34].

Bảng 1. Các dữ liệu yêu cầu thu thập cho mô hình SWAT.

TT	Loại dữ liệu	Nguồn dữ liệu
1	Địa hình	Cơ quan khảo sát địa chất Hoa Kỳ (United States Geological Survey-USGS) (https://earthexplorer.usgs.gov/). Dữ liệu mô hình độ cao số (Digital Elevation model-DEM) với độ phân giải 30m x 30m
2	Sử dụng đất (2020)	Sở Tài nguyên và Môi trường tỉnh Gia Lai. Dữ liệu bản đồ hiện trạng sử dụng đất tỷ lệ 1:100.000
3	Thổ nhưỡng	Sở Tài nguyên và Môi trường tỉnh Gia Lai. Dữ liệu bản đồ thổ nhưỡng tỷ lệ 1:100.000
4	Mưa, Nhiệt độ (1988–2011)	Đài Khí tượng Thủy văn tỉnh Gia Lai và Tây Nguyên.
5	Lưu lượng dòng chảy, bùn cát lơ lửng (1990–2011)	Đài Khí tượng Thủy văn tỉnh Gia Lai.



Hình 2. Bản đồ phân loại sử dụng đất theo mô hình SWAT cho tỉnh Gia Lai.



Hình 3. Bản đồ phân loại thổ nhưỡng theo mô hình SWAT cho tỉnh Gia Lai.

2.3. Phân vùng tiềm năng tài nguyên nước mặt và xói mòn đất

Việc phân vùng tiềm năng tài nguyên nước mặt có thể thực hiện dựa trên một số phương pháp như (i) phân vùng theo giá trị mô đun dòng chảy; (ii) phân vùng theo bình quân đầu người; (iii) phân vùng theo hệ số C [35]. Mô đun dòng chảy (3) được chọn áp dụng để phân vùng tiềm năng tài nguyên nước bởi tính đại diện cao và có thể tận dụng hiệu quả kết quả từ mô hình SWAT. Bảng 2 thể hiện giá trị phân cấp tiềm năng tài nguyên nước [35]. Trong khi đó, xói mòn đất được phân vùng dựa theo tiêu chuẩn Quốc Gia (TCVN 5299:2009) về chất lượng đất – phương pháp xác định mức độ xói mòn đất do mưa [36] (Bảng 3).

$$M = k \frac{Q}{F} \tag{3}$$

Trong đó M là mô–đun lưu lượng (l/s–km²); k là hệ số đổi đơn vị, không thứ nguyên (k = 1000); Q là lưu lượng (m³/s); F là diện tích lưu vực (km²).

Bảng 2. Phân cấp tiềm năng tài nguyên nước mặt tại Việt Nam [35].

Cấp độ	Giá trị phân cấp của M (l/s–km ²)	Mức đánh giá tài nguyên nước
1	< 10	Hiếm nước
2	10–20	Nghèo nước
3	20–40	Đủ nước
4	40–60	Tương đối giàu nước
5	60–80	Giàu nước

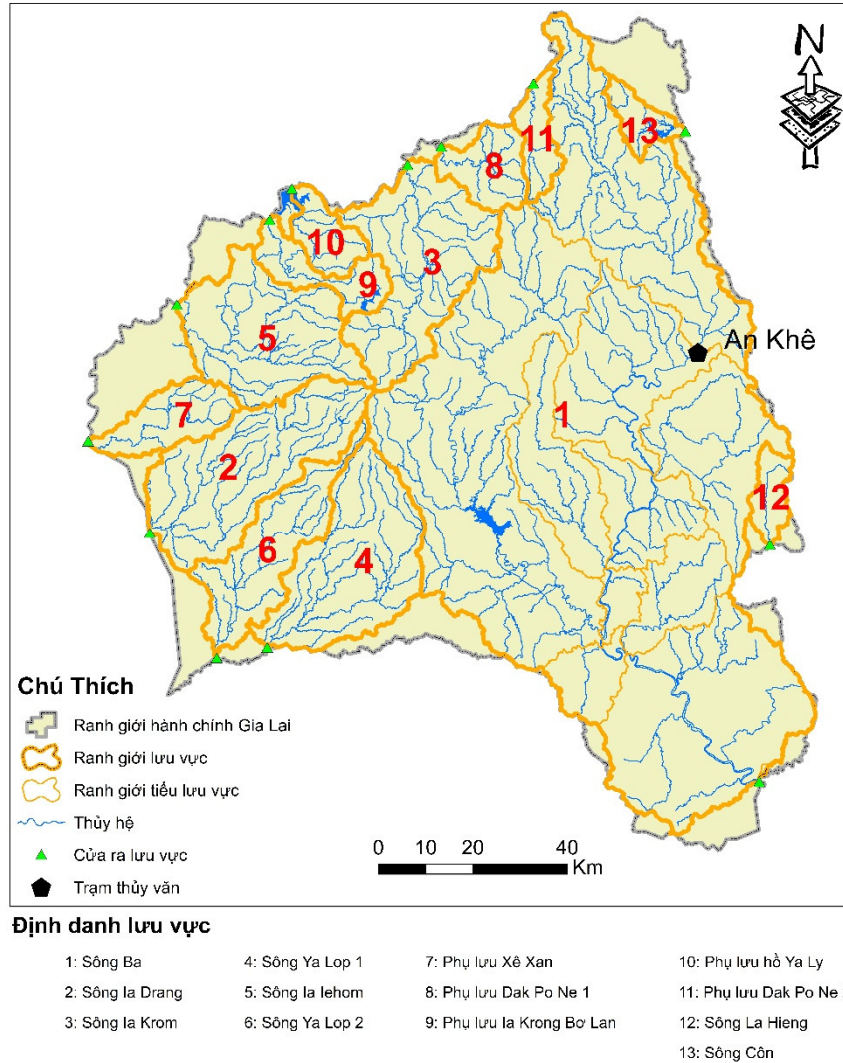
Bảng 3. Phân cấp xói mòn đất do mưa tại Việt Nam [36].

Cấp độ	Lượng đất bị xói mòn trung bình năm (t/ha.năm)	Mức đánh giá xói mòn đất
I	≤ 1	Không bị xói mòn đất
II	1–5	Xói mòn đất nhẹ
III	5–10	Xói mòn đất trung bình
IV	10–50	Xói mòn đất mạnh
V	> 50	Xói mòn đất rất mạnh

3. Kết quả và thảo luận

3.1. Xây dựng mô hình SWAT cho các lưu vực sông tại tỉnh Gia Lai

Dữ liệu DEM được dùng để xác định mạng lưới các sông, vị trí các cửa ra lưu vực và ranh giới của các lưu vực trên địa bàn tỉnh Gia Lai (Hình 4). Các lưu vực này được chọn với ngưỡng diện tích lớn hơn 10.000 ha. Có khoảng 13 lưu vực độc lập được xác định trên địa bàn tỉnh Gia Lai và chiếm khoảng 89,22% diện tích tỉnh. Trong số các lưu vực này thì lưu vực sông Ba là lưu vực có diện tích lớn nhất và lưu vực sông Côn có diện tích nhỏ nhất trên địa bàn tỉnh Gia Lai (Bảng 4). Do lưu vực sông Ba có diện tích khá lớn so với các lưu vực còn lại nên quá trình mô phỏng và kết quả đều dựa trên các tiểu lưu vực của lưu vực sông này. Như vậy kết quả phân vùng tài nguyên nước và xói mòn sẽ được thể hiện theo ranh giới của tiểu lưu vực. Tiếp theo, mô hình sẽ tính toán thông số cho mỗi lưu vực như số lượng tiểu lưu vực và độ cao lưu vực. Mô hình sẽ tiếp tục xác định sự phân bố của các đơn vị thủy văn trong lưu vực sau khi dữ liệu sử dụng đất và thổ nhưỡng được đưa vào mô hình. Cuối cùng, dữ liệu về thời tiết được đưa vào mô hình.



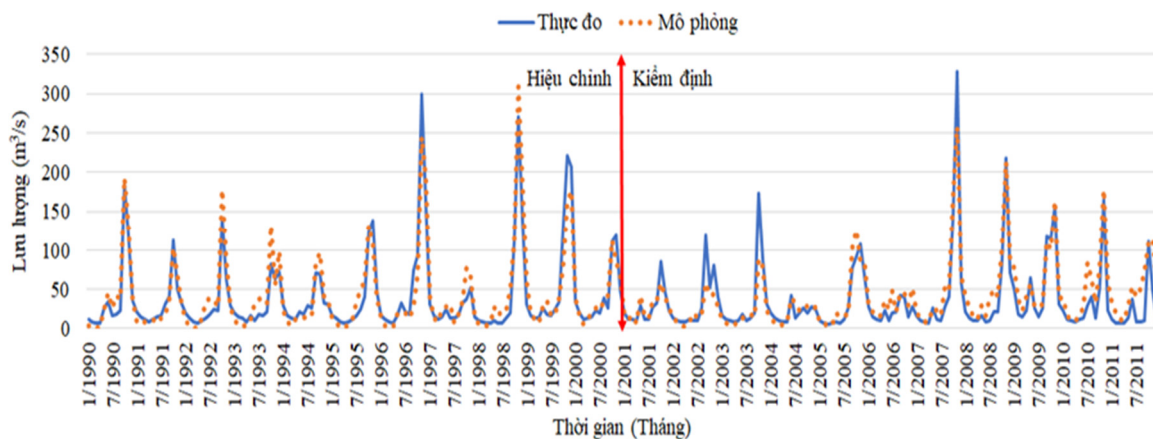
Hình 4. Phân chia các lưu vực trên địa bàn tỉnh Gia Lai.

Bảng 4. Số lượng và diện tích của các lưu vực trên địa bàn tỉnh Gia Lai.

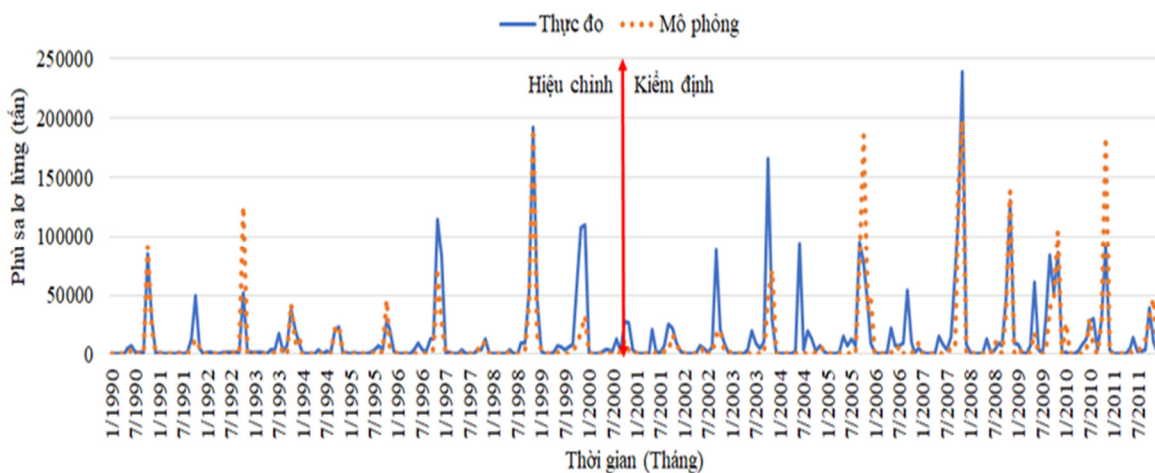
TT	Định danh lưu vực	Diện tích (km ²)
1	Sông Ba	8.341,37
2	Sông Ia Drang	968,39
3	Sông Ia Krom	900,56
4	Sông Ya Lop 1	894,85
5	Sông Ia Iehom	825,45
6	Sông Ya Lop 2	564,53
7	Phụ lưu Xê Xan	291,86
8	Phụ lưu Dak Po Ne 1	243,33
9	Phụ lưu Ia Krong Bơ Lan	235,22
10	Phụ lưu hồ Ya Ly	185,97
11	Phụ lưu Dak Po Ne 2	159,74
12	Sông La Hieng	126,87
13	Sông Côn	124,66

3.2. Đánh giá hiệu quả của mô hình SWAT

Quá trình hiệu chỉnh và kiểm định mô hình tập trung vào việc cải thiện kết quả mô phỏng của mô hình SWAT. Số liệu quan trắc lưu lượng dòng chảy và bùn cát lơ lửng theo tháng giai đoạn 1990–2000 và 2001–2011 tại trạm An Khê được sử dụng lần lượt cho quá trình hiệu chỉnh và kiểm định mô hình SWAT (Hình 5 và 6). Đối với biến lưu lượng dòng chảy, phân tích độ nhạy dựa trên dòng chảy mặt cho thấy các thông số nhạy nhất trong quá trình mô phỏng thủy văn trên lưu vực sông Ba đó là hệ số đường cong SCS cho điều kiện độ ẩm II (CN2), hệ số phân định dòng chảy cơ sở (ALPHA_BF), độ trễ dòng chảy ngầm (GW_DELAY) và độ cao mực nước ngầm (GWQMN) (Bảng 5). Trong khi đó, phân tích độ nhạy dựa trên lượng bùn cát lơ lửng cho thấy các thông số nhạy nhất trong quá trình mô phỏng thủy văn trên lưu vực sông Ba đó là tham số tuyến tính để tính lượng bùn cát lơ lửng tối đa trong dòng chảy (SPCON), hệ số xói mòn của đất (USLE_K), hệ số phương pháp canh tác (USLE_P), độ che phủ ban đầu (RSDIN) và hiệu suất hỗn hợp sinh khối (BIOMIX) (Bảng 5). Kết quả đánh giá độ tin cậy của mô hình trong mô phỏng dòng chảy và bùn cát lơ lửng được đánh giá bằng các chỉ số NSE, PBIAS, và hệ số RSR (Bảng 6). Thông qua giá trị của các chỉ số đánh giá, mô hình cho ra kết quả mô phỏng khá tốt cho cả lưu lượng dòng chảy và bùn cát lơ lửng [34].



Hình 5. Lưu lượng dòng chảy trung bình tháng thực đo và mô phỏng tại trạm An Khê thuộc lưu vực sông Ba trong giai đoạn hiệu chỉnh (1990–2000) và kiểm định (2001–2011).



Hình 6. Tải lượng bùn cát lơ lửng trung bình tháng thực đo và mô phỏng tại trạm An Khê thuộc lưu vực sông Ba trong giai đoạn hiệu chỉnh (1990–2000) và kiểm định (2001–2011).

Bảng 5. Bộ thông số hiệu chỉnh lưu lượng dòng chảy và bùn cát lơ lửng cho mô hình SWAT tại trạm An Khê thuộc lưu vực sông Ba.

TT	Thông số	Đơn vị	Ngưỡng giá trị	Ghi chú
1	CN2	–	-0,2 – -0,1	
2	ALPHA_BF	–	0–0,1	
3	GW_DELAY	ngày	0–100	Thông số hiệu chỉnh
4	GWQMN	mm	2500–3500	lưu lượng dòng chảy
5	LAT_TTIME	ngày	0–30	
6	SPCON	–	0,0001–0,01	
7	USLE_K	–	0–0,65	
8	RSDIN	–	0–10000	Thông số hiệu chỉnh
9	BIOMIX	–	0–1	lượng bùn cát lơ lửng
10	USLE_P	–	0–1	

Bảng 6. Kết quả đánh giá hiệu quả mô phỏng lưu lượng dòng chảy và bùn cát lơ lửng của mô hình SWAT.

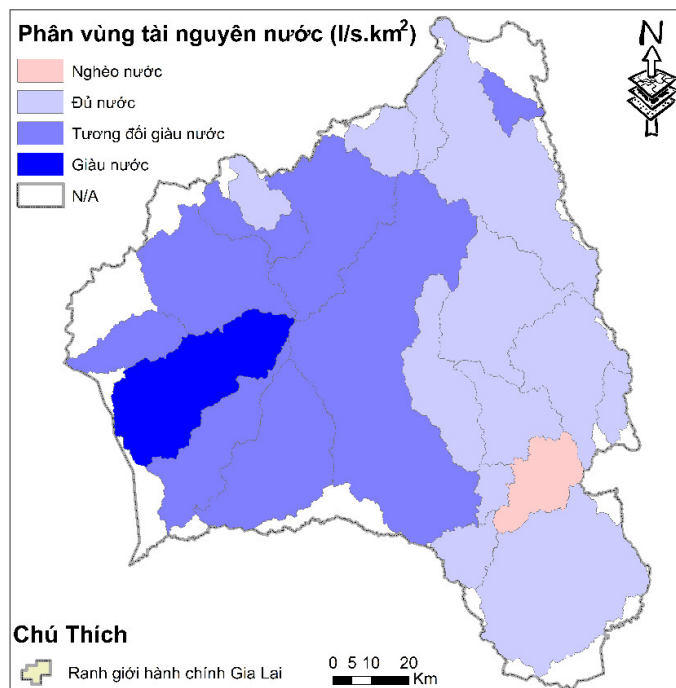
Biến đầu ra mô hình	Hiệu chỉnh			Kiểm định			
	SWAT	NSE	RSR	PBIAS	NSE	RSR	PBIAS
Lưu lượng dòng chảy		0,88	0,35	-3,4	0,81	0,44	-16,1
Bùn cát lơ lửng		0,67	0,57	33,1	0,54	0,68	26,0

3.3. Phân vùng tài nguyên nước mặt

Dựa vào kết quả tính toán mô đun dòng chảy, các lưu vực sông trên địa bàn tỉnh Gia Lai có nguồn tài nguyên nước khá dồi dào (Hình 7). Tuy nhiên, trên địa bàn tỉnh có một tiểu lưu vực nhỏ (351 km²) thuộc lưu vực sông Ba nằm trên địa bàn huyện Ia pa có nguồn tài nguyên nước hạn chế. Nguyên nhân là do hạn chế về lượng mưa ở khu vực này (~1280 mm/năm) thấp hơn 43,8% so với các khu vực khác. Dựa trên kết quả mô phỏng lượng dòng chảy, mô đun dòng chảy trung bình hàng năm trên các lưu vực cũng được tính toán và thể hiện ở bảng 7. Trong đó, đáng chú ý là lưu vực sông Ia Drang, Ya Lop 1 và phụ lưu Xê Xan là các lưu vực với mức mô đun dòng chảy trung bình hàng năm cao nhất tương ứng là 63,4 và 60,0 và 58,8 l/s–km². Nhìn chung, không có sự khác biệt lớn (< 5%) trong phân bố tài nguyên nước giữa các lưu vực trên địa bàn tỉnh, khoảng 48% nguồn nước tập trung ở lưu vực sông Ba (chiếm 8,58 tỷ m³), toàn bộ các lưu vực còn lại chiếm có 52% lượng nước. Theo đó, khu vực phía tây có nguồn tài nguyên nước nhiều hơn 4% so với khu vực phía đông của tỉnh Gia Lai. Như vậy, tổng quỹ nước mặt hàng năm của các sông suối trên địa bàn tỉnh Gia Lai khoảng 17,74 tỷ m³, chủ yếu là từ lượng nước mặt sinh ra từ mưa.

Nguồn tài nguyên nước trên địa bàn tỉnh có sự phân hóa rõ rệt theo mùa. Lượng mưa là yếu tố quan trọng chi phối tài nguyên nước cũng như sự phân bố của tài nguyên nước. Do sự ảnh hưởng của mưa, tỉnh Gia Lai chia ra hai mùa khô và mùa mưa rõ rệt [28]. Mùa mưa bắt đầu từ tháng V cho đến hết tháng XI và mùa khô từ tháng XII cho đến tháng IV năm sau. Dòng chảy tại các lưu vực trong giai đoạn mô phỏng đạt đỉnh mùa mưa (tháng V đến tháng XI), các tháng còn lại trong năm (nhất là trong mùa khô) dòng chảy rất nhỏ. Trong giai đoạn mùa mưa, giá trị mô đun dòng chảy trên các lưu vực sông dao động từ khoảng 73,5 l/s–km² (lưu vực Sông phụ lưu Dak Po Ne 2) đến 146,6 l/s–km² (sông Ia Drang). Những tháng mùa mưa này có thể đóng góp lên đến khoảng 90% lượng tài nguyên nước hàng năm. Những tháng từ XII đến tháng IV năm sau (những tháng mùa khô) thì giá trị lưu lượng dòng chảy rất nhỏ, nhỏ nhất vào tháng

II, III. Trong giai đoạn này, giá trị mô đun dòng chảy trên các lưu vực sông ở mức khoảng 0,5 l/s–km² (lưu vực phụ lưu sông Dak Po Ne 2) đến 8,1 l/s–km² (lưu vực sông Côn). Do sự phân phối không đều giữa các mùa, tài nguyên nước có thể bị tổn thất lớn hoặc gây ra thiên tai như lũ lụt trong mùa mưa và thiếu hụt, khan hiếm trong mùa khô cạn. Trên cơ sở đó, các biện pháp công trình có thể là một giải pháp giúp điều hòa phân bố của tài nguyên nước theo mùa nhằm giảm thất thoát nước trong mùa mưa và tăng cường lượng nước trong mùa khô cạn. Bên cạnh đó, cần có sự điều tiết sử dụng hợp lý nguồn tài nguyên nước cũng như điều chỉnh lịch sản xuất theo mùa một cách hợp lý phục vụ cho mục tiêu phát triển kinh tế xã hội của tỉnh.



Hình 7. Bản đồ phân vùng tài nguyên nước mặt cho các lưu vực sông trên địa bàn tỉnh Gia Lai.

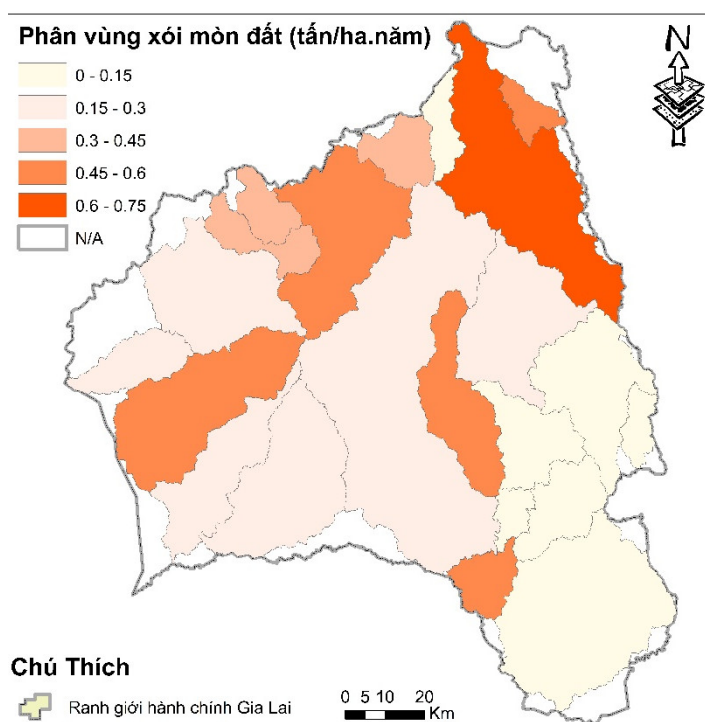
Bảng 7. Mô đun dòng chảy và lượng đất xói mòn trung bình hàng năm của các lưu vực trên địa bàn tỉnh Gia Lai.

TT	Định danh lưu vực	Mô đun dòng chảy trung bình hàng năm (l/s–km ²)	Lượng đất xói mòn trung bình hàng năm (tấn/ha.năm)
1	Sông Ba	32,6*	0,250*
2	Sông Ia Drang	63,4	0,358
3	Sông Ia Krom	52,9	0,510
4	Sông Ya Lop 1	60,0	0,256
5	Sông Ia Iehom	55,2	0,286
6	Sông Ya Lop 2	45,3	0,286
7	Phụ lưu Xê Xan	58,8	0,216
8	Phụ lưu Dak Po Ne 1	29,7	0,352
9	Phụ lưu Ia Krong Bơ Lan	50,5	0,366
10	Phụ lưu hồ Ya Ly	32,9	0,381
11	Phụ lưu Dak Po Ne 2	28,4	0,003
12	Sông La Hieng	31,4	0,00003
13	Sông Côn	45,7	0,411

* Giá trị trung bình của các tiểu lưu vực thuộc lưu vực sông Ba

3.4. Phân vùng xói mòn đất

Theo bảng phân loại cấp độ xói mòn đất trong tiêu chuẩn Quốc Gia (TCVN 5299:2009) và kết quả mô phỏng thì xói mòn đất trên địa bàn tỉnh Gia Lai không đáng kể vì tất cả các lưu vực trên địa bàn tỉnh đều có lượng xói mòn dưới 1 tấn/ha.năm. Các lưu vực sông trên địa bàn tỉnh có giá trị xói mòn trong khoảng từ 0 đến 0,75 tấn/ha.năm (Hình 8). Các lưu vực có giá trị xói mòn từ 0,3 đến 0,75 tấn/ha.năm tập trung ở khu vực phía bắc và tây của tỉnh. Điều này có thể được giải thích là do địa hình khá dốc (trung bình độ dốc khoảng 11,2°) của khu vực này cùng với lượng mưa lớn và độ che phủ của rừng ở mức trung bình. Trong khi đó, lưu vực sông phụ lưu Dak Po Ne 2 và phần phía đông nam của tỉnh Gia Lai (một số tiểu lưu vực gần cửa ra của lưu vực sông Ba và lưu vực sông La Hieng) là nơi có xói mòn đất rất thấp (0 đến 0,15 tấn/ha.năm). Nguyên nhân có thể là do diện tích rừng che phủ lớn từ 90% đến 100 diện tích của các khu vực này. Thêm vào đó, riêng đối với vùng phía đông nam của tỉnh Gia Lai thì đây là khu vực có lượng mưa thấp (~1280 mm/năm) và điều này có thể đã làm giảm lượng xói mòn đất so với các khu vực khác.



Hình 8. Bản đồ phân vùng mức độ xói mòn đất cho các lưu vực sông tại tỉnh Gia Lai.

Đất sau khi bị xói mòn có thể đi vào dòng chảy sông suối và được biểu thị qua lưu lượng bùn cát lơ lửng. Ngoài ra, theo kết quả mô phỏng thì lượng bùn cát lơ lửng từ 0,00001 kg/s cho lưu vực sông La Hieng đến 6,77 kg/s cho lưu vực sông Ba. Lưu lượng bùn cát lơ lửng trong các lưu vực sông trên địa bàn tỉnh Gia Lai thuộc vào loại nhỏ, so với các lưu vực sông suối khác ở các khu vực khác trên cả nước thì nhỏ hơn nhiều. Ví dụ lưu lượng bùn cát lơ lửng của sông Đà ở Hòa Bình là 2.260 kg/s [37]. Nguyên nhân chính có thể là do các lưu vực sông trên địa bàn tỉnh Gia lai có diện tích nhỏ và được che phủ bởi diện tích rừng lớn cũng như lượng mưa trung bình hàng năm nằm ở mức trung bình. Trong các loại hình sử dụng đất thì đất nông nghiệp trong khu vực nghiên cứu là loại hình dễ bị xói mòn nhất với lượng xói mòn 0,514 tấn/ha.năm. Nếu chỉ xem xét đến mỗi yếu tố thảm phủ bề mặt, các nhóm đất khác như lâm nghiệp hoặc phi nông nghiệp có lượng xói mòn không đáng kể.

Nhìn chung quá trình biến đổi lưu lượng bùn cát lơ lửng trong năm chịu sự tác động của chế độ dòng chảy, cụ thể lưu lượng nước tăng, lưu lượng bùn cát lơ lửng lớn, lưu lượng nước giảm, lưu lượng bùn cát lơ lửng nhỏ. Theo đó, lưu lượng bùn cát lơ lửng tại các lưu vực sông

khá ổn định trong các tháng mùa khô nhưng biến đổi rất mạnh trong các tháng mùa mưa. Vào mùa mưa, lượng bùn cát lơ lửng trong dòng chảy có giá trị trung bình khoảng 28.311,71 tấn cho toàn tỉnh Gia Lai, với diện tích lớn nhất thì lượng bùn cát thất thoát ra khỏi lưu vực sông Ba lên đến 192.801,58 tấn. Lượng bùn cát lơ lửng trong năm tập trung nhiều vào mùa mưa (từ tháng V đến giữa tháng XI), chiếm khoảng 96% lưu lượng bùn cát cả năm. Bốn tháng có lượng bùn cát lơ lửng lớn nhất là tháng VIII, IX, X, XI so với cả năm chúng chiếm từ 63–85% trên địa bàn toàn tỉnh và đặc biệt 84% đối với lưu vực sông Ba và 85% đối với lưu vực sông Côn. Vào mùa khô, lượng bùn cát lơ lửng rất thấp, có thể chỉ đạt giá trị trung bình khoảng 1.480,01 tấn cho toàn tỉnh Gia Lai. Ba tháng có lượng bùn cát nhỏ nhất là tháng I, II, III tổng lượng bùn cát lơ lửng của 3 tháng này đạt không tới 1% trên cả năm.

4. Kết luận

Nghiên cứu này sử dụng cách tiếp cận mô hình SWAT để mô phỏng lưu lượng dòng chảy và xói mòn đất phục vụ phân vùng và đánh giá nguồn tài nguyên nước mặt và xói mòn đất cho các lưu vực trên địa bàn tỉnh Gia Lai. Mô hình SWAT của 13 lưu vực sông cho tỉnh Gia Lai được xây dựng. Các chỉ số NSE, RSR và PBIAS cho thấy mô hình SWAT có độ tin cậy tốt trong mô phỏng lưu lượng dòng chảy và trung bình trong mô phỏng lưu lượng bùn cát lơ lửng. Hai bản đồ phân bố tài nguyên nước mặt và mức độ xói mòn đất theo từng lưu vực sông trên địa bàn tỉnh Gia Lai được thành lập dựa trên các kết quả mô phỏng. Nhìn chung các lưu vực sông tại tỉnh Gia Lai có nguồn tài nguyên nước mặt tương đối dồi dào. Vùng bị xói mòn tập trung ở khu vực phía bắc và tây của tỉnh nơi có địa hình dốc và núi cao. Các kết quả từ nghiên cứu này đã chứng minh khả năng ứng dụng hiệu quả của mô hình SWAT trong đánh giá nguồn tài nguyên nước và xói mòn đất cho các lưu vực sông ở khu vực có địa hình dốc. Cuối cùng, do hạn chế về mặt dữ liệu đầu vào và quá trình hiệu chỉnh, kiểm định mô hình SWAT chỉ được thực hiện ở một tiểu lưu vực (vị trí cửa ra tiểu lưu vực tại trạm An Khê) của lưu vực sông Ba có thể tạo nên sự bất định cao và thiếu chính xác trong ước lượng, phân vùng và đánh giá tài nguyên nước mặt và xói mòn đất cho tỉnh Gia Lai. Do đó, hướng nghiên cứu tiếp theo là nên tăng cường việc thu thập dữ liệu đầu vào đặc biệt là dữ liệu mưa và thủy văn, cũng như thông tin về các thông số đã hiệu chỉnh và kiểm định của mô hình SWAT cho các lưu vực lân cận. Đồng thời, chi tiết hóa hơn sự phân chia lưu vực sông trên địa bàn tỉnh Gia Lai và mở rộng phạm vi hiệu chỉnh và kiểm định cho toàn bộ lưu vực sông Ba cũng như các lưu vực sông Sê San và sông Srepok.

Đóng góp của tác giả: Xây dựng ý tưởng nghiên cứu: N.D.L., L.H.T., N.K.L., N.T.H.; Lựa chọn phương pháp nghiên cứu: N.D.L., L.H.T., N.K.L.; Xử lý số liệu: D.N.D.P., P.T.H., N.T.N., L.M.H., P.G.D.; Chạy mô hình: L.H.T., D.N.D.P., P.T.H., N.T.N., L.M.H., P.G.D.; Phân tích và đánh giá kết quả: L.H.T., N.K.L., N.T.H., H.H.A.; Viết bản thảo bài báo: L.H.T., N.K.L., N.T.H., H.H.A.; Chính sửa bài báo: L.H.T., N.D.L., D.N.D.P., P.T.H., N.T.N., L.M.H., H.H.A., N.K.L., N.T.H.

Lời cảm ơn: Để hoàn thành nghiên cứu này, chúng tôi trân trọng gửi lời cảm ơn đến Sở Khoa học và Công nghệ tỉnh Gia Lai đã cấp kinh phí thông qua đề tài: “Xác định tập đoàn giống cây trồng nông nghiệp chủ lực của tỉnh Gia Lai”, Mã số: KHGL-09-18.

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. Sơn, N.T. Đánh giá tài nguyên nước Việt Nam. Nhà Xuất Bản Đại Học Quốc Gia Hà Nội, 2005.
2. Lan, Đ.T.; Tài, Đ.A. Kinh tế tài nguyên đất. Nhà Xuất Bản Nông Nghiệp, 2007.

3. Đạt, N.T. Suy thoái tài nguyên nước lưu vực sông ở Việt Nam, nguyên nhân và giải pháp. Hội đập lớn Việt Nam, 2007.
4. Thu, Đ.C. Suy thoái đất và phục hồi đất bị suy thoái. Trung tâm Nghiên cứu và Phát triển Nông nghiệp Bền vững Đại học Nông nghiệp Hà Nội, 2009.
5. Dũng, N.B. Nghiên cứu xây dựng mô hình số bề mặt nước ngầm lưu vực sông Ba phục vụ công tác quản lý và quy hoạch tài nguyên nước. *Tap chí Khí tượng Thủy văn* **2017**, 6, 36–43.
6. Trí, L.Q.; Guong, V.T.; Vũ, P.T.; Bình, N.T.S.; Kiệt, N.H.; Chiến, V.V. Đánh giá sự thay đổi đặc tính đất và sử dụng đất của 03 huyện ven biển tỉnh Sóc Trăng. *Tap chí khoa học Trường Đại học Cần Thơ* **2008**, 9, 59–68.
7. Tuấn, L.A. Quản lý tài nguyên nước bền vững, ứng phó với biến đổi khí hậu ở Đồng bằng sông Cửu Long. *Tap chí Khoa học và Công nghệ Việt Nam* **2019**, 7, 13–15.
8. Nguyên, M.H. Đánh giá tổng quát tác động của biến đổi khí hậu đối với tài nguyên đất đai và các biện pháp ứng phó. Viện nghiên cứu quản lý đất đai, **2012**, 272–282.
9. Khánh, N.N. Bước đầu nghiên cứu sự chuyển đổi quản lý tài nguyên đất, rừng, nước trên địa bàn Tây Nguyên. Hội thảo Quốc tế Viện Việt Nam học. *Nhà xuất bản Viện Việt Nam học và Khoa học phát triển* **2015**, 316–328.
10. Nhíp, N.T.; Dân, N.L.; Hằng, P.T.T. Tiềm năng và hiện trạng khai thác tài nguyên nước thượng lưu vực sông Đồng Nai (thuộc lãnh thổ Tây Nguyên). *Tap chí Khoa học Thủy lợi và Môi trường* **2019**, 65, 36–42.
11. Thúy, V.T.; Tuấn, N.V.; Lan, P.T.H. Ứng dụng phương trình USLE và GIS xây dựng bản đồ xói mòn đất khu vực Tây Nguyên. *Khoa học Kỹ Thuật Thủy Lợi và Môi Trường* **2019**, 66, 100–107.
12. Ván, N.V.; Quý, T.D.; Khánh; L.Đ.; Khải, L.Q.; Thủy, N.T.; Toàn, T.T. Những nguyên nhân gây suy thoái và rút ngắn chu kỳ kinh doanh của các vườn cà phê ở Tây Nguyên. *Bản B của Tap Chí Khoa học Và Công nghệ Việt Nam* **2015**, 2(9), 10–16.
13. Sơn, N.T.; Tuấn, N.C.; Thanh, C.; Vân, H.T. Nghiên cứu mô phỏng quá trình mưa – dòng chảy trên một số lưu vực sông ngòi miền trung phục vụ sử dụng hợp lý tài nguyên nước và đất. Nhà xuất bản Đại Học Quốc Gia Hà Nội, Đề tài NCKH QG. 07.15, **2008**, tr. 180.
14. Khôi, Đ.N.; Sâm, T.T.; Nhi, P.T.T.; Thịnh, N.V. Bước đầu xây dựng khung mô hình tích hợp đánh giá tài nguyên nước mặt dựa trên phương pháp tiếp cận môi liên kết nước – năng lượng – lương thực (WEF). *Kỷ yếu Hội nghị: Nghiên cứu cơ bản trong Khoa học Trái đất và Môi trường* **2019**, 382–385.
15. Gudmundsson, L.; Boulange, J.; Hong, D.X.; Gosling, S.N.; Grillakis, M.G.; Koutroulis, A.G.; Leonard, M.; Liu, J.; Schmied, H.M.; Papadimitriou, L.; Pokhrel, Y. Globally observed trends in mean and extreme river flow attributed to climate change. *Science* **2021**, 371(6534), 1159–1162. <https://doi.org/10.1126/science.aba3996>.
16. Âu, N.T.T; Liêm, N.D.; Lợi, N.K. Application of SWAT model and GIS for assessing water discharge at Dakbla river watershed. *VNU J. Sci. Earth Environ. Sci.* **2013**, 29(3), 1–13.
17. Tan, M.L.; Gassman, P.W.; Srinivasan, R.; Arnold, J.G.; Yang, X. A review of SWAT studies in Southeast Asia: applications, challenges and future directions. *Water* **2019**, 11(5), 914. <https://doi.org/10.3390/w11050914>.
18. Quang, N.H.; Hang, L.T.T.; Nga, P.T.T.; Kappas, M. Mô hình hóa nước chảy mặt và xói mòn đất cho tỉnh Yên Bái, Việt Nam sử dụng mô hình SWAT. *J. VN Environ.* **2016**, 8(1), 71–79. <https://doi.org/10.13141/jve.vol8.nol.pp71-79>.
19. Qué, N.D.; Hải, V.D. Đánh giá tác động của rừng đến dòng chảy và xói mòn đất trên một số lưu vực sông miền Trung và Tây Nguyên. *Tap chí Nông nghiệp Công nghiệp Thực phẩm* **2006**, 19, tr. 57.

20. Hồng, N.T.; Liêm, N.D.; Bích, N.T.; Hiếu, L.D.B.; Tú, L.H.; Lợi, N.K. Application of SWAT model and GIS for assessing land use change to water discharge at Vu Gia river watershed. *VNU J. Sci. Nat. Sci. Technol.* **2014**, *30(2S)*, 80–91.
21. Bình, N.Q.; Công, N.H.; Dương, V.N. Đánh giá lượng vận chuyển bùn cát đến đầm Thị Nại, tỉnh Bình Định. *Khoa Học Kỹ Thuật Thủy Lợi và Môi Trường* **2019**, *65*, 58–66.
22. Vu, M.T.; Raghavan, V.S.; Liong, S.Y. Ensemble climate projection for hydro-meteorological drought over a river basin in Central Highland, Vietnam. *KSCE J. Civ. Eng.* **2015**, *19(2)*, 427–433. <https://doi.org/10.1007/s12205-015-0506-x>.
23. Bách, T.V. Ứng dụng mô hình SWAT để tính toán lưu lượng dòng chảy và bùn cát trên lưu vực sông Cầu. *Tap chí Khoa học kỹ thuật thủy lợi và môi trường* **2017**, *57*, 136–142.
24. Dũng, N.K.; Bích, N.T. Ứng dụng SWAT tính toán dòng chảy và bùn cát lưu vực sông Sê San. *Hội thảo khoa học lần thứ 9, Viện Khí Tượng Thủy Văn*, 2005.
25. UBND tỉnh Gia Lai. Giới thiệu chung về tỉnh Gia Lai. *Công thông tin điện tử tỉnh Gia Lai*, 2010.
26. UBND tỉnh Gia Lai. Báo cáo thuyết minh tổng hợp: Quy hoạch sử dụng đất đến năm 2020, kế hoạch sử dụng đất 5 năm (2011–2015) tỉnh Gia Lai. *UBND tỉnh Gia Lai*, 2012.
27. Kỳ, N.Đ. Xây dựng cơ sở dữ liệu GIS và Atlas điện tử vùng Tây Nguyên. *Viện Địa lý – Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam*. Đề tài nghiên cứu thuộc Chương trình Tây Nguyên 3, 2016.
28. UBND tỉnh Gia Lai. Điều Kiện Tự Nhiên. *Công thông tin điện tử tỉnh Gia Lai*, **2016**.
29. Neitsch, S.L.; Arnold, J.G.; Kiniry, J.R.; Williams, J.R. Soil and Water Assessment Tool, Theoretical Documentation: Version 2005. Texas Water Resour. Institute, TR–406, **2005**, 494 Tr.
30. Arnold, J.G.; Srinivasan, R.; Mutiah, R.S.; Williams, J.R. Large area hydrologic modeling and assessment part I: Model development. *J. Am. Water Resour. Assoc.* **1998**, *34*, 73–89. <https://doi.org/10.1111/j.1752-1688.1998.tb05961.x>.
31. Neitsch, S.L.; Arnold, J.G.; Kiniry, J.R.; Williams, J.R.. Soil and Water Assessment Tool Theoretical Documentation Version 2009. Texas Water Resour. Institute, TR–406, **2011**, pp. 647.
32. Abbaspour, K.C. SWAT Calibration and Uncertainty Programs. *Eawag, Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology*, **2015**, pp. 100.
33. Moriasi, D.N.; Arnold, J.G.; Van Liew, M.W.; Bingner, R.L.; Harmel, R.D.; Veith, T.L. Model Evaluation Guidelines for Systematic Quantification of Accuracy in Watershed Simulations. *Trans. ASABE* **2007**, *50*, 885–900. <https://doi.org/10.13031/2013.23153>.
34. Moriasi, D.N.; Gitau, M.W.; Pai, N.; Daggupati, P. Hydrologic and Water Quality Models: Performance Measures and Evaluation Criteria. *Trans. ASABE* **2015**, *58*, 1763–1785. <https://doi.org/10.13031/trans.58.10715>.
35. Tín, B.T.; Nhu, N.T.; Đăng, N.M. Đánh giá hiện trạng tài nguyên nước mặt phục vụ cấp nước sinh hoạt tỉnh Ninh Bình. *Tap chí Khoa học và Công nghệ Thủy lợi* **2014**, *23*, 91–101.
36. Tổng cục Tiêu chuẩn Đo lường Chất lượng. Tiêu Chuẩn Quốc Gia (TCVN 5299 : 2009) Chất lượng đất – phương pháp xác định mức độ xói mòn đất do mưa. Tổng cục Tiêu chuẩn Đo lường Chất lượng, Bộ Khoa học và Công nghệ, 2009.
37. Công ty Khảo sát thiết kế điện I. Nâng cao hiệu quả khai thác và sử dụng năng lượng. Thuộc đề tài KC.03.06. Nâng cao hiệu quả khai thác công trình thủy điện Hòa Bình. Công ty Khảo sát thiết kế điện I, Tổng công ty điện lực Việt Nam, 1995, tr. 10.

Application of SWAT model for zoning soil erosion and surface water resource in Gia Lai province

Le Hoang Tu^{1*}, Nguyen Thi Huyen², Phan Thi Ha¹, Dang Nguyen Dong Phuong¹, Nguyen Thanh Nghia¹, Le Minh Hai^{3,4}, Nguyen Duy Liem², Hoang Ha Anh⁵, Pham Gia Diep⁶, Nguyen Kim Loi¹

¹ Research Center for Climate Change, Nong Lam University–Ho Chi Minh City; tu.lehoang@hcmuaf.edu.vn; haphan0604@gmail.com; dangnguyendongphuong@gmail.com; 13162055@st.hcmuaf.edu.vn; ngkloi@hcmuaf.edu.vn

² Faculty of Environment and Natural Resources, Nong Lam University–Ho Chi Minh City; nt.huyen@hcmuaf.edu.vn; nguyenduyliem@hcmuaf.edu.vn

³ Center of Technology Application and Transfer, Department of Science and Technology of Gia Lai Province; minhhai.sokhcn@gmail.com

⁴ Institute for Environment and Resources, Vietnam National University–Ho Chi Minh City; minhhai.sokhcn@gmail.com

⁵ Faculty of Economics, Nong Lam University–Ho Chi Minh City; hoanghaanh@hcmuaf.edu.vn, nnthuy@hcmuaf.edu.vn

⁶ Information and communication office, Nong Lam University–Ho Chi Minh City; phamgiadiep@hcmuaf.edu.vn

Abstract: Assessment status of the existing status of land and surface water resources is a prerequisite to support effective and sustainable management of these resources. Thus, the study applied SWAT model to simulate streamflow and sediment which used for building zoning maps of soil erosion and surface water resource. The case study was Gia Lai province which is located in the Central Highlands of Vietnam. After calibrating and validating, the model performances in monthly timestep during period of 1990–2011 were satisfactory. The estimated results showed that the surface water resource has been relatively abundant and there were slightly differences in spatial distribution of surface water resources between the zones in Gia Lai province. However, temporal distribution of surface water resources had huge difference between seasons in a year. Meanwhile, simulated results from the SWAT model indicated that the soil erosion was negligible (less than 1 tons/ha.year) in the province. The soil erosion zoning map showed that soil erosion was occurred in the northern and western areas of Gia Lai province.

Keywords: SWAT model; Zoning map; Soil erosion; Surface water resource; Gia Lai province.

Bài báo khoa học

Ứng dụng mô hình ROMS mô phỏng trường dòng chảy khu vực vịnh Bắc Bộ

Nguyễn Thanh Trang^{1*}, Trần Hồng Lam¹, Trần Mạnh Cường¹, Nguyễn Anh Ngọc¹, Vũ Tiến Thành¹, Lưu Quang Hải¹

¹Trung tâm Hải văn, Tổng cục Biển và Hải đảo Việt Nam; thanhtrang979@gmail.com, thlam@monre.gov.vn, trancuong205@gmail.com, henry150986@gmail.com, vutienthanh711@gmail.com, quanghai162@gmail.com

*Tác giả liên hệ: thanhtrang979@gmail.com; Tel.: +84-974238744

Ban Biên tập nhận bài: 6/8/2021; Ngày phản biện xong: 15/9/2021; Ngày đăng bài: 25/12/2021

Tóm tắt: Nghiên cứu trình bày kết quả mô phỏng và đánh giá trường dòng chảy khu vực vịnh Bắc Bộ dựa trên hệ thống hoàn lưu đại dương (ROMS) và kỹ thuật đồng hóa 4D-VAR từ nguồn số liệu Radar biển. Kết quả mô phỏng trường dòng chảy khu vực Vịnh Bắc Bộ cho thấy: 1) Vào thời kỳ gió mùa đông bắc thịnh hành, tồn tại hệ thống dòng chảy thịnh hành có vận tốc khá lớn (0,6 m/s) dọc theo ven bờ phía Tây đi ra cửa Vịnh, cùng với đó là sự tồn tại của xoáy nghịch ở khu vực cửa Vịnh và xoáy thuận tại khu vực Nam Vịnh Bắc Bộ; 2) Vào mùa hè, hệ thống dòng chảy ven biển phía Tây đi ra cửa Vịnh vẫn tồn tại nhưng có cường độ nhỏ hơn (0,3 m/s), khác với thời kỳ gió mùa đông bắc, chỉ khu vực Nam Vịnh Bắc Bộ xuất hiện xoáy thuận.

Từ khóa: 4D-VAR; Dòng chảy; Đồng hóa dữ liệu; Radar biển; ROMS; Vịnh Bắc Bộ.

1. Mở đầu

Trên thế giới đã có nhiều công trình nghiên cứu về trường dòng chảy vịnh Bắc Bộ, trong đó, tập trung vào sử dụng phương pháp mô hình hóa đã đưa ra các nhận định, đánh giá. Các nghiên cứu về hoàn lưu vịnh Bắc Bộ đều cho thấy trong thời kỳ gió mùa đông bắc tạo ra một dòng chảy về hướng Nam ở tầng trên dọc theo ven bờ biển Việt Nam bù trừ với dòng chảy về hướng bắc ở phía đông vịnh dọc theo ven bờ đảo Hải Nam, tạo nên một xoáy thuận trên toàn bộ vịnh [1-5].

Tại Việt Nam có nhiều công trình nghiên cứu trường dòng chảy vịnh Bắc Bộ thông qua các dữ liệu điều tra khảo sát hoặc bằng mô phỏng bằng mô hình số trị. Các nghiên cứu đều đưa ra một số đặc điểm chính của hoàn lưu trong vịnh Bắc Bộ là sự tồn tại trong cả năm của dòng chảy ven bờ tây vịnh và sự hiện diện của một xoáy nghịch trên vùng biển phía Bắc vịnh trong mùa hè [6-10]. Để có được những dữ liệu tin cậy trong việc nghiên cứu dòng chảy, ngoài phương pháp điều tra thực địa và sử dụng mô hình số trị, đồng hóa dữ liệu trong các mô hình hải dương học đang được các nhà khoa học quan tâm trong thời gian gần đây. Các hướng chính trong đồng hóa dữ liệu bao gồm phát triển các kỹ thuật đồng hóa 3DVAR, 4DVAR và lọc Kalman kết hợp với mô hình số trị để có được các trường tái phân tích các yếu tố hải dương học sát với thực tế nhất [11-16].

Thời gian gần đây, cùng với sự phát triển của khoa học công nghệ, ngày càng có nhiều số liệu quan trắc phi truyền thống như số liệu từ vệ tinh hay số liệu từ các trạm Radar biển. Nguồn số liệu này, nếu được kết hợp với các mô hình số trị có thể làm tăng độ chính xác của kết quả mô phỏng.

Ở Việt Nam, hệ thống Radar biển được đầu tư xây dựng từ năm 2011. Dữ liệu quan trắc từ hệ thống Radar biển này có trường dòng chảy 2 chiều. Nghiên cứu [17] đã thử nghiệm đồng hóa dữ liệu quan trắc dòng chảy tầng mặt từ hệ thống Radar biển và trường nhiệt độ nước biển tầng mặt, độ cao bề mặt biển từ ảnh vệ tinh dựa trên sơ đồ đồng hóa biến phân 4 chiều kết hợp (4D-VAR) trong mô hình thủy động lực biển quy mô khu vực ROMS. Các kết quả nghiên cứu cho thấy việc đồng hóa dữ liệu góp phần làm tăng độ chính xác trong mô phỏng mực nước và dòng chảy bề mặt biển tại khu vực Vịnh Bắc Bộ.

Nghiên cứu này sử dụng mô hình quy mô khu vực ROMS sau khi được kiểm nghiệm với số liệu thực đo và áp dụng kỹ thuật đồng hóa 4D-VAR trong đó sử dụng số liệu dòng chảy tầng mặt từ hệ thống Radar biển để mô phỏng, tái phân tích trường dòng chảy ba chiều khu vực vịnh Bắc Bộ trong thời gian 1 năm (năm 2015). Từ đó, thực hiện đánh giá và phân tích trường dòng chảy để đưa ra các nhận định về đặc điểm của bức tranh trường dòng chảy tại khu vực Vịnh Bắc Bộ trong 2 mùa gió đặc trưng là đông bắc và tây nam.

2. Phương pháp nghiên cứu và dữ liệu sử dụng

2.1. Hệ thống mô hình hoàn lưu đại dương (ROMS)

ROMS là hệ thống hoàn lưu đại dương quy mô khu vực được xây dựng trên hệ phương trình xấp xỉ thủy tĩnh Boussinesq. Mô hình được xây dựng với tọa độ cong trục giao và lưới sigma theo phương thẳng đứng cho phép tăng độ phân giải theo phương ngang và phương thẳng đứng tại khu vực nước nông, khu vực có đường bờ và địa hình phức tạp. Do các tính năng đặc biệt trong giải phương trình động lượng và khuếch tán cũng như việc lựa chọn tham số hóa cho giải các bài toán xáo trộn theo phương ngang và phương thẳng đứng nên mặc dù mô hình ROMS được xây dựng cho các bài toán mô phỏng thủy động lực tại khu vực ven biển nhưng cũng được áp dụng tốt ở các vùng nước sâu, quy mô lưu vực và toàn cầu. Cơ sở lý thuyết của mô hình có thể được tham khảo trong tài liệu [18].

2.2. Số liệu, dữ liệu

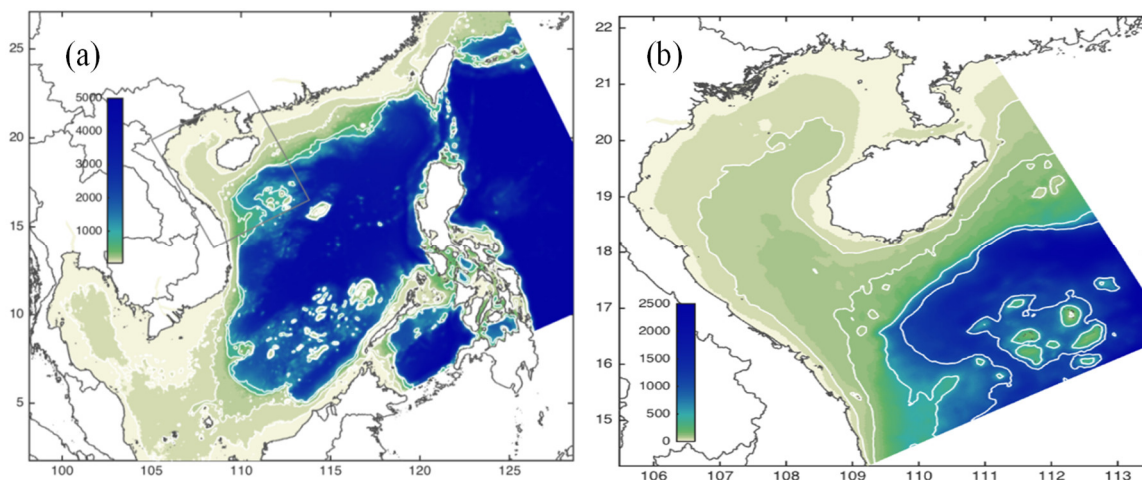
Dữ liệu địa hình khu vực vịnh Bắc Bộ, khu vực Biển Đông và lân cận được thu thập từ nguồn số liệu từ các bản đồ địa hình đáy biển bao gồm: 117 mảnh bản đồ tỷ lệ 1:50.000, 143 mảnh bản đồ tỉ lệ 1:5.000 do Cục Đo đạc, Bản đồ và Thông tin địa lý Việt Nam kết hợp với số liệu ETOPO của NOAA với độ phân giải 1×1 phút [19].

Số liệu nhiệt độ nước biển tầng mặt được phân tích từ nhiều nguồn ảnh vệ tinh (MODIS, Sentinel, AVHRR) có độ phân giải 1 km [20], số liệu cao độ bề mặt biển được phân tích từ vệ tinh TOPEX/JASON từ AVISO với độ phân giải 0.125° [21–22]; số liệu dòng chảy tầng mặt biển là số liệu từ hệ thống Radar biển của Trung tâm Hải văn, Tổng cục Biển và Hải đảo Việt Nam từ năm 2011 đến năm 2020.

Số liệu khí tượng với các thông số về ứng suất gió, thông lượng nhiệt bề mặt, bức xạ mặt trời là sản phẩm của mô hình ERA của ECMWF với bước thời gian 3 giờ và độ phân giải xấp xỉ 14 km [23]; số liệu dòng chảy, nhiệt độ và độ muối được thu thập từ HyCom với bước thời gian 3 giờ và độ phân giải theo phương ngang xấp xỉ 9,2 km và 40 tầng chuẩn theo độ sâu [24]; dữ liệu về lưu lượng nước sông trung bình tháng được thu thập tại các trạm thủy văn của 4 sông chính bao gồm: Đá Bạch và Sông Cẩm; Văn Úc; Sông Thái Bình; Sông Hồng từ năm 2000 đến 2018.

2.3. Miền tính, lưới tính

Mô hình ROMS được thiết lập để tính toán mô phỏng thủy động lực với 40 lớp theo phương thẳng đứng và độ phân giải theo phương ngang là 7×7 km cho toàn khu vực biển Đông và chi tiết $2,3 \times 2,3$ km cho khu vực ven biển Vịnh Bắc Bộ (Hình 1).



Hình 1. (a) Miền tính khu vực Biển Đông và (b) chi tiết cho khu vực Vịnh Bắc Bộ.

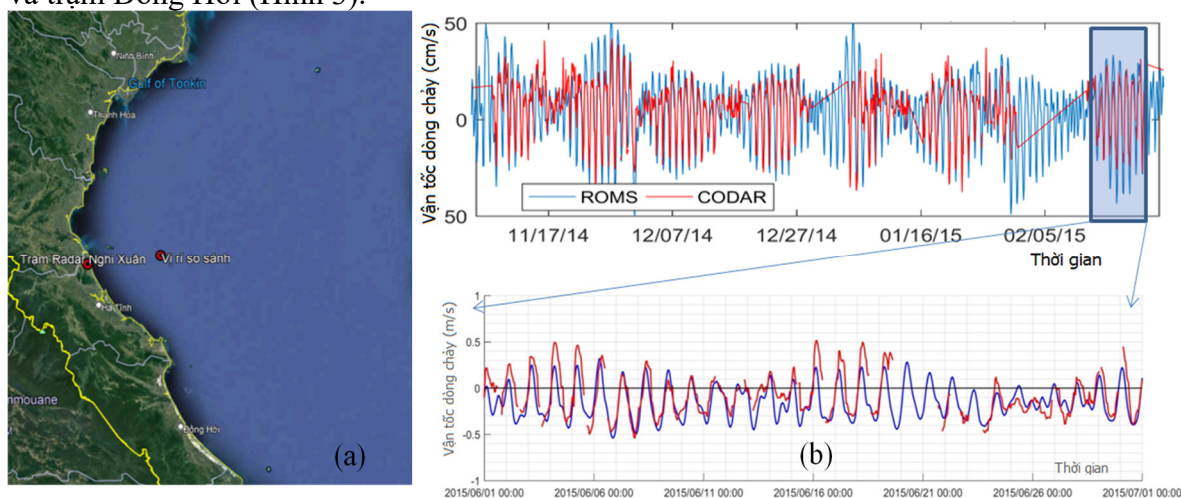
2.4. Điều kiện biên, điều kiện ban đầu

Điều kiện ban đầu và điều kiện biên lỏng phía biển được thu thập từ HyCom với độ phân giải theo phương ngang xấp xỉ 9,2 km và 40 tầng chuẩn theo độ sâu, điều kiện biên lỏng trong sông lưu lượng nước sông trung bình tháng tại các trạm thủy văn của 4 sông chính, điều kiện biên bề mặt là số liệu ứng suất gió, thông lượng nhiệt bề mặt, bức xạ mặt trời là sản phẩm của mô hình ERA của ECMWF với bước thời gian 3 giờ và độ phân giải xấp xỉ 14 km.

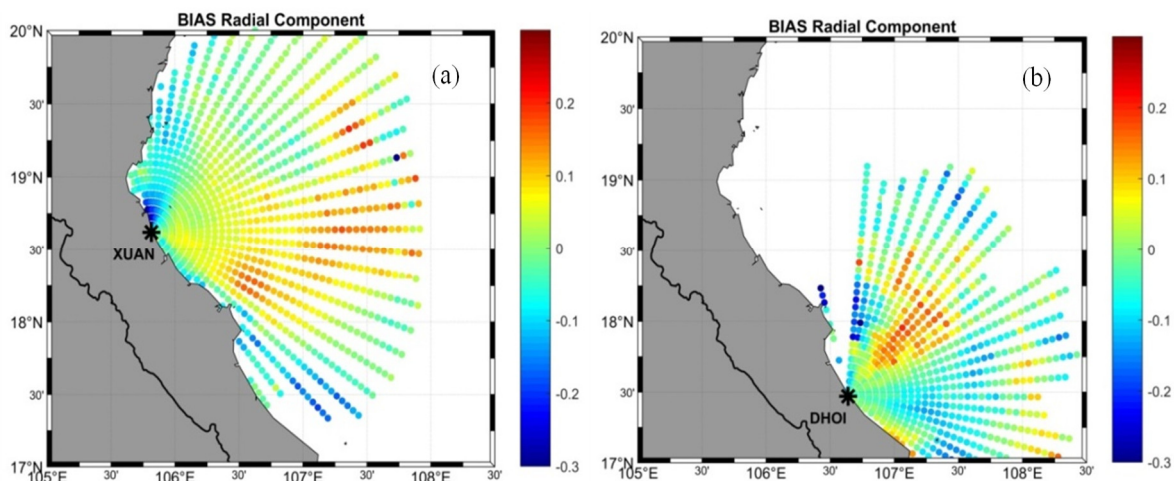
3. Kết quả và thảo luận

3.1. Kiểm nghiệm mô hình

Mô hình ROMS sau khi được đồng hóa, giá trị vận dòng chảy được trích xuất tại 1 điểm ở khu vực ngoài khơi trạm Radar Nghi Xuân để so sánh. Kết quả cho kết quả mô phỏng bằng mô hình có xu thế phù hợp với số liệu quan trắc từ hệ thống Radar biển (Hình 2). Ngoài ra, đánh giá độ chính xác của mô hình thông qua sai số trung bình (Bias) và sai số trung bình quân phương (RMSE) cho toàn khu vực có số liệu quan trắc từ hệ thống Radar biển. Kết quả hiệu chỉnh cho thấy, khu vực ven bờ từ Nghi Xuân đến Đồng Hới có sai số trung bình lớn nhất từ $-0,1$ đến $0,1$ m/s. Khi so sánh với vận tốc của từng trạm cho thấy sai số lớn nhất là khu vực ven bờ phía bắc của trạm Nghi Xuân và khu vực ngoài khơi ở giữa trạm Nghi Xuân và trạm Đồng Hới (Hình 3).

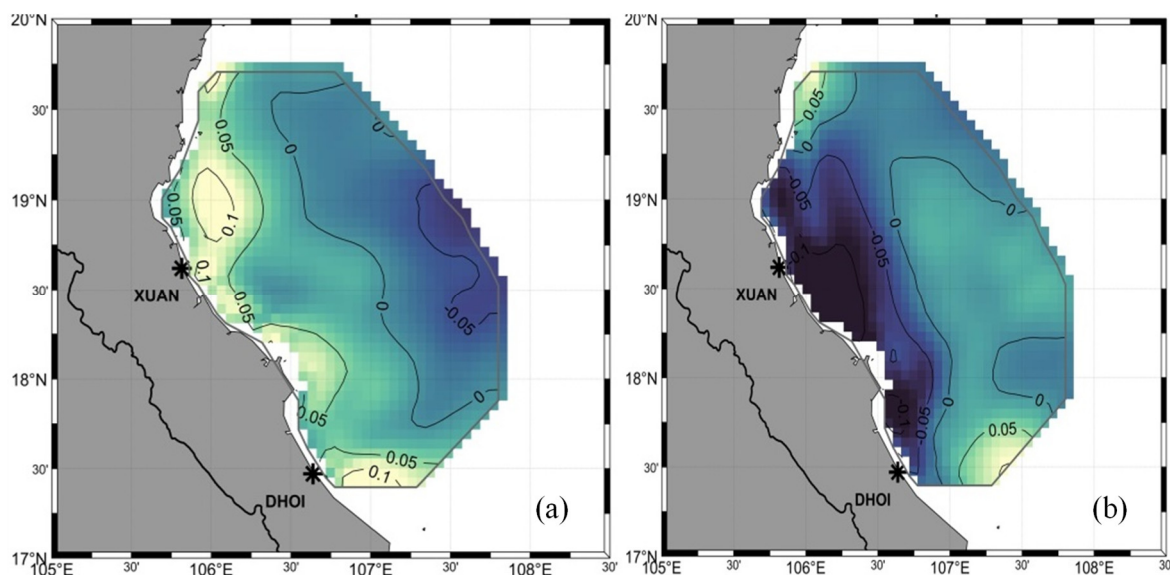


Hình 2. So sánh vận tốc dòng chảy giữa mô phỏng bằng mô hình và số liệu quan trắc từ Radar biển tại điểm ngoài khơi trạm Nghi Xuân tháng 12 năm 2014: (a) Vị trí điểm so sánh; (b) Thành phần vận tốc u.



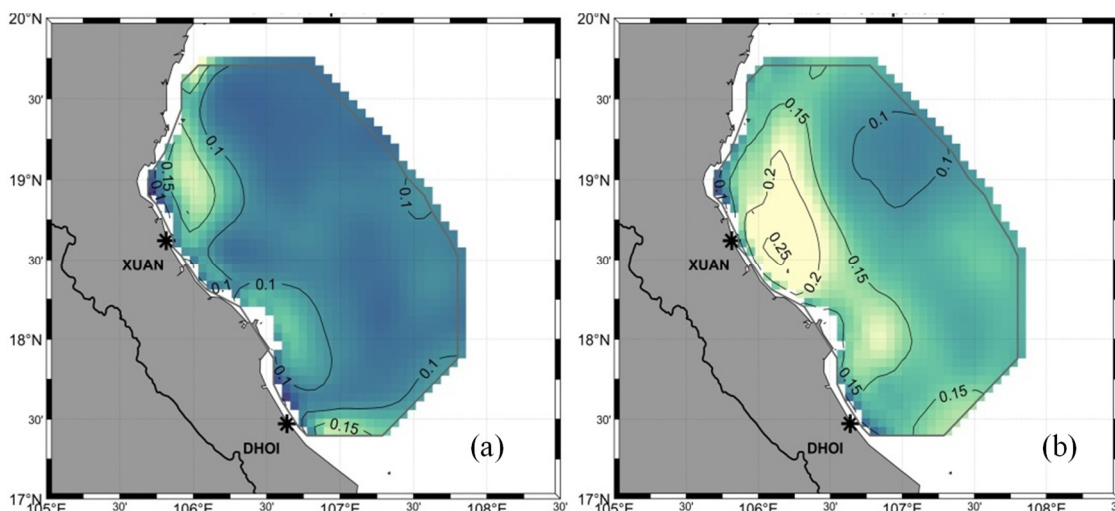
Hình 3. Sai số trung bình (BIAS) vận tốc dòng chảy giữa mô hình với số liệu quan trắc dòng chảy của từng trạm radar biển: (a) Trạm radar biển Nghi Xuân; (b) Trạm Radar biển Đồng Hới.

Đánh giá các chỉ số BIAS giữa số liệu quan trắc từ Radar biển và kết quả mô phỏng trên mặt rộng cho thấy, với thành phần vận tốc u , chỉ số BIAS dao động từ $-0,05$ đến $0,1$ m/s, khu vực có sai số lớn nhất là ngoài khơi vùng biển Nghi Xuân, trong khi với thành phần vận tốc v , chỉ số BIAS dao động từ 0 đến $0,1$ m/s, khu vực có sai số lớn nhất là ngoài khơi vùng biển Nghi Xuân (Hình 4).



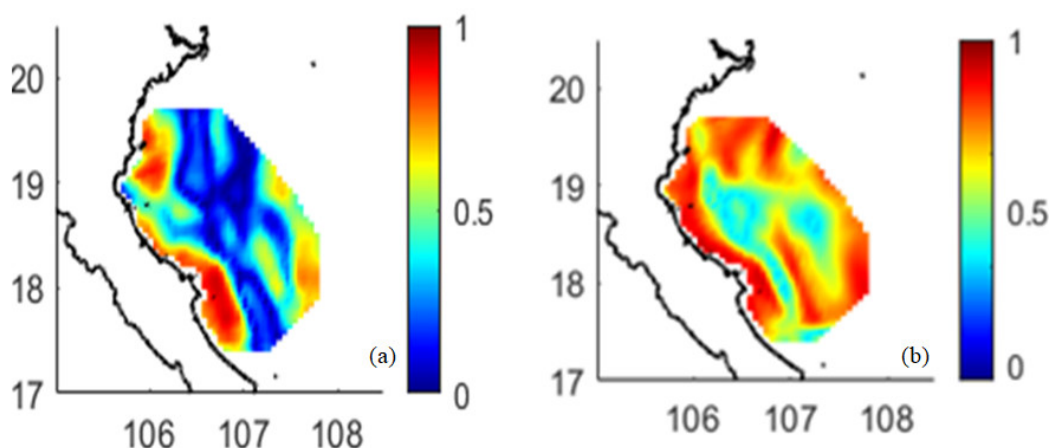
Hình 4. Sai số BIAS khi so sánh số liệu dòng chảy giữa mô phỏng bằng mô hình và số liệu quan trắc từ Radar biển: (a) Thành phần vận tốc u ; (b) Thành phần vận tốc v .

Đánh giá các chỉ số RMSE giữa số liệu quan trắc từ Radar biển và kết quả mô phỏng trên mặt rộng cho thấy, với thành phần vận tốc u , chỉ số RMSE dao động từ 0 đến $0,15$ m/s, khu vực có sai số lớn nhất là ngoài khơi vùng biển Nghi Xuân, trong khi với thành phần vận tốc v , chỉ số RMSE dao động từ 0 đến $0,25$ m/s, khu vực có sai số lớn nhất là ngoài khơi vùng biển Nghi Xuân (Hình 5).



Hình 5. Sai số RMSE khi so sánh số liệu dòng chảy giữa mô phỏng bằng mô hình và số liệu quan trắc từ Radar biển: (a) Thành phần vận tốc u; (b) Thành phần vận tốc v.

Sau khi mô hình ROMS kết hợp với sơ đồ đồng hóa biến phân bốn chiều (4D-Var) kết quả tái phân tích trường dòng chảy tầng mặt so với số liệu quan trắc từ hệ thống Radar biển có sự phù hợp hơn khi so sánh với số liệu quan trắc từ hệ thống Radar biển thông quan hệ tổ tương quan (Hình 6). Kết quả đánh giá dựa trên hai chỉ số BIAS và RMSE cho thấy hiệu quả của việc đồng hóa dữ liệu đã tăng độ chính xác lên rõ rệt về định lượng. Với các đánh giá trên, Mô hình ROMS được kết hợp với sơ đồ đồng hóa 4D-Var được sử dụng để mô phỏng, phân tích các đặc điểm trường dòng chảy tại khu vực Vịnh Bắc Bộ.



Hình 6. Hệ số tương quan giữa số liệu dòng chảy tầng mặt quan trắc từ hệ thống Radar biển với số liệu tính toán: (a) Chưa đồng hóa; (b) Sau khi đồng hóa.

3.2. Phân tích, đánh giá trường dòng chảy vịnh Bắc Bộ

Điều kiện biên khí tượng với các thông số về ứng suất gió, thông lượng nhiệt bề mặt, bức xạ mặt trời là sản phẩm tái phân tích của mô hình ERA của ECMWF trong năm 2015. Mô hình ROMS mô phỏng cho cả năm và được lấy trung bình cho từng tháng để phân tích, đánh giá các đặc trưng trường dòng chảy tại khu vực Vịnh Bắc Bộ.

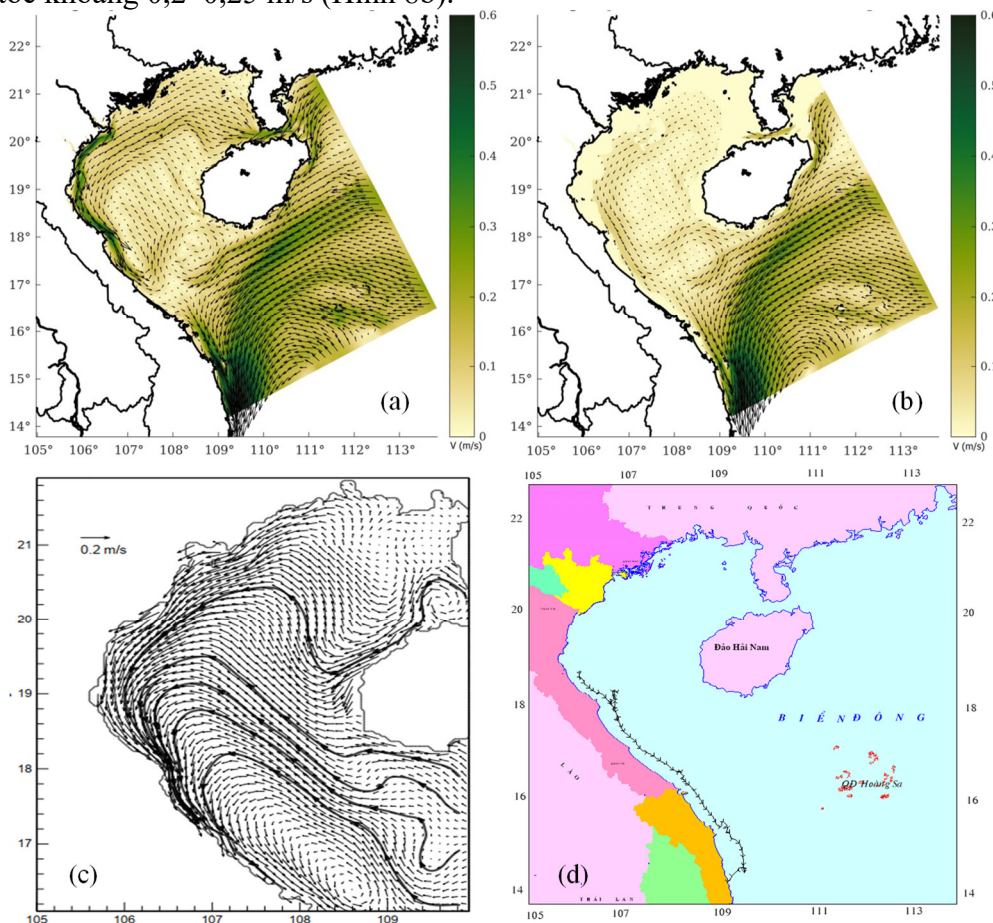
Trong thời kỳ gió mùa đông bắc thịnh hành (tháng 1), tại tầng mặt, khu vực Vịnh Bắc Bộ luôn tồn tại một hệ thống dòng chảy có vận tốc khá lớn, khoảng xấp xỉ 0,6 m/s dọc theo ven bờ biển phía Tây của vịnh Bắc Bộ và đi ra ngoài cửa vịnh, nhập vào dòng hoàn lưu lạnh phía tây của Biển Đông. Đây cũng là một trong những đặc điểm điển hình của dòng chảy vịnh Bắc Bộ trong thời kỳ gió mùa đông bắc tương tự như các nghiên cứu trước đây [25-31], cũng như quỹ đạo trôi của phao được thả trong tháng 2 năm 2017 (Hình 7d). Tại khu vực cửa Vịnh Bắc

Bộ, tồn tại một xoáy nghịch với quy mô không gian khoảng 150 km với vận tốc khoảng 0,3 m/s. Bên cạnh đó, tại khu vực giữa Vịnh Bắc Bộ, tồn tại một xoáy thuận với quy mô không gian khoảng 200–250 km với vận tốc khoảng 0,3 m/s (Hình 7a).

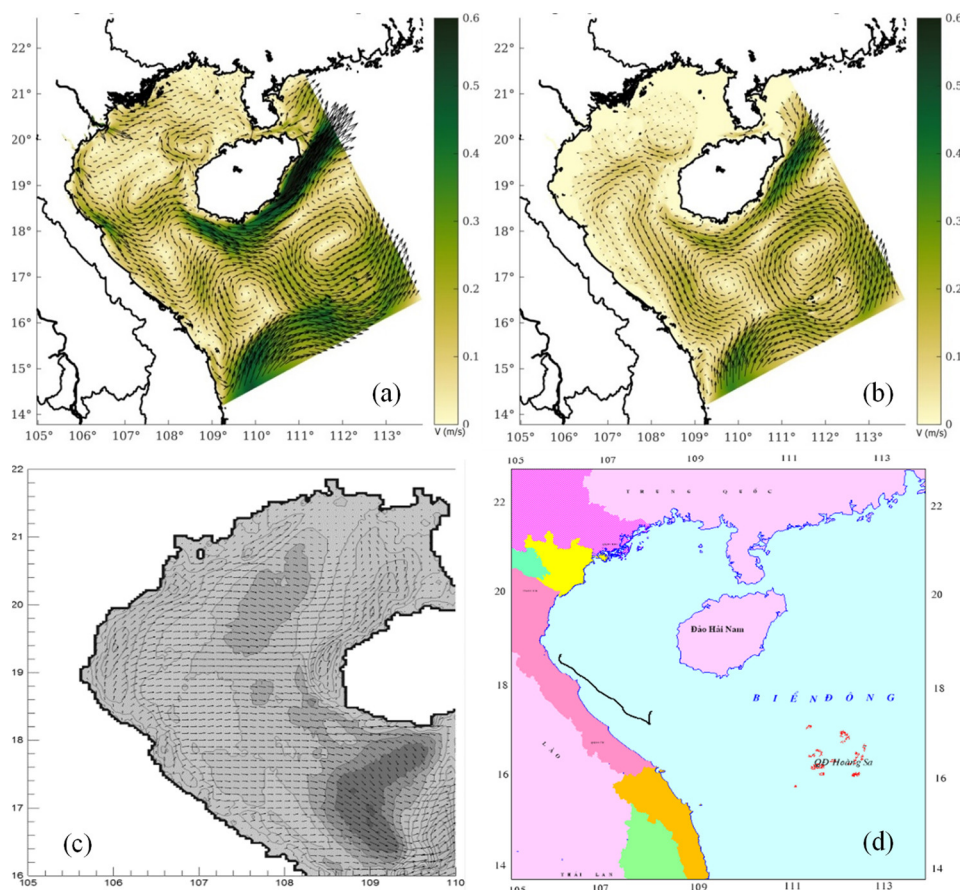
Tại tầng giữa (độ sâu 30 m), hệ thống dòng chảy ven bờ vẫn tồn tại nhưng với quy mô nhỏ hơn rất nhiều và vận tốc dòng chảy tại khu vực ven bờ khá nhỏ (dưới 0,2 m/s). Tại khu vực cửa Vịnh Bắc Bộ, tồn tại một xoáy nghịch với quy mô không gian như đối với tầng mặt nhưng với vận tốc nhỏ hơn, khoảng 0,1–0,15 m/s. Tại khu vực Nam Vịnh Bắc Bộ, vẫn tồn tại một xoáy thuận nhưng quy mô nhỏ hơn so với tầng mặt, đường kính khoảng 200 km và vận tốc khoảng 0,1–0,15 m/s (Hình 7b).

Trong thời kỳ gió mùa tây nam thịnh hành (tháng 7), tại tầng mặt, cũng giống như thời kỳ gió mùa đông bắc, luôn tồn tại một hệ thống dòng chảy ven bờ theo hướng từ Bắc xuống Nam nhưng với vận tốc nhỏ hơn (khoảng 0,3 m/s) và phạm vi xuất hiện chỉ từ khu vực ven biển từ Hà Tĩnh đến Đà Nẵng, đặc điểm này phù hợp với nghiên cứu của [25] và được minh chứng theo quỹ đạo trôi của phao được thả vào tháng 7 năm 2017 [26]. Tại vị trí tây cửa Vịnh Bắc Bộ hình thành hệ thống dòng chảy mạnh với vận tốc khoảng 0,6 m/s di chuyển về phía nam đảo Hải Nam và men theo đảo để đi lên phía bắc biển Đông. Cũng do hệ thống dòng chảy này, tại cửa Vịnh Bắc Bộ tồn tại một xoáy nghịch quy mô không gian khoảng 250 km với vận tốc khoảng 0,3–0,35 m/s (Hình 8a).

Tại tầng giữa (độ sâu 30 m), khác với tầng mặt, hệ thống dòng chảy ven bờ thể hiện không rõ ràng và vận tốc dòng chảy tại khu vực ven bờ khá nhỏ (dưới 0,1 m/s). Tuy nhiên, cũng giống tầng mặt, tại vị trí tây cửa Vịnh Bắc Bộ vẫn tồn tại hệ thống dòng chảy nhưng với quy mô nhỏ hơn tầng mặt, vận tốc dòng chảy lớn nhất khoảng 0,3 m/s. Xoáy nghịch của Vịnh Bắc Bộ ở tầng này cũng nhỏ hơn so với tầng mặt với quy mô không gian khoảng 200 km với vận tốc khoảng 0,2–0,25 m/s (Hình 8b).



Hình 7. Trường dòng chảy trung bình tháng 1 vùng biển vịnh Bắc Bộ: (a) Tầng mặt; (b) Tầng 30 mét; (c) Dòng chảy tầng mặt theo [25]; (d) Quỹ đạo phao trôi tháng 2 năm 2017 [26].



Hình 8. Trường dòng chảy trung bình tháng 7 vùng biển vịnh Bắc Bộ: (a) Tầng mặt; (b) Tầng 30 mét; (c) Dòng chảy tầng mặt theo [27]; (d) Quỹ đạo phao trôi thả tháng 7 năm 2017 [26].

4. Kết luận

Mô hình ROMS là công cụ đáp ứng được yêu cầu trong việc đánh giá chế độ dòng chảy theo các quy mô khác nhau. Kết quả tái phân tích trường dòng chảy 3 chiều với độ phân giải ngang ($2,3 \times 2,3$ km) với 40 lớp theo phương thẳng đứng cho thấy, khu vực ven biển từ Thanh Hóa đến Đà Nẵng luôn tồn tại dòng chảy ven bờ, tuy nhiên vận tốc và quy mô của dòng chảy phụ thuộc theo mùa. Trong các tháng mùa đông, hệ thống dòng chảy này đạt vận tốc lớn nhất khoảng 0,6 m/s và phạm vi mở rộng lên phía bắc có thể tới khu vực ven biển Hải Phòng. Trong các tháng còn lại dòng chảy ven biển bị thu hẹp về phạm vi chỉ còn thể hiện rõ từ khu vực ven biển từ Hà Tĩnh đến Đà Nẵng và vận tốc nhỏ hơn so với các tháng mùa đông và nhỏ nhất trong các tháng mùa hè, vận tốc trung bình khoảng 0,3 m/s.

Khu vực cửa vịnh Bắc Bộ luôn tồn tại một xoáy nghịch, tâm của xoáy nghịch này trong các tháng gió mùa đông bắc bị đẩy lùi vào khu vực nửa phía nam vịnh và có quy mô không gian khoảng 150 km, vận tốc khoảng 0,3 m/s. Trong các tháng gió mùa tây nam, tâm của xoáy nghịch này bị đẩy ra biên ngoài cửa vịnh, quy mô không gian 250 km với vận tốc khoảng 0,3–0,35 m/s.

Khu vực giữa Vịnh Bắc Bộ tồn tại một xoáy thuận, hoạt động của xoáy thuận này cũng thay đổi theo các mùa gió trong năm. Trong gió mùa đông bắc, xoáy thuận này có quy mô lớn, đường kính khoảng 200–250 km, vận tốc dòng chảy khoảng 0,3 m/s. Trong gió mùa tây nam, quy mô của xoáy thuận này giảm mạnh, đường kính khoảng 150 km và tâm của xoáy thuận có xu thế dịch chuyển lên phía bắc vịnh Bắc Bộ.

Đóng góp của tác giả: Xây dựng ý tưởng nghiên cứu: N.T.T., T.H.L.; Lựa chọn phương pháp nghiên cứu: N.T.T., T.H.L., T.M.C., N.N.T.; Xử lý số liệu: L.Q.H., N.A.N.; Mô hình hóa: T.M.C.; V.T.T., Phân tích kết quả: N.T.T.; Chỉnh sửa bài báo: N.T.T., T.H.L.

Lời cảm ơn: Nghiên cứu này được thực hiện dưới sự giúp đỡ, hỗ trợ của Đề tài cấp bộ Mã số TNMT.2021.02.02.

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. Xu, X.; Qui, Z.; Chen, H. Summary of the horizontal circumcurrent, 1980.
2. Zhuang, M. et al. The winds, waves and currents in the northern South China Sea (in Chinese with English abstract). Report of the Team of Comprehensive Research, Headquarters of South China Sea Geology Investigation, Department of Geology, Guangzhou, 1981.
3. Yu, M.G.; Liu, J.Z. Current system and circulation pattern in the South China Sea. *Marine Forecasts* **1993**, *B10(2)*, 13–17.
4. Yuan, S.; Deng, J. A numerical study on circulation in the Beibu Gulf (in Chinese with English abstract). *Deep-Sea Res. I* **1999**, *B12(2)*, 41–46.
5. Shaw, P.T.; Chao, S.Y. Surface circulation in the South China Sea. *Deep-Sea Res. I* **1994**, *B40(11/12)*, 1663–1683.
6. Hương, H.T. Biến động cấu trúc hoàn lưu Vịnh Bắc Bộ. *Tap chí khoa học Đại học Quốc gia Hà Nội* **2013**, *29(1S)*, 80–88.
7. Chung, T.V.; Long, B.H. Một số kết quả tính toán dòng chảy trong vịnh Bắc Bộ bằng mô hình ba chiều phi tuyến. *Tap chí Khoa học và Công nghệ Biển* **2015**, *15(4)*, 320–333.
8. Mầu, L.Đ.; Thịnh, N.Đ.; Tuân, N.V.; Công, N.C.; Hoàn, P.S.; Hội, N.T.T.; Anh, V.T.; Dung, N.T.T. Đặc điểm dòng chảy ven bờ Bắc Trung Bộ thời kỳ 4/2016. *Tap chí Khoa học Công nghệ biển* **2017**, *4(T.17)*, 7–15.
9. Cường, T.M.; Cương, N.K. Chế độ dòng chảy tầng mặt khu vực Vịnh Bắc Bộ dựa trên số liệu thu thập bằng radar biển, *Tap chí Khoa học ĐHQGHN – Các Khoa học Trái đất và Môi trường* **2016**, *32(3S)*, 26–33.
10. Cuong, T.M.; Alexei, S.; Cuong, N.K. Seasonal variability of surface currents in the Gulf Of Tonkin derived from HF radar observations. *Proceedings of International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS)* **2021**, 12–14.
11. Kai, H. Christensen. Assimilation of HF radar total current vectors in an idealised version of ROMS-4DVAR. *Int. MET report Oceanography*, **2013**, No. 24/2013.
12. Ganesh, G. Surface current observation using high frequency radar and its assimilation into the New York harbor observing and prediction system. *Dissertation Submitted to the Faculty of the Stevens Institute of Technology in partial fulfillment of the requirements for the degree of Doctor of Philosophy* **2008**.
13. Yu, P.; Alexander, L.K.; Gary, D.E.; John, S.A.; Michael, P.K. Variational assimilation of HF radar surface currents in a coastal ocean model off Oregon. *Ocean Modell.* **2012**, *49–50*, 86–104.
14. Taekyun, K. 4DVAR data Assimilation with the Regional Ocean Modeling System (ROMS): Impact on the Water Mass Distributions in the Yellow Sea. *Ocean Sci. J.* **2018**, *53*, 165–178.

15. Oyvind, B. Real time assimilation of HF radar currents into a coastal ocean model. *J. Mar. Syst.* **2001**, 28(3–4), 161–182.
16. Thành, N.T. Nghiên cứu ứng dụng phương pháp đồng hoá số liệu phục vụ mô hình dự báo sóng. Luận án tiến sỹ, Trường đại học Khoa học Tự nhiên Hà Nội, 2020.
17. Trang, N.T.; Huân, P.V.; Cường, T.M.; Thành, V.T.; Hải, L.Q. Nghiên cứu đồng hóa dữ liệu quan trắc từ radar biển và ảnh viễn thám trong mô hình thủy động lực biển quy mô khu vực ROMS. *Tap chí Khoa học Biến đổi khí hậu* **2021**, 18(6), 35–44.
18. Technical Manual for a Coupled Sea–Ice/Ocean Circulation Model (Version 5). OCS Study BOEM 2016–037, U.S. Department of the Interior Bureau of Ocean Energy Management Alaska OCS Region Anchorage, Alaska Cooperative Agreement No. M15AC00011.
19. Daget, N.; Weaver, A.T.; Balmaseda, M.A. Ensemble estimation of background error variances in a three–dimensional variational data assimilation system for the global ocean. *Q. J. R. Meteorolog. Soc.* **2009**, 135, 1071–1094.
20. Andrew, M.M.; Hernan, G.A.; Gregoire, B.; Brian, S.P.; Anthony, T.W.; Zavala–Garay, J. The Regional Ocean Modeling System (ROMS) 4–dimensional variational data assimilation systems. *Prog. Oceanogr.* **2011**, 91(1), 34–49.
21. <https://www.ngdc.noaa.gov/mgg/global/>
22. <https://oceancolor.gsfc.nasa.gov/>
23. <https://resources.marine.copernicus.eu>
24. <https://www.aviso.altimetry.fr>
25. <https://www.ecmwf.int/en/forecasts/datasets>
26. <https://www.hycom.org/dataserver>
27. Hương, H.T. Nghiên cứu chế độ thủy văn và hoàn lưu vịnh bắc bộ. Luận án Tiến sỹ, Trường đại học Khoa học Tự nhiên Hà nội, **2017**.
28. Ưu, Đ.V. Nghiên cứu cấu trúc ba chiều (3D) thủy nhiệt động lực học Biển Đông và ứng dụng của chúng. Báo cáo tổng kết đề tài KHCN-06-02, **2000**.
29. Trung tâm Hải văn. Báo cáo Khoa học kết quả thực hiện dự án hợp tác Việt – Mỹ: Điều tra, nghiên cứu ứng dụng các mô hình hải dương học để hiệu chỉnh số liệu radar biển (Radar HF) và dự báo sóng, dòng chảy ở Biển Đông và vùng biển phía Tây Vịnh Bắc Bộ, 2016, 2017, 2018.
30. Cuong, T.M.; Alexei, S.; Cuong, N.K. Multi–scale variability of circulation in the Gulf of Tonkin from remote sensing of surface currents by High–Frequency radars. *Ocean Dyn.* **2021**, 71, 175–194.
31. Ưu, Đ.V.; Cuong, N.K.; Hương, H.T.; Minh, N.N. Nghiên cứu ảnh hưởng của biến đổi khí hậu lên trường dòng chảy lớp mặt Biển Đông. *Tap chí ĐHQG HN: Khoa học Tự nhiên và công nghệ* **2015**, 31(3S), 269.
32. Nhà xuất bản Tài nguyên - Môi trường và Bản đồ Việt Nam. Atlas Quốc gia Việt Nam, Hà Nội, 1999.
33. Manh, D.V.; Yanagi, T. A study on residual flow in the Gulf of Tongking. *J. Oceanogr.* **2000**, 56, 59–68.

Using Regional Ocean Modelling System (ROMS) to reproduce flow field in Tonkin Gulf

Nguyen Thanh Trang^{1*}, Tran Hong Lam¹, Tran Manh Cuong¹, Nguyen Anh Ngoc¹, Vu Tien Thanh¹, Luu Quang Hai¹

¹Center for Oceanography, VietNam Administration of Sea and Island;
thanhtrang979@gmail.com, thlam@monre.gov.vn, trancuong205@gmail.com,
henry150986@gmail.com, vutienthanh711@gmail.com, quanghai162@gmail.com

Abstract: This paper presents the characteristics of flow field in Tonkin Gulf assimilated by Regional Ocean Modelling System (ROMS) and 4-dimensional variational data assimilation (4D-Var) for observational radar HF data. The reproduction has revealed that there are a strong current system (0.6 m/s) along the western coast to the mouth of Tonkin Gulf and a pair of anticyclone (at the Tonkin Gulf's mouth) and cyclone (at southern of Tonkin Gulf's mouth) during the prevailing Northeast monsoon; In summer, flow field along western coast to the mouth still exists but less powerful (0.3 m/s) beside the survival of cyclone at southern of Tonkin Gulf's mouth.

Keywords: 4D-VAR; Current; Assimilation data; Radar HF; ROMS; Tonkin Gulf.

Bài báo khoa học

Đánh giá hiện trạng chất lượng nước mặt và hiệu quả mô hình canh tác lúa nếp ba vụ ở Bắc Vàm Nao, An Giang

Huỳnh Vương Thu Minh^{1*}, Nguyễn Thành Tâm², Đái Thị Huỳnh Như¹, Nguyễn Trường Thành¹, Trần Văn Tỷ³

¹ Khoa Môi trường & Tài nguyên thiên nhiên, Trường Đại học Cần Thơ; hvtminh@ctu.edu.vn; ntthanh@ctu.edu.vn

² Viện Nghiên cứu Phát triển Đồng bằng sông Cửu Long, Trường Đại học Cần Thơ; ngttam@ctu.edu.vn

³ Khoa Công nghệ, Trường Đại học Cần Thơ; tvty@ctu.edu.vn

*Tác giả liên hệ: hvtminh@ctu.edu.vn; Tel.: +84-939610020

Ban Biên tập nhận bài: 6/8/2021; Ngày phản biện xong: 17/9/2021; Ngày đăng bài: 25/12/2021

Tóm tắt: Đánh giá chất lượng nước mặt và hiệu quả mô hình canh tác lúa nếp ba vụ được thực hiện trong vùng đê bao khép kín Bắc Vàm Nao (BVN), tỉnh An Giang. Các chỉ tiêu chất lượng nước mặt được thu thập từ Sở Tài nguyên và Môi trường (TN&MT), gồm: pH, Oxy hòa tan (DO), tổng chất rắn lơ lửng (TSS), nhu cầu oxy sinh học (BOD), nhu cầu oxy hóa học (COD), nitrate (NO_3^-), và phosphorus (PO_4^{3-}), giai đoạn 2010–2020. Nghiên cứu sử dụng phương pháp đo tại chỗ với các chỉ tiêu: pH, TDS, EC, và DO tại 20 vị trí trong vụ Thu Đông năm 2020. Hiệu quả mô hình canh tác lúa nếp được đánh giá từ phỏng vấn nông hộ. Kết quả cho thấy, BOD₅ và COD trong vùng BVN cao hơn ở mức ý nghĩa 1% so với trên sông chính. Tuy nhiên, ảnh hưởng của mô hình thâm canh lúa nếp ở BVN đến thay đổi chất lượng nước trên sông chính chưa tìm thấy. Chất lượng nước ở đầu mùa vụ Thu Đông tốt hơn ở mức ý nghĩa 1% so với giữa mùa vụ. Thâm canh mang lại nhiều lợi nhuận; tuy nhiên, lợi nhuận bị ảnh hưởng phần lớn bởi năng suất, giá bán và chi phí đầu tư. Những năm gần đây, năng suất lúa nếp bị giảm, lợi nhuận thấp hơn và ô nhiễm môi trường nước nhiều hơn so với trước đây.

Từ khóa: Chất lượng nước nội đồng; Năng suất lúa; Lợi nhuận; Đê bao khép kín; Phú Tân.

1. Mở đầu

Nông nghiệp vừa là nguồn gây ô nhiễm cũng là đối tượng chịu ảnh hưởng từ ô nhiễm nguồn nước. Nguồn thải từ nông nghiệp thường bị tác động bởi đặc tính thủy văn và khó quản lý hơn nguồn thải tập trung. Hơn nữa, ngành nông nghiệp là đơn vị sử dụng tài nguyên nước lớn nhất trên toàn cầu. Lượng nước cấp cho nông nghiệp ước tính xấp xỉ 70% tổng nguồn nước cấp cho các đối tượng sử dụng nước [1]. Các đồng bằng rộng lớn ở Châu Á, lúa là cây lương thực chính và được trồng ở khắp nơi với nhiều mô hình canh tác khác nhau. Rủi ro ảnh hưởng của dư lượng thuốc bảo vệ thực vật từ sản xuất lúa đến nguồn lợi thủy sản trên sông hay ảnh hưởng đến sức khỏe con người. Do đó, cần thiết có cái nhìn tổng quát về ô nhiễm nguồn nước từ các mô hình trồng lúa nhằm định hướng lựa chọn mô hình sản xuất ít ảnh hưởng đến môi trường nước.

Đồng bằng sông Cửu Long (ĐBSCL) cũng như các đồng bằng rộng lớn ở khu vực Châu Á (Ganges–Brahmaputra ở Bangladesh, Ayeyarwady ở Myanmar) là những vùng trồng lúa chính và có vai trò quan trọng đối với an ninh lương thực và sinh kế cho người dân trong khu vực [1]. Năng suất và sản lượng lúa được ghi nhận ở tỉnh An Giang cao hơn so với các tỉnh khác trong khu vực ĐBSCL. An Giang có vị thế thuận lợi nằm giữa hai sông chính thuộc hệ thống sông Mê Công nhận được nhiều nguồn nước và lượng phù sa. Tuy nhiên, An Giang chịu ảnh hưởng lũ từ tháng 8 đến tháng 11 hàng năm. Từ trước năm 1996, người dân An Giang trồng hai vụ lúa là chính, gồm vụ Đông Xuân và Hè Thu. Mô hình này được triển khai trong vùng được bảo vệ bởi hệ thống đê bao tháng Tám (hay còn gọi là đê bao lũng). Từ sau năm 1996, An Giang tiếp tục xây dựng thêm hệ thống đê bao khép kín mới và đồng thời chuyển từ đê bao tháng Tám sang đê bao khép kín nhằm mở rộng diện tích canh tác lúa vụ ba (vụ Thu Đông) [2–4]. Nhiều nghiên cứu cho thấy canh tác lúa ba vụ, trong năm năm đầu lợi nhuận có tăng, tuy nhiên những năm về sau thì lợi nhuận giảm và các nghiên cứu cũng tiết lộ thêm rằng hiệu quả của mô hình độc canh cây lúa kém hơn so với các mô hình luân canh [5–6]. Mô hình luân canh lúa–màu có thể cải thiện độ phì nhiêu đất so với mô hình lúa ba vụ vì tập quán sử dụng phân hóa học thay vì sử dụng bón phân hữu cơ; tuy nhiên, mô hình luân canh ít được áp dụng rộng rãi với quy mô lớn [5–6]. Từ những nghiên cứu trước đây cho thấy rằng, mặc dù trong những năm gần đây, một vài hộ nông dân ở ĐBSCL đã chuyển đổi mô hình sản xuất lúa độc canh sang mô hình sản xuất luân canh: lúa–màu, lúa–màu–màu, hay lúa–cá nhằm tăng lợi nhuận; tuy nhiên, do các mô hình này cần nhiều công lao động và kỹ thuật canh tác có trình độ tay nghề cao cũng như giá sản phẩm bị chi phối nhiều bởi biến động thị trường [5–6]. Vì vậy, hiệu quả sản xuất của mô hình luân canh còn thấp ở quy mô nhỏ lẻ và ở quy mô hộ nông dân với khả năng tài chính thấp [6–8]. Hệ thống canh tác luân canh chỉ áp dụng có hiệu quả ở những hộ có điều kiện kinh tế tốt, có nhiều lao động, chủ động nguồn nước và kinh nghiệm và quy mô canh tác lớn [6–9]. Ngoài ra, [8] cũng chỉ ra trình độ chủ hộ và người lao động có ảnh hưởng đến hiệu quả kinh tế của mô hình luân canh.

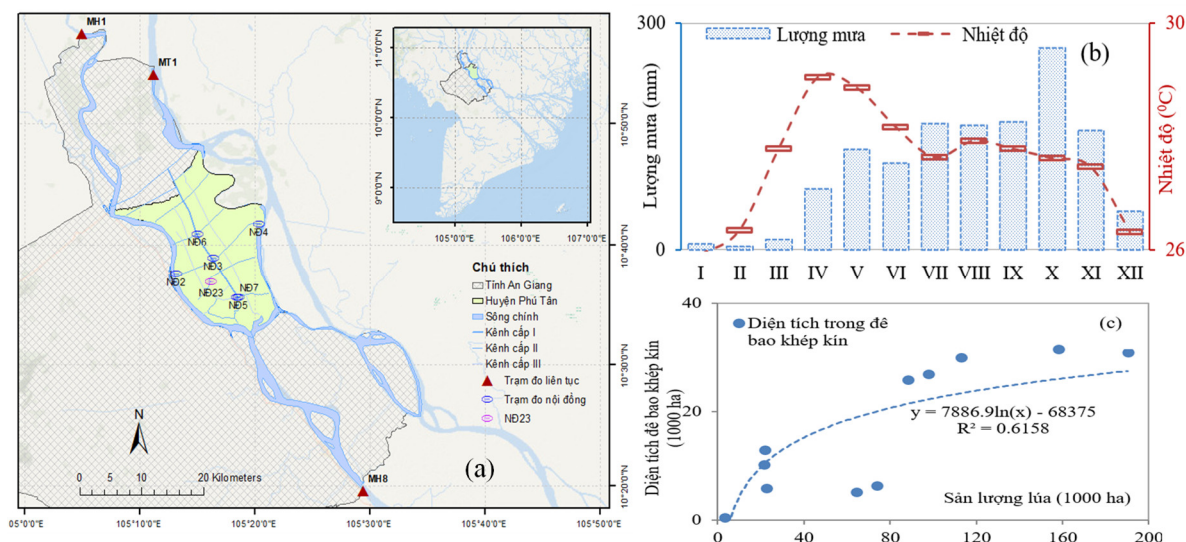
Ở ĐBSCL, hệ thống kiểm soát lũ BVN được đề xuất xây dựng từ năm 1985 và triển khai tại huyện Phú Tân và một phần thuộc Thị xã Tân Châu, An Giang. Trong giai đoạn 1996 và 2017, sản lượng lúa ở các huyện tại An Giang tăng lên khi các diện tích đê bao khép kín được mở rộng (Hình 1). Tuy nhiên, đê bao đã hạn chế lượng phù sa tích lũy cho ruộng lúa cũng như giảm lượng nước trao đổi giữa đồng ruộng và môi trường bên ngoài. Bên cạnh đó, để duy trì năng suất lúa, một lượng lớn phân bón được sử dụng đã làm tăng ô nhiễm nước mặt trong kênh nội đồng [3]. Những nghiên cứu trước đây tại BVN hay trong vùng đê bao khép kín, phần chính chỉ xem xét một vài khía cạnh như là đánh giá hiệu quả vận hành và quản lý hệ thống thủy lợi hay so sánh các mô hình canh tác về mặt lợi nhuận, kỹ thuật và yếu tố con người; so sánh chất lượng nước mặt ở vùng đê bao khép kín với vùng đê bao tháng 8 và vùng ngoài đê bao ở An Giang [3, 4, 10–12]. Nghiên cứu [3] cho thấy các chỉ tiêu COD, NH_4^+ , NO_2^- , và NO_3^- cao trong các kênh rạch cấp 2 ở vùng đê bao khép kín ở An Giang. Tuy nhiên, chi phí lợi nhuận và tác động của các mô hình canh tác đến yếu tố môi trường nước về mặt định tính hoặc định lượng chưa được xem xét đồng thời. Mục tiêu của nghiên cứu này nhằm đánh giá hiện trạng chất lượng nước mặt và hiệu quả mô hình canh tác lúa ba vụ trong vùng đê bao khép kín BVN, An Giang.

2. Phương pháp nghiên cứu

2.1. Khu vực nghiên cứu

Phú Tân, nằm trong vùng đê bao khép kín BVN, là một trong bốn huyện cù lao thuộc tỉnh An Giang (Hình 1a). Huyện Phú Tân có diện tích tự nhiên 313,5 km², trong đó 92% diện tích tự nhiên là trồng lúa nếp [13]. Khu vực BVN có vị trí ở giữa sông Mê Công (tên gọi sông Tiền ở Việt Nam) và sông Bassac (tên gọi sông Hậu ở Việt Nam), cao trình mặt

đất trung bình từ 1,3 m đến 3,0 m. Phú Tân là một trong các vùng có thế mạnh về nông nghiệp và thủy sản. Tuy nhiên, Phú Tân cũng tiếp nhận nhiều nước thải từ hoạt động nông nghiệp (trồng lúa và chăn nuôi) thuộc vùng nội địa của ĐBSCL. Trạm quan trắc tại Châu Đốc có lượng mưa khá thấp, trung bình nhiều năm xấp xỉ 1.031 mm (giai đoạn từ 1978 đến 2020) (Hình 1b). Ảnh hưởng từ gió mùa Tây Nam, mùa mưa thường xuất hiện từ tháng 5 đến tháng 11, nhiệt độ không khí thấp nhất và cao nhất xuất hiện lần lượt vào tháng 1 và tháng 4. Nhiều nghiên cứu cho thấy chất lượng nước trong vùng nghiên cứu bị ô nhiễm vào mùa mưa có thể tăng, do nguồn nước đến vùng nghiên cứu đã bị ô nhiễm và cùng với sự cuốn trôi chất ô nhiễm trong đất theo dòng chảy tràn [3-4].



Hình 1. Vị trí các điểm quan trắc tự động trên sông chính và các điểm nội đồng ở huyện Phú Tân, Bắc Vàm Nao, An Giang (a). Diễn biến nhiệt độ và lượng mưa trung bình nhiều năm tại trạm Châu Đốc (An Giang), 1978–2018 (b). Tương quan giữa sản lượng lúa trung bình và diện tích đê bao khép kín ở các huyện tại An Giang, 1996–2017 (c). Số liệu diện tích đê bao được thu thập từ sở Nông nghiệp và Phát triển Nông thôn An Giang, số liệu sản lượng lúa được thu thập từ niên giám thống kê tỉnh An Giang.

2.2. Đánh giá hiện trạng chất lượng nước mặt

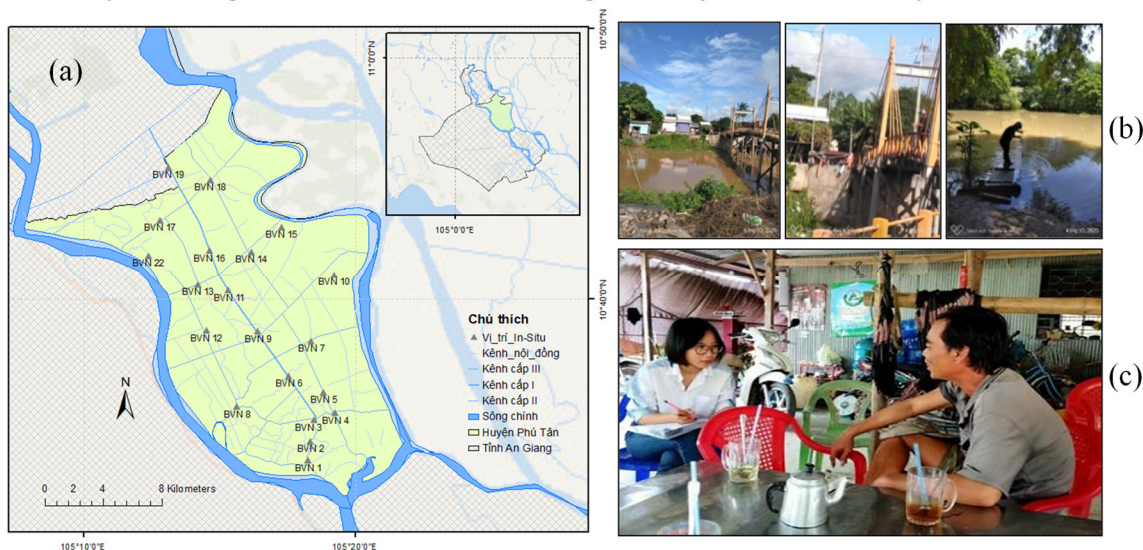
Nghiên cứu thu thập số liệu chất lượng nước bao gồm: pH, DO, TSS, BOD₅, COD, NO₃⁻, và PO₄³⁻ (cho 6 vị trí quan trắc từ năm 2010 đến 2014 và cho 01 vị trí quan trắc từ năm 2015 đến 2020). Hệ thống quan trắc của vùng nghiên cứu có thay đổi, do đó nghiên cứu phân tích tương quan giữa các chỉ tiêu chất lượng nước trong giai đoạn 2010–2014, so sánh chất lượng nước giữa trong đê bao khép kín với các trạm đo trên sông chính trong giai đoạn 2015/2016–2020. Số liệu quan trắc được thu thập từ sở TN&MT An Giang, định kỳ 3 lần/năm (tháng 3, 6 và 9), tại các vị trí tương ứng: Nội đồng 2 (ký hiệu NĐ2), NĐ3, NĐ4, NĐ5, NĐ6 và NĐ7 (Hình 1a) giai đoạn 2010–2024 và tại 1 vị trí NĐ23 (tại Rạch Mương Khai), giai đoạn 2015–2020. Các chỉ tiêu quan trắc chất lượng nước mặt gồm: pH, DO, TSS, BOD₅, COD, NO₃⁻ và PO₄³⁻.

Bên cạnh đó nghiên cứu sử dụng máy AQUA TROLL 400 đo tại chỗ (in-situ) gồm các chỉ tiêu: pH, TDS, EC và DO tại 20 vị trí trong vùng đê bao khép kín BVN vào năm 2020 (Hình 2a, 2b) tại hai thời điểm trong thời gian sinh trưởng của cây lúa. Ngoài ra, nghiên cứu thu thập số liệu chất lượng của nước mặt được quan trắc liên tục (số liệu ngày) tại 3 vị trí trên sông chính (MT1 ở đầu sông Tiền thuộc xã Vĩnh Xương, MH1 ở đầu nguồn sông Hậu thuộc thị trấn Long Bình và MH8 ở cuối sông Hậu tại thành phố Long Xuyên, đoạn giáp thành phố Cần Thơ từ năm 2016 đến 2020 nhằm làm cơ sở so sánh giữa chất lượng nước trong vùng nghiên cứu. Phương pháp thống kê mô tả, phân tích tương quan, và kiểm

định T được sử dụng nhằm đánh giá biến động chất lượng nước trong một ngày và trong thời gian sinh trưởng của cây lúa nếp.

2.3. Đánh giá hiệu quả mô hình canh tác lúa nếp ba vụ trong vùng đê bao khép kín

Hiệu quả mô hình canh tác lúa nếp ba vụ trong vùng đê bao khép kín BVN được đánh giá thông qua phỏng vấn nông hộ trong khu vực nghiên cứu (Hình 2c). Ngoài ra, nghiên cứu tiến hành khảo sát và phỏng vấn 52 hộ dân trồng lúa nếp tại vùng đê bao khép kín BVN và chọn mẫu theo phương pháp chọn mẫu ngẫu nhiên thuận tiện. Nội dung phỏng vấn tập trung vào các thông tin: (i) năng suất lúa các vụ; (ii) giá bán lúa nếp năm 2020; (iii) thực trạng thu chi của mô hình trồng lúa nếp (tổng thu, tổng chi và lợi nhuận); và (iv) thông tin về sự thay đổi năng suất, lợi nhuận, môi trường hiện nay so với trước đây.



Hình 2. (a) Vị trí khảo sát chất lượng nước nước mặt; (b) Hình ảnh đo tại chỗ (In-Situ) chất lượng nước; và (c) Phỏng vấn nông hộ tại huyện Phú Tân, BVN.

3. Kết quả và thảo luận

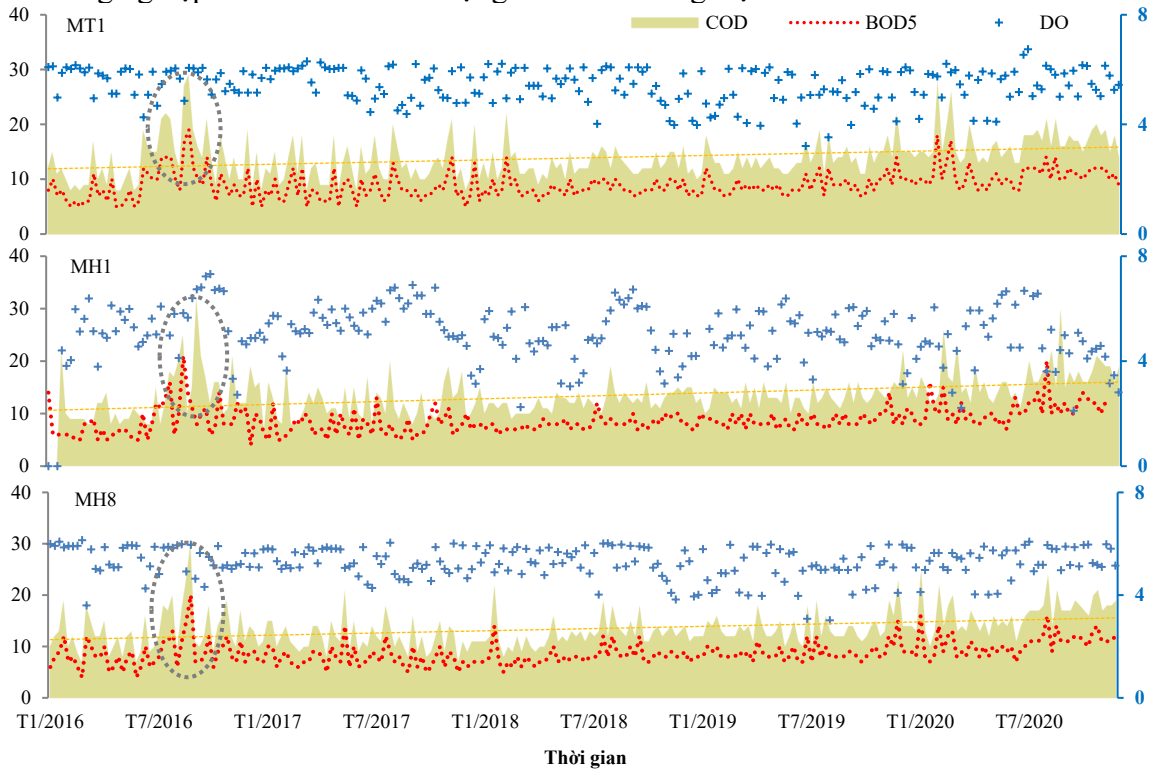
3.1. Chất lượng nước tại ba vị trí trên sông chính, giai đoạn 2016–2020

Diễn biến BOD₅, COD, và DO tại vị trí MT1 trên sông Tiền, và hai vị trí (MH1 trên BVN, MH8 dưới BVN) trên sông Hậu được thể hiện trong Hình 3 và Bảng 1. Hàm lượng oxy hòa tan dao động từ 2,11 (nhỏ nhất) đến 9,07 (lớn nhất), trong đó, giá trị DO trung bình từ 5,15–5,44 tại các trạm đo, đạt quy chuẩn QCVN 08–MT:2015/BTNMT cột A2 [14]. Điều này cho thấy hàm lượng oxy hòa tan trong nước vẫn đảm bảo cho các thủy sinh vật.

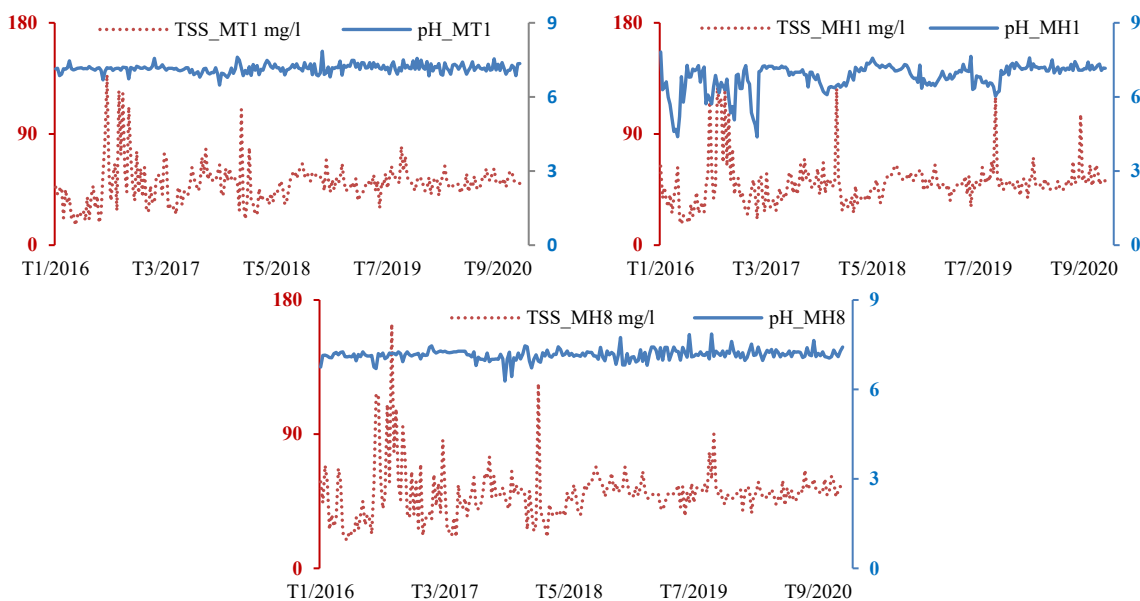
Giá trị BOD₅ và COD có hệ số biến động gần như nhau và khá lớn (sau chỉ tiêu TSS) so với các chỉ tiêu khác khi quan trắc đồng thời. Tại các trạm đo, giá trị BOD₅ nhỏ nhất từ 4–5 mg/l (đạt quy chuẩn cột A1), giá trị cao nhất từ 19–21 mg/l (đạt quy chuẩn cột B2), trung bình từ 8,70–9,02 mg/l (đạt quy chuẩn cột B1). Tương tự, giá trị COD có thời điểm đạt quy chuẩn cột A1 (giá trị nhỏ nhất), có thời điểm đạt quy chuẩn cột B1 (giá trị lớn nhất), giá trị trung bình đạt quy chuẩn cột A2. Tỷ số BOD₅/COD của các trạm đo ở thời điểm giá trị lớn nhất khoảng 0,66, thời điểm giá trị nhỏ nhất từ 0,57–0,63 và tỷ số trung bình khoảng 0,65. Từ các kết quả này cho thấy, hàm lượng các hợp chất hữu cơ (thông qua chỉ tiêu BOD₅ và COD) gây ô nhiễm không đáng kể (đạt quy chuẩn từ B1–A2) và đa số là ở dạng hòa tan, dễ phân hủy (tỷ số BOD₅/COD trung bình 0,65).

Hình 4 thể hiện diễn biến pH và TSS trong giai đoạn 2016–2020. Trong đó, giá trị pH đa số đạt quy chuẩn cột A2–A1 (trạm MT1 và MH8), riêng trạm MH1, trong hai năm 2016–2017 giá trị pH đa số đạt quy chuẩn cột B1, các năm trở về sau, đa số giá trị pH đạt quy chuẩn từ A2 đến A1. Nhìn chung, pH trung bình ở 3 vị trí đều nằm trong giới hạn cho

phép, dao động từ 6,5–7,5 các giá trị này ở khoảng trung tính và tối thích của đa số thủy sinh vật. Ngược lại, giá trị TSS trung bình chỉ đạt quy chuẩn cho phép cột B1 và có mức độ biến động lớn nhất so với các chỉ số chất lượng khác tại cả 3 trạm. Tuy nhiên, các giá trị TSS này vẫn có thể dùng cho mục đích tưới tiêu, thủy lợi (cột B1, QCVN 08–MT:2015/BTNMT-quy định). Từ kết quả kiểm định T cho thấy, không có sự khác biệt có ý nghĩa về BOD₅, COD, và TSS ở vị trí đầu BVN (MH1) và vị trí cuối BVN (MH8) cũng như các phân tích ở trên cho thấy chưa tìm thấy sự ảnh hưởng có ý nghĩa từ hoạt động sản xuất nông nghiệp ở BVN đến chất lượng nước trên sông Hậu.



Hình 3. Diễn biến chất lượng nước (BOD₅, COD và DO) tại vị trí MT1, MH1 và MH8. Trục tọa độ bên trái thể hiện giá trị BOD₅ và COD, trục tọa độ bên phải thể hiện giá trị DO.



Hình 4. Diễn biến chất lượng nước TSS và pH tại vị trí MT1, MH1 và MH8. Trục tọa độ bên trái thể hiện giá trị TSS, trục tọa độ bên phải thể hiện giá trị pH.

Bảng 1. Các đặc trưng chất lượng nước tại 3 trạm trên sông Tiền và Hậu, giai đoạn 2016–2020.

Chỉ số	Đơn vị	QCVN 08–MT:2015/BTNMT	Lớn nhất			Nhỏ nhất			Trung bình			Hệ số biến động, Cv		
		cột A1	MT1	MH1	MH8	MT1	MH1	MH8	MT1	MH1	MH8	MT1	MH1	MH8
BOD ₅	mg/l	4	19,00	21,00	20,00	5,00	4,00	4,00	9,02	8,70	8,73	0,27	0,29	0,26
COD	mg/l	10	29,00	32,00	30,00	8,00	7,00	7,00	13,89	13,46	13,44	0,27	0,28	0,26
BOD ₅ /COD	–	–	0,66	0,66	0,67	0,63	0,57	0,57	0,65	0,65	0,65	–	–	–
DO	mg/l	≥ 6	6,74	9,07	6,14	3,21	2,11	3,02	5,44	5,14	5,28	0,12	0,21	0,12
pH	–	6–8,5	7,85	7,82	7,86	6,48	4,38	6,28	7,15	6,80	7,16	0,03	0,09	0,03
TSS	mg/l	20	138,00	128,00	164,00	16,00	17,00	19,00	49,78	49,94	50,11	0,33	0,35	0,35

3.2. Đặc tính chất lượng nước trong vùng đê bao khép kín

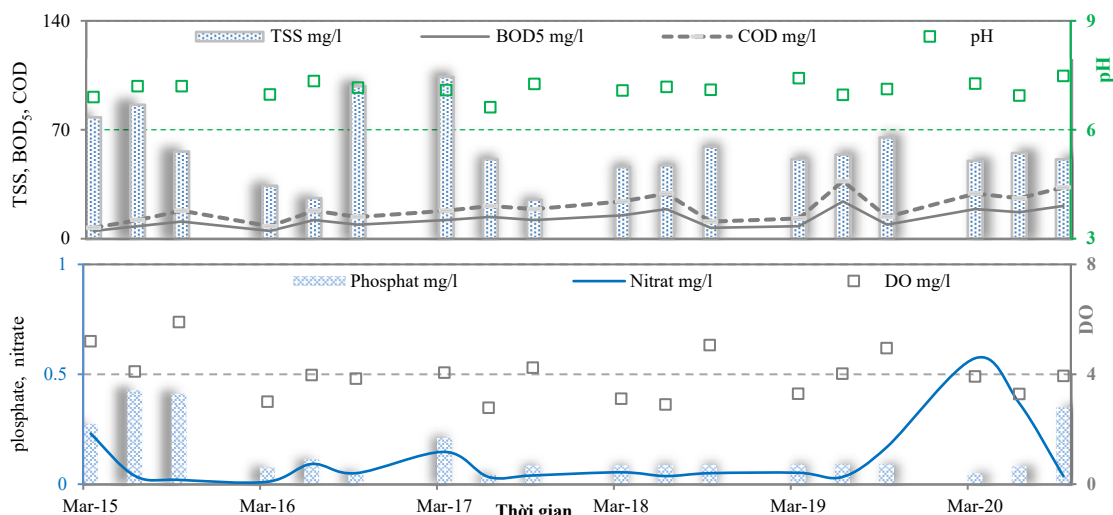
Bảng 2 thể hiện kết quả phân tích tương quan giữa các chỉ tiêu chất lượng nước trong vùng BVN, giai đoạn 2010–2014. Nhiệt độ nước và chỉ số TSS có liên quan đến các đợt lấy mẫu nước khác nhau trong năm (tháng 3, tháng 6 và tháng 9). Trong đó, nhiệt độ có xu hướng giảm theo thời gian lấy mẫu nước trong năm với hệ số tương quan âm ($r = -0,288$). Tuy nhiên, chỉ số TSS lại có tương quan dương với số đợt lấy mẫu nước trong năm, nghĩa là chỉ số này có xu hướng tăng vào tháng 6 và tháng 9. Trong giai đoạn 2010–2014, pH có tương quan đồng biến với nồng độ PO_4^{3-} ($r = 0,392$); DO có tương quan nghịch biến với nhiệt độ nước ($r = -0,314$) và tương quan đồng biến với TSS ($r = 0,442$).

Giai đoạn từ 2015 đến 2020, trong vùng đê bao khép kín BVN chỉ quan trắc ở vị trí NĐ23, các chỉ tiêu chất lượng nước gồm: TSS, BOD₅, COD, pH, DO, PO_4^{3-} và NO_3^- (Hình 5). Chỉ số pH trung bình trong giới hạn cho phép (đạt quy chuẩn cột A2–A1), trong khi DO trung bình thấp, đạt cột B2 của QCVN 08–MT:2015/BTNMT. Mặc dù TSS trung bình cao hơn 13,5% so với ba trạm trên sông chính (Bảng 1). Tuy nhiên, qua kiểm định T cho thấy, TSS tại BVN và trên sông chính có sự khác biệt không ý nghĩa ở mức ý nghĩa 5%. Tương tự, BOD₅ và COD trung bình cao hơn lần lượt là 30,2% và 30,3% và biến động cao hơn lần lượt là 35% và 37% so với MT1, MH1 và MH8. Qua kiểm định T cho thấy, BOD₅ và COD tại BVN và ngoài sông chính khác bi nơ có ý nghĩa về mặt độ lớn ($p \leq 0,01$). Tuy nhiên, BOD₅ trung bình tại BVN và trên sông chính đều đạt cột B1, trong khi COD tại BVN đạt cột B1 thì COD trên sông chính đạt cột A2. Ngoài ra, tỷ số trung bình giữa BOD₅/COD xấp xỉ 0,65, kết quả này cũng cho thấy hợp chất hữu cơ trong vùng BVN phần lớn thuộc dạng ô nhiễm có nguồn gốc sinh học và dễ phân hủy như ngoài sông chính. Mặt khác, hệ số tương quan giữa nitrate và phosphate khá thấp (Hình 5), nitrate có xu thế tăng và phosphate có xu thế giảm. Chỉ số nitrate và phosphate trung bình đều đạt cột A2 của quy chuẩn.

Bảng 2. phân tích mối tương quan giữa các chỉ tiêu chất lượng nước trong vùng đê bao khép kín (2010–2014).

Chi tiêu/phương pháp thử	Đợt	Nhiệt độ	pH	DO	TSS	BOD ₅	NO ₃ ⁻	PO ₄ ³⁻	
Nhiệt độ	Pearson Correlation	-.288*	1						
	Sig. (2-tailed)	.014							
pH	Pearson Correlation	-.073	-.139	1					
	Sig. (2-tailed)	.544	.246						
DO	Pearson Correlation	.337**	-.314**	.035	1				
	Sig. (2-tailed)	.004	.007	.769					
TSS	Pearson Correlation	.430**	-.166	-.004	.442**	1			
	Sig. (2-tailed)	.000	.164	.970	.000				
BOD ₅	Pearson Correlation	-.149	.096	-.211	-.213	-.044	1		
	Sig. (2-tailed)	.213	.424	.075	.073	.715			
NO ₃ ⁻	Pearson Correlation	.212	-.076	.197	.191	-.074	.065	1	
	Sig. (2-tailed)	.080	.533	.105	.115	.597	.544		
PO ₄ ³⁻	Pearson Correlation	-.015	-.162	.392**	-.145	-.098	.078	.234	1
	Sig. (2-tailed)	.901	.175	.001	.223	.413	.517	.053	

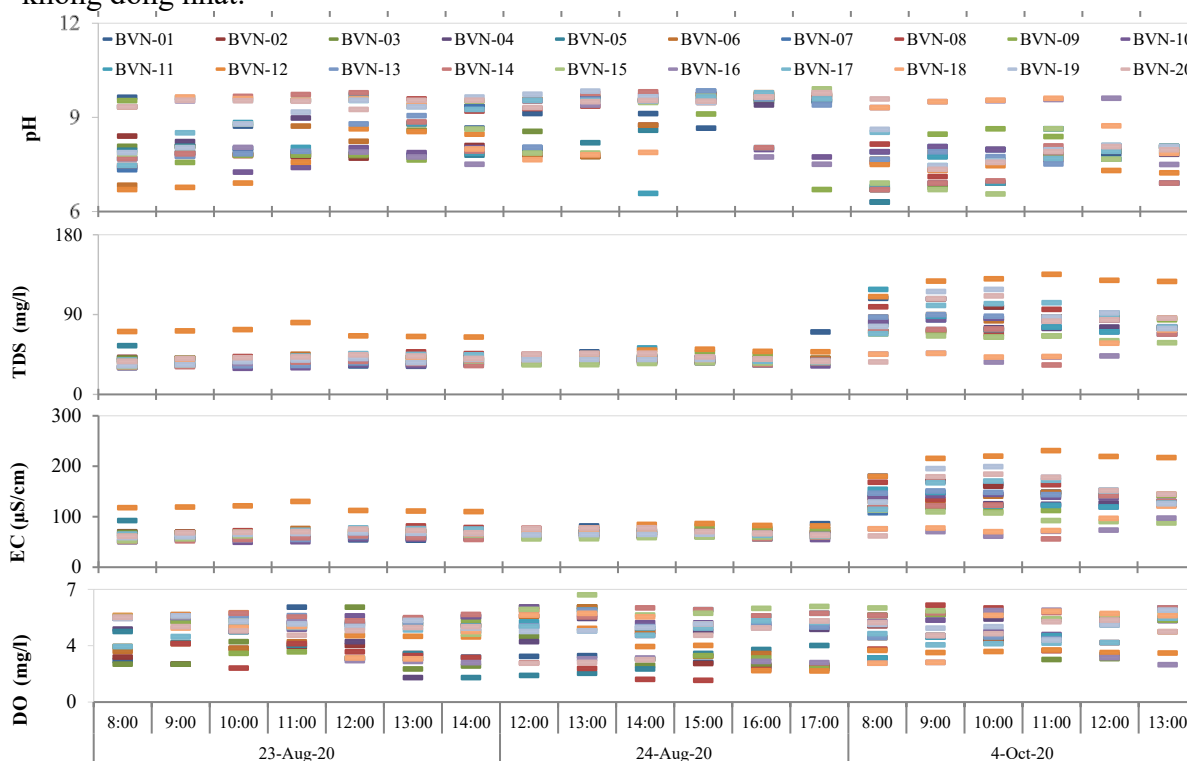
Ghi chú: * có sự tương quan ở mức ý nghĩa 5%; ** có sự tương quan ở mức ý nghĩa 1%.



Hình 5. Diễn biến chất lượng nước (BOD₅, COD, TSS, pH, DO, PO₄³⁻ và NO₃⁻) tại vị trí NĐ23 trong vùng đô bao khép kín BVN, 2015–2020.

3.3. Kết quả đánh giá chất lượng nước từ số liệu sơ cấp 20 vị trí nội đồng

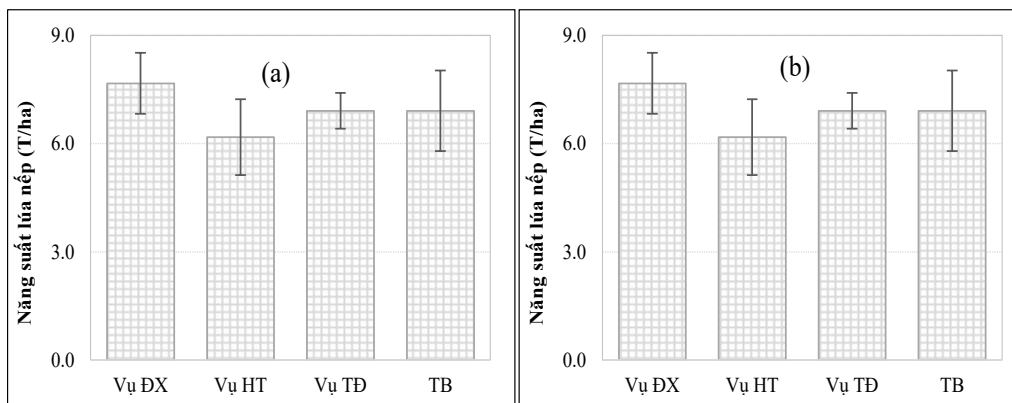
Hình 6 cho thấy các chỉ số chất lượng nước ít thay đổi trong ngày, tuy nhiên có sự biến động chỉ số chất lượng nước trong thời điểm đầu vụ và giữa mùa vụ Thu Đông. Chỉ số DO và pH trung bình được tìm thấy đều trong giới hạn cho phép trong khi TDS, EC cao hơn giới hạn cho phép của quy chuẩn QCVN 08–MT:2015/BTNMT. Kết quả từ kiểm định T đối với các chỉ tiêu chất lượng nước gồm: pH, TDS, EC và DO cho thấy vào đầu và giữa mùa vụ Thu Đông có sự khác biệt có ý nghĩa ($p \leq 0,01$). Cụ thể: TDS ($39,8 \pm 6,9$), EC ($67,3 \pm 10,9$), và DO ($4,2 \pm 1,2$) ở đầu mùa vụ thấp hơn giữa mùa vụ TDS ($80,6 \pm 19,9$), EC ($134,9 \pm 33,9$) và DO ($4,5 \pm 1,0$); pH ($8,8 \pm 0,9$) ở đầu mùa vụ cao hơn pH ($7,8 \pm 0,7$) cuối mùa vụ Thu Đông. Một điểm đáng lưu ý, vào các ngày ghi nhận ô nhiễm cao lại có độ biến động lớn. Theo kết quả phỏng vấn nông hộ cho biết do thời gian bón phân và sử dụng thuốc không đồng nhất.



Hình 6. Diễn biến chất lượng nước tại 20 vị trí nội đồng.

3.4. Đánh giá hiệu quả mô hình canh tác lúa nếp ba vụ trong vùng đê bao khép kín BVN

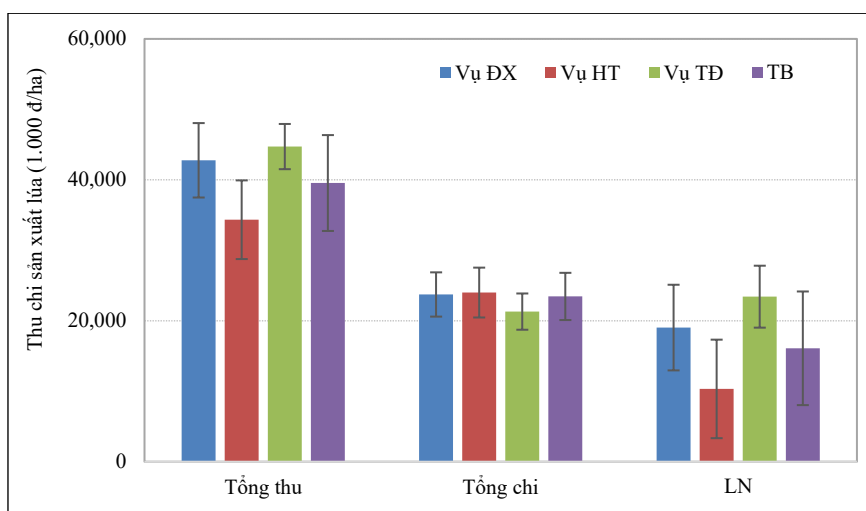
Kết quả khảo sát 52 hộ dân trồng lúa nếp tại vùng đê bao khép kín BVN về năng suất và giá bán lúa nếp năm 2020 được thể hiện trên Hình 7. Năng suất lúa vụ Đông Xuân 2019–2020 cao nhất (7,67 tấn/ha) và năng suất lúa vụ Hè Thu 2020 thấp nhất (6,18 tấn/ha). Năng suất lúa có sự khác biệt thống kê ở mức ý nghĩa 1% giữa ba mùa vụ sản xuất và năng suất lúa trung bình của năm 2020 đạt 6,91 tấn/ha/vụ.



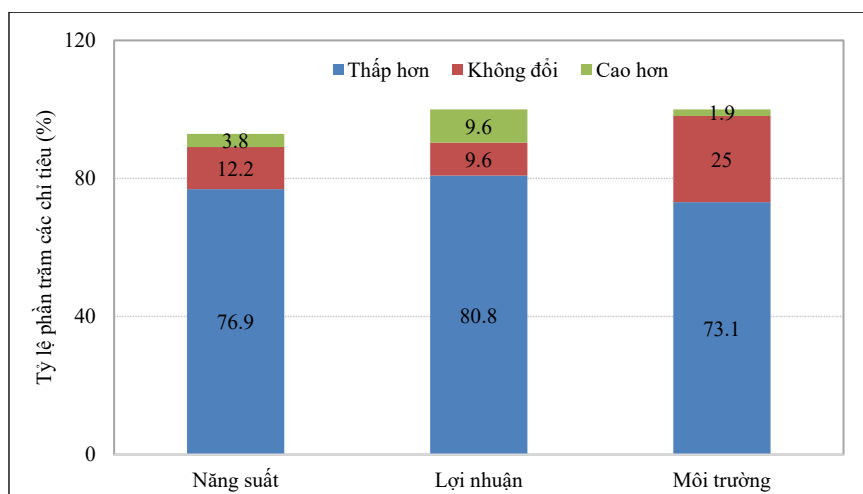
Hình 7. Năng suất và giá bán lúa nếp tại vùng đê bao khép kín năm 2020: (a) Năng suất lúa nếp; (b) Giá bán lúa nếp năm 2020.

Hình 8 trình bày chi tiết tình hình thu chi của mô hình sản xuất lúa nếp năm 2020 tại vùng BVN. Tổng thu, tổng chi và lợi nhuận của mô hình này có sự khác biệt ý nghĩa ở mức 1% giữa ba mùa vụ sản xuất. Xét về tổng thu nhập, trung bình mỗi vụ nông dân thu được khoảng 39,5 triệu đồng/ha. Trong đó, nông dân có thu nhập cao nhất ở vụ Thu Đông (44,7 triệu đồng/ha) và thấp nhất ở vụ Hè Thu (34,3 triệu đồng/ha). Trung bình mỗi vụ nông dân phải chi ra khoảng 23,5 triệu đồng/ha để đầu tư sản xuất và dao động từ 21,3 triệu đồng/ha (vụ Thu Đông) đến 24,0 triệu đồng/ha (vụ Hè Thu). Qua đó cho thấy, lợi nhuận có sự chênh lệch lớn qua các mùa vụ, trung bình mỗi vụ nông dân có thể đạt được 16,1 triệu đồng/ha lợi nhuận. Tuy nhiên, vụ Hè Thu việc sản xuất của nông dân mang lại lợi nhuận thấp nhất (khoảng 10,3 triệu đồng/ha), trong khi vụ Thu Đông người dân trồng lúa nếp có lợi nhuận cao nhất (khoảng 23,4 triệu đồng/ha). Lợi nhuận sản xuất lúa bị ảnh hưởng rất lớn bởi các yếu tố như năng suất, giá bán và chi phí đầu tư. Trong vụ Đông Xuân 2019–2020, nông dân trồng lúa nếp bị ảnh hưởng của thời tiết trước thu hoạch khoảng 15 ngày bị mưa làm cho lúa bị ngã 100% nên năng suất lúa bị giảm mạnh, chính vì vậy làm cho năng suất lúa vụ Đông Xuân không cao hơn nhiều so với năng suất lúa vụ Thu Đông, giá bán cũng bị giảm do yếu tố thị trường và chất lượng lúa giảm vì lúa bị đổ ngã và chi phí thu hoạch cũng bị tăng do lúa ngã. Lợi nhuận của vụ Thu Đông cao hơn Đông Xuân phần lớn do sự khác biệt về giá bán lúa vụ Thu Đông rất cao, nhưng năng suất lúa thấp hơn vụ Đông Xuân không nhiều. Ngoài ra, khi xét về hiệu quả đồng vốn trong sản xuất nếp, trung bình nông dân đầu tư 01 đồng tiền vốn cho sản xuất nếp sẽ thu được 0,73 đồng lợi nhuận. Tuy nhiên, có sự khác biệt rất ý nghĩa giữa ba mùa vụ sản xuất, vụ Thu Đông có hiệu quả sản xuất tốt nhất thể hiện qua việc nông dân đầu tư 01 đồng vốn sẽ thu được 1,14 đồng lợi nhuận, kế tiếp là vụ Đông Xuân với hiệu quả đồng vốn là 0,83 và thấp nhất là vụ Hè Thu (HQĐV đạt 0,47).

Kết quả khảo sát người dân về sự thay đổi năng suất, lợi nhuận, môi trường hiện nay so với trước đây cho thấy đa phần hộ dân được khảo sát cho rằng năng suất lúa bị giảm hơn so với trước kia (chiếm 76,9% tỷ lệ các hộ được khảo sát) (Hình 9). Ngoài ra, kết quả khảo sát về lợi nhuận cho biết lợi nhuận thấp hơn trước đây (chiếm 80,8%). Kết quả khảo sát về môi trường cho thấy phần lớn hộ dân cho rằng chất lượng môi trường nước xấu hơn trước đây (chiếm 73,1%), có rất ít hộ dân cho rằng chất lượng môi trường nước hiện tại tốt hơn trước đây (chiếm 1,9%), còn lại cho rằng chất lượng môi trường nước không thay đổi (chiếm 25,0%).



Hình 8. Tình hình thu chi của mô hình sản xuất lúa nếp năm 2020.



Hình 9. Kết quả khảo sát về sự thay đổi năng suất, lợi nhuận và môi trường.

4. Kết luận

Kết quả quan trắc và phân tích chất lượng nước cho thấy, giá trị trung bình của các chỉ tiêu (BOD₅ và COD) ở vùng đê bao khép kín BVN khác biệt có ý nghĩa so với trên sông chính (sông Tiền, sông Hậu) trong giai đoạn 2016–2020. BOD₅ và COD trung bình thỏa quy chuẩn cột B1–A2 theo quy chuẩn QCVN 08–MT:2015/BTNMT. Giá trị pH và DO của nước trong đê bao khép kín BVN và trên sông chính nằm trong ngưỡng chịu đựng và đủ đảm bảo cho sự sống của các thủy sinh vật trong nước. Đáng chú ý, tỷ số BOD₅/COD của nước trong đê bao BVN và trên sông chính đều xấp xỉ 0,65. Điều này cho thấy, hàm lượng các hợp chất hữu cơ đa số là ở dạng hòa tan, dễ phân hủy, vẫn có thể dùng cho mục đích tưới tiêu, thủy lợi. Nghiên cứu đã không tìm thấy ảnh hưởng của hoạt động sản xuất nông nghiệp trong vùng đê bao khép kín BVN đến chất lượng nước trên sông chính. Trong vụ Thu Đông, chất lượng nước ở đầu mùa vụ thấp hơn và khác biệt có ý nghĩa thống kê ở mức 1% so với chất lượng nước ở giữa mùa vụ. Tuy nhiên, cần nghiên cứu thêm cho các mùa vụ khác trong năm cũng như cần đánh giá trong thời gian dài hơn.

Thâm canh trong vùng đê bao khép kín BVN có thể mang lại lợi nhuận cao hơn; tuy nhiên lợi nhuận sản xuất lúa nếp bị ảnh hưởng rất lớn bởi năng suất, giá bán và chi phí đầu tư. Ngoài ra, đa phần các hộ dân cho rằng năng suất lúa nếp bị giảm, lợi nhuận thấp hơn trước đây và chất lượng môi trường nước cũng ô nhiễm hơn.

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

Lời cảm ơn: Nghiên cứu này thuộc đề tài nghiên cứu khoa học cấp cơ sở thuộc trường Đại học Cần Thơ (MS: T2020–50).

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. Schneider, P.; Asch, F. Rice Production and Food Security in Asian Mega Deltas—A Review on Characteristics, Vulnerabilities and Agricultural Adaptation Options to Cope with Climate Change. *J. Agron. Crop Sci.* **2020**, *206*, 491–503.
2. Minh, H.V.T.; Avtar, R.; Mohan, G.; Misra, P.; Kurasaki, M. Monitoring and Mapping of Rice Cropping Pattern in Flooding Area in the Vietnamese Mekong Delta Using Sentinel-1A Data: A Case of An Giang Province. *ISPRS Int. J. Geo-Inf.* **2019**, *8*, 211. <https://doi.org/10.3390/ijgi8050211>.
3. Minh, H.V.T.; Kurasaki, M.; Ty, T.V.; Tran, D.Q.; Le, K.N.; Avtar, R.; Rahman, M.; Osaki, M. Effects of Multi-Dike Protection Systems on Surface Water Quality in the Vietnamese Mekong Delta. *Water* **2019**, *11*, 1010.
4. Thu Minh, H.V.; Avtar, R.; Kumar, P.; Le, K.N.; Kurasaki, M.; Ty, T.V. Impact of Rice Intensification and Urbanization on Surface Water Quality in An Giang Using a Statistical Approach. *Water* **2020**, *12*, 1710. <https://doi.org/10.3390/w12061710>.
5. Phương, Đ.T.K.; Xê, Đ.V. So Sánh Hiệu Quả Sản Xuất Giữa Hai Mô Hình Độc Canh Lúa 3 vụ và Lúa Luân Canh Với Màu Tại Huyện Cai Lậy – Tiền Giang. *Tap chí Khoa học Trường Đại học Cần Thơ* **2011**, *18a*, 220–227.
6. Nhựt, Q.M. Phân Tích Lợi Nhuận và Hiệu Quả Theo Quy Mô Sản Xuất Của Mô Hình Độc Canh Ba vụ Lúa và Luân Canh Hai Lúa Một Màu Tại Chợ Mới–An Giang Năm 2005. *Tap chí Khoa học Đại học Cần Thơ* **2006**, *6*, 203–212.
7. Đê, N.V. Giải Pháp Nâng Cao Năng Lực Đội Ngũ Giảng Viên Các Trường Đại Học ở Vùng ĐBSCL Trong Bối Cảnh Hội Nhập. *Tap chí khoa học trường Đại học Cần Thơ* **2009**, 182–192.
8. Thái, L.X. Các Yếu Tố Ảnh Hưởng Đến Thu Nhập Của Nông Hộ Trong Các Mô Hình Sản Xuất Trên Đất Lúa Tại Tỉnh Vĩnh Long. *Tap chí Khoa học Trường Đại học Cần Thơ* **2014**, *35*, 79–86.
9. Huy, H.T. Phân Tích Tác Động Của Khoa Học Kỹ Thuật Đến Hiệu Quả Sản Xuất Lúa Tại Cần Thơ và Sóc Trăng. Đề tài nghiên cứu khoa học cấp trường, Đại học Cần Thơ **2007**, *8*, 47–56.
10. Duc Tran, D.; van Halsema, G.; Hellegers, P.J.G.J.; Phi Hoang, L.; Quang Tran, T.; Kumm, M.; Ludwig, F. Assessing Impacts of Dike Construction on the Flood Dynamics of the Mekong Delta. *Hydrol. Earth Syst. Sci.* **2018**, *22*, 1875–1896. <https://doi.org/10.5194/hess-22-1875-2018>.
11. Pham, C.H. Planning and Implementation of the Dyke Systems in the Mekong Delta, Vietnam. Dissertation, Bonn University: Germany, 2011.
12. Nguyen, H.T.L.; Nguyen, T.G. Surface Water Quality in Canals in An Giang Province, Viet Nam, from 2009 to 2016. *J. Viet. Env.* **2018**, *10*, 113–119.
13. Anh, B.L.; Tín, H.Q.; Điền, H.N. Xác Định Các Yếu Tố Ảnh Hưởng Đến Tiềm Năng Phát Triển Giống AG–Nếp Tỉnh An Giang. *Tap chí Khoa học Trường Đại học Cần Thơ* **2017**, 35–43.
14. Tổng cục Môi trường Việt Nam. Quy Chuẩn Kỹ Thuật Quốc Gia về Nước Mặt QCVN 08–MT:2015/BTNMT Available online: <http://vea.gov.vn/quy-chuan> (accessed on 6 April 2021).

Assessment of the surface water quality and effectiveness of triple-glutinous rice cropping system in the full-dike protected area of Bac Vam Nao, An Giang province

Huynh Vuong Thu Minh^{1*}, Nguyen Thanh Tam², Dai Thi Huynh Nhu¹, Nguyen Trung Thanh¹, Tran Van Ty³

¹ College of Environment and Natural Resources, Can Tho University; hvtminh@ctu.edu.vn; ntthanh@ctu.edu.vn

² Mekong Delta Development Research Institute, Can Tho University; ngttam@ctu.edu.vn

³ College of Technology, Can Tho University; tvty@ctu.edu.vn

Abstract: Assessment of the surface water quality and the effectiveness of the triple-glutinous rice cropping system was conducted in the full-dike protected area in Bac Vam Nao (BVN protected area), An Giang province. The parameters of surface water quality was collected from the Department of Environment and Natural Resources (DONRes), including, pH, Dissolved Oxygen (DO), Total Suspended Solids (TSS), Biological Oxygen Demand (BOD₅), Chemical Oxygen Demand (COD), nitrate (NO₃⁻), and phosphate (PO₄³⁻), for the period of 2010–2020. In-Situ method was used to measure the following parameters: pH, TDS, EC, and DO at 20 locations in the Autumn–Winter cropping season of 2020. The effectiveness of the triple-glutinous rice cropping system in the BVN was assessed through farmer interviews. The results show that the mean values of BOD₅ and COD inside the BVN were higher than those in the main rivers at 1% significance level. However, the impact of rice intensification inside BVN on water quality changes in the main rivers has not been found. The water quality at the beginning of the Autumn–Winter crop was better than that in the middle of the crop at 1% significance level. Glutinous rice intensification can bring higher profits; however, the profitability is greatly affected by yield, selling price and investment costs. In recent years, the productivity of glutinous rice has decreased, the profits are lower and the surface water quality pollution is also more than before.

Keywords: Surface water quality; Rice productivity; Profit; Full-dike protected area; Phu Tan.

Bài báo khoa học

Đánh giá khả năng áp dụng giải pháp thoát nước đô thị bền vững tại khu vực đang đô thị hóa ở huyện Bình Chánh, thành phố Hồ Chí Minh

Nguyễn Thị Mai Lan¹, Trần Đức Dũng^{1*}, Châu Nguyễn Xuân Quang², Ngô Ngọc Hoàng Giang², Hồ Văn Hòa², Lưu Văn Tấn³

¹ Trung tâm Quản lý Nước và Biến đổi khí hậu, Viện Môi Trường và Tài Nguyên, Đại học Quốc Gia TP HCM; mailan300496@gmail.com; dungtranducvn@yahoo.com

² Phòng Thủy văn và Tài Nguyên Nước, Viện Môi Trường và Tài Nguyên, Đại học Quốc Gia TP HCM (HYDROWARE-IRE-VNU); cnxquang@gmail.com; nnhgiang.env@gmail.com; harryhoa@gmail.com

³ Trung tâm Quản lý Hạ tầng kỹ thuật TP HCM; taanslv@yahoo.com

*Tác giả liên hệ: dungtranducvn@yahoo.com; Tel.:+84-902007905

Ban Biên tập nhận bài: 12/8/2021; Ngày phản biện xong: 27/9/2021; Ngày đăng bài: 25/12/2021

Tóm tắt: Quá trình đô thị hóa và tác động của biến đổi khí hậu là một trong những nguyên nhân gây ra tình trạng ngập lụt cục bộ. Nghiên cứu này nhằm đánh giá khả năng áp dụng giải pháp thoát nước đô thị bền vững (SUDS) ở khu vực đang đô thị hóa, huyện Bình Chánh. Nghiên cứu sử dụng mô hình EPA-SWMM để mô phỏng 2 kịch bản áp dụng SUDS: KB1 (Tăng khả năng lưu trữ tạm thời để tái sử dụng nước mưa) và KB2 (Làm giảm lưu lượng đỉnh của dòng chảy), xây dựng bộ tiêu chí kết hợp với khảo sát 30 hộ dân, 10 chuyên gia và chính quyền địa phương để đánh giá khả năng áp dụng SUDS. Kết quả mô phỏng kịch bản đã mang lại hiệu quả giảm ngập đáng kể: KB1 với thời gian ngập giảm 2,68% và tổng lượng ngập giảm 0,52%; KB2 với thời gian ngập giảm 22,85% và tổng lượng ngập giảm 17,24%. Dựa trên mức độ phù hợp với bộ tiêu chí và kết quả khảo sát các bên liên quan cho thấy, vỉa hè thấm và vườn mưa được đánh giá phù hợp với khu vực nghiên cứu nhất, tiếp theo là hệ thống thu nước mưa và cuối cùng là mái nhà xanh. Nghiên cứu kết luận SUDS giúp giảm ngập đáng kể và nên được áp dụng để góp phần hỗ trợ công tác quản lý rủi ro ngập lụt đô thị hiệu quả hơn.

Từ khóa: Đang đô thị hóa; Huyện Bình Chánh; EPA-SWMM; SUDS.

1. Mở đầu

Trong những thập kỷ gần đây, huyện Bình Chánh thường xuyên bị ảnh hưởng bởi ngập lụt cục bộ. Nguyên nhân là do quá trình đô thị hóa đã làm mất đi các vùng trũng chứa nước tự nhiên, thu hẹp thảm phủ thấm nước và thay vào đó là các bề mặt không thấm nước. Trong bối cảnh biến đổi khí hậu (BĐKH) làm cường độ mưa ngày càng cao, gia tăng lưu lượng đỉnh lũ làm cho hệ thống thoát nước không kịp tải lưu lượng nước mưa [1-2], gây ngập úng ảnh hưởng đến cuộc sống của người dân và sự phát triển kinh tế xã hội [3]. Trong những năm qua việc quản lý ngập lụt đô thị đã đưa ra nhiều giải pháp chống ngập ở khu vực đang đô thị hóa bằng các phương án công trình như đê và hồ chứa nước ngầm để giảm thiểu tình trạng ngập lụt vẫn còn gặp nhiều khó khăn và rủi ro [4]. Vì vậy, hệ thống thoát nước đô thị cần được nghiên cứu để đề ra các giải pháp phát triển theo hướng bền vững.

Công nghệ Hệ thống thoát nước đô thị bền vững SUDS (*Sustainable Urban Drainage Systems*) được lựa chọn nhằm đảm bảo tính bền vững về mặt kinh tế, xã hội và môi trường. 04 giải pháp SUDS được triển khai thành công ở nhiều nơi trên thế giới được xem xét như: (i) Mái nhà xanh (*Green Roofs*) giúp tăng khả năng ngăn chặn, tích trữ nước mưa, bốc hơi và thoát hơi nước, đồng thời hoạt động tốt trong các đợt bão nhỏ [5–6], những thành phần trong mái nhà xanh giúp hạ nhiệt độ không khí đô thị và chống lại hiệu ứng đảo nhiệt [7]; (ii) Thu nước mưa (*Rainwater Harvesting*) có thể là nguồn bổ sung cho các nguồn cung cấp nước, giảm xả thải trực tiếp vào hệ thống thoát nước và chống ngập lụt đô thị, nhằm mục đích là thu gom và tái sử dụng nước mưa để đảm bảo cho việc tưới tiêu cho các mái nhà xanh [8]; (iii) Vườn mưa (*rain gardens*) là một giải pháp kết hợp giữa việc tạo cảnh quan và xử lý nước mưa trong môi trường đô thị, đây là giải pháp sinh thái giúp cải thiện chất lượng nước mưa, loại bỏ các chất ô nhiễm, giảm lượng dòng chảy và tạo điều kiện xâm nhập của nước sạch, góp phần cải tạo môi trường đất [9]; (iv) Vía hè thấm (*Porous Pavements*) là một công nghệ vừa tăng cường thấm vừa cải thiện chất lượng dòng chảy bề mặt, mặt đường thấm là một thiết bị thấm thay thế, trong đó dòng chảy bề mặt được chuyển hướng qua bề mặt thấm vào một vỉa đá nằm dưới cùng bề mặt [10], mặt đường thấm thường hoạt động để kiểm soát khối lượng dòng chảy, kiểm soát ô nhiễm lan tỏa, và khi chúng xâm nhập vào nước trong đất, chúng thúc đẩy quá trình nạp lại nước ngầm [11].

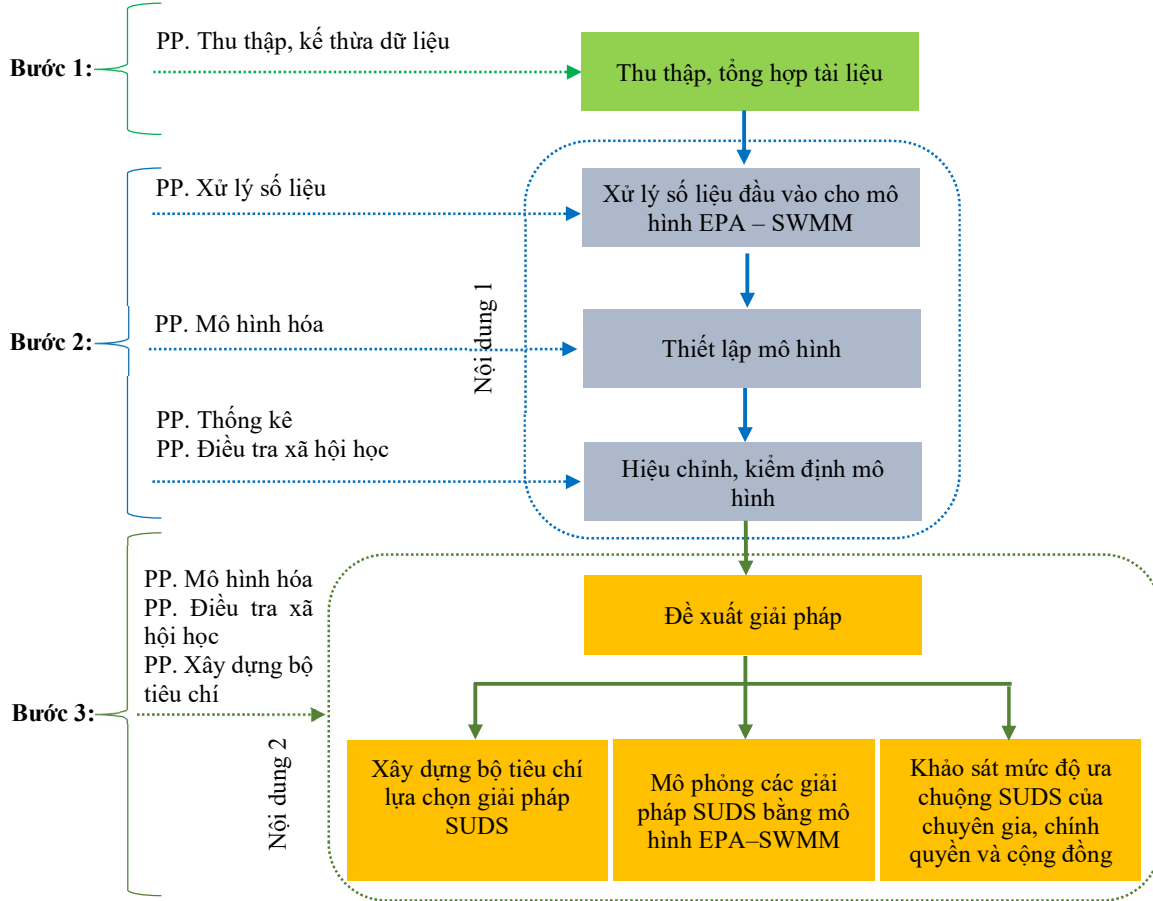
Mô hình quản lý nước mưa SWMM (*Storm Water Management Model*) được xây dựng ở hai trường đại học San Phansico và Florida (Mỹ) do cơ quan bảo vệ môi trường Hoa Kỳ (EPA). Mô hình SWMM ra đời vào năm 1971 và đã trải qua nhiều lần nâng cấp. Mô hình được sử dụng rộng rãi trên thế giới với các công tác quy hoạch, phân tích và thiết kế các hệ thống thoát nước mưa, hệ thống thoát nước chung, hệ thống thoát nước thải và những hệ thống tiêu khác trong vùng đô thị cũng như những vùng không phải đô thị [12]. Trong nghiên cứu này, mô hình EPA–SWMM Ver 5.0 được sử dụng để mô phỏng hiện trạng ngập lụt đô thị và sử dụng công nghệ Phát triển Tác động thấp LID để đánh giá khả năng áp dụng SUDS nhằm giảm thiểu ngập lụt đô thị tại khu vực nghiên cứu. Trên thế giới, mô hình SWMM đã được nghiên cứu và sử dụng từ lâu: Nghiên cứu sử dụng mô hình SWMM để đánh giá tác động của LID trong khu vực đô thị [13]; Nghiên cứu ứng dụng mô hình SWMM đánh giá hiệu quả của giải pháp vườn mưa tại Nhật Bản [9]; Các nghiên cứu dùng để đánh giá vấn đề về BĐKH ảnh hưởng đến cơ sở hạ tầng đô thị bị xuống cấp ở nhiều khu vực [14]. Một số kết quả nghiên cứu SWMM ở Việt Nam có thể kể đến là: Nghiên cứu mô phỏng thoát nước đô thị ở Huế trong trận mưa tháng 10 năm 2019 [15]; Nghiên cứu ứng dụng mô hình SWMM để đánh giá tính khả thi của SUDS tại lưu vực kênh Nhiêu Lộc–Thị Nghè, TP.HCM [16]; Nghiên cứu mô phỏng mức độ ngập và đề xuất giải pháp chống ngập cho khu vực Văn Thánh, TP.HCM [17]; Mô hình SWMM còn ứng dụng trong phân tích mạng lưới thoát nước khu đô thị mới ở Lê Minh Xuân, huyện Bình Chánh, TP.HCM [18].

Để giải quyết vấn đề ngập lụt đô thị trong bối cảnh ngày càng tăng do tác động của BĐKH, việc ứng dụng giải pháp SUDS để quản lý ngập lụt đô thị bền vững hơn cho khu vực đang đô thị hóa ở huyện Bình Chánh là rất cấp thiết. Mặc dù SUDS đã được triển khai thành công ở nhiều nơi trên thế giới nhưng nó vẫn tồn tại nhiều rủi ro tiềm tàng về kỹ thuật, môi trường, kinh tế–xã hội nếu không được thử nghiệm về sự phù hợp của nó với điều kiện địa phương, nên cần được đánh giá tính khả thi trước khi áp dụng. Vì vậy, nghiên cứu sử dụng mô hình EPA–SWMM để mô phỏng khả năng áp dụng giải pháp SUDS kết hợp với phương pháp điều tra xã hội học, nhằm thu thập ý kiến của các bên liên quan giúp mang lại nhiều lợi ích, giá trị kinh tế, xã hội, và thân thiện với môi trường cho cộng đồng dân cư. Mục đích của nghiên cứu: (1) Đánh giá được hiện trạng hệ thống thoát nước, hiện trạng sử đất và ngập lụt tại khu vực đang đô thị hóa huyện Bình Chánh; (2) Lựa chọn được giải pháp SUDS phù hợp với điều kiện thực tế tại địa phương; (3) Xác định được tiềm năng–thách thức về khả năng áp dụng giải pháp SUDS lồng ghép hạ tầng hiện hữu và đề xuất giải pháp khắc phục những hạn chế khi áp dụng SUDS tại địa phương.

2. Phương pháp nghiên cứu

2.1. Sơ đồ cấu trúc nghiên cứu

Để đánh giá khả năng áp dụng SUDS cho khu vực đang đô thị hóa ở huyện Bình Chánh, nghiên cứu sử dụng phương pháp tiếp cận là mô hình hóa kết hợp với điều tra xã hội học và xây dựng bộ tiêu chí. Mô hình được sử dụng trong nghiên cứu này là mô hình EPA–SWMM dùng để mô phỏng và đánh giá hiệu quả áp dụng SUDS. Phương pháp điều tra xã hội học nhằm thu thập ý kiến của chuyên gia, chính quyền và người dân địa phương nhằm phục vụ cho công tác xây dựng bộ tiêu chí, đánh giá tiềm năng và thách thức khi áp dụng SUDS. Sơ đồ thực hiện các nội dung nghiên cứu được trình bày như Hình 1.



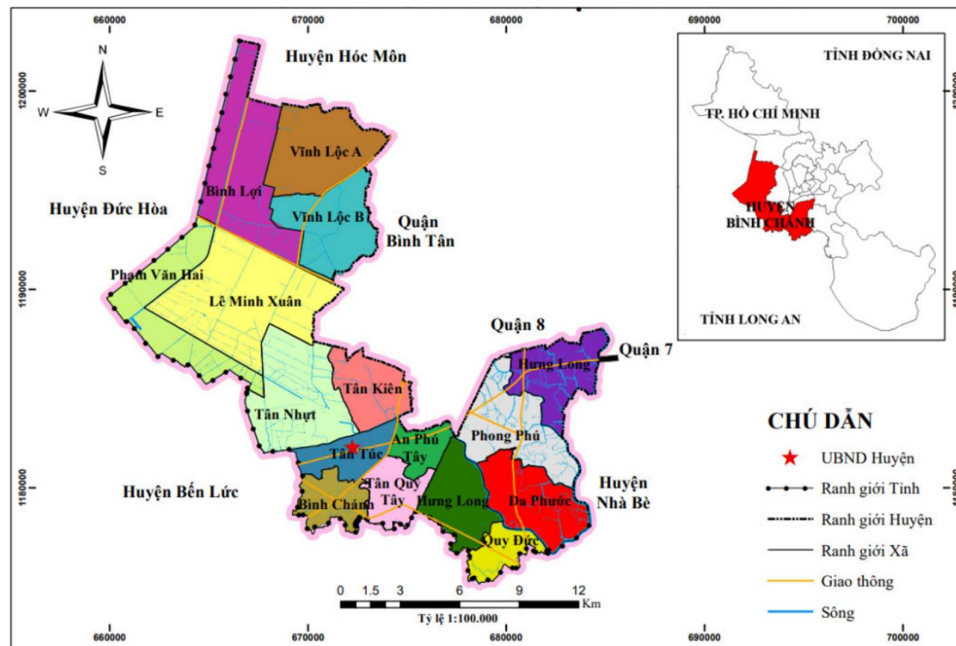
Hình 1. Quy trình thực hiện nghiên cứu.

2.2. Khu vực nghiên cứu

Huyện Bình Chánh nằm ở phía Tây–Tây Nam của Thành phố Hồ Chí Minh. Tọa độ địa lý của huyện là 106°27’51”–106°42’ kinh Đông và 102°27’38”–10°52’30” vĩ Bắc. Huyện Bình Chánh là một trong 5 huyện ngoại thành, có tổng diện tích tự nhiên 25.255 ha, chiếm 12,05% diện tích toàn Thành phố. Tổng dân số toàn Huyện tính tới cuối năm 2020 là 730.477 người, với 15 xã và 01 thị trấn, xã có diện tích lớn nhất là xã Lê Minh Xuân với diện tích 3.509 ha, xã nhỏ nhất là xã An Phú Tây với diện tích 586,58 ha.

Huyện Bình Chánh có hệ thống sông, kênh, rạch khá đa dạng với 86 tuyến có chức năng tiêu thoát nước với tổng chiều dài 111,750 km và 79 tuyến có chức năng tưới tiêu phục vụ sản xuất nông nghiệp, nuôi trồng thủy sản, phát triển rừng với tổng chiều dài 123,504 km. Phần lớn sông, rạch của huyện Bình Chánh nằm ở khu vực hạ lưu, nên nguồn nước bị ô nhiễm do nước thải từ các khu công nghiệp của thành phố đổ về: Nước đen từ kênh Tàu Hủ, kênh

Tân Hóa–Lò Gò, kênh Đồi, rạch Nước Lên, rạch Cần Giuộc,... đã ngày càng gây ảnh hưởng lớn đến sản xuất nông nghiệp (đặc biệt là nuôi trồng thủy sản) cũng như đời sống của nhân dân.



Hình 2. Bản đồ ranh giới huyện Bình Chánh.

2.3. Phương pháp nghiên cứu

2.3.1. Phương pháp thu thập, kế thừa và xử lý số liệu

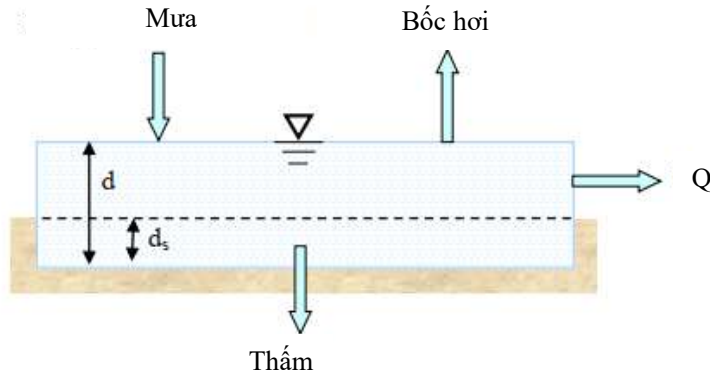
Nghiên cứu kết hợp phương pháp thu thập số liệu định tính và định lượng. Tháng 4 năm 2021, nhóm nghiên cứu đã tiến hành phỏng vấn 30 hộ dân trên địa bàn huyện Bình Chánh, TP.HCM để thu thập số liệu liên quan đến nghiên cứu. Bên cạnh đó, nghiên cứu sử dụng phương pháp xây dựng bộ tiêu chí để đánh giá mức độ quan trọng của bộ tiêu chí về khả năng áp dụng giải pháp SUDS của 10 chuyên gia và chính quyền địa phương.

Nghiên cứu thu thập và tổng hợp tài liệu, số liệu từ các đề tài nghiên cứu đã được công bố trong và ngoài nước có liên quan đến quá trình đô thị hóa, các công trình SUDS, mô hình EPA–SWMM. Kế thừa số liệu từ đề tài nghiên cứu khoa học cấp Đại học Quốc Gia Thành Phố Hồ Chí Minh mã số C2021-24-01 “Đánh giá cơ hội và thách thức phát triển hệ thống thoát nước bền vững giảm nhẹ rủi ro ngập lụt tại TP. Hồ Chí Minh”, dự án và quy hoạch hệ thống thoát nước, chống ngập đã được thực hiện trên địa bàn TP.HCM. Nghiên cứu sử dụng các báo cáo, thống kê về hiện trạng sử dụng đất, dân số, kinh tế–xã hội, hệ thống thoát nước, hiện trạng ngập lụt tại khu vực nghiên cứu theo báo cáo cuối năm 2020 của Ủy ban nhân dân huyện Bình Chánh để đánh giá hiện trạng và xây dựng mô hình EPA–SWMM. Các bản đồ, số liệu có liên quan như: Bản đồ địa giới hành chính, lượng mưa, mực nước, cao độ địa hình,... của huyện Bình Chánh năm 2018 và năm 2019. Từ đó, tổng hợp và phân tích các nội dung, phương pháp đã đề ra nhằm hoàn thiện mục tiêu nghiên cứu và đưa ra kết quả tối ưu nhất.

2.3.2. Phương pháp mô hình toán EPA–SWMM

Mô hình SWMM mô phỏng quan hệ giữa mưa và dòng chảy tràn, SWMM sử dụng mô hình hồ chứa phi tuyến để ước tính dòng chảy mặt (*Surface Runoff*) do lượng mưa tạo ra trên mỗi tiểu lưu vực. Mỗi tiểu lưu vực được mô hình hóa dưới dạng hình chữ nhật được phân

chia theo địa hình và hạ tầng hiện hữu với các loại bề mặt đất có thể chia thành hai loại chính: Bề mặt thấm và không thấm có độ dốc lưu vực S và chiều rộng W chảy hướng ra một cửa xả duy nhất.



Hình 3. Mô hình mô tả dòng chảy mặt.

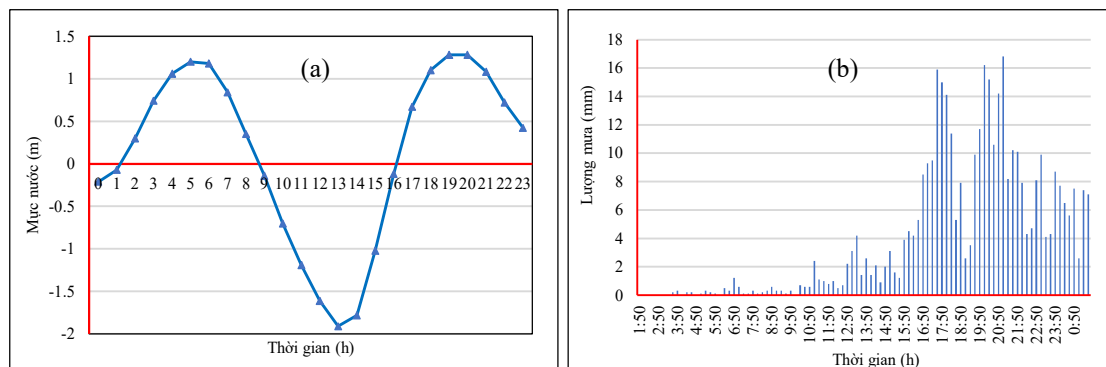
Tiểu lưu vực chứa dòng chảy vào từ lượng nước rơi (mưa và tuyết tan) và dòng chảy ra bao gồm: thấm, bay hơi và chảy tràn. Lưu lượng dòng chảy tràn Q được sinh ra khi độ sâu nước trong mỗi hồ chứa vượt quá mức lưu trữ d_s , trong đó phương trình hệ số nhám Manning được sử dụng để biểu thị tốc độ dòng chảy theo thể tích Q (m^3/s) như:

$$Q = \frac{1}{n} W(d - d_s)^{5/3} S^{1/2} \tag{1}$$

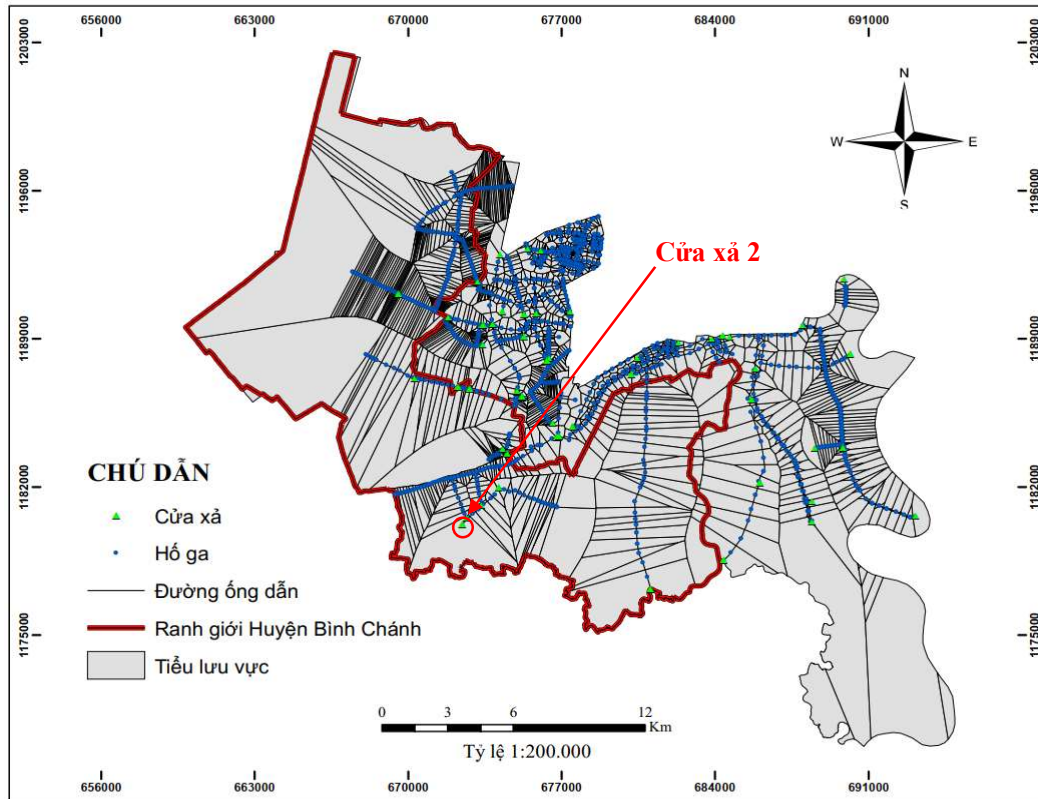
Trong đó Q là lưu lượng dòng chảy mặt sinh ra trên mỗi tiểu lưu vực (m^3/s); n là hệ số nhám Manning; W là chiều rộng tiểu lưu vực (m); d là độ sâu nước trên lưu vực (m); d_s là độ sâu nước có thể trữ trong lưu vực (m); S là độ dốc lưu vực (m/m).

Hệ thống thoát nước được tính toán dựa trên dữ liệu mô hình EPA-SWMM mô phỏng hệ thống thoát nước khu vực phía Tây và Nam TP.HCM, bao gồm khu vực huyện Bình Chánh. Độ dốc địa hình của từng tiểu lưu vực được xác định trực tiếp trên bản đồ số hóa của lưu vực. Tỷ lệ phần trăm không thấm so với diện tích được ước tính theo cơ cấu sử dụng đất lâu dài 50–75%. Toàn bộ lưu vực được sơ đồ hóa thành 380 nút, 395 tuyến cống thoát nước với biên triều được gán ở 11 cửa xả. Sơ đồ hiện trạng được trình bày như Hình 4.

Số liệu khí tượng bao gồm: Số liệu lượng mưa, bốc hơi, độ ẩm, nhiệt độ,... Tuy nhiên, số liệu về bốc hơi, độ ẩm, nhiệt độ,... ít ảnh hưởng đến hiện tượng ngập lụt đô thị nên nghiên cứu chỉ quan tâm đến số liệu mưa. Nghiên cứu sử dụng số liệu mưa thời đoạn 15 phút tại trạm Tân Sơn Hòa để tính toán, mô phỏng tình hình ngập của khu vực nghiên cứu theo dữ liệu trận mưa lịch sử ngày 25–26/11/2018 trong 24 giờ với tổng lượng mưa lên tới 382,5mm (Hình 5a–5b).



Hình 5. (a) Biểu đồ mực nước triều tính toán (Ngày 25–26/11/2018, trạm Phú An); (b) Biểu đồ mưa tính toán (Ngày 25–26/11/2018, trạm Tân Sơn Hòa).



Hình 4. Sơ đồ mô phỏng mạng lưới thoát nước của khu vực nghiên cứu.

Mức độ phù hợp của mô hình và dữ liệu quan sát được đánh giá dựa trên các hệ số NSE (Nash–Sutcliffe) [19], và hệ số tương quan R^2 .

Nghiên cứu đề xuất 02 kịch bản để tiết giảm cường độ dòng chảy, đảm bảo hệ thống thoát nước hiện hữu có thể tiêu thoát nước:

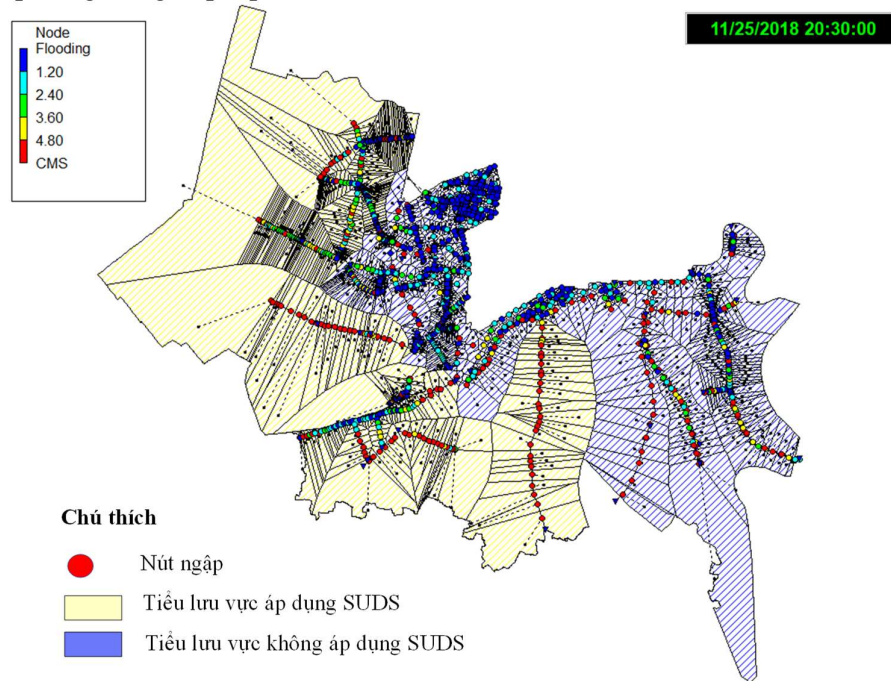
- KB1: Kịch bản tăng khả năng lưu trữ tạm thời để tái sử dụng nước mưa;
- KB2: Kịch bản làm giảm lưu lượng đỉnh của dòng chảy.

SUDS được thực hiện bằng cách sử dụng công nghệ tác động làm chậm dòng chảy LID được mô phỏng bằng mô hình EPA–SWMM để đánh giá hiệu quả hoạt động của giải pháp thu nước mưa: Thùng chứa nước mưa; và giải pháp cải tạo mặt phủ đô thị: Mái nhà xanh, vườn mưa và vỉa hè thấm.

Nghiên cứu mô phỏng các giải pháp SUDS cho các tiểu lưu vực bị ngập úng theo kết quả đánh giá khả năng làm việc của hệ thống thoát nước trong điều kiện thời tiết bất lợi (trận mưa cực đoan ngày 25–26/11/2018 lớn nhất trong lịch sử). Số lượng các giải pháp SUDS được áp dụng trên mỗi tiểu lưu vực được xây dựng dựa trên đánh giá mức độ phù hợp về khả năng áp dụng các giải pháp SUDS tại khu vực nghiên cứu của các bên liên quan, bao gồm đánh giá mức độ phù hợp của chính quyền địa phương, người dân và chuyên gia. Bố trí giải pháp thu nước mưa với diện tích áp dụng là 0,13% và diện tích không thấm là 10% cho mỗi tiểu lưu vực. Bố trí giải pháp cải tạo mặt phủ đô thị với diện tích áp dụng cho các giải pháp là: Mái nhà xanh với diện tích áp dụng là 10% và diện tích không thấm là 35%; Vườn mưa với diện tích áp dụng là 15% và diện tích không thấm là 25%; Vỉa hè thấm với diện tích áp dụng là 8% và diện tích không thấm là 25% cho mỗi tiểu lưu vực.

Mỗi đề xuất nhằm cung cấp các giải pháp khác nhau trong việc quản lý lượng nước mưa hình thành nên dòng chảy mặt. Tùy thuộc vào đặc điểm của từng khu vực cũng như khả năng kinh tế của địa phương để đề xuất áp dụng các giải pháp phù hợp với nhu cầu thực tế. Việc áp dụng các giải pháp này được thực hiện đơn lẻ (Kịch bản tăng khả năng lưu trữ tạm thời để tái sử dụng nước mưa: Thu nước mưa) hoặc kết hợp với nhau (Kịch bản làm giảm lưu lượng

đỉnh của dòng chảy: Mái nhà xanh, vỉa hè thấm và vườn mưa) nhằm đạt kết quả cao nhất trong việc áp dụng các giải pháp SUDS.



Hình 6. Bản đồ mô phỏng các tiểu lưu vực áp dụng SUDS.

2.3.3. Phương pháp điều tra xã hội học

Khảo sát thực tế để thu thập thông tin về hiện trạng ngập, hiện trạng hệ thống thoát nước và hiện trạng sử dụng đất tại khu vực nghiên cứu nhằm phục vụ cho công tác xây dựng và kiểm định mô hình EPA–SWMM.

Thu thập và phỏng vấn ý kiến chuyên gia và chính quyền địa phương nhằm phục vụ công tác xây dựng bộ tiêu chí để lựa chọn giải pháp SUDS phù hợp với tình hình thực tế tại khu vực nghiên cứu. Nghiên cứu phân tích số liệu thứ cấp kế thừa từ những nghiên cứu trước để xây dựng bộ tiêu chí lựa chọn giải pháp SUDS được xem xét và liệt kê. Sau khi các tiêu chí được thiết lập sẽ tiến hành phỏng vấn 10 chuyên gia và chính quyền địa phương trong các lĩnh vực về quy hoạch đô thị, môi trường, cấp thoát nước, thủy lực,... thông qua hình thức phỏng vấn sâu và khảo sát điện tử để xác định, thống nhất những tiêu chí được lựa chọn. Bên cạnh đó, bộ câu hỏi còn xây dựng dựa trên khả năng áp dụng các giải pháp SUDS đối với khu vực đang đô thị hóa, huyện Bình Chánh. Các giải pháp được chuyên gia và chính quyền địa phương đánh giá dựa trên mức độ phù hợp của các giải pháp với tình hình thực tế tại địa phương nhằm đảm bảo thực hiện đầy đủ các tiêu chí SUDS bền vững về mặt kinh tế, xã hội và môi trường.

Thu thập ý kiến của người dân với tổng số phiếu là 30 phiếu với hình thức phỏng vấn trực tiếp. Địa điểm để tiến hành phỏng vấn được lựa chọn dựa trên báo cáo ngập hằng năm của Trung tâm Chống ngập Thành phố Hồ Chí Minh (FCC), báo cáo năm của Phòng Quản lý Đô thị Huyện Bình Chánh và thông tin được đưa trên các trang báo điện tử của Huyện Bình Chánh. Ở mỗi khu vực xảy ra tình trạng ngập lụt, 1–2 hộ dân đại diện được lựa chọn lấy ý kiến khảo sát. Mục đích của cuộc khảo sát này là đánh giá mức độ ưa chuộng của cộng đồng đối với SUDS: Thu nước mưa, mái nhà xanh, vườn mưa và vỉa hè thấm. Vì vậy, việc triển khai áp dụng các giải pháp rất cần sự đồng thuận từ phía các hộ dân địa phương. Tuy nhiên, đây là nghiên cứu định tính, nên việc thu thập thông tin chỉ ngừng khi lượng thông tin bão hòa để có thể trả lời các mục tiêu và các câu hỏi nghiên cứu [20].

2.3.4. Phương pháp xây dựng bộ tiêu chí

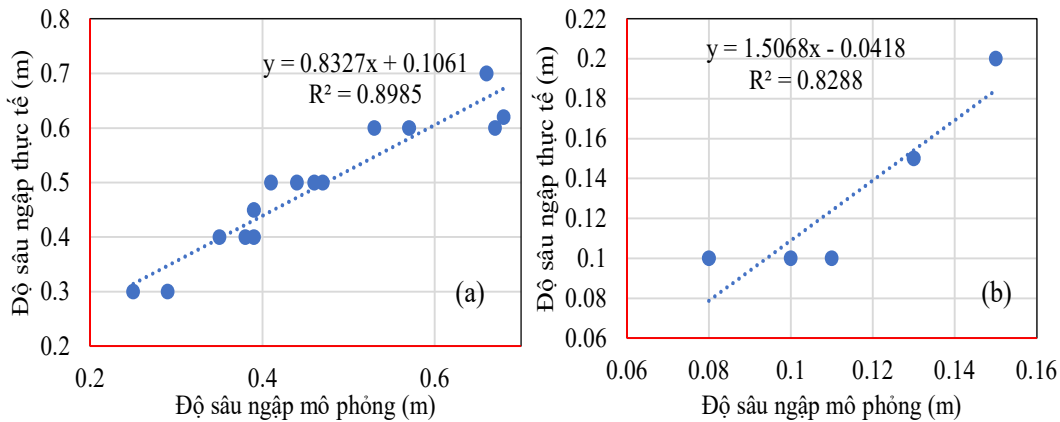
Nghiên cứu sử dụng phương pháp xây dựng bộ tiêu chí để đo lường tính bền vững của SUDS và khả năng áp dụng SUDS tại khu vực nghiên cứu. Phương pháp này liên quan đến nhiều đối tượng trong quá trình lựa chọn các khía cạnh bền vững về mặt kinh tế, xã hội và môi trường. Các tiêu chí và chỉ số bền vững của SUDS được xác định dựa trên kết quả nghiên cứu vấn đề quản lý UDS ở Algeria [21], các chỉ thị gần đây của chính phủ về phát triển bền vững (13/CT-TTg, 20/5/2019) và các tài liệu nghiên cứu về tính bền vững làm cơ sở nghiên cứu xây dựng bộ tiêu chí sơ bộ được trình bày trong chỉ thị.

3. Kết quả và thảo luận

3.1. Kết quả hiệu chỉnh, kiểm định mô hình

3.1.1. Kết quả hiệu chỉnh mô hình với trận mưa tháng 11 năm 2018

Dùng phương án hiện trạng để kiểm nghiệm mô hình bằng cách so sánh những điểm ngập có được từ việc mô phỏng bằng mô hình với điểm ngập từ khảo sát thực tế. Kết quả mô phỏng so sánh với thực tế được gọi là phương án hiện trạng. So sánh số tuyến đường xuất hiện ngập từ khảo sát thực đo trận mưa ngày 25/11/2018 (Trung tâm điều hành chương trình chống ngập nước TP.HCM, 2018) với kết quả từ việc chạy mô hình EPA-SWMM là 11 tuyến ngập thực tế và số tuyến ngập có được do chạy mô hình là 15 tuyến ngập, như vậy tỷ lệ mô phỏng thành công của mô hình khoảng 73,33%. Với hệ số NSE giữa thực đo và mô phỏng của 15 tuyến ngập đạt 0,92 và hệ số tương quan R² đạt 0,89. Với kết quả hiệu chỉnh hiện trạng, cho thấy mô hình có khả năng tái hiện tình trạng ngập ở khu vực huyện Bình Chánh. (Hình 7a).



Hình 7. (a) Kết quả so sánh giữa giá trị thực đo và mô phỏng hiệu chỉnh mô hình trận mưa ngày 25/11/2018; (b) Kết quả so sánh giữa giá trị thực đo và mô phỏng kiểm định mô hình trận mưa ngày 22/5/2019.

3.1.2. Kết quả kiểm định mô hình với trận mưa tháng 5 năm 2019

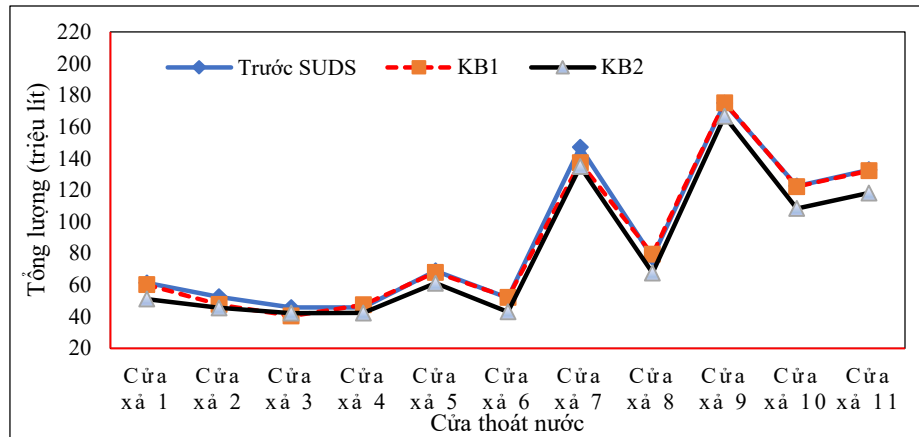
Kết quả kiểm định các thông số mô hình EPA-SWMM thông qua tính toán với trận mưa ngày 22/5/2019 trong 3h thời đoạn 15 phút trạm Bình Chánh, tổng lượng mưa là 65,4 mm, kết quả mô phỏng các tuyến ngập giữa tính toán và thực đo. So sánh số tuyến đường xuất hiện ngập từ khảo sát thực đo (trung tâm quản lý hạ tầng kỹ thuật, sở Xây Dựng thành phố TP.HCM, 2020) được trình bày trong Hình 7b. Hệ số NSE giữa thực đo và mô phỏng của 5 tuyến ngập đạt 0,89 và hệ số tương quan R² đạt 0,83.

Dựa vào kết quả kiểm định độ sâu ngập tại cái tuyến đường cho thấy, đường biểu diễn độ sâu ngập giữa thực đo và mô phỏng là tương đồng. Mô hình đủ điều kiện để mô phỏng cho diễn biến ngập úng tại khu vực huyện Bình Chánh.

3.2. Đánh giá khả năng áp dụng SUDS

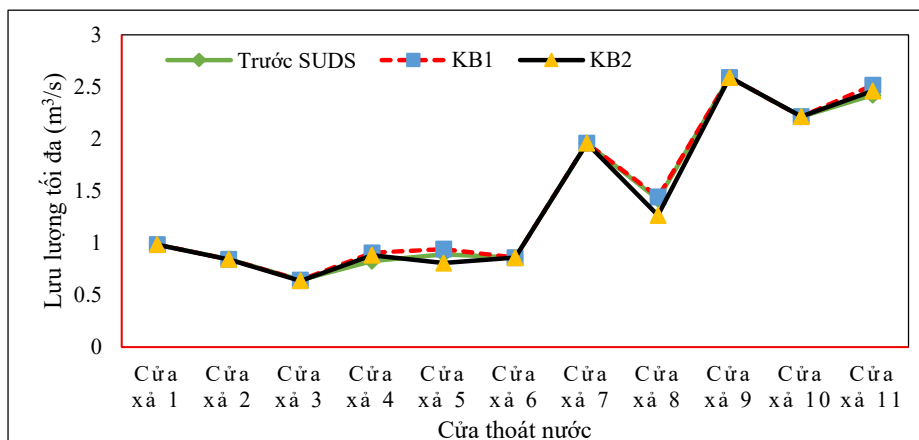
3.2.1. Kết quả mô phỏng SUDS

Mô phỏng kịch bản: Tăng khả năng lưu trữ tạm thời để tái sử dụng nước mưa (KB1) và làm giảm lưu lượng đỉnh của dòng chảy (KB2). Kết quả chạy mô hình trước và sau khi đã áp dụng các giải pháp SUDS trong điều kiện lượng mưa cực đoan trong 24h ngày 25–26/11/2018 tại trạm Tân Sơn Hòa và mực nước triều điển hình cùng ngày tại trạm Phú An, cho kết quả như sau:



Hình 8. Biểu đồ tổng lượng tại các cửa thoát nước trước và sau khi áp dụng SUDS.

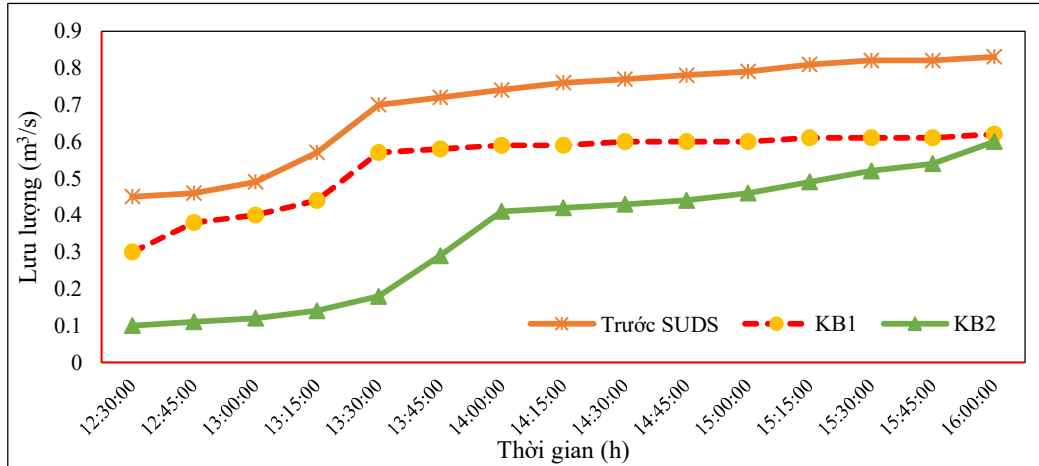
Sau khi áp dụng các giải pháp SUDS theo 2 kịch bản, tổng lượng thoát nước tại các cửa xả có độ giảm so với trước khi áp dụng SUDS, giảm 18,65 triệu lít với KB1 (Kịch bản tăng khả năng lưu trữ tạm thời để tái sử dụng nước mưa) và giảm 100,27 triệu lít với KB2 (Kịch bản làm giảm lưu lượng đỉnh của dòng chảy) (Hình 8).



Hình 9. Biểu đồ lưu lượng tối đa tại các cửa thoát nước trước và sau khi áp dụng SUDS.

Lưu lượng đỉnh tại 11 cửa thoát nước của khu vực huyện Bình Chánh xuất hiện cao nhất tại cửa xả 9 với lưu lượng tối đa là 2,59 m³/s. Kết quả so sánh đường quá trình lưu lượng tối đa tại các cửa xả cho thấy, KB2 với các giải pháp làm giảm lưu lượng đỉnh của dòng chảy mang lại hiệu quả giảm ngập đáng kể với tổng lưu lượng đỉnh tại các cửa xả giảm 0,15 m³/s, giảm nhiều nhất tại cửa xả 5, với tổng lưu lượng đỉnh giảm 0,08 m³/s. KB1 với giải pháp lưu trữ tạm thời để tái sử dụng nước mưa tuy mang lại hiệu quả giảm ngập đáng kể với tổng lượng ngập giảm 18,65 triệu lít, nhưng lưu lượng đỉnh tại các cửa thoát nước không mang lại hiệu quả cao (Hình 9).

Từ kết quả Hình 10 về đường quá trình lưu lượng thoát nước tại cửa xả 2 (Hình 4 vị trí cửa xả) sau khi áp dụng các kịch bản thoát nước giảm ngập cho thấy, 2 kịch bản đều mang lại hiệu quả giảm ngập đáng kể: Giảm 5,53 m³/s (9,4%) so với KB1 (Kịch bản tăng khả năng lưu trữ tạm thời để tái sử dụng nước mưa) vì khi áp dụng các giải pháp SUDS cho các lưu vực nằm trên tuyến thoát nước thì một phần lượng nước được giữ và trữ lại trong các thùng chứa nước; và giảm 7,99 m³/s (13,58%) so với KB2 (Kịch bản làm giảm lưu lượng đỉnh của dòng chảy) vì lượng nước được thấm vào đất tại các vỉa hè thấm, vườn mưa và một phần được tạm giữ và chảy chậm ở khu vực mái nhà xanh.

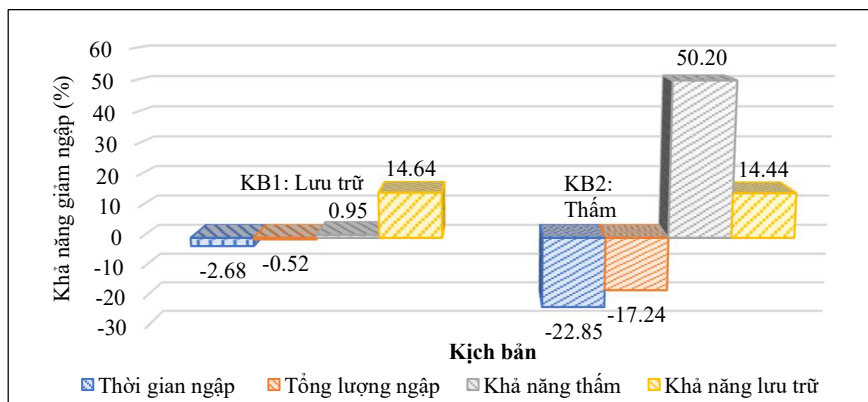


Hình 10. Biểu đồ lưu lượng tại cửa xả 2 trước và sau khi áp dụng SUDS.

Từ kết quả mô phỏng các kịch bản cho thấy, các giải pháp SUDS đem lại hiệu quả giảm ngập đáng kể:

- KB1 (Kịch bản tăng khả năng lưu trữ tạm thời để tái sử dụng nước mưa): Sau khi bố trí các thùng chứa nước mưa và tiến hành chạy mô phỏng trên mô hình EPA-SWMM, kết quả cho thấy giải pháp thùng chứa nước mưa mang lại hiệu quả nhất định trong việc giảm thiểu tình trạng quá tải của công thoát nước. Tuy nhiên, giải pháp này không mang lại hiệu quả cao với thời gian ngập và tổng lượng ngập giảm không nhiều khi lắp đặt các thùng chứa nước mưa: Thời gian ngập giảm 0,43 giờ (2,68%) và tổng lượng ngập giảm 298 triệu lít (0,52%), khả năng lưu trữ tăng 22,73mm (14,64%) so với trước khi áp dụng kịch bản.

- KB2 (Kịch bản làm giảm lưu lượng đỉnh của dòng chảy): Lượng nước mưa bị thấm của kịch bản này tăng lên 19,15mm (50,2%), thời gian ngập giảm 3,06 giờ (22,85%) và tổng lượng ngập giảm 8.467 triệu lít (17,24%) so với trước khi áp dụng kịch bản. Có thể thấy, các giải pháp SUDS: Mái nhà xanh, vườn mưa và vỉa hè thấm mang lại hiệu quả đáng khích lệ. (Hình 11).



Hình 11. Kết quả so sánh hiệu quả giảm ngập của các kịch bản.

Từ các kết quả trên cho thấy, 2 giải pháp là thu nước mưa và cải tạo mặt phủ đô thị đều mang lại hiệu quả giảm ngập, giải pháp cải tạo mặt phủ đô thị có tính hiệu quả và khả thi cao hơn so với giải pháp thu nước mưa. Tuy nhiên, mỗi giải pháp đều có những mặt trái của nó. Vì vậy, để có thể lựa chọn phương pháp tối ưu nhất cho khu vực đang đô thị hóa huyện Bình Chánh, nghiên cứu tiến hành đánh giá hiệu quả về mặt kinh tế, xã hội và môi trường thông qua khảo sát các bên liên quan để xây dựng bộ tiêu chí lựa chọn giải pháp SUDS và đánh giá khả năng áp dụng SUDS tại khu vực nghiên cứu.

3.2.2. Lựa chọn SUDS dựa trên bộ tiêu chí

a) Kết quả xây dựng bộ tiêu chí lựa chọn SUDS

Nghiên cứu xây dựng bộ tiêu chí sơ bộ dựa trên bộ chỉ thị số 13/CT–TTg ngày 20/5/2019 của chính phủ về phát triển bền vững và dựa trên kết quả nghiên cứu vấn đề về quản lý UDS ở Algeria [21]. Từ bộ tiêu chí sơ bộ, căn cứ vào tình hình thực tế tại địa phương và kết quả tham vấn ý kiến 10 chuyên gia và chính quyền địa phương, nghiên cứu tiến hành tổng hợp và lựa chọn các tiêu chí được đánh giá cao, điều chỉnh, loại bỏ và bổ sung các tiêu chí phù hợp với thực tiễn địa phương, từ đó, đề xuất bộ tiêu chí sau nhằm lựa chọn SUDS đảm bảo tính bền vững về mặt: Kinh tế, xã hội và môi trường.

Bảng 3. Các tiêu chí lựa chọn SUDS phù hợp với điều kiện tại khu vực nghiên cứu.

Vấn đề	Tiêu chí	Chỉ thị
Kinh tế/ Tài chính	Chi phí xây dựng, bảo quản	SUDS là giải pháp thoát nước giúp tiết kiệm chi phí cho địa phương Giảm tổn thất về tài chính trong việc ứng phó với các vấn đề về ngập lụt (như nâng đường, nâng nền, xây đê bao,...)
	Kinh tế địa phương	Giảm nhu cầu cấp nước sinh hoạt Tái sử dụng nước mưa cho hoạt động sinh hoạt, nông nghiệp Phát triển nông nghiệp đô thị (trồng rau xanh trong các hộ gia đình) Giảm chi phí điều hòa không khí
Xã hội	Sự hài lòng của người dân	Sự hài lòng về chất lượng môi trường sau khi áp dụng SUDS Sự hài lòng về khả năng hoạt động của các giải pháp SUDS
	Ý thức của người dân	Ý thức của người dân đối với vấn đề về môi trường (ngập lụt đô thị) Sự tham gia của cộng đồng trong công tác triển khai thực hiện các giải pháp SUDS Tạo dựng kết nối mối quan hệ giữ con người với môi trường sống tự nhiên
	Chất lượng môi trường sống	Hạn chế nguy cơ ngập lụt Góp phần tăng mỹ quan đô thị Tăng khả năng chống chịu và thích ứng với các ảnh hưởng của thiên tai, BĐKH và NBD
Môi trường	Chất lượng môi trường không khí	Giảm nồng độ các chất gây ô nhiễm Cải thiện chất lượng không khí trong nhà Mức độ hài lòng của người dân với chất lượng không khí
	Tỷ lệ không gian xanh	Tăng tỷ lệ không gian xanh (tính theo cây xanh)
	Đa dạng sinh học	Tạo hành lang cư trú cho các loại động, thực vật
	Tiếng ồn	Giảm thiểu tiếng ồn
	Chất lượng nước	Bảo vệ nguồn nước khỏi ô nhiễm trong hệ thống thoát nước và nơi tiếp nhận nước thải Chất lượng nguồn nước tái sử dụng Năng suất hoạt động của hệ thống thoát nước

Vấn đề	Tiêu chí	Chỉ thị
	Hệ thống thoát nước	Giảm tải lượng ô nhiễm thải ra Hệ thống thoát nước hoạt động hiệu quả trong điều kiện mưa lớn Giảm thiểu tràn các chất ô nhiễm ra môi trường

Lựa chọn SUDS dựa trên bộ tiêu chí

Nghiên cứu sử dụng phương pháp điều tra xã hội học: Thu thập ý kiến của chính quyền và người dân địa phương để đánh giá khả năng áp dụng SUDS về mặt kinh tế và xã hội; Tham vấn ý kiến chuyên gia để đánh giá khả năng giảm ngập và cải thiện chất lượng môi trường tự nhiên.

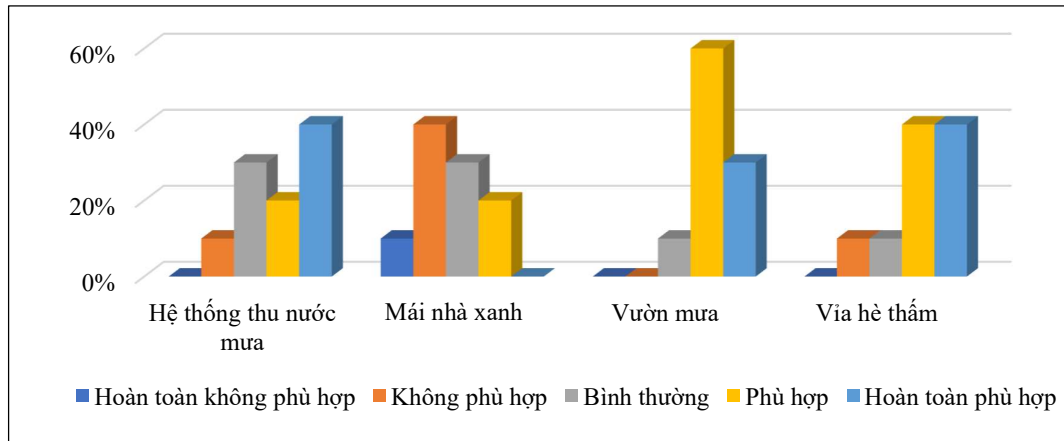
Bảng 4. Đánh giá khả năng áp dụng SUDS theo bộ tiêu chí.

Tiêu chí	Giải pháp tăng khả năng lưu trữ tạm thời		Giải pháp giảm lưu lượng đỉnh của dòng chảy	
	Thu nước mưa	Mái nhà xanh	Vườn mưa	Via hè thấm
<i>Kinh tế</i> - Chi phí xây dựng/ bảo quản - Kinh tế địa phương	Cao: - Giảm nhu cầu cấp nước - Tái sử dụng nước mưa vào sinh hoạt	Thấp: - Chi phí xây dựng, bảo dưỡng cao	Cao: - Chi phí xây dựng thấp - Tăng sản lượng cây trồng (rau, củ, quả,...)	Trung bình: - Diện tích xây dựng lớn để lưu trữ nước mưa
<i>Xã hội</i> - Sự hài lòng của người dân - Ý thức của người dân - Chất lượng môi trường sống	Trung bình: - Yêu cầu không gian xây dựng thiết bị - Bảo trì, bảo dưỡng thường xuyên	Thấp: - Khó thay đổi nhìn nhận từ người sử dụng - Cần tính thêm tải trọng cho mái nhà	Cao: - Tạo cảnh quan - Tăng khả năng chống chịu của thiên tai - Sự tham gia của cộng đồng	Trung bình: - Tăng mỹ quan đô thị - Được sự đồng thuận của cộng đồng
<i>Môi trường</i> - Chất lượng môi trường không khí - Tỷ lệ không gian xanh - Đa dạng sinh học - Tiếng ồn - Chất lượng nước - Hệ thống thoát nước	Thấp: - Giảm áp lực lên hệ thống thoát nước - Đảm bảo nguồn nước tái sử dụng	Cao: - Cải thiện chất lượng không khí, ổn định nhiệt độ - Tạo không gian xanh	Cao: - Cải thiện chất lượng không khí - Tăng tỷ lệ cây xanh - Tạo hành lang cư trú cho động, thực vật - Giảm tải lượng ô nhiễm thải ra	Cao: - Giảm ô nhiễm không khí - Giảm áp dụng lên hệ thống thoát nước - Giảm tải ô nhiễm chất thải

Nhìn chung, các giải pháp SUDS khi áp dụng tại khu vực đang đô thị hóa, huyện Bình Chánh đa phần đều đáp ứng các tiêu chí về môi trường, tuy nhiên cũng gặp phải không ít thách thức bởi sự phụ thuộc nhiều vào các bên liên quan về khả năng chi trả, bảo trì bảo dưỡng và hiệu quả giảm ngập của SUDS. Dựa trên kết quả đánh giá mức độ phù hợp của SUDS với bộ tiêu chí, cần tập trung vào giải pháp vườn mưa và via hè thấm bởi nhóm giải pháp này đạt hiệu quả vượt trội khi so sánh cả về chi phí, sự đồng thuận, hiệu quả giảm ngập và đảm bảo tính bền vững về môi trường. Tuy nhiên, việc lựa chọn giải pháp nào cũng cần nghiên cứu thực tế theo khu vực bởi việc xây dựng giải pháp có thể mang lại hiệu quả cao và lợi ích chi phí cao hơn đối với các dự án đầu tư xây mới.

b) Kết quả khảo sát các bên liên quan

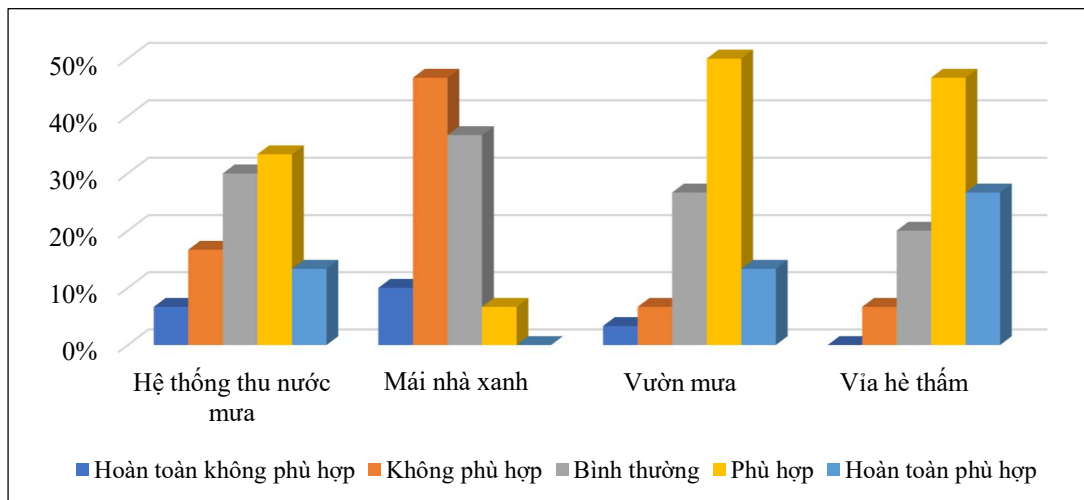
Trong khi kết quả từ mô hình hóa sẽ đưa ra các quan điểm về mặt kỹ thuật, còn khảo sát trực tiếp từ các bên liên quan cho thấy nhận thức và khả năng áp dụng SUDS tại địa phương. Dưới đây là kết quả khảo sát các bên liên quan:



Hình 12. Kết quả khảo sát chuyên gia và chính quyền địa phương về lựa chọn SUDS.

Kết quả thu thập ý kiến chuyên gia và chính quyền địa phương cho thấy, các giải pháp vườn mưa, vỉa hè thấm là các giải pháp được đánh giá là phù hợp với đặc điểm của khu vực nghiên cứu với mức độ phù hợp là 90% đối với giải pháp vườn mưa và 80% đối với giải pháp vỉa hè thấm. Tiếp đến là các giải pháp hệ thống thu nước mưa cũng được đánh giá là phù hợp với mức độ phù hợp được đánh giá là 60%. Cuối cùng là giải pháp mái nhà xanh được đánh giá là ít phù hợp nhất với mức độ phù hợp được đánh giá là 20%, mức độ đánh giá không phù hợp là 50% và 30% còn lại là ý kiến trung lập (Hình 12).

Kết quả tổng hợp ý kiến khảo sát người dân địa phương cho thấy giải pháp vỉa hè thấm là giải pháp được ưa chuộng nhất với sự chấp thuận cho giải pháp này là 74% trên tổng số hộ dân được lấy ý kiến. Giải pháp vườn mưa là giải pháp thứ 2 được người dân ưa chuộng với sự đồng thuận là 63%, đây là một trong những giải pháp phổ biến nhất được triển khai thực hiện ở nhiều nước trên thế giới. Thứ 3 là giải pháp hệ thống thu nước mưa với tỷ lệ đồng thuận là 44%, nước mưa được thu lại từ các hồ chứa, bể chứa trong nhà. Mặc dù giải pháp mái nhà xanh có khả năng giảm lưu lượng dòng chảy, nhưng nhìn chung, loại giải pháp này ít được người dân ưa chuộng nhất với mức độ không đồng thuận là 57% trên tổng số hộ dân được lấy ý kiến. Giải pháp này dường như còn khá xa lạ nên đa số hộ dân đều không chấp nhận hoặc không có ý kiến đối với giải pháp này. Khi được hỏi cụ thể về giải pháp này, người dân đều thấy khả năng phủ một lớp thực vật trên mái nhà của họ là điều không thể thực hiện vì rất khó có thể chăm sóc và khả năng sẽ có sự xuất hiện của nhiều loại côn trùng (Hình 13).



Hình 13. Kết quả khảo sát người dân về lựa chọn SUDS.

Sau khi tổng hợp kết quả khảo sát của các bên liên quan cho thấy giải pháp vỉa hè thấm và vườn mưa được ưa chuộng và đánh giá phù hợp với khu vực nghiên cứu nhất (77%), tiếp theo là giải pháp hệ thống thu nước mưa (53%) và cuối cùng là giải pháp mái nhà xanh (14%).

4. Kết luận

Nghiên cứu sử dụng phần mềm EPA-SWMM đã được hiệu chỉnh và kiểm định khá tốt cho mô hình thoát nước cho khu vực Bình Chánh, sau đó mô phỏng 2 kịch bản áp dụng giải pháp SUDS: Kịch bản tăng khả năng lưu trữ tạm thời để tái sử dụng nước mưa (Thu nước mưa); và kịch bản làm giảm lưu lượng đỉnh của dòng chảy (Mái nhà xanh, vườn mưa và vỉa hè thấm). Kết quả sau khi chạy mô phỏng các giải pháp SUDS theo kịch bản đề xuất được thực hiện bằng cách mô phỏng LID bằng mô hình EPA-SWMM cho thấy các giải pháp đã mang lại hiệu quả giảm ngập đáng kể: Giải pháp thu nước mưa với thời gian ngập giảm 0,43 giờ (2,68%) và tổng lượng ngập giảm 298 triệu lít (0,35%); và giải pháp cải tạo mặt phủ đô thị với thời gian ngập giảm 3,06 giờ (22,85%) và tổng lượng ngập giảm 8.467 triệu lít (17,24%). Từ kết quả phân tích trên cho thấy, giải pháp cải tạo mặt phủ đô thị có tính hiệu quả và khả thi cao hơn so với giải pháp thu nước mưa. Kết quả lựa chọn giải pháp SUDS dựa trên mức độ phù hợp với bộ tiêu chí được đề xuất, cần tập trung vào giải pháp vườn mưa và vỉa hè thấm bởi nhóm giải pháp này đạt hiệu quả vượt trội khi so sánh cả về chi phí, sự đồng thuận, hiệu quả giảm ngập và đảm bảo tính bền vững về môi trường. Qua kết quả thu thập ý kiến của 10 chuyên gia và chính quyền địa phương cho thấy, các giải pháp vườn mưa, vỉa hè thấm được đánh giá là phù hợp với đặc điểm của khu vực nghiên cứu với mức độ phù hợp là 90% đối với giải pháp vườn mưa và 80% đối với giải pháp vỉa hè thấm, tiếp đến là các giải pháp hệ thống thu nước mưa cũng được đánh giá là phù hợp với mức độ phù hợp là 60%, cuối cùng là giải pháp mái nhà xanh được đánh giá là ít phù hợp nhất với mức độ phù hợp được đánh giá là 20%. Kết quả thu thập ý kiến của 30 hộ dân tại địa phương cho thấy, giải pháp vỉa hè thấm là giải pháp được ưa chuộng nhất với sự chấp thuận là 74%, thứ 2 là giải pháp vườn mưa với sự đồng thuận là 63%, thứ 3 là giải pháp hệ thống thu nước mưa với tỷ lệ đồng thuận là 44%, cuối cùng là giải pháp mái nhà xanh với mức độ không đồng thuận lên đến 57%, giải pháp này dường như còn khá xa lạ nên đa số hộ dân đều không chấp nhận hoặc không có ý kiến đối với giải pháp này.

Kết quả nghiên cứu cung cấp thông tin cho việc lựa chọn giải pháp SUDS phù hợp với điều kiện thực tế tại khu vực đang đô thị hóa ở huyện Bình Chánh. Sau khi đánh giá về mặt kỹ thuật, kinh tế, xã hội và môi trường thì 2 giải pháp là vỉa hè thấm và giải pháp vườn mưa được đánh giá là phù hợp và được ưa chuộng nhất tại khu vực nghiên cứu. Các giải pháp SUDS được đề xuất ở huyện Bình Chánh giúp tăng khả năng giảm ngập trong các trận mưa lớn, nghiên cứu này có thể xem xét áp dụng ở TP.HCM và các thành phố khác có cùng khí hậu và đặc điểm địa hình.

Mô hình EPA-SWMM còn có khả năng tính toán nồng độ các chất ô nhiễm trong các trận mưa và đánh giá khả năng giảm tải các chất ô nhiễm của SUDS. Tuy nhiên, nghiên cứu còn hạn chế về thời gian thực hiện cũng như nguồn dữ liệu phân tích chưa đủ dày nên mô hình chỉ dừng lại ở việc phân tích hiện trạng ngập và mô phỏng kịch bản làm giảm lưu lượng đỉnh của dòng chảy và tăng khả năng lưu trữ tạm thời để tái sử dụng nước mưa. Do đó, để nghiên cứu tài mạng tính thực tiễn, cần có nghiên cứu tiếp theo để đánh giá nồng độ các chất ô nhiễm và đề xuất giải pháp khác phục.

Đóng góp của tác giả: Thu thập, phân tích, xử lý số liệu: N.T.M.L., N.N.H.G., H.V.H., L.V.T.; Viết bản thảo bài báo: N.T.M.L.; Xây dựng ý tưởng nghiên cứu: C.N.X.Q.; Lựa chọn phương pháp nghiên cứu: C.N.X.Q., T.D.D.; Chỉnh sửa bài báo: T.D.D., H.V.H.

Lời cảm ơn: Nghiên cứu được tài trợ bởi Đại học Quốc gia Thành Phố Hồ Chí Minh (ĐHQG-HCM) trong khuôn khổ Đề tài mã số C2021-24-01.

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

Tài liệu tham khảo

1. Landsberg, H.E. Man–Made Climatic Changes. *Science* **1970**, 170, 1265–1274.
2. Paul, M.J.; Meyer, J.L. Streams in the Urban Landscape. *Annu. Rev. Ecol. Evol. Syst.* **2001**, 32, 333–365.
3. Bộ Tài nguyên và Môi trường. Kịch bản biến đổi khí hậu và nước biển dâng cho Việt Nam. Tài nguyên Môi trường và Bản đồ Việt Nam, 2016.
4. Hiếu, N.V.; Tú, T.T.; Hòa, H.V.; Nam, T.H. Đánh giá phương pháp tiếp cận giảm ngập phân tán tại khu vực trung thấp ngoại vi thành phố hồ chí minh (tại khu dân cư ở Phường Bình Trưng Tây, Quận 2, Tp.HCM). *Tạp chí Người Xây Dựng* **2019**, 01&02–2019.
5. Carter, T.; Butler, C. Ecological impacts of replacing traditional roofs with green roofs in two urban areas. *Cities Environ.* **2008**, 1(2), 9.
6. Mentens, J.; Raes, D.; Hermy, M. Dirk Raes and Department, Green roofs as a tool for solving the rainwater runoff problem in the urbanized 21st century? *Landscape Urban Plann.* **2006**, 77, 217–226.
7. de Oliveira, E.W.N.; da Silva, L.P.; Mary, W. Telhados verdes para habitações de interesse social: retenção das águas pluviais e conforto térmico. Universidade do Estado do Rio de Janeiro, 2009, pp. 18.
8. Hoffmann, B. et al. Sustainable Urban Drainage Systems. Sustainable Urban Drainage Systems, 2016, pp. 20.
9. Zhang, L.; Ye, Z.; Shibata, S. Assessment of Rain Garden Effects for the Management of Urban Storm Runoff in Japan. *Sustainability* **2020**, 12(23), 9982.
10. Urbonas, B.; Stahre, P. Stormwater Best management Practices and Detention. Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, 1993, pp. 450.
11. Rutinei, T.; Cristiano, P. Sustainable Urban Drainage Systems (Brazil). Tech Europe, 2012.
12. Rossman, L.A. Storm Water Management Model Reference Manual, Volume I - Hydrology (Revised), 2016.
13. Rosenberg, E.A.; Keys, P.W.; Booth, D.B.; Hartley, D.; Burkey, J.; Steinemann, A.C.; Lettenmaier, D.P. Precipitation extremes and the impacts of climate change on stormwater infrastructure in Washington State. *Clim. Change* **2010**, 102, 319–349.
14. Woicik, P.A.; Moeller, S.J.; Alia-Klein, N.; Maloney, T.; Lukasik, T.M.; Yeliosof, O.; Wang, G.J.; Volkow, N.D.; Goldstein, R. The Neuropsychology of Cocaine Addiction: Recent Cocaine Use Masks Impairment. *Neuropsychopharmacology.* **2009**, 34(5), 1112–0.
15. Ngọc, Đ.X.; Tuyên, T.H.; Tùng, H.H. Mô phỏng thoát nước đô thị Huế trong trận mưa tháng 10 năm 2010. *Tạp chí Khí tượng Thủy Văn* **2015**.
16. Lộc, H.H. Social Aspects of the Application of SUDS for the case of Nhieu Loc-Thi Nghe Basin, Ho Chi Minh City, 2014.
17. Nữ, H.T.T.; Vũ, Đ.T.; Phùng, L.V.; Văn, C.T. Mô phỏng mức độ ngập và đề xuất giải pháp thoát nước chống ngập cho khu vực Văn Thánh – thành phố Hồ Chí Minh. *Tạp chí Khí tượng Thủy Văn* **2020**, 716, 12–25.
18. Lên, N.T. Ứng dụng mô hình thủy văn EPA SWMM, sóng động lực phân tích mạng lưới thoát nước cho khu đô thị mới Lê Minh Xuân, huyện Bình Chánh, TP. Hồ Chí Minh. *Tạp chí Khoa học và Công nghệ* **2020**, 18(7), 90–95.
19. Lee, J.G.; Nietch, C.T.; Panguluri, S. SWMM Modeling Methods for Simulating Green Infrastructure at a Suburban Headwatershed: User’s Guide. U.S. Environmental Protection Agency, 2017, pp. 157.

20. Marshall, B.; Cardon, P.; Poddar, A.; Fontenot, R. Does Sample Size Matter in Qualitative Research?: A Review of Qualitative Interviews in is Research. *J. Comput. Inf. Syst.* **2013**, 54(1), 11–22.
21. Benzerra, A.; Cherrared, M.; Chocat, B.; Cherqui, F.; Zekiouk, T. Decision support for sustainable urban drainage system management: A case study of Jijel, Algeria. *J. Environ. Manage.* **2012**, 46–53.

Assessing the applicability of Sustainable Urban Drainage Systems in Binh Chanh district, Ho Chi Minh city

Nguyen Thi Mai Lan¹, Tran Duc Dung^{1*}, Chau Nguyen Xuan Quang², Ngo Ngoc Hoang Giang², Ho Van Hoa², Luu Van Tan³

¹ Center of Water Management and Climate Change, Institute for Environment and Resources, Vietnam National University – Ho Chi Minh City (VNU–HCM), Ho Chi Minh City, Vietnam; dungtranducvn@yahoo.com; mailan300496@gmail.com

² Department of Hydrology and Water Resources, Institute of Environment and Natural Resources, Vietnam National University Ho Chi Minh City (HYDROWARE–IRE–VNU); cnxquang@gmail.com; nnhgiang.env@gmail.com; harryhoa@gmail.com

³ HCMC Infrastructure Management Center; taanslv@yahoo.com

Abstract: The uncontrolled urbanization and the situation of climate change are one of the causes of local inundation. This study aims to evaluate the applicability of the Sustainable urban drainage solution (SUDS) in the urbanizing area, Binh Chanh district. The Storm Water Management Model (EPA–SWMM) is used to simulate two scenarios for applying SUDS solutions: The scenario of increasing temporary storage capacity for reuse rainwater (Scenario 1) and reducing peak discharge of stormwater runoff (Scenario 2), design SUDS selection criteria combined with a survey of 30 households, 10 experts and local government to assess the applicability of SUDS. The simulation results of the scenario have brought about a significant flood reduction effect: Scenario 1 with flooding time decreased by 2,68%, and the total flood volume was reduced by 0,52%, and scenario 2 with flooding time decreased by 22,85%, and the total flood volume was reduced by 17,24%. Furthermore, based on the suitability with the proposed SUDS selection criteria with the survey of stakeholders, our results indicate that the porous pavements and rain gardens solutions were the most popular and suitable for the study area, followed by the rainwater harvesting finally the green. The study results indicate that the SUDS have a significant flood reduction effect, supporting urban flood risk management more efficiently.

Keywords: Urbanizing; Binh Chanh district; EPA–SWMM; SUDS.

Bài báo khoa học

Nghiên cứu phương pháp đánh giá rủi ro do xâm nhập mặn vùng đồng bằng ven biển Nam Định và Thái Bình

Nguyễn Văn Đào¹, Vũ Thanh Tú², Trần Hồng Thái³, Nguyễn Mai Đăng^{2,4*}

¹ Liên đoàn khảo sát khí tượng thủy văn, Tổng cục Khí tượng Thủy văn; daotvmt@gmail.com

² Khoa Kỹ thuật tài nguyên nước, Trường Đại học Thủy lợi; vutu@tlu.edu.vn

³ Tổng cục Khí tượng Thủy văn; tranthai.vkttv@gmail.com

⁴ Trung tâm Đào tạo Quốc tế, Trường Đại học Thủy lợi; dang@tlu.edu.vn

*Tác giả liên hệ: dang@tlu.edu.vn; Tel.: +84-989551699

Ban Biên tập nhận bài: 12/8/2021; Ngày phản biện xong: 29/9/2021; Ngày đăng bài: 25/12/2021

Tóm tắt: Xâm nhập mặn (XNM) thường xuyên có thể gây ra những tác động đến các hoạt động phát triển kinh tế-xã hội cho một vùng, khu vực. Để làm rõ những tác động do XNM đến vùng ven biển tỉnh Nam Định và Thái Bình, nghiên cứu này đã tiến hành xây dựng bộ chỉ số phân tích tính dễ bị tổn thương (TDBTT) từ đó đánh giá rủi ro (RR) và phân cấp tác động. Bộ chỉ số đánh giá TDBTT gồm 27 biến có trọng số, được lựa chọn nhằm phân tích về tính nhạy, độ phơi bày và khả năng ứng phó cho 243 xã trong vùng nghiên cứu. Các phương pháp điều tra, phỏng vấn, thống kê được áp dụng để xác định giá trị các biến và chuẩn hóa. Kết quả cho thấy số xã bị ảnh hưởng trong nhóm kịch bản (KB) tần suất triều từ 125-149, nhóm KB nước biển dâng (NBD) từ 99-111, trong đó hơn 80% số xã của tỉnh Nam Định bị tác động. Nghiên cứu đã tính toán cho 5 cấp tổn thương và RR, tuy nhiên đa phần các xã đều chịu tổn thương và RR ở cấp độ 1-2. Kết quả nghiên cứu đã cho thấy, mặc dù tại một số xã mức độ hiểm họa khá cao, tuy nhiên với khả năng ứng phó tốt, thì mức độ tổn thương và rủi ro cũng có thể rất thấp hoặc có thể không xảy ra.

Từ khóa: Xâm nhập mặn; Bộ chỉ số; Tính dễ bị tổn thương; Rủi ro; Nước biển dâng.

1. Mở đầu

Các khu vực có vùng cửa sông giáp biển như đồng bằng sông Hồng-Thái Bình ở nước ta luôn phải đối mặt với hiện tượng XNM, đó là quy luật hoàn toàn tự nhiên không thể tránh khỏi. Không giống như các hiểm họa khác (bão, lũ, ngập lụt v.v.), XNM có thể gây ra các thiệt hại nhỏ nhưng trong thời gian dài, nếu không có các giải pháp ứng phó kịp thời thì tổng thiệt hại có thể lớn hơn so với các loại hình thiên tai khác [1-4]. Đánh giá rủi ro (ĐGR) có thể được xác định dựa trên TDBTT và mức độ hiểm họa. TDBTT được xác định dựa trên mức độ phơi bày, tính nhạy và phục hồi, và khả năng ứng phó. Chính vì vậy, ĐGR thiên tai có thể giúp xác định được một khu vực cụ thể có khả năng chịu RR cao hay thấp. Từ đó, các giải pháp cụ thể sẽ được đưa ra nhằm khắc phục những điểm còn hạn chế trong công tác phòng chống thiên tai và tập trung hỗ trợ cho các vùng chịu RR cao, tránh được việc đưa ra các giải pháp không phù hợp hoặc ở các vùng không phải là “điểm nóng” [5-8].

Trong số các nghiên cứu đã được công bố trên các tạp chí của nước ngoài về lập bản đồ các vùng bị tổn thương nói chung, chỉ có 9% công trình nghiên cứu xác định TDBTT thông qua các phiếu điều tra, số còn lại thì dựa vào các báo cáo thống kê tổng hợp [6]. Ở Việt Nam hiện nay cũng có một số nghiên cứu đánh giá ảnh hưởng của độ mặn dựa trên các phương

pháp thí nghiệm cho một số đối tượng cây trồng như lúa, hoa màu [10–11,13]. Bên cạnh đó các hoạt động nuôi trồng thủy sản nước cũng bị ảnh hưởng do sức độ mặn [12, 14–17]. Tuy nhiên, các nghiên cứu đó mới chỉ dừng lại ở mức đánh giá sự tăng giảm độ mặn ảnh hưởng đến các giống loài riêng lẻ mà chưa có đánh giá tổng hợp tác động của XNM đến hoạt động phát triển kinh tế-xã hội ở địa phương. Để khắc phục hạn chế này, một số nghiên cứu cũng đã dựa trên các số liệu thống kê và các bộ chỉ số để đánh giá TDBTT của XNM đến một số huyện ven biển tỉnh Nam Định và Thái Bình [18–19]. Tuy nhiên, các bộ chỉ số này còn chưa xét tới tầm quan trọng của các chỉ số (trọng số) và mới đánh giá TDBTT cho KB cụ thể và trong phạm vi diện tích khá lớn (cấp huyện), trong khi đó diễn biến XNM có thể rất khác nhau giữa các xã. Thêm vào đó điều kiện kinh tế-xã hội cũng như năng lực và sự thích ứng với XNM của các xã cũng khác nhau, dẫn tới cấp độ dễ bị tổn thương và RR cũng có thể khác nhau. Vì vậy, việc xác định TDBTT và ĐGRR trên phạm vi diện tích càng nhỏ thì càng đem lại hiệu quả cao trong công tác quản lý RR trên toàn vùng nói chung. Kế thừa kết quả phân tích hiểm họa do XNM theo các KB tần suất triều và NBD trong bối cảnh biến đổi khí hậu đã thực hiện cho 243 xã thuộc 8 huyện ven biển tỉnh Nam Định và Thái Bình [20]. Nghiên cứu này tiếp tục xây dựng bộ chỉ số nhằm phân tích TDBTT và ĐGRR do XNM cho các xã thuộc vùng ven biển Nam Định và Thái Bình tương ứng với các KB hiểm họa do XNM diễn ra trên khu vực.

Để xác định TDBTT và ĐGRR do XNM, nghiên cứu tiếp cận theo các trình tự như sau: (1) Thu thập, phân tích đánh giá hiện trạng XNM, những đối tượng chịu ảnh hưởng và mức độ thiệt hại trong những năm gần đây; (2) Đề xuất các chỉ số nhằm đánh giá TDBTT bao gồm các chỉ số về độ nhạy, mức độ phơi bày và khả năng ứng phó, có xét tới tầm quan trọng của các chỉ số (trọng số); (3) Phân cấp tính dễ bị tổn thương theo các cấp từ thấp đến cao theo các KB XNM do triều cường và NBD dưới tác động của biến đổi khí hậu; (4) ĐGRR do XNM dựa trên kết quả phân tích TDBTT và hiểm họa. Các phương pháp được áp dụng bao gồm: phương pháp điều tra, phỏng vấn, phương pháp phân tích thống kê, phương pháp phân tích hệ thống phân cấp AHP (*Analysis Hierarchy Process*), phương pháp phân tích bản đồ và kỹ thuật GIS.

2. Phương pháp nghiên cứu và thu thập số liệu

2.1. Tình hình XNM và công tác phòng chống thiên tai tại khu vực nghiên cứu

2.1.1. Tình hình XNM

Vùng đồng bằng châu thổ sông Hồng–Thái Bình có diện tích ước tính khoảng 17.000 km². Với 58,4 % diện tích đồng bằng sông Hồng có cao trình thấp hơn 2 m, nếu không có hệ thống đê biển và đê vùng cửa sông thì vùng diện tích này hoàn toàn bị ảnh hưởng bởi thủy triều do cao trình vùng mặt đất bãi sông ngoài đê thường cao hơn cao trình mặt đất trong dòng chính từ 3–5 m. Hệ thống sông Hồng–Thái Bình đổ ra biển bằng 9 cửa sông, gồm: Cửa Đáy, Ninh Cơ, Ba Lạt, Trà Lý, Thái Bình, Văn Úc, Lạch Tray, Cầm và Bạch Đằng. Ở vịnh Bắc Bộ có chế độ nhật triều, có độ lớn thủy triều trong một ngày thuộc loại lớn nhất ở Việt Nam. Một ngày có một đỉnh triều và một chân triều (ΔH max đạt tới 3,5–4,0 m). Thời gian triều lên khoảng 11 giờ và triều xuống khoảng 13 giờ. Do vậy, sóng đỉnh triều có thể tiến vào sâu trong lục địa lên tới hơn 100 km, tùy thuộc vào mùa và ở các sông khác nhau.

Qua số liệu thực đo, sự diễn biến của độ mặn trong sông biến đổi theo các mùa, nhỏ về mùa lũ (VI–IX), lớn về mùa cạn (X–IV), tùy theo lượng nước ngọt từ thượng lưu đổ về và độ lớn của thủy triều, cửa lưới sông. Nhìn chung, độ mặn lớn nhất thường xuất hiện vào tháng I và II. Độ mặn có xu hướng tăng ở dòng chính sông Hồng và giảm phía sông Thái Bình. Tính trung bình nhiều năm từ chuỗi số liệu đo đạc, chiều dài xâm nhập mặn 1‰ xa nhất trên sông Thái Bình 13–49 km (tùy từng phân lưu), Ninh Cơ 36 km, Trà Lý 51 km, Đáy 41 km và sông Hồng 14–33 km.



Hình 1. Lưu vực sông Hồng–Thái Bình thuộc lãnh thổ Việt Nam [20].

2.1.2. Công tác phòng chống thiên tai

Nhằm chủ động phòng chống và ứng phó kịp thời đạt hiệu quả, giảm thiểu thiệt hại do thiên tai gây ra, Ủy ban nhân dân tỉnh Nam Định và Thái Bình hàng năm đã thực hiện các hội nghị tổng kết công tác phòng chống thiên tai và tìm kiếm cứu nạn nhằm đánh giá những điểm đã đạt được, những tồn tại và nên kế hoạch cho năm sau. Cùng với đó là kế hoạch phòng, chống thiên tai và tìm kiếm cứu nạn cho các giai đoạn 5 năm, và có rà soát theo từng năm để phù hợp với bối cảnh mới ở từng địa phương. Nhìn chung các kế hoạch này đều được xây dựng với các mục tiêu: (1) Đảm bảo an toàn tuyệt đối về người, giảm thiểu thiệt hại về tài sản của nhà nước và nhân dân; (2) Bảo vệ an toàn cho các tuyến đê, kè, cống, các công trình, vật kiến trúc, đặc biệt là các tuyến đê trọng điểm đã được xác định qua công tác kiểm tra, đánh giá chất lượng trước mùa lũ bão; (3) Bảo vệ sản xuất và môi trường sinh thái; (4) Nâng cao năng lực xử lý tình huống, sự cố, chỉ huy, điều hành tại chỗ để ứng phó thiên tai đạt hiệu quả của các cấp, các ngành; (5) Nâng cao nhận thức của người dân về quản lý RR thiên tai dựa vào cộng đồng để phát huy ý thức tự giác, chủ động phòng, tránh thiên tai của toàn dân trên địa bàn tỉnh [21–22].

Tuy nhiên, trong công tác thực hiện hàng năm, cũng có một số điểm còn hạn chế như: (1) Sự phối hợp của các địa phương trong việc triển khai công tác chưa chặt chẽ, dẫn đến các văn bản còn chậm trễ; (2) Việc ứng dụng các mô hình, phần mềm phục vụ cho công tác dự báo còn rất hạn chế do cơ sở vật chất chưa đảm bảo, mạng lưới trạm còn thưa chưa đáp ứng về dự báo điểm trong toàn tỉnh; (3) Công tác quản lý khai thác công trình thủy lợi gặp nhiều khó khăn do còn nhiều công trình xây dựng từ lâu, đã xuống cấp đặc biệt các công trình đầu mối; (4) Công tác chuẩn bị vật tư dự trữ theo phương châm “4 tại chỗ” của một số địa phương chưa đủ số lượng, chủng loại theo chỉ tiêu giao; (5) Công tác thống kê, báo cáo về tình hình thiệt hại của các địa phương còn chậm và thiếu chính xác, chưa kịp thời nhất là thiệt hại về sản xuất gây khó khăn cho việc tổng hợp thiệt hại; (6) Công tác tuyên truyền, cập nhật thông tin về thiên tai có nơi, có lúc còn hình thức, chậm và chưa đạt yêu cầu. Nhận thức về phòng tránh, giảm nhẹ thiên tai, khả năng tự phòng tránh, tự ứng cứu của nhân dân một số địa phương còn hạn chế.

2.2. Xây dựng bộ chỉ số TDBTT và đánh giá RR do xâm nhập mặn

2.2.1. Lựa chọn các chỉ số đánh giá

Việc lựa chọn các chỉ số đánh giá TDBTT do XNM phải dựa trên: (1) Các báo cáo thống kê về thiệt hại do XNM gây ra để làm rõ các đối tượng chịu tác động; (2) Khả năng thu thập số liệu từ các nguồn thông tin có độ tin cậy cao; (3) Chuyên gia cho vấn đề cần được quan tâm. Bởi vậy, thông qua phân tích các kết quả thu được từ khảo sát thực địa, phỏng vấn chuyên gia, các chỉ số đánh giá TDBTT do XNM đã được lựa chọn và phân tích xác định trọng số theo AHP thể hiện trong Bảng 1, bao gồm các thành phần:

Độ nhạy: biểu thị các tính chất về xã hội và kinh tế của khu vực. Trong đó các biến liên quan đến đặc điểm nhân khẩu và sinh kế được sử dụng để phản ánh tính chất kinh tế xã hội của vùng nghiên cứu.

Độ phơi bày: biểu thị cho đối tượng trong khu vực khi tiếp xúc trực tiếp với hiểm họa nếu xảy ra. Đối với loại hình XNM, các đối tượng chịu ảnh hưởng trực tiếp hoặc gián tiếp có thể xét tới đó là các hoạt động sản xuất nông nghiệp và người lao động trong lĩnh vực nông nghiệp. XNM có những tác động trực tiếp đến các hoạt động nông nghiệp bao gồm: ảnh hưởng đến sản lượng lúa, hoa màu, cây ăn quả, thủy sản và các hoạt động chăn nuôi gia súc, gia cầm. Do sự giảm sản lượng, thậm chí là mất trắng khi cây trồng/vật nuôi bị ảnh hưởng của XNM, người lao động trong lĩnh vực nông nghiệp cũng bị ảnh hưởng tới thu nhập cá nhân, gia đình nói riêng và phát triển kinh tế-xã hội của địa phương nói chung.

Khả năng ứng phó: biểu thị cho khả năng chống chịu, ứng phó và phục hồi trước và sau những tác động của hiểm họa.

2.2.2. Cơ sở định lượng các biến trong bộ chỉ số đánh giá TDBTT

Trong nhóm các biến đã thể hiện trong Bảng 1, các chỉ số về nhân khẩu và sinh kế (S1–S7), số người lao động trong lĩnh vực nông nghiệp (E2), các thu nhập bình quân (A1–A2), tỷ lệ cấp nước hợp vệ sinh (A3) có thể xác định được từ tài liệu Niên giám thống kê của các huyện trong phạm vi nghiên cứu. Nhóm các chỉ số về sản lượng nông nghiệp bị ảnh hưởng bởi XNM (E3–E8) có thể dựa trên cơ sở tài liệu Niên giám thống kê và kế thừa các nghiên cứu về tác động của độ mặn tới sự sinh trưởng và phát triển của các loại cây trồng và vật nuôi được phân tích ở các phần sau đây.

Đối với cây lúa: nhìn chung các nghiên cứu đều nhận định rằng sau thời gian dài tiếp xúc với mặn, sự phát triển của cây lúa bị giảm. Mặn giảm sức trương của mô tế bào, hạn chế trực tiếp sinh trưởng và phát triển của cây và dẫn đến giảm năng suất hạt. Các kết quả nghiên cứu cũng cho thấy khi độ mặn càng tăng thì năng suất càng giảm [23–26]. Trên cơ sở các nghiên cứu đánh giá ảnh hưởng của độ mặn tới một số giống lúa ở Việt Nam đã được thực hiện [9, 25–27], nghiên cứu này ước tính mức giảm năng suất cho các giống lúa được trồng tại tỉnh Nam Định và Thái Bình thể hiện trong Bảng 2.

Bảng 1. Bộ chỉ số đánh giá TDBTT do XNM.

Thành phần	Chỉ số	Biến	Ký hiệu	Đơn vị	Trọng số
Tính nhạy	Nhân khẩu và sinh kế	Dân số trung bình	S1	Người	0,05
		Mật độ dân số	S2	Người/km ²	0,16
		Số người dưới 15 tuổi và trên 60 tuổi	S3	Người	0,12
		Tỷ lệ Nam	S4	%	0,27
		Trình độ văn hóa (cao nhất)	S5		0,16
		Tỷ lệ hộ nghèo và cận nghèo	S6	%	0,07
		Số lao động phi nông nghiệp	S7	Người	0,16
Độ phơi bày	Độ mặn	Độ mặn lớn nhất	E1	PSU	0,26
		Số người lao động trong lĩnh vực Nông nghiệp bị ảnh hưởng	E2	Người	0,28
			E3	Sản lượng	0,08

Thành phần	Chỉ số	Biến	Ký hiệu	Đơn vị	Trọng số
Khả năng chống chịu	Nông nghiệp	Hoa màu bị ảnh hưởng	E4		0,05
		Cây ăn quả bị ảnh hưởng	E5		0,06
		Thủy sản nước ngọt bị ảnh hưởng	E6		0,1
		Thủy sản nước lợ bị ảnh hưởng	E7		0,08
		Gia súc, gia cầm bị ảnh hưởng	E8	Số lượng	0,08
		Thu nhập từ nguồn lao động phi nông nghiệp	A1	Triệu đồng	0,03
	Thu nhập bình quân đầu người	A2	Triệu đồng	0,04	
	Tỷ lệ cấp nước hợp vệ sinh	A3	%	0,13	
	Tỷ lệ cơ sở hạ tầng được tu sửa thường xuyên	A4		0,15	
	Tỷ lệ hệ thống tưới/ tiêu được bê tông hóa	A5		0,12	
	Cấp nước tưới và đầy mặn	A6		0,11	
	Tập huấn ứng phó xâm nhập mặn	A7		0,07	
Dự báo, cảnh báo	A8		0,09		
Nhận thức về XNM và NBD	A9		0,05		
Bản đồ phân vùng XNM	A10		0,05		
Giải pháp, Phương án ứng phó đối với XNM	A11		0,1		
Nguồn nhân lực, vật lực	A12		0,05		

Bảng 2. Mức giảm năng suất ước tính đối với các giống lúa trồng tại vùng nghiên cứu.

Độ mặn (dS/m)	Độ mặn (psu)	Mức giảm năng suất (%)
3	1,9	0
4	2,6	5,58
5	3,2	9,73
6	3,8	15,15
8	5,1	26,16
10	6,4	36,20

Hoa màu và cây ăn quả: cũng như lúa, các loại cây trồng khác cũng chịu ảnh hưởng lớn của mặn trong các giai đoạn sinh trưởng như trì hoãn việc nảy mầm, thay đổi hình thái, cấu trúc cây, sự cân bằng dinh dưỡng và hạn chế năng suất. Theo các nghiên cứu [13, 28–31] nói chung mức chịu mặn của các hoa màu dao động trong khoảng từ 1–3‰, ở trên mức 3‰, năng suất cây trồng giảm khoảng 40–50% và ở mức trên 6‰ thì mức giảm đến hơn 90% và có thể chết cây. Đối với nhóm cây ăn quả mức chịu mặn cũng ở mức dưới 1‰.

Ảnh hưởng của độ mặn đến vấn đề tiêu hóa và hô hấp của các loài thủy sản cũng đã được nhiều tác giả nghiên cứu và cho thấy mức độ thay đổi các phản ứng khác nhau tùy thuộc vào loài, giai đoạn phát triển [7–8]. Đối với thủy sản nước lợ, thì điều kiện phát triển tốt nhất trong khoảng từ 10–15‰. Trong điều kiện bị sốc độ mặn theo hướng ngọt hóa, tức là độ mặn ở mức 5‰, thì tỷ lệ sống chỉ chiếm khoảng 45%. Nếu độ mặn lớn hơn ở mức 20‰ thì tỷ lệ sống khoảng trên 92% (đối với tôm) và nếu ở mức trên 25‰ thì tỷ lệ sống chỉ còn khoảng 57%, trong khi đó có một số loài cá cũng chết hàng loạt [14–17, 32–37]. Đối với cá nước ngọt, môi trường lý tưởng là ở mức dưới 4‰, một số có thể chịu đến mức 10‰. Tỷ lệ sống giảm khoảng 22%, 32% và 49% tương ứng với các ngưỡng mặn 6‰, 9‰ và 12‰ [38].

Về khả năng chịu mặn của gia súc gia cầm, theo Trung tâm Khuyến nông quốc gia, các loại gia súc gia cầm như: gà vịt chịu đựng mặn từ 1–2‰, heo dưới 4‰, trâu, bò và dê dưới 7‰, vịt biển từ 11–15‰. Gia súc non, đang mang thai và cho sữa chịu mặn kém hơn ở gia súc trưởng thành và gia súc nuôi thịt [39].

Các chỉ số về khả năng ứng phó và khắc phục (A4–A12) có thể thực hiện thông qua công tác điều tra thực địa và phỏng vấn cũng như các báo cáo công tác phòng chống thiên tai và tìm kiếm cứu nạn hàng năm tại địa phương. Ngoài câu hỏi định lượng trực tiếp giá trị các biến A4–A6, các biến A7–A12 được xác định thông qua các câu hỏi chi tiết hơn. Cụ thể về công tác tập huấn, nâng cao năng lực ứng phó XNM các câu hỏi bao gồm số người được tập huấn, số đợt tập huấn trong năm, nội dung tập huấn. Về công tác dự báo, cảnh báo các câu hỏi bao gồm thời gian dự báo, cảnh báo, độ tin cậy, cơ sở hạ tầng phục vụ công tác dự báo. Đánh giá nhận thức của địa phương về XNM các câu hỏi bao gồm công tác tuyên truyền, hoạt động tổng kết hàng năm, thông kê thiệt hại, công tác ứng phó; Về sử dụng các bản đồ phân vùng XNM phục vụ cho các kế hoạch ứng phó có kế thừa hoặc tự xây dựng các bản đồ phân vùng và phổ biến cho các đơn vị hay không. Về giải pháp, phương án ứng phó các câu hỏi bao gồm có xây dựng các KB XNM không, giải pháp cụ thể trong tình huống xảy ra, mức đầu tư cho các giải pháp. Về nguồn nhân lực và vật lực các câu hỏi bao gồm số nhân lực, vật tư, trang thiết bị, phương tiện và quỹ phòng chống thiên tai.

Trong các biến và tiêu chí lựa chọn, có những biến có thể xác định được bằng cách định lượng rõ ràng, nhưng một số biến chỉ có thể xác định bằng phương pháp định tính. Với các biến được xác định theo phương pháp định tính (A6–A12) khoảng giá trị được xác định nằm trong khoảng từ 0 (rất thấp) đến 5 (rất tốt). Cùng với đó, các biến có đơn vị tính khác nhau, để có thể thực hiện tính toán xác định các thành phần trong công thức xác định TDBTT dưới đây, cần phải thực hiện chuẩn hóa dữ liệu.

Từ các dữ liệu đầu vào phân tích, việc chuẩn hóa sẽ chuyển các giá trị này thành các giá trị nằm trong khoảng 0–1, theo công thức (1).

$$x_i = \frac{X_i - X_{min}}{X_{max} - X_{min}} \quad \text{nếu giá trị của biến càng cao khả năng gây tổn thương cao;} \quad (1)$$

$$x_i = \frac{X_{max} - X_i}{X_{max} - X_{min}} \quad \text{nếu giá trị của biến càng cao khả năng gây tổn thương thấp}$$

Trong đó x_i là giá trị được chuẩn hóa; X_i là giá trị thực; X_{max} là giá trị lớn nhất; X_{min} là giá trị nhỏ nhất.

Tham khảo các nghiên cứu [40–42], TDBTT tại mỗi xã trong khu vực nghiên cứu được xác định theo công thức (2).

$$V_i = \sum_{k=1}^7 S_{k,i} * w_{k,i} + \sum_{h=1}^8 E_{h,i} * w_{h,i} - \sum_{t=1}^{12} A_{t,i} * w_{t,i} \quad (2)$$

Trong đó $S_{k,i}$ là các biến thuộc tính nhạy; $E_{h,i}$ là các biến thuộc độ phơi bày; $A_{t,i}$ là các biến thuộc khả năng ứng phó; $w_{k,i}$, $w_{h,i}$, $w_{t,i}$ là các giá trị trọng số ứng với các thành phần tính nhạy, độ phơi bày và khả năng ứng phó tại xã thứ (i) theo từng KB XNM.

Theo định nghĩa RR được xác định tại từng xã trong khu vực nghiên cứu theo công thức:

$$R_i = H_i * V_i \quad (3)$$

Trong đó H_i là khả năng xuất hiện hiểm họa, V_i là tính dễ bị tổn thương tương ứng với KB XNM xác định từ công thức (2).

Tham khảo nghiên cứu [43], khi đó tổ hợp RR tại từng xã được xác định theo công thức (4).

$$R_i = \frac{\sum_{j=1}^m [R_{i,j} * w_j]}{\sum_{j=1}^m w_j} \quad (4)$$

Trong đó $R_{i,j}$ là RR tại xã thứ (i) ứng với KB (j); w_j là trọng số của KB (j) tương ứng với khả năng xuất hiện XNM; m là số KB tính toán.

Các KB tính toán cụ thể bao gồm: Đối với nhóm KB tần suất triều, quá trình lưu lượng tại các trạm biên trên được giả thiết là đồng nhất giữa các KB tính toán. Quá trình triều và mặn tại các trạm biên dưới là thay đổi theo 6 KB ứng với các tần suất xuất hiện: P = 1%, 3%, 5%, 10%, 20% và 25%. Nhóm KB NBD: (1) thời kỳ nền; (2) RCP4.5 năm 2030; (3) RCP4.5 năm 2040; (4) RCP4.5 năm 2050; và (5) RCP8.5 năm 2050 [20].

Giá trị rủi ro R_i nằm trong khoảng từ 0 (không có RR) đến 1 (RR rất cao), để phân cấp độ RR tại các xã, phân chia thành 5 cấp: 0–0,01: không RR, 0,01–0,2: RR rất thấp; 0,2–0,4: RR thấp; 0,4–0,6: RR trung bình; 0,6–0,8: RR cao và 0,8–1,0: RR rất cao.

3. Kết quả và thảo luận

3.1. Kết quả tính toán các KB tần suất triều

Theo kết quả tính toán TDBTT ứng với các KB tần suất triều được tổng hợp trong Bảng 3 và Bảng 4 nhận thấy đối với tỉnh Nam Định, tổng số xã chịu tổn thương do XNM dao động trong khoảng 92–108 xã trên tổng số 123 xã của vùng nghiên cứu, Trong khi đó, với 120 xã thuộc phạm vi nghiên cứu tại tỉnh Thái Bình, số xã bị tổn thương chỉ dao động trong khoảng 33–41 xã. Sự khác biệt lớn về số xã bị tổn thương giữa hai tỉnh xuất phát từ kết quả tính toán về cấp độ hiểm họa do XNM trong khu vực nghiên cứu [20] với khoảng 87% số xã thuộc tỉnh Nam Định chịu ảnh hưởng của độ mặn trên 4‰, trong khi đó trên phạm vi tỉnh Thái Bình chỉ có khoảng 26%. Thêm vào đó, trên cơ sở đánh giá về các điều kiện kinh tế xã hội vùng nghiên cứu bao gồm nhân khẩu và sinh kế, sản lượng nông nghiệp có thể bị ảnh hưởng do XNM và khả năng ứng phó, khắc phục của địa phương cũng dẫn tới số xã bị tổn thương và cấp độ bị tổn thương do XNM trên địa bàn tỉnh Thái Bình thấp hơn so với tỉnh Nam Định.

Cấp độ tổn thương cũng như RR được phân theo 5 cấp, tuy nhiên có thể nhận thấy đa phần các xã trên địa bàn 2 tỉnh đều chịu tổn thương ở cấp 1–2, trong đó 75–85% các xã chịu tổn thương ở cấp 1. Trong số các xã trên chỉ có xã Nghĩa Hải, huyện Nghĩa Hưng, tỉnh Nam Định chịu tổn thương và RR ở cấp 3.

Bảng 3. Số xã chịu tổn thương theo các KB tần suất triều và cấp RR trên phạm vi tỉnh Nam Định.

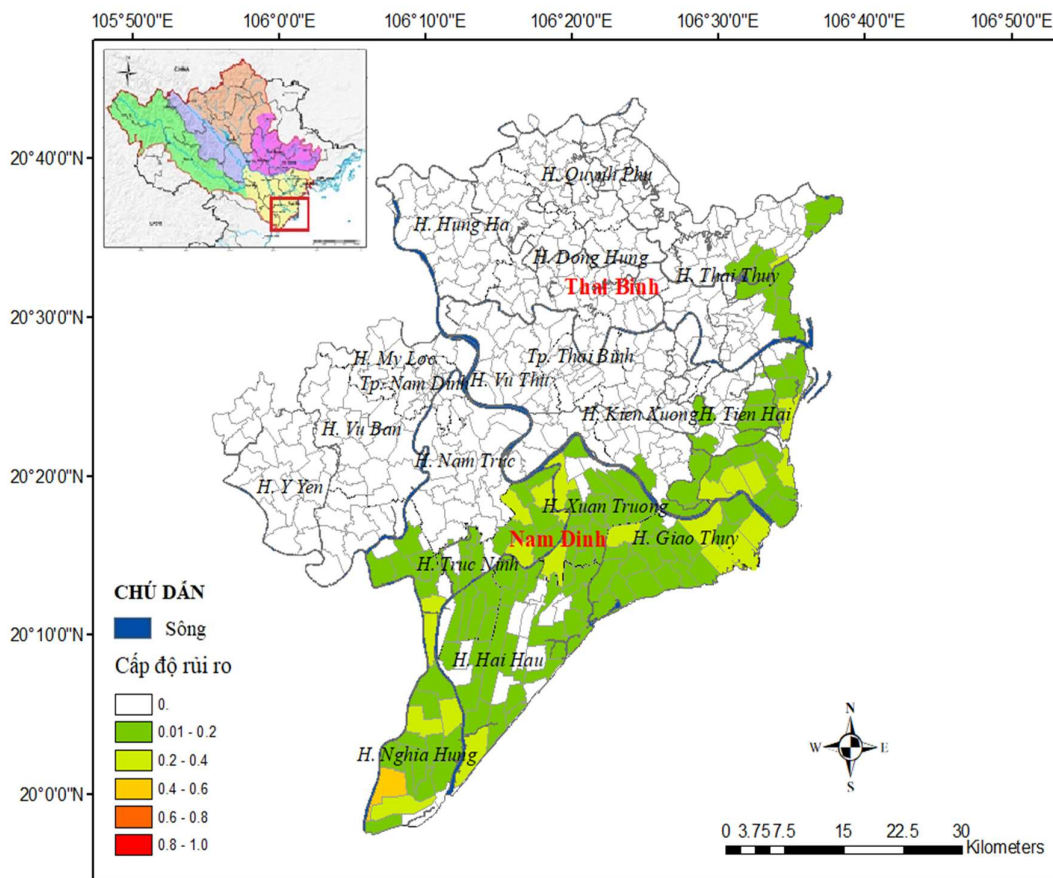
Cấp độ	Khoảng giá trị	Số xã chịu tổn thương (V) ứng với các tần suất							Số xã chịu RR
		P = 1%	P = 3%	P = 5%	P = 10%	P = 15%	P = 20%	P = 25%	
0	< 0,01	15	17	20	21	27	30	31	23
1	0,01–0,2	83	87	86	86	80	77	76	84
2	0,2–0,4	24	18	16	15	15	15	15	15
3	0,4–0,6	1	1	1	1	1	1	1	1
4	0,6–0,8	0	0	0	0	0	0	0	0
5	> 0,8	0	0	0	0	0	0	0	0
Tổng số bị ảnh hưởng		108	106	103	102	96	93	92	100
Tổng số xã		123							

Bảng 4. Số xã chịu tổn thương theo các KB tần suất triều và cấp RR trên phạm vi tỉnh Thái Bình.

Cấp độ	Khoảng giá trị	Số xã bị tổn thương (V) ứng với các tần suất							Số xã chịu RR
		P = 1%	P = 3%	P = 5%	P = 10%	P = 15%	P = 20%	P = 25%	
0	< 0,01	79	80	80	85	87	87	87	87
1	0,01–0,2	31	30	30	27	26	28	28	27
2	0,2–0,4	10	10	10	8	7	5	5	6
3	0,4–0,6	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0,6–0,8	0	0	0	0	0	0	0	0
5	> 0,8	0	0	0	0	0	0	0	0
Tổng xã bị ảnh hưởng		41	40	40	35	33	33	33	33
Tổng số xã nghiên cứu		120							

Hình 2 thể hiện rõ cấp độ RR của các xã trong phạm vi nghiên cứu. Bản đồ RR cũng đã chỉ ra trong phạm vi nghiên cứu, một số xã có RR ở cấp 0 (không chịu RR). Mặc dù theo kết quả đánh giá hiểm họa các xã này đều có khả năng chịu ảnh hưởng của XNM với độ mặn trên 4‰. Tuy nhiên theo kết quả đánh giá về tính nhạy (S) và độ phơi bày (E), thì khả năng tác động (S+E) của XNM đến các xã đó nằm trong khoảng giá trị 0,42–0,76 (với thang điểm từ 0 là không bị ảnh hưởng, đến 1 là ảnh hưởng rất lớn). Mặt khác, xét về khả năng ứng phó

và khắc phục (A) khi XNM xảy ra, giá trị A tại các xã nằm trong khoảng 0,6–0,75 (với 0 là khả năng ứng phó và phục hồi kém và 1 là khả năng ứng phó và phục hồi rất tốt). Chính bởi vậy, theo định nghĩa của TDBTT, thì mức độ chịu tổn thương tại các xã này sẽ gần như bằng 0. Khi đó, trên cơ sở phân tích các KB XNM, các xã trên sẽ có cấp độ RR do XNM xấp xỉ bằng 0 tương ứng.



Hình 2. Bản đồ RR do xâm nhập mặn trên khu vực nghiên cứu.

3.2. Kết quả tính toán theo các KB NBD

So với KB nền, trong các KB NBD tổng số các xã bị tổn thương trên địa bàn tỉnh Nam Định có xu hướng tăng theo các cấp, cấp 1: từ 61 lên 67 xã, cấp 2: từ 7 lên 12 xã. Tổng số các xã bị tổn thương tăng từ 69 lên 80 xã. Trong khi đó, trên địa bàn tỉnh Thái Bình, gần như không có biến động về cấp độ tổn thương, số các xã chịu tác động chỉ dao động khoảng 31 xã. Cũng trong nhóm các KB này, số xã chịu tác động ở cấp độ 1 vẫn chiếm tỷ lệ cao, từ 77–88%. Các kết quả thể hiện trong Bảng 5 và Bảng 6.

Các bản đồ ở Hình 3a-3e thể hiện sự phân bố cấp độ chịu tổn thương tại các xã theo KB nền và các KB NBD năm 2030, 2040, 2050a và 2050b. Trên các bản đồ cho thấy, trong phạm vi tỉnh Nam Định các xã Xuân Trung, Xuân Hồng (huyện Xuân Trường), Trung Đông, Phương Đình, Liêm Hải (huyện Trực Ninh), Hải Xuân, Hải Phong (huyện Hải Hậu) là các xã không bị tổn thương do XNM trong KB nền. Tuy nhiên, dưới tác động của NBD các xã này sẽ chịu tổn thương ở cấp độ 1 trong hầu hết các KB, riêng xã Xuân Hồng mức tổn thương sẽ tăng lên cấp 2 trong các KB 2040, 2050a và 2050b. Cùng với đó, các xã Giao Lạc, Giao Tiên (huyện Giao Thủy), Nam Điền, Nghĩa Hùng (huyện Nghĩa Hưng) tăng từ cấp độ 1 ở KB nền lên cấp độ 2 trong các KB NBD.

Bảng 5. Số xã chịu tổn thương theo các KB NBD trên phạm vi tỉnh Nam Định.

Cấp độ	Khoảng giá trị	Số xã bị tổn thương (V) theo các KB NBD				
		KB Nền	NBD 2030	NBD 2040	NBD 2050a	NBD 2050b
0	< 0,01	54	47	45	43	43
1	0,01–0,2	61	64	66	67	67
2	0,2–0,4	7	11	11	12	12
3	0,4–0,6	1	1	1	1	1
4	0,6–0,8	0	0	0	0	0
5	> 0,8	0	0	0	0	0
Tổng số bị ảnh hưởng		69	76	78	80	80
Tổng số xã		123				

Bảng 6. Số xã chịu tổn thương theo các KB NBD trên phạm vi tỉnh Thái Bình.

Cấp độ	Khoảng giá trị	Số xã bị tổn thương (V) theo các KB NBD				
		KB Nền	NBD 2030	NBD 2040	NBD 2050a	NBD 2050b
0	< 0,01	90	90	89	89	89
1	0,01–0,2	24	24	24	24	24
2	0,2–0,4	6	6	7	7	7
3	0,4–0,6	0	0	0	0	0
4	0,6–0,8	0	0	0	0	0
5	> 0,8	0	0	0	0	0
Tổng xã bị ảnh hưởng		30	30	31	31	31
Tổng số xã nghiên cứu		120				

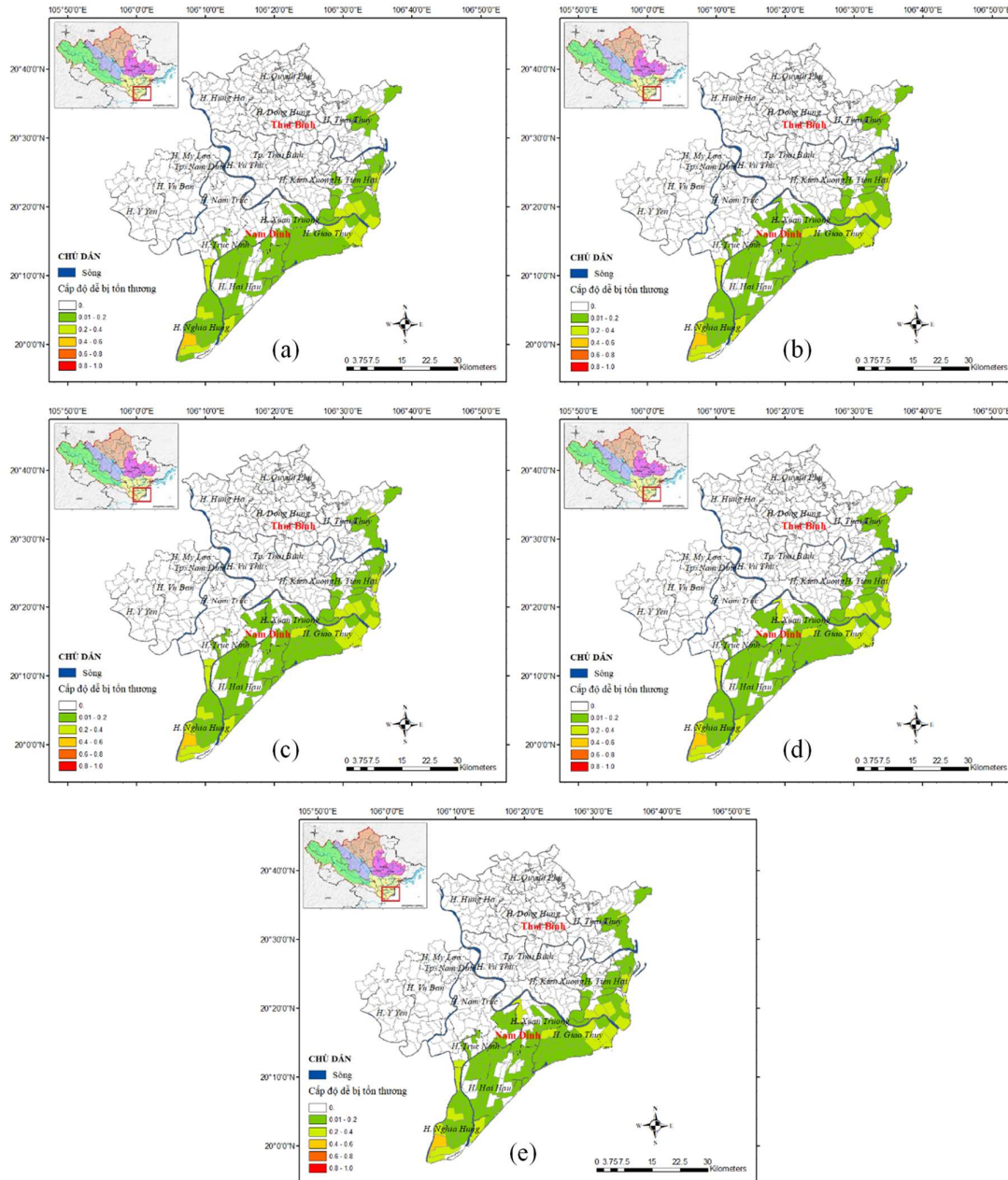
Đối với tỉnh Thái Bình, sự biến động về số xã chịu tổn thương cũng như tăng cấp do ảnh hưởng của NBD là rất nhỏ. Duy chỉ gia tăng thêm 1 xã (xã Thái Đô, huyện Thái Thụy) chịu tổn thương ở cấp 1 và 1 xã (xã Nam Thịnh, huyện Tiền Hải) tăng từ cấp 1 lên cấp 2 ở KB NBD 2040, 2050a và 2050b. Xét về phạm vi toàn tỉnh thì số lượng không đáng kể, nhưng xét riêng với các xã Thái Đô và Nam Thịnh thì đó là điểm cần lưu ý để tăng cường khả năng ứng phó và khắc phục, giảm nhẹ tác động của XNM trong bối cảnh NBD.

4. Kết luận

XNM xảy ra thường xuyên ở các tỉnh thuộc đồng bằng ven biển sông Hồng–Thái Bình, đặc biệt là vào mùa kiệt đối với khu vực vực nghiên cứu là các huyện ven biển tỉnh Nam Định và Thái Bình. Kết quả đã chứng minh mức độ tác động của XNM đến cấp độ không gian là các xã thuộc khu vực nghiên cứu. Đã xây dựng bộ chỉ số gồm 27 biến nhằm xác định TDBTT cho 243 xã và từ đó phân tích ĐGRR cho các xã. Việc xây dựng bộ chỉ số và các biến dựa trên cơ sở phân tích điều kiện thu thập tài liệu, đảm bảo mối quan chặt chẽ giữa hiểm họa XNM với các đối tượng có khả năng bị tổn thương và các hoạt động nhằm ứng phó, khắc phục hiểm họa. Thông qua quá trình điều tra, phỏng vấn và xin ý kiến chuyên gia, bộ chỉ số đã được áp dụng để đánh giá TDBTT và phân tích RR cho các KB tần suất triều và KB NBD.

Kết quả cho thấy, trong nhóm KB tần suất triều (25%, 20%, 15%, 10%, 5%, 3% và 1%), tổng số xã chịu tổn thương dao động trong khoảng từ 125–149 xã. Đối với nhóm KB NBD (KB nền, NBD 2030, 2040, 2050a và 2050b) số các xã chịu tổn thương tăng từ 99–111. Trong cả hai nhóm KB thì tổng số xã chịu tổn thương thuộc tỉnh Nam Định cao hơn từ 2 đến 3 lần so với tỉnh Thái Bình, xuất phát từ cấp độ hiểm họa do XNM tại tỉnh Nam Định cũng cao hơn. Với 5 cấp tổn thương và RR, tuy nhiên đa phần các xã trong khu vực nghiên cứu đều chịu tổn thương và RR ở cấp 1–2. Cùng với đó, cũng có thể nhận thấy một số xã trong phạm vi nghiên cứu mặc dù có hiểm họa XNM với độ mặn trên 4‰, nhưng do các hoạt động về ứng phó và khắc phục kịp thời nên cấp độ tổn thương ở cấp độ rất thấp hoặc gần như không chịu tác động do XNM gây ra.

Có thể nhận thấy việc đánh giá TDBTT và RR khi thực hiện ở phạm vi càng nhỏ, càng chi tiết thì càng làm rõ được những tác động do XNM gây ra cho từng khu vực cụ thể, đồng thời cũng chỉ ra được những ưu điểm và hạn chế của khu vực trong công tác ứng phó, khắc phục thiên tai. Điều đó sẽ hỗ trợ cho nhà quản lý, ra quyết định xây dựng các kế hoạch, phương án nâng cao năng lực ứng phó, khắc phục để giảm thiểu những tác động do thiên tai nói chung và XNM nói riêng.



Hình 3. Bản đồ dễ bị tổn thương do XNM theo các KB NBD trên khu vực nghiên cứu: a) KB nền, b) KB 2030, c) KB 2040, d) KB 2050a và e) KB 2050b.

Đóng góp của tác giả: Xây dựng ý tưởng nghiên cứu: N.M.Đ., T.H.T., N.V.Đ.; Lựa chọn phương pháp nghiên cứu: N.M.Đ., V.T.T.; Xử lý số liệu: N.V.Đ., V.T.T.; Xây dựng bộ chỉ số tính dễ bị tổn thương: N.V.Đ., V.T.T.; Phân tích kết quả: V.T.T., N.V.Đ., N.M.Đ.; Viết bản thảo bài báo: N.V.Đ., V.T.T., T.M.D.; Chỉnh sửa bài báo: N.M.Đ., V.T.T., T.H.T.

Lời cảm ơn: Tập thể tác giả xin trân trọng cảm ơn Sở NN và PTNT, Chi cục Thủy lợi, Đài KTTV các tỉnh Nam Định và Thái Bình; Phòng NN và PTNT, Phòng Tài nguyên & Môi trường và UBND các xã thuộc huyện Nghĩa Hưng, Hải Hậu, Giao Thủy, Xuân Trường, Trực Ninh, Tiền Hải, Kiến Xương, và Thái Thụy; các Công ty TNHH MTV Khai thác công trình thủy lợi Nam Thái Bình, Bắc Thái Bình, Nghĩa Hưng, Hải Hậu, Xuân Thủy đã cung cấp tài liệu, tham gia phỏng vấn, và đóng góp ý để 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, 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. UN Office for the Coordination of Humanitarian Affairs (UNOCHA). OCHA and Slowonset Emergencies. OCHA Occasional Policy Briefing Series, Brief No. 6, 2011.
2. Siegele, L. Loss and Damage: The theme of slow onset impact. Loss and Damage in Vulnerable Countries Initiative. 2012, pp. 20. Online available: <http://www.lossanddamage.net/download/6532.pdf>,
3. United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC). Slow onset events, 2012, pp. 61.
4. Stabinsky, D.; Hoffmaister, J.P. Loss and Damage: Defining Slow Onset Events. Third World Network, Briefing Paper on Loss and Damage No. 3, 2012, 1–7.
5. Junkes, M.B.; Tereso, A.P.; Afonso, P.S.L.P. The Importance of Risk Assessment in the Context of Investment Project Management: A Case Study. *Procedia Comput. Sci.* **2015**, *64*, 902–910. doi: 10.1016/j.procs.2015.08.606.
6. Preston, B.; Yuen, E.; Westaway, R. Putting vulnerability to climate change on the map: a review of approaches, benefits, and risks. *Sustain. Sci.* **2011**, *6*, 177–202.
7. Rosas, C.; Ocampo, L.; Gaxiola, G.; Sánchez, A.; Soto, L.A. Effect of Salinity on Survival, Growth, and Oxygen Consumption of Postlarvae (PL10–PL21) of *Litopenaeus setiferus*. *J. Crustac. Biol.* **1999**, *19*(2), 244–251.
8. Chen, J.C.; Lai, S.H. Effects of temperature and salinity on oxygen consumption and ammonia–N excretion of juvenile *Penaeus japonicus* Bate. *J. Exp. Mar. Bio. Ecol.* **1993**, *165*(2), 161–170.
9. Khuong, N.Q.; Khanh, C.N.N.; Hung, N.N. Ảnh hưởng của độ mặn nước tưới đến sinh trưởng, năng suất và sự sản sinh Proline của các giống lúa (*Oryza sativa* L.) trồng trên đất nhiễm mặn trong điều kiện nhà lưới. *Tạp chí Khoa học Nông nghiệp Việt Nam* **2018**, *16*(7), 671–681.
10. Taufiq, A.; Wijanarko, A.; Kristiono, A. Effect of amelioration on growth and yield of two groundnut varieties on saline soil. *J. Degrad. Min. Lands Manag.* **2016**, *3*(4), 639–647. <https://doi.org/10.15243/jdmlm.2016.034.639>.
11. Alam, M.Z.; Stuchbury, T.; Naylor, R.E.L.; Rashid, M.A. Effect of Salinity on Growth of Some Modern Rice Cultivars. *J. Agron.* **2004**, *3*, 1–10. <https://doi.org/10.3923/ja.2004.1.10>.
12. Bé, N.V.; Hăng, T.T.L.; Triền, T.V.; Trí, V.P.Đ. Ảnh Hưởng Của Xâm Nhập Mặn Đến Sản Xuất Nông Nghiệp, Thủy Sản Huyện Trần Đề, Tỉnh Sóc Trăng. *Tạp chí Khoa học Trường Đại học Cần Thơ* **2017**, *6*, 94–100.
13. Phương, L.N.; Sơn, D.H.; Đông, N.M. Đánh giá tiềm năng chịu mặn của cây đậu nành (*Glycine max* L.) và cây điền điểm (*Sesbania rostrata*). *Tạp chí Khoa học Công nghệ Nông nghiệp Việt Nam* **2018**, *3*(88), 68–71.
14. Diệp, Đ.X.; Hương, Đ.T.T.; Phương, N.T. Ảnh hưởng của độ mặn lên sử dụng thức ăn và tiêu hao oxy cơ sở của tôm sú (*Penaeus Monodon*). *Tạp chí Khoa học Trường Đại học Cần Thơ* **2010**, *14*, 135–145.
15. Sáng, V.V.; Mưu, T.T. Ảnh hưởng của nhiệt độ và độ mặn đến sự phát triển phôi của

- ca Song hồ (*Epinephelus fuscoguttatus*). *Tạp Chí Khoa học và Phát triển* **2013**, 11(1), 41–45.
16. Toán, L.M.; Sáng, V.V.; Khuyển, T.Đ. Ảnh hưởng độ mặn đến khả năng sinh sản của cá rô phi vằn chọn giống trong môi trường lợ mặn (*Oreochromis niloticus*S). *Tạp Chí Khoa học và Phát triển* **2012**, 10(7), 993–999.
 17. Thảo, N.T.T. Ảnh hưởng của việc giảm độ mặn đến sinh trưởng và tỷ lệ sống của hào (*Crassostrea* SP) và tôm chân trắng (*Penaeus Vannamei*) trong hệ thống nuôi kết hợp. *Tạp chí Khoa học Trường Đại học Cần Thơ* **2011**, 19, 211–221.
 18. Văn, N.C.; Tuấn, N.L.; Anh, N.T.; Hiếu, P.V. Đánh giá tính dễ bị tổn thương và khả năng thích ứng do xâm nhập mặn đối với sản xuất nông nghiệp trong bối cảnh biến đổi khí hậu tại khu vực cửa sông ven biển tỉnh Nam Định. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* **2020**, 716, 63–78. doi: 10.36335/vnjhm.2020(716).63–78.
 19. Thắng, Đ.Đ.; Thái, T.H.; Hòa, V.V. Đánh giá tính tổn thương cho cây lúa do xâm nhập mặn trên địa bàn tỉnh Thái Bình. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* **2019**, 698, 11–21.
 20. Đào, N.V.; Tú, V.T.; Thái, T.H.; Đăng, N.M. Nghiên cứu xây dựng bản đồ hiểm họa xâm nhập mặn vùng đồng bằng ven biển Nam Định và Thái Bình. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* **2021**, 728, 93–106.
 21. Ủy Ban Nhân Dân Tỉnh Nam Định. Kế hoạch phòng, chống thiên tai và tìm kiếm cứu nạn tỉnh giai đoạn 2021–2026, 2020.
 22. Ủy Ban Nhân Dân Tỉnh Thái Bình. Kế hoạch Phòng chống thiên tai tỉnh Thái Bình giai đoạn 2021–2026, 2021. Online available: <https://thuvienphapluat.vn/van-ban/Tai-nguyen-Moi-truong/Ke-hoach-20-KH-UBND-2021-phong-chong-thien-tai-tinh-Thai-Binh-2021-2026-470710.aspx>.
 23. Aref, F. Effect of saline irrigation water on yield and yield components of rice (*Oryza sativa* L.). *African J. Biotechnol.* **2013**, 12(22), 3503–3513.
 24. Siddique, A.B.; Islam, M.R.; Hoque, M.A.; Hasan, M.M.; Rahman, M.T.; Uddin, M.M. Mitigation of Salt Stress by Foliar Application of Proline in Rice. *Univers. J. Agric. Res.* **2015**, 3(3), 81–88. <https://doi.org/10.13189/ujar.2015.030303>.
 25. Liên, Q.T.A.; Thành, V.C.; Nhung, N.T.H. Đánh giá khả năng chịu mặn và phẩm chất của giống lúa Sỏi, Một Bụi Hồng và Nàng Quýt Biển. *Tạp chí Khoa học Trường Đại học Cần Thơ* **2012**, 24a, 281–289.
 26. Lam, N.H. Tương quan giữa độ mặn đất và các đặc điểm nông sinh học của một số giống lúa chịu mặn. *Tạp chí Khoa học Trường Đại học Cần Thơ* **2018**, 54(3), 75–83. <https://doi.org/10.22144/ctu.jvn.2018.042>.
 27. Phi, N.Q. Ứng dụng mô hình AquaCrop đánh giá ảnh hưởng của xâm nhập mặn đến năng suất lúa tại huyện Long Phú tỉnh Sóc Trăng. *Tạp chí Tài nguyên nước* **2017**, 4, 58–62.
 28. Quí, N.V.; Cường, N.M.; Giang, N.H.; Khanh, T.H., Guong, V.T. Mô phỏng cân bằng nước và muối cho cây bắp (*Zea Mays*L.) trên đất nhiễm mặn tại huyện Thạnh Phú – tỉnh Bến Tre. *Tạp chí Khoa học Trường Đại Học Cần thơ* **2014**, 35, 9–22.
 29. Thắng, V.N.; Lâm, N.N.; Tuấn, T.A.; Quát, N.N.; Châm, L.T.T. Ảnh hưởng của mặn đến khả năng nảy mầm, sinh trưởng và năng suất của hai giống lạc L14 và L27. *Tạp chí Khoa học Trường Đại học Cần Thơ* **2017**, 53(3), 123–133. <https://doi.org/10.22144/ctu.jvn.2017.165>.
 30. Hải, N.T.T.; Khuynh, B.T.; Sửu, B.X.; Chính, V.Đ.; Phip, N.T.; Hoàng, Đ.T. Phản ứng của một số giống lạc với điều kiện mặn nhân tạo. *Tạp chí Khoa học và Phát triển* **2013**, 11(3), 269–277.
 31. Tiến, N.V.Đ.; Sinh, V.N. Đất nhiễm mặn và Phương pháp sử dụng, 2016. Online available: <https://ahrd.com.vn/News/Detail/76>.
 32. Kiểm, N.V.; Phước, T.V. Ảnh hưởng của độ mặn đến sinh trưởng, tỷ lệ sống và biến

- đôi áp suất thẩm thấu cá sặc rằn (*Trichgaster pectoralis*). *Tap chí Khoa học Trường Đại học Cần Thơ* **2011**, 19b, 219–224.
33. Việt, L.Q.; Hải, T.N.; Tuấn, N.A. Ảnh hưởng của độ mặn lên tăng trưởng và tỷ lệ sống của cá đối giống (*Liza subviridis*) giai đoạn 1 đến 3 tháng tuổi. *Tap chí Khoa học Trường Đại học Cần Thơ* **2010**, 14, 205–212.
 34. Đàn, T.V.; Điều, V. Nghiên cứu khả năng thích ứng độ mặn của cá nâu (*Scatophagus Argus*) trong điều kiện biến đổi khí hậu ở tỉnh Thừa Thiên Huế. January 2014, 1–8. Online available: <https://www.researchgate.net/publication/274889301>.
 35. Xuyên, B.T.K. Khả năng thích nghi độ mặn của cá Basa. *Tap chí Khoa học Trường Đại học An Giang* **2015**, 7(3), 37–44.
 36. Hường, H.K.; Sơn, L.P.; Việt, L.Q.; Hương, Đ.T.T.; Hải, T.N. Ảnh hưởng độ mặn lên chu kỳ lột xác, sinh sản và tăng trưởng của tôm càng xanh (*Macrobrachium rosenbergii*). *Tap chí Khoa học Trường Đại học Cần Thơ* **2015**, 38, 35–43. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.19676.85121>.
 37. Tới, H.T.; Vân, N.T.H. Ảnh hưởng sốc độ mặn trong giai đoạn thả giống lên sinh trưởng của tôm sú (*Penaeus monodon*) ương theo công nghệ Biofloc. *Tap chí Khoa học Nông nghiệp Việt Nam* **2018**, 16(2), 132–140.
 38. Bá, Đ.T. Giải pháp nuôi và ương cá nước ngọt mùa hạn mặn. Thủy sản Việt Nam, 2020.
 39. Phương, N.P.H. Biện pháp hạn chế tác hại của hạn mặn đến đàn vật nuôi. Trung tâm Khuyến nông Quốc gia, **2013**.
 40. Dolan, A.H.; Walker, I.J. Understanding vulnerability of coastal communities to climate change related risks. *J. Coast. Res.* **2006**, 3(SI 39), 1316–1323.
 41. Dwyer, A.; Zoppou, C.; Nielsen, O.; Day, S.; Robert, S. Quantifying social vulnerability: a methodology for indentifying those at risk to natural hazards, 2004.
 42. ABARE–BRS. Indicators of community vulnerability and adaptive capacity across the Murray–Darling Basin: A focus on irrigation in agriculture. *ABARE–BRS Client Rep.* **2010**, 43099, 1–68.
 43. Vu, T.T.; Ranzi, R. Flood risk assessment and coping capacity of floods in central Vietnam. *J. Hydro–Environment Res.* **2017**, 14, 44–60. <https://doi.org/10.1016/j.jher.2016.06.001>.

Risk Assessment due to Salinity Intrusion in Coastal Plains of Nam Dinh and Thai Binh

Nguyen Van Dao¹, Vu Thanh Tu², Tran Hong Thai³, Nguyen Mai Dang^{2,4*}

¹ Federation of Hydrometeorological Surveys, Vietnam Meteorological and Hydrological Administration; daotvmt@gmail.com

² Faculty of Water Resources Engineering, Thuyloi University; vutu@tlu.edu.vn

³ Vietnam Meteorological and Hydrological Administration; tranthai.vkttv@gmail.com

⁴ Center for Internation Education, Thuyloi University; dang@tlu.edu.vn

Abstract: Saltwater intrusion occurs frequently causing impacts on socio-economic development activities. In order to clarify the impacts of saltwater intrusion on coastal areas of Nam Dinh and Thai Binh province, a set of indicators for vulnerability assessment is developed to assess the risks and losses due to salinity. The set of vulnerability assessment indicators involves 27 variables with weighting factors applied for sensitivity analysis, exposure, and adaptive capacity for 243 communes in the study. Methods such as investigation, local people and experts' interview, and statistical analyses are applied to determine the values of the variables and standardized for analyzing vulnerability and risk. The results show that the number of communes affected is from 125 to 149 in the scenario

group of tidal frequency, and from 99 to 111 in the scenario group of sea level rise. It is noted that more than 80% of the communes in the study area of Nam Dinh were affected. Five levels of vulnerability and risk are analyzed, most of the communes are at levels 1 and 2. The results have shown that, although in some communes the level of hazard is quite high, with good coping capacity, the level of risk may be very low or may not occur.

Keywords: Salinity; Index; Vulnerability; Risk; Sea level rise.

Bài báo khoa học

Xác định các chỉ tiêu kiểm kê tài nguyên nước cho Việt Nam và áp dụng thử nghiệm cho lưu vực sông Ba

Nguyễn Cao Đơn^{1*}, Phạm Thị Nga², Trần Đức Thiện¹

¹ Phòng Quy hoạch và Dự báo tài nguyên nước, Viện Khoa học Tài nguyên nước, Bộ Tài nguyên và Môi trường, Số 8 Phố Pháo Đài Láng, Đống Đa, Hà Nội; ncdon@monre.gov.vn; tdthien@monre.gov.vn

² Khu di tích Chủ tịch Hồ Chí Minh tại Phủ Chủ tịch, Số 1 Hoàng Hoa Thám, Ba Đình, Hà Nội; phamlinhnga.pct@gmail.com

*Tác giả liên hệ: ncdon@monre.gov.vn; Tel.: +84-5232.98888

Ban Biên tập nhận bài: 22/8/2020; Ngày phản biện xong: 7/10/2021; Ngày đăng: 25/12/2021

Tóm tắt: Bài báo này trình bày các phương pháp để xác định giá trị của các chỉ tiêu kiểm kê tài nguyên nước cho Việt Nam bao gồm tổng lượng mưa, tổng lượng nước mặt, chất lượng nguồn nước mặt, trữ lượng và chất lượng nước dưới đất, hiện trạng khai thác sử dụng nước mặt và nước dưới đất, hiện trạng xả nước thải vào nguồn nước, và giá trị tài nguyên nước cho các trường hợp có đầy đủ số liệu, thiếu số liệu và không có số liệu. Kết quả kiểm kê thử nghiệm cho một số chỉ tiêu của lưu vực sông Ba cho thấy, tổng lượng nước mưa năm trung bình trên lưu vực là 1823 mm; tổng lượng nước mặt trung bình năm tại trạm Củng Sơn là 7.973,63 triệu m³, tổng lượng khai thác sử dụng cho đối tượng sử dụng nước chính (cho thủy điện) là 6.085,49 triệu m³. Các kết quả này được kiểm kê dựa trên tài liệu hiện có nên có độ tin cậy cao và có thể sử dụng để lập các phương án quy hoạch tài nguyên nước cho lưu vực sông này. Phương pháp xác định các chỉ tiêu kiểm kê trong bài báo này có thể được sử dụng để kiểm kê tài nguyên nước cho các lưu vực sông tại Việt Nam.

Từ khóa: Tài nguyên nước mưa; tài nguyên nước mặt; tài nguyên nước dưới đất; chỉ tiêu kiểm kê; phương pháp kiểm kê; lưu vực sông Ba.

1. Mở đầu

Trong bài báo “Sự cần thiết thực hiện kiểm kê tài nguyên nước tại Việt Nam” [1], các tác giả đã phân tích được việc thực hiện kiểm kê tài nguyên nước tại các nước trên thế giới cũng như nhấn mạnh những khó khăn, thách thức khi thực hiện cho Việt Nam. Đến nay, công tác thống kê, kiểm kê tài nguyên nước của Bộ Tài nguyên và Môi trường vẫn chưa được triển khai đồng bộ ở các cấp. Lý do chính là vì các khái niệm, nội dung, phương pháp đối với các chỉ tiêu thống kê, kiểm kê tài nguyên nước chưa được thống nhất, chuẩn hóa trong tính toán, các chỉ tiêu chưa phản ánh được mối liên hệ giữa tài nguyên và khai thác sử dụng... Đặc biệt, hiện nay là trong bối cảnh biến đổi khí hậu và hầu hết các sông của Việt Nam đã xây dựng các công trình khai thác điều tiết nước, nên các quy luật khí tượng thủy văn và tài nguyên nước đã thay đổi [1]. Do vậy việc xây dựng được các chỉ tiêu kiểm kê tài nguyên nước là hết sức quan trọng, đảm bảo sự thành công của đề án kiểm kê tài nguyên nước quốc gia.

Các tổ chức quốc tế như FAO [2], các nước phát triển Scotland [3], Mỹ [4], Úc [5]... đều đã thực hiện thống kê, lưu trữ và cung cấp thông tin về tài nguyên nước của quốc gia để phục vụ nghiên cứu khoa học và phát triển kinh tế - xã hội. Các thông tin này bao gồm dòng chảy,

Hạng mục	Yếu tố	TT	Chỉ tiêu	Hoa Kỳ	Anh	Úc	Liên Xô cũ	Băng - la- desh	Thái Lan	Nhật Bản	Ấn Độ
	Chất lượng nước sông	21	Tình hình ô nhiễm nước sông	x	x	x	x	x	x	x	x
Chất lượng tài nguyên nước	Chất lượng nước hồ chứa chính	22	Số lượng các hồ chứa được đánh giá có chất lượng nước đạt tiêu chuẩn các cấp							x	x
	Chất lượng nước các nguồn nước được khai thác để cấp nước tập trung	23	Số lượng các nguồn nước được điều tra đánh giá khai thác cấp nước tập trung, bao gồm: nguồn nước mặt (hồ chứa, sông suối), nước dưới đất		x					x	x
Tình hình thiên tai	Hạn hán	24									x
	Lũ lụt, ngập úng	25									x

Tại Trung Quốc, việc kiểm kê TNN được thực hiện cho các chỉ tiêu sau: (i) tài nguyên nước mưa: gồm tổng lượng nước mưa ($\text{km}^3/\text{năm}$, $\text{mm}/\text{năm}$), mức biến đổi so với năm trước và năm bình thường (trung bình nhiều năm) (%), phân phối trong năm (mm), phân bố trong không gian; (ii) nước mặt gồm tổng lượng nước mặt, tỷ lệ lượng nước mặt được hình thành từ mưa, mức biến đổi so với thời kỳ nhiều năm; (iii) nước dưới đất gồm tổng lượng tài nguyên nước dưới đất trên phạm vi toàn tỉnh, các đơn vị hành chính và lưu vực sông (hệ thống sông), mức biến đổi của tài nguyên nước dưới đất; (iiii) tổng tài nguyên nước, gồm lượng nước bình quân trên 1 km^2 diện tích, lượng nước bình quân đầu người trong một năm, bảng tổng lượng tài nguyên nước phân bố theo đơn vị hành chính, lưu vực sông và toàn tỉnh, xu thế biến đổi của tổng lượng mưa và tổng tài nguyên nước mặt trong thời kỳ nhiều năm hay một giai đoạn nào đó; (iv) Động thái tích trữ nước, gồm nước tích trữ trong các hồ chứa, tổng dung tích các hồ tự nhiên; (v) Lượng nước cung cấp, sử dụng, tiêu hao và thải nước, gồm lượng nước cung cấp cho các nhu cầu và tiêu hao, tổng lượng nước sử dụng ở ngoài dòng sông, lượng nước cung cấp cho các nhu cầu ở trong lòng sông (cho thủy điện), lượng nước tiêu hao trong quá trình sử dụng, lượng nước sử dụng trong các thành phố, khu công nghiệp quan trọng, tổng lượng nước thải; (vi) Khai thác sử dụng tài nguyên nước, gồm phân tích các chỉ tiêu dùng nước, tỷ lệ khai thác sử dụng nước (là tỷ lệ tổng lượng nước cung cấp cho các nhu cầu ở ngoài dòng sông với tổng lượng tài nguyên nước bình quân nhiều năm); (vii) Chất lượng tài nguyên nước, gồm chất lượng nước sông (độ dài các đoạn sông được điều tra đánh giá chất lượng nước đạt tiêu chuẩn chất lượng các cấp, tình hình ô nhiễm nước sông, phân tích chất lượng nước đạt tiêu chuẩn trong các khu vực thủy năng), chất lượng nước hồ chứa chính, chất lượng nước các nguồn nước được khai thác để cấp nước tập trung; (viii) Tình hình thiên tai, gồm hạn hán, lũ lụt, ngập úng [7].

Từ kết quả trong Bảng 1 [6], có thể thấy rằng, công tác kiểm kê tài nguyên nước cũng đã được thực hiện tại một số quốc gia nhưng phương pháp chủ yếu vẫn là thống kê. Tại các quốc gia này, nội dung thực hiện thống kê tập trung vào các chỉ tiêu bao gồm: tổng lượng nước mưa, phân phối lượng mưa trong năm, tổng lượng nước mặt, tổng lượng tài nguyên nước dưới đất, tổng tài nguyên nước, lượng nước bình quân trên một đơn vị diện tích, lượng nước bình quân đầu người trong một năm, tổng dung tích của các hồ chứa, tổng lượng nước cung cấp cho các nhu cầu và tiêu hao, tổng lượng nước thải, lượng nước khai thác sử dụng trong các ngành, và chất lượng nước sông. Tuy nhiên hầu như ít có thông tin về phương pháp thực hiện thống kê, kiểm kê cho các chỉ tiêu kiểm kê TNN.

Kiểm kê tài nguyên nước được hướng dẫn tại Điều 7 Nghị định 201/2013/NĐ-CP ngày 27 tháng 11 năm 2013 của Chính phủ về Hướng dẫn thi hành một số điều của Luật tài nguyên nước [8], trong đó việc kiểm kê tài nguyên nước được thực hiện thống nhất trên phạm vi cả nước, định kỳ năm (05) năm một lần, phù hợp với kỳ kế hoạch phát triển kinh tế - xã hội của

đất nước; và trách nhiệm kiểm kê tài nguyên nước. Từ năm 2007 đến 2018, Bộ TNMT đã ba lần ban hành Hệ thống chỉ tiêu thống kê ngành tài nguyên và môi trường bao gồm tài nguyên nước (vào các năm 2007 [9], 2013 [10], 2017[11]) và hai lần ban hành Chế độ báo cáo thống kê ngành tài nguyên và môi trường (vào các năm 2014 [12], 2018 [13]). Thông tư số 20/2018/TT-BTNMT [13] về Chế độ báo cáo thống kê ngành tài nguyên và môi trường đã được ban hành để thay thế Thông tư số 02/2014/TT-BTNMT [12].

Đến nay, công tác thống kê, kiểm kê tài nguyên nước của Bộ Tài nguyên và Môi trường vẫn chưa được triển khai đồng bộ ở các cấp do một số nguyên nhân [1]. Bài báo này tập trung vào việc trình bày phương pháp kiểm kê TNN cho các chỉ tiêu kiểm kê như trong Bảng 2 [1]. Phạm vi thực hiện kiểm kê theo trạm quan trắc, và được xác định, tổng hợp theo lưu vực sông, vùng và theo địa giới hành chính [14], [15].

Bảng 2. Các chỉ tiêu kiểm kê tài nguyên nước áp dụng tại Việt Nam.

STT	Các chỉ tiêu kiểm kê	Tài nguyên nước		
		Nước mưa	Nước mặt	Nước dưới đất
1	Số lượng	×	×	×
2	Chất lượng	×	×	×
3	Biến động	×	×	×
4	Khai thác sử dụng		×	×
5	Xả thải vào nguồn nước		×	×
6	Giá trị	×	×	×

2. Phương pháp xác định các chỉ tiêu kiểm kê

2.1. Tài nguyên nước mưa

a) Tổng lượng mưa năm trong thời kỳ kiểm kê trên lưu vực sông

Trường hợp số năm quan trắc từ 10 năm trở lên: Giá trị lượng mưa năm trung bình thời kỳ kiểm kê tại một trạm quan trắc được lấy bằng giá trị trung bình số học của các giá trị lượng mưa năm trong kỳ kiểm kê. Khi số năm quan trắc ngắn (dưới 10 năm), lượng mưa năm trung bình tại một trạm quan trắc trong thời kỳ kiểm kê có thể được tính theo phương pháp đồ giải. Tính lượng mưa năm trung bình thời kỳ kiểm kê trung bình lưu vực sông hoặc vùng [6]:

- Đối với vùng núi và trung du: Sự phân bố của lượng mưa năm thường biến đổi mạnh theo địa hình nên lượng mưa năm trung bình thời kỳ kiểm kê trung bình trên lưu vực sông hoặc vùng thường được tính theo phương pháp gia quyền diện tích đường đẳng trị lượng mưa năm hay phương pháp đa giác Thiessen [16].

- Đối với vùng đồng bằng: Do địa hình tương đối bằng phẳng nên sự phân bố của lượng mưa năm tương đối đồng đều, nên lượng mưa năm trung bình trong vùng có thể được tính bằng giá trị trung bình số học của lượng mưa năm tại các trạm đo mưa trong vùng.

Ngoài ra, giá trị lượng mưa năm trung bình thời kỳ kiểm kê ($X_{o,n}$) trên lưu vực sông/vùng/lãnh thổ có thể xác định bằng giá trị trung bình số học của $X_{o,n}$ tại các trạm đo mưa tại các trạm đo mưa và giá trị lượng mưa từ việc thiết lập dữ liệu số về lượng nước mưa chi tiết trên toàn quốc theo độ phân giải mưa lưới [15].

b) Lượng mưa mùa mưa và mùa khô trung bình thời kỳ kiểm kê lưu vực sông/vùng
Được tính theo các phương pháp tính lượng mưa năm trung bình thời kỳ kiểm kê.

2.2. Tổng lượng nước mặt

Tổng lượng nước mặt trong năm của lưu vực sông được xác định là lượng nước chảy qua mặt cắt cửa sông trong năm kiểm kê, được tính trên cơ sở số liệu đo như sau:

$$W = \sum_{i=1}^T q_i \times 86400 \text{ (m}^3\text{/năm)} \quad (1)$$

Trong đó W là tổng lượng nước mặt trong năm của lưu vực sông ($\text{m}^3\text{/năm}$); q_i là lưu lượng trung bình chảy qua mặt cắt cửa sông trong thời gian tính toán thứ i ($\text{m}^3\text{/s}$); T là số ngày trong năm đối với trường hợp q_i là lưu lượng bình quân ngày; số tháng trong năm đối với trường hợp q_i là lưu lượng bình quân tháng.

Xác định lưu lượng q_i đối với trường hợp đã có trạm quan trắc thủy văn, tài nguyên nước. Trường hợp trạm đo q_i tại vị trí đại diện cho cửa sông, q_i được xác định tại vị trí trạm đo đó. Giá trị q_i được xác định cho từng năm và trung bình nhiều năm kể từ khi có trạm quan trắc cho lần kiểm kê đầu tiên và cập nhật cho các năm của kỳ kiểm kê.

Trong trường hợp không có số liệu quan trắc dòng chảy: khi sông chưa có trạm quan trắc thì cần tiến hành đo đạc bổ sung dòng chảy tại các vị trí cụ thể trên các sông đó.

Trường hợp chưa có số liệu, thiếu số liệu hoặc có số liệu nhưng chưa thể hiện được tổng lượng dòng chảy của nguồn nước đó thì có thể xác định lưu lượng q_i theo các phương pháp thủy văn như lưu vực tương tự hoặc mô hình số trị.

Tương tự, ta có thể xác định được các chỉ tiêu như lượng nước mặt chảy vào, ra khỏi biên giới quốc gia (trung bình nhiều năm, mùa, tháng); tổng lượng nước chuyển giữa các lưu vực sông và tổng dung tích các hồ chứa được thống kê, tổng hợp trên phạm vi cả nước, từng địa phương và theo lưu vực sông.

2.3. Chất lượng nguồn nước mặt (chỉ số chất lượng nước tổng hợp WQI)

Chất lượng nước mặt được thực hiện tính toán theo Quyết định số 1460/QĐ-TCMT ngày 12 tháng 11 năm 2019 của Tổng Cục môi trường về Hướng dẫn tính toán chỉ số chất lượng nước. Các giá trị WQI [17] được sử dụng để đánh giá nhanh chất lượng nước mặt dựa vào các 05 nhóm thông số, bao gồm:

- + Nhóm I : thông số pH
- + Nhóm II (nhóm thông số thuốc bảo vệ thực vật): bao gồm các thông số Aldrin, BHC, Dieldrin, DDTs (p,p'-DDT, p,p'-DDD, p,p'-DDE), Heptachlor & Heptachlorepoxyde.
- + Nhóm III (nhóm thông số kim loại nặng): bao gồm các thông số As, Cd, Pb, Cr⁶⁺, Cu, Zn, Hg.
- + Nhóm IV (nhóm thông số hữu cơ và dinh dưỡng): bao gồm các thông số DO, BOD₅, COD, TOC, N-NH₄, N-NO₃, N-NO₂, P-PO₄.
- + Nhóm V (nhóm thông số vi sinh): bao gồm các thông số Coliform, E.coli.

- Số liệu để tính toán WQI phải bao gồm tối thiểu 03/05 nhóm thông số, trong đó bắt buộc phải có nhóm IV. Trong nhóm IV có tối thiểu 03 thông số được sử dụng để tính toán. Trường hợp thủy vực chịu tác động của các nguồn ô nhiễm đặc thù bắt buộc phải lựa chọn nhóm thông số đặc trưng tương ứng để tính toán (thủy vực chịu tác động của ô nhiễm thuốc BVTV bắt buộc phải có nhóm II, thủy vực chịu tác động của kim loại nặng bắt buộc phải có nhóm III).

2.4. Trữ lượng nước dưới đất

Trường hợp có bản đồ trữ lượng nước dưới đất: Trữ lượng nước dưới đất có thể khai thác được kiểm kê trên cơ sở kết quả đánh giá trữ lượng nước dưới đất có thể khai thác đã được thực hiện khi thành lập bản đồ nước dưới đất tỷ lệ 1:200.000 (kết quả của Dự án "Biên hội - Thành lập bản đồ TNN dưới đất tỷ lệ 1:200.000 cho các tỉnh trên toàn quốc" [18]) thực hiện phân chia theo lưu vực sông, đơn vị hành chính. Trường hợp vùng, tầng đã được đánh giá, thành lập bản đồ nước dưới đất tỷ lệ lớn hơn thì kết quả kiểm kê được cập nhật bổ sung.

Trường hợp không có bản đồ trữ lượng nước dưới đất thì sử dụng các phương pháp tính toán ngoại suy.

2.5. Chất lượng nước dưới đất

Chất lượng nguồn nước dưới đất được thực hiện trên cơ sở số liệu quan trắc tại các trạm quan trắc tài nguyên và môi trường nước dưới đất và số liệu đo đạc, khảo sát chất lượng đối với các nguồn nước không có trạm quan trắc. Các chỉ tiêu kiểm kê chất lượng nước dưới đất chỉ số độ tổng khoáng hóa (TDS) để xác định diện tích phân bố nước mặn, nước ngọt trong các tầng chứa nước. Các kết quả kế thừa từ kết quả phân bố diện tích mặn ngọt từ Dự án "Biên hội - Thành lập bản đồ TNN dưới đất tỷ lệ 1/200.000 cho các tỉnh trên toàn quốc" [18].

2.6. Hiện trạng khai thác sử dụng nước mặt

Chỉ tiêu kiểm kê bao gồm số lượng công trình, lượng nước khai thác qua công, trạm bơm, kênh lấy nước, cửa lấy nước được phân theo mục đích sử dụng gồm sinh hoạt, nông nghiệp, công nghiệp, thủy điện và các mục đích khác;

Kiểm kê số lượng công trình khai thác sử dụng nước mặt: Tổng hợp thông tin về tên công trình, loại hình, vị trí lấy nước (xã, huyện, tỉnh, tọa độ x, y), loại hình khai thác (công, trạm bơm, khác), mục đích khai thác, giấy phép khai thác tài nguyên nước.

Kiểm kê lượng nước khai thác sử dụng: Tổng lượng nước mặt khai thác trong năm của công trình được xác định theo công thức sau:

$$Q_{ktm} = \sum_{i=1}^T q_i \times 86.400 \text{ (m}^3\text{/năm)} \quad (2)$$

Trong đó Q_{ktm} là tổng lượng nước khai thác trong năm của công trình ($\text{m}^3\text{/năm}$); q_i là lưu lượng nước bình quân khai thác trong ngày thứ i ($\text{m}^3\text{/s}$). Xác định lưu lượng q_i đối với trường hợp có số liệu vận hành thực tế được kiểm kê trên cơ sở số liệu lưu lượng trung bình ngày. Lưu lượng q_i đối với trường hợp không có số liệu vận hành thực tế được xác định trên cơ sở lưu lượng thiết kế ($\text{m}^3\text{/s}$) của công trình. Đối với trường hợp công trình không có tài liệu thiết kế thì q_i được xác định theo quy định hiện hành và dựa trên cơ sở đo đạc kích thước mặt cắt ướn công trình, cao trình cửa vào, cao trình cửa ra, cao trình mực nước thượng lưu, cao trình mực nước hạ lưu công trình; T là số ngày trong năm kiểm kê.

2.7. Hiện trạng khai thác sử dụng nước dưới đất

Kiểm kê hiện trạng khai thác sử dụng nước dưới đất được thực hiện trên cơ sở kiểm kê theo số lượng công trình và lượng nước khai thác sử dụng cho các mục đích (sinh hoạt đô thị, sinh hoạt nông thôn, sản xuất nông nghiệp, nuôi trồng thủy sản, sản xuất công nghiệp, sử dụng cho thủy điện và các mục đích khác).

Kiểm kê số lượng công trình khai thác sử dụng nước dưới đất được tổng hợp thông tin về tên công trình, loại hình, vị trí lấy nước, loại hình khai thác (giếng khoan, khác), mục đích khai thác, giấy phép khai thác tài nguyên nước.

Kiểm kê lượng nước khai thác sử dụng: Tổng lượng khai thác nước dưới đất trong năm của công trình được xác định là lượng nước khai thác của công trình trong năm kiểm kê, được tính theo công thức sau:

$$Q_{ktn} = \sum_{i=1}^T q_i \times 86400 \text{ (m}^3\text{/năm)} \quad (3)$$

Trong đó Q_{ktn} là tổng lượng nước khai thác trong năm của công trình ($\text{m}^3\text{/năm}$); q_i là lưu lượng nước bình quân khai thác trong ngày thứ i ($\text{m}^3\text{/s}$). Lưu lượng q_i đối với trường hợp có số liệu vận hành được kiểm kê trên cơ sở số liệu lưu lượng trung bình ngày. Trường hợp chưa có số liệu vận hành thì q_i được kiểm kê trên cơ sở lưu lượng thiết kế lớn nhất của công trình khai thác; T là số ngày trong năm kiểm kê.

2.8. Hiện trạng xả nước thải vào nguồn nước

Kiểm kê hiện trạng xả nước thải vào nguồn nước được thực hiện trên cơ sở kiểm kê công trình xả nước thải vào nguồn nước thuộc quy mô phải có giấy phép xả nước thải vào nguồn nước. Kiểm kê số lượng công trình xả nước thải vào nguồn nước: Tổng hợp thông tin về tên công trình, loại hình, vị trí xả thải (xã, huyện, tỉnh, tọa độ x, y), loại hình xả thải (công nghiệp, cơ sở sản xuất kinh doanh dịch vụ, mục đích khác), giấy phép xả thải (do Bộ TNMT cấp, Bộ NN&PTNT cấp, địa phương cấp, và trường hợp không giấy phép).

Kiểm kê lượng nước xả thải: Tổng lượng xả thải trong năm của công trình được xác định là lượng nước xả thải của công trình trong năm kiểm kê, được tính theo công thức sau:

$$Q_{xt} = \sum_{i=1}^T q_i \times 86400 \text{ (m}^3\text{/năm)} \quad (4)$$

Trong đó Q_{xt} là tổng lượng nước xả thải trong năm của công trình ($\text{m}^3\text{/năm}$); q_i là lưu lượng nước xả thải lớn nhất trong ngày thứ i ($\text{m}^3\text{/s}$). Lưu lượng q_i đối với trường hợp có số liệu xả thải được kiểm kê trên cơ sở số liệu lưu lượng lớn nhất trong ngày. Lưu lượng q_i đối với trường hợp chưa có số liệu xả thải được kiểm kê trên cơ sở lưu lượng thiết kế lớn nhất của công trình xả thải; T là số ngày trong năm kiểm kê.

2.9. Giá trị tài nguyên nước

Có một số phương pháp để kiểm kê và xác định giá trị tài nguyên nước, cụ thể như sau:

a) Tổng giá trị tài nguyên nước tính theo giá trị thu được cho ngân sách

Việc kiểm kê giá trị tài nguyên nước được thực hiện trên cơ sở thực tế giá trị thu được cho ngân sách, gồm: thuế tài nguyên nước, tiền cấp quyền khai thác tài nguyên nước, phí thẩm định hồ sơ cấp phép tài nguyên nước và được tính toán như sau:

$$T = T_1 + T_2 + T_3 \text{ (triệu đồng)} \quad (5)$$

Trong đó T_1 là tổng tiền thu được từ thuế tài nguyên nước trong năm kiểm kê; T_2 là tổng tiền cấp quyền khai thác tài nguyên nước trong năm kiểm kê; T_3 là tổng tiền phí thẩm định hồ sơ cấp phép tài nguyên nước trong năm kiểm kê.

b) Tổng giá trị tài nguyên nước tiềm năng (nước mặt, nước dưới đất, không kể đến nước mưa) tính theo giá trị kinh tế của ngành sử dụng nước tạo ra sản phẩm đặc thù của ngành đó.

(i) Tổng giá trị tài nguyên nước mặt của kỳ kiểm kê được xác định như sau:

$$T_m = \sum_{i=1}^N \frac{T_i}{Wsd_i} \times W \times K_i \times S_i \quad (6)$$

Trong đó T_m = Tổng giá trị tài nguyên nước mặt tiềm năng; T_i = Tổng giá trị hiện tại của ngành i tạo ra do sử dụng nước; Wsd_i = Tổng lượng nước sử dụng hiện tại của ngành i để tạo ra sản phẩm; W = Tổng lượng nước trung bình năm của kỳ kiểm kê được tại vị trí kiểm kê; K_i = Hệ số phân bổ nước cho ngành i ; $K_i = \frac{Wsd_i}{\sum Wsd_i}$; S_i = Tỷ lệ % của phần diện tích lưu vực tính đến vị trí kiểm kê so với tổng diện tích lưu vực sông đang thực hiện kiểm kê; N = Tổng số ngành chính sử dụng nước.

(ii) Tổng giá trị tài nguyên nước dưới đất tiềm năng được xác định như sau:

$$T_{ndd} = \sum_{i=1}^N \frac{T_i^*}{W_i^*} \times W^* \times K_i^* \times S_i^* \quad (7)$$

Trong đó T_{ndd} = Tổng giá trị tài nguyên nước dưới đất tiềm năng; T_i^* = Tổng giá trị hiện tại của ngành i tạo ra do sử dụng nước dưới đất; W_i^* = Tổng lượng nước dưới đất sử dụng hiện tại của ngành i để tạo ra sản phẩm; W^* = Tổng lượng nước dưới đất kiểm kê được của vùng kiểm kê; $K_i^* = \frac{W_i^*}{\sum W_i^*}$; $S_i^* =$ Tỷ lệ diện

tích tầng chứa nước tính đến vị trí kiểm kê; N^* = Tổng số ngành chính sử dụng nước dưới đất.

c) Tổng giá trị tài nguyên nước tính theo vốn đầu tư công trình và cơ sở hạ tầng để khai thác sử dụng nước

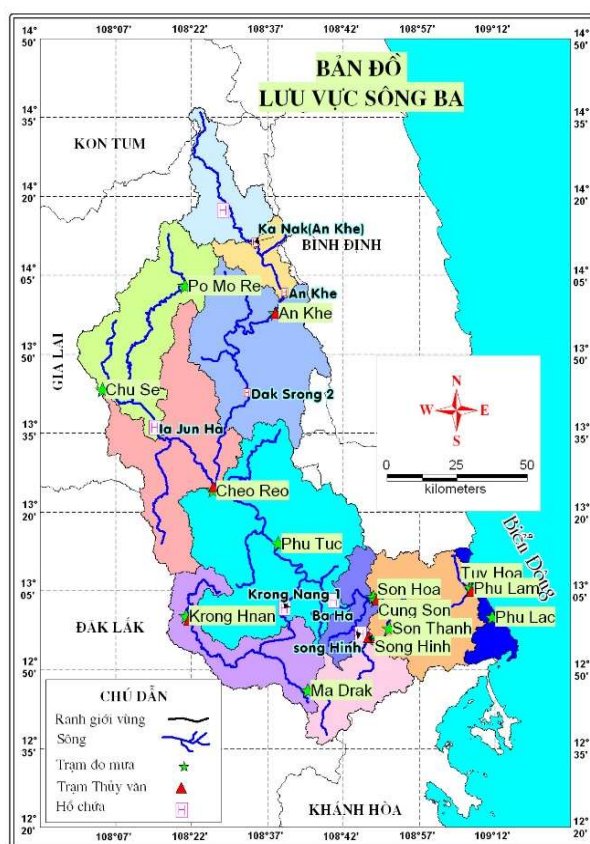
$$T = \sum_{i=1}^N V_i \quad (8)$$

Trong đó T = Tổng giá trị tài nguyên nước; V_i = Tổng vốn đầu tư công trình và cơ sở hạ tầng ngành sử dụng nước i.

Khi xác định giá trị TNN cần cân nhắc sử dụng một trong số các phương pháp kể trên, trong đó phương pháp xác định theo giá trị thu được cho ngân sách là phương pháp truyền thống đang được sử dụng tại Bộ TNMT.

3. Kết quả và thảo luận

Trong nghiên cứu này nội dung kiểm kê một số chỉ tiêu tài nguyên nước thử nghiệm cho lưu vực sông Ba. Lưu vực sông Ba trải dài trên cả sườn phía tây và sườn phía đông dãy Trường Sơn, trên địa phận 3 tỉnh Gia Lai, Đắk Lắk ở Tây Nguyên và tỉnh Phú Yên ở Nam Trung Bộ (Hình 1). Sông Ba được hình thành bởi nhiều nhánh sông, suối nhỏ với 36 phụ lưu cấp I, 54 phụ lưu cấp II, 14 phụ lưu cấp III, dòng chảy hình thành chủ yếu bởi các nhánh sông chính: Thượng sông Ba, sông Ayun, sông Krông H' năng, sông Hinh [19].



Hình 1. Bản đồ lưu vực sông Ba.

Việc nghiên cứu kiểm kê tài nguyên nước trên lưu vực sông Ba được bắt đầu từ các trạm đo mưa từ năm 1931, trước những năm 60 việc đo đạc không có hệ thống và bị gián đoạn nhiều năm. Kể từ sau năm 1980 việc đo đạc đã liên tục và có hệ thống với khoảng 12 trạm đo mưa trên lưu vực. Đối với dòng chảy trên lưu vực sông Ba hiện nay chỉ đo đạc tại 4 trạm An Khê, Cùng Sơn, AyunPa và Pơ Mơ Rê và được quan trắc từ năm 1977 đến nay.

3.1. Tổng lượng nước mưa trên lưu vực

Các chỉ tiêu kiểm kê lượng nước mưa tại các trạm đo mưa trên lưu vực sông Ba năm 2020 được thực hiện tại 12 trạm đo mưa. Kết quả kiểm kê lượng mưa tại các trạm được tổng hợp tại Bảng 3.

Bảng 3. Tổng lượng mưa tại các trạm (mm).

Tháng	An Khê	Ayun Pa	Buôn Hồ	Củng Sơn	Kon Tum	Mdrak	PleiKu	Pơ Mơ Rê	Sơn Hoà	Tuy Hòa	Lắk	Phú Lâm
1	10	0	0	1	0	28	0	0	0	6	12	212
2	5	0	0	7	0	28	0	0	7	51	0	1
3	0	0	14	8	23	0	18	38	5	1	11	0
4	9	3	28	15	56	28	27	88	20	103	5	7
5	249	122	217	80	101	134	144	181	92	17	135	60
6	42	97	161	68	248	277	236	323	90	5	244	2
7	400	167	270	68	187	135	264	255	57	4	160	16
8	209	181	166	98	374	134	491	286	91	106	505	20
9	240	159	316	146	293	209	274	218	152	51	292	245
10	645	375	380	445	541	481	546	487	452	506	142	512
11	742	153	209	395	38	733	113	172	391	523	337	376
12	71	8	11	53	0	409	0	5	47	140	0	13
Năm	2622	1264	1772	1384	1860	2595	2112	2051	1402	1514	1841	1463
Mùa mưa	2307	1042	1351	1205	1433	2100	1688	1422	1189	1331	1435	1181
Mùa khô	315	222	421	179	427	495	424	629	212	183	407	282
3 thg max	1627	714	905	986	1208	1623	1311	990	995	1169	956	1133
Tháng max	742	375	380	445	541	733	546	487	452	523	505	512
3 tháng min	14	0	15	16	23	56	18	38	11	27	16	8

Từ kết quả kiểm kê cho thấy lượng mưa năm trung bình năm 2020 trong lưu vực sông Ba khoảng 1823 mm hay tài nguyên nước mưa năm 2020 được kiểm kê khoảng 24,46 km³, lượng nước mùa mưa trung bình khoảng 1474 mm và mùa khô khoảng 350 mm, điều này cho thấy chênh lệch giữa lượng nước mưa mùa mưa so với lượng mưa mùa khô là rất lớn gấp khoảng 4,2 lần tương đương lượng mưa mùa mưa chiếm 80% tổng lượng mưa năm. Trên lưu vực có những tháng không xuất hiện mưa ở một hoặc nhiều vùng được thể hiện bởi chỉ tiêu kiểm kê lượng mưa tháng nhỏ nhất ở mức 0-1 mm. Bên cạnh đó, lượng mưa tháng lớn nhất tại các trạm trên lưu vực sông Ba xuất hiện vào tháng 10, 11 là những tháng giữa mùa mưa, tuy nhiên việc xuất hiện lượng mưa lớn nhất trên các trạm lại ở cả 2 tháng cho thấy, lượng mưa mùa mưa trên lưu vực xuất hiện không đồng bộ, có thể thấy các trạm ở hạ du gần biên thường có xuất hiện mưa lớn vào tháng 10, còn các trạm ở thượng lưu lại có mưa lớn xuất hiện vào tháng 11 [20].

3.2. Tổng lượng nước mặt

Hiện nay trên lưu vực sông Ba chỉ có 3 trạm đo lưu lượng là An Khê, Củng Sơn và Pơ Mơ Rê, trong đó, trạm An Khê nằm ở thượng nguồn sông Ba, trạm Củng Sơn nằm phía hạ lưu sông Ba và trạm Pơ Mơ Rê và AyunPa nằm trên sông Ayun là nhánh sông cấp 1 của sông Ba.

Kết quả kiểm kê lượng nước mặt tại 3 trạm quan trắc theo các chỉ tiêu gồm: tổng lượng nước mặt năm, tổng lượng nước mùa lũ, tổng lượng nước mùa cạn, tổng lượng nước theo

các tháng, tổng lượng nước 1 tháng nhỏ nhất, tổng lượng nước 3 tháng nhỏ nhất, tổng lượng nước 1 tháng lớn nhất và tổng lượng nước 3 tháng lớn nhất. Kết quả tổng lượng nước mặt tại các trạm được tổng hợp tại Bảng 4.

Bảng 4. Tổng lượng nước mặt tại các trạm (triệu m³).

Tháng	An Khê	Củng Sơn	Pơ Mơ Rê	Ayun Pa
1	20,73	142,49	5,79	91,87
2	18,19	107,90	3,39	61,45
3	19,55	77,67	2,14	60,00
4	18,07	48,73	2,36	45,88
5	23,46	68,03	3,54	60,26
6	23,25	252,98	10,76	90,46
7	26,36	275,88	11,09	122,40
8	29,46	554,43	21,13	236,50
9	34,47	476,93	22,50	220,58
10	83,30	1708,82	86,51	1028,51
11	279,94	2617,92	60,13	1296,00
12	104,19	1641,86	24,19	396,40
Năm	680,97	7973,63	253,52	3710,31
Mùa lũ	453,53	5633,97	201,37	2903,99
Mùa cạn	227,44	2339,66	52,15	806,32
3 tháng min	55,81	194,43	7,89	166,14
1 tháng min	18,07	48,73	2,14	45,88
3 tháng max	467,42	5968,60	170,83	2720,91
1 tháng max	279,94	2617,92	86,51	1296,00

Qua kiểm kê các chỉ tiêu về tổng lượng nước tại các trạm [20] có thể thấy rằng trạm Củng Sơn là trạm cuối cùng nằm phía hạ du sông ba có đo đặc dòng chảy với diện tích lưu vực trạm khổng chế là 12.800 km² chiếm 95% diện tích lưu vực sông Ba. Vì vậy trạm có thể được lựa chọn là trạm đại diện cho lượng nước trên lưu vực sông Ba. Tổng lượng nước năm 2020 tại trạm Củng Sơn khoảng 7.973,63 triệu m³ so với lượng mưa trung bình trên toàn lưu vực thì tỉ lệ sinh dòng chảy mặt chiếm khoảng 32%, tổng lượng nước mùa lũ chiếm khoảng 70% tổng lượng nước cả năm, và lượng nước mùa cạn là 30% tổng lượng nước cả năm, tháng có tổng lượng nhỏ nhất là tháng 4, và tháng có lượng nước lớn nhất là tháng 11.

Trạm An Khê đại diện cho khu vực thượng lưu sông Ba, tổng lượng nước năm 2020 tại trạm An Khê khoảng 680,97 triệu m³ so với lượng mưa trung bình lưu vực khổng chế của trạm An Khê thì tỉ lệ sinh dòng chảy mặt chiếm khoảng 60%, tổng lượng nước mùa lũ chiếm khoảng 66% tổng lượng nước cả năm, và lượng nước mùa cạn là 34% tổng lượng nước cả năm, tháng có tổng lượng nhỏ nhất là tháng 4, và tháng có lượng nước lớn nhất là tháng 11.

Trạm AyunPa và Pơ mơ rê đều nằm trên nhánh sông Ayun là nhánh cấp 1 lớn nhất của sông Ba, trong đó trạm Pơ Mơ Rê nằm phía thượng lưu và trạm AyunPa nằm gần cửa ra của sông Ayun. Vì vậy, trạm AyunPa là trạm đại diện cho lưu vực sông Ayun, tổng lượng nước năm 2020 tại trạm AyunPa khoảng 3710,1 triệu m³ so với lượng nước tại trạm Củng Sơn thì tỉ lệ đóng góp dòng chảy mặt chiếm khoảng của sông Ayunpa khoảng 46%, tổng lượng nước mùa lũ chiếm khoảng 78% tổng lượng nước cả năm, và lượng nước mùa cạn là 22% tổng lượng nước cả năm, tháng có tổng lượng nhỏ nhất là tháng 4, và tháng có lượng nước lớn nhất là tháng 11.

3.3. Lượng nước khai thác sử dụng

Hiện nay trên lưu vực sông Ba có khoảng 308.596 công trình khai thác, sử dụng nước trên khu vực [21] theo các mục đích sử dụng như sau: cấp nước tưới cho nông nghiệp: 996 công trình, bằng 0,3% số lượng công trình; cấp nước cho sinh hoạt tập trung đô thị: 34 công trình, bằng 0,01% số lượng công trình; cấp nước tập trung cho sinh hoạt nông thôn: 125 công trình, bằng 0,04% số lượng công trình; cấp nước cho sinh hoạt nông thôn nhỏ lẻ: 307.393 công trình, bằng 99,6% số lượng công trình; cấp nước cho sản xuất công nghiệp: 48 công trình, bằng 0,02% số lượng công trình trên phạm vi 3 tỉnh ĐăkLăk, Gia Lai và Phú Yên.

Chi tiết về số công trình tại từng địa phương như sau: tỉnh ĐăkLăk có 237800 công trình, bằng 77%; Gia Lai có 56,48 công trình, bằng 18,3%; Phú Yên có 14300 công trình, chiếm 4,6% tổng số công trình trên phạm vi 3 tỉnh. Hiện trạng khai thác của một số công trình chính trên sông Ba được tổng hợp theo các đặc điểm sau (Bảng 5).

Bảng 5. Đặc điểm một số công trình khai thác sử dụng nước trên lưu vực.

TT	Tên công trình khai thác	Xã	Huyện	Tỉnh	Sông khai thác	Loại hình	W_{TB} (triệu.m ³)	W_{hi} (triệu.m ³)	Công suất (MW)	Q phát điện max (m ³ /s)
1	Sơn Giang	Sơn Giang	Sông Hình	Phú Yên	Sông Con	TĐ			10,00	65,47
2	Sông Hình	Đức Bình, EaTrol, Sông Hình	Sông Hình	Phú Yên	sông Hình	TĐ	357	323	70	55,6
3	Krông H' năng	Ea Sô, Cư Prao, Ea Bar	M'Đrăk Sông Hình	Phú Yên	sông Krông H' năng	TĐ	165,78	108,5	64	68
4	Sông Ba Hạ		Sông Hình, Sơn Hoà và Krông Pa	Phú Yên	Sông Ba	TĐ	349,7	165,9	220	56,7
5	TĐ Ayun Hạ	Ayun Hạ	Phú Thiện	Gia Lai	Hồ thủy lợi Ayun Hạ	TĐ			3,00	23,40
6	Nhà máy đường Sơn Hòa	thôn Bắc Lý, thị trấn Củng Sơn	Sơn Hòa	Phú Yên		SXCN				

Ghi chú: TĐ = Thủy điện; SXCN = sản xuất công nghiệp.

Kiểm kê hoạt động khai thác của một số nhà máy thủy điện năm 2020 được tổng hợp tại Bảng 6.

Bảng 6. Tổng lượng nước khai thác sử dụng của các nhà máy thủy điện (triệu m³).

Tháng	An Khê	Ka Nak	Sông Ba hạ	Sông Hình
1	0,00	9,51	113,60	69,12
2	1,43	7,91	89,94	62,83
3	1,60	11,57	74,87	65,29
4	1,09	11,50	42,34	35,60
5	2,57	12,40	75,55	48,49
6	8,53	12,47	210,77	73,64
7	34,92	37,28	232,63	103,27
8	46,07	43,48	417,24	83,27

Tháng	An Khê	Ka Nak	Sông Ba hạ	Sông Hình
9	52,76	41,71	418,32	57,30
10	115,98	49,60	996,00	47,34
11	123,16	69,96	967,65	108,73
12	83,00	71,47	697,64	144,11
Năm	471,10	378,85	4336,55	898,99
Mùa lũ	372,88	242,03	3031,85	399,92
Mùa cạn	98,21	136,82	1304,70	499,08
3 tháng min	3,03	28,98	192,76	149,38
1 tháng min	0,00	7,91	42,34	35,60
3 tháng max	322,14	191,02	2661,29	300,18
1 tháng max	123,16	71,47	996,00	144,11

Qua kết quả kiểm kê tại một số công trình thủy điện lớn, khai thác sử dụng nước trên lưu vực sông Ba nhận thấy, trong mùa lũ năm 2020 có 2 trận lũ lớn xảy ra khá gần nhau vào cuối tháng 10 và đầu tháng 11. Tuy nhiên, các hồ vẫn phát huy được hiệu quả cắt lũ với tổng dung tích cắt lũ khoảng 30 triệu m³. Qua kiểm kê đặc trưng vận hành của các thủy điện có thể thấy, tổng lượng nước phát điện trong năm của thủy điện sông Ba hạ là 4336,5 triệu m³, thủy điện sông Hình là 899 triệu m³, thủy điện sông An Khê là 471,1 triệu m³ và thủy điện sông Kanak là 378,85 triệu m³. Tháng có lưu lượng phát điện ít nhất là tháng 1 và 2, tháng có lưu lượng phát điện lớn nhất là tháng 10 và 11.

4. Kết luận

Bài báo này trình bày các phương pháp xác định các chỉ tiêu kiểm kê tài nguyên nước bao gồm tổng lượng mưa, tổng lượng mưa mùa mưa và mùa khô, tổng lượng nước mặt, chất lượng nguồn nước mặt, trữ lượng và chất lượng nước dưới đất, hiện trạng khai thác sử dụng nước mặt và nước dưới đất, hiện trạng xả nước thải vào nguồn nước, và giá trị tài nguyên nước cho các trường hợp có đầy đủ số liệu, thiếu số liệu và không có số liệu. Kết quả kiểm kê thử nghiệm cho một số chỉ tiêu của lưu vực sông Ba cho thấy, tổng lượng nước mưa năm trung bình trên lưu vực là 1823 mm; tổng lượng nước năm 2020 tại trạm Củng Sơn khoảng 7.973,63 triệu m³ so với lượng mưa trung bình trên toàn lưu vực thì tỉ lệ sinh dòng chảy mặt chiếm khoảng 32%, tổng lượng nước mùa lũ chiếm khoảng 70% tổng lượng nước cả năm, và lượng nước mùa cạn là 30% tổng lượng nước cả năm, tổng lượng khai thác sử dụng cho đối tượng sử dụng nước chính (cho thủy điện) là 6.085,49 triệu m³. Các kết quả này được kiểm kê dựa trên tài liệu hiện có nên có độ tin cậy cao và có thể sử dụng để lập các phương án quy hoạch tài nguyên nước cho lưu vực sông này. Phương pháp xác định các chỉ tiêu kiểm kê có thể sử dụng để kiểm kê cho các lưu vực sông tại Việt Nam.

Đóng góp của tác giả: Các tác giả đã thống nhất xây dựng ý tưởng, lựa chọn phương pháp, triển khai nội dung và viết bản thảo bài báo.

Lời cảm ơn: Nội dung trong bài báo này là một phần kết quả đạt được từ Đề tài “Nghiên cứu cơ sở khoa học xây dựng hệ thống chỉ tiêu kiểm kê tài nguyên nước. Áp dụng thử nghiệm cho lưu vực sông Ba” của Bộ Tài nguyên và Môi trường, mã số: TNMT.2019.02.01. Chủ nhiệm Đề tài: PGS.TS Nguyễn Cao Đơn.

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

Tài liệu tham khảo

1. Don, N.C.; Hang, N.T.M. The necessity of water resources inventory in Vietnam. *VN J. Hydrometeorol.* **2021**, 8, 64–72. doi:10.36335/VNJHM.2021(8). 64-72.
2. Charles, B.; Jippe, H.; Jean-Marc, F.; Livia, P. Water accounting and auditing: A sourcebook. FAO Water Report 43, **2016**, pp. 232.
3. National Water Inventory for Scotland (NWIS). Online available: <https://catalogue.ceh.ac.uk/documents>, truy cập 15/06/2021.
4. USGS và ERSI. Hệ thống thông tin địa lý trực tuyến cung cấp các Thông tin về lưu vực tại Hoa Kỳ. Website <https://streamstats.usgs.gov/ss/>, truy cập 15/06/2021.
5. Cục Khí tượng Úc (Bureau of Meteorology). Thông tin về Tài nguyên nước, tại Website <http://www.bom.gov.au/water/>, truy cập 15/06/2021.
6. Dũng, N.K. Báo cáo tổng kết Đề tài “Nghiên cứu cơ sở khoa học và thực tiễn xác định nội dung, phương pháp tính, tổng hợp, thống kê các chỉ tiêu tài nguyên nước”, 2012.
7. Vụ Thủy văn, Bộ Thủy lợi Trung Quốc. A Guide to Water Resources Assessment (bản tiếng Trung), 1999.
8. Nghị định 201/2013/NĐ-CP ngày 27 tháng 11 năm 2013 của Chính phủ về Hướng dẫn thi hành một số điều của Luật tài nguyên nước, 2013.
9. Quyết định 18/2007/QĐ-BTNMT Ban hành hệ thống chỉ tiêu thống kê ngành TNMT, 2007.
10. Thông tư 29/2013/TT-BTNMT Ban hành hệ thống chỉ tiêu thống kê ngành TNMT, 2013.
11. Thông tư số 73/2017/TT-BTNMT Ban hành hệ thống chỉ tiêu thống kê ngành TNMT, 2017.
12. Thông tư số 02/2014/TT-BTNMT Quy định chế độ báo cáo thống kê ngành TNMT, 2014.
13. Thông tư số 20/2018/TT-BTNMT về Chế độ báo cáo thống kê ngành tài nguyên và môi trường, 2018.
14. Đon, N.C. Dự thảo thông tư Quy định kỹ thuật về kiểm kê tài nguyên nước. Sản phẩm của đề tài “Nghiên cứu cơ sở khoa học xây dựng Hệ thống chỉ tiêu Kiểm kê tài nguyên nước. Áp dụng thử nghiệm cho lưu vực Sông Ba”. Mã số: TNMT.2019.02.01, 2020.
15. Cục Quản lý Tài nguyên nước. Dự thảo Thuyết minh Đề án kiểm kê tài nguyên nước Quốc gia, 2021.
16. Dương, V.N. So sánh các phương pháp phân phối mưa không gian cho lưu vực Vu Gia - Thu Bồn, Việt Nam. *Tạp chí Khí tượng thủy văn* **2018**, 691, 33–41.
17. Tổng cục Môi trường. Quyết định số 1460/QĐ-TCMT về việc ban hành Hướng dẫn kỹ thuật tính toán và công bố chỉ số chất lượng nước Việt Nam (VN_WQI), ngày 12/11/2019.
18. Trung tâm Quy hoạch và Điều tra TNN Quốc gia. Dự án “Biên hội - Thành lập bản đồ TNN dưới đất tỷ lệ 1:200.000 cho các tỉnh trên toàn quốc”, 2019.
19. Đon, N.C. Thuyết minh đề tài “Nghiên cứu cơ sở khoa học xây dựng Hệ thống chỉ tiêu Kiểm kê tài nguyên nước. Áp dụng thử nghiệm cho lưu vực Sông Ba”. Mã số: TNMT.2019.02.01, 2019.
20. Đon, N.C. Kết quả kiểm kê tài nguyên nước cho lưu vực sông Ba. Sản phẩm của đề tài “Nghiên cứu cơ sở khoa học xây dựng Hệ thống chỉ tiêu Kiểm kê tài nguyên nước. Áp dụng thử nghiệm cho lưu vực Sông Ba”. Mã số: TNMT.2019.02.01, 2021.
21. Cục Quản lý Tài nguyên nước. Hệ thống giám sát Tài nguyên nước, tại website <https://gstnn.monre.gov.vn/>, truy cập tháng 5/2021.

Identifying criteria for Vietnam water resource inventory and an application to the Ba River basin

Nguyen Cao Don^{1*}, Pham Thi Nga², Tran Duc Thien¹

¹ Water Resource Institute, Ministry of Natural Resources and Environment, No. 8 Phao Dai Lang Street, Dong Da, Hanoi; ncdon@monre.gov.vn; tdthien@monre.gov.vn

² President Ho Chi Minh's Vestige in the Presidential Palace Area, No.1 (Red Gate), Hoang Hoa Tham St., Ba Dinh Dist., Ha Noi; phamlinhnga.pct@gmail.com

Abstract: This paper presents methods to determine the value of water resource inventory indicators for Vietnam including total rainfall, total surface water amount, surface water quality, groundwater reserve and quality, exploitation and use of surface water and underground water, wastewater discharge into water sources, and economic values of water resources for the cases of full data, lack of data and no data. The application of water inventory for the Ba river basin shows that the average total annual rainfall in the basin is 1823 mm; the total annual average volume of surface water at Cung Son station is 7,973.63 million m³, the total amount of exploitation used for the main water users (for hydropower) is 6,085.49 million m³. These obtained results are based on observed data and thus they have high reliability and can be used for water resource planning for this river basin. The methods determining inventory indicators presented in this paper can be used consistently for water resources inventory in Vietnam.

Keywords: Rainwater resources; Surface water resources; Groundwater resources; Water resources; Inventory indicators; Inventory methodology; Ba river basin.

Bài báo khoa học

Đánh giá hiệu quả của các công trình kè giảm sóng tại bờ biển Tây tỉnh Cà Mau

Nguyễn Ngọc Thuận¹, Trần Văn Tỷ^{2*}, Trần Văn Hùng², Huỳnh Thị Cẩm Hồng², Hà Ngọc Nhận², Trần Hải Lâm², Đinh Văn Duy², Trần Khánh Hải³, Trịnh Văn Tuấn³, Trần Minh Quảng³

¹ Công Ty CP Lắp Đặt Điện Nước IEE-24/7; congtyiee24.7@gmail.com

² Khoa Công nghệ, Trường Đại học Cần Thơ; tvty@ctu.edu.vn; tranvanhung@ctu.edu.vn; htchong@ctu.edu.vn; nhanb1705842@student.ctu.edu.vn; lamb1606132@student.ctu.edu.vn; dvduy@ctu.edu.vn

³ Sở Nông nghiệp Phát triển Nông thôn tỉnh Cà Mau; trankhanhhaisd@gmail.com; tuan0917177478@gmail.com; tranminhquangkbtb@gmail.com

*Tác giả liên hệ: tvty@ctu.edu.vn; Tel.: +84-939501909.

Ban Biên tập nhận bài: 12/09/2021; Ngày phản biện xong: 09/10/2021; Ngày đăng bài: 25/12/2021

Tóm tắt: Mục tiêu của nghiên cứu này là đánh giá diễn biến đường bờ biển và hiệu quả giảm sóng của các công trình kè giảm sóng tại bờ biển Tây tỉnh Cà Mau. Ảnh Landsat và ảnh tải về bằng công cụ Google earth (ảnh Google earth) được sử dụng để quan sát diễn biến đường bờ biển. Số liệu sóng phía trước và sau kè được đo đạc và phân tích để đánh giá hiệu quả giảm sóng của các loại kè. Kết quả phân tích ảnh cho thấy diện tích rừng phòng hộ bị suy giảm nghiêm trọng (khoảng 160 ha) trong 20 năm qua với tốc độ suy giảm là 7,76 và 8,18 ha/năm lần lượt đối với ảnh Landsat và Google earth. Kết quả đo sóng cho thấy hiệu quả giảm chiều cao sóng tương ứng với h_{max} , $1/10 h_{max}$, $1/3 h_{max}$ và h_{tb} của kè ly tâm lần lượt là 86%, 83%, 82% và 81%. Tương tự với kè Busadco lần lượt là 79%, 89%, 90% và 90%; kè bán nguyệt lần lượt là 83%, 82%, 81%, và 80%. Hiệu quả giảm năng lượng sóng của cả ba loại kè đều đạt trên 95%. Kết quả nghiên cứu dựa trên dữ liệu đo đạc trong một khoảng thời gian ngắn nên chưa thể kết luận về hiệu quả cho toàn bộ các dạng kè này.

Từ khóa: Biển Tây tỉnh Cà Mau; Ảnh viễn thám; Hiệu quả giảm sóng; Kè ly tâm; Kè bán nguyệt; Kè Busadco.

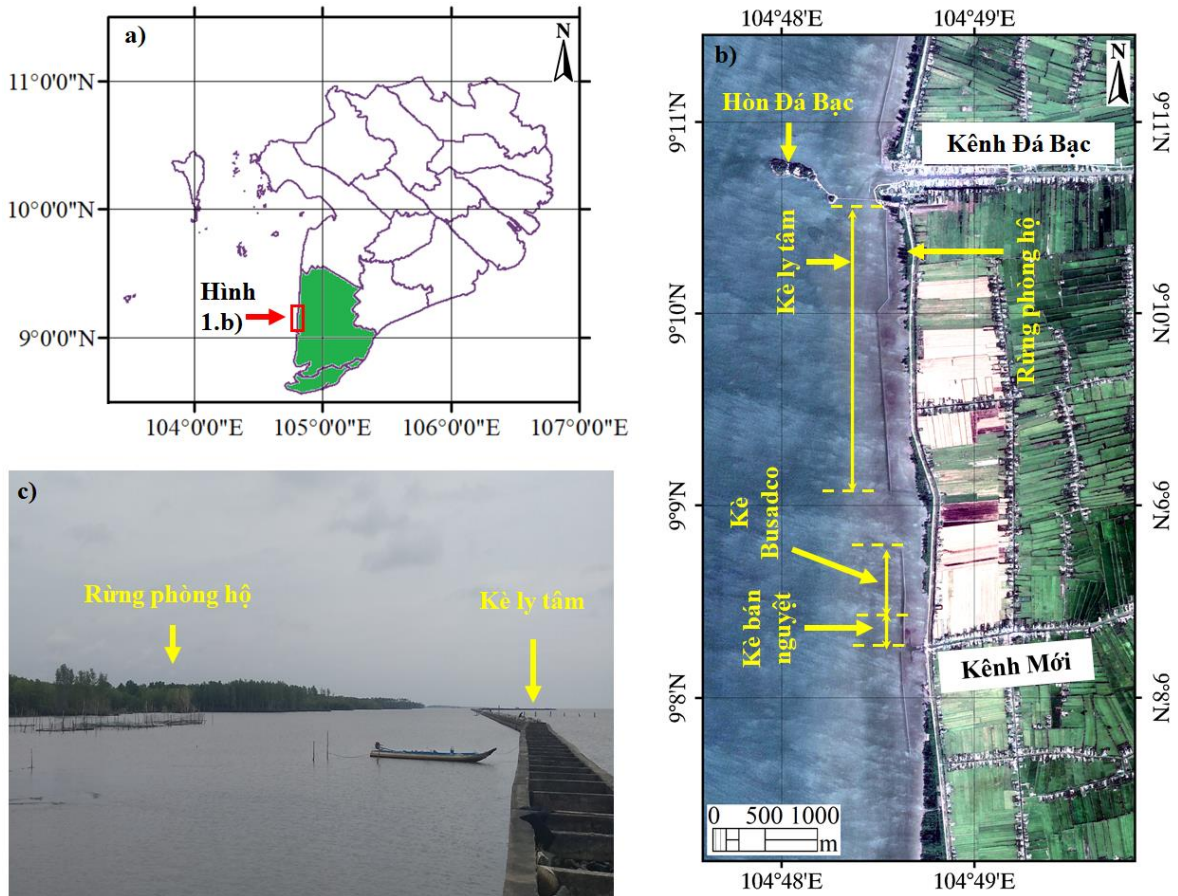
1. Mở đầu

Cà Mau là một tỉnh cực Nam của Việt Nam và Đồng bằng sông Cửu Long (ĐBSCL). Đây là một vùng đất trũng với phần lớn diện tích có cao độ dưới +1,5 m [1]. Ba mặt của tỉnh Cà Mau được bao phủ bởi Biển Đông và Vịnh Thái Lan. Cà Mau có 240,4 km đường bờ biển [2] và 187.553 ha rừng ngập mặn [3]. Trong đó, bờ biển của Cà Mau cấu tạo chủ yếu bởi đất sét và bùn với hình thái đường bờ chịu tác động chủ yếu của sóng (wave-dominated coast) [2]. Trong những thập kỷ gần đây, xói lở bờ biển và mất dần diện tích rừng phòng hộ đang là một vấn đề nghiêm trọng xảy ra ở Cà Mau. Cụ thể, chiều dài đoạn xói lở bờ biển Tây đã kéo dài 50 km từ Kiên Giang đến Cà Mau [4]. Trước tình trạng sạt lở bờ biển đang diễn ra ngày càng nghiêm trọng, một tuyến kè biển dọc theo bờ biển Tây đã được xây dựng nhằm mục đích giảm tác động của sóng và phục hồi lại bãi biển (Hình 1). Có ba loại kết cấu chính trong tuyến kè biển này là kè cọc ly tâm, kè Busadco và kè bán nguyệt với chiều dài tổng

cộng từ Hòn Đá Bạc đến cửa Kênh Mới khoảng 5 km. Trong đó, kè bán nguyệt được hoàn thành vào năm 2017 và cả tuyến kè hiện hữu được hoàn thành vào năm 2019.

Trong những năm gần đây, đã có một số công trình nghiên cứu về tuyến kè biển Tây như đánh giá ổn định của tuyến kè bán nguyệt dài 180 m bằng phân tích ổn định lật, trượt và quan trắc lún kết hợp với mô hình phân tử hữu hạn [5]; đánh giá hiệu quả giảm sóng và tạo bãi của đê trụ rồng [6]; đánh giá hiệu quả giảm sóng của kè Busadco tại biển Đông và biển Tây tỉnh Cà Mau bằng phương pháp quan trắc số liệu sóng trước và sau công trình kết hợp với phương pháp chụp bản đồ từ nguồn ảnh Google earth [7]; đánh giá hiệu quả giảm sóng và tạo bãi của kè cọc ly tâm bằng phương pháp khảo sát số liệu sóng và hàm lượng bùn cát lơ lửng [8–9]. Hiện tại, chưa có một nghiên cứu tổng thể đánh giá hiệu quả giảm sóng của cả ba loại kè biển trong tuyến kè biển Tây. Vì vậy, mục tiêu của nghiên cứu này là đánh giá diễn biến đường bờ biển sử dụng ảnh Landsat và Google Earth để quan sát diễn biến đường bờ biển Tây trong phạm vi 5 km và hiệu quả giảm sóng của các công trình giảm sóng tại bờ biển Tây tỉnh Cà Mau theo số liệu sóng được đo đạc trực tiếp tại hai vị trí (trong và ngoài kè) của từng loại kè (kè ly tâm, kè Busadco và kè bán nguyệt).

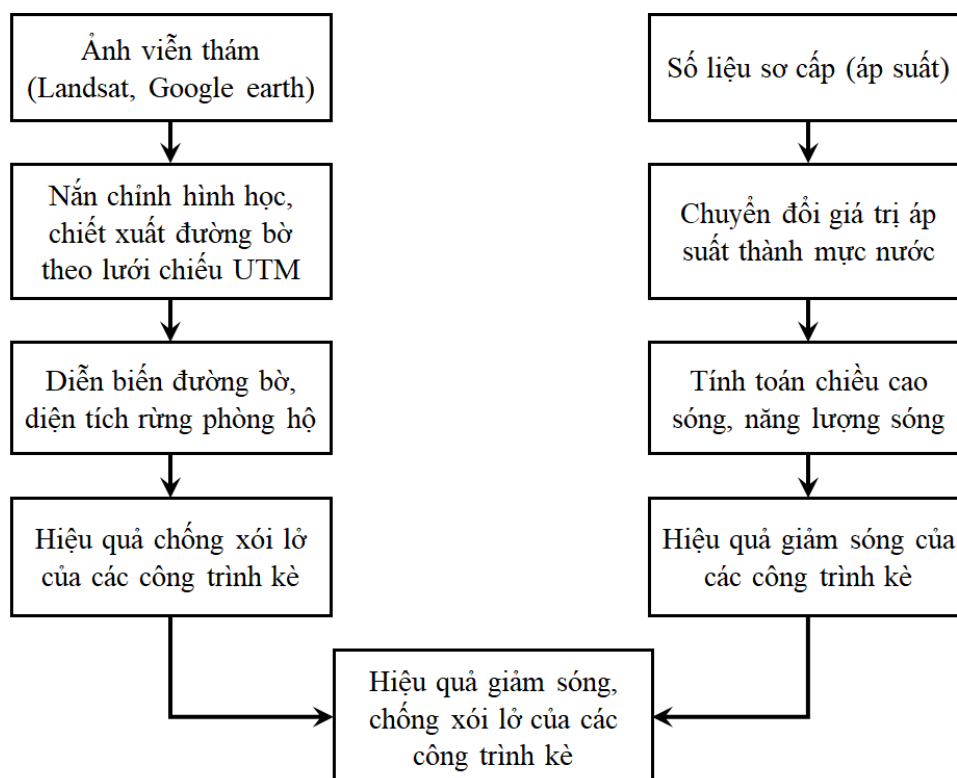
Để ứng phó với những thách thức trong việc phòng chống sạt lở bờ biển Tây, tỉnh Cà Mau trong thời gian qua đã áp dụng thử nghiệm nhiều giải pháp công trình để bảo vệ bờ biển, bảo vệ đê biển như giải pháp kè bằng cọc ly tâm, kè Busadco và kè bán nguyệt. Qua quan sát thực tế cho thấy các giải pháp này bước đầu đã cho thấy một số ưu điểm so với các loại khác. Tuy nhiên, chưa có nghiên cứu quan trắc để đánh giá mức độ giảm sóng qua các dạng kè cũng như hiệu quả tạo bồi phía trong kè cho các tuyến kè giảm sóng tại ĐBSCL nói chung và ba loại kè biển Tây tỉnh Cà Mau nói riêng. Do đó, nghiên cứu này tập trung phân tích hiệu quả giảm sóng và tạo bãi của tuyến kè dài tổng cộng khoảng 5 km từ Kênh Đá Bạc đến cửa Kênh Mới với ba loại kết cấu kè theo thứ tự từ Bắc xuống Nam là kè ly tâm, kè Busadco và kè bán nguyệt (Hình 1).



Hình 1. Khu vực nghiên cứu.

2. Phương pháp nghiên cứu

Phương pháp nghiên cứu được mô tả như trong sơ đồ trên Hình 2.



Hình 2. Sơ đồ cấu trúc các bước nghiên cứu.

2.1. Phân tích ảnh viễn thám

Ảnh vệ tinh Landsat và ảnh Google earth được sử dụng kết hợp để đánh giá diễn biến đường bờ và diện tích rừng phòng hộ khu vực nghiên cứu. Trong đó, ảnh Google earth có độ phân giải cao được sử dụng làm chuẩn để đánh giá độ tin cậy của kết quả phân tích từ ảnh Landsat có độ phân giải thấp hơn (trung bình 30 m/pixel).

- Ảnh Landsat: Đối với ảnh Landsat, các ảnh này đã được nắn chỉnh về cùng hệ tọa độ trong lưới chiếu UTM nên trong quá trình phân tích không cần thực hiện nắn chỉnh hình học mà chỉ thực hiện việc giải đoán đường bờ. Ảnh vệ tinh Landsat 5 và 8 từ năm 2000 đến năm 2020 được sử dụng để đánh giá biến động đường bờ và diện tích rừng phòng hộ dọc theo tuyến kè. Phương pháp tách ranh giới nước–đất liền được thực hiện theo các nghiên cứu trước đây [10–11]. Cụ thể, chỉ số nước khác biệt chuẩn hóa NDWI được sử dụng để giải đoán đường bờ biển cho các ảnh Landsat với độ chính xác có thể đạt đến 90,48% [12] theo công thức [13]:

$$NDWI = \frac{GREEN - NIR}{GREEN + NIR} \quad (1)$$

Trong đó GREEN là kênh ánh sáng lục và NIR là kênh cận hồng ngoại. Đối với ảnh Landsat 5, GREEN là kênh 2 và NIR là kênh 4 [14] nên ta có:

$$NDWI = \frac{\text{Kênh 2} - \text{Kênh 4}}{\text{Kênh 2} + \text{Kênh 4}} \quad (2)$$

Đối với ảnh Landsat 8, GREEN là kênh 3 và NIR là kênh 5 [15] nên ta có:

$$NDWI = \frac{\text{Kênh 3} - \text{Kênh 5}}{\text{Kênh 3} + \text{Kênh 5}} \quad (3)$$

Phần mềm ArcGIS được sử dụng để phân loại ảnh chỉ số nước thành vùng đất và nước sử dụng công cụ Reclassify. Dữ liệu raster vùng đất và nước được chuyển thành các Polygon và lưu dưới dạng tập tin .dwg. Số liệu về các ảnh Landsat được trình bày trong Bảng 1.

Bảng 1. Số liệu ảnh Landsat.

Thời gian	Vệ tinh	Bộ cảm	Độ phân giải (m)	Tỷ lệ mây (%)	Hệ tọa độ
10/03/2000	Landsat 5	TM	30	13,00	UTM
08/01/2001	Landsat 5	TM	30	5,00	UTM
16/12/2003	Landsat 5	TM	30	34,00	UTM
02/02/2004	Landsat 5	TM	30	2,00	UTM
19/01/2005	Landsat 5	TM	30	1,00	UTM
07/02/2006	Landsat 5	TM	30	4,00	UTM
02/06/2007	Landsat 5	TM	30	5,00	UTM
13/02/2008	Landsat 5	TM	30	9,00	UTM
14/01/2009	Landsat 5	TM	30	0,00	UTM
28/07/2010	Landsat 5	TM	30	28,00	UTM
29/06/2011	Landsat 5	TM	30	20,00	UTM
27/12/2013	Landsat 8	OLI_TIRS	30	17,32	UTM
28/01/2014	Landsat 8	OLI_TIRS	30	10,72	UTM
21/04/2015	Landsat 8	OLI_TIRS	30	0,02	UTM
19/02/2016	Landsat 8	OLI_TIRS	30	0,25	UTM
20/01/2017	Landsat 8	OLI_TIRS	30	12,67	UTM
12/03/2018	Landsat 8	OLI_TIRS	30	7,42	UTM
27/02/2019	Landsat 8	OLI_TIRS	30	5,29	UTM
13/01/2020	Landsat 8	OLI_TIRS	30	6,38	UTM

- Ảnh Google earth: Các ảnh chất lượng cao được tải về từ phần mềm Google earth cũng được sử dụng để so sánh với kết quả giải đoán của ảnh Landsat nhằm đánh giá độ tin cậy của việc sử dụng ảnh Landsat. Các ảnh Google earth được tải về có độ phân giải 1,0 m. Số liệu về ảnh Google earth được trình bày trong Bảng 2.

Bảng 2. Số liệu ảnh Google earth.

Thời gian	Độ phân giải (m)	Hệ tọa độ
03/02/2001	1,0	UTM
03/11/2013	1,0	UTM
13/01/2015	1,0	UTM
31/10/2018	1,0	UTM
23/01/2020	1,0	UTM

Để đảm bảo độ phân giải của ảnh Google earth, khu vực nghiên cứu được chia thành 12 khung ảnh nhỏ. Các khung ảnh sau khi tải về sẽ được gán tọa độ bằng phần mềm ArcGIS và ghép lại với nhau để tạo thành một khung ảnh lớn bao phủ toàn bộ tuyến kè bằng chức năng Mosaic trong phần mềm ENVI. Vì ảnh tải về từ phần mềm Google earth không cùng khung hình học nên các ảnh này được nắn chỉnh hình học bằng chức năng Registration trong bộ công cụ Map của ENVI trước khi tiến hành phân tích giải đoán đường bờ. Sai số trung bình bình phương (RMSE) được sử dụng để đánh giá độ chính xác của việc nắn chỉnh ảnh theo công thức:

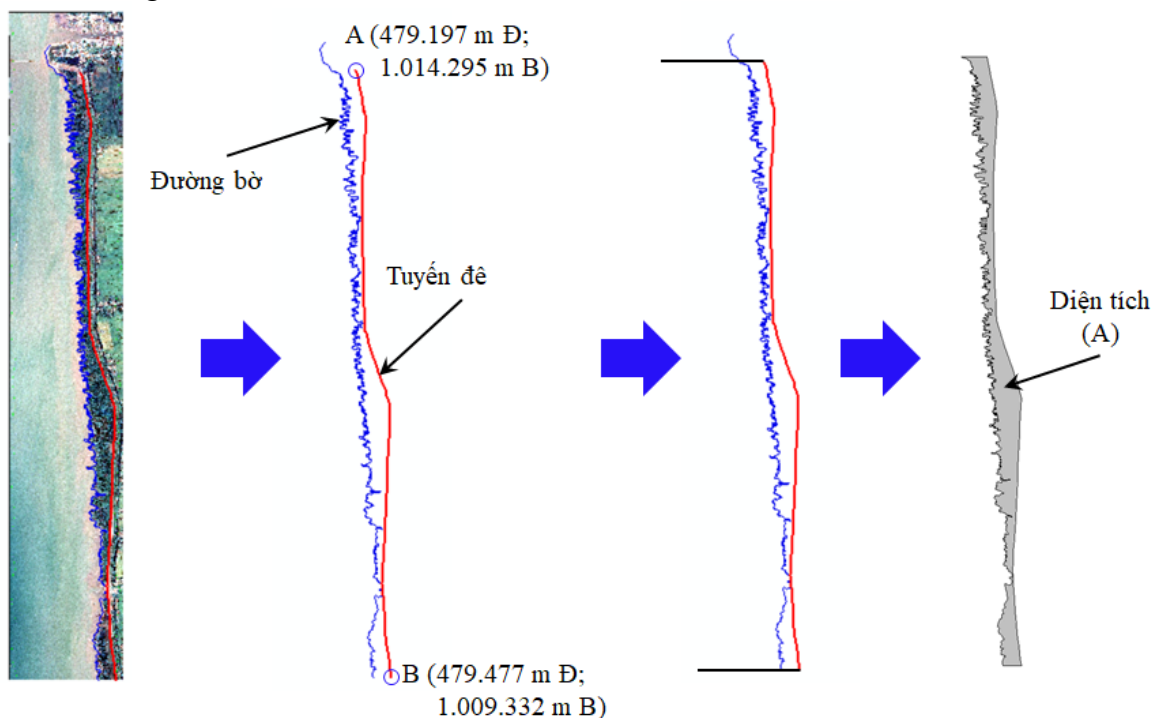
$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - y_i)^2}{n}} \tag{4}$$

Trong đó y_i là tọa độ điểm khống chế thứ i ; \hat{y}_i là giá trị ước đoán bằng mô hình hồi quy tuyến tính tại điểm khống chế thứ i , và \bar{y} là giá trị trung bình cộng của tất cả các giá trị y_i .

Ảnh tải về từ Google earth là ảnh toàn sắc nên không thể sử dụng các phương pháp phân loại kiểm định hoặc không kiểm định để giải đoán đường bờ một cách tự động. Tuy nhiên, ảnh Google earth có ưu điểm là độ phân giải cao nên có thể dễ dàng quan sát được các chi tiết trên ảnh (công trình, đường giao thông, vùng nước...) bằng mắt thường. Vì vậy, nghiên cứu này sử dụng phương pháp thủ công để chiết xuất đường bờ từ các ảnh Google earth [16]. Độ chính xác của phương pháp chiết xuất đường bờ một cách thủ công được thảo luận lần đầu tiên vào năm 1956 [17]. Đây là phương pháp phụ thuộc rất nhiều vào kinh nghiệm của kỹ thuật viên và kiến thức của kỹ thuật viên về khu vực nghiên cứu [18]. Theo [19], sai số giải đoán đường bờ bằng phương pháp thủ công sử dụng ảnh toàn sắc IKONOS có độ phân giải xấp xỉ 1,0 m dao động trong khoảng từ 2,0–4,0 m.

- Tính toán sự thay đổi diện tích rừng phòng hộ

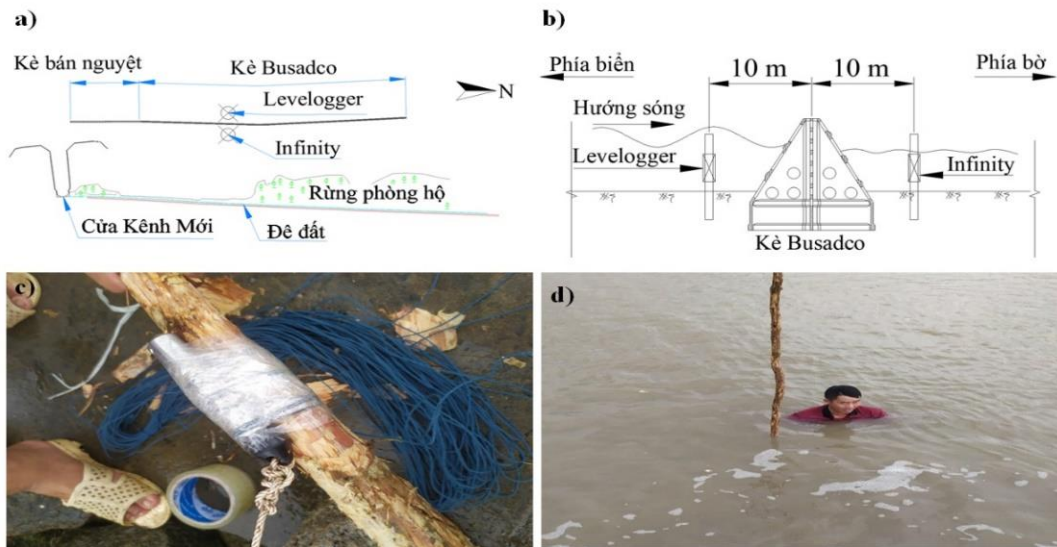
Cùng với việc đánh giá diễn biến đường bờ (đại rừng phòng hộ), diện tích rừng phòng hộ qua các năm cũng được tính toán để đánh giá biến động diện tích rừng phòng hộ và bước đầu đánh giá hiệu quả ngăn xói lở bờ biển của các công trình kè. Diện tích rừng phòng hộ được tính toán dựa vào bốn đường biên bao gồm đường bờ, tuyến đê phía sau rừng phòng hộ và hai đường thẳng song song nối điểm đầu và điểm cuối tuyến đê với đường bờ. Tuyến đê được giới hạn bởi hai điểm A (104°48,639' E; 9°10,549' N) và B (104°48,793' E; 9°7,855' N) như trong Hình 3.



Hình 3. Phương pháp tính diện tích rừng phòng hộ.

2.2. Số liệu sóng

- Công tác chuẩn bị: Hai thiết bị đo mực nước Levelogger® 5 Junior của hãng Solinst (Canada) và INFINITY-WH AWH-USB của hãng JFE Advantech (Nhật Bản) được sử dụng để đo chiều cao sóng. Các thiết bị được cố định vào cây tràm và được đặt tại hai vị trí cách đều tâm tuyến kè 10 m về phía biển và phía bờ. Tại phía biển, thiết bị đo Levelogger® 5 Junior được sử dụng và đặt ở cao trình cách mặt đất tự nhiên khoảng 1,0 m. Tại phía bờ, thiết bị INFINITY-WH AWH-USB được sử dụng và đặt ở cao trình xấp xỉ -1,0 m (cách mặt đất tự nhiên 0,2 m). Số liệu mực nước được ghi nhận với chu kỳ 01 s trong ngày 15/10/2020. Công tác lắp đặt thiết bị đo được thực hiện bởi hai thợ lặn chuyên nghiệp người bản địa. Sơ họa mặt bằng bố trí thiết bị đo như Hình 4.



Hình 4. Bố trí thiết bị đo mực nước: (a) Sơ họa mặt bằng bố trí thiết bị đo; (b) Mặt cắt; (c) Cố định thiết bị Levellogger vào cây tràm; (d) Lắp đặt thiết bị đo vào vị trí.

- Xử lý số liệu: Số liệu đo đặc mực nước tại các vị trí trước và sau công trình giảm sóng được xử lý để xác định chiều cao sóng theo [20]. Để thuận tiện cho việc tính toán, quy trình xử lý dữ liệu đã được lập trình thành các hàm trong ngôn ngữ lập trình Matlab và R và có thể tải về miễn phí từ các trang web của các tác giả [21].

2.3. Đánh giá hiệu quả giảm sóng của các công trình kè

Hiệu quả giảm sóng được đánh giá theo TCVN 12261:2018 [22]. Chiều cao của sóng biển ở khu vực phía sau công trình giảm sóng, ký hiệu là H_t , được xác định theo công thức:

$$H_t = K_{tr} \times H_{sp} \tag{5}$$

Trong đó H_{sp} là chiều cao của sóng biển phía trước công trình (m); K_{tr} là hệ số truyền sóng. K_{tr} phụ thuộc vào khoảng cách từ đỉnh công trình tới mực nước biển thiết kế (h_c) và chiều cao sóng biển ở phía trước công trình (H_{sp}).

Hiệu quả giảm sóng được tính theo công thức:

$$\varepsilon = (1 - K_{tr}) \times 100\% \tag{6}$$

Các trường hợp xem xét tính toán mức độ giảm sóng dựa trên các kết quả đo đạc thực tế cho ba trường hợp: (a) Trung bình 1/10 sóng lớn nhất ($1/10 h_{max}$); (b) Trung bình 1/3 sóng lớn nhất ($1/3 h_{max}$); và (c) Sóng trung bình (h_{tb}). Năng lượng sóng trước và sau công trình cũng được tính toán để đánh giá hiệu quả giảm năng lượng sóng. Năng lượng sóng toàn phần được xác định theo công thức:

$$E = E_p + E_d = \frac{1}{8} \times \rho \times g \times H^2 \tag{7}$$

Trong đó E là năng lượng toàn phần của sóng, E_p là thế năng của sóng; E_d là động năng của sóng; ρ là khối lượng riêng nước biển (kg/m^3); g là gia tốc trọng trường (m/s^2) và H là chiều cao sóng lấy trung bình của $1/10 h_{max}$ (m).

Hiệu quả giảm năng lượng sóng được tính theo công thức:

$$K_{gs} = \left(1 - \frac{E_s}{E_t} \right) \times 100 \tag{8}$$

Trong đó K_{gs} là phần trăm giảm sóng, E_s là năng lượng sóng sau kè; E_t là năng lượng sóng trước kè.

3. Kết quả và thảo luận

3.1. Kết quả nắn chỉnh hình học ảnh Google earth

Kết quả nắn chỉnh hình học ảnh Google earth được thể hiện trong Bảng 3. Số liệu các điểm khống chế dùng để nắn chỉnh ảnh cũng được trình bày. Tất cả các ảnh đều có số lượng điểm khống chế mặt đất bằng 10 trừ ảnh chụp năm 2001 vì tại năm 2001 có rất ít công trình được xây dựng nên số lượng điểm khống chế bị hạn chế so với các ảnh chụp trong những năm gần đây. Có thể nhận thấy sai số nắn chỉnh hình học các ảnh đều thấp hơn 1,0 m ngoại trừ ảnh chụp ngày 03/02/2001 có sai số bằng 1,1 m vì chất lượng các điểm khống chế trong ảnh chụp ngày 03/02/2001 không được tốt như các ảnh chụp gần đây. Sai số của ảnh chụp ngày 23/01/2020 bằng 0 vì ảnh này được chọn làm ảnh gốc để nắn chỉnh các ảnh khác về khung hình học của ảnh này.



Hình 5. Sơ đồ các điểm khống chế.

Bảng 3. Sai số nắn chỉnh hình học ảnh.

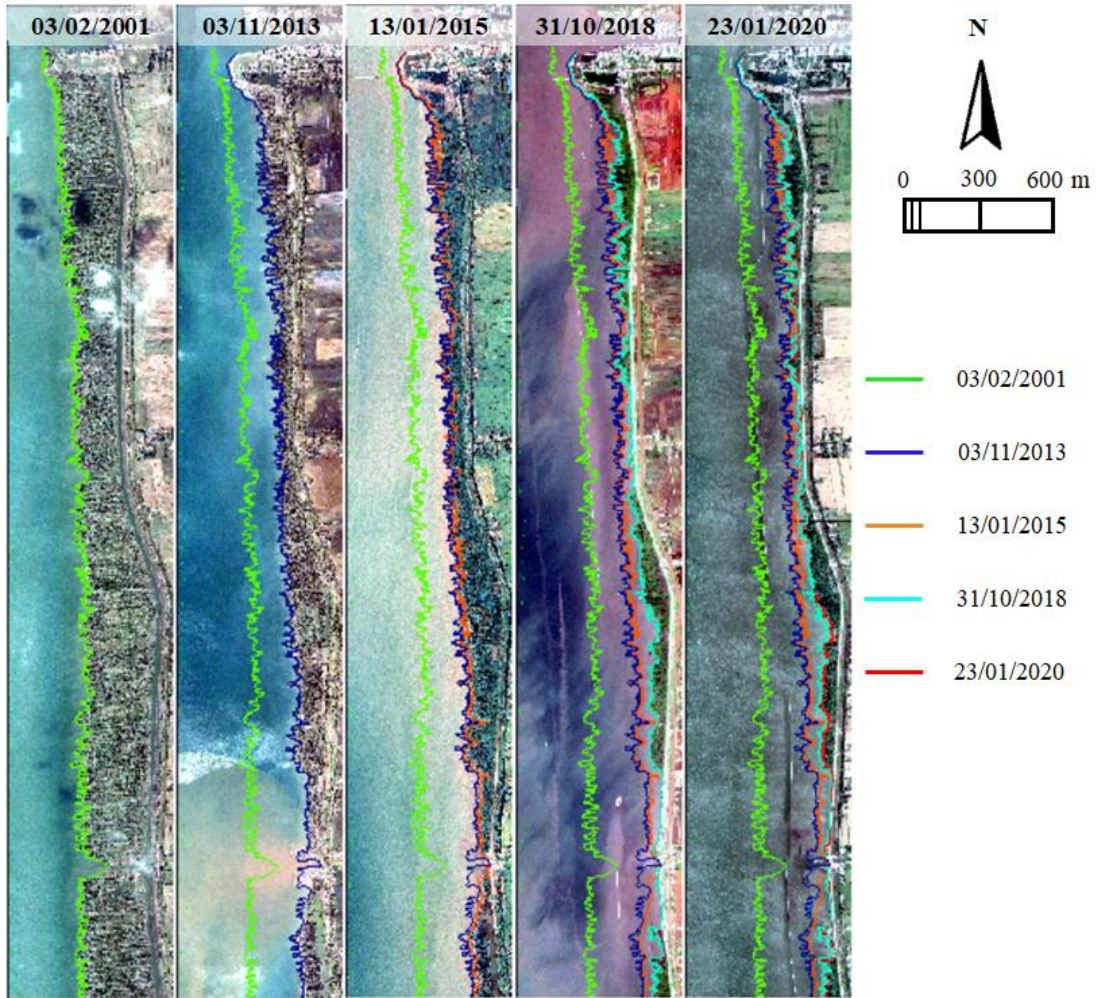
Thời gian	Số điểm khống chế mặt đất	RMSE (m)
03/02/2001	7	1,10
03/11/2013	10	0,47
13/01/2015	10	0,32
31/10/2018	10	0,31
23/01/2020	10	0,00

3.2. Biến động đường bờ và diện tích rừng phòng hộ

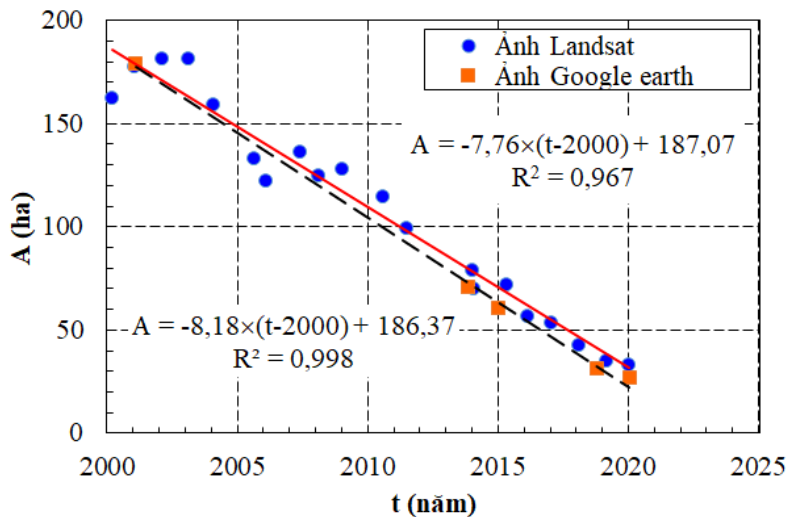
Biến động đường bờ biển khu vực nghiên cứu được trình bày như trong Hình 6. Có thể nhận thấy trong năm 2001, bề rộng rừng phòng hộ tại khu vực nghiên cứu vẫn còn rất lớn. Đến năm 2013, một phần lớn rừng phòng hộ tại khu vực này đã biến mất. Điều này thể hiện bằng biến động rất lớn của vị trí đường bờ. Cụ thể, so với năm 2001, đường bờ năm 2013 đã bị xói lở nghiêm trọng từ 200 m đến 300 m. Trong giai đoạn từ 2013 đến 2015, đường bờ tiếp tục bị xói lở tuy nhiên mức độ xói lở không nghiêm trọng. Giai đoạn 2015-2018, đường bờ lại tiếp tục xói lở nghiêm trọng với vị trí xói lở lớn nhất lên đến 100 m. Từ năm 2018 đến năm 2020, vị trí đường bờ không có nhiều biến động. Tuyến kè bán nguyệt được hoàn thiện vào năm 2017 và toàn bộ tuyến kè biển Tây tại khu vực nghiên cứu được hoàn thiện vào năm 2019. Đây có thể là nguyên nhân làm giảm mức độ xói lở đường bờ giữa năm 2018 và 2020.

Biến động diện tích rừng phòng hộ giai đoạn 2000-2020 được trình bày như trong Hình 7 với cả hai chuỗi dữ liệu giải đoán từ ảnh Landsat và ảnh Google earth. Ảnh tải về bằng công cụ Google earth có độ phân giải tốt hơn được sử dụng để làm chuẩn. Có thể nhận thấy diện tích rừng phòng hộ đã giảm khoảng 160 ha trong hai mươi năm qua với vận tốc giảm bằng 7,76 ha/năm đối với ảnh Landsat và 8,18 ha/năm đối với ảnh Google earth. Như vậy, sai số giữa việc sử dụng ảnh Landsat và ảnh Google earth trong tính toán vận tốc thay đổi diện tích rừng phòng hộ là 5%. Điều này chứng tỏ độ tin cậy của việc sử dụng ảnh Landsat.

Trong chuỗi số liệu ảnh Google earth, có thể nhận thấy giữa các năm 2018 và 2020, vận tốc suy giảm diện tích rừng phòng hộ có xu hướng giảm. Việc hoàn thiện xây dựng tuyến kè bán nguyệt trong năm 2017 và tuyến kè ly tâm trong năm 2019 có thể là nguyên nhân làm chậm quá trình xói lở rừng phòng hộ. Tuy nhiên, đây chỉ là kết quả quan sát dựa trên dữ liệu ảnh trong hai năm 2018 và 2020. Cần tiếp tục thu thập ảnh và giải đoán cho các năm tiếp theo mới có cơ sở đánh giá chính xác hiệu quả chống xói lở bờ biển của các loại kè.



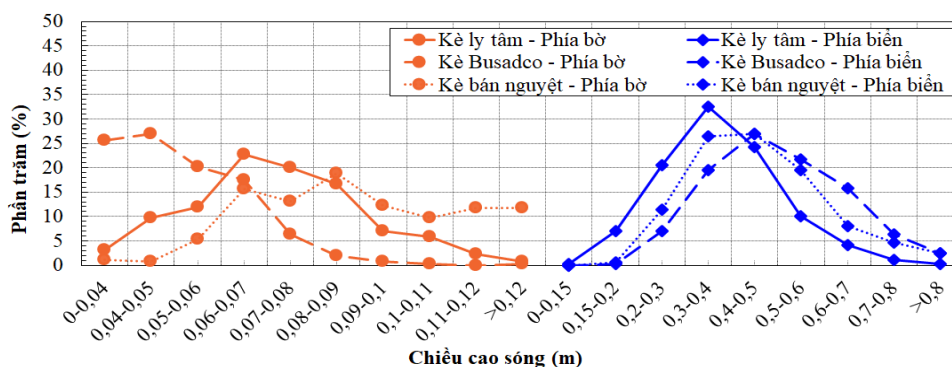
Hình 6. Biến động đường bờ khu vực nghiên cứu.



Hình 7. Biến động diện tích rừng phòng hộ.

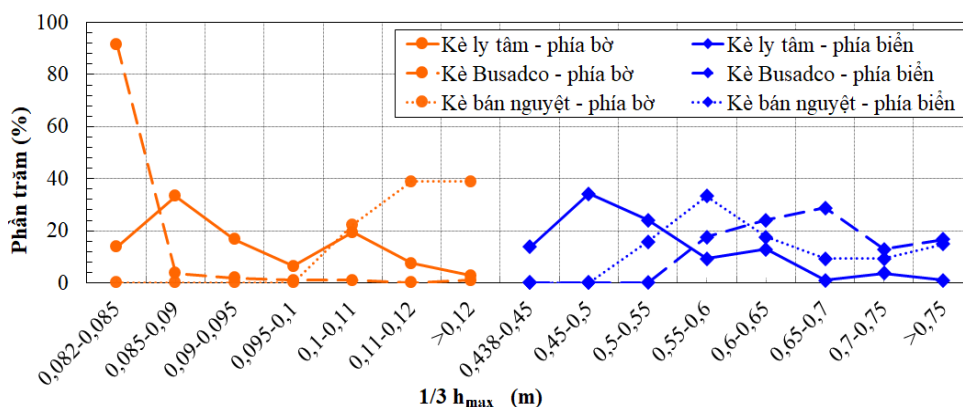
3.3. Phân tích và đánh giá hiệu quả giảm sóng

Chiều cao sóng và phần trăm tương ứng của sóng phía biển (phía trước) và phía bờ (phía sau) của các công trình kè giảm sóng được trình bày như trên Hình 8. Có thể nhận thấy phía trước kè ly tâm, sóng có chiều cao từ 0,3 m đến 0,4 m chiếm tỷ lệ lớn nhất và phía sau kè ly tâm, sóng có chiều cao từ 0,06 m đến 0,07 m chiếm đa số. Đối với kè Busadco, sóng phía trước công trình có chiều cao từ 0,4 m đến 0,5 m chiếm đa số và sóng phía sau công trình có chiều cao từ 0,04m đến 0,05 m chiếm đa số. Đối với kè bán nguyệt, sóng phía trước công trình có chiều cao từ 0,4 m đến 0,5 m chiếm đa số và sóng phía sau công trình có chiều cao từ 0,08m đến 0,09 m chiếm đa số.



Hình 8. Biểu đồ quan hệ chiều cao và phần trăm sóng trước và sau kè ly tâm, kè Busadco và kè bán nguyệt.

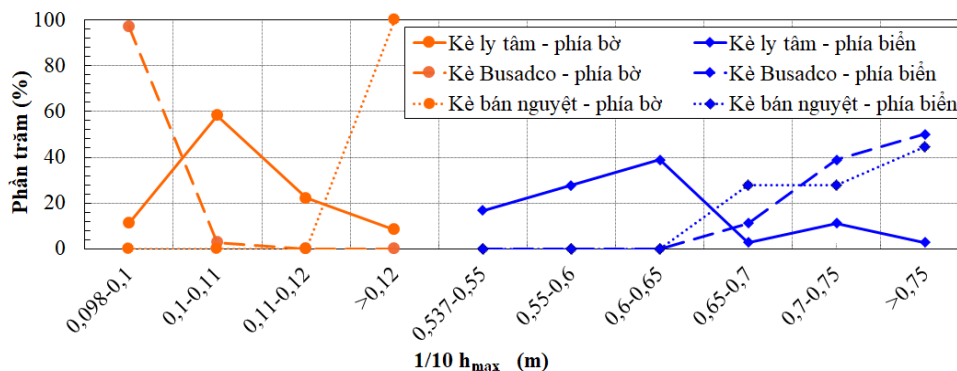
Chiều cao sóng ứng với $1/3 h_{max}$ và phần trăm tương ứng được trình bày trên Hình 9. Đối với kè ly tâm, sóng phía trước công trình có chiều cao từ 0,45 m đến 0,50 m chiếm tỷ lệ cao nhất và sóng phía sau công trình có chiều cao từ 0,085 m đến 0,090 m chiếm tỷ lệ cao nhất. Đối với kè Busadco, sóng phía trước công trình có chiều cao từ 0,65 m đến 0,70 m chiếm tỷ lệ cao nhất và sóng phía sau công trình có chiều cao từ 0,082 m đến 0,085 m chiếm tỷ lệ cao nhất. Đối với kè bán nguyệt, sóng phía trước công trình có chiều cao từ 0,55 m đến 0,60 m chiếm tỷ lệ cao nhất và sóng phía sau công trình có chiều cao từ 0,11 m đến trên 0,12 m chiếm tỷ lệ cao nhất. Có thể nhận thấy hiệu quả giảm sóng ứng với sóng có chiều cao $1/3 h_{max}$ của kè Busadco là hiệu quả nhất trong ba loại kè vì toàn bộ sóng sau khi truyền qua kè Busadco đều có chiều cao từ 0,082 m đến 0,085 m.



Hình 9. Biểu đồ quan hệ chiều cao và phần trăm sóng của $1/3 h_{max}$ trước và sau kè ly tâm, kè Busadco và kè bán nguyệt.

Chiều cao sóng ứng với $1/10 h_{max}$ và phần trăm tương ứng được trình bày trên Hình 10. Đối với kè ly tâm, sóng phía trước công trình có chiều cao từ 0,6 m đến 0,65 m chiếm tỷ lệ cao nhất và sóng phía sau công trình có chiều cao từ 0,1 m đến 0,11 m chiếm tỷ lệ cao nhất.

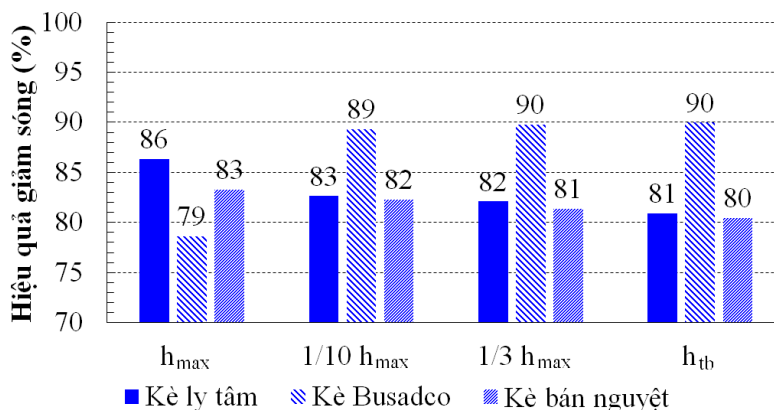
Đối với kè Busadco, sóng phía trước công trình có chiều cao trên 0,75 m chiếm tỷ lệ cao nhất và sóng phía sau công trình có chiều cao từ 0,098 m đến 0,1 m chiếm tỷ lệ cao nhất. Đối với kè bán nguyệt, sóng phía trước công trình có chiều cao trên 0,75 m chiếm tỷ lệ cao nhất và sóng phía sau công trình có chiều cao trên 0,12 m chiếm tỷ lệ cao nhất. Có thể nhận thấy hiệu quả giảm sóng ứng với sóng có chiều cao $1/10 h_{max}$ của kè Busadco là hiệu quả nhất trong ba loại kè vì toàn bộ sóng sau khi truyền qua kè Busadco đều có chiều cao từ 0,098 m đến 0,1 m.



Hình 10. Biểu đồ quan hệ chiều cao và phần trăm sóng của $1/10 h_{max}$ trước và sau kè ly tâm, kè Busadco và kè bán nguyệt.

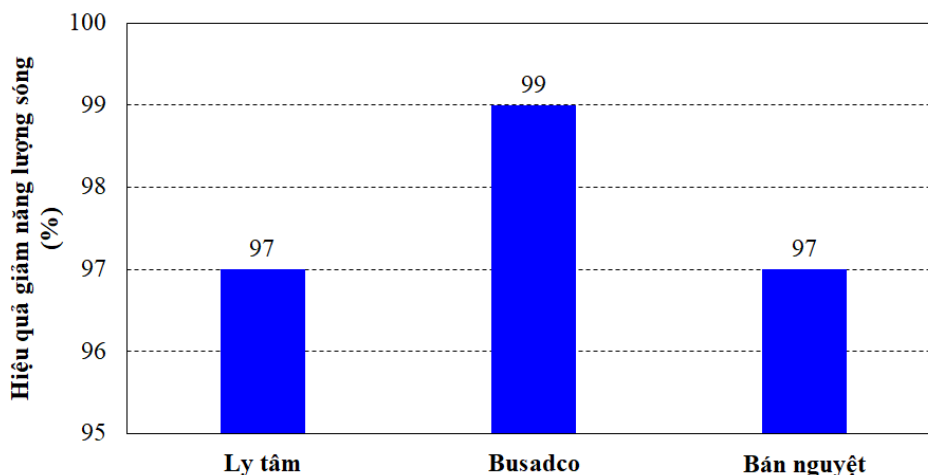
Hiệu quả giảm chiều cao sóng của các loại kè được trình bày trên Hình 11. Hiệu quả giảm chiều cao sóng được đánh giá với các chiều cao sóng trung bình (h_{tb}), $1/3 h_{max}$, $1/10 h_{max}$ và h_{max} . Hiệu quả giảm sóng của kè ly tâm tương ứng với các chiều cao sóng (h_{tb} , $1/3 h_{max}$, $1/10 h_{max}$ và h_{max}) lần lượt là 86%, 83%, 82% và 81%. Tương tự đối với kè Busadco lần lượt là 79%, 89%, 90% và 90%; và kè bán nguyệt lần lượt là 83%, 82%, 81%, và 80%.

Có thể nhận thấy kè ly tâm có hiệu quả giảm sóng tốt nhất đối với chiều cao sóng cao nhất (đạt hiệu quả 86%) và kè Busadco có hiệu quả giảm sóng tốt nhất đối với chiều cao sóng trung bình, $1/3 h_{max}$ và $1/10 h_{max}$ với hiệu quả giảm sóng tương ứng đều đạt gần 90%. Nhìn chung, các loại kè đều đạt hiệu quả giảm sóng trên 80% đối với tất cả các chiều cao sóng ngoại trừ kè Busadco có hiệu quả giảm sóng đối với h_{max} chỉ đạt 79%.



Hình 11. Biểu đồ thể hiện hiệu quả giảm chiều cao sóng kè ly tâm, kè Busadco và kè bán nguyệt.

Hiệu quả giảm năng lượng sóng của các loại kè được trình bày trên Hình 12. Có thể nhận thấy hiệu quả giảm năng lượng sóng của cả ba loại kè đều rất tốt khi đều đạt trên 95%. Cụ thể, kè ly tâm và kè bán nguyệt có hiệu quả giảm năng lượng sóng đạt 97% trong khi kè Busadco có hiệu quả giảm năng lượng sóng tốt nhất khi đạt đến 99%. Tuy nhiên, kết quả đánh giá này dựa trên dữ liệu đo đạc trong một khoảng thời gian ngắn nên cần quan trắc liên tục hoặc theo các mùa gió khác nhau để có đánh giá chính xác hơn về hiệu quả giảm sóng qua kè.



Hình 12. Biểu đồ thể hiện hiệu quả giảm năng lượng sóng kè ly tâm, kè Busadco và kè bán nguyệt.

4. Kết luận

Kết quả phân tích ảnh cho thấy bờ biển Tây tỉnh Cà Mau bị xói lở nghiêm trọng trong giai đoạn 2000-2020 với biến động rất lớn của đường bờ biển. Cụ thể, giai đoạn 2000-2013, đường bờ đã lấn sâu vào đất liền một đoạn gần 300 m và trong giai đoạn 2015-2018 đường bờ tiếp tục lấn vào đất liền một đoạn xấp xỉ 100 m. Kết quả phân tích chuỗi ảnh vệ tinh Landsat và Google earth cho thấy rừng phòng hộ khu vực nghiên cứu đang suy giảm với tốc độ lần lượt là 7,76 và 8,18 ha/năm. Các ảnh vệ tinh chỉ được thu thập đến năm 2020 trong khi tuyến kè mới chỉ hoàn thành năm 2019 nên chưa thể có kết luận chính xác về khả năng chống xói lở và phục hồi rừng phòng hộ của các tuyến kè. Cần tiếp tục theo dõi diễn biến đường bờ bằng ảnh vệ tinh trong các năm tiếp theo.

Kết quả phân tích hiệu quả giảm chiều cao sóng ứng với các chiều cao h_{max} , $1/3 h_{max}$, $1/10 h_{max}$ và h_{tb} của kè ly tâm lần lượt là 86%, 83%, 82% và 81%. Tương tự đối với kè Busadco lần lượt là 79%, 89%, 90% và 90%; và kè bán nguyệt lần lượt là 83%, 82%, 81%, và 80%. Kết quả nghiên cứu dựa trên dữ liệu đo đạc trong một khoảng thời gian ngắn nên chưa thể kết luận về hiệu quả cho toàn bộ các dạng kè này. Vì vậy, cần quan trắc liên tục hoặc theo các mùa gió khác nhau để có đánh giá chính xác hơn về hiệu quả giảm sóng qua kè.

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

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. Karlsrud, K.; Vangelsten, B.V.; Frauenfelder, R. Subsidence and Shoreline Retreat in the Ca Mau Province – Vietnam Causes, Consequences and Mitigation Options. *Geotech. Eng. J. SEAGS AGSSEA* **2017**, *48(1)*, 26–32.
2. GIZ. Integrated coastal protection and mangrove belt rehabilitation in the Mekong Delta. Integrated Coastal Management Programme (ICMP), 2016, pp. 236.
3. Vo, Q.T.; Kuenzer, C.; Oppelt, N. How remote sensing supports mangrove ecosystem service valuation: A case study in Ca Mau province, Vietnam. *Ecosyst. Serv.* **2015**, *14*, 67–75.

4. Li, X.; Liu, J.P.; Saito, Y.; Nguyen, V.L. Recent evolution of the Mekong Delta and the impacts of dams. *Earth Sci. Rev.* **2017**, *175*, 1–17.
5. Thai, T.V.; Ha, N.H.; Hung, P.D.; Ngoc, N.D.; Tam, N.T. Hollow Cylinder Breakwater for Dissipation of Wave Energy to Protect the West Coast of Ca Mau Province in Vietnam. Proceedings of Vietnam Symposium on Advances in Offshore Engineering 2018, 599–605.
6. Thái, T.V.; Hà, N.H.; Hưng, P.Đ.; Ngọc, N.D. Đê trụ rỗng - Giải pháp mới ngăn sạt lở bờ biển. *Khoa học & Công nghệ Việt Nam* **2018**, *9*, 36–38.
7. Nghĩa, N.V.; Minh, H.V.T.; Luận, T.C.; Tỷ, T.V. Đánh giá hiệu quả giảm sóng của kè Busadco: trường hợp nghiên cứu tại Biên Đông và Biên Tây tỉnh Cà Mau. *Tap chí xây dựng* **2020**, 198–205.
8. Le Xuan, T.; Tran Ba, H.; Le Manh, H.; Do Van, D.; Minh Nguyen, N.; Wright, D. P.; Bui, V.H.; Mai, S.T.; Tran Anh, D. Hydraulic performance and wave transmission through pile-rock breakwaters. *Ocean Eng.* **2020**, *218*, 1–13.
9. Luom, T.T.; Phong, N.T.; Anh, N.T.; Tung, N.T.; Tu, L.X.; Duong, T.A. Using Fine-Grained Sediment and Wave Attenuation as a New Measure for Evaluating the Efficacy of Offshore Breakwaters in Stabilizing an Eroded Muddy Coast: Insights from Ca Mau, the Mekong Delta of Vietnam. *Sustainability* **2021**, *13*(9), 1–17.
10. Tình, T.V.; Phong, D.H. Sử dụng ảnh viễn thám và GIS nghiên cứu biến động đường bờ biển khu vực mũi Cà Mau. *Tap chí Khí tượng Thủy văn* **2017**, *12*, 35–40.
11. Tiến, N.N.; Cường, Đ.H.; Ưu, Đ.V.; Sáo, N.T.; Tuấn, T.A.; Nam, L.Đ. Phân tích biến động đường bờ khu vực bờ biển cửa sông Hậu bằng tư liệu ảnh viễn thám. *Tap chí Khoa học và Công nghệ Biển* **2017**, *17*(4), 386–392.
12. El Kafrawy, S.B.; Basiouny, M.E.; Ghanem, E.A.; Taha, A.S. Performance Evaluation of Shoreline Extraction Methods Based on Remote Sensing Data. *J. Geogr. Environ. Earth Sci. Int.* **2017**, *11*(4), 1–18.
13. Xu, H. Extraction of Urban Built-up Land Features from Landsat Imagery Using a Thematic Oriented Index Combination Technique. *Photogramm. Eng. Remote Sens.* **2007**, *73*(12), 1381–1391.
14. Ji, L.; Zhang, L.; Wylie, B.K. Analysis of dynamic thresholds for the normalized difference water index. *Photogramm. Eng. Remote Sen.* **2009**, *75*(11), 1307–1317.
15. Loveland, T.R.; Irons, J.R. Landsat 8: The plans, the reality, and the legacy. *Remote Sens. Environ.* **2016**, *185*, 1–6.
16. Malarvizhi, K.; Kumar, S.V.; Porchelvan, P. Use of High Resolution Google Earth Satellite Imagery in Land use Map Preparation for Urban Related Applications. *Procedia Technololy.* **2016**, *24*, 1835–1842.
17. MCBETH, F.H. A method of shoreline delineation. *Photogramm. Eng.* **1956**, *22*(2), 400–405.
18. Boak, E.H.; Turner, I.L. Shoreline Definition and Detection: A Review. *J. Coastal Res.* **2005**, *21*(4), 688–703.
19. Li, R.; Di, K.; Ma, R. 3-D Shoreline Extraction from Ikonos Satellite Imagery. *Mar. Geod.* **2003**, *26*, 107–115.
20. Tucker M.J.; Pitt E.G.E. Waves in ocean engineering. Amsterdam: Elsevier, 2001, pp. 521.
21. Lyman, T.P.; Elsmore, K.; Gaylord, B.; Byrnes, J.E.K.; Miller, L.P. Open Wave Height Logger: An open source pressure sensor data logger for wave measurement. *Limnol. Oceanogr. Methods* **2020**, *18*(7), 335–345.
22. Bộ Khoa học và Công nghệ. TCVN 12261:2018 Công trình thủy lợi - Kết cấu bảo vệ bờ biển - Yêu cầu thiết kế hệ thống công trình giữ cát giảm sóng. 2018, tr. 55.

Assessment of wave reduction effectiveness of detached breakwaters along the West coast of Ca Mau Province

Nguyen Ngoc Thuan¹, Tran Van Ty^{2*}, Tran Van Hung², Huynh Thi Cam Hong², Ha Ngoc Nhan², Tran Hai Lam², Dinh Van Duy², Tran Khanh Hai³, Trinh Van Tuan³, Tran Minh Quang³

¹ IEE 24/7 Joint Stock Company; congtyiee24.7@gmail.com

² College of Engineering Technology, Can Tho University; tvty@ctu.edu.vn; tranvanhung@ctu.edu.vn; htchong@ctu.edu.vn; nhanb1705842@student.ctu.edu.vn; lamb1606132@student.ctu.edu.vn; dvduy@ctu.edu.vn

³ Department of Agriculture and Rural Development of Ca Mau province; trankhanhhaisd@gmail.com; tuan0917177478@gmail.com; tranminhquangkbtb@gmail.com

Abstract: The objective of this study is to assess the shoreline changes and wave reduction effectiveness of the detached breakwaters constructed along the West coast of Ca Mau province. First, the satellite images including Landsat and images downloaded by Google earth tool (Google earth images) were processed to monitor the temporal changes of shoreline positions. Waves in front and behind detached breakwaters were measured and analyzed to assess the wave reduction effectiveness of different types of breakwaters. The image analysis results show that the area of protection forest has been reduced seriously (about 160 ha) in the last 20 years at the rate of 8.18 and 7.76 ha/year for Landsat and Google earth images, respectively. The measured wave data shows that wave height reduction in terms of maximum wave height (h_{max}), $1/10 h_{max}$, $1/3 h_{max}$ and average wave height (h_{tb}), respectively for the piles-breakwater type are 86%, 83%, 82% and 81%; for the Busadco type are 79%, 89%, 90% and 90%; and for the semi-circle type are 83%, 82%, 81%, and 80%. The effectiveness of wave energy reduction of all three types of detached breakwaters is found over 95%. The analysis results are based on a short period of measured wave data, it is not possible to conclude on the effectiveness for all these breakwaters.

Keywords: West coast of Ca Mau province; Satellite images; Wave reduction effectiveness; Piles-breakwater; Semi-circle breakwater; Busadco breakwater.

Table of content

- 1** Tu, L.H.; Duy, D.V.; Tri, L.H.; An, N.T.; Minh, H.V.T.; Hong, H.T.C.; Ty, T.V. Analyzing the factors affecting the surface area change of Long Khanh island in Hong Ngu district, Dong Thap Province. *VN J. Hydrometeorol.* **2021**, 732, 1–12.
- 13** Tu, L.H.; Huyen, N.T.; Ha, P.T.; Phuong, D.N.D.; Nghia, N.T.; Hai, L.M.; Liem, N.D.; Anh, H.H.; Diep, P.G.; Loi, N.K. Application of SWAT model for zoning soil erosion and surface water resource in Gia Lai Province. *VN J. Hydrometeorol.* **2021**, 732, 13–27.
- 28** Trang, N.T.; Lam, T.H.; Cuong, T.M.; Ngoc, N.A.; Thanh, V.T.; Hai, L.Q. Using Regional Ocean Modelling System (ROMS) to reproduce flow field in Tonkin Gulf. *VN J. Hydrometeorol.* **2021**, 732, 28–37.
- 38** Minh, H.V.T.; Tam, N.T.T.; Nhu, D.T.H.; Thanh, N.T.; Ty, T.V. Assessment of the surface water quality and effectiveness of triple-glutinous rice cropping system in the full-dike protected area of Bac Vam Nao, An Giang Province. *VN J. Hydrometeorol.* **2021**, 732, 38–48.
- 49** Lan, N.T.M.; Dung, T.D.; Quang, C.N.X.; Giang, N.N.H.; Hoa, H.V.; Tan, L.V. Assessing the applicability of sustainable urban drainage systems in Binh Chanh district, Ho Chi Minh City. *VN J. Hydrometeorol.* **2021**, 732, 49–64.
- 65** Dao, N.V.; Tu, V.T.; Thai, T.H.; Dang, N.M. Risk Assessment due to Salinity Intrusion in Coastal Plains of Nam Dinh and Thai Binh. *VN J. Hydrometeorol.* **2021**, 732, 65–78.
- 79** Don, N.C.; Nga, P.T.; Thien, T.D. Identifying criteria for Vietnam water resource inventory and an application to the Ba River basin. *VN J. Hydrometeorol.* **2021**, 732, 79–92.
- 93** Thuan, N.N.; Ty, T.V.; Hung, T.V.; Hong, H.T.C.; Nhan, H.N.; Lam, T.H.; Duy, D.V.; Hai, T.K.; Tuan, T.V.; Quang, T.M. Assessment of wave reduction effectiveness of detached breakwaters along the west coast of Ca Mau Province. *VN J. Hydrometeorol.* **2021**, 732, 93–105.