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 734
02-2022

Q. TỔNG BIÊN TẬP
TS. Đoàn Quang Trí

1. GS. TS. Trần Hồng Thái
2. GS. TS. Trần Thục
3. GS. TS. Mai Trọng Nhuận
4. GS. TS. Phan Văn Tân
5. GS. TS. Nguyễn Kỳ Phùng
6. GS. TS. Phan Đình Tuấn
7. GS. TS. Nguyễn Kim lợi
8. PGS. TS. Nguyễn Thanh Sơn
9. PGS. TS. Nguyễn Văn Thắng
10. PGS. TS. Dương Văn Khảm
11. PGS. TS. Dương Hồng Sơn
12. TS. Hoàng Đức Cường
13. TS. Bạch Quang Dũng
14. TS. Đoàn Quang Trí
15. PGS. TS. Mai Văn Khiêm
16. PGS. TS. Nguyễn Bá Thủy
17. TS. Tống Ngọc Thanh
18. TS. Đinh Thái Hưng
19. TS. Võ Văn Hòa
20. TS. Nguyễn Đắc Đồng
21. GS. TS. Kazuo Saito
22. GS. TS. Jun Matsumoto
23. GS. TS. Jaecheol Nam
24. TS. Keunyong Song
25. TS.. Lars Robert Hole
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 sản xuất và in bao bì Thiên Hà
ĐT: 0243.562.4399

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

Giá bán: 25.000 đồng

TẠP CHÍ KHÍ TƯỢNG THỦY VĂN
SỐ 741 - 9/2022

MỤC LỤC

Bài báo khoa học

1 **Nguyễn Phước Sinh, Nguyễn Trường Huy, Nguyễn Thế Hùng**: Tự động dò tìm bộ thông số tối ưu của mô hình thuỷ văn HEC–HMS bằng thuật toán SCE–UA

19 **Huỳnh Văn Hiệp, Huỳnh Hữu Trí, Nguyễn Thành Công, Ngô Gia Truyền**: Nghiên cứu nguyên nhân sạt lở bờ sông: Trường hợp nghiên cứu tỉnh Trà Vinh

29 **Nguyễn Duy Quang, Lê Viết Sơn, Bùi Tuấn Hải, Bùi Thế Văn, Trần Thị Thanh Dung**: Nghiên cứu xây dựng bản đồ ngập lụt lưu vực sông Bùi và vùng phụ cận

42 **Lương Huy Khanh, Nguyễn Quốc Luật, Trần Thị Trúc Ly, Lê Hải Trí, Trần Văn Tỷ, Huỳnh Trần Gia Thịnh, Huỳnh Vương Thu Minh**: Đánh giá hiện trạng hệ thống công trình thủy lợi và khả năng đáp ứng nhu cầu nước của các hồ chứa trong bối cảnh biến đổi khí hậu tại huyện Tri Tôn và Tịnh Biên, tỉnh An Giang

57 **Nguyễn Việt Hưng, Lê Thị Phương Trúc, Đặng Quang Thanh, Nguyễn Phương Đông, Trần Thành Công**: Xây dựng hệ thống dự báo chất lượng nước tự động trên kênh, rạch nội đô thành phố Hồ Chí Minh

75 **Nguyễn Hải Anh, Dư Văn Toán, Mai Kiên Định, Nguyễn Hoàng Anh, Bùi Thị Thủy**: Xây dựng chỉ số nhạy cảm đường bờ Vịnh Đà Nẵng áp dụng theo hướng dẫn NOAA về chỉ số nhạy cảm môi trường

85 **Nguyễn Bách Tùng, Đặng Đình Đức, Trần Ngọc Anh, Nguyễn Hồng Thủy, Đặng Thị Hồng Nhung, Phạm Thị Hồng Nhung, Vũ Minh Cường**: Đánh giá ảnh hưởng của hồ chứa Nước Trong đến hạ lưu sông Trà Khúc trong trường hợp khẩn cấp

98 **Tạ Hữu Chỉnh, Hoàng Phúc Lâm, Vũ Văn Thăng, Trương Bá Kiên**: Thử nghiệm khả năng dự báo số ngày nắng nóng trên lãnh thổ Việt Nam bằng mạng thần kinh nhân tạo

TẠP CHÍ
KHÍ TƯỢNG THỦY VĂN

Check for updates

Bài báo khoa học

Tự động dò tìm bộ thông số tối ưu của mô hình thuỷ văn HEC–HMS bằng thuật toán SCE–UA

Nguyễn Phước Sinh[1,2*], Nguyễn Trường Huy[1,3], Nguyễn Thế Hùng[1]

[1] Khoa Xây dựng Công trình thuỷ, Đại học Bách Khoa, Đại học Đà Nẵng; phuocsinhbk@gmail.com; nthuy@dut.udn.vn; ngthung@dut.udn.vn.
[2] Công ty cổ phần Sông Ba, 573 Núi Thành, Hải Châu, Đà Nẵng; sinhnp@songba.vn.
[3] Department of Civil Engineering, McGill University, 817 Sherbrooke Street West, Montreal, Quebec H3A 2K6, Canada; huy.nguyen5@mail.mcgill.ca.

*Tác giả liên hệ: phuocsinhbk@gmail.com; Tel.: +84–905868028

Ban Biên tập nhận bài: 2/8/2022; Ngày phản biện xong: 5/9/2022; Ngày đăng bài: 25/9/2022

Tóm tắt: Việc hiệu chỉnh và kiểm định mô hình thủy văn HEC–HMS theo quy trình thử sai (trial–and–error) thường mất nhiều thời gian và bộ thông số tìm được thường không phải tối ưu. Bài báo này trình bày kết quả phát triển một chương trình cho phép dò tìm tự động bộ thông số tối ưu của mô hình HEC–HMS dựa trên thuật toán SCE–UA. Trước hết phương pháp Latin Hypercube Sampling được sử dụng để lấy giá trị tham biến rộng khắp không gian nghiệm một cách hiệu quả nhất. Sau đó, SCE–UA được sử dụng để dò tìm nghiệm tối ưu thông qua chọn lọc và tiến hóa dựa trên các giá trị mẫu ban đầu. Nghiệm tối ưu được chọn dựa trên mặt thoả hiệp Pareto và đánh giá độ tin cậy bằng phương pháp GLUE. Chương trình đã và đang được ứng dụng cho hồ thuỷ điện Krông H'năng (tỉnh Đắk Lắk). Số liệu thực đo từ 18 trong số 33 trận lũ trong giai đoạn 2016–2021 được sử dụng để hiệu chỉnh và thu hẹp không gian nghiệm ban đầu giúp quá trình dò tìm được nhanh chóng hơn, đồng thời phân tích độ nhạy và xác định ba thông số chủ đạo Tp, CN, Tc nhằm giảm số lượng tham biến (từ 50 xuống còn 18 tham biến). Dựa trên kết quả này, chương trình được kiểm định với 5 trận lũ tiếp theo và cập nhật tự động trong dự báo theo thời gian thực trên 10 trận lũ còn lại. Chương trình đạt hiệu quả dự báo rất tốt đến bước thời gian $t + 4$ giờ, các chỉ số đánh giá đạt mức cao (KGE > 0,8; VE < 10 %) và kết quả luôn nằm trong vùng tin cậy $Q_{5\%}$–$Q_{95\%}$.

Từ khóa: HEC–HMS; Dò tìm tự động thông số mô hình; SCE–UA; GLUE; Dự báo lũ thời gian thực; Krông H'năng.

1. Giới thiệu

Các mô hình toán thủy văn như HEC–HMS (Hydrologic Engineering Center–Hydrologic Modeling System) mô phỏng chu trình thuỷ văn theo cách đơn giản hoá các đặc tính vật lý của hiện tượng tự nhiên thông qua các (hệ) phương trình toán học [1]. Cụ thể, mô hình HEC–HMS mô phỏng mưa–dòng chảy trên lưu vực thông qua 4 thành phần chính: (i) mô hình mưa–dòng chảy (ii) mô hình nước ngầm (iii) mô hình tổn thất và (iv) mô hình truyền lũ trên sông. Bốn thành phần chính này được mô phỏng trên HEC–HMS thông qua các thông số mô hình. Trong khi một số thông số có thể đo đạc được (như diện tích lưu vực, độ dài sông…) thì số khác rất khó hoặc gần như không thể đo lường được (như Muskingum X, Snyder Tc...). Những thông số này phải được hiệu chỉnh cho mỗi lưu vực khác nhau sao cho kết quả dòng chảy mô phỏng từ mô hình phù hợp với dòng chảy thực đo [2]. Quá trình hiệu chỉnh và kiểm định mô hình thường được thực hiện thủ công bằng phương pháp thử sai (*trial–*

and–error). Phụ thuộc vào kinh nghiệm của người làm mô hình mà việc thử sai có thể tiêu tốn nhiều hay ít nguồn lực [3]. Ngoài ra, bộ thông số tìm được thường không phải tối ưu và tiêu chí đánh giá sự phù hợp thường rất giới hạn hay chỉ đơn mục tiêu. Việc này thúc đẩy nhu cầu nghiên cứu, phát triển các thuật toán và chương trình máy tính cho phép hiệu chỉnh mô hình một cách tự động và dò tìm bộ thông số tối ưu theo đa mục tiêu nhằm tiết kiệm thời gian và mang lại hiệu quả cao. Điều này hoàn toàn phù hợp và có ý nghĩa lớn đối với nhu cầu dự báo và cảnh báo lũ theo thời gian thực, cũng như việc quản lý các công trình thủy lợi–thủy điện trong điều kiện các hiện tượng mưa lũ cực đoan ngày càng gia tăng [4].

Hiện nay có khá nhiều thuật toán tìm nghiệm tối ưu toàn cục khác nhau. Một số thuật toán thông dụng như thuật toán di truyền (*Genetic Algorithms*) phát triển bởi Michalewicz (1992), giải thuật tối ưu bầy đàn (*Particle Swarm Optimization*) đề xuất bởi Kennedy và Eberhart (1995), thuật toán tiến hóa xáo trộn phức hợp của Trường Đại học Arizona (*Shuffled Complex Evolution–University of Arizona*, thường viết tắt SCE–UA) tạo ra bởi Duan (1992). Đối với các bài toán thủy văn, các hệ phương trình thường ở dạng phi tuyến và bao gồm rất nhiều tham biến thì SCE–UA được xem là một trong những thuật toán mạnh mẽ và hiệu quả nhất cho việc hiệu chỉnh thông số mô hình [5–6]. SCE–UA đã được nhiều nghiên cứu áp dụng thành công với các mô hình thủy văn thông dụng như MIKE–NAM [7], SWAT [8], SWMM [9]. Một số nhà phát triển phần mềm cũng đã tích hợp sẵn SCE–UA vào chức năng dò tìm tự động thông số mô hình như SWAT–CUP hay MIKE–AUTOCAL.

Những phiên bản gần đây của mô hình HEC–HMS như 4.8 (01/2021), 4.9 (01/2022) được Trung tâm kỹ thuật thủy văn thuộc Quân đội Hoa Kỳ (USACE) trang bị một số thuật toán dò tìm như Univariate–Gradient, Nelder and Mead thông qua chức năng Trial Run [10] nhằm giúp người làm mô hình dò tìm bộ thông số mô hình nhanh và hiệu quả hơn. Tuy vậy việc sử dụng phải thông qua thiết lập thủ công, tốn nhiều thời gian. Một dạng sửa đổi của phương pháp Gauss–Marquardt–Levenberg dựa trên SCE–UA hiện ở trạng thái "được đề xuất là tiềm năng" trong một báo cáo nội bộ của USACE [11] và vẫn chưa được tích hợp vào bản chính thức. Số ít nghiên cứu ứng dụng phương pháp dò tìm tối ưu khác như Particle Swarm Optimization để thiết lập thủ tục dò tìm tối ưu bộ thông số mô hình cho HEC–HMS song hiệu quả chưa cao [12].

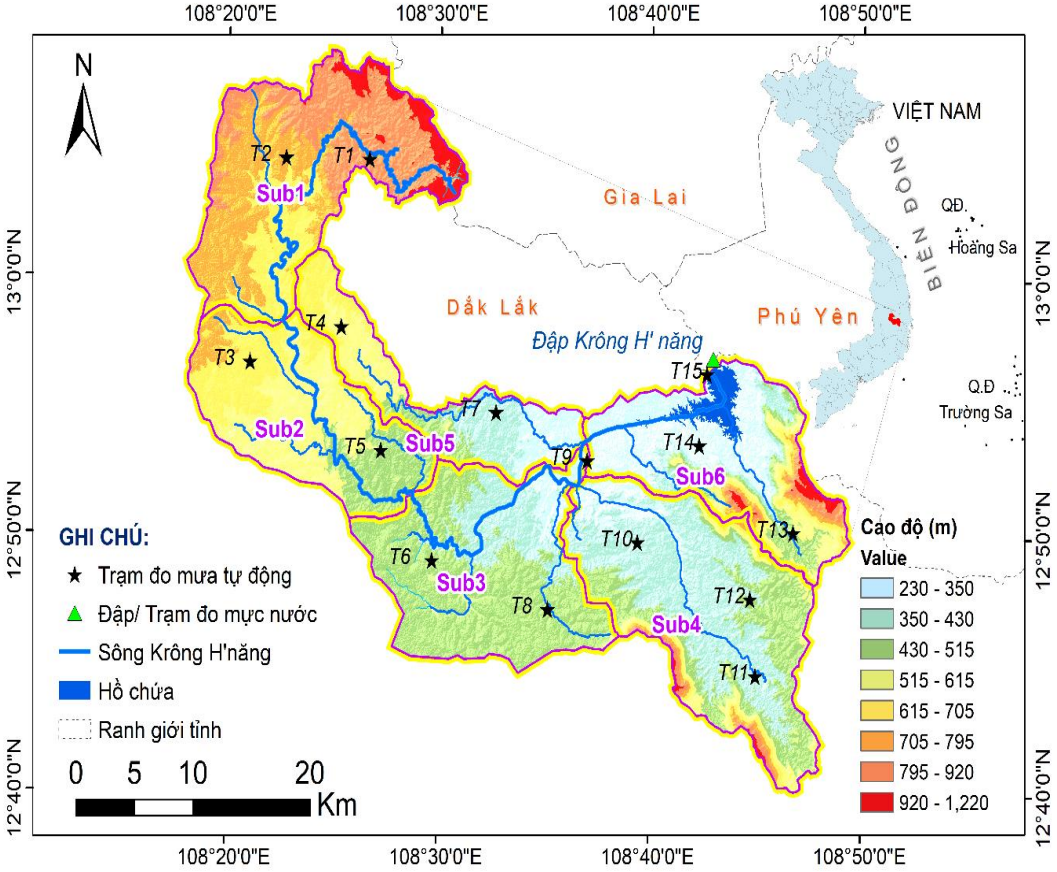
Bài báo này trình bày kết quả phát triển một chương trình cho phép dò tìm tự động bộ thông số tối ưu của mô hình HEC–HMS dựa trên thuật toán SCE–UA, nhằm cập nhật tự động bộ thông số mô hình trong dự báo đường quá trình lũ về hồ chứa theo thời gian thực. Hồ chứa được áp dụng trong nghiên cứu này là hồ Krông H'năng với lưu vực có diện tích 1.168 km^2 nằm ở địa phận tỉnh Đắk Lắk (xem mục 2). Để thực hiện dò tìm, trước hết phương pháp lấy mẫu siêu khối Latin (*Latin Hypercube Sampling, LHS*) [13] được sử dụng để lấy mẫu giá trị tham biến rộng khắp không gian nghiệm một cách hiệu quả nhất. Sau đó thuật toán SCE–UA được sử dụng để dò tìm nghiệm tối ưu thông qua việc chọn lọc và tiến hóa dựa trên các giá trị lấy mẫu ban đầu. Thông thường bài toán là đa mục tiêu, nghiệm tối ưu do đó được chọn trên mặt thoả hiệp Pareto và đánh giá độ tin cậy bằng phương pháp ước tính độ tin cậy tổng quát (*Generalized Likelihood Uncertainty Estimation, GLUE*) [14] (xem mục 3). Dữ liệu lưu vực Krông H'năng với 33 trận lũ quan trắc giai đoạn 2016–2021 được sử dụng để thử nghiệm, trong đó 18 trận lũ dùng để hiệu chỉnh, phân tích độ nhạy, xác định các thông số chủ đạo và không gian nghiệm ban đầu; 5 trận lũ tiếp theo sử dụng để kiểm định chương trình; 10 trận lũ còn lại để thử nghiệm hiệu suất chương trình khi dự báo lũ theo thời gian thực. Kết quả chi tiết và thảo luận trình bày ở mục 4. Các kết quả chính được tóm tắt lại ở phần cuối của bài báo (mục 5).

2. Phạm vi nghiên cứu và dữ liệu

Công trình thuỷ điện Krông H'năng nằm trên địa bàn hai tỉnh Đắk Lắk và Phú Yên, trong đó toàn bộ lưu vực thuộc địa phận tỉnh Đắk Lắk (Hình 1). Hồ chứa có dung tích toàn bộ 165,78.10^6 m^3, đập được thiết kế với lũ thiết kế có tần suất $Q_{p0,1\%}$ = 8.234 m^3/s [15]. Sông

Krông H'năng (hay Ea Krông H'năng) là phụ lưu của sông Ba – lưu vực sông lớn nhất ở khu vực Nam Trung Bộ.

Hệ thống quan trắc và tính toán tự động mưa, mực nước, và lưu lượng về hồ thuỷ điện Krông H'năng với tần suất 15 phút được thiết lập trên lưu vực từ tháng 9/2016. Tính đến hết tháng 12/2021, hệ thống đã quan trắc được 33 trận lũ với lưu lượng đỉnh từ 180 đến 2.710 m^3/s. Lưu ý rằng đối với hồ Krông H'năng, giá trị ngưỡng lưu lượng được xem là lũ về hồ không được quy định cụ thể trong hồ sơ thiết kế cũng như quy trình vận hành. Trong nghiên cứu này, nhóm tác giả sử dụng tất cả các trận mưa–lũ có thời gian mưa kéo dài hơn 12 giờ và có đồ thị lũ hoàn chỉnh (gồm các yếu tố: dòng chảy cơ bản, nhánh lũ lên, đỉnh lũ, nhánh lũ xuống). Đồ thị các trận lũ thực đo thể hiện trên Hình 2. Các trận lũ thông thường kéo dài trung bình khoảng 42 giờ và lên tới 102 giờ. Lưu lượng đỉnh lũ trung bình vào khoảng 850 m^3/s và lớn nhất là 2.710 m^3/s. Tổng lượng lũ trung bình khoảng 55 triệu m^3 và lớn nhất 192 triệu m^3. Một số thống kê khác về cường độ mưa–lũ được thể hiện chi tiết trong Bảng 1.

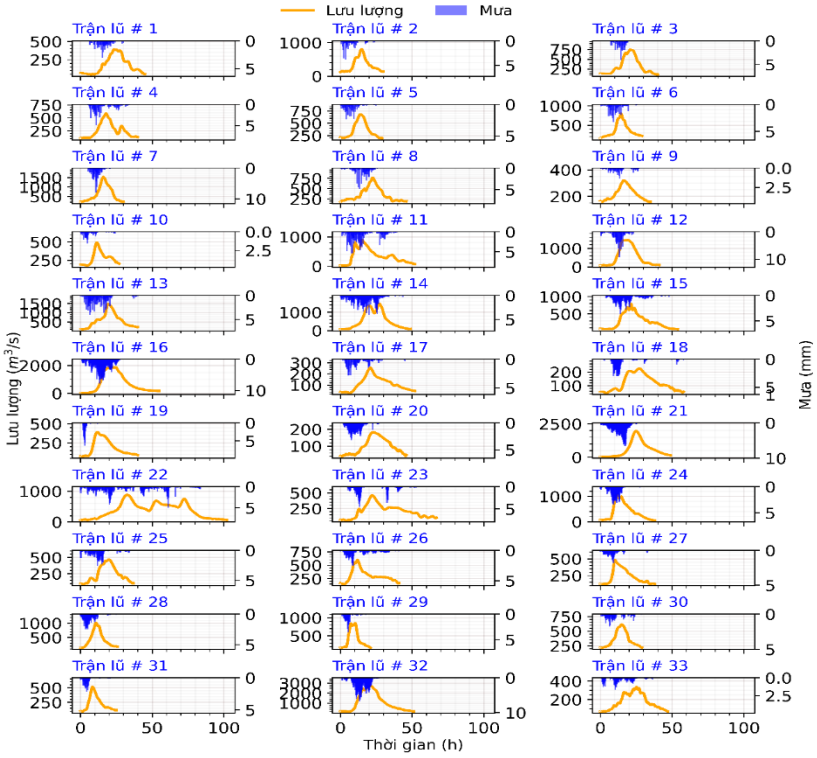


Hình 1. Bản đồ lưu vực hồ thuỷ điện Krông H'năng. Các điểm hình sao hiển thị vị trí của 15 trạm đo mưa (T1 đến T15), điểm hình tam giác là vị trí đập. Dải màu (xanh đến đỏ) thể hiện cao độ địa hình lưu vực.

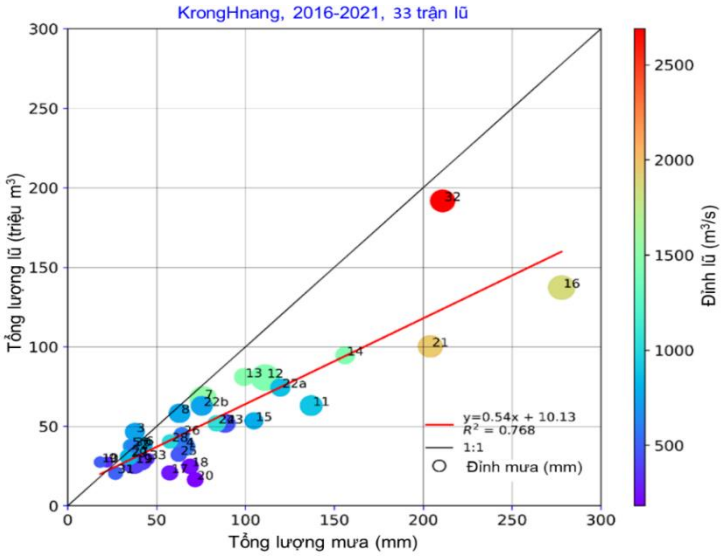
Để có thể hiểu sâu hơn đặc điểm mưa–lũ trên lưu vực Krông H'năng, tương quan giữa tổng lượng mưa, tổng lượng lũ, lưu lượng đỉnh lũ và độ lớn đỉnh mưa được phân tích chi tiết trên Hình 3. Thông thường quan hệ giữa mưa–dòng chảy là phi tuyến vì phụ thuộc rất nhiều yếu tố liên quan đến đặc điểm lưu vực và khả năng thấm, trữ nước ở các tầng khác nhau của lưu vực. Lưu vực Krông H'năng cũng không phải ngoại lệ. Tuy vậy, nếu xấp xỉ mối quan hệ tổng lượng mưa và tổng lượng lũ trên lưu vực Krông H'năng bằng một tương quan tuyến tính, kết quả hệ số tương quan đạt mức tốt $R^2 = 0{,}768$. Từ đây có thể dùng mối quan hệ này để ước tính hay dự báo tổng lượng lũ khi tính được hay dự báo được tổng lượng mưa trên lưu vực.

Bảng 1. Thống kê cường độ mưa–lũ ở lưu vực Krông H'năng từ số liệu 33 trận mưa–lũ.

Thông số	Nhỏ nhất	Trung bình	Lớn nhất
Thời gian trận lũ (giờ)	21,0	42,0	102,0
Tổng lượng mưa (mm)	18,0	82,7	278,0
Cường độ mưa (mm/ giờ)	0,6	1,9	5,1
Thời gian xuất hiện đỉnh mưa (giờ)	3,0	9,9	20,0
Lưu lượng đỉnh lũ Q^p (m^3/s)	182,3	849,0	2.710
Tổng lượng lũ (triệu m^3)	16,5	54,6	191,8
Thời gian xuất hiện đỉnh lũ (giờ)	8,5	18,3	32,8
Thời gian trễ giữa đỉnh mưa– đỉnh lũ (giờ)	1,0	8,0	15,5
Lưu lượng ban đầu Q_0 (m^3/s)	20,0	110,0	221,0



Hình 2. Đồ thị 33 trận lũ thực đo trên lưu vực Krông H'năng trong giai đoạn 2016–2021.



Hình 3. Tương quan giữa tổng lượng mưa (trục x), tổng lượng lũ (trục y), đỉnh lũ (dải màu) và đỉnh mưa (kích thước điểm), đường thẳng màu đỏ thể hiện mối quan hệ tuyến tính giữa tổng lượng mưa và tổng lượng lũ, với hệ số tương quan chặt chẽ $R^2 = 0{,}768$.

3. Phương pháp nghiên cứu

3.1. Dò tìm bộ thông số tối ưu của mô hình HEC–HMS tự động bằng thuật toán SCE–UA

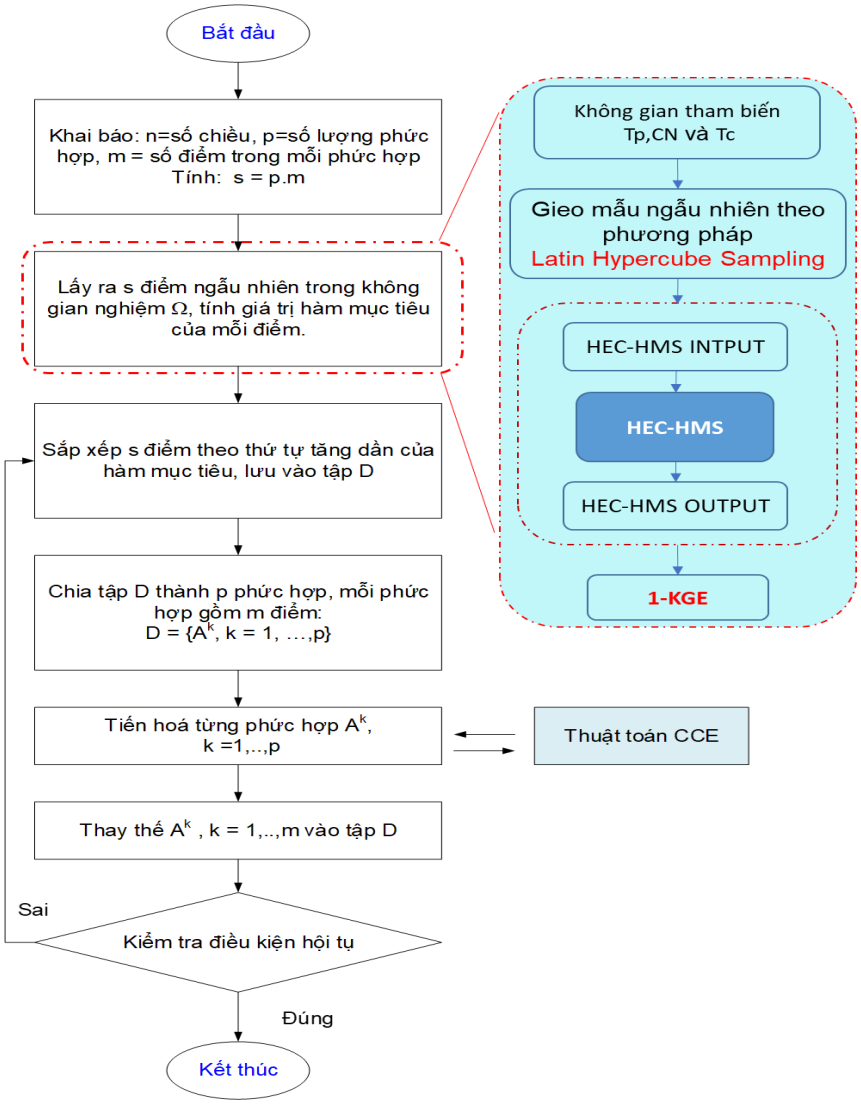
Để có thể dò tìm một cách tự động, trước hết cần chọn không gian khả nghiệm tham biến của mô hình HEC–HMS, nghĩa là xác định số lượng tham biến (số chiều n) và khoảng giá trị của chúng. Đối với mỗi tham biến, khoảng giá trị thích hợp được đưa ra trong phần hướng dẫn sử dụng mô hình HEC–HMS [10]. Khoảng giá trị của mỗi tham biến này khá rộng và cần được thu hẹp cho mỗi lưu vực nghiên cứu cụ thể dựa trên kinh nghiệm sử dụng mô hình và dữ liệu quan trắc trên lưu vực đó (Bảng 4). Việc thu hẹp không gian khả nghiệm giúp tiết kiệm khối lượng tính toán và làm giảm thời gian hội tụ một cách đáng kể vì số lượng tham biến thường rất lớn [9, 16].

Khi đã xác định được không gian khả nghiệm cho lưu vực nghiên cứu, chúng ta cần lấy s tổ hợp tham biến, với $s = p(2n + 1)$ phụ thuộc vào số lượng tham biến n và số lượng phức hợp (*complexes*) p, để có thể chạy mô hình HEC–HMS và so sánh kết quả mô phỏng dòng chảy từ s tổ hợp với giá trị lưu lượng thực đo để đánh giá chất lượng kết quả mô phỏng. Vì số lượng mẫu thường bị giới hạn, để tiết kiệm thời gian tính toán cần chọn một phương pháp giúp lấy mẫu một cách hiệu quả. Trong nghiên cứu này sử dụng phương pháp lấy mẫu siêu khối Latin (*Latin Hypercube Sampling, LHS*) do phương pháp này vượt trội hơn gieo mẫu ngẫu nhiên vì có xét đến vị trí các mẫu đã gieo [13].

Sau khi đã gieo mẫu (với s tổ hợp tham biến ban đầu), chương trình tự động HEC–HMS mô phỏng mưa–dòng chảy với bộ thông số mô hình theo s tổ hợp tham biến, sau đó tính toán giá trị hàm mục tiêu theo chỉ số đánh giá hiệu quả Kling–Gupta (*KGE*) tương ứng với mỗi tổ hợp. Thuật toán SCE–UA tiến hành sắp xếp s tổ hợp theo thứ tự giá trị KGE tăng dần và lưu trữ vào tập D sau đó chia tập D này thành p phức hợp A^k(với $k = 1,..,p$). Các phức hợp A^k được tiến hóa một cách độc lập theo phương pháp Downhill Simplex trong khối thuật toán Competitive Complex Evolution (*CCE*). Tiếp theo, SCE–UA loại bỏ các nghiệm xấu (có giá trị KGE nhỏ) và xáo trộn điểm giữa các phức hợp A^k đã tiến hoá thành một tập mẫu D mới. Sự tiến hoá và xáo trộn này sẽ được lặp lại đến khi điều kiện hội tụ được thoả mãn hay đạt số lượng chu trình lặp (*repetitions*) do người dùng khai báo. Nhờ sự xáo trộn điểm giữa các phức hợp, thuật toán SCE–UA rất hiệu quả trong việc giải quyết hiện tượng mắc kẹt nghiệm ở các vùng cực trị địa phương (*local optima*). Nghiệm cuối cùng của thuật toán là đường mô phỏng lưu lượng Q_{opt} (*global optimum*) có chỉ số đánh giá KGE tốt nhất và tổ hợp tham biến tương ứng.

Chương trình tự động dò tìm bộ thông số tối ưu của mô hình HEC–HMS dựa trên thuật toán SCE–UA được phát triển theo sơ đồ giải thuật mô tả trên Hình 4. Nghiên cứu này sử dụng các thư viện mã nguồn mở như spotpy, hydrooval, smt. sampling_methods… và lập trình trên ngôn ngữ Python.

Để cải thiện hiệu suất dò tìm nghiệm tối ưu, các tác giả chia quá trình dò tìm tối ưu thành 2 giai đoạn (*2 phase*): giai đoạn 1 tìm kiếm thô với 1.000 chu trình lặp ($repetitions = 1.000$), nghiệm tìm được ở giai đoạn 1 dùng làm nghiệm ban đầu cho quá trình tìm kiếm chi tiết ở giai đoạn 2 với 5.000 chu trình lặp ($repetitions = 5.000$). Để tính đến sự không chắc chắn, một vùng mở rộng 25% giá trị khoảng nghiệm của tham biến về hai phía khi tìm kiếm giai đoạn 2 và giá trị giới hạn vật lý của tham biến trên HEC–HMS (Bảng 4) cũng được thêm vào để đảm bảo ý nghĩa của nghiệm tìm được.



Hình 4. Sơ đồ thuật toán chương trình dò tìm bộ thông số tối ưu HEC–HMS trên nền tảng thuật toán SCE–UA. Khối chương trình bao bởi đường nét đứt màu đỏ bên phải được phát triển mới để liên kết HEC–HMS vào thuật toán gốc của tác giả Duan (1992).

3.2. Phân tích độ tin cậy dự báo

SCE–UA sử dụng chiến lược tối ưu hóa toàn cục bộ thông số dựa trên hàm mục tiêu đơn biến, phương pháp này tìm cách xác định một bộ thông số "tốt nhất" mà bỏ qua những điểm không chắc chắn từ các nguồn liên quan đến dữ liệu, cấu trúc mô hình và sự không chắc chắn của các thông số. Khi không xét đến sai số do quan trắc dữ liệu (mưa, lưu lượng) thì sai số trong ước tính giá trị thông số là nguồn sai số lớn nhất có thể dẫn đến sai số lớn kết quả đầu ra mô hình [17–18]. Nghiên cứu này sử dụng phương pháp ước tính độ tin cậy tổng quát (*Generalized Likelihood Uncertainty Estimation, GLUE*) do Beven và Binley đề xuất năm 1992 [14] để phân tích độ tin cậy dự báo từ kết quả mô hình.

GLUE thực hiện quy trình mô phỏng Monte Carlo, mục tiêu của phương pháp GLUE là tìm ra một tập hợp "có thể chấp nhận được" của các tham số trong không gian nghiệm trên dữ liệu và điều kiện cho trước. Ở đây sử dụng kết quả mô phỏng HEC–HMS trong quá trình tiến hoá bằng SCE–UA (5000 lần ở giai đoạn 2). Dùng ngưỡng $KGE = 0{,}65$ để loại bỏ phần nghiệm xấu, giữ lại các nghiệm tốt để xác định hàm phân phối tích lũy (*Cumulative Distribution Function, CDF*).

Như vậy, kết quả dự báo của chương trình được đưa ra bởi giá trị nghiệm tối ưu Q_{opt} của SCE–UA và độ không chắc chắn từ CDF, được chọn ở mức độ tin cậy 5% đến 95%,

đồng thời thể hiện được phân phối xác suất (hậu nghiệm) của các tham biến chủ đạo (Tp, CN và Tc).

3.3. Tiêu chí đánh giá chất lượng của mô hình dự báo

Chất lượng mô hình dự báo được đánh giá từ sự sai khác giữa kết quả mô hình và số liệu quan trắc tại điểm nút kiểm soát thông qua một số chỉ tiêu như sau:

Sai lệch về đỉnh lũ (*peak error*, PE %):

$$PE = 100.\frac{Q_{sim}^{p} - Q_{obs}^{p}}{Q_{obs}^{p}} \quad (1)$$

Sai lệch về tổng lượng lũ (*volume error*, VE %):

$$VE = 100.\frac{Vol_{sim} - Vol_{obs}}{Vol_{obs}} \quad (2)$$

Chỉ số hiệu quả Kling–Gupta (*Kling–Gupta Efficiency*, KGE):

$$\mathrm{KGE} = 1 - \sqrt{(R-1)^2 + (\frac{\sigma_{sim}}{\sigma_{obs}} - 1)^2 + (\frac{\overline{Q_{sim}}}{\overline{Q_{obs}}} - 1)^2} \quad (3)$$

với:

$$R = \frac{\sum_{i=1}^{n}(Q_{obs}^{i} - \overline{Q_{obs}}).(Q_{sim}^{i} - \overline{Q_{sim}})}{\sqrt{\sum_{i=1}^{n}(Q_{obs}^{i} - \overline{Q_{obs}})^2}\sqrt{\sum_{i=1}^{n}(Q_{sim}^{i} - \overline{Q_{sim}})^2}} \quad (4)$$

Sai số trung phương tương đối (*Relative Root Mean Square Error*, $RRMSE$):

$$\mathrm{RRMSE} = \frac{\sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(Q_{obs}^{i} - Q_{sim}^{i})^2}}{\overline{Q_{obs}}} \quad (5)$$

Trong đó Q (m^3/s) là lưu lượng lũ; $\overline{Q}$ (m^3/s) là giá trị lưu lượng trung bình; Q^p(m^3/s) là lưu lượng đỉnh lũ; σ (m^3/s) là độ lệch chuẩn của chuỗi lưu lượng; Vol (m^3) là tổng lượng lũ; n là tổng số điểm dữ liệu; các chỉ số dưới sim ký hiệu chuỗi mô phỏng và obs ký hiệu chuỗi thực đo. Một số nghiên cứu chỉ ra tiêu chí đánh giá chất lượng mô hình thông qua các chỉ số có thể tham khảo ở Bảng 2.

Vì không có chỉ số nào có thể xem xét tất cả đặc điểm của đường quá trình lũ (như thời gian xuất hiện đỉnh lũ, lưu lượng đỉnh lũ, hình dạng lũ và độ lớn trận lũ…), nên cần kết hợp các chỉ tiêu để đánh giá, tức chọn nghiệm theo hàm đa mục tiêu thay vì đơn mục tiêu để có thể thu được kết quả tốt nhất. Trong nghiên cứu này, hai hàm mục tiêu được dùng để chọn nghiệm tốt nhất của mô hình trên mặt thỏa hiệp Pareto là: (i) chỉ số hiệu quả KGE là lớn nhất và (ii) sai lệch tổng lượng lũ VE (%) là nhỏ nhất. Sở dĩ các tác giả lựa chọn chỉ số đánh giá tổng hợp KGE do bản thân chỉ số này bao gồm hệ số tương quan R, độ lệch chuẩn và giá trị trung bình (xem biểu thức (3) và (4)). Đối với sai lệch tổng lượng lũ VE (%), đây là một chỉ số quan trọng khi dự báo lũ cho các hồ chứa bởi nó ảnh hưởng rất lớn đến việc vận hành tích nước, xả lũ của hồ chứa.

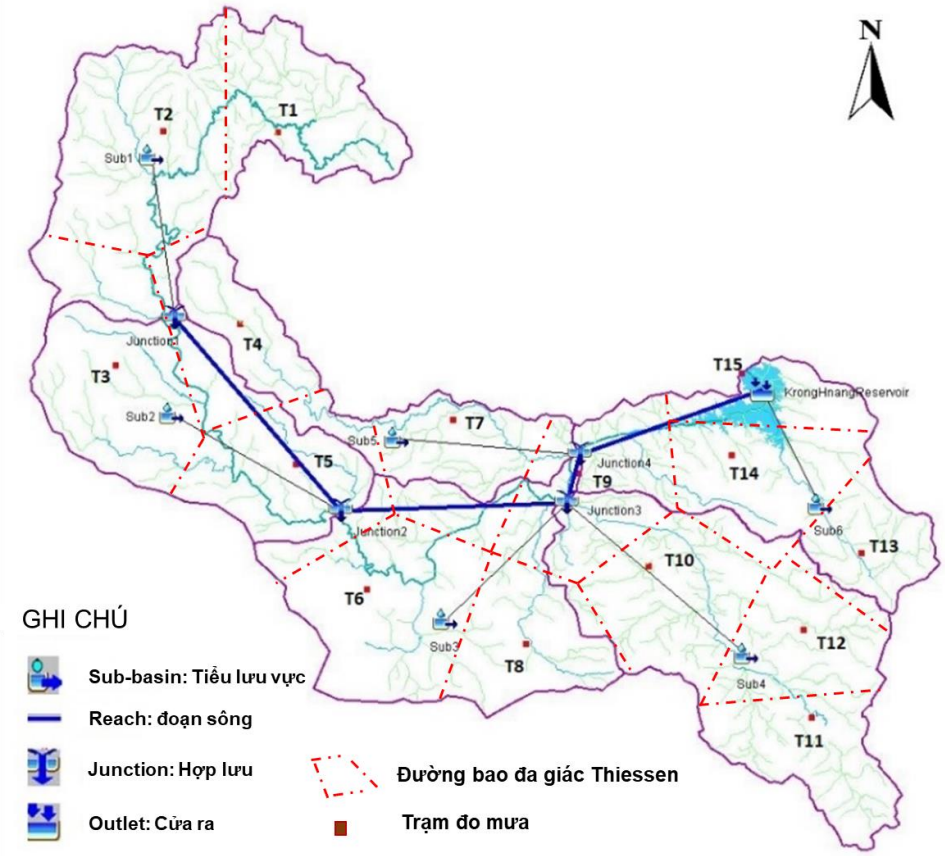
Bảng 2. Tham khảo các tiêu chí đánh giá độ tốt mô hình thông qua các chỉ số.

Chỉ số	Kém	Trung bình	Tốt	Rất tốt	Tham khảo
KGE	< 0,5	0,5 đến 0,7	0,7 đến 0,8	0,8 đến 1,0	[19-20]
VE (%)	> 20	10 đến 15	5 đến 10	0 đến 5	[21]
PE (%)	> 20	10 đến 15	5 đến 10	0 đến 5	[21]
R^2	< 0,4	0,4 đến 0,7	0,7 đến 0,85	0,85 đến 1,0	[22]
$RRMSE$	> 0,7	0,6 đến 0,7	0,5 đến 0,6	0 đến 0,5	[23, 24]

4. Kết quả và thảo luận

4.1. Thiết lập mô hình HEC–HMS cho lưu vực Krông H'năng

Lưu vực Krông H'năng với diện tích 1.168 km^2 được chia thành 6 tiểu lưu vực (từ Sub1 đến Sub6), sông chính dài 130 km, trong đó đoạn từ cửa ra tiểu lưu vực Sub1 đến hồ chứa được chia thành 4 đoạn sông (từ Reach1 đến Reach4) dựa trên đặc điểm địa hình và thủy hệ của lưu vực. Các thành phần tiểu lưu vực, đoạn sông kết nối với nhau bằng các hợp lưu (*Junction*) tạo thành hệ thống liên kết chặt chẽ từ thượng nguồn đến cửa ra lưu vực (*Outlet*). Mô hình lưu vực Krông H'năng được thiết lập trên HEC–HMS thể hiện ở Hình 5. Diện tích các tiểu lưu vực và chiều dài các đoạn sông là các thông số vật lý có thể đo đạc được, chi tiết ở Bảng 3. Trên lưu vực Krông H'năng có 15 trạm đo mưa tự động, số liệu mưa các trạm được tính chuyển về mưa bình quân các tiểu lưu vực (*sub–basin*) bằng phương pháp đa giác Thiessen.



Hình 5. Mô hình lưu vực Krông H'năng trên HEC–HMS với 6 tiểu lưu vực từ Sub 1 đến Sub 6. Các trạm đo mưa tự động được ký hiệu từ T1 đến T15. Trên hình đập Krông H'năng nằm phía hạ lưu của lưu vực gần trạm đo mưa T15. Nét đứt màu đỏ thể hiện các đường bao của đa giác Thiessen.

Bảng 3. Diện tích các tiểu lưu vực và chiều dài các đoạn sông chính.

Tiểu lưu vực	**Sub1**	**Sub2**	**Sub3**	**Sub4**	**Sub5**	**Sub6**
Diện tích (km^2)	232,00	180,00	224,00	260,00	101,00	171,00
Đoạn sông	Reach1	Reach2	Reach3	Reach4		
Chiều dài (km)	25,97	25,88	2,96	15,05		

4.2. Không gian khả nghiệm

Khoảng giá trị các tham biến của mô hình HEC–HMS rất rộng do được USACE thiết kế để phù hợp với nhiều dạng lưu vực khác nhau (xem Bảng 4). Ngoài ra số lượng tham biến là

khá lớn với tổng cộng $n = 50$ tham biến (6 tiểu lưu vực × 7 tham biến + 4 đoạn sông × 2 tham biến). Do đó, việc dò tìm thường mất rất nhiều nguồn lực và thời gian. Để có thể dò tìm tự động một cách hiệu quả thì cần thu hẹp không gian khả nghiệm cho mỗi tham biến và cần giảm bớt số lượng tham biến (hay còn gọi là số chiều không gian). Trong mục này các tác giả trình bày việc giới hạn không gian khả nghiệm thông qua việc hiệu chỉnh thủ công để dò tìm khoảng giá trị phù hợp cho từng lưu vực, từ đó thu hẹp lại khoảng không gian khả nghiệm của mỗi tham biến. Việc giảm số lượng tham biến thông qua phân tích độ nhạy được trình bày ở mục tiếp theo.

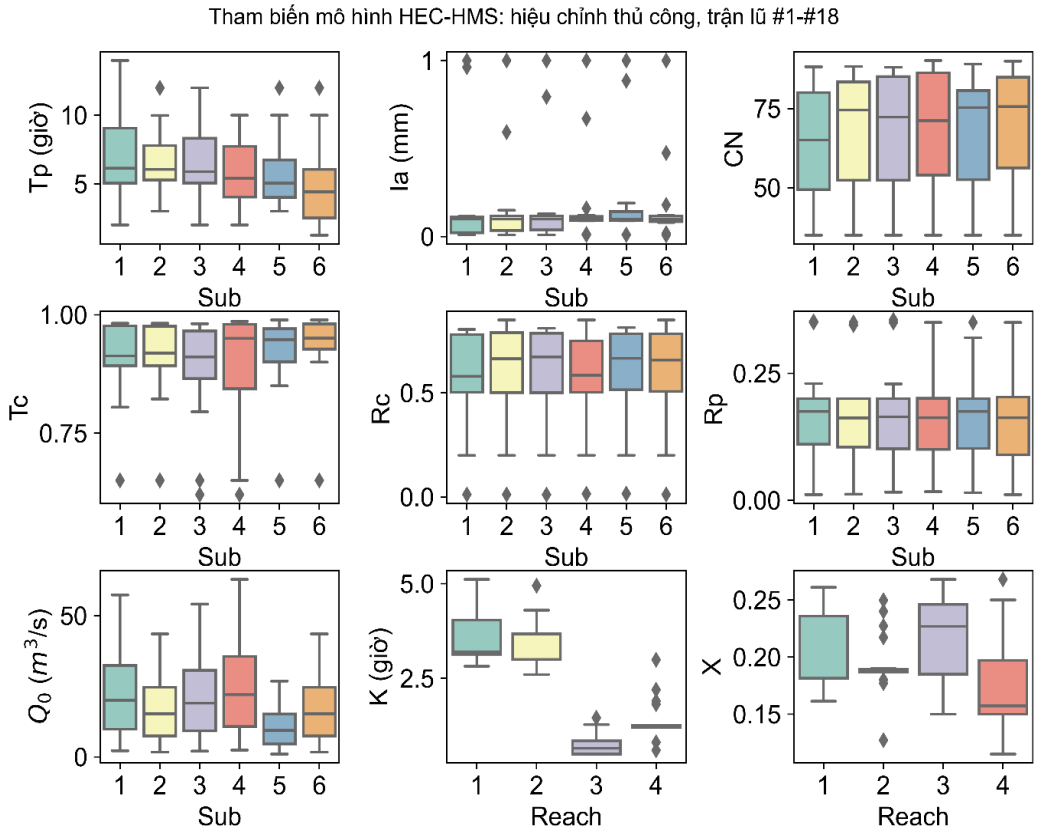
Bảng 4. Các tham biến chính, ý nghĩa và phạm vi giá trị của chúng trên HEC–HMS và cho lưu vực Krông H'năng từ kết quả hiệu chỉnh thủ công 18 trận lũ.

Quá trình	Phương pháp	Tham biến	Ý nghĩa	Giá trị trên HEC–HMS [10]	Giá trị lưu vực Krông H'năng
Mưa – dòng chảy	Snyder UH	Tp (giờ)	Thời gian tập trung nước của lưu vực	0 – 500	0,5 –16,0
		Tc	Hệ số điều chỉnh độ lớn đỉnh và hình dạng lũ	0 – 1,0	0,3 – 0,95
Nước ngầm	Recession	Q_0 (m^3/s)	Lưu lượng ban đầu	0 – 100.000	Thực đo
		Rc	Hệ số suy giảm nước ngầm	0 – 1,0	0,2 – 0,85
		Rp	Hệ số xác định độ lớn nước ngầm theo đỉnh lũ	0 – 1,0	0,1 – 0,45
Thấm	SCS Curve Number	Ia (mm)	Tổn thất ban đầu	0 – 500	0 – 20
		CN	Số hiệu đường cong	0 – 100	35 – 88
Truyền lũ	Muskingum	K (giờ)	Thời gian truyền lũ	0 – 150	0,5 – 6,0
		X	Hệ số điều chỉnh	0 – 0,5	0,05 – 0,28

Số liệu 18 trận lũ (từ #1 đến #18) được dùng để tìm khoảng giới hạn cho mỗi tham biến của bộ thông số mô hình HEC–HMS (Tp, Tc, Ia, CN, ...) cho riêng từng trận theo phương pháp thử–sai và lựa chọn nghiệm dựa trên các tiêu chí đánh giá mô hình. Việc hiệu chỉnh thủ công mặt khác giúp người sử dụng mô hình hiểu được độ nhạy của các tham biến khác nhau. Giới hạn không gian tham biến của mô hình HEC–HMS cho lưu vực Krông H'năng dựa trên việc hiệu chỉnh 18 trận lũ được thể hiện trên Hình 6. Tổng hợp các chỉ số đánh giá độ tốt mô hình ở Bảng 5 cho thấy mô hình mô phỏng tốt ở hầu hết các chỉ số. Chỉ số đánh giá hiệu quả Kling–Gupta thấp nhất đạt được $KGE = 0{,}66$. Cá biệt, các trận lũ số 2, 6, 11, 17 có một chỉ số không đạt mức tốt (được in đậm) trong khi các chỉ số khác đều đạt. Điều này khá là bình thường khi không thể cùng một lúc thoả mãn hết được tất cả các tiêu chí đặt ra.

Bảng 5. Chỉ số đánh giá độ tốt mô hình HEC–HMS từ hiệu chỉnh thủ công 18 trận lũ (từ #1 đến #18).

TT	KGE	R^2	RRMSE	PE %	VE %	TT	KGE	R^2	RRMSE	PE%	VE%
1	0,868	0,957	0,189	7,48	10,50	10	0,849	0,820	0,158	–2,97	4,78
2	0,815	0,856	0,253	**–19,47**	8,89	11	0,776	0,889	0,293	**16,12**	5,56
3	0,934	0,966	0,138	–1,40	–6,03	12	0,936	0,980	0,146	5,93	5,72
4	0,872	0,808	0,257	–0,30	7,52	13	0,929	0,935	0,190	–8,16	4,90
5	0,925	0,953	0,104	–8,16	2,61	14	0,915	0,949	0,213	–0,79	6,53
6	0,660	0,882	0,285	2,66	**14,27**	15	0,947	0,947	0,183	4,54	–1,72
7	0,905	0,959	0,159	–2,78	–6,04	16	0,977	0,988	0,106	4,20	–0,54
8	0,744	0,920	0,191	–0,67	–0,63	17	0,934	0,945	0,142	**–11,19**	4,16
9	0,958	0,972	0,054	–0,25	–3,64	18	0,875	0,943	0,139	9,53	1,34



Hình 6. Không gian tham biến mô hình HEC–HMS lưu vực Krông H'năng từ kết quả hiệu chỉnh thủ công 18 trận lũ (từ #1 đến #18).

4.3. Phân tích độ nhạy các tham biến

Mô hình HEC–HMS có tất cả 9 loại tham biến khác nhau như trình bày ở mục 4.2. Việc hiệu chỉnh thủ công cho thấy 5 trong số 9 loại tham biến nhạy hơn rất nhiều so với các loại tham biến còn lại. Năm loại tham biến này bao gồm: độ trễ tiêu chuẩn (*standard lag*) Tp và hệ số điều chỉnh (*coefficient*) Tc trong phương pháp đường đơn vị Snyder; số hiệu đường cong (*curver number*) CN và tổn thất ban đầu (*initial loss*) Ia trong phương pháp SCS Curver Number; và thời gian truyền lũ (*travel time*) K trong phương pháp truyền lũ Muskingum. Nhóm tác giả phân tích độ nhạy và đánh giá mức độ ảnh hưởng của mỗi loại tham biến thông qua 2 cực trị min và max trong khoảng khả nghiệm đến kết quả mô phỏng bằng cách thực hiện hết tất cả mô phỏng từ các tổ hợp có thể. Ví dụ, đối với bộ 3 tham biến nhạy nhất Tp, CN và Tc (dựa trên kinh nghiệm hiệu chỉnh thủ công) sẽ tạo ra tất cả $2^3 = 8$ tổ hợp tham biến (Hình 7a). Kết quả mô phỏng của 8 tổ hợp tham biến được trình bày ở Hình 7b.

Kết quả phân tích cho thấy khi Tp chuyển từ min sang max làm thay đổi hình dạng lũ một cách rõ rệt. Tp nhỏ lũ lên nhanh và xuống nhanh với đỉnh lũ nhọn trong khi Tp lớn làm đỉnh lũ xuất hiện chậm hơn hẳn, lũ lên chậm, đỉnh lũ bẹt ra và đi xuống chậm hơn. Nếu giữ nguyên Tp và thay đổi CN từ min sang max, tham biến này ảnh hưởng đến lưu lượng đỉnh lũ rõ rệt. CN_{max} cho giá trị đỉnh lũ lớn trong khi CN_{min} làm giảm đỉnh lũ do đó quyết định độ lớn tổng lượng lũ. Đối với tham biến Tc, không ảnh hưởng lớn như Tp và CN, nhưng Tc cũng gây ảnh hưởng đến độ lớn và hình dạng đỉnh lũ (tương quan với hình dạng đồ thị mưa).

Tương tự, nhóm tác giả thực hiện mô phỏng với $2^5 = 32$ tổ hợp (khi xét thêm cả tham biến K và Ia). Kết quả cho thấy tham biến Muskingum K của các đoạn sông ảnh hưởng đến thời điểm xuất hiện đỉnh lũ, khi kết hợp với Tp làm thay đổi hình dạng và độ lớn lũ, tuy

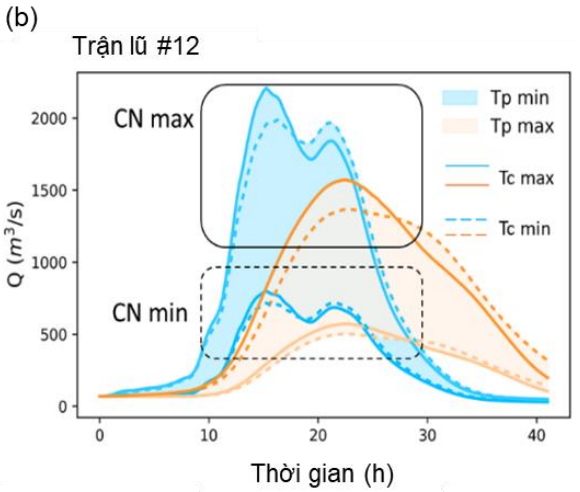
vậy phạm vi thay đổi giá trị K của các đoạn sông là khá nhỏ (Hình 6) nên nó ảnh hưởng nhỏ đến kết quả mô phỏng. Đối với tổn thất ban đầu Ia của các tiểu lưu vực chỉ ảnh hưởng đến phạm vi chân lũ, Hình 6 cho thấy 90% khoảng giá trị của Ia khá nhỏ chỉ vào khoảng 0,05 đến 0,28 mm. Lý do là khi vào mùa lũ chính vụ, thông thường đất đã gần đạt trạng thái bão hòa do các trận mưa liên tiếp trước đó nên tổn thất ban đầu Ia thường nhỏ. Do đó, tham số Ia trở nên ít ảnh hưởng. Điều này khác biệt hoàn toàn với bài toán mô phỏng liên tục dòng chảy nhiều năm khi tổn thất ban đầu Ia đóng một vai trò đặc biệt quan trọng.

Từ những kết quả này, các tác giả chọn giữ lại 3 loại tham biến chủ đạo là Tp, CN, và Tc. Việc này giúp giảm đáng kể số chiều của không gian tham biến từ $n = 50$ xuống còn $n = 18$. Đây là kết quả quan trọng giúp giảm đáng kể việc lấy mẫu ban đầu và giúp đẩy nhanh tốc độ dò tìm bộ thông số mô hình tối ưu thông qua SCE–UA. Ngoài 3 tham biến chủ đạo, tham biến lưu lượng ban đầu Q_0 được lấy theo giá trị quan trắc tại thời điểm bắt đầu mô phỏng, 5 tham biến còn lại (Ia, Rp, Rc, K, X) lấy bằng giá trị trung vị (*median*) từ hiệu chỉnh thủ công 18 trận lũ.

(a)

Tổ hợp	Tp	CN	Tc
1	min	min	min
2	min	min	max
3	min	max	min
4	min	max	max
5	max	min	min
6	max	min	max
7	max	max	min
8	max	max	max

(b)

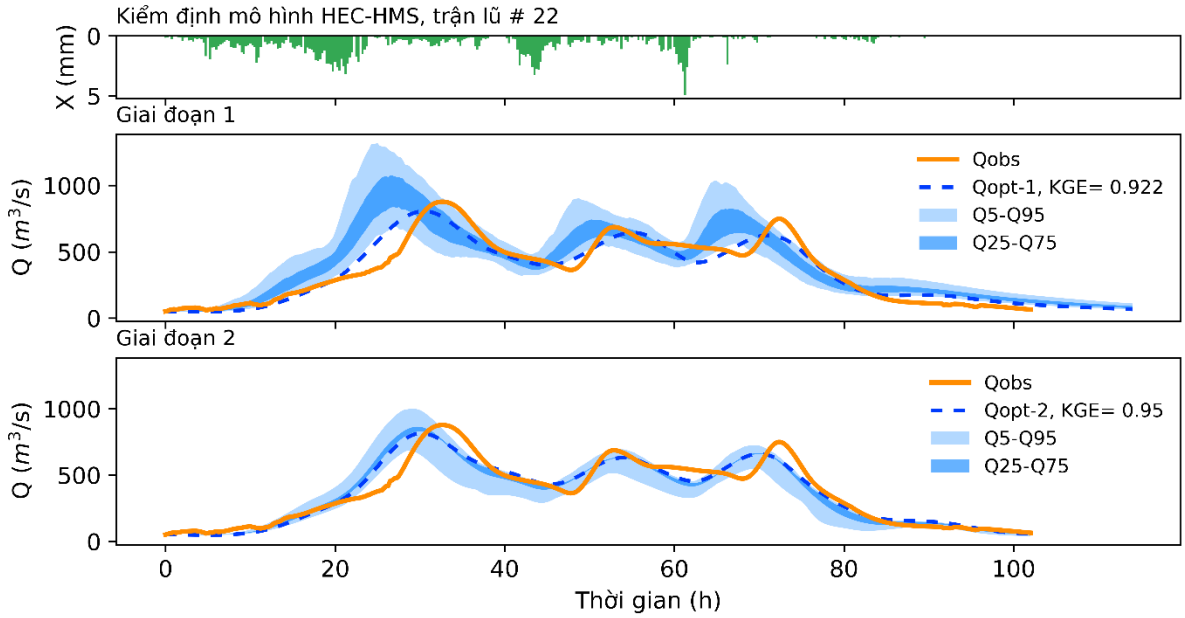


Hình 7. Đánh giá ảnh hưởng và độ nhạy các tham biến chủ đạo đến kết quả mô phỏng, minh họa trên biểu đồ trận lũ số 12.

4.4. Kết quả kiểm định chương trình

Chương trình tự động dò tìm bộ thông số tối ưu của mô hình HEC-HMS được kiểm định trên dữ liệu của 5 trân lũ (từ #19 đến #23) để xem xét hiệu quả mô phỏng toàn trận lũ dựa trên không gian nghiệm ban đầu của bộ 3 tham biến chủ đạo Tp, CN và Tc có được từ hiệu chỉnh thủ công 18 trận lũ. Hình 8 dưới đây thể hiện các nghiệm của quá trình dò tìm tự động theo thuật toán SCE–UA, thực hiện qua hai giai đoạn cho trận lũ #22, đây là trận lũ có hình dạng phức tạp nhất trong số 33 trận lũ (Hình 2).

Đối với trận lũ #22, hiệu quả dò tìm đạt rất tốt với chỉ số KGE tăng từ giai đoạn 1 (Gđ1) sang giai đoạn 2 (Gđ2), độ hội tụ của hàm mục tiêu $1 - KGE$ tốt. Nghiệm của hai giai đoạn được chọn trên mặt thoả hiệp Pareto với hai hàm mục tiêu: (i) chỉ số hiệu quả KGE là lớn nhất (tương đương với $1 - KGE$ nhỏ nhất) và (ii) sai số tổng lượng lũ VE (%) nhỏ nhất. Kết quả mô phỏng tương ứng với bộ thông số tối ưu và vùng tin cậy $Q_{5\%}$–$Q_{95\%}$ và $Q_{25\%}$–$Q_{75\%}$ sau khi đã loại nghiệm xấu theo phân tích GLUE cho cả hai giai đoạn. Kết quả trên Hình 8 chỉ ra rằng vùng tin cậy được thu hẹp đáng kể và nghiệm tối ưu cũng được cải thiện từ $KGE = 0{,}92$ lên $KGE = 0{,}95$.



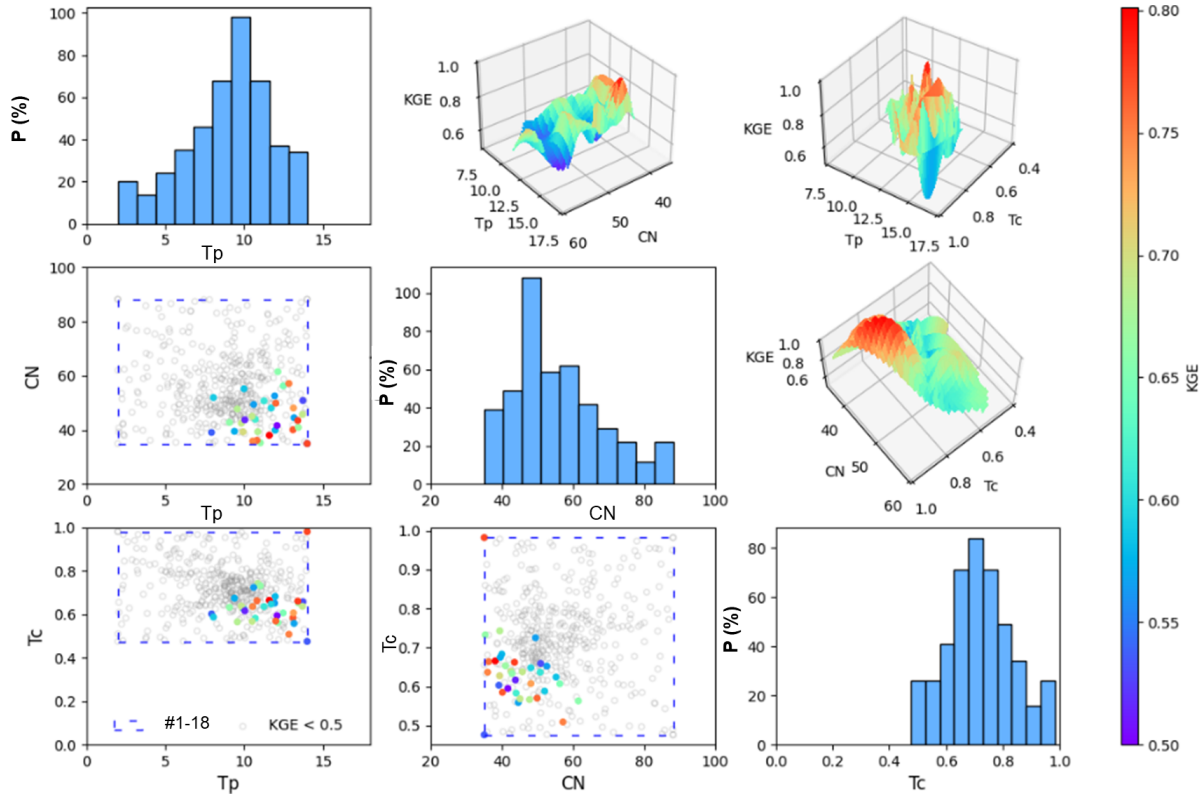
Hình 8. Kết quả dò tìm tự động thông số mô hình toàn trận lũ có hình dạng phức tạp như trận lũ #22 theo phương pháp SCE–UA, thực hiện qua 2 giai đoạn. Kết quả mô hình Q_{opt} nhận được từ SCE–UA và vùng tin cậy theo phương pháp GLUE. Hiệu quả dò tìm rất tốt với chỉ số KGE (Gđ1) = 0,92 tăng lên KGE (Gđ2) = 0,95 và vùng tin cậy cũng được thu hẹp đáng kể.

Ngoài ra, sau khi thực hiện phân tích GLUE, dạng phân bố xác suất (hậu nghiệm) của các tham biến cũng được xác định. Kết quả phân phối xác suất của 3 tham biến chủ đạo Tp, CN và Tc của tiểu lưu vực Sub1, từ phân tích GLUE trận lũ #22 thể hiện ở Hình 9. Trong đó, hai biểu đồ dạng phân bố điểm (*scatter*) thể hiện phân bố nghiệm từng đôi một ($Tp-CN$, $Tp-Tc$, $CN-Tc$) trong không gian hai chiều (2D) và ba biểu đồ dạng không gian ba chiều (3D) ở phía đối diện đường chéo thể hiện thêm chỉ số đánh giá mô hình KGE (có giá trị từ 0,5 đến 0,8 tương ứng dải màu từ tím đến đỏ). Biểu đồ dạng 3D minh họa rõ hơn các cực trị địa phương và cực trị toàn cục trong không gian nghiệm của các tham biến. Ba biểu đồ dạng cột (*histogram*) thể hiện phân bố xác suất của từng tham biến Tp, CN và Tc.

Quá trình này được thực hiện tương tự cho các trận lũ khác. Tổng hợp các chỉ số đánh giá kết quả kiểm định chương trình tự động dò tìm bộ thông số mô hình tối ưu cho 5 trận lũ qua hai giai đoạn thể hiện chi tiết ở Bảng 6.

Bảng 6. Chỉ số đánh giá kết quả kiểm định 5 trận lũ (từ #19 đến #23) qua hai giai đoạn dò tìm tối ưu.

Trận lũ	KGE		R^2		RRMSE		PE %		VE%	
	Gđ1	Gđ2	Gđ1	Gđ2	Gđ1	Gđ2	Gđ1	Gđ2	Gđ1	Gđ2
19	0,918	0,987	0,959	0,974	0,141	0,089	5,48	1,17	7,12	–0,23
20	0,537	0,783	0,858	0,863	0,245	0,210	–19,53	–4,37	–13,36	–6,65
21	0,935	0,985	0,958	0,970	0,200	0,172	17,49	9,29	–3,89	–0,15
22	0,922	0,950	0,900	0,904	0,202	0,199	8,81	7,61	0,05	-0,03
23	0,886	0,882	0,797	0,781	0,246	0,237	8,73	13,46	–0,68	0,67

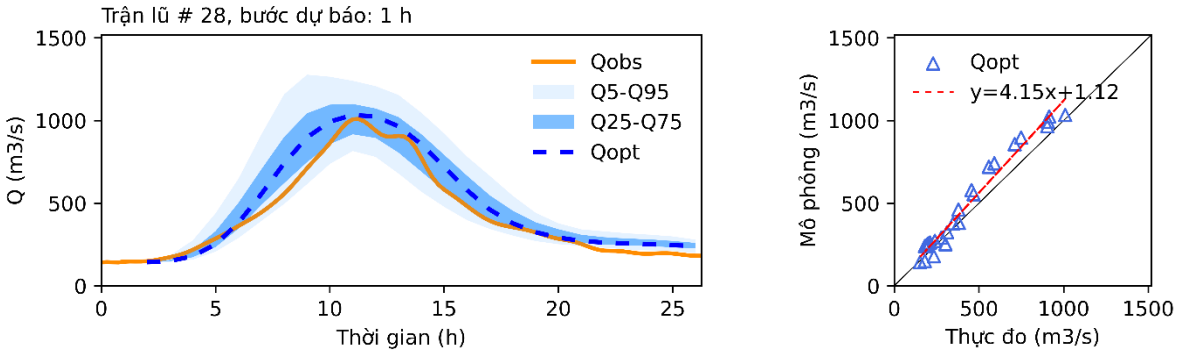


Hình 9. Phân phối xác suất hậu nghiệm của ba tham biến chủ đạo Tp, CN và Tc của tiểu lưu vực Sub1 từ phân tích GLUE trên kết quả giai đoạn 1 của trận lũ #22. Biểu đồ cột thể hiện phân bố xác suất của ba tham biến chủ đạo. Màu sắc thay đổi từ tím đến đỏ thể hiện tăng dần của chỉ số KGE. Biểu đồ dạng 3D thể hiện các cực trị địa phương và cực trị toàn cục trong không gian nghiệm của các tham biến.

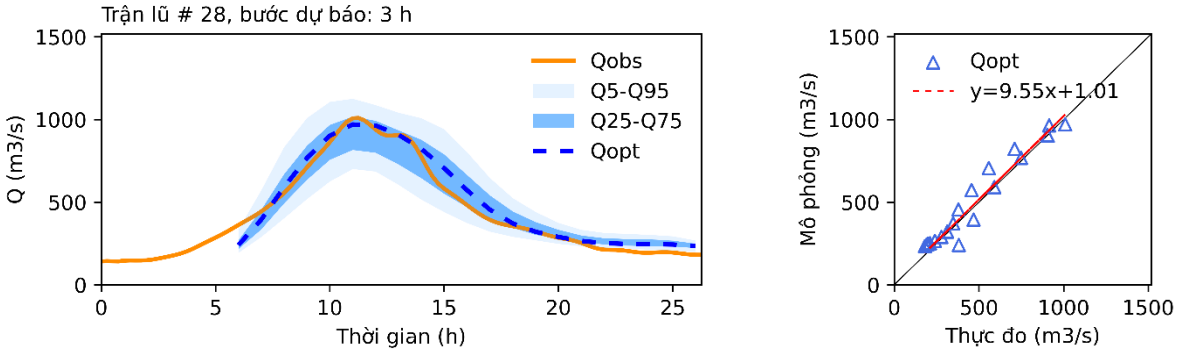
4.5. Kết quả thử nghiệm theo thời gian thực mùa lũ 2021

Dựa trên kết quả hiệu chỉnh và kiểm định, chương trình dò tìm giá trị tối ưu cho các tham biến và cập nhật tự động trong dự báo theo thời gian thực cho 10 trận lũ (từ số #24 đến #33) để đánh giá hiệu quả làm việc của chương trình. Hình 10 thể hiện kết quả dự báo ở các bước thời gian $t+1$ giờ đến $t+6$ giờ của trận lũ #28. Tổng hợp kết quả đánh giá chất lượng của mô hình dự báo ở các bước dự báo (*lead–time*) thể hiện chi tiết trên Hình 11, các chỉ số đạt mức rất tốt đến bước $t+4$ giờ với $KGE > 0{,}85$; sai số tổng lượng lũ $VE < 10$ %... và kết quả luôn nằm trong vùng tin cậy $Q_{5\%}$–$Q_{95\%}$.

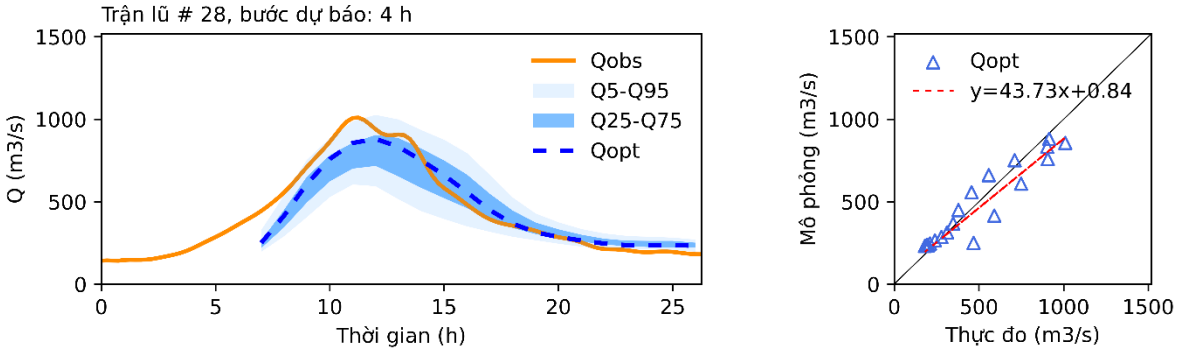
Từ thời gian dự báo dài hơn $t+6$ giờ, mô hình HEC–HMS cho lưu vực Krông H'năng có độ tin cậy kém dần, kết quả này tương đồng với phân tích tương quan mưa–lũ. Lưu vực Krông H'năng với thời gian tập trung nước và truyền về cửa ra lưu vực trong 4 đến 6 giờ, sau khoảng này ($> t+6$ giờ), do tạm thời mô hình chưa sử dụng thông tin từ mưa dự báo nên độ chính xác và khoảng tin cậy của mô hình không cao. Để tăng thời gian dự báo (tức dự báo sớm hơn), có thể tích hợp thêm thông tin mưa từ các nguồn như mưa radar hay kết quả mưa dự báo của các mô hình số trị toàn cầu, hiệu chỉnh với số liệu đo mưa mặt đất trên lưu vực để đảm bảo độ tin cậy mưa dự báo, từ đó làm đầu vào bổ sung cho mô hình HEC–HMS, đây là hướng giải quyết vấn đề trong nghiên cứu tiếp theo.



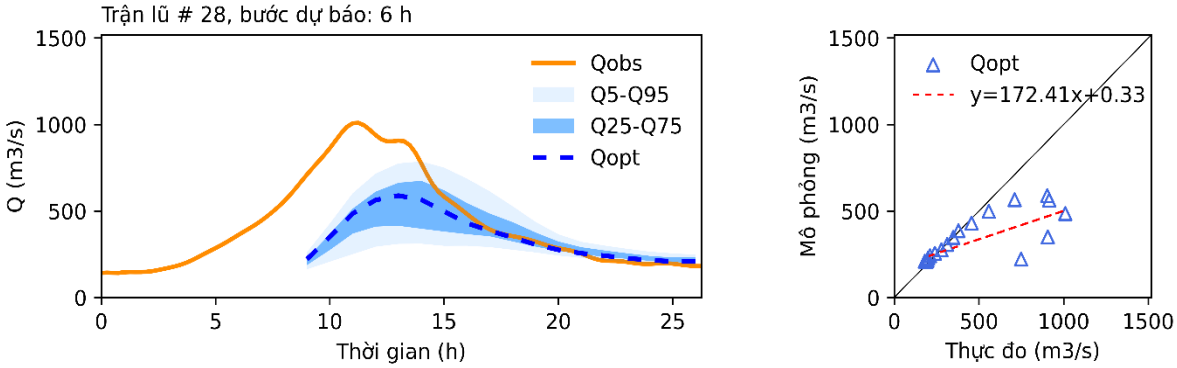
	R2	KGE	RRMSE	PE %	VE %
HEC-HMS	0.97	0.816	0.187	1.93	12.53



	R2	KGE	RRMSE	PE %	VE %
HEC-HMS	0.933	0.933	0.159	-2.99	3.45

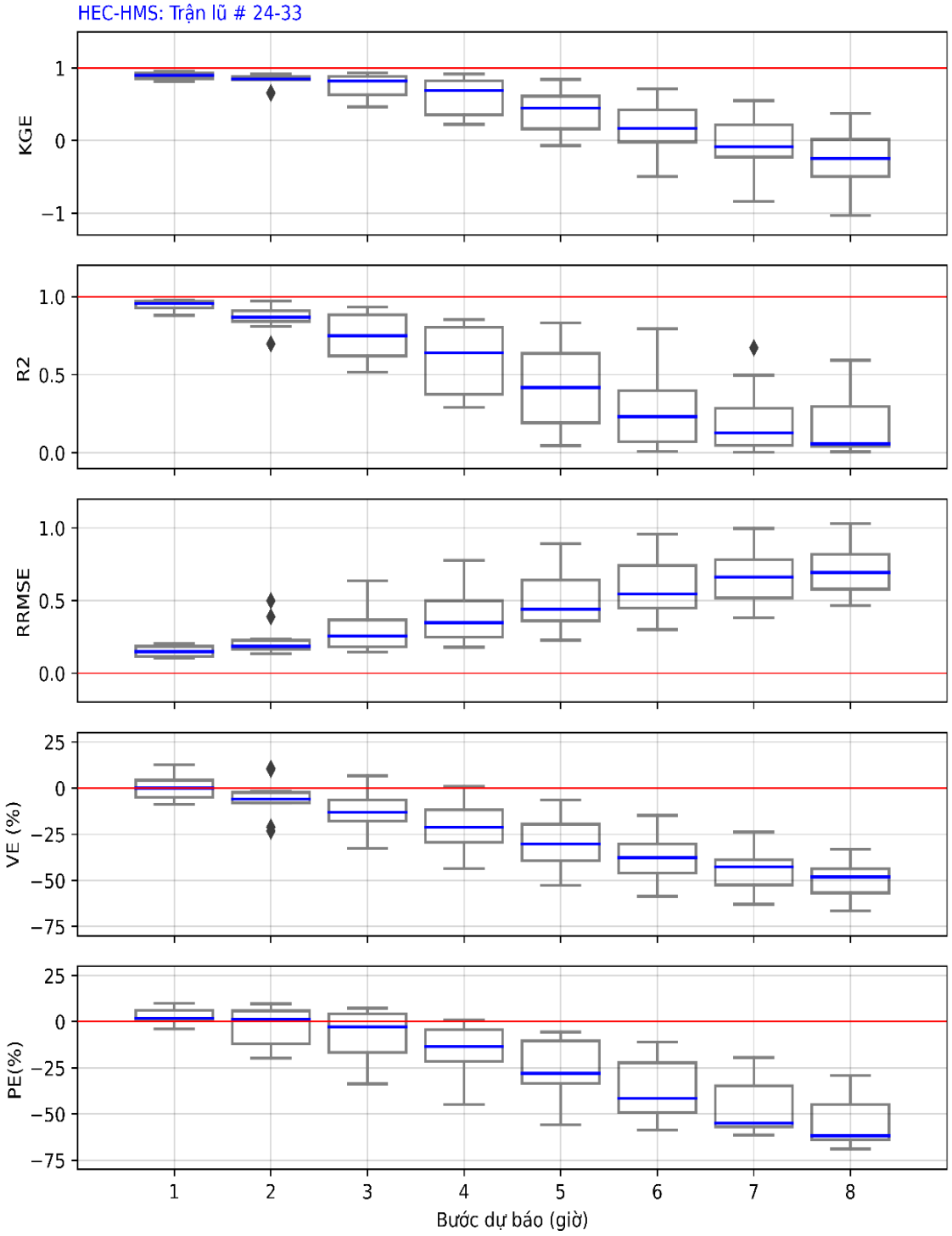


	R2	KGE	RRMSE	PE %	VE %
HEC-HMS	0.849	0.86	0.23	-11.3	-6.76



	R2	KGE	RRMSE	PE %	VE %
HEC-HMS	0.417	0.314	0.543	-41.87	-31.53

Hình 10. Kết quả thử nghiệm dự báo lũ trận lũ #28 ở các bước dự báo (lead–time) từ $t+1$ đến $t+6$ giờ. Trên hình bên trái, đường liền màu cam là lưu lượng thực đo Q_{obs}, đường nét đứt màu xanh là nghiệm tối ưu Q_{opt}. Vùng màu thể hiện các khoảng tin cậy $Q_{5\%}$–$Q_{95\%}$ và $Q_{25\%}$–$Q_{75\%}$ của kết quả dự báo.



Hình 11. Tổng hợp các chỉ tiêu đánh giá sai số mô hình cho 10 trận lũ (từ #24 đến #33), ở các bước dự báo (*lead–time*) từ $t+1$ đến $t+8$ giờ với độ chính xác đạt rất tốt trong khoảng $t+4$ giờ trở lại ($KGE > 0{,}8$). Từ $t+6$ giờ chất lượng dự báo kém dần. Đường màu đỏ thể hiện giá trị tốt nhất của chỉ số đánh giá.

5. Kết luận

Nghiên cứu này đã xây dựng mới chương trình tự động hoá dò tìm bộ thông số tối ưu của mô hình HEC–HMS trên nền tảng thuật toán SCE–UA, một trong những thuật toán dò tìm tối ưu mạnh nhất hiện nay, thay thế cho thủ tục dò tìm thủ công, không phụ thuộc và tránh sai sót chủ quan của người dùng, phù hợp cho việc dự báo lũ theo thời gian thực.

Dữ liệu mưa–lũ trên lưu vực hồ thuỷ điện Krông H'năng (tỉnh Đắk Lắk) với 33 trận lũ quan sát từ tháng 9/2016 đến tháng 12/2021 đã được sử dụng để hiệu chỉnh, kiểm định và đánh giá độ chính xác của mô hình HEC–HMS. Cụ thể, số liệu thực đo 18 trận lũ được sử dụng nhằm (i) tìm ra không gian khả nghiệm của các tham biến và (ii) giảm bớt số lượng tham biến từ việc phân tích độ nhạy của các loại tham biến khác nhau. Ba loại tham biến chủ đạo Tp, CN và Tc được xác định, việc này giúp giảm đáng kể số chiều không gian tìm kiếm từ 50 xuống còn 18 chiều. Dựa trên kết quả này, chương trình được kiểm định trên dữ liệu của 5 trân lũ (từ #19 đến #23) và cập nhật tự động trong dự báo theo thời gian thực cho 10 trận lũ (từ #24 đến #33) về hồ chứa Krông H'năng. Kết quả cho thấy chương trình có khả năng dự báo rất tốt đến bước thời gian $t + 4$ giờ. Các chỉ số đánh giá đạt mức cao ($KGE > 0{,}85$; sai số tổng lượng lũ $VE < 10$ %) và kết quả luôn nằm trong vùng tin cậy $Q_{5\%}$–$Q_{95\%}$. Bên cạnh đó, nghiên cứu cũng chỉ ra rằng cần bổ sung thêm thông tin mưa dự báo từ các nguồn như radar hay kết quả mưa dự báo của các mô hình số trị toàn cầu đã được hiệu chỉnh với mưa thực đo trên lưu vực để tăng độ tin cậy ở các bước dự báo sớm hơn, mang lại sự chủ động, tin cậy và hiệu quả hơn cho các kế hoạch ứng phó với mưa lũ.

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

Lời cảm ơn: Nguyễn Phước Sinh được tài trợ bởi Tập đoàn Vingroup – Công ty CP và hỗ trợ bởi chương trình học bổng đào tạo thạc sĩ, tiến sĩ trong nước của Quỹ Đổi mới sáng tạo Vingroup (VINIF), Viện Nghiên cứu Dữ liệu lớn (VinBigdata), mã số VINIF.2021.ThS.97. Các tác giả trân trọng cảm ơn Công ty Cổ phần Sông Ba đã cung cấp số liệu sử dụng trong nghiên cứu này.

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

Tài liệu tham khảo

1. USACE. Hydrologic Modeling System HEC–HMS Technical Reference Manual. US Army Corps of Engineers, 2000, no. Mach. 10/01/2021. Available online: https://www.hec.usace.army.mil/software/hec–hms/documentation/HEC–HMS_Technical%20Reference%20Manual_(CPD–74B).pdf
2. Beven, K. Rainfall–runoff modelling: The Primer, 2nd Edition. John Wiley & Sons, Ltd, 2010, pp.18.
3. Che, D.; Mays, L.W. Development of an Optimization/Simulation Model for Real–Time Flood–Control Operation of River–Reservoirs Systems. *Water Resour. Manage.* **2015**, *29*, 3987–4005. Doi: 10.1007/s11269-015-1041-8.
4. NOAA. Climate Extremes Index (CEI), Climate Services and Monitoring Division. U.S. 2021. 25/02/2022. Available online: https://www.ncdc.noaa.gov/extremes/cei/definition.
5. Naeini, M.R.; Analui, B.; Gupta, H.V.; Duan, Q.; Soroosliian, S. Three decades of the Shuffled Complex Evolution (SCE–UA) optimization algorithm: Review and applications. *Sci. Iran.* **2019**, *26*, 2015–2031. Doi: 10.24200/sci.2019.21500.
6. Duan, Q.; Sorooshian, S.; Gupta, H.V. Effective and efficient global optimization for conceptual rainfall–runoff models. *Water.Resour. Res.* **1992**, *428*, 1015–1031.
7. Zakermoshfegh, M.; Ghodsian, M.; Neishabouri, S.A.A.S.; Shakiba, M. River flow forecasting using neural networks and auto–calibrated NAM model with shuffled complex evolution. *J. Appl. Sci.* **2008**, *8*, 1487–1494.
8. Eckhardt, K.; Arnold, J.G. Automatic calibration of a distributed catchment model. *J. Hydro.* **2001**, *251*, 103–109. Doi:10.1016/S0022-1694(01)00429-2.

9. Lee, S.; Kang, T. Analysis of Constrained Optimization Problems by the SCE–UA with an Adaptive Penalty Function. *J. Comput. Civ. Eng.* **2016**, *30*, 04015035(1–11). Doi:10.1061/(ASCE)CP.1943–5487.0000493.
10. USACE. HEC–HMS User's Manual. US Army Corps of Engineers Hydrologic Engineering Center, 2021, no. December. 15/12/2021. Available online: https://www.hec.usace.army.mil/confluence/hmsdocs/hmsum/4.7/release-notes/v-4-7-0-release-notes.
11. Skahill, B.E. Potential Improvements for HEC–HMS Automated Parameter Estimation. U.S. Army Engineer Research and Development Center, 2006, ERDC/CHL TR–06–13. 20/5/2022. Available online: https://apps.dtic.mil/sti/pdfs/ADA455236.pdf.
12. Kamali, B.; Mousavi, S.J. Automatic Calibration of HEC–HMS Model Using Multi–Objective Fuzzy Optimal Models. *Civ. Eng. Infrastruct. J.* **2014**, *47*, 1–12. Doi: 10.7508/CEIJ.2014.01.001.
13. McKay, M.D.; Beckman, R.J.; Conover, W.J. A Comparison of Three Methods for Selecting Values of Input Variables in the Analysis of Output from a Computer Code. *Technometrics.* **1979**, *21*, 239–245. Doi: 10.2307/1268522.
14. Beven, K.; Binley, A. The future of distributed models: Model calibration and uncertainty prediction. *Hydrol. Processes* **1992**, *6*, 279–298.
15. Quy trình vận hành liên hồ chứa sông Ba. Ban hành kèm theo quyết định số 878/QĐ–TTg ngày 17/8/2018 của Thủ tướng Chính phủ.
16. Duan. Q.; Sorooshian. S.; Gupta, V.K. Optimal use of the SCE–UA global optimization method for calibrating watershed models. *J. Hydrol.* **1994**, *158*, 265–284. Doi: 10.1016/0022-1694(94)90057-4.
17. Liu, Y.; Gupta, H.V. Uncertainty in hydrologic modeling: Toward an integrated data assimilation framework. *Water. Resour. Res.* **2007**, *43*, W07401. Doi: 10.1029/2006WR005756.
18. Madsen, H. Parameter estimation in distributed hydrological catchment modelling using automatic calibration with multiple objectives. *Adv. Water Resour.* **2003**, *26*, 205–216. Doi: 10.1016/S0309–1708(02)00092–1.
19. Gupta, H.V.; Kling, H.; Yilmaz, K.K.; Martinez, G.F. Decomposition of the mean squared error and NSE performance criteria: Implications for improving hydrological modelling. *J. Hydrol.* ***2009***, *377*, 80–91. Doi: 10.1016/j.jhydrol.2009.08.003.
20. Andersson, J.C.M.; Arheimer, B.; Traoré, F.; Gustafsson, D.; Ali, A. Process refinements improve a hydrological model concept applied to the Niger River basin. *Hydrol. Processes* **2017**, *31*, 4540–4554. Doi: 10.1002/hyp.11376.
21. Quy định kỹ thuật đánh giá chất lượng dự báo, cảnh báo thủy văn. Ban hành theo Thông tư 42/2017/TT–BTNMT ngày 23/10/2017 của Bộ Tài nguyên và Môi trường.
22. Cameron, C. and Windmeijer, F. A. G. An R–squared measure of goodness of fit for some common nonlinear regression models. *J. Econom.* **1997**, *77*, 329–342. Doi: 10.1016/s0304-4076(96)01818-0.
23. Singh, J.; Knapp, H.V.; Arnold, J.G.; Demissie, M. Hydrological modeling of the Iroquois River watershed using HSPF and SWAT. *J. Am. Water. Resour. Assoc.* **2005**, *41*, 343–360. Doi: 10.1111/j.1752-1688.2005.tb03740.x.
24. Ritter, A.; Muñoz–Carpena, R. Performance evaluation of hydrological models: Statistical significance for reducing subjectivity in goodness–of–fit assessments. *J. Hydrol.* **2013**, *480*, 33–45. Doi: 10.1016/j.jhydrol.2012.12.004.

Automatic calibration of HEC–HMS model using Shuffled Complex Evolution (SCE–UA) algorithm

Phuoc Sinh Nguyen[1,2*], Truong Huy Nguyen[1,3], The Hung Nguyen[1]

[1] Faculty of Water Resources Engineering, University of Science and Technology–The University of Da Nang, Vietnam; phuocsinhbk@gmail.com; nthuy@dut.udn.vn; ngthung@dut.udn.vn
[2] Song Ba JSC, 573 Nui Thanh, Hai Chau, Da Nang; sinhnp@songba.vn
[3] Department of Civil Engineering, McGill University, 817 Sherbrooke Street West, Montreal, Quebec H3A 2K6, Canada; huy.nguyen5@mail.mcgill.ca

Abstract: Verification and calibration of the HEC–HMS hydrological model using a trial–and–error procedure usually costs modelers a lot of time and effort and more importantly, the set of parameters found is often not optimal. This paper presents the results of developing an automatic program that allows the automatic search of the optimal set of parameters of the HEC–HMS model based on the SCE–UA algorithm. First, the Latin Hypercube sampling method is used to efficiently obtain the parameter values widely across the feasible solution space. Then the SCE–UA method is used to search for the optimal solution through complex shuffling and evolution based on the initial sampling values from the Latin Hypercube Sampling method. The problem is usually multi–objective, so the optimal solution is therefore selected based on a Pareto front and evaluated for uncertainty by the GLUE method. The program has been and is being applied to the Krông H'năng hydropower reservoir in Dak Lak province. The authors use real data measured from 18 out of 33 floods observed in the period 2016–2021 to narrow the initial feasible solution space and to reduce the parameter dimensions (from 50 to 18) by identifying the three governing parameters Tp, CN, and Tc through sensitivity analysis. This helps to enhance the search speed and the convergence of the optimal solution. Based on this result, the program searches the optimal value for the parameters and updates them automatically in the real–time forecast. The results of the validation of the next 5 floods and testing of the remaining 10 floods give good results up to the time step $t + 4$ hours. The evaluation indicators are high ($KGE > 0.85$, volume error $VE < 10$ %) and the result is always in the confidence range $Q_{5\%}$–$Q_{95\%}$.

Keywords: HEC–HMS; Auto calibration; SCE–UA; Real–time flood forecasting; Krông H'năng.

TẠP CHÍ
KHÍ TƯỢNG THỦY VĂN

Check for updates

Bài báo khoa học

Nghiên cứu nguyên nhân sạt lở bờ sông: trường hợp nghiên cứu tỉnh Trà Vinh

Huỳnh Văn Hiệp[1*], Huỳnh Hữu Trí[1], Nguyễn Thành Công[1], Ngô Gia Truyền[1]

[1] Bộ môn Xây dựng, Khoa Kỹ thuật và Công nghệ, trường Đại học Trà Vinh; hvhiep@tvu.edu.vn; huynhhuutri–bmxd@tv.edu.vn; nguyenthanhcong@tvu.edu.vn; giatruyen@tvu.edu.vn

*Tác giả liên hệ: hvhiep@tvu.edu.vn, Tel: +84–963887689

Ban Biên tập nhận bài: 2/8/2022; Ngày phản biện xong: 9/9/2022; Ngày đăng bài: 25/9/2022

Tóm tắt: Những năm gần đây tình hình sạt lở bờ biển, bờ sông ngày càng nghiêm trọng và diễn biến phức tạp. Tần suất xảy ra thường xuyên và cường độ ngày càng mạnh hơn, dữ dội hơn và không dự đoán trước được. Mục tiêu của bài báo là xác định các nguyên nhân sạt lở bờ sông tỉnh Trà Vinh sử dụng phương pháp điều tra và đo đạc thực địa và lập bảng câu hỏi phỏng vấn người dân và chính quyền khu vực sạt lở. Kết quả cho thấy rằng có 4 nguyên nhân chính đó là giao thông thủy, tác động của sóng và thủy triều, nạo vét lòng sông và đắp nền đường, địa chất yếu và một số nguyên nhân phụ khác như lượng phù sa giảm do các đập ở thượng nguồn, khai thác cát, mực nước ngầm hạ thấp và sụt lún mặt đất. Kết quả nghiên cứu này là cơ sở giúp người dân, chính quyền các cấp có cái nhìn tổng quan để có giải pháp ứng phó hợp lí cho phát triển bền vững tài nguyên đất.

Từ khóa: Sạt lở; Địa chất yếu; Bờ sông; Trà Vinh.

1. Giới thiệu

Đồng bằng sông Cửu Long (ĐBSCL) có nhiều hệ thống kênh chằng chịt với nhau và đều thông ra biển Đông. Hiện nay, do nhiều nguyên nhân khác nhau mà tình hình sạt lở trở nên trầm trọng gây ảnh hưởng đến đời sống người dân trong khu vực. Trà Vinh là tỉnh ven biển khu vực ĐBSCL đang chịu tác động mạnh của biến đổi khí hậu–nước biển dâng đến mọi mặt của hoạt động kinh tế, xã hội, môi trường và tự nhiên. Trong 10 năm gần đây, sạt lở bờ sông diễn ra rất nhanh và có xu thế tăng dần theo từng năm tại Trà Vinh gây thiệt hại về hạ tầng, hoa màu, làm suy thoái thảm rừng ven sông, đe doạ trực tiếp tới nhà cửa, sinh mạng và sinh kế của nhân dân. Đây là vấn đề rất khó khăn, có thể kể ra rất nhiều nguyên nhân bao gồm các nguyên nhân khách quan, chủ quan hay vừa khách quan cộng thêm chủ quan và cũng có thể nói cách khác là nhân tai, thiên tai hay là thiên tai có thêm yếu tố nhân tai cộng hưởng. Do tính phức tạp của vấn đề sạt bờ sông bờ biển được nhiều người quan tâm theo dõi nghiên cứu xử lý, trước tình hình diễn biến của biến đổi khí hậu ngày càng rõ nét hơn.

Theo số liệu thu thập hiện tại trên sông Tiền có trên 202 điểm sạt lở với tổng chiều dài 218 km, sông Hậu có trên 90 điểm sạt với tổng chiều dài 183 km và khu vực tỉnh Cà Mau có 61 điểm sạt với tổng chiều dài 150 km. Nếu xét trên toàn bộ sông ở ĐBSCL thì tổng số điểm sạt lên đến 665 điểm với tổng chiều dài 1048 km. Vấn đề sạt lở xảy ra từ nhiều thập kỷ, tuy nhiên hiện tượng sạt lở trong thời gian 10 năm trở lại đây đã xảy ra càng lúc càng trầm trọng và tốc độ sạt lở càng lúc càng gia tăng [1].

Theo báo cáo của Ủy ban nhân dân tỉnh Trà Vinh thì Sạt lở bờ sông: Phía sông Hậu thuộc các huyện Cầu Kè, Tiểu Cần, Trà Cú; phía sông Cổ Chiên thuộc các huyện Càng Long, Châu

Thành, Cầu Ngang và thành phố Trà Vinh sạt lở từ 1,5–50,35 km. Sạt lở bờ biển: Khu vực bờ biển ấp Nhì, xã Mỹ Long Nam (huyện Cầu Ngang), bờ biển xã Hiệp Thạnh (thị xã Duyên Hải), khu vực Cồn Nhàn, xã Đông Hải (huyện Duyên Hải) sạt lở từ 6–8 km [2].

Các nghiên cứu đã đánh giá được hiện trạng, quá trình diễn biến xói lở, bồi tụ bờ sông; dự báo xói lở (dựa trên các mô hình toán thủy văn, thủy lực; công thức kinh nghiệm…) cho một số khu vực trọng điểm; đánh giá tác động khai thác cát đến thay đổi lòng dẫn sông [3]; một số công trình đã được thực thi nhằm hạn chế xói lở, nhất là giải pháp khoa học và công nghệ [4–5] và bước đầu phát huy hiệu quả… Tuy nhiên, những nghiên cứu chủ yếu được thực hiện bằng các phương pháp riêng lẻ nên những kết quả thu được chủ yếu mang tính chất tham khảo. Mặt khác, những phương pháp (vật lí, mô hình thủy văn – thủy lực…) đòi hỏi số liệu đầu vào lớn và đủ dài mới đảm bảo độ tin cậy; nguồn kinh phí lớn [6–8].

Xói lở bờ sông do tác động từ sóng sinh ra bởi tàu, thuyền là một vấn đề ngày càng nghiêm trọng trên nhiều con sông, đặc biệt là ở giữa và phạm vi cửa sông giống như tỉnh Trà Vinh. Một thí nghiệm được thiết kế để liên kết tốc độ xói mòn bờ với các đặc điểm sóng dễ đo, được thực hiện trên sông Gordon ở Tasmania, cung cấp thông tin hữu ích cho việc quản lý sông. Sóng tạo ra từ một chiếc thuyền, một số đặc điểm đã được đo lường và hầu hết cho thấy mối tương quan cao với tỷ lệ xói lở bờ sông đo được. Chiều cao sóng tối đa của thuyền là biện pháp đo đơn giản nhất và có liên quan trực tiếp của năng lượng xói mòn, phù sa cát không còn vững chắc ở độ cao sóng từ 30 đến 35 cm. Ở tất cả các độ cao sóng tối đa trên 35 cm, các trầm tích ve bờ bị xói mòn một cách nghiêm trọng. Giảm độ cao sóng tối đa xuống < 30 cm bằng cách hạn chế tốc độ thuyền và giảm tần suất đi lại của thuyền, giúp hạn chế quá trính xói lở bờ sông một cách rõ rệt [9].

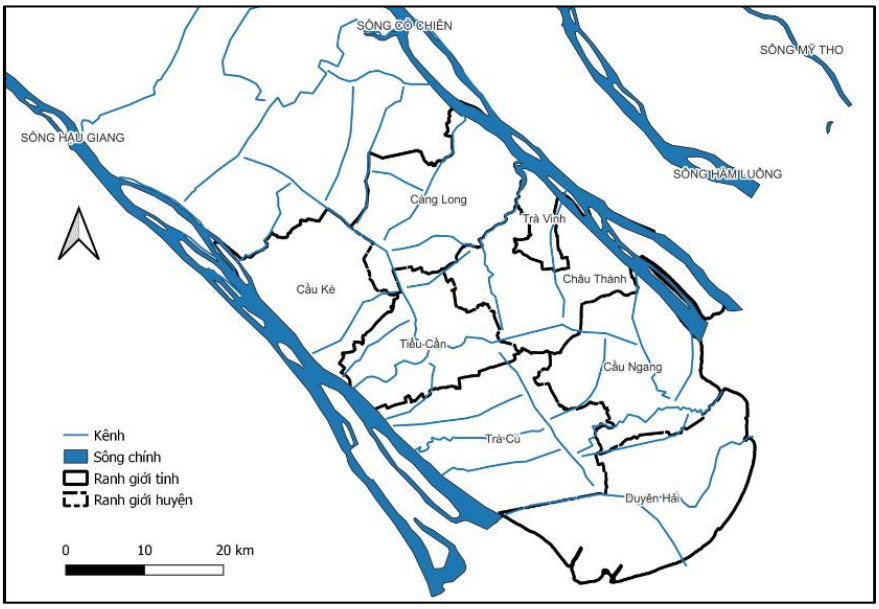
Mất ổn định của bờ sông là một vấn đề lớn cho cả xã hội và các khía cạnh môi trường, đặc biệt là trong trường hợp hạ thấp và dâng cao của mực nước. Sử dụng các mô hình đơn giản hóa kết hợp với sự biến đổi mực nước ngầm và phân tích ổn định tại vị trí bờ sông với dữ liệu thủy văn địa phương, chúng tôi chứng minh rằng nguy cơ sạt lở bờ sông khi mực nước giảm xuống. Điều này là do sự chậm trễ của việc hạ thấp mực nước ngầm và áp lực lỗ rỗng cao trong đất. Do đó, nguy cơ này tăng đáng kể nếu mực nước ngầm ở ngay gần bờ sông cao hoặc giảm mực nước sông nhanh chóng. Hơn nữa, hệ số thấm của đất cũng gây ra nguy cơ sạt lở bờ sông: hệ số thấm của đất càng thấp thì nguy cơ sạt lở bờ sông càng cao nếu mực nước giảm và ngược lại [10]. Hiện tượng sạt lở trên sông rạch ở ĐBSCL đã được nghiên cứu khá nhiều [11–14] và chỉ ra 7 nguyên nhân ảnh hưởng đến diễn biến sạt lở bờ sông như sau: địa chất; địa hình–hình thái sông; chế độ thủy lực; chế độ phù sa bùn cát; khai thác cát; giao thông thủy; xây dựng cơ sở hạ tầng. Sạt lở bờ biển, sông đang xảy ra và có chiều hướng ngày càng gia tăng. Do đó, việc nghiên cứu nghiên cứu phân tích nguyên nhân sạt lở bờ sông tỉnh Trà Vinh có ý nghĩa đặc biệt quan trọng phục vụ quy hoạch bảo vệ bờ sông đảm bảo phát triển kinh tế–xã hội bền vững.

2. Phương pháp nghiên cứu và dữ liệu

2.1. Khu vực nghiên cứu

Tỉnh Trà Vinh là tỉnh tiếp giáp với biển Đông, Bắc và Tây Bắc giáp tỉnh Vĩnh Long; Đông giáp sông Cổ Chiên, ngăn cách với tỉnh Bến Tre; Tây giáp sông Hậu, ngăn cách với tỉnh Sóc Trăng; Nam và Đông Nam giáp biển với chiều dài hơn 65 km. Tổng diện tích đất tự nhiên của tỉnh Trà Vinh là 229.500 ha. Ở địa thế nằm kẹp giữa hai con sông lớn: sông Hậu và sông Cổ Chiên, có hai cửa sông Cung Hầu và Định An là hai cửa sông quan trọng của vùng ĐBSCL thông với biển Đông. Hệ thống sông tỉnh Trà Vinh là phần hạ lưu của sông Mê kông nằm trong lãnh thổ Việt Nam, có hệ thống sông khá dày đặc, bao gồm hệ thống sông tự nhiên và kênh đào khá phát triển, rộng, sâu ở cửa, hẹp và cạn dần khi vào trong nội đồng [15] (Hình 1). Do gần biển, biên độ và mực nước trên sông khá cao nên tiềm năng tiêu tự chảy ở đây rất lớn, do một phần sông có sự giáp nước từ các hướng sông Cổ Chiên nên biên độ triều tắt

nhanh [15]. Bên cạnh đó, các sông nội đồng ở chế độ thủy triều bán nhật triều không đều, trong ngày có 2 lần nước lên và 2 lần nước xuống.



Hình 1. Bản đồ hệ thống sông tỉnh Trà Vinh [15].

2.2. Thu thập số liệu

2.2.1. Điều tra thực địa và khảo sát đo đạc

Đây là phương pháp được sử dụng nhiều trong nghiên cứu về diễn biến đường bờ sông trước đây và hiện nay. Muốn biết rõ được hiện trạng, nắm bắt cụ thể nguyên nhân thì các tài liệu, dữ liệu điều tra hiện trường như hình ảnh, phiếu khảo sát là rất cần thiết. Khảo sát đo đạc mới dữ liệu thủy văn, địa hình là cực kỳ quan trọng để đánh giá một cách chính xác diễn biến lòng sông, chế độ thủy động lực tại vị trí trọng điểm thông qua sử dụng các thiết bị, phương tiện đo đạc, phân tích hiện đại nhằm đảm bảo độ tin cậy các số liệu thu được.

Do tình hình sạt lở mỗi nơi khác nhau, tùy vào vị trí khu vực mà có bảng khảo sát khác nhau. Tại tỉnh Trà Vinh giáp biển Đông và nằm giữa 2 con sông Tiền và sông Hậu nên nhóm nghiên cứu thực hiện khảo sát với 34 điểm trong toàn tỉnh Trà Vinh có 01 Tp. Trà Vinh, 01 thị xã và 06 huyện (Hình 2).

Hình 2. Vị trí sạt lở tỉnh Trà Vinh.

Hình 3. Vị trí sạt lở tại sông Tam Ngãi huyện Cầu Kè, tỉnh Trà Vinh.

2.2.2. Bảng câu hỏi khảo sát

Bảng câu hỏi được thiết lập dựa trên các điều kiện đặc thù tại tỉnh Trà Vinh và được phỏng vấn trực tiếp người dân sinh sống trên 10 năm xung quanh khu vực sạt lở hoặc cán bộ quản lí phòng kinh tế và hạ tầng các thành phố, thị xã và huyện ở khu vực khảo sát. Bảng câu hỏi bao gồm các cột như: Tuyến sông, vị trí sạt lở, chiều dài sạt lở, chiều sâu sạt lở, mức độ sạt lở, địa chất hiện trạng sạt lở, chiều cao mực nước lên xuống, nguyên nhân sạt lở mức độ bồi lắng (nếu có), thời điểm sạt lở và họ tên và chữ kí người được khảo sát.

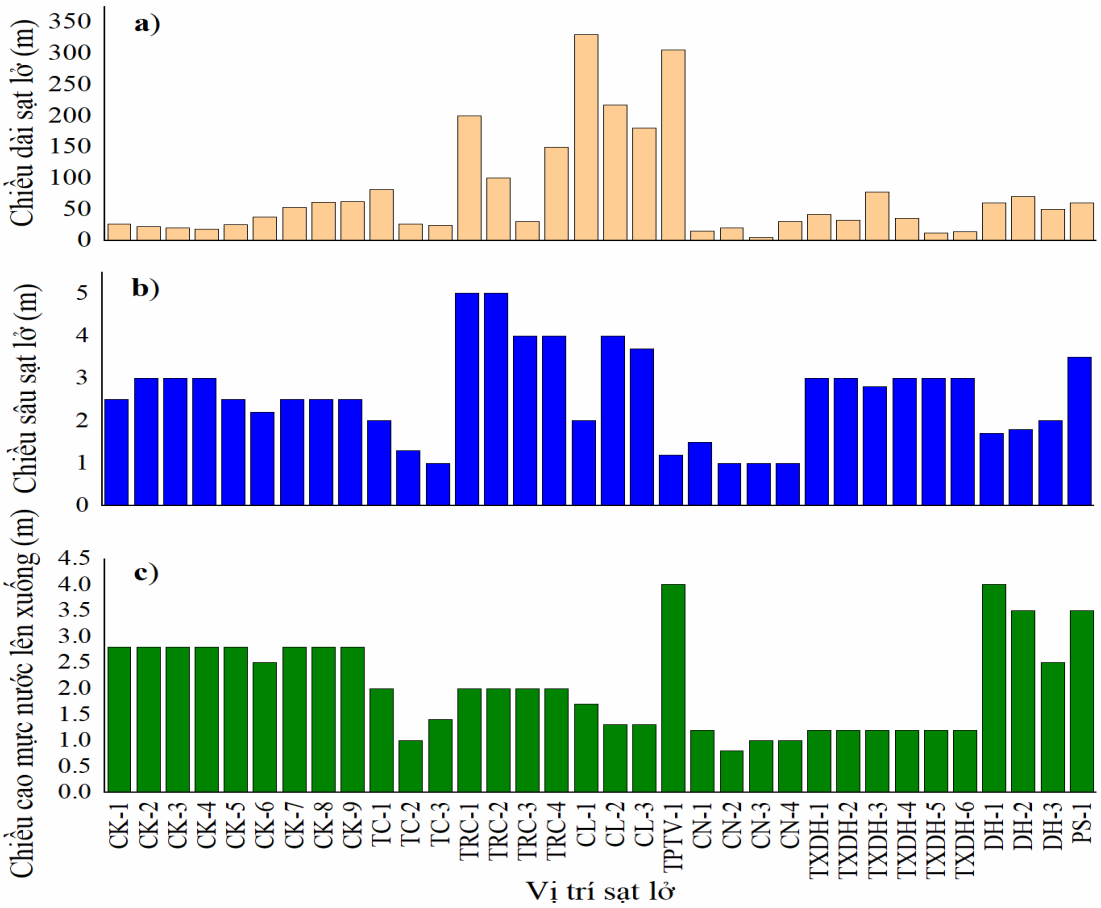
2.2.3. Phân tích số liệu

Với 34 điểm khảo sát trong toàn tỉnh Trà Vinh, nhóm nghiên cứu tiến hành phân tích số liệu từ đó phân tích số liệu xem nguyên nhân nào chiếm đa số, nguyên nhân nào ít hơn để từ đó ta có kết quả được phân tích thể hiện trong phần kết quả và thảo luận.

3. Kết quả và thảo luận

3.1. Kết quả

Các vị trí sạt lở với tổng cộng 34 điểm khảo sát trong năm 2022 và được mã hóa thành kí hiệu riêng. Theo đó huyện Cầu Kè có 9 điểm, Cầu Ngang 4 điểm, Càng Long 3 điểm, Thành phố Trà Vinh 1 điểm, Trà Cú 4 điểm, Duyên Hải 3 điểm, Thị xã Duyên Hải 6 điểm, Tiểu Cần 3 điểm. Trong đó huyện Cầu Ngang có chiều dài sạt lở trung bình nhỏ nhất với chiều dài sạt lở lớn nhất là 30 m thấp nhất là 5 m, ngược lại huyện Càng Long có chiều dài sạt lở trung bình lớn nhất với chiều dài sạt lở lớn nhất là 330m thấp nhất là 180 m. Song song đó, chiều sâu sạt lở sâu nhất ở huyện Trà Cú trung bình là lớn nhất với chiều sâu lớn nhất là 5 m và nhỏ nhất là 4 m. Kế đến là huyện Cầu Ngang với chiều sâu sạt lở trung bình nhỏ nhất với chiều sâu lớn nhất là 3 m và nhỏ nhất là 2,5 m. Ngoài ra, chiều sâu mực nước lên xuống thì Thành phố Trà Vinh cao nhất là 4 m, huyện Cầu Ngang là huyện có chiều sâu mực nước lên xuống trung bình nhỏ nhất với chiều sâu thấp nhất 0,8 m và cao nhất là 1,2 m (Hình 4). Tiếp theo đó, thời điểm gây ra sạt lở nhiều nhất là năm 2020 với tổng cộng là 19 điểm.



Hình 2. Chiều dài (a), chiều sâu sạt lở (b) và mực nước lên xuống (c).

3.2. Thảo luận

Qua kết quả khảo sát ta tiến hành tính toán tổng hợp theo tỉ lệ % khi đó có các nguyên nhân cụ thể như sau:

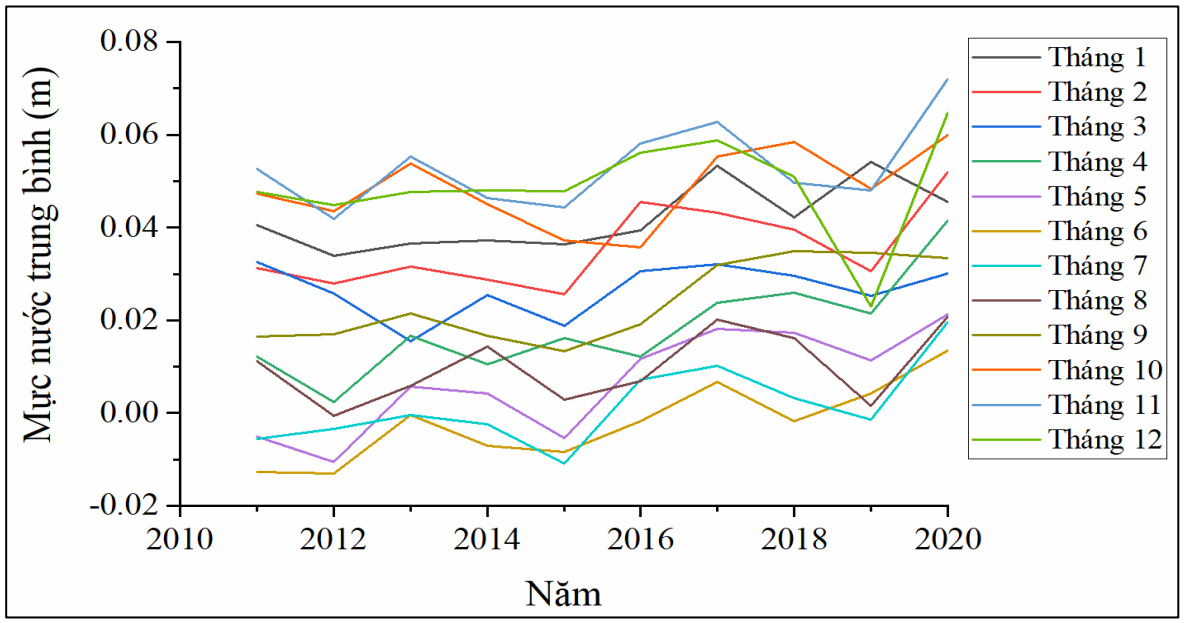
- Do giao thông thủy (tàu thuyền qua lại hoặc neo đậu) chiếm 44,12%: Hiện nay tỉnh Trà Vinh với lưu lượng giao thông thủy tăng rất nhanh để vận chuyển hàng hóa và vật liệu xây dựng, kết hợp vận chuyển lúa gạo. Trên các sông của tỉnh Trà Vinh lưu lượng tàu thuyền với tải trọng dao dộng từ khoảng 280–1050 T khi đó chiều cao sóng dao động khoảng từ 0,2–0,5 m. Theo [16] đã thực hiện một số đo đạc thực địa về cấu trúc bờ và chuyển động của tàu để đánh giá tác động tiềm tàng của sóng do tàu gây ra đối với giao thông ra vào sông Hậu. Kết quả là, các bờ sông có thể chống lại ứng suất cắt ngoài bởi chiều cao sóng tối đa từ 0,4 đến 0,6 m. Do đó, đất dọc theo luồng tàu Hậu có thể chống lại ứng suất bên ngoài 1,2–2,0 T/m^2 có thể tạo ra bởi sóng tàu cao 0,4–0,6 m. Từ đó ta thấy rằng, trên hệ thống sông tỉnh Trà Vinh đa số tàu thuyền di chuyển tạo ra chiều cao sóng từ 0,2–0,5 m, kết hợp sóng do gió mùa Tây Nam gây ra nên chiều cao sóng sẽ cao hơn, dẫn đến là gây ra ứng suất ngoài sẽ lớn hơn 2,0 T/m^2, kết hợp với đất yếu (bùn sét) với chiều dày khoảng 15m nên gây ra sạt lở bờ sông trong tỉnh Trà Vinh.

- Do tác động của sóng và thủy triều chiếm 29,41%:

Khí hậu Trà Vinh mang tính chất chung của khí hậu nhiệt đới gió mùa chịu tác động bởi gió mùa Đông Bắc và Tây Nam. Do sự biến đổi các dạng hoàn lưu khí quyển mang tính tuần hoàn nên chế độ gió cũng có sự biến đổi tuần hoàn. Từ tháng 5 đến tháng 11, hướng gió ưu thế là Tây đến Tây Nam. Những gió có thành phần Đông chiếm một tần suất không đáng kể. Từ tháng 12 đến tháng 4 năm sau, hướng gió thường xuyên vào mùa này là gió Đông đến Đông Nam với tần suất cao. Đối với những tháng 01 đến tháng 4 gió thành phần Đông chiếm

ưu thế. Đặc biệt gió có thành phần Tây có tần suất không đáng kể dưới 10% chủ yếu là các tháng chuyển mùa [17]. Các sóng này gây ra xói lở mái bờ dần dần gây sạt trượt bờ.

Song song đó, thủy triều ở tỉnh Trà Vinh là bán nhật triều nên có ảnh hưởng về vận tốc triều lên và triều xuống theo mùa, từ đó gây ra ảnh hưởng đến mực nước trong sông dẫn đến gây xói lở mái. Thêm vào đó, do đoạn sông cong kèm với lòng sông bị biến đổi làm cho thay đổi chế độ dòng chảy làm thay đổi, biến động thuộc tính của đất tình trạng này không có khả năng cải thiện.



Hình 5. Mực nước theo năm tại trạm Trà Vinh năm 2020 [18].

- Do nạo vét lòng sông và đắp nền đường chiếm (17,65%):

Đối với các lòng sông ở tỉnh Trà Vinh được nạo vét định kì tạo điều kiện cho việc dẫn nước vào kênh nội đồng kèm với đó là cho việc tàu thuyền qua lại thuận tiện. Chính vì vậy, gây ra khả năng kháng xói, chống sạt trượt kém. Thêm vào đó là đắp nền đường hoặc phát triển hạ tầng ven sông dẫn đến là tăng tải trọng gây trượt mái bờ làm cho sạt lở trở nên dễ dàng hơn.

- Do địa chất yếu và vị trí gần cửa cống không có kè gia cố (8,82%):

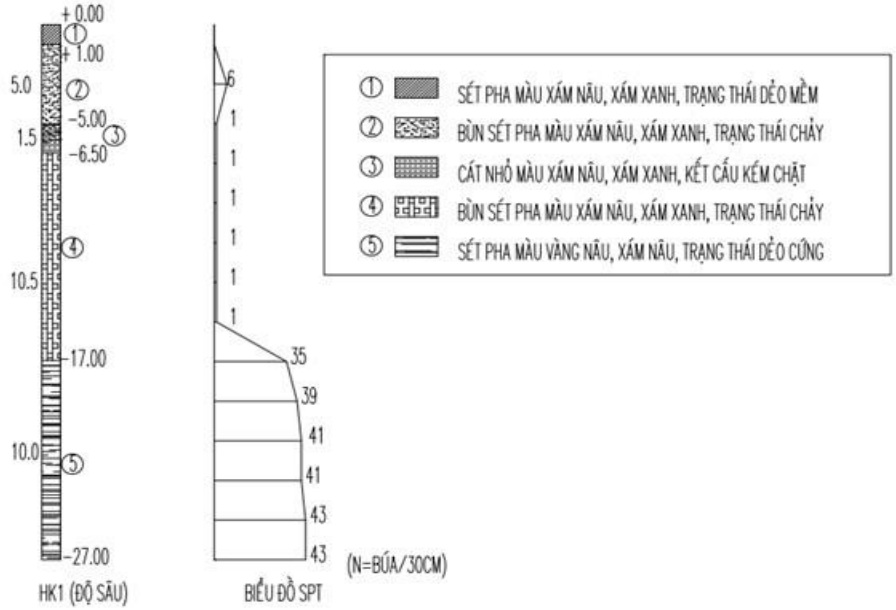
Các tỉnh ĐBSCL đa số là nền đất yếu (bùn sét), trong đó tỉnh Trà Vinh có chiều dày lớp bùn sét khoảng 15 m [19] nên dễ bị xói lở, sạt trượt và tan rã.

Ngoài ra, còn một số nguyên nhân phụ khác như các đập ở thượng nguồn dẫn đến là lượng phù sa ở ĐBSCL giảm đi rất nhiều. Theo đó, [20] cho rằng lượng phù sa giảm 166,7 triệu tấn/năm trong giai đoạn khi chưa xây dựng đập và giảm 43,1 triệu tấn/năm trong giai đoạn 2012–2015 khi có xây dựng các đập. Thêm vào đó [20] cho rằng lượng khai thác cát ở các lòng sông ở ĐBSCL là 14,8%, còn lại là do xây dựng các đập thủy điện ở thượng nguồn dẫn đến lượng cát ở các lòng sông bị mất đi. Nguyên nhân khác nữa là mực nước ngầm ở Trà Vinh hạ thấp dẫn đến là mặt đất bị sụt lún trong giai đoạn 2001÷2016 là 28,79 cm, tương ứng với tốc độ lún trung bình là 1,83 cm/năm [21].

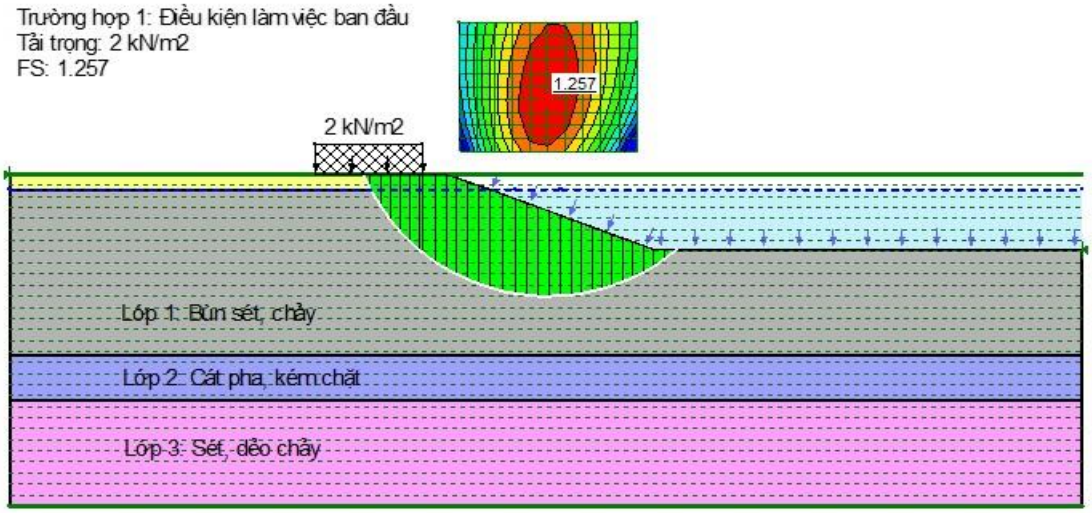
Theo đó, [22] cho rằng biến đổi sông có thể đã gây ra bởi sự giảm tải lượng phù sa ở ĐBSCL (từ 166,7 triệu tấn/năm trong thời kỳ trước khi xây dựng đập xuống còn 57,6 triệu tấn/năm trong thời kỳ sau khi xây dựng đập) và tăng khai thác cát (từ 3,9 triệu m3 trong năm 2012 lên 13,43 triệu m3 trong năm 2018).

– Mô phỏng mô hình bằng phần mềm Geoslope:

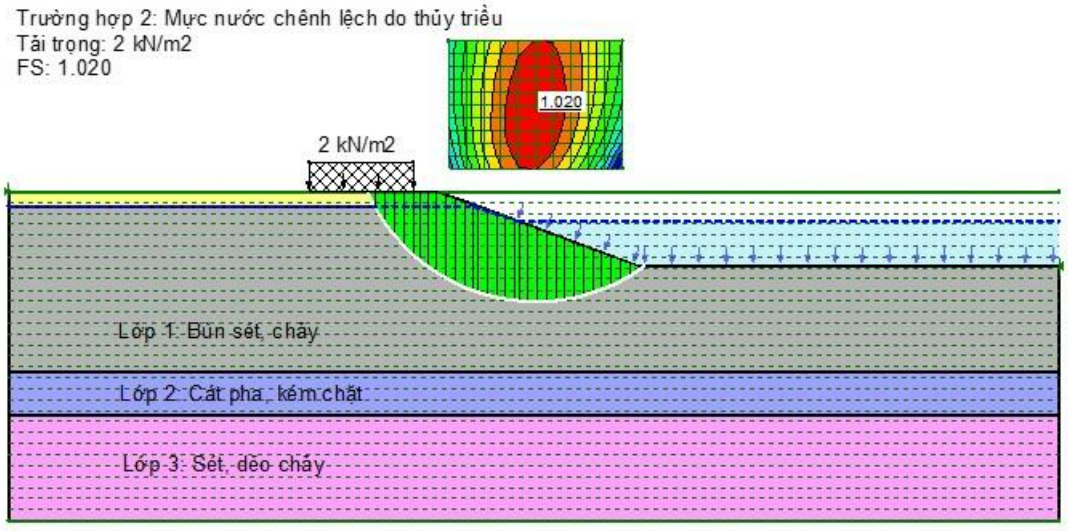
Căn cứ vào địa hình, địa chất đặc trưng khu vực nghiên cứu và thông số đầu vào thủy lực cho mô hình được mô phỏng cho 4 trường hợp.



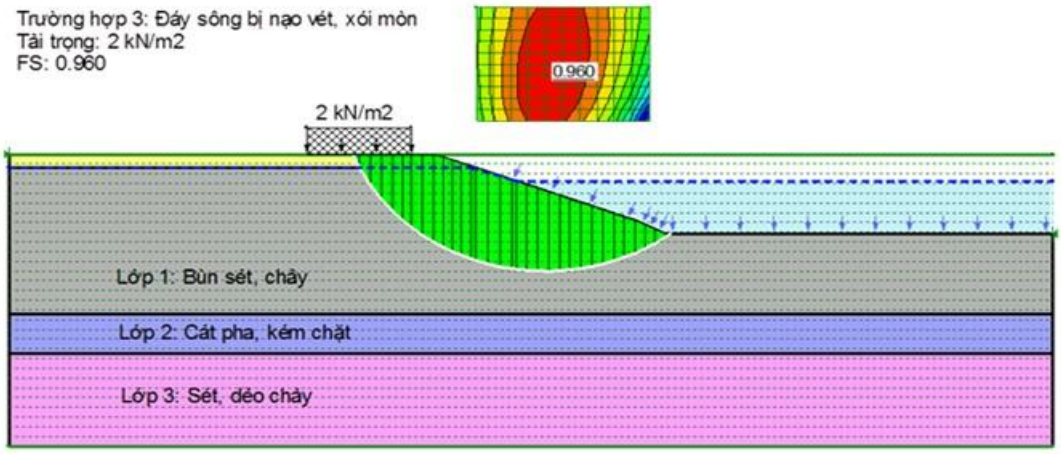
Hình 6. Cột địa chất tại huyện Cầu Kè tỉnh Trà Vinh [19].



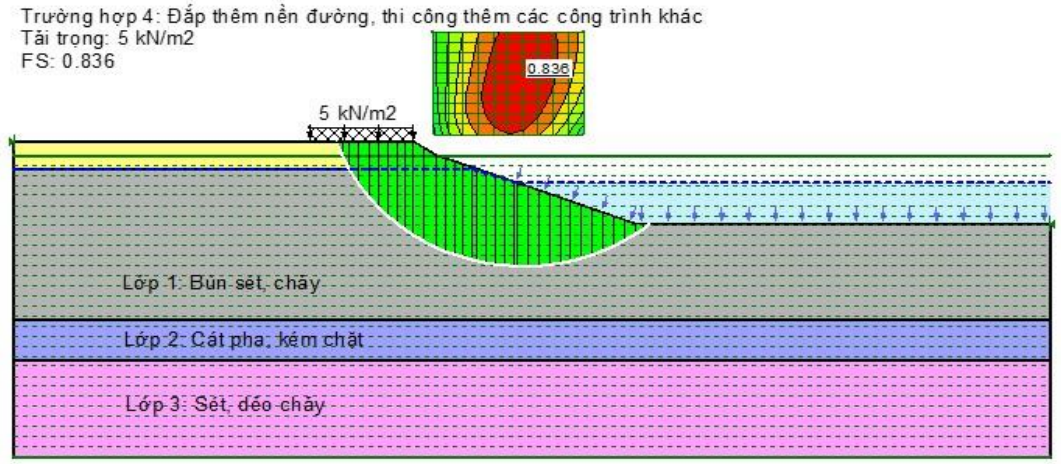
Hình 7. Bờ kè làm việc ở trạng thái ổn định ban đầu.



Hình 8. Mực nước chênh lệch do thủy triều.



Hình 9. Đáy sông bị nạo vét, xói mòn dẫn đến chênh lệch độ cao giữa đỉnh và đáy bờ kè.



Hình 10. Đắp nền đường, thi công thêm các công trình hạ tầng gây tăng tải trọng sau kê.

Bảng 1. Kết quả kiểm tra ổn định.

Trường hợp	Mô tả	FS	[FS]	Kết luận
TH1	Điều kiện làm việc ban đầu, tải trọng sau kè là xe chạy là 2 kN/m^2	1,257	1,2	Không trượt
TH2	Mực nước chênh lệch do thủy triều	1,020	1,2	Trượt
TH3	Đáy sông bị nạo vét, xói mòn	0,960	1,2	Trượt
TH4	Đắp nền đường, thi công thêm các công trình hạ tầng gây tăng tải trọng sau kè	0,836	1,2	Trượt

4. Kết luận

Với kết quả nghiên cứu cho thấy là có rất nhiều nguyên nhân dẫn đến sạt lở bờ sông tỉnh Trà Vinh, mà có 4 nguyên nhân chính và một số nguyên nhân phụ gây ra. Trong đó mỗi nguyên nhân được xác định theo thứ tự từ cao đến thấp để giúp ta thấy rằng nguyên nhân nào được ưu tiên. Chính vì vậy, từ kết quả mà ta cũng biết định tính và định lượng một cách chi tiết. Từ đó, giúp cho các nhà khoa học có ý tưởng để đưa ra giải pháp mềm hoặc cứng để bảo vệ bờ sông tỉnh Trà Vinh an toàn hơn ở hiện tại và trong tương lai. Từ nghiên cứu này có thể giúp anh cho người dân, nhà quản lí, nhà khoa học có cái nhìn tổng quan để từ đó có kế hoạch ứng phó cho phù hợp hoặc giảm thiểu để tránh sạt lở xảy ra nghiêm trọng hơn. Tuy nhiên, hạn chế của nghiên cứu này là chưa xác định được tốc độ sạt lở hàng năm là bao nhiêu để người dân và chính quyền có giải pháp ứng phó hợp lí cho từng vị trí cụ thể trong khu vực nghiên cứu.

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

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. Hoài, H.C.; Bảy, N.T.; Khôi, Đ.N.; Nga, T.N.Q. Phân tích nguyên nhân gây gia tăng xói lở bờ sông ở Đồng bằng sông Cửu Long. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* **2019**, *703*, 42–50.
2. Báo cáo số: 243/BC–UBND ngày 27 tháng 9 năm 2019 của Chủ tịch Ủy ban nhân dân tỉnh Trà Vinh về việc "Tình hình sạt lở bờ sông, bờ biển trên địa bàn".
3. Hùng, L.M. và cs. Nghiên cứu ảnh hưởng hoạt động khai thác cát đến thay đổi lòng dẫn sông Cửu Long (sông Tiền, sông Hậu) và đề xuất giải pháp quản lí, quy hoạch khai thác hợp lí. Báo cáo tổng kết đề tài KH&CN cấp Nhà nước, mã số ĐTĐL.2010T/29, Viện Khoa học Thủy lợi miền Nam, TP. Hồ Chí Minh, 2013.
4. Hùng, N.N. và cs. Nghiên cứu giải pháp KH&CN để điều chỉnh và ổn định các đoạn sông có cù lao đang biến động lớn về hình thái trên sông Tiền và sông Hậu. Báo cáo tổng kết đề tài KH&CN cấp Nhà nước, mã số KC.08–21/11–15, Viện Khoa học Thủy lợi miền Nam, TP Hồ Chí Minh 2016.
5. Hùng, L.M.; Hoằng, T.B. Sạt lở bờ hệ thống sông vùng ĐBSCL và những đóng góp của KH&CN vào việc phòng chống giảm nhẹ thiệt hại. *Tạp chí KH&CN Việt Nam* **2017**, *9*, 24–46.
6. Trân, N.N. Chỉ đúng nguyên nhân ĐBSCL sạt lở và các khuyến nghị 2017, http://baodatviet.vn.
7. Hoành, T.P.; Hòa, P.V.; Thương, T.V. Định hướng giải quyết vấn đề xói lở bờ sông vùng ĐBSCL theo tiếp cận địa lí tổng hợp. Kỉ yếu Hội nghị Khoa học Địa lí toàn quốc lần thứ 10, 2018, tr. 393–403.
8. Viện Khoa học Thủy lợi miền Nam. Thực trạng xói lở, bồi lắng và công trình chống xói lở trên hệ thống sông, kênh rạch, bờ biển ĐBSCL và định hướng bảo vệ, ổn định lâu dài 2017, http://www.siwrr.org.vn.
9. Nanson, G.C.; Krusenstierna, A.V.; Bryant, E.A.; Renilson, M.R. Renilson. Experimental measurements of river–bank erosion caused by boat–generated waves on the Gordon river, Tasmania. Regulated rivers. *Res. Manage.* **1994**, *9*, 1–14.
10. Chhun, S.; Ky, S.; Martinez, J.; Son, H.T. Prediction of Mass Landslides of River Banks Subjected to Variations of the Water Level. *GMSARN Int. J.* **2015**, *9*, 113–118.
11. Bộ Nông nghiệp và Phát triển Nông thôn. Báo cáo: Lún sụt đất và xói lở vùng ĐBSCL: Thực trạng, nguyên nhân và định hướng giải pháp. Hội nghị chuyển đổi mô hình phát triển ĐBSCL theo hướng bền vững và thích ứng biến đổi khí hậu 2017.
12. Hjulstrom, F. Studies of the Morphological Activity of River as illustrated by the river. Fyris Bulletin. Geological Institute of Upsala, Upsala, Sweden, 1935.
13. Marcello, G.; Yoshiki, S.; Lap, N.V.; Oanh, T.T.K.; Rei, N.; Toru, T.; Katsuto, U.; Kota, K.; Seiichiro, Y. Process regime, salinity, mor–phological, and sedimentary trends along the fluvial to marine transition zone of the mixed–energy Mekong River delta, Vietnam. *Cont. Shelf Res.* **2017**, *147*, 7–26.
14. Rosgen, D. Applied river morphology. Woldland Hydology, Pagosa Springs, CO, 1996.

15. Huân, H.V và cs. Xây dựng bản đồ (Atlas) hiện trạng và dự báo thủy động lực vùng biển và bờ biển (từ 0 – 30m nước) tỉnh Trà Vinh đến 2050. Báo cáo tổng kết đề tài cấp Nhà nước, 2013.
16. Son, H.N.; Tin, T.H.; Vinh, T.B.; Dau, N.V. The mechanism of Riverbank erosion caused by ship–generated waves along Hau river's entrance navigation channel Southern Vietnam. Advances in sustainable construction and resource management, Lecture notes in Civil Engineering, 2021, 897–904.
17. Toàn, P.N.; Đắc, P.T. Khí hậu Việt Nam. Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật 1993.
18. Đài khí tượng Thủy văn Trà Vinh. Báo cáo kết quả đo mực nước tại Trạm Trà Vinh, 2020.
19. Công ty cổ phần tư vấn xây dựng tổng hợp Trà Vinh. Báo cáo kết quả khảo sát địa chất công trình tỉnh Trà Vinh 2020.
20. Doan, V.B.; Kantoush, S.; Sumi, T. Changes to long–term discharge and sediment loads in the Vietnamese Mekong Delta caused by upstream dams. *Geomorphology* **2020**, *353*, 1–14.
21. Hiệp, H.V.; Long, P.V.; Hung, N.T. Đánh giá mức độ sụt lún mặt đất do khai thác nước ngầm quá mức trong tỉnh Trà Vinh. Tuyển tập Công trình Hội nghị Khoa học Cơ học Thủy khí toàn quốc lần thứ 20, Nhà xuất bản Đại học Quốc gia Tp. Hồ Chí Minh 2017, ISBN 978-604-73-6070-3.
22. Binh, D.V.; Kantoush, S.A.; Tetsuya, S.; Mai, N.P.; Ngoc, T.A.; Trung, L.V.; An, T. D. Effects of riverbed incision on the hydrology of the Vietnamese Mekong Delta. *Hydrol. Processes* **2021**, *35(2)*, e14030.

Study of causes riverbanks erosion: Case study of Tra Vinh Province

Huynh Van Hiep[1*], Huynh Huu Tri[1], Nguyen Thanh Cong[1], Ngo Gia Truyen[1]

[1] Department of Civil Engineering, School of Engineering and Technology, Tra Vinh University; hvhiep@tvu.edu.vn; huynhhuutri-bmxd@tv.edu.vn; nguyenthanhcong@tvu.edu.vn; giatruyen@tvu.edu.vn

Abstract: In recent years, the situation of coastal and riverbank erosion has become more and more serious and complicated. The frequency is frequent and the intensity is getting stronger, more intense and unpredictable. The objective of the article is to identify the causes of riverbank erosion in Tra Vinh province using survey and field measurement methods and prepare a questionnaire to interview people and government in the landslide area. The results show that there are 4 main causes, which are navigation, wave and tidal action, dredging of the river bed and embankment, and soft soil respectively, and some other secondary causes such as reduced alluvium caused by dams upstream, sand mining, lowering of groundwater levels and land subsidence. This research result is the basis to help people and administration at all levels have an overview to have a reasonable response solution for the sustainable development of land resources.

Keywords: Erosion; Soft soil; Riverbank; Tra Vinh.

TẠP CHÍ
KHÍ TƯỢNG THỦY VĂN

Check for updates

Bài báo khoa học

Nghiên cứu xây dựng bản đồ ngập lụt lưu vực sông Bùi và vùng phụ cận

Nguyễn Duy Quang[1], Lê Viết Sơn[1], Bùi Tuấn Hải[1*], Bùi Thế Văn[1], Trần Thị Thanh Dung[1]

[1] Viện Quy hoạch Thủy lợi, Bộ Nông nghiệp và Phát triển nông thôn; nguyenduyquang.wru@gmail.com; levietson2211@gmail.com; buituanhai@gmail.com; vanbt53@wru.vn; thanhdung240185@gmail.com

*Tác giả liên hệ: buituanhai@gmail.com; Tel.: +84–989336330

Ban Biên tập nhận bài: 9/8/2022; Ngày phản biện xong: 12/9/2022; Ngày đăng bài: 25/9/2022

Tóm tắt: Lưu vực sông Bùi là một trong những vùng phát triển kinh tế trọng điểm của thủ đô Hà Nội, tuy nhiên lưu vực này lại thường xuyên xảy ra ngập úng. Bài báo trình bày kết quả nghiên cứu đã sử dụng mô hình MIKE FLOOD kết hợp với phần mềm ArcGIS để đánh giá diễn biến ngập lụt và xây dựng bản đồ ngập lụt, úng cho lưu vực sông Bùi và vùng phụ cận theo các kịch bản. Nghiên cứu đã tính toán bằng mô hình thủy lực lũ 1 chiều và 2 chiều trên các sông và vùng ngập trong khu vực nghiên cứu với các kịch bản tần suất mưa, lũ 1%, 2%, 5%, 10%. Kết quả tính toán được sử dụng để xây dựng bản đồ ngập lụt tương ứng với các kịch bản tần suất cho lưu vực sông Bùi và vùng phụ cận. Sản phẩm của nghiên cứu có thể được áp dụng giúp các cơ quan quản lý chuẩn bị cũng như ứng phó giảm thiểu thiệt hại khi có lũ lụt xảy ra trên địa bàn.

Từ khóa: Sông Bùi; Bản đồ ngập lụt; MIKE11; MIKE21.

1. Giới thiệu

Việt Nam là một trong những nước chịu ảnh hưởng nặng nề của biến đổi khí hậu (BĐKH). Những biến đổi này được gây ra do quá trình động lực của trái đất, bức xạ mặt trời và một phần hoạt động của con người. Trong điều kiện phức tạp của BĐKH toàn cầu, loại hình thiên tai tự nhiên có nguồn gốc khí tượng thủy văn đặc biệt là tai biến lũ lụt là một loại hình thiên tai xảy ra ở mức độ và cường độ ngày càng mạnh hơn, gây ra những thiệt hại nặng nề cho con người và môi trường. Thiên tai lũ lụt trở thành mối đe dọa thường xuyên đối với sản xuất và đời sống. Những mối đe dọa này ngày càng trở lên nghiêm trọng hơn khi mật độ dân số tăng lên và các hoạt động kinh tế xã hội ngày càng phát triển.

Việc nghiên cứu tổng thể đánh giá tác động cũng như những thiệt hại của mưa lũ gây ra với đời sống kinh tế xã hội lưu vực sông Đáy nói chung và lưu vực sông Bùi và phụ cận nói riêng [1–2], từ đó có những phương pháp ứng phó với mưa lũ trong tương lai đang đặt ra rất cấp thiết. Trên thế giới, trong những năm gần đây đã có những thay đổi căn bản trong quan điểm và phương thức ứng phó với thiên tai nói chung và với lũ lụt nói riêng. Thế giới đang chuyển dần từ phương thức phòng chống sang thích ứng. Một trong những khái niệm được nhiều nước áp dụng hiện nay là "*Room for rivers*". Ở Việt Nam, nghiên cứu về lũ và ngập lụt đã được quan tâm những năm gần đây, đặc biệt là sử dụng những công nghệ mới như viễn thám và mưa vệ tinh [3–4]. Đặc biệt là các nghiên cứu về xây dựng bản đồ ngập lụt từ đó đề xuất các giải pháp cho vấn đề ngập lụt và nghiên cứu xây dựng bản đồ ngập lụt như là một

công cụ hỗ trợ công tác ứng phó với thiên tai đã được triển khai ở nhiều vùng ở Việt Nam [5–12].

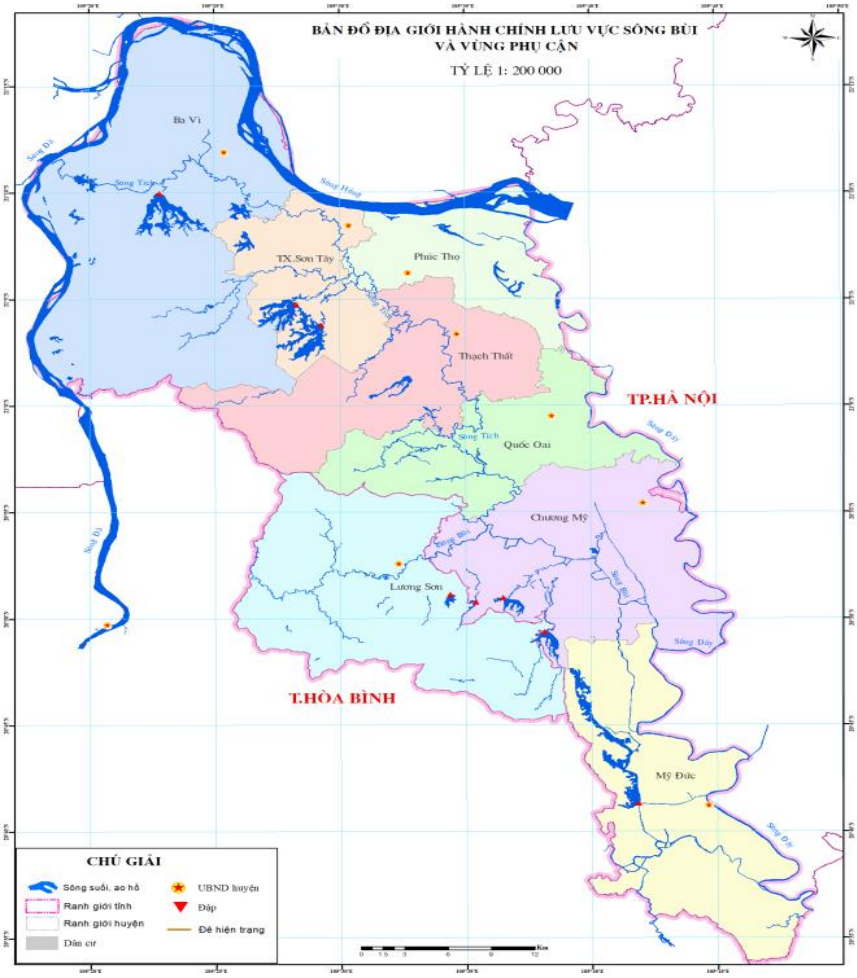
Các phương án giải quyết trình trạng ngập lụt đưa ra hầu hết tập trung vào chỉnh trị dòng chảy bằng việc xây dựng các công trình. Ngay tại thủ đô Hà Nội, trên địa bàn tập trung đông dân cư thuộc các huyện Chương Mỹ, Quốc Oai lại thường xuyên xảy ra tình trạng ngập lụt làm ảnh hưởng tới đời sống dân sinh kinh tế và bộ mặt của thủ đô. Dù hay xảy ra ngập lụt nhưng đến nay chưa có nghiên cứu cụ thể nào được áp dụng cho lưu vực này. Những năm gần đây, thành phố Hà Nội cũng đã quan tâm đến tình trạng ngập lụt đến địa bàn nhưng các giải pháp chỉ đang ở quy mô cục bộ như việc lên đê ở một số vị trí trên tuyến đê Tả Hữu Bùi, các giải pháp chưa mang lại hiệu quả rõ rệt.

Để đánh giá rủi ro ngập lụt đối với lưu vực sông Bùi và vùng phụ cận, nghiên cứu này sẽ ứng dụng mô hình thủy lực là bộ phần mềm họ MIKE gồm MIKE 11, MIKE 21FM và MIKE FLOOD để nghiên cứu dòng chảy lũ trên các sông Tích, Bùi, Đáy, Thanh Hà, sông Con, kết hợp với phần mềm ArcGIS xây dựng bản đồ ngập lụt, đánh giá nguy cơ ngập lụt cho lưu vực. Ngoài kết quả bản đồ ngập lụt, bộ công cụ mô hình thủy lực có thể bàn giao cho các sở ban ngành có chuyên môn sử dụng cho việc dự báo lũ sớm cho lưu vực.

2. Số liệu sử dụng và phương pháp nghiên cứu

2.1. Phạm vi nghiên cứu

Lưu vực sông Bùi và vùng phụ cận (bao gồm sông Tích, sông Đáy) có diện tích lưu vực là khoảng 1.726 km^2, được giới hạn bởi sông Đà sông Hồng ở phía Bắc, sông Đáy ở phía Đông và phía Nam, phía Tây là đường phân lưu với lưu vực sông Hoàng Long (Hình 1).

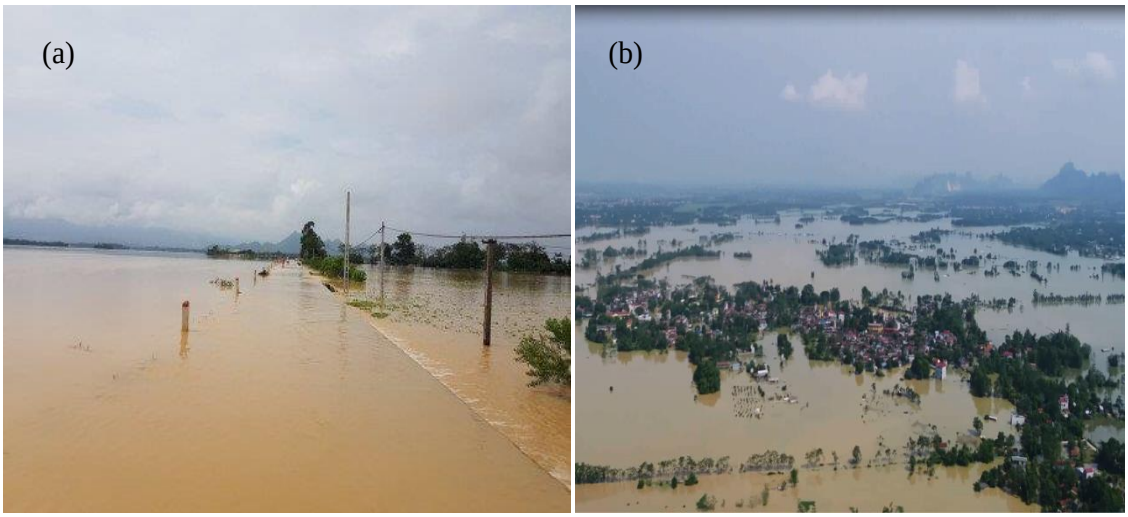


Hình 1. Bản đồ lưu vực sông Bùi và phụ cận.

Về phạm vi hành chính lưu vực sông Bùi và vùng phụ cận bao gồm các huyện, thị sau: Ba Vì, Sơn Tây, Phúc Thọ, Thạch Thất, Quốc Oai, Chương Mỹ, Mỹ Đức (Hà Nội) và huyện Lương Sơn (Hoà Bình), trong đó, khu vực chịu ngập lụt, úng nghiêm trọng là phía hữu Bùi của huyện Chương Mỹ và hữu Tích của Quốc Oai, bao gồm các xã Thuỷ Xuân Tiên, Thanh Bình, Tân Tiến, Nam Phương Tiến, Hữu Văn, Hoàng Văn Thụ, Mỹ Lương, Trần Phú, Hồng Phong và Đồng Lạc (Chương Mỹ), Đông Yên (Quốc Oai).

Vấn đề ngập lũ trên lưu vực sông Bùi là vấn đề phức tạp vừa có nguyên nhân lũ trên sông lớn tràn vào trong đồng, vừa có nguyên nhân từ lũ núi (lũ rừng ngang) chảy tràn qua lưu vực, vừa phải nghiên cứu việc chuyển lũ từ sông Hồng vào sông Đáy. Hệ thống đê điều trên lưu vực sông Tích, sông Bùi bao gồm các tuyến Hữu Đáy ngăn lũ từ sông Đáy, Tả Tích, Hữu Tích ngăn lũ sông Tích, Tả Bùi, Hữu Bùi và các tuyến đê của các suối nội đồng vùng hữu Bùi ngăn lũ sông Bùi. Nhìn chung hệ thống đê trên địa bàn khá hoàn chỉnh, đảm bảo phòng chống lũ. Toàn bộ vùng nghiên cứu thuộc 4 huyện, thị có tổng số 68 cống dưới đê trong đó: 45 cống dưới đê Tả Tích, 6 cống dưới đê Hữu Tích, 10 cống dưới đê Tả Bùi, 7 cống dưới đê Hữu Bùi.

Ngoài ra trên địa bàn lưu vực còn có hàng chục trạm bơm tiêu lớn nhỏ với quy mô công suất máy bơm từ 1.000÷8.400 m^3/h. Trong những năm 2008, 2017 và 2018 mưa lớn đã gây ngập lụt nghiêm trọng trên địa bàn, ước tính thiệt hại hàng nghìn tỷ đồng (Hình 2). Tình trạng ngập sâu, kéo dài thường xảy ra tại một số xã phía tả Bùi thuộc huyện Chương Mỹ như Thủy Xuân Tiên và Nam Phương Tiến.



Hình 2. Ngập lụt lưu vực sông Bùi: (a) năm 2017; (b) năm 2018.

2.2. Thiết lập mô hình thủy lực tính toán ngập lụt

2.2.1. Thiết lập mô hình thủy lực 1 chiều MIKE11

Bộ mô hình thủy lực MIKE được xây dựng và phát triển bởi Viện Thủy lực Đan Mạch (DHI), du nhập và áp dụng thử nghiệm cho một số lưu vực sông của Việt Nam trong khuôn khổ của dự án Tăng cường năng lực cho các Viện ngành nước do DANIDA tài trợ. Mô hình MIKE 11 là một phần mềm kỹ thuật chuyên dụng do Viện Thuỷ lực Đan Mạch (DHI) xây dựng và phát triển trong khoảng 20 năm trở lại đây, được ứng dụng để mô phỏng chế độ thủy lực, chất lượng nước và vận chuyển bùn cát vùng cửa sông, trong sông, hệ thống tưới, kênh dẫn và các hệ thống dẫn nước khác [13].

Xây dựng mô hình thủy lực 1 chiều MIKE 11 cho lưu vực nghiên cứu với việc thiết lập các thông số kỹ thuật như sau:

a) Thiết lập sơ đồ mạng sông

Mạng sông: Mạng sông được đưa vào tính toán được thể hiện trên hình 2.

+ Sông Hồng: Từ trạm thủy văn Sơn Tây đến trạm thủy văn Hà Nội dài: 45,283 km.

+ Sông Đuống: Từ ngã ba Hồng–Đuống đến trạm thủy văn Thượng Cát dài 3,625 km.

+ Kênh Cầm Đình–Hiệp Thuận từ cống Cầm Đình đến Đập Đáy dài 13,64 km

+ Toàn bộ sông Đáy: từ sau ngã ba Đập Đáy đến trạm thủy văn Phủ Lý, dài 124,396 km.

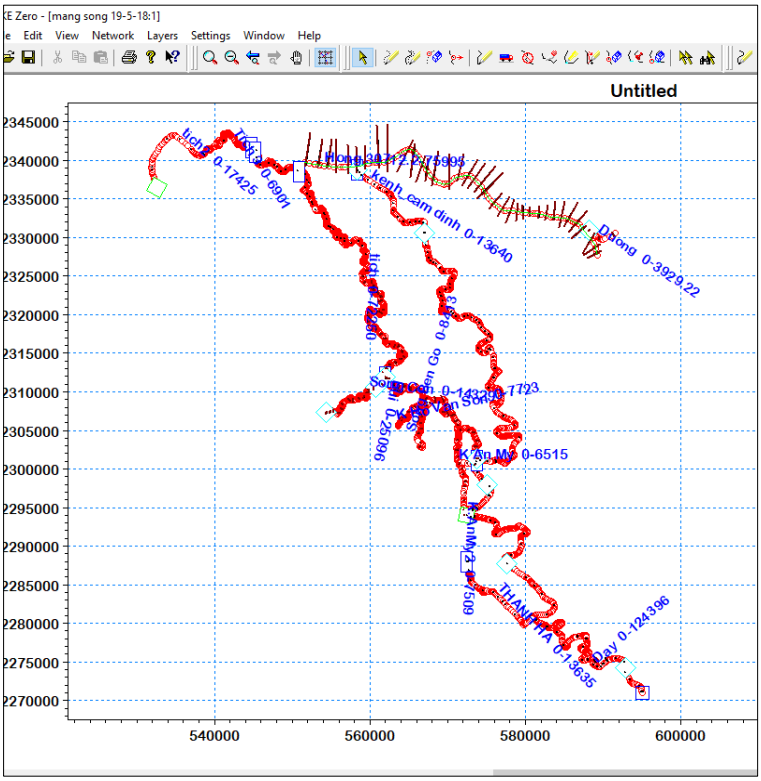
+ Sông Tích: từ Lương Phú (vị trí giáp với sông Đà) đến cửa ra nhập lưu vào sông Bùi tại cầu Tân Trượng dài 96,576 km.

+ Sông Bùi: từ Cầu Tân Trượng đến cử ra nhập lưu vào sông Đáy tại Ba Thá dài 25,096 km.

+ Sông Con: bắt đầu từ cầu Đồng Chũi (thị trấn Lương Sơn) đến nhập lưu vào sông Bùi tại Xuân Mai dài 14,329 km.

+ Sông Thanh Hà: từ Quan Sơn đến cửa ra nhập lưu vào sông Đáy tại cầu Hội Xá, dài 13,635 km.

Ngoài ra còn các các nhánh kênh: sông Bến Gò, suối Cầu Tây, kênh An Mỹ.



Hình 2. Sơ đồ mạng sông tính toán.

Bảng 1. Tổng hợp mạng sông tính toán.

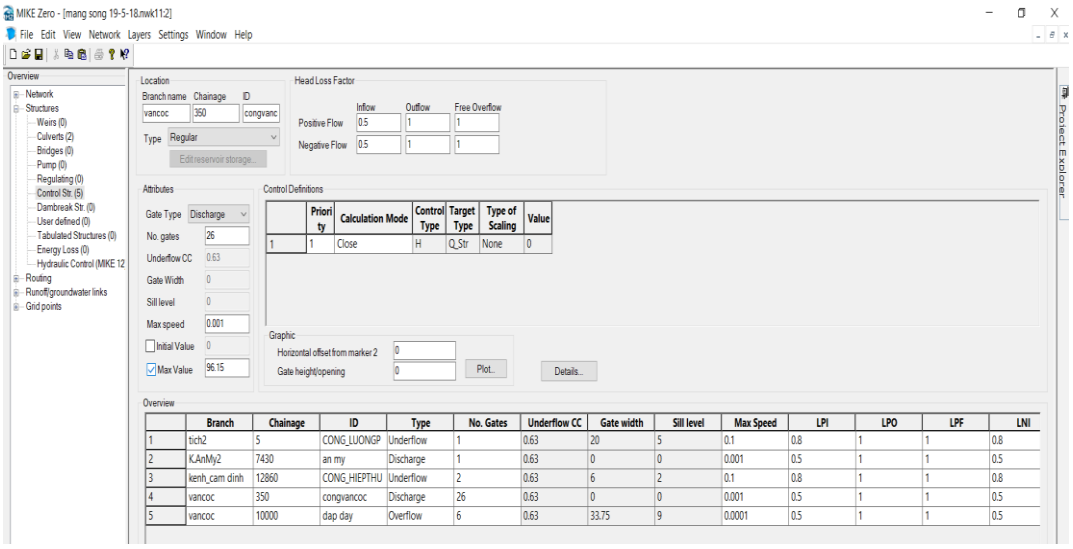
TT	Tên sông	Chiều dài (km)	Điểm đầu	Điểm cuối
1	Sông Tích	96,576	Hạ lưu cống Lương Phú	Nhập lưu vào sông Bùi tại Cầu Tân Trượng
2	Sông Bùi	25,096	Cầu Tân Trượng	Nhập lưu vào sông Đáy tại Ba Thá
3	Sông Con	14,329	Cầu Đồng Chũi	Nhập lưu vào sông Bùi
4	Sông Hồng	45,283	TV Sơn Tây	TTV. Hà Nội
5	Sông Đuống	3,625	Ngã ba Hồng _Đuống	TTV. Thượng Cát
6	Sông Đáy	124,396	Hạ lưu đập Đáy	TTV. Phủ Lý
7	Kênh Cầm Đình	13,64	Ngã 3 sông Hồng và Cầm Đình	Điểm đầu sông Đáy
8	Thanh Hà	13,625	Hồ Quan Sơn	Nhập lưu vào sông Đáy tại Đốc Tín – Mỹ Đức
9	Bến Gò	7,72	Hồ Văn Sơn	Nhập lưu vào sông Bùi tại cầu Yên Trình
10	Cầu Tây	8,41	Hồ Đồng Sương	Nhập lưu vào sông Bùi tại cầu Thuần Lương

b) Thiết lập thông số công trình

Trong phạm vi vùng nghiên cứu và trong mô hình một chiều Mike 11, chúng tôi thiết lập và đưa vào hai công trình kiểm soát đầu mối bao gồm cống Cẩm Đình và Hiệp Thuận.

Bảng 2. Bảng thông số công trình mô phỏng.

TT	Thông số	Cống Cẩm Đình	Cống Hiệp Thuận
1	Sông	CD_HT	Đoạn Đập Đáy
2	Cao độ đáy cửa vào	3	2
3	Cao độ đáy cửa ra	3	2
4	Hệ số nhám	0,025	0,025
5	Số cửa cống	2	2



Hình 4. Mô phỏng công trình trong mô hình Mike11.

c) Thiết lập tài liệu địa hình tính toán cập nhật số liệu mặt cắt ngang

Tài liệu địa hình được thừa kế trong dự án Quy hoạch phòng chống lũ và quy hoạch đê điều hệ thống sông Hồng, Thái Bình [14], ngoài ra còn cập nhật địa hình năm 2019, 2020.

Chi tiết các sông chính, sông nhánh đưa vào mạng sơ đồ tính toán thủy lực như sau:

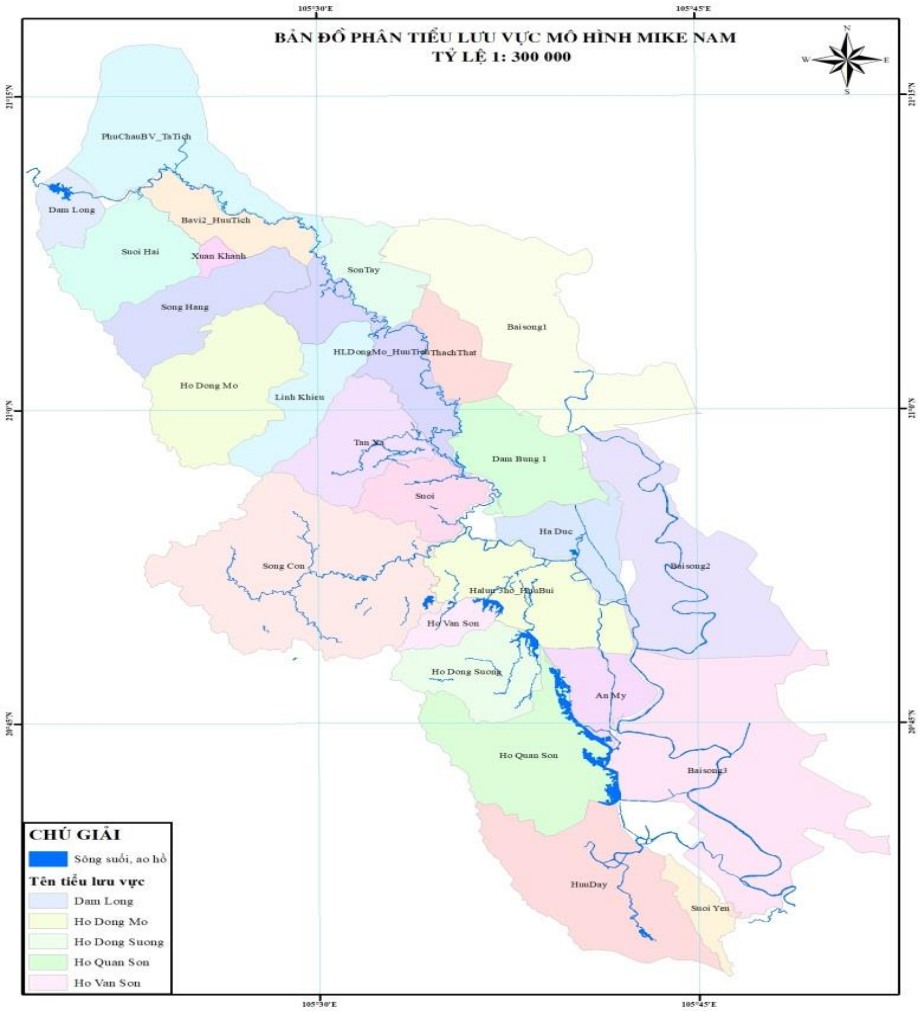
- Sông Hồng: từ trạm thủy văn Sơn Tây đến trạm thủy văn Hà Nội sử dụng 36 mặt cắt ngang từ mặt cắt 46 đến mặt cắt 86 do Tổng cục Phòng, Chống Thiên Tai đo năm 2019.
- Sông Tích: Từ Vật Lại đến cầu Tân Trượng, sử dụng 47 mặt cắt ngang do Cục Đê điều và Phòng chống lụt bão đo năm 2009 và 30 mặt cắt do đề tài đo năm 2020.
- Sông Bùi: Sử dụng 25 mặt cắt do đề tài năm 2020.
- Sông Đáy: Sử dụng 85 mặt cắt ngang do Cục Đê điều và Phòng chống lụt bão đo năm 2011.
- Kênh Cẩm Đình: sử dụng 18 mặt cắt do Cục Đê điều và Phòng chống lụt bão đo năm 2011.
- Sông Thanh Hà: Sử dụng 17 mặt cắt do Viện Quy hoạch Thủy lợi đo năm 2009.
- Cập nhật các mặt kênh do đề tài đo năm 2020: Sông Con (15 mặt cắt), sông Bến Gò (6 mặt cắt), suối Cầu Tây (8 mặt cắt), kênh An Mỹ (16 mặt cắt).

d) Thiết lập điều kiện biên của mô hình

Tổng cộng mô hình MIKE 11 được thiết lập có 5 biên trên, các biên dọc trục sông và 3 biên dưới. Các biên được tính toán thủy văn và được thiết lập vào mô hình MIKE 11. Các biên được tính toán thủy văn cho dạng lũ các năm 2018, 2020 phục vụ hiệu chỉnh kiểm định và dạng lũ năm 2008 ứng với các tần suất 1%, 2%, 5%, 10% phục vụ mô phỏng.

Bảng 3. Mưa diện 5 ngày max theo 5 trạm ứng với một số năm mô phỏng.

STT	Năm	X5max (mm)	Tần suất (%)
1	2008	514,8	1,2
2	2017	259,9	33,2
3	2018	306,0	19,7
4	2020	121,2	94



Hình 3. Phân chia tiểu lưu vực mô hình MIKE NAM.

- Biên trên mô hình thuỷ lực: là quá trình lưu lượng theo thời gian Q = f(t) tại vị trí điểm đầu của đoạn sông tính toán với mạng sông tính toán đã được xác định như ở trên ta có biên trên của mô hình thủy lực tại các vị trí như sau: Quan Sơn trên sông Thanh Hà; Cầu Đồng Chũi trên sông Con; hồ Văn Sơn trên kênh Bến Gò và hồ Đồng Sương trên suối Cầu Tây.

- Biên dọc sông của mô hình thủy lực: là các đường quá trình lưu lượng Q = f(t) gia nhập khu giữa được tính toán bằng mô hình thuỷ văn (mô hình NAM) (Hình 5).

- Biên dưới của mô hình thuỷ lực: là quá trình mực nước theo thời gian Z = f(t) tại trạm thủy văn Phủ Lý trên sông Đáy.

e) Thiết lập điều kiện ban đầu

Cần xác định mặt nước ban đầu cho MIKE11, điều kiện này không ảnh hưởng đến kết quả tính toán sau này khi thời gian mô phỏng đủ dài. Mực nước ban đầu với mục đích làm trơn tru mô hình. Trong tính toán cao độ mặt nước ban đầu lấy là hằng số với mực nước, lưu lượng ban đầu được lấy là 0.

Khi chạy mô hình thì sẽ chạy Parameter trước để lấy điều kiện chạy cho file host. Thì khi đó mực nước ban đầu sẽ được lấy theo file Parameter.

f) Thiết lập thông số thủy lực

Độ nhám của đáy sông: Độ nhám đáy sông là thông số thủy lực quan trọng trong mô hình MIKE 11. Độ nhám của đáy sông phụ thuộc vào mức độ gồ ghề của đáy sông, đặc tính về vật lý các hạt của đáy sông. Độ nhám của đáy sông là thông số không thể đo đạc được, mà chỉ có thể xác định thống qua quá trình hiệu chỉnh mô hình.

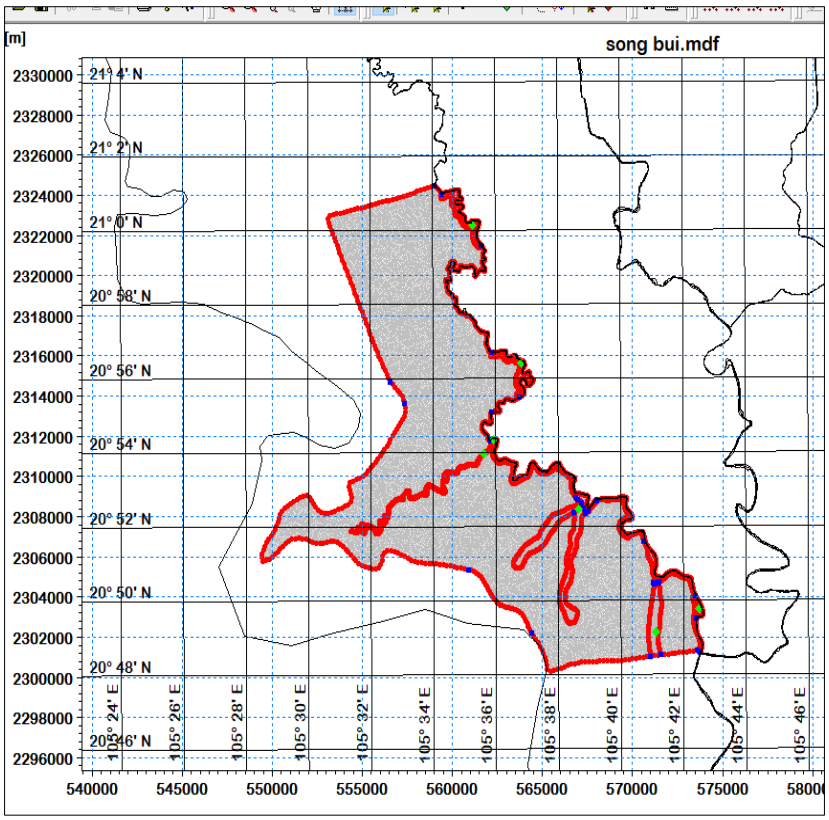
2.2.2. Mô hình thủy lực 2 chiều MIKE21

MIKE 21 FM là một mô hình hai chiều ứng dụng cho các khu vực cửa sông, vùng ngập lũ, vùng ven biển và ngoài khơi, được phát triển bởi Viện thủy lực Đan Mạch (*Denmark Hydraulic Institute*). "FM" là viết tắt của từ "*flexible mesh*" (nghĩa là lưới linh hoạt), đây chính là đặc điểm nổi bật và khác biệt của mô hình này với những mô hình hai chiều khác về việc tạo lưới tính toán mà thường là lưới chữ nhật hoặc lưới cong [15].

a) Xây dựng lưới 2 chiều

Miền tính thủy lực hai chiều được xác định là khu vực có khả năng chịu ảnh hưởng lớn khi có lũ hoặc khi xuất hiện mưa lớn. Tại khu vực nghiên cứu miền tính này được xác định dựa vào kết quả phân tích các tài liệu điều tra vết lũ, bản đồ địa hình tỷ lệ 1:5.000, 1:10.000. Sau khi phân tích, vùng tính toán ngập lụt được giới hạn phía bên hữu sông Tích và sông Bùi. Tuy nhiên, nếu xác định miền tính là toàn bộ phần diện tích nói trên thì mô hình MIKE 21 không thể mô phỏng được do các giới hạn về tài nguyên cũng như thời gian tính toán.

Toàn bộ miền tính toán sau khi được xác định sơ bộ thông qua mô hình số độ cao toàn cầu SRTM, tiếp tục được chia thành các vùng nhỏ hơn diện tích khoảng 28.406 ha (Hình 6). Để cân bằng giữa các yếu tố kể trên việc thiết lập lưới tính cần được xem xét cho từng điều kiện tính toán cụ thể. Trong nghiên cứu này, việc thiết lập các thông số của lưới tính được chia thành các loại, với mật độ lưới giảm dần từ phía sông vào trong đồng.



Hình 4. Lưới tính toán vùng nghiên cứu.

Đặc biệt vùng nghiên cứu chính là khu vực hữu sông Bùi. Khu vực đê đi qua sẽ được chia lưới dày với diện tích ô lưới lớn nhất 400 m^2, khu vực ven sông không có đê đi qua thì sẽ được chia lưới có diện tích ô lưới lớn nhất 1.000 m^2, còn khu vực trong đồng sẽ chia thưa hơn để giảm thời gian tính toán. Tương tự, khu vực hữu Tích, nơi có các đê bối đi qua được chia lưới với diện tích ô lưới lớn nhất 400 m^2, còn khu vực trong đồng sẽ được chia thưa hơn. Diện tích ô lưới nhỏ nhất được thiết lập với diện tích 88 m^2. Các ô lưới được chia tự động bằng phương pháp nội suy. Khi đó miền tính được chia thành 79.798 phần tử với 41.532 nút lưới đáp ứng được các yêu cầu về sự ổn định, độ phân giải và thời gian tính toán trong mô hình 2 chiều (Hình 6).

b) Biên tập dữ liệu về cao độ

Một bước quan trọng trong quá trình thiết lập mô hình hai chiều là cần phải thiết lập địa hình miền tính. Dữ liệu này là cơ sở để mô hình mô phỏng các hướng chuyển động của dòng chảy cũng như các tương tác thủy lực của toàn bộ hệ thống.

Mô hình đã sử dụng bình đồ địa hình chi tiết 1:5.000, 1:10.000 cho khu vực tính toán.

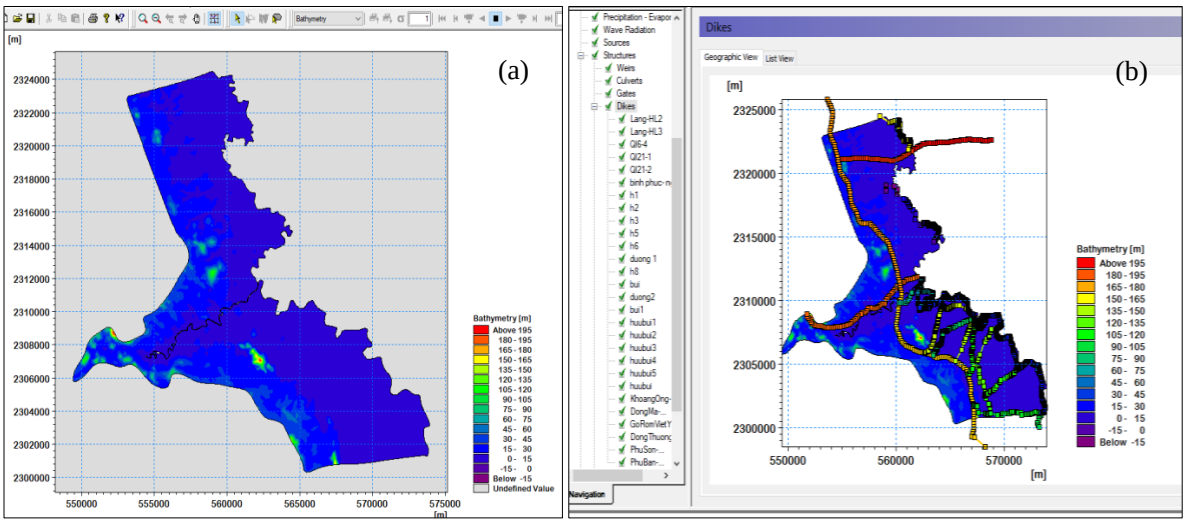
c) Thiết lập mô phỏng các công trình

Trong các kịch bản tính toán mô hình lần lượt đưa vào các đê chính, đê bối các đường quốc lộ, tỉnh lộ. Chiều dài của các đê, đường giao thông đúng bằng đoạn được đi qua khu vực nghiên cứu. Cao độ của đường thay đổi theo chiều dọc của đê, đường.

- Tuyến đê chính Hữu Bùi, các tuyến đê bối: Bình Phúc–Ngọc Bài, Phú Sơn–Phú Bài, Khoang Ông, Gô Rôm–Việt Yên, Đồng Thượng.
- Đường giao thông: đường quốc lộ 6, 21; đường Láng Hòa Lạc, ...

Cao độ các tuyến đê, đường được điều tra thu thập, các tuyến đường chuyển thành file xyz để đưa vào mô hình, khoảng cách trung bình giữa các nút là 80–100 m. Các trường hợp tính toán đều giả thiết với kịch bản đê không bị vỡ khi nước tràn qua.

Vị trí một số tuyến đê, đường chính được đưa vào trong tính toán được thể hiện ở Hình 7b. Trong các kịch bản tính toán mô hình lần lượt đưa vào các đường đê chính, đê bối, đường quốc lộ để đảm bảo sự ổn định và chi tiết cho mô hình.



Hình 5. (a) Bản đồ số độ cao (*Bathymetry*) khu vực nghiên cứu; (b) Vị trí các đường giao thông, đê (các nút thể hiện các điểm cao độ dọc đường.

2.2.3. Liên kết mô hình thủy lực một chiều và 2 chiều

Mặc dù mô hình MIKE 11 và MIKE 21 có những ưu điểm vượt trội trong việc mô phỏng dòng chảy 1 chiều trong mạng lưới sông phức tạp và có thể mô phỏng 2 chiều của dòng chảy tràn trên bè mặt đồng ruộng. Nhưng xét riêng rẽ vẫn có nhiều hạn chế trong mô phỏng ngập

lụt. Vì vậy cần phải kết nối giữa MIKE 11 và MIKE 21 để tạo thành mô hình MIKE FLOOD. Nối kết một hoặc nhiều ô MIKE 21 được với phần cuối của một nhánh MIKE 11 và có thể nối kết với đầu một nhánh khác để ra hạ du của mạng sông. MIKE FLOOD tạo ra bởi kết nối một lưới MIKE 21 chi tiết vào một mạng MIKE 11 lớn [16–17].

Mô hình MIKE FLOOD được sử dụng trong nhiều nghiên cứu về mô phỏng dòng chảy lũ gây ra ngập lụt, úng trong nước cũng như trên thế giới [18–20].

Đối với các kịch bản tính toán, khi mực nước trong lòng sông của mô hình MIKE 11 vượt quá cao độ bờ sông tại một điểm bất kỳ thì nước sẽ tràn vào bãi (khu vực thuộc phạm vi tính toán của mô hình MIKE 21). Mô hình MIKE FLOOD trong nghiên cứu này các đoạn liên kết: hữu sông Tích, hữu Bùi, tả hữu sông Con.

2.3. Xây dựng bản đồ ngập lụt, úng

Dựa trên các kết quả tính toán thủy lực lũ lưu vực sông Bùi và vùng phụ cận với các kịch bản trích xuất các thông tin yêu cầu diện ngập, vị trí ngập, độ sâu ngập, vận tốc dòng chảy… từ mô hình MIKE FLOOD và được số hóa theo định dạng file phần mềm bản đồ Arc–Map thông qua công cụ nội suy điểm Natural Neighbor sau đó chồng lớp lên các bản đồ nền tỷ lệ 1:10.000, 1:50.000 theo hệ tọa độ WGS84–48N. Các trị số tính toán trong mô hình được tính toán cho các nút lưới với cao độ mặt đất tự nhiên, cao trình mực nước ngập, độ sâu mực nước ngập, vận tốc dòng chảy theo thời đoạn. Bản đồ sẽ tiếp tục được biên tập, chỉnh sửa theo các yêu cầu kỹ thuật, giao diện thể hiện đáp ứng tiêu chuẩn.

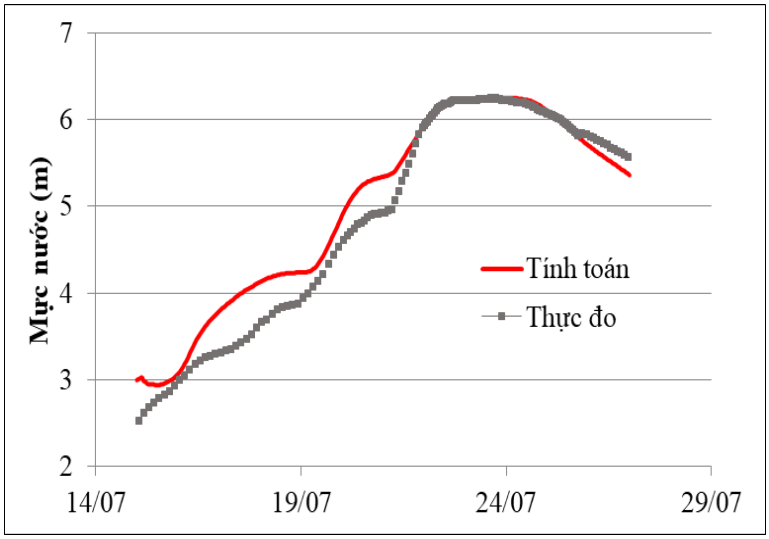
3. Kết quả và thảo luận

3.1. Kết quả hiệu chỉnh, kiểm định và mô phỏng mô hình thủy lực

Sau khi liên kết mô hình MIKE 11 với MIKE 21, mô phỏng mô hình sẽ được tiến hành. Kết quả nhận được từ mô hình trong những lần chạy đầu tiên được so sánh với tài liệu thực đo tại trạm Ba Thá để xác định xem tính chính xác của kết quả. Trong những nghiên cứu mà các tài liệu yêu cầu đầy đủ và chính xác thì việc hiệu chỉnh mô hình chỉ cần thông qua việc hiệu chỉnh hệ số Manning. Lựa chọn thời gian mô phỏng lũ từ 15/07/2018 đến 27/08/2018 (Hình 8).

Bảng 4. Kết quả tính toán mực nước trận lũ tháng 7–8/2018 (từ 15/7/2018–27/08/2018) hiệu chỉnh mô hình Mike Flood.

TT	Vị trí	Sông	MN thực đo max (m)	MN mô phỏng (m)	Sai số
1	Ba Thá	Đáy	6,25	6,251	0,001



Hình 8. Mực nước tính toán và thực đo tại trạm Ba Thá, hiệu chỉnh cho năm 2018.

Trên cơ sở bộ thông số đã xác định được trong quá trình tính toán mô phỏng trận lũ thực tế tháng 7–8/2018, nhóm nghiên cứu tiến hành tính toán kiểm định mô hình với trận lũ thực tế đã xảy ra tháng 11/2008 và 10/2020.

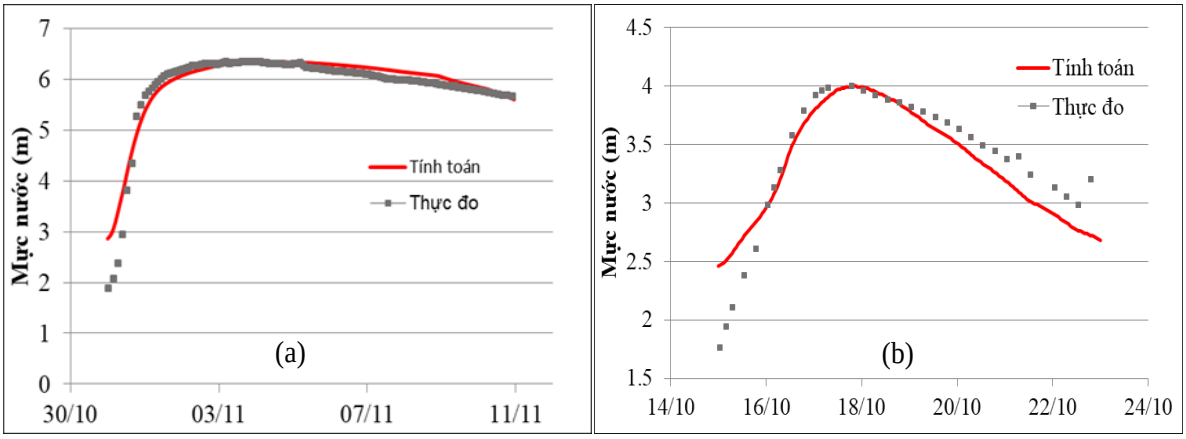
Bảng 5. Mực nước lớn nhất thực đo và mô phỏng tại các vị trí trận lũ tháng 11/208 (từ 31/10/2008–10/11/2008), kiểm định mô hình Mike Flood.

TT	Vị trí	Sông	MN thực đo max (m)	MN mô phỏng (m)	Sai số
1	Ba Thá	Đáy	6,341	6,34	0,001

Bảng 6. Mực nước lớn nhất thực đo và mô phỏng tại các vị trí trận lũ tháng 10/2020 (từ 1/10/2020–26/10/2020), kiểm định mô hình Mike Flood.

TT	Trạm	Sông	H_{max} (m)		Sai số (m)
			Thực đo	Tính toán	
1	Cầu Đồng Chũi	Sông Con	13,389	13,368	–0,021
2	Ba Thá	Đáy	4	4,001	0,001

Kết quả tính toán mô phỏng trận lũ tháng 11/2008 và 10/2020 cho thấy sai số giữa tính toán và đo đạc là –0,021÷0,001 m. Mặt khác toàn bộ đường quá trình mực nước, lưu lượng tại từng vị trí có dạng đường lũ lên và xuống phù hợp và bám sát với nhau (Hình 9).



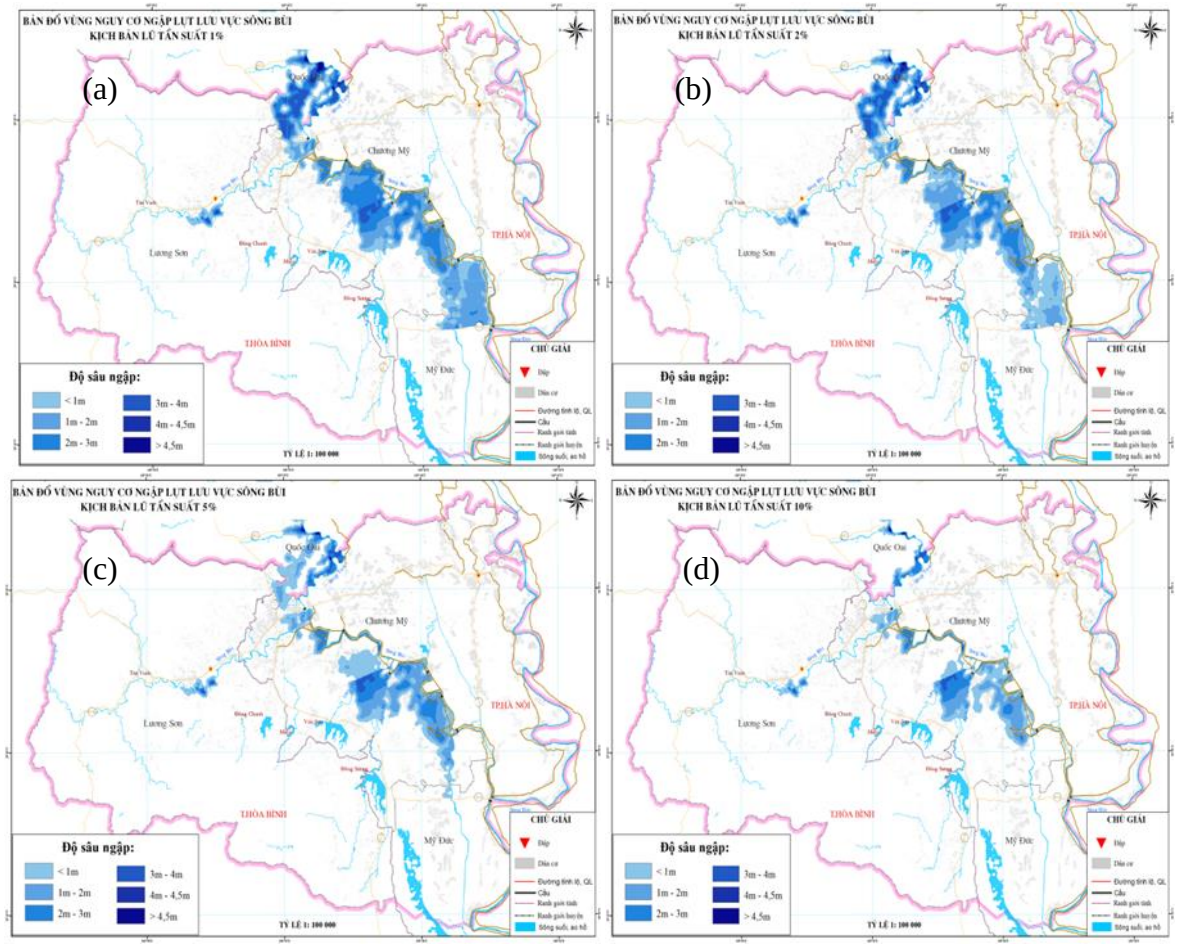
Hình 9. Mực nước tính toán và thực đo tại trạm Ba Thá, kiểm định: (a) năm 2008; (b) năm 2020.

3.2. Kết quả xây dựng bản đồ ngập lụt, úng

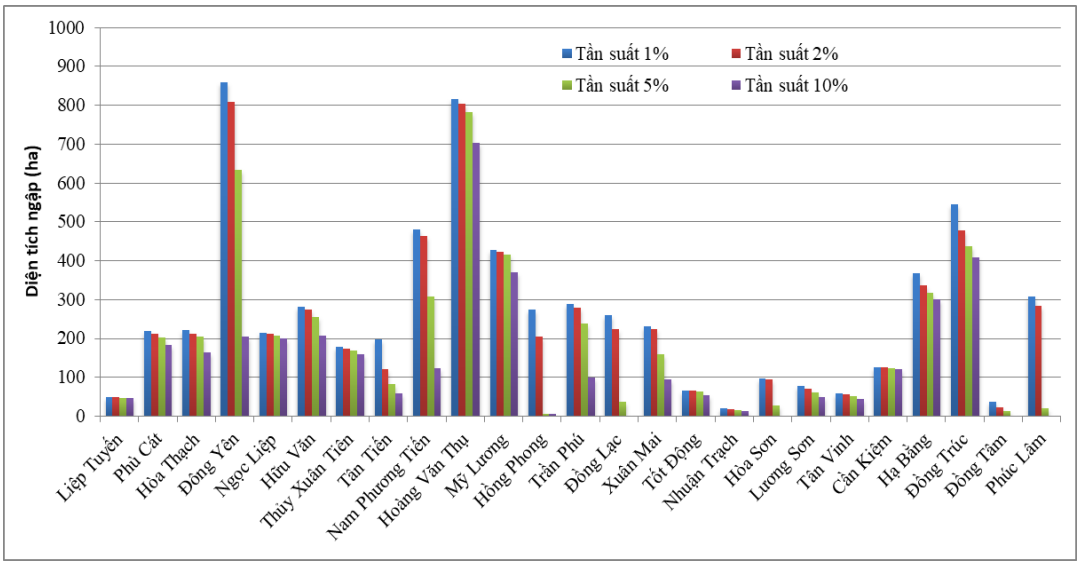
Sau khi hiệu chỉnh, kiểm định và so sánh các kịch bản bất lợi, nhóm nghiên cứu chọn đường quá trình lũ năm 2008 để tiến hành tính toán các kịch bản tần suất và xác định ra được diện tích ngập lụt cho các xã theo từng mức ngập cụ thể. Các kịch bản tính toán lũ tần suất mưa lũ 10%, 5%, 2%, 1%. Chi tiết số liệu các bản đồ được thể hiện trong các hình 10–11, bảng 7, kết quả ngập lụt úng, so sánh diện tích ngập với các kịch bản.

Bảng 7. Diện tích ngập lụt các huyện trên lưu vực úng với các kịch bản tính toán.

STT	Huyện	Diện tích ngập úng với các kịch bản tính toán (ha)			
		Tần suất 1%	Tần suất 2%	Tần suất 5%	Tần suất 10%
1	Quốc Oai	1.556	1.486	1.292	793
2	Chương Mỹ	3.488	3.245	2.500	1.866
3	Lương Sơn	248	236	151	105
4	Thạch Thất	1.036	938	876	829
5	Mỹ Đức	344	305	29	0
	Tổng	**6.672**	**6.210**	**4.847**	**3.593**



Hình 10. Bản đồ ngập lụt lưu vực sông bùi kịch bản mưa lũ (a) tần suất 1%, (b) tần suất 2%, (c) tần suất 5%, (d) tần suất 10%.



Hình 11. So sánh diện tích ngập lụt các xã trên địa bàn ứng với các kịch bản tính toán.

4. Kết luận

Lưu vực sông Bùi và vùng phụ cận đặc biệt là 2 huyện Quốc Oai, Chương Mỹ là vùng đông dân cư và phát triển công nghiệp nông nghiệp của thủ đô Hà Nội lại thường xuyên xảy ra ngập úng vì vậy rất cần thiết phải có nghiên cứu khoa học về vấn đề này và cần phải xây dựng bản đồ ngập lụt cho lưu vực.

Mô hình thủy lực MIKE FLOOD được xây dựng trong nghiên cứu nhằm tính toán mô phỏng dòng chảy lũ cho lưu vực, kết quả hiệu chỉnh và kiểm định tại các vị trí Ba Thá trên sông Đáy, đảm bảo cho việc tính toán các kịch bản. Kết quả tính toán các kịch bản tần suất mưa lũ từ mô hình được sử dung kết hợp với hệ thống cơ sở dữ liệu ArcGIS biên soạn ra bản đồ ngập lụt, úng cho vùng nghiên cứu.

Bộ mô hình thủy lực và bản đồ nguy cơ ngập úng có thể được sử dụng trong việc cảnh báo lũ trên địa bàn cũng như giúp các cơ quan chức năng quản lý giảm thiểu thiệt hại khi ngập, lũ xảy ra.

Tuy nhiên, để đáp ứng việc cảnh báo sớm, chính xác lũ trên địa bàn cũng cần bổ sung các trạm đo mưa và mực nước tự động. Ngoài ra hệ thống camera nhằm thu thập hình ảnh ngập lũ trên bề mặt cũng nên lắp đặt để bổ sung tài liệu cho các nghiên cứu chi tiết sau này.

Đóng góp của tác giả: Xây dựng ý tưởng nghiên cứu: L.V.S., B.T.V., B.T.H.; Xử lý số liệu: N.D.Q., T.T.T.D.; Viết bản thảo bài báo: N.D.Q., T.T.T.D.; Chỉnh sửa bài báo: B.T.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. Viện Quy hoạch Thủy lợi. Báo cáo tổng hợp Quy hoạch phòng, chống lũ và đê điều hệ thống sông Đáy, 2014.
2. Viện Quy hoạch Thủy lợi. Báo cáo tổng hợp Rà soát quy hoạch thủy lợi cấp, tiêu nước lưu vực sông Đáy, 2018.
3. Hải, B.T.; Sơn, L.V. Nghiên cứu ứng dụng mô hình IFAS và dữ liệu viễn thám trong mô phỏng dòng chảy lũ xuyên biên giới lưu vực sông Thao. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* **2020**, *713*, 24–36.
4. Như, N.Y.; Nghĩa, T.N.; Giang, P.V.; Vũ, T.Đ.Q.; Liên, N.T.; My, L.H.; Lan, N.T. Đánh giá hệ thống giám sát lũ toàn cầu GFMS cho thành phố Hà Tĩnh. *Tạp chí Khí tượng Thuỷ văn* **2022**, *740(1)*, 24–37.
5. Chau, T.K. Mapping extent of flooded areas using Sentinel–1 satellite image. *Tạp chí Khoa học Kỹ thuật Thủy lợi và Môi trường* **2017**, *58*, 78–82.
6. Chinh, L.T.D.; Nam, D.Đ.; Lai, T.Đ.; Quỳnh, B.D. Nghiên cứu xây dựng bản đồ hiểm họa lũ lụt sử dụng vết lũ lịch sử và mô hình độ cao số. *Tạp chí Khoa học Công nghệ Xây dựng*, **2021**, *15(3V)*, 152–164.
7. Hưng, N.V.; Cường, N.Q.; Hưng, B.V.; Thanh, Đ.Q. Xây dựng bản đồ ngập lụt phục vụ công tác chống ngập, quy hoạch đô thị trên bàn thành phố Hồ Chí Minh. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* **2021**, *725*, 29–39.
8. Nữ, H.T.; Quyên, T.T.; Anh, V.T.V.; Thảo, N.T.H.; Văn, C.T. Ứng dụng mô hình thủy văn đô thị mô phỏng mức độ ngập do gia tăng mực nước triều và khả năng thoát nước cho hệ thống kênh Tân Hóa – Lò Gốm ở thành phố Hồ Chí Minh. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* **2022**, *740*, 22–35.
9. Hạnh, L.Đ.; Sơn, H.T.; Tuấn, T.P.; Tuấn, B.A.; Đăng, V.H.; Yến, N.T.H.; Nga, T.V. Ứng dụng công nghệ viễn thám, RTK, GIS thành lập bản đồ ngập lũ đồng bằng Tuy Hòa – tỉnh Phú Yên. *Tạp chí Khí tượng Thuỷ văn* **2022**, *740*, 36–45.
10. Đức, Đ.A.; Chiến, P.V. Áp dụng công cụ tích hợp phục vụ xây dựng bản đồ ngập lụt lưu vực sông Kỳ Cùng, tỉnh Lạng Sơn. *Tạp chí Khoa học và Công nghệ Thủy lợi* **2016**, *33*, 1–10.
11. Hải, B.T.; Sơn, L.V.; Quang, N.D.; Trình, P.V.; Văn, B.T. Nghiên cứu ứng dụng mô hình PCSWMM trong mô phỏng ngập úng hệ thống thủy lợi Bắc Nam Hà. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* **2021**, *729*, 14–28.

12. Tuấn, H.N. Xây dựng bản đồ ngập lụt hạ du hồ chứa nước Ea Drăng tỉnh Đắk Lắk ứng với các kịch bản xả lũ và đánh giá thiệt hại do ngập lụt gây ra. *Tạp chí Khoa học và Công nghệ Thủy lợi* **2017**, *39*, 1–8.
13. DHI. Mike 11 – HD User Manual, 2014.
14. Viện Quy hoạch Thủy lợi. Báo cáo tổng hợp Quy hoạch phòng chống lũ và quy hoạch đê điều hệ thống sông Hồng, Thái Bình, 2016.
15. DHI. MIKE 21 & MIKE 3 Flow Model FM. Hydrodynamic Module, Scientific documentation, 2014.
16. DHI. MIKE FLOOD User Guide, 2014.
17. DHI. Mike Flood modelling of river flooding step by step tranining guide, 2014.
18. Bình, H.T; Anh, T.N; Khá, Đ.Đ. Ứng dụng mô hình MIKE FLOOD tính toán ngập lụt hệ thống sông Nhật Lệ tỉnh Quảng Bình. *Tạp chí Khoa học ĐHQGHN, Khoa học Tự nhiên và Công nghệ* **2010**, *26(3S)*, 34–42.
19. Khá, Đ.Đ. Ứng dụng mô hình MIKE FLOOD tính toán mức độ ngập lụt khu vực Bắc Thường Tín. Khóa luận tốt nghiệp, trường Đại học Khoa học Tự nhiên, Đại học Quốc gia Hà Nội, 2009.
20. Dũng, N.K.; Tuyết, Q.T.T. Ứng dụng MIKE FLOOD xây dựng bản đồ nguy cơ ngập lụt và hệ thống cảnh báo sớm úng ngập cho lưu vực sông Kim Ngưu và tám quận nội thành Hà Nội. *Tạp chí Khoa học ĐHQGHN*: *Các Khoa học Trái đất và Môi trường* **2016**, *32(3S)*, 34–42.

Studying on building inundation maps of Bui basin and its vicinity

Nguyen Duy Quang[1], Le Viet Son[1], Bui Tuan Hai[1*], Bui The Van[1], Tran Thi Thanh Dung[1]

[1] Institute of Water Resources Planning; nguyenduyquang.wru@gmail.com; levietson2211@gmail.com; buituanhai@gmail.com; vanbt53@wru.vn; thanhdung240185@gmail.com

Abstract: Bui river basin is one of the key economic development areas of Hanoi capital, however, this basin is often flooded. This paper presents the results of the research that used the MIKE FLOOD model in combination with ArcGIS software to assess the flood behavior and build the flood and inundation map for the Bui river basin and its vicinity according to the scenarios. The study calculated by 1-way and 2-dimensional flood hydraulic model on rivers and flooded areas in the study area with the scenarios of 1%, 2%, 5%, 10% rain and flood frequency scenarios. Calculation results are used to build inundation maps corresponding to frequency scenarios for Bui river basin and its vicinity. The products of the study can be applied to help management agencies prepare and respond to minimize damage when floods occur in the area.

Keywords: Bui basin; Inundation map; MIKE11; MIKE21.

TẠP CHÍ
KHÍ TƯỢNG THỦY VĂN

Check for updates

Bài báo khoa học

Đánh giá hiện trạng hệ thống công trình thủy lợi và khả năng đáp ứng nhu cầu nước của các hồ chứa trong bối cảnh biến đổi khí hậu tại huyện Tri Tôn và Tịnh Biên, tỉnh An Giang

Lương Huy Khanh[1], Nguyễn Quốc Luật[1], Trần Thị Trúc Ly[1], Lê Hải Trí[2], Trần Văn Tỷ[2*], Huỳnh Trần Gia Thịnh[3], Huỳnh Vương Thu Minh[3*]

[1] Học viên cao học, trường Đại học Cần Thơ; luonghuykhanh@gmail.com; nguyenquocluat@gmail.com; lytran2x@gmail.com
[2] Khoa Công Nghệ, Trường Đại học Cần Thơ; lehaitri@gmail.com; tvty@ctu.edu.vn
[3] Khoa Môi trường và TNTN, Trường Đại học Cần Thơ; thinhgia1996un@gmail.com; hvtminh@ctu.edu.vn

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

Ban biên tập nhận bài: 17/8/2022; Ngày phản biện xong: 13/9/2022; Ngày đăng bài: 25/9/2022

Tóm tắt: Mục tiêu của nghiên cứu này là đánh giá khả năng đáp ứng nhu cầu dùng nước của các hồ chứa trong bối cảnh biến đổi khí hậu (BĐKH) tại huyện Tri Tôn và Tịnh Biên, tỉnh An Giang. Để đạt được mục tiêu trên, trước tiên hiện trạng hệ thống công trình thủy lợi được đánh giá; trữ lượng nước từ các hồ chứa và nhu cầu nước của các ngành dùng nước theo các kịch bản BĐKH trong giai đoạn 2030 và 2050 được tính toán; từ đó khả năng cung cấp nước từ hồ chứa cho các ngành dùng nước được đánh giá. Kết quả cho thấy, trong năm 2020, khu vực nghiên cứu có 07 hồ chứa (trong đó 01 hồ chứa lớn, 04 hồ chứa vừa và 02 hồ chứa nhỏ), trữ lượng nước hồ chứa năm 2020, 2030 và 2050 lần lượt là $2,55\times10^6$ m^3; $4,35\times10^6$ m^3; và $5,86\times10^6$ m^3. Nhu cầu dùng nước trong 06 tháng (mùa khô) theo hai trường hợp (TH) ở các năm 2030 và 2050 và tương ứng với ba kịch bản BĐKH lần lượt là $5,2\times10^6$ m^3 và $6,2\times10^6$ m^3 (RCP2.6), $5,2\times10^6$ m^3 và $5,8\times10^6$ m^3 (RCP4.5), $5,2\times10^6$ m^3 và $6,0\times10^6$ m^3 (RCP8.5); $7,7\times10^6$ m^3 và $7,9\times10^6$ m^3 (RCP2.6), $8,2\times10^6$ m^3 và $8,9\times10^6$ m^3 (RCP4.5), $7,8\times10^6$ m^3 và $8,0\times10^6$ m^3 (RCP8.5). Nghiên cứu cho thấy khả năng đáp ứng nhu cầu nước cho các ngành dùng nước (%)từ hồ chứa trong 06 tháng (mùa khô) tăng dần qua từng giai đoạn do số lượng các hồ chứa ngày càng tăng. Khả năng cấp nước từ hồ chứa đạt khoảng 70% nhu cầu dùng nước tínhđến năm 2050. Nghiên cứu tiếp theo cần xem xét chi tiết vận hành hồ chứa và cập nhật số liệu BĐKH năm 2020 theo CMIP6.

Từ khóa: Biến đổi khí hậu; Nhu cầu nước; Trữ lượng nước hồ chứa; Hệ thống công trình thủy lợi; Vùng Bảy Núi tỉnh An Giang.

1. Giới thiệu

Ngành nông nghiệp vẫn là ngành sử dụng nước mặt và nước dưới đất nhiều nhất, đặc biệt ở các vùng khô hạn và bán khô hạn, khu vực có tỷ lệ người dùng vào khoảng 70%. Nước tưới của từng loại cây trồng cụ thể phụ thuộc phần lớn vào điều kiện khí hậu. Vì vậy, những thay đổi trong mô hình khí hậu liên quan đến sự nóng lên toàn cầu đóng vai trò quan trọng trong việc xác định nhu cầu nước nông nghiệp trong tương lai. Nhiệt độ không khí bề mặt tăng lên liên quan đến biến đổi khí hậu (BĐKH) dẫn đến tăng thoát hơi nước và làm giảm độ ẩm của đất ở vùng rễ. Hơn nữa, thực vật có xu hướng cần nhiều nước hơn để duy

trì sự sinh trưởng và phát triển. Ở các vùng khô hạn và bán khô hạn, nhiệt độ là yếu tố chính ảnh hưởng đến nhu cầu nước tưới trong điều kiện khí hậu thay đổi [1].

Hệ thống thủy lợi ở Đồng bằng sông Cửu Long (ĐBSCL) trong thời gian qua đã được đầu tư xây dựng khá nhiều, nhưng chưa đồng bộ, hệ thống thủy lợi liên vùng còn hạn chế, do đó việc trữ nước và điều tiết nước chưa mang lại hiệu quả cao [2]. Hơn nữa, nguồn nước từ Mekong chuyển về thông qua sông Tiền và sông Hậu chảy thẳng ra biển Đông, nguồn nước giữ lại trong khu vực nghiên cứu ít do chưa có hệ thống thủy lợi trữ nước. Bên cạnh đó, các tiểu vùng đê bao ngăn lũ cũng làm giảm diện tích trữ nước. Các dự án thuỷ lợi đã và sẽ thực hiện, trong đó có các hệ thống công trình thủy lợi phục vụ trữ nước (trên sông chính hay các hồ chứa vừa và nhỏ) nhằm thích ứng với BĐKH và suy giảm dòng chảy từ sông Mekong chuyển về cũng đang được quan tâm [3]. Những tác động của hệ thống hồ chứa, phát triển kinh tế-xã hội, những dự án chuyển nước dự kiến ở các nước thượng lưu sông Mê Công sẽ ảnh hưởng đến chế độ dòng chảy hàng năm ở ĐBSCL [4]. Trong đó, nguy cơ lũ nhỏ ngày càng nhỏ hơn, dòng chảy mùa kiệt năm hạn càng kiệt hơn, nước ngọt ngày càng khan hiếm, mặn xâm nhập ngày càng sâu đã tác động đến nguồn nước cấp cho các ngành dùng nước. Nhiều nghiên cứu về đánh giá tài nguyên nước mặt cũng như nhu cầu nước cho các hoạt đột sản xuất nông nghiệp ở vùng Nam bộ đã được thực hiện [5–9]. Một nghiên cứu đã tính toán nguồn nước mặt đến hồ Dầu Tiếng cho thấy dòng chảy theo mùa có sự thay đổi rất rõ, năm nhiều nước và năm ít nước cũng có sự chênh lệch đáng kể, và sự thay đổi lớp phủ mặt đệm cũng là yếu tố ảnh hưởng đến chế độ dòng chảy [10]. Xây dựng bản đồ bốc thoát hơi nước từ các loại thảm phủ trên địa bàn tỉnh Sóc Trăng bằng công nghệ viễn thám, từ đó tính toán lượng bốc thoát hơi nước toàn tỉnh theo từng tháng cho mỗi nhóm đối tượng (lúa Đông Xuân, lúa Hè Thu, lúa Thu Đông, hoa màu, cây lâu năm–ăn quả, nuôi trồng thủy sản, mặt nước) [11]. Nghiên cứu và đánh giá khả năng cấp nước cho các ngành dùng nước của hồ Ôtuksa, huyện Tịnh Biên, tỉnh An Giang theo ba kịch bản biến đổi khí hậu (BĐKH) [6]. Đánh giá và tính toán cân bằng nước hồ chứa Ô Tà Sóc nhằm phục vụ các ngành dùng nước thuộc vùng Bảy Núi [7].

An Giang là tỉnh đầu nguồn và là một trong hai tỉnh trong Vùng ĐBSCL vừa có đồng bằng vừa có đồi núi, trong đó vùng đồi núi tập trung phần lớn ở hai huyện Tri Tôn và Tịnh Biên . An Giang có diện tích tự nhiên 353.683 ha, bằng 1,03% diện tích cả nước và đứng thứ 4 so với các tỉnh ĐBSCL, trong đó theo số liệu hiện trạng sử dụng đất năm 2019 tổng diện tích đất nông nghiệp là 296.719 ha (đất trồng lúa 242.337 ha, đất trồng cây hằng năm khác 11.648 ha, đất trồng cây lâu năm 25.343 ha, đất lâm nghiệp 11.643 ha, đất nuôi trồng thủy sản 5.530 ha, đất nông nghiệp khác 219 ha). Dân số toàn tỉnh xấp xỉ 1.907.401 người, trong đó đồng bào dân tộc Khmer là 91.408 người (4,79% dân số toàn tỉnh), sống tập trung ở hai huyện miền núi Tịnh Biên và Tri Tôn (Niên giám thống kê, 2019). Diện tích gieo trồng toàn tỉnh là 707.100 ha (trong đó, lúa 637.200 ha, màu 50.600 ha, cây ăn trái 19.300 ha), diện tích rừng trồng được thực hiện chăm sóc 1.582 ha trong năm 2020 [12].

Do đặc thù huyện Tịnh Biên và Tri Tôn là vùng đất triền cao, chưa có hệ thống công trình thủy lợi, do đó người dân và đồng bào dân tộc Khmer ở đây chỉ sản xuất một vụ lúa vào mùa mưa, nguồn nước cấp chính từ mưa. Rủi ro năng suất lúa bị ảnh hưởng do thiếu nước ở những năm bị khô hạn kéo dài, hoặc mưa lũ lớn bất thường sẽ bị lũ núi cuốn trôi làm ảnh hưởng đến sản xuất và đời sống người. Trong các năm qua, nhà nước quan tâm đầu tư phát triển hệ thống công trình thủy lợi nhằm phục vụ sản xuất và dân sinh, cụ thể: trạm bơm, hồ chứa, hệ thống công trình thủy lợi sau hồ phục vụ sản xuất và dân sinh. Qua đó, đã góp phần nâng cao thu nhập và đời sống người dân được nâng lên nhờ chuyển từ sản xuất lúa một vụ không với năng suất thấp sang cây ăn trái, sản xuất lúa hai vụ với năng suất cao hơn. Vì thế, đời sống vật chất và tinh thần của đồng bào dân tộc Khmer từng bước được cải thiện. Tuy nhiên, vùng triền có cao độ từ +2 m đến đến +5 m và vùng cao có cao độ từ +5 m đến +30 m có hệ thống công trình thủy lợi còn hạn chế, phần lớn diện tích đất trong vùng này chưa chưa được khai thác triệt để do thiếu các hệ thống công trình thủy lợi.

Mục tiêu của nghiên cứu này là đánh giá khả năng đáp ứng nhu cầu của các ngành dùng nước của nguồn nước từ các hồ chứa trong bối cảnh BĐKH tại huyện Tri Tôn và Tịnh Biên, thuộc vùng Bảy Núi, tỉnh An Giang. Để thực hiện mục tiêu trên, trước hết, hiện trạng công trình thủy lợi (theo độ cao, loại công trình) được đánh giá; trữ lượng nước từ các hồ chứa và nhu cầu nước của các ngành dùng nước theo các kịch bản BĐKH giai đoạn 2030 và 2050 được tính toán; từ đó năng lực cung cấp nước từ hồ chứa cho các ngành dùng nước được đánh giá.

2. Khu vực nghiên cứu, số liệu và phương pháp nghiên cứu

Các số liệu trữ lượng, mực nước các hồ chứa và các thông tin về hiện trạng công trình thủy lợi trong vùng nghiên cứu được thu thập từ Sở NN&PTNN tỉnh An Giang. Để dự báo khả năng cấp của các hồ chứa cũng như hệ thống công trình thủy lợi, số liệu lượng mưa và nhiệt độ được tải về theo các kịch bản ĐBKH của Bộ TN&MT. Nghiên cứu sử dụng phương pháp thống kê mô tả và mô hình toán Cropwat nhằm ước tính lượng nước cho cây trồng. Các kết quả được thể hiện trên bản đồ và biểu đồ.

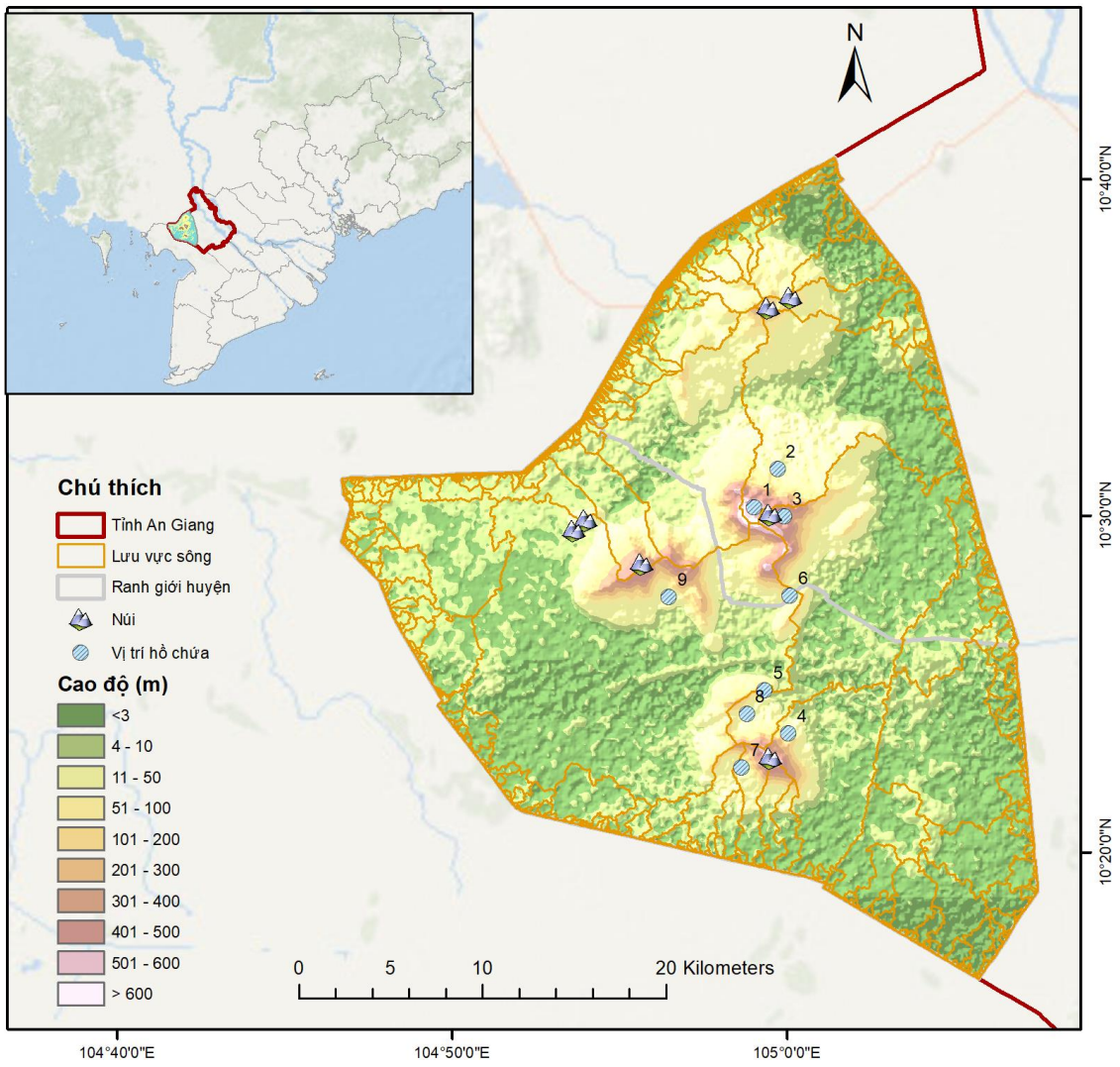
2.1. Khu vực nghiên cứu

Phạm vi nghiên cứu thuộc hai huyện miền núi Tri Tôn và Tịnh Biên tỉnh An Giang, là hai huyện miền núi tiếp giáp giữa Việt Nam và Campuchia thuộc địa bàn tỉnh An Giang, tổng diện tích tự nhiên 95.531 ha, chiếm 27,01% diện tích toàn tỉnh, trong đó diện tích sản xuất nông nghiệp là 66.381 ha (Hình 1). Dân số 225.830 người, 11,84% dân số toàn tỉnh. Trong đó: huyện Tịnh Biên có tổng diện tích tự nhiên 35.459 ha, chiếm 10,03% so với tổng diện tích toàn tỉnh, trong đó diện tích sản xuất nông nghiệp là 22.108 ha. Dân số toàn huyện 108.485 người, mật độ dân số bình quân đạt 306 người/km^2; Huyện Tri Tôn có tổng diện tích tự nhiên khoảng 60.072 ha (là huyện có diện tích lớn nhất tỉnh An Giang), chiếm gần 16,98% diện tích toàn tỉnh, trong đó diện tích sản xuất nông nghiệp là 44.273 ha. Dân số toàn huyện 117.345 người, mật độ dân số bình quân đạt 195 người/km^2 [13–15]. Trong đó, có khoảng 30.314 ha là đất vùng triền cao có cao trình từ +2 m đến +30 m (trong đó vùng triền có cao độ từ +2,0 m đến +5,0 m và vùng cao có cao độ từ +5 đến +30,0 m) nghiêng dần từ chân núi ra xung quanh, chiếm khoảng 31,73% diện tích tự nhiên của 02 huyện, tập trung ven các chân núi được giới hạn bởi các kênh Trà Sư–Tri Tôn, kênh Vĩnh Tế, kênh Mới và kênh Ninh Phước về phía chân núi. Vùng này khó khăn về nguồn nước phục vụ các ngành dùng nước và khó khăn trong đầu tư hệ thống thủy lợi trong thời gian qua. Địa hình trong vùng rất khó khăn cho bố trí công trình trạm bơm tưới, nhưng thuận lợi cho xây dựng hồ chứa vừa và nhỏ.

An Giang nằm trong vùng khí hậu nhiệt đới gió mùa, trong năm có hai mùa rõ rệt: mùa mưa và mùa khô. Mùa mưa thường bắt đầu từ tháng 6 và kết thúc vào tháng 11, mùa khô từ tháng 12 đến tháng 5 năm sau [16]. Tài nguyên nước khu vực nghiên cứu gồm có nước mặt và nước dưới đất; trong đó, nước mặt phần lớn được khai thác từ các hồ chứa hiện có (trong khu vực nghiên cứu có 07 hồ chứa), với tổng dung tích trữ nước là 2,55×106 m^3; phụ vụ tưới cho khoảng 630 ha, cấp nước sinh hoạt cho khoảng 4.700 hộ dân, phục vụ phòng cháy chữa cháy rừng và cảnh quan du lịch; bênh cạnh đó nước mặt từ các kênh cấp I (kênh Trà Sư, kênh Vĩnh Tế, kênh Mới, kênh Ninh Phước) cũng tạo nguồn cấp nước cho 17 trạm bơm vùng cao phục vụ cho 3.898 ha và 91 trạm bơm vùng triền phục vụ cho 19.615 ha đất sản xuất nông nghiệp và chăn nuôi. Ngoài ra, còn có nguồn nước dưới đất phục vụ cho sinh hoạt, sản xuất nông nghiệp và chăn nuôi trang trại.

Trong thời gian qua, việc nghiên cứu các giải pháp để đầu tư phát triển hệ thống công trình thủy lợi ở Tri Tôn và Tịnh Biên được quan tâm. Qua đó, vùng nghiên cứu đã từng bước đầu tư một số công trình, như: Trạm bơm 3/2, hồ Ô Tức Sa thuộc huyện Tịnh Biên; trạm bơm Châu Lăng, hồ Soài Chek, hồ Ô Thum,… huyện Tri Tôn, góp phần phục vụ sản xuất nông nghiệp và dân sinh trong vùng. Tuy nhiên, việc đầu tư phát triển hệ thống công

trình thủy lợi ở vùng này còn hạn chế, diện tích phục vụ của hệ thống còn nhỏ và phân tán nhiều nơi. Đa số diện tích nông nghiệp trong vùng chỉ sản xuất 01 vụ/năm và hoàn toàn phụ thuộc vào thiên.



Hình 1. Khu vực nghiên cứu.

2.2. Thu thập số liệu

Số liệu được thu thập và nguồn số liệu được trình bày trong Bảng 1.

Bảng 1. Số liệu và nguồn số liệu.

STT	Tên số liệu	Năm	Nguồn
1	Số liệu khí tượng trạm Châu Đốc	1980-2020	Đài Khí tượng Thủy văn tỉnh An Giang
2	Số liệu, thông số hồ chứa	2020	Sở NN&PTNT tỉnh An Giang
3	Điều kiện địa hình vùng Bảy Núi	2012	Sở NN&PTNT tỉnh An Giang
4	Thống kê dân số	2020	Chi cục Thống kê An Giang
5	Nhu cầu nước chăn nuôi	2012	Tiêu chuẩn Việt Nam 4454

2.3. Đánh giá hiện trạng hệ thống công trình thủy lợi

Hiện trạng hệ thống công trình thủy lợi tại khu vực nghiên cứu được đánh giá theo bốn bước sau:

- Thống kê số lượng các công trình thủy lợi, quy mô và cấp công trình trong khu vực nghiên cứu (vùng triền và vùng cao);

- Thống kê hiện trạng các hồ chứa tại khu vực nghiên cứu và định hướng phát triển trong tương lai;
- Tính toán, thống kế trữ lượng nước của tất cả các hồ chứa hiện trạng năm 2020 trong khu vực nghiên cứu.
- Tính toán, thống kế trữ lượng nước hữu dụng của tất cả các hồ chứa hiện trạng năm 2020 và định hướng xây dựng phát triển thêm hồ chứa trong tương lai đến năm 2030 và 2050 trong khu vực nghiên cứu.

2.4. Tính toán nhu cầu nước

Nhu cầu nước cho vùng hạ lưu hồ chưa được tính là tổng lượng tiêu thụ nước trong một khoảng thời gian nhất định, lượng nước cần thiết cung cấp cho các hoạt động: sinh hoạt và nông nghiệp. Dự báo nhu cầu nước được dựa trên phân tích nhu cầu nước hiện tại, sau đó về cơ bản nhu cầu nước được xem như tăng dần lên theo tốc độ phát triển kinh tế xã hội trong khu vực: nghĩa là nhu cầu nước trong khu vực được xem như tăng dần đến năm 2030 và năm 2050 ở từng khu vực theo kế hoạch phát triển kinh tế xã hội.

a) Nhu cầu nước sinh hoạt

Nước cho dân sinh chủ yếu là nước để ăn uống, phục vụ sinh hoạt. Trong tính toán chia làm hai loại là nước sinh hoạt cho thành thị và cho nông thôn. Khi tính cấp nước dân sinh còn căn cứ vào vùng địa lý, đối với đô thị còn căn cứ vào cấp đô thị. Các đô thị lớn đông dân có chỉ tiêu dùng nước lớn hơn. Tính nước cho dân sinh thường dựa vào chỉ tiêu theo đầu người rồi tính cho toàn bộ. Khi tính cho hiện trạng chủ yếu là dựa vào số liệu điều tra. Khi tính cho tương lai thì dựa vào các chỉ tiêu của quy hoạch về cấp nước hoặc tham khảo số liệu của các nước trong khu vực. Một vấn đề khá quan trọng trong tính toán nhu cầu nước dân sinh cho tương lai là phải dự báo được dân số, tình hình phát triển đô thị và tỷ lệ dân sống ở đô thị. Để có được những vấn đề này phải dự báo được tỷ lệ tăng trưởng dân số (bao gồm tăng trưởng tự nhiên, tăng trưởng cơ học), quy hoạch phát triển đô thị và mức độ đô thị hoá.

Nhu cầu nước sinh hoạt trung bình tại khu vực nghiên cứu.

- Nhu cầu nước sinh hoạt trung bình:

$$Q_{SHTB} = \frac{q_i \times N_i \times f_i}{1000} \ (m^3) \quad (1)$$

Trong đó q_i là tiêu chuẩn dùng nước sinh hoạt (lít/người/ngày); N_i là tổng dân số trong vùng cấp nước (người); f_i là tỷ lệ dân cư được cấp nước (q_i và f_i lấy theo tiêu chuẩn TCXDVN 33:2006).

Trong nghiên cứu này, tỷ lệ gia tăng dân số được xác định:

$$N_t = N_0 \times (1 + i)^n (\text{người}) \quad (2)$$

Trong đó N_t là dân số năm dự báo (người); N_0 là dân số tính toán năm hiện tại (người); i là tỷ lệ gia tăng dân số tự nhiên (%); và n là tỷ số năm dự báo và năm dân số hiện tại.

b) Nhu cầu nước cho nông nghiệp

Nhu cầu nước cho nông nghiệp chủ yếu là nước phục vụ cho lĩnh vực trồng trọt và phục vụ lĩnh vực chăn nuôi:

$$Q_{\text{nông nghiệp}} = Q_{TT} + Q_{CN} (m^3) \quad (3)$$

Trong đó $Q_{\text{nông nghiệp}}$ là tổng lượng nước cấp cho nông nghiệp (m^3); Q_{TT} là nhu cầu nước cho trồng trọt (m^3) và Q_{CN} là nhu cầu nước cho chăn nuôi (m^3).

(i) Nhu cầu nước cho trồng trọt

Nước tưới cho cây trồng cho một đơn vị trên mặt ruộng thường tính theo hệ số tưới, phương pháp được thông dụng hiện nay là phương pháp tính của tổ chức lương nông thế giới [17]. Nhu cầu tưới nước cho cây trồng IWR_i

$$IWR_i = ET_{Ci} - P_{ei} \quad (4)$$

Trong đó IWR_i là lượng nước yêu cầu tưới trong thời đoạn thứ i (mm); ET_{Ci} là lượng bốc thoát hơi nước trong thời đoạn thứ i (mm); P_{ei} là lượng mưa hiệu quả trong thời đoạn thứ i (mm).

Lượng bốc thoát hơi nước của cây trồng ET_C:

$$ET_C = ET_O \times K_C \quad (5)$$

Trong đó ET_C là lượng bốc thoát hơi nước cây trồng (mm/ngày); ET_O là lượng bốc thoát hơi nước tham chiếu (mm/ngày); K_C là hệ số cây trồng.

Xác định lượng bốc thoát hơi nước cây trồng tham chiếu ET_O: Theo [17], lượng bốc thoát hơi nước từ bề mặt tham chiếu (là một loại cỏ giả định để đối chiếu, bề mặt các đặc điểm cụ thể theo tiêu chuẩn) được gọi là bốc thoát hơi nước cây trồng tham chiếu. Phương trình FAO Penman–Monteith được sử dụng nhằm xác định giá trị bốc thoát hơi nước ET_0, là một hàm số phụ thuộc nhiều vào thông số thời tiết (số liệu về bức xạ, nhiệt độ không khí, độ ẩm không khí và tốc độ gió) tại chỗ và khu vực xung quanh khu vực nghiên cứu. Vì vậy phương trình FAO Penman–Monteith được cho là phương pháp tiêu chuẩn tốt nhất để tính ET_o từ dữ liệu khí tượng.

$$ET_0 = \frac{0{,}408\Delta(R_n - G) + \gamma\frac{900}{T+273}u_2(e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0{,}34u_2)} \left(\frac{mm}{ngày}\right) \quad (6)$$

Trong đó ET_0 là lượng bốc thoát hơi nước tham chiếu chung đối với cây trồng (mm/ngày); R_n: Bức xạ mặt trời trên bề mặt cây trồng (MJ/m^2/ngày); G là mật độ dòng nhiệt trong đất (MJ/m^2/ngày); T là nhiệt độ trung bình ngày tại vị trí 2 m từ mặt đất (^{o}C); u_2 là tốc độ gió tại chiều cao 2 m từ mặt đất (m/s); e_s là áp suất hơi nước bão hòa (kPa); e_a là áp suất hơi nước thực tế (kPa); Δ là độ dốc của áp suất hơi nước trên đường cong quan hệ nhiệt độ (kPa/^{o}C); và γ là hằng số ẩm (kPa/^{o}C).

Ước tính lượng mưa hiệu quả P_e: Phương pháp dịch vụ giữ đất (SCS) của Phòng nông nghiệp Mỹ (USDA) được trình bày trong phần nước tưới tiêu của FAO:

$$P_e = 125 \times (125 - 0{,}2P_{tot})/125 \qquad P_{tot} \leq 250mm \quad (7)$$

$$P_e = 125 + 0{,}1 \times P_{tot}P_e \qquad P_{tot} > 250mm \quad (8)$$

Trong đó P_e là lượng mưa hiệu quả (mm/tháng); P_{tot} là lượng mưa trung bình tháng (mm/tháng).

Sử dụng chương trình Cropwat 8.0 tính toán nhu cầu nước cây trồng: (i) Nhu cầu nước tưới và kế hoạch tưới được tính theo từng loại cây trồng, theo từng ngày tuần hoặc tháng; (2) Có thể kết hợp mùa vụ với luân canh các loại cây trồng để tính toán.

(ii) Nhu cầu nước cho chăn nuôi gia súc, gia cầm

Nhu cầu nước cho gia súc, gia cầm được tính bao gồm: nước cho gia súc, gia cầm uống và nước để vệ sinh chuồng trại. Tuỳ theo loại gia súc và chăn nuôi theo hình thức nào thì lượng nước dùng sẽ khác nhau. Do đó, ước tính nhu cầu nước bình quân cho từng cá thể, sau đó tính cho tổng số lượng cá thể và cộng với nước vệ sinh chuồng trại riêng biệt:

$$Q_{CN} = \frac{q_i \times N_i}{1000}(m^3) \quad (9)$$

Trong đó q_i là tiêu chuẩn dùng nước sinh hoạt (lít/con/ngày); N_i là số lượng vật nuôi (con) (q_i: lấy theo tiêu chuẩn TCVN 4454:2012 và N_i: lấy theo Niên giám thống kê (NGTK) tỉnh An Giang năm 2019) [13].

2.5. Tính toán nhu cầu nước trong điều kiện BĐKH

a) Kịch bản BĐKH

Trong nghiên cứu này, ảnh hưởng của BĐKH-NBD đến sự thay đổi mực nước được đánh giá theo kịch bản của Bộ TN&MT (2016). Kịch bản thấp (kịch bản RCP2.6): Kinh tế phát triển nhanh nhưng có sự thay đổi nhanh theo hướng kinh tế dịch vụ và thông tin; dân số tăng đạt đỉnh vào năm 2050 và sau đó giảm dần; giảm cường độ tiêu hao nguyên vật liệu, các công nghệ sạch và sử dụng hiệu quả tài nguyên được phát triển; chú trọng đến các

giải pháp toàn cầu về ổn định kinh tế, xã hội và môi trường. Kịch bản trung bình (kịch bản RCP4.5): Dân số tăng liên tục chú trọng đến các giải pháp địa phương thay vì toàn cầu về ổn định kinh tế, xã hội và môi trường; mức độ phát triển kinh tế trung bình; thay đổi chậm hơn và manh mún. Kịch bản cao (kịch bản RCP8.5): Thế giới không đồng nhất, các quốc gia hoạt động độc lập, tự cung tự cấp; dân số tiếp tục tăng trong thế kỷ 21; kinh tế phát triển theo định hướng khu vực; thay đổi về công nghệ và tốc độ tăng trưởng kinh tế tính theo đầu người chậm. Bảng 1 thể hiện số liệu lượng mưa và nhiệt độ ứng với 3 kịch bản BĐKH được tải từ website: https://cds.climate.copernicus.eu/.

Bảng 2. Các số liệu nhiệt độ và mưa BĐKH.

Kịch bản	Nhiệt độ	Lượng mưa
Lịch sử	1980-2005 (theo tháng)	1980-2005 (theo tháng)
RCP 2.6	2026-2035,2046-2055 (theo tháng)	2026-2035,2046-2055 (theo tháng)
RCP 4.5	2026-2035,2046-2055 (theo tháng)	2026-2035,2046-2055 (theo tháng)
RCP 8.5	2026-2035,2046-2055 (theo tháng)	2026-2035,2046-2055 (theo tháng)

b) Xử lý số liệu BĐKH

Theo [18], các giá trị mưa từ kịch bản lịch sử không thể sử dụng trực tiếp làm số liệu đầu vào do sai lệch giữa các biến mô phỏng khí hậu và giá trị thực đo. Vì vậy cần phải dùng công thức chuyển đổi:

$$\Delta P(j) = \frac{\overline{P}_{scen(j)}}{\overline{P}_{contr(j)}};\ P_{\Delta}(i,j) = \Delta P(j) \times P_{obs}(i,j)\ (i = 1{\sim}31; j = 1{\sim}12) \quad (10)$$

Trong đó $\overline{P}_{scen}$là lượng mưa trung bình tháng theo kịch bản; $\overline{P}_{contr}$là lượng mưa trung bình tháng thực đo; $\overline{P}_{obs}$ là lượng mưa trung bình ngày thực đo.

Và giá trị nhiệt độ được tính theo công thức:

$$\Delta T(j) = \overline{T}_{scen}(j) - \overline{T}_{contr}(j) \quad (11)$$

$$T_{\Delta}(i,j) = T_{obs}(i,j) + \Delta T(j) \quad (i = 1{\sim}31; j = 1{\sim}12) \quad (12)$$

Trong đó $\overline{T}_{scen}$là nhiệt độ max/min bình tháng theo kịch bản; $\overline{T}_{contr}$ là nhiệt độ max/min tháng thực đo; $\overline{T}_{obs}$ là nhiệt độ max/min ngày thực đo.

3.5. Tính toán nhu cầu nước theo các định hướng quy hoạch

Một số phương án được đề xuất như Bảng 3 và 4.

Bảng 3. Một số định hướng tại khu vực nghiên cứu.

Định hướng	Nội dung
1	Giảm tỷ lệ rau màu và lúa tăng tỷ lệ cây ăn trái
2	Xây dựng và mở rộng thêm các hồ chứa

Phương án cấp nước: Nhu cầu nước cung cấp cho hiện trạng nông nghiệp năm 2020 và cho hai trường hợp (TH) định hướng quy hoạch cấp nước cho các năm 2030 và 2050 như Bảng 4.

Bảng 4. Nhu cầu nước cho nông nghiệp qua các trường hợp tính toán (TH) [19-20].

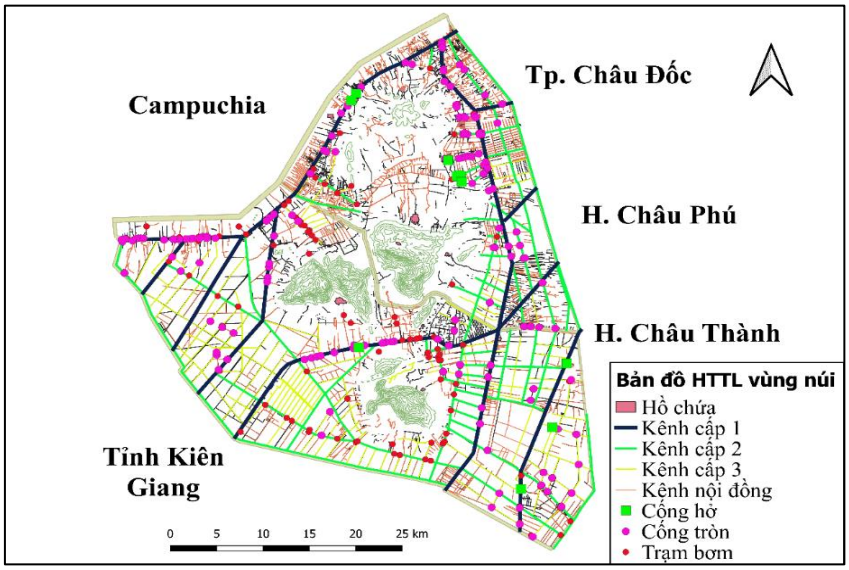
Hiện trạng cấp nước năm 2020	
Thu Đông	
Lúa (20/08-22/11)	
DT: 4.517 ha	
TH1: cấp nước cho nông nghiệp năm 2030	
Thu Đông	Cả năm
Lúa (20/08-22/11)	Cây ăn quả (01/01-31/12)
DT: 3.617 ha	DT: 900 ha
TH2: cấp nước cho nông nghiệp năm 2030	
Thu Đông	Cả năm
Bắp (20/08-17/12)	Cây ăn quả (01/01-31/12)
DT: 3.617 ha	DT: 900 ha

Hiện trạng cấp nước năm 2020		
TH1: cấp nước cho nông nghiệp năm 2050		
Hè Thu	Thu Đông	Cả năm
Rau màu (10/04-28/07)	Lúa (20/08-22/11)	Cây ăn quả (01/01-31/12)
DT: 3.157 ha	DT: 3.157 ha	DT: 1.360 ha
TH2: cấp nước cho nông nghiệp năm 2050		
Hè Thu	Thu Đông	Cả năm
Rau màu (10/04-28/07)	Bắp (20/08-22/11)	Cây ăn quả (01/01-31/12)
DT: 3.157 ha	DT: 3.157 ha	DT: 1.360 ha

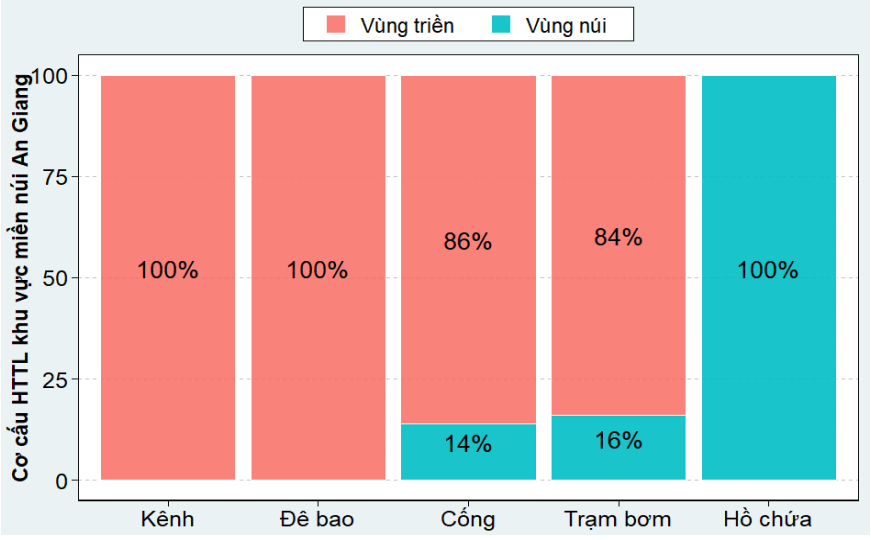
3. Kết quả và thảo luận

3.1. Hiện trạng hệ thống công trình thủy lợi

Bản đồ hiện trạng hệ thống công trình thủy lợi vùng Bảy Núi, tỉnh An Giang và cơ cấu hệ thống công trình thủy lợi lần lượt được trình bày trong Hình 2 và Hình 3. Hình 2 và Hình 3 cho thấy tỷ lệ kênh và bờ bao chiếm tỷ lệ 100% tại khu vực vùng triền (khu vực có cao độ từ +2,0 m đến +5,0 m), trong khi đó tỷ lệ về hồ chứa thì vực vùng cao (khu vực có cao độ từ +5,0 m đến +30,0 m) chiếm tỷ lệ 100%. Số lượng cống và trạm bơm lần lượt chiếm các tỷ lệ 86% và 84% cho vùng triền; 14% và 16% cho vùng cao.

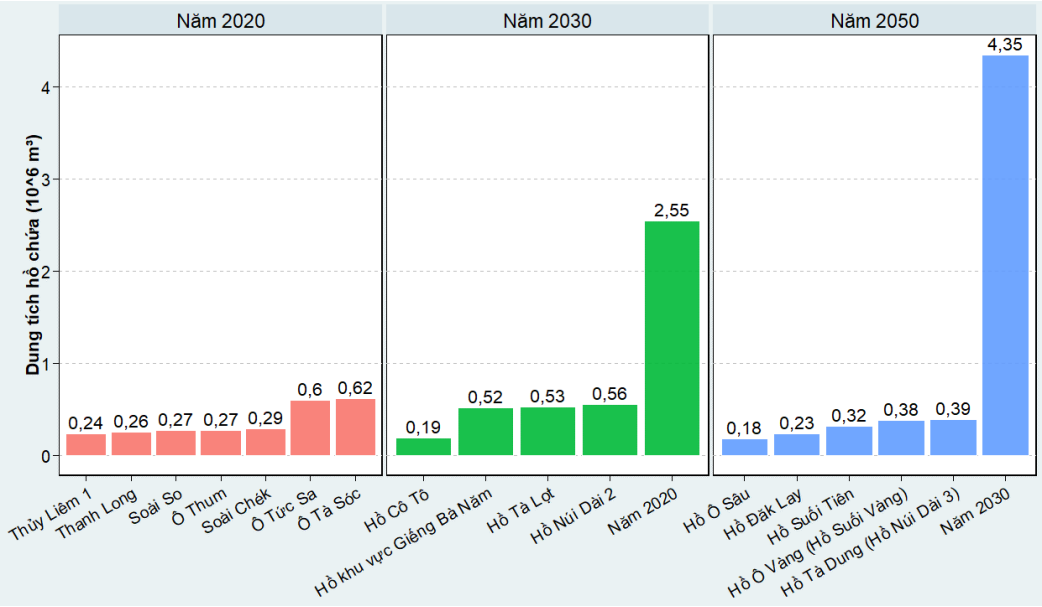


Hình 2. Hiện trạng hệ thống công trình thủy lợi vùng Bảy Núi, tỉnh An Giang.



Hình 3. Cơ cấu HTTL tại khu vực miền núi.

Về hồ chứa: Hồ chứa lớn (dung tích 3×10^6 m^3 ≤ W < 1×10^9 m^3 hoặc chiều cao đập. 10 m ≤ H < 15 m và chiều dài đập L ≥ 500 m hoặc 15 m ≤ H < 100 m); hồ chứa vừa (500×10^3 m^3 ≤ W < 3×10^6 m^3 hoặc 10 m ≤ H < 15 m) và hồ chứa nhỏ (W< 500×10^3 hoặc H < 10 m) năm 2020 được thống kê và quy hoạch phát triển các hồ chứa định hướng năm 2030 và 2050 được thể hiện trên Hình 4.



Hình 4. Chi tiết dung tích và số lượng các hồ chứa.

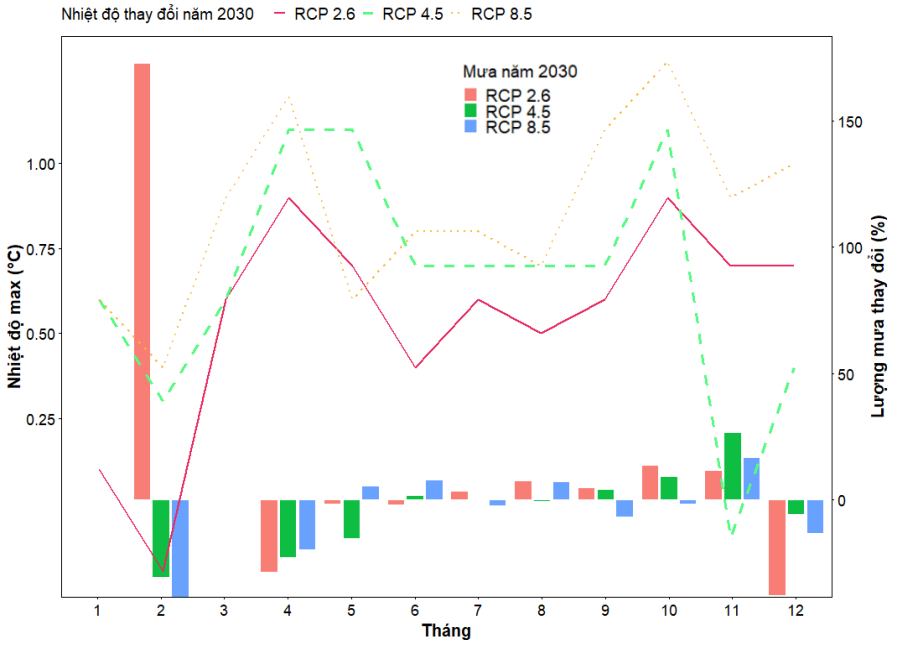
Theo số liệu thống kê hiện trạng năm 2020 khu vực nghiên cứu có 07 hồ chứa, với tổng dung tích trữ nước là $2{,}55\times10^6$ m^3, trong đó phần lớn là hồ chứa vừa và nhỏ (01 hồ chứa lớn 04 hồ chứa vừa và 02 hồ chứa nhỏ theo Nghị định 114/2018/NĐ-CP ngày 04/9/2018 của Chính phủ về Quản lý an toàn đập, hồ chứa nước); định hướng đến năm 2030 phát triển thêm 04 hồ chứa, với tổng dung tích $1{,}80\times10^6$ m^3 (03 hồ chứa vừa và 01 hồ chứa nhỏ), nâng tổng số hồ chứa lên 11 hồ chứa, với tổng dung tích trữ nước là $4{,}35\times10^6$ m^3 (01 hồ chứa lớn 07 hồ chứa vừa và 03 hồ chứa nhỏ); đến năm 2050 phát triển thêm 05 hồ chứa, với tổng dung tích $1{,}51\times10^6$ m^3 (05 hồ chứa nhỏ), nâng tổng số hồ chứa lên 16 hồ chứa, với tổng dung tích trữ nước là $5{,}86\times10^6$ m^3 (01 hồ chứa lớn 07 hồ chứa vừa và 08 hồ chứa nhỏ) [12]. Như vậy, số lượng hồ chứa nước tăng theo từng giai đoạn, từ đó dung tích nước trữ lại cũng tăng theo số lượng hồ qua từng giai đoạn, góp phần đáp ứng nhu cầu phục vụ sinh hoạt, chăn nuôi và sản xuất của người dân trong vùng. Bởi vì, đối với vùng cao thuộc hai huyện Tri Tôn và Tịnh Biên thì nguồn nước phục vụ sản xuất nông nghiệp là hết sức khó khăn, bênh cạnh giải pháp phát triển hệ thống trạm bơm vùng cao để chuyển nước từ kênh lên để tưới, thì việc chọn giải pháp đầu tư hồ chứa nước để tích nước vào mùa mưa phục vụ sinh hoạt và sản xuất nông nghiệp vào mùa khô là một giải pháp cũng được địa phương quan tâm. Nhằm phục vụ phát triển sản xuất theo quy hoạch sử dụng đất, tăng số vòng quay của đất, phục vụ phát triển kinh tế xã hội của địa phương nên làm gia tăng nhu cầu sử dụng nước. Vì vậy, việc đầu tư phát triển hệ thống hồ chứa nước vùng cao ở một số vị trí thuận lợi là phù hợp với định hướng quy hoạch của tỉnh trong tương lai.

Dưới tác động của BĐKH và việc mở rộng diện tích canh tác nông nghiệp và xây các đập thủy điện ở các quốc gia thượng nguồn sông Mekong đã làm lưu lượng nước về ĐBSCL suy giảm. Theo số liệu quan trắc tổng lượng nước bình quân năm 2020 từ thượng nguồn về ĐBSCL qua trạm Châu Đốc trên sông Hậu khoảng 47×10^9 m^3 năm [16] phục vụ nguồn nước cho một phần vùng ĐBSCL; Tổng lượng nước qua kênh Vĩnh Tế theo thiết kế khoảng 12×10^9 m^3 (Dự án Nâng cấp, cải tạo tuyến kênh Vĩnh Tế tỉnh An Giang, 2017), bằng khoảng 25% lượng nước của Sông Hậu; Tổng lượng nước qua kênh Trà Sư thông qua

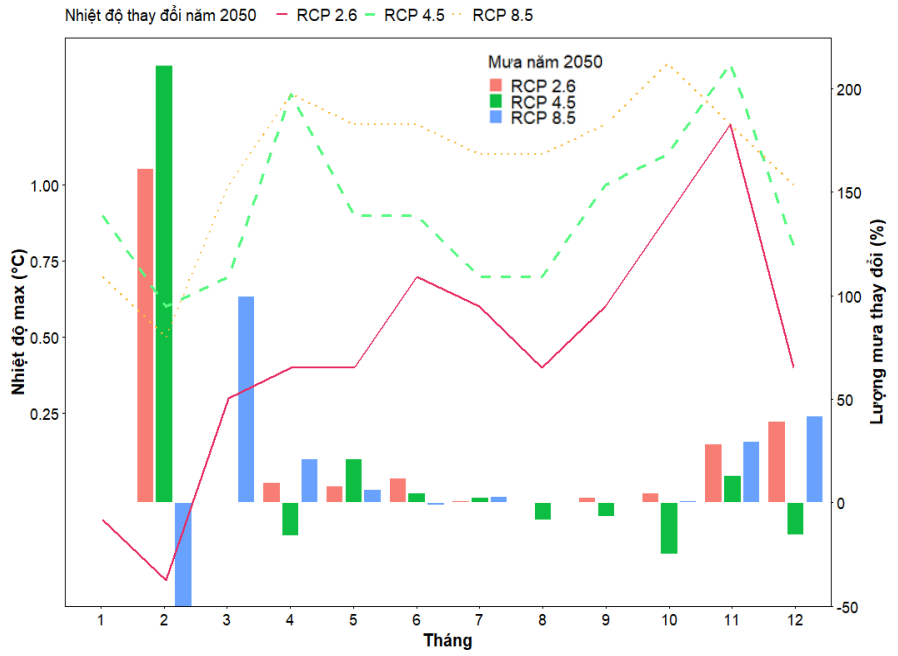
cống Trà Sư theo thiết kế khoảng 10 $\times 10^9$ m^3 [21], xấp xỉ 85% lượng nước của kênh Vĩnh Tế để phục vụ nguồn nước cho vùng Tứ giác Long Xuyên; trong khi nguồn nước từ các hồ chứa hiện trạng năm 2020 chỉ trữ được nước khoảng 2,55$\times 10^6$ m^3 và đến năm 2050 chỉ trữ được lượng nước khoảng 5,86$\times 10^6$ m^3 năm để phục vụ sản xuất cho vùng cao của hai huyện Tri Tôn và Tịnh Biên, bằng khoảng 0,06% lượng nước cấp từ kênh Trà Sư.

3.2. Biến đổi khí hậu

Hình 5 và 6 thể hiện lượng mưa, nhiệt độ ứng với từng kịch bản BĐKH theo các mốc thời gian 2020, 2030 và 2050. Mốc thời gian 2020 là mốc thời gian hiện tại tính toán cân bằng nước, mốc thời gian 2030 là khi các dự án hồ chứa dự kiến hoàn thành, cuối cùng là mốc thời gian 2050 để dự báo, định hướng và đề xuất các hướng phát triển cho khu vực nghiên cứu.



Hình 5. Phần trăm lượng mưa và nhiệt độ max thay đổi trong giai đoạn năm 2030.

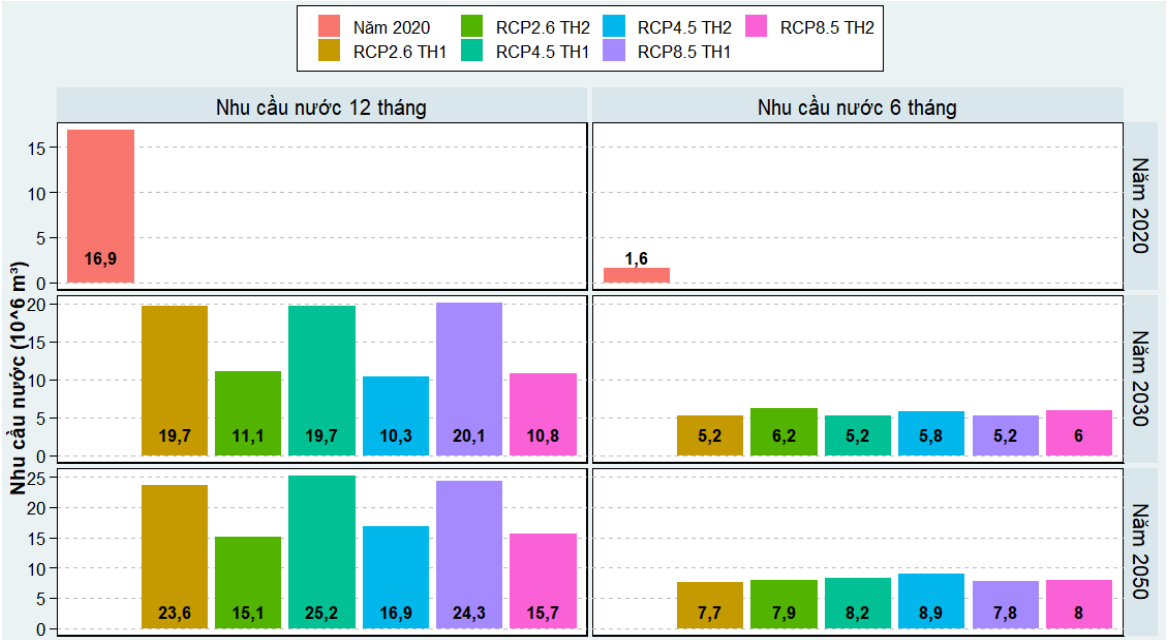


Hình 6. Phần trăm lượng mưa và nhiệt độ max thay đổi trong giai đoạn năm 2050.

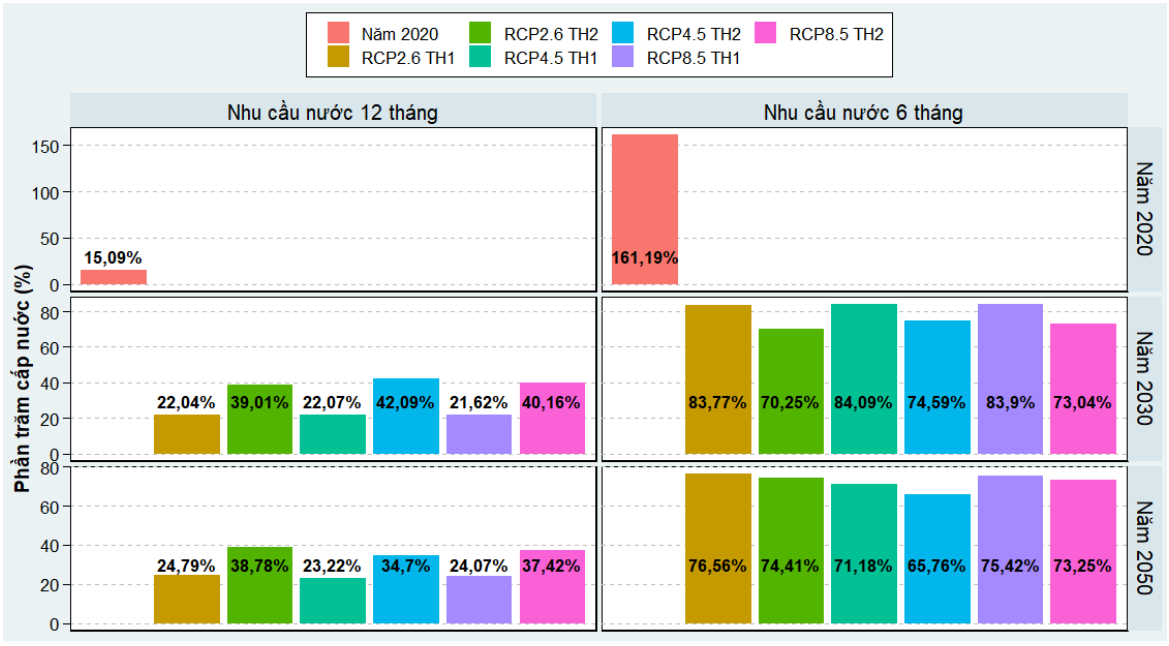
3.3. Kết quả tính toán nhu cầu nước

a) Nhu cầu nước trong cả năm

Hình 7 và 8 thể hiện nhu cầu nước sinh hoạt, chăn nuôi và nông nghiệp theo từng giai đoạn các năm 2020, năm 2030 và năm 2050 theo các trường hợp (TH) cấp nước được đề xuất và tương ứng với từng kịch bản BĐKH.



Hình 7. Nhu cầu nước cho các TH ứng với từng kịch bản BĐKH.



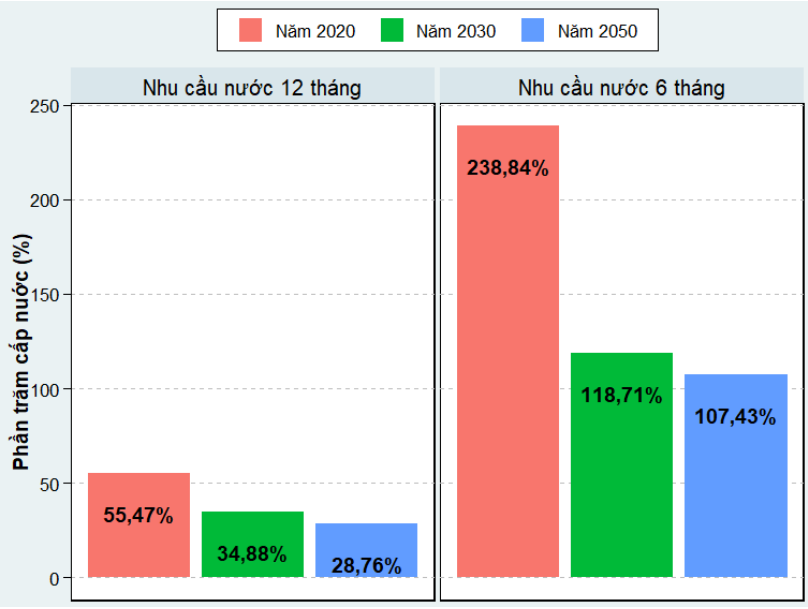
Hình 8. Mức độ đáp ứng nhu cầu nước (%) cho các TH ứng với từng kịch bản BĐKH.

Nhu cầu nước sinh hoạt, chăn nuôi và sản xuất nông nghiệp theo hiện trạng năm 2020 cho 12 tháng và 6 tháng lần lượt là $16,9\times10^6$ m^3 và $1,6\times10^6$ m^3; đến năm 2030 nhu cầu dùng nước trong 06 tháng (mùa khô) tương ứng với từng kịch bản BĐKH và theo các TH cấp nước được đề xuất (RCP2.6 TH1 (lúa + CAT), RCP2.6 TH2 (bắp + CAT), RCP4.5 TH1, RCP4.5 TH2, RCP8.5 TH1, RCP8.5 TH2) lần lượt là $5,2\times10^6$ m^3, $6,2\times10^6$ m^3, $5,2\times10^6$ m^3, $5,8\times10^6$ m^3, $5,2\times10^6$ m^3, $6,0\times10^6$ m^3; đến năm 2050 nhu cầu dùng nước trong

06 tháng (mùa khô) tương ứng với từng kịch bản BĐKH và theo các TH cấp nước được đề xuất lần lượt là $7,7\times10^6$ m^3, $7,9\times10^6$ m^3, $8,2\times10^6$ m^3, $8,9\times10^6$ m^3, $7,8\times10^6$ m^3, $8,0\times10^6$ m^3, cho thấy nhu cầu dùng nước cho các ngành dùng nước là rất lớn so với nguồn nước hiện có từ các hồ chứa.

Khả năng đáp ứng nhu cầu nước (cho hoạt động sinh hoạt, chăn nuôi và sản xuất nông nghiệp) (tính theo %) của các hồ chứa được thể hiện trên Hình 8. Từ Hình 8 ta thấy, hiện trạng năm 2020 cho 12 tháng (cả năm) và 6 tháng (mùa khô từ tháng 01 đến tháng 6) lần lượt là 15,09% và 161,19%. Đến năm 2030, khả năng đáp ứng nhu cầu nước trong 06 tháng (mùa khô) tương ứng với từng kịch bản BĐKH và theo các TH cấp nước (RCP2.6 TH1, RCP2.6 TH2, RCP4.5 TH1, RCP4.5 TH2, RCP8.5 TH1, RCP8.5 TH2) lần lượt là 83,77%, 70,25%, 84,09%, 74,59%, 83,90%, 73,04%. Tương tự đến năm 2050, lần lượt là 76,56%, 74,41%, 71,18%, 65,76%, 75,42%, 73,25%. Từ kết quả trên, cho thấy khả năng cấp nước từ các hồ chứa cho các ngành dùng nước ở các TH tương ứng với từng kịch bản BĐKH và phát triển hồ chứa đến năm 2030 và năm 2050 trong chỉ 06 tháng (mùa khô) chỉ đạt ở mức dưới khoảng 70% so với nhu cầu dùng nước thực tế.

Khi xem xét cấp nước cho hoạt động sinh hoạt là ưu tiên hàng đầu trong công tác đảm bảo nguồn nước, tiếp đến là cấp nước cho hoạt động chăn nuôi, kết quả tính toán được thể hiện trên Hình 9. Từ Hình 9 ta thấy phần trăm đảm bảo cấp nước cho nhu cầu sinh hoạt 12 tháng và 6 tháng (cấp nước sinh hoạt đảm bảo 100%; còn lại cấp nước cho chăn nuôi) ứng với hiện trạng năm 2020, định hướng đến năm 2030 và năm 2050 lần lượt là 55,47% và 238,84%; 34,88% và 118,71%; 28,76% và 107,43%. Khả năng đáp ứng nhu cầu nước cho sinh hoạt và chăn nuôi giảm dần theo thời gian từ 2020 đến 2030 và đến 2050, do sự gia tăng dân số và phát triển số lượng đàn chăn nuôi phục vụ phát triển kinh tế - xã hội. Như vậy, nguồn nước từ các hồ chứa đảm bảo cấp nước cho sinh hoạt và chăn nuôi (nhu cầu nước dùng cho 6 tháng mùa khô). Tuy nhiên, nếu xem xét khả năng cấp nước cả năm (12 tháng) thì việc thiếu hụt là không tránh khỏi nên cần có những giải pháp phù hợp để đảm bảo phục vụ cho sinh hoạt, chăn nuôi và sản xuất của nhân dân trong vùng.



Hình 9. Mức độ đáp ứng nhu cầu nước (%) khi ưu tiên cấp cho sinh hoạt và chăn nuôi.

4. Kết luận

- Kết quả nghiên cứu cho thấy hiện trạng hệ thống công trình thủy lợi chưa đáp ứng như cầu cung cấp nước. Việc đầu tư phát triển hệ thống cống và trạm bơm vùng cao để phục vụ sản xuất thấp hơn nhiều so với việc đầu tư phát triển hệ thống trạm bơm vùng đồng

bằng. Trữ lượng nước mặt từ các hồ chứa hiện trạng năm 2020 chỉ trữ được nước khoảng $2{,}55\times10^6$ m^3, đến năm 2030 là $4{,}35\times10^6$ m^3 và năm 2050 là $5{,}86\times10^6$ m^3.

- Khả năng đáp ứng nhu cầu nước (cho hoạt động sinh hoạt, chăn nuôi và sản xuất nông nghiệp) (tính theo %) của nguồn nước từ hồ chứa trong 06 tháng (mùa khô) ở các TH tương ứng với từng kịch bản BĐKH và phát triển hồ chứa đến năm 2030 và năm 2050 có tăng dần qua từng giai đoạn do quá trình đầu tư phát triển hồ chứa, và đến năm 2050 đạt khoảng 70% nhu cầu dùng nước thực tế.

- Nghiên cứu này chỉ đánh giá khả năng đáp ứng nguồn nước từ các hồ chứa phục vụ các ngành dùng nước trong một năm, với giả thiết hồ chứa ban đầu trữ nước (theo thiết kế) và chưa xem xét biến động nguồn nước đến và vận hành của hồ chứa cũng như dưới ảnh hưởng của BĐKH. Vì vậy nghiên cứu tiếp theo cần xem xét sự vận hành hồ chứa vào từng thời điểm mùa khô, mùa mưa, hoặc theo tháng và tính toán đánh giá tất cả nguồn nước tại khu vực nghiên cứu để có thể sử dụng tối ưu lượng nước từ hồ chứa, nhằm nâng cao hiệu quả sử dụng nguồn nước. Ngoài ra, trong nghiên cứu tiếp theo cần cập nhật số liệu và ước tính dòng chảy đến các hồ chứa theo các BĐKH năm 2020 theo CMIP6.

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

Lời cảm ơn: Đây là sản phẩm của đề tài cấp Bộ (mã số đề tài: B2021-TCT-13). Nhóm tác giả xin gởi lời cảm ơn đến Bộ GD&ĐT và Trường ĐHCT đã tạo cơ hội cho nhóm thực hiện nghiên cứu này. Ngoài ra, nhóm nghiên cứu xin gửi lời cảm ơn đến Sở Nông nghiệp và Phát triển Nông thôn An Giang, Chi cục Thủy lợi tỉnh An Giang, UBND huyện Tịnh Biên, UBND huyện Tri Tôn, Phòng Nông nghiệp và Phát triển Nông thôn huyện Tịnh Biên và huyện Tri Tôn đã tạo điều kiện cho nhóm thực hiện nghiên cứu này.

Lời cam đoan: Tập thể nhóm nghiên cứu xin cam đoan bài báo này là nghiên cứu của tập thể nhóm, chưa được công bố ở đâu, không được sao chép từ các nghiên cứu trước đây; không có tranh chấp lợi ích giữa các thành viên trong nhóm.

Tài liệu tham khảo

1. Saeed, F.H.; Al-Khafaji, M.S.; Al-Faraj, F.A.M. Sensitivity of Irrigation Water Requirement to Climate Change in Arid and Semi-Arid Regions towards Sustainable Management of Water Resources. *Sustainability* **2021**, *13*, 13608.
2. Bộ TN&MT. Báo Cáo Môi Trường Nước Quốc Gia. Chuyên đề môi trường nước các lưu vực; Hà Nội, Việt Nam, 2018, pp. 158.
3. Bộ TN&MT. Tóm Tắt Kịch Bản Biến Đổi Khí Hậu và Nước Biển Dâng Cho Việt Nam, Hà Nội, Việt Nam, 2016, pp. 31.
4. Dat, T.Q.; Kanchit, L.; Thares, S.; Trung, N.H. Modeling the Influence of River Discharge and Sea Level Rise on Salinity Intrusion in Mekong Delta. Proceeding of the The 1st Environment Asia International Conference, Thailand, 2011, 35, 685–701.
5. Tuan, L.A.; Minh, H.V.T.; Tuan, D.D.A.; Thao, N.T.P. Baseline Study for Community Based Water Management Project. Mekong Water Governance Program Vietnam, 2015.
6. Vi, P.T.T.; Minh, H.V.T.; Tri, L.H.; Khanh, L.H.; Ty, T.V. Đánh Giá Khả Năng Cấp Nước Từ Hồ Otuksa Cho Các Mô Hình Sản Xuất Khác Nhau Tại Huyện Tịnh Biên, Tỉnh An Giang. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* **2021**, *730*, 42–52. doi:doi:10.36335/VNJHM.2021(730).42-52.
7. Tri, L.H.; Tuan, L.A.; Minh, H.V.T.; Ty, T.V. Nghiên Cứu Vận Hành Hồ Chứa Ô Tà Sóc, Vùng Bảy Núi, Tỉnh An Giang Theo Các Kịch Bản Biến Đổi Khí Hậu. *Tạp chí Nông nghiệp Phát triển nông thôn* **2020**, *390*, 36–44.

8. 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.
9. Cường, N.P.; Ty, T.V.; An, T.V.; Minh, H.V.T. Ứng Dụng Mô Hình Mạng Trí Tuệ Nhân Tạo (Artificial Neural Networks) Dự Báo Mực Nước Phục vụ Dự Báo Ngập Tại Thành Phố Cần Thơ. *Tạp chí Nông nghiệp Phát triển nông thôn* **2020**, *382*, 53–60.
10. Hoàng, T.T.; Bình, P.Á.; Đông, N.P.; Toàn, H.C.; Hiền, N.T.; Hải, C.T. Đánh Giá Sự Thay Đổi Lưu Lượng về Hồ Dầu Tiếng Theo Các Kịch Bản Biến Đổi Khí Hậu. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* **2020**, *720*, 61–77.
11. Kịch, T.V.; Cường, T.M.; Nhung, T.T.; Phương, T.A.; Sơn, D.H. Xây Dựng Bản Đồ Bốc Thoát Hơi Nước Độ Phân Giải Cao Cho Tỉnh Sóc Trăng Từ Ảnh Viễn Thám Sentinel. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* **2022**, *740*, 1–10.
12. Sở NN&PTNN An Giang. Báo Cáo Kết Quả Thực Hiện Sản Xuất Nông Nghiệp Năm 2020 về Kế Hoạch Phát Triển Sản Xuất Nông Nghiệp Năm 2021. Sở NN&PTNN An Giang: Thành phố Long Xuyên, An Giang, 2021, pp. 35.
13. Tổng cục thống kê tỉnh An Giang. Niên Giám Thống Kê An Giang, 2019. Available online: http://thongkeangiang.gov.vn/chude/15 (accessed on 25 October 2021).
14. Niên giám thống kê. Niên Giám Thống Kê Huyện Tri Tôn Năm 2019 Available online: https://triton.angiang.gov.vn/wps/portal/Home/childpage/ngtk (accessed on 17 October 2021).
15. Niên giám thống kê. Niên Giám Thống Kê Huyện Tịnh Biên Năm 2019. Available online: https://tinhbien.angiang.gov.vn/wps/portal/Home (accessed on 17 October 2021).
16. Đài KTTV tỉnh An Giang. Thông Tin KTTV Tỉnh An Giang Available online: http://kttv.angiang.gov.vn/hien-trang (accessed on 17 October 2021).
17. Allen, R.G.; Pereira, L.S.; Raes, D.; Smith, M. Crop Evapotranspiration-Guidelines for Computing Crop Water Requirements-FAO Irrigation and Drainage Paper 56. *Fao Rome* **1998**, *300*, D05109.
18. Hay, L.E.; Wilby, R.L.; Leavesley, G.H. A Comparison of Delta Change and Downscaled GCM Scenarios for Three Mountainous Basins in the United States 1. *JAWRA J. Am. Water Resour. Assoc.* **2000**, *36*, 387–397.
19. Quyết định số 3099/QĐ-UBND. Về Việc Phê Duyệt Quy Hoạch Sử Dụng Đất Thời Kỳ 2021-2030 và Kế Hoạch Sử Dụng Đất Năm Đầu Huyện Tịnh Biên. Bản đồ sử dụng đất năm 2030; UBND Tỉnh An Giang: Thành phố Long Xuyên, An Giang, 2021, pp. 13.
20. Quyết định số 3098/QĐ-UBND. Về Việc Phê Duyệt Quy Hoạch Sử Dụng Đất Thời Kỳ 2021-2030 và Kế Hoạch Sử Dụng Đất Năm Đầu Huyện Tri Tôn. Bản đồ sử dụng đất năm 2030; UBND Tỉnh An Giang: Thành phố Long Xuyên, An Giang, 2021, pp. 12.
21. Quyết định số 3567/QD_BNN-XD. Về Việc Phê Duyệt Dự Án Đầu Tư Xây Dựng Công Trình Cống Tha La, Cống Trà Sư Tỉnh An Giang, 2017.

Assessment of the current state of the irrigation system and the ability to meet water requirement from reservoirs in the context of climate change in Tri Ton and Tinh Bien districts, Bay Nui region, An Giang province

Luong Huy Khanh[1], Nguyen Quoc Luat[1], Tran Thi Truc Ly[1], Le Hai Tri[2], Tran Van Ty[2*], Huynh Tran Gia Thinh[3], Huynh Vuong Thu Minh[3*]

[1] Master student, College of Engineering Technology, Can Tho University; luonghuykhanh@gmail.com; nguyenquocluat@gmail.com; lytran2x@gmail.com
[2] College of Engineering Technology, Can Tho University; lehaitri@gmail.com; tvty@ctu.edu.vn
[3] College of Environment and Natural Resources, Can Tho University; thinhgia1996un@gmail.com; hvtminh@ctu.edu.vn

Abstract: The objective of this study is to assess the ability to supply water for water-using sectors from reservoirs in the context of climate change in Tri Ton and Tinh Bien districts, An Giang province. To achieve the above objective, the current state of irrigation system was first assessed; water resources from reservoirs and water demand of various water-use sectors under climate change scenarios for the periods 2030 and 2050 were calculated; thereby the ability to supply water for water-using sectors from reservoirs was assessed. The results show that in 2020, the study area has 07 reservoirs (of which 01 large, 04 medium and 02 small reservoirs), water resources in reservoirs in 2020, 2030 and 2050 are respectively 2.55×10^6 m^3; 4.35×10^6 m^3; và 5.86×10^6 m^3. The demand for water in 6 months (dry season) for two cases in 2030 and 2050 and corresponding to three climate change scenarios is 5.2×10^6 m^3 and 6.2×10^6 m^3 (RCP2.6), 5.2×10^6 m^3 and 5.8×10^6 m^3 (RCP4.5), 5.2×10^6 m^3 and 6.0×10^6 m^3 (RCP8.5); 7.7×10^6 m^3 and 7.9×10^6 m^3 (RCP2.6), 8.2×10^6 m^3 and 8.9×10^6 m^3 (RCP4.5), 7.8×10^6 m^3 and 8.0×10^6 m^3 (RCP8.5). The ability to supply water for water-using sectors (%) from reservoirs in 6 months (dry season) has been found to gradually increases over each period thanks to the process of investment in reservoir construction, and by 2050 will reach about 70% of water demand. Further research should consider the details of reservoir operation and update climate change data in 2020 according to CMIP6.

Keyworks: Climate change; Water demand; Water resources in reservoirs; Irrigation system; Bay Nui region in An Giang province.

TẠP CHÍ
KHÍ TƯỢNG THỦY VĂN

Check for updates

Bài báo khoa học

Xây dựng hệ thống dự báo chất lượng nước tự động trên kênh, rạch nội đô thành phố Hồ Chí Minh

Nguyễn Việt Hưng[1*], Lê Thị Phương Trúc[1], Đặng Quang Thanh[2], Nguyễn Phương Đông[3], Trần Thành Công[4]

[1]Trung Tâm Quản lý Hạ tầng Kỹ thuật Thành phố Hồ Chí Minh;
nguyenviethungtv@gmail.com; lethiphuongtruc@gmail.com
[2] Công ty DHI Việt Nam; tqd.dhi@gmail.com
[3] Phân Viện Khoa học Khí tượng Thủy văn và Biến đổi khí hậu;
nguyenphuongdongkttv@gmail.com
[4] Đài Khí tượng Thủy văn khu vực Nam Bộ; congtt@gmail.com
***** Tác giả liên hệ: nguyenviethungtv@gmail.com; Tel.: +84–964081122

Ban Biên tập nhận bài: 7/8/2022; Ngày phản biện xong: 15/9/2022; Ngày đăng bài: 25/9/2022

Tóm tắt: Biến đổi khí hậu, nước biển dâng cùng với xu thế đô thị hóa và sự gia tăng dân số, các hoạt động công nghiệp, thương mại sẽ dẫn đến sự gia tăng ô nhiễm nước mặt ở các khu đô thị lớn như TP Hồ Chí Minh. Cùng với đó TP Hồ Chí Minh đang hướng tới mục tiêu trở thành đô thị thông minh với sáu lĩnh vực chính, trong đó có "môi trường thông minh". Như vậy việc giám sát, quản lý, theo dõi, dự báo chất lượng nước trong môi trường đô thị thông minh sẽ đòi hỏi ngày càng cao về chất lượng, thời gian và phương thức. Bài báo này sẽ giới thiệu một nghiên cứu xây dựng hệ thống quản lý, dự báo chất lượng nước tự động cho hệ thống 5 kênh rạch chính trong nội đô TP.HCM, trên nền tảng mô hình chất lượng nước DHI MIKE và các nền tảng Công nghệ thông tin, với mục tiêu đáp ứng các yêu cầu quản lý môi trường thông minh trong một đô thị thông minh.

Từ khóa: Chất lượng nước; TP.HCM; MIKE 11; ECOLAB; Mô hình thử nghiệm.

1. Đặt vấn đề

Thành phố Hồ Chí Minh có hệ thống sông ngòi, kênh rạch dày đặc với chiều dài gần 8.000km, diện tích mặt nước chiếm khoảng 16% diện tích thành phố. Trong đó, có năm hệ thống kênh rạch chính như hệ thống kênh Nhiêu Lộc–Thị Nghè, Tân Hoá–Lò Gốm, Tàu Hủ–kênh Đôi–kênh Tẻ, Bến Nghé và Tham Lương–Bến Cát–Vàm Thuật với tổng chiều dài khoảng 55km, đảm nhận chức năng tiêu thoát nước cho khu vực nội thành. Các hệ thống kênh rạch trên là nguồn tiếp nhận nước thải từ các hoạt động kinh tế–xã hội trên lưu vực. Nước mặt bị ô nhiễm chủ yếu tập trung đoạn chảy qua TP.HCM từ cầu Bình Triệu (sông Sài Gòn), phà Cát Lái (sông Đồng Nai) đến Mũi Đèn Đỏ. Một số đoạn sông bị ô nhiễm cục bộ trong khu vực nội đô TP.HCM như cầu Ông Buông, cầu Chữ Y, cầu An Lộc có nồng độ các chất COD, BOD_5, amoni vượt ngưỡng giá trị B1 của QCVN 08–MT:2015/BTNMT, do chịu tác động từ các nguồn thải khu dân cư đông đúc và các cơ sở sản xuất phân bố dọc theo lưu vực kênh Tham Lương–Bến Cát–Vàm Thuật, Tàu Hũ–Bến Nghé và Tân Hóa–Lò Gốm nằm trong quận 6, 8, 12, Gò Vấp, Tân Phú và Tân Bình [1].

Để theo dõi, quản lý và dự báo chất lượng nước cho khu vực, trên thế giới và các đô thị trong nước thường xây dựng hệ thống công cụ trong đó mô hình hình thủy lực tính toán lan truyền chất gây ô nhiễm là nền tảng. Mô hình toán có thể mô phỏng diễn biến chất lượng

nước theo không gian và thời gian, các quá trình tác động, biến đổi môi trường nước, đưa ra những bản tin dự báo, cảnh báo kịp thời để giải quyết các sự cố. Một số mô hình chất lượng nước thương mại hay mã nguồn mở được sử dụng như: MIKE, WASP7, QUAL2K, EFDC, SWAT, QUASAR, SIMCAT [2–8].

Tại Việt Nam nói chung và đối với TPHCM nói riêng, việc nghiên cứu phương pháp đánh giá mức độ ô nhiễm nguồn nước mặt cũng như xác định mức độ ảnh hưởng sức khỏe của người dân cùng các thiệt hại kinh tế do môi trường đô thị suy giảm về chất lượng, cụ thể là ô nhiễm nước kênh, rạch khu vực trung tâm đã được quan tâm và thực hiện, nhưng vẫn chưa nhiều và còn những vấn đề như: thành phần chất gây ô nhiễm, khả năng tự làm sạch, mức độ rủi ro thiệt hại chưa được nghiên cứu một cách đồng bộ. Có thể liệt kê một số nghiên cứu điển hình như: Trong nghiên cứu [15] "Điều tra, đánh giá khả năng chịu tải và đề xuất các giải pháp giảm thiểu ô nhiễm các kênh rạch vùng đô thị phía Nam tỉnh Bình Dương", [15] đã tiến hành nghiên cứu, xác định và đánh giá các nguồn thải xả nước thải vào lưu vực của từng kênh, rạch là nguồn tiếp nhận nước thải công nghiệp vùng đô thị phía Nam tỉnh Bình Dương. Đánh giá khả năng chịu tải của từng kênh, rạch là nguồn tiếp nhận nước thải công nghiệp và đô thị phía Nam tỉnh Bình Dương và đề xuất các giải pháp quản lý và kỹ thuật nhằm giảm thiểu ô nhiễm trên các kênh, rạch. Ngoài ra, nhóm tác giả cũng sử dụng công cụ mô hình tính toán đánh giá và mô phỏng dự báo CLN của khu vực. [13] nghiên cứu bước đầu đánh giá rủi ro sinh thái và sức khỏe cho khu công nghiệp (KCN) TPHCM, nghiên cứu tập trung vào việc bước đầu đánh giá rủi ro sinh thái cho nước thải công nghiệp và rủi ro sức khỏe do ô nhiễm không khí đối với công nhân giới hạn tại KCN Vĩnh Lộc và KCN Tân Thới Hiệp. [14] nghiên cứu "Diễn biến hàm lượng oxy hòa tan trên tầng nước mặt trong kênh Nhiêu Lộc–Thị Nghè, thành phố Hồ Chí Minh" tập trung vào sự biến động của một trong số các thành phần của nguồn nước là hàm lượng oxy hòa tan (DO). Nghiên cứu được thực hiện với công cụ mô tả và hỗ trợ đánh giá chất lượng môi trường nước GIS với thành phần là xác định được hàm lượng DO trên tầng nước mặt của kênh NL–TN.

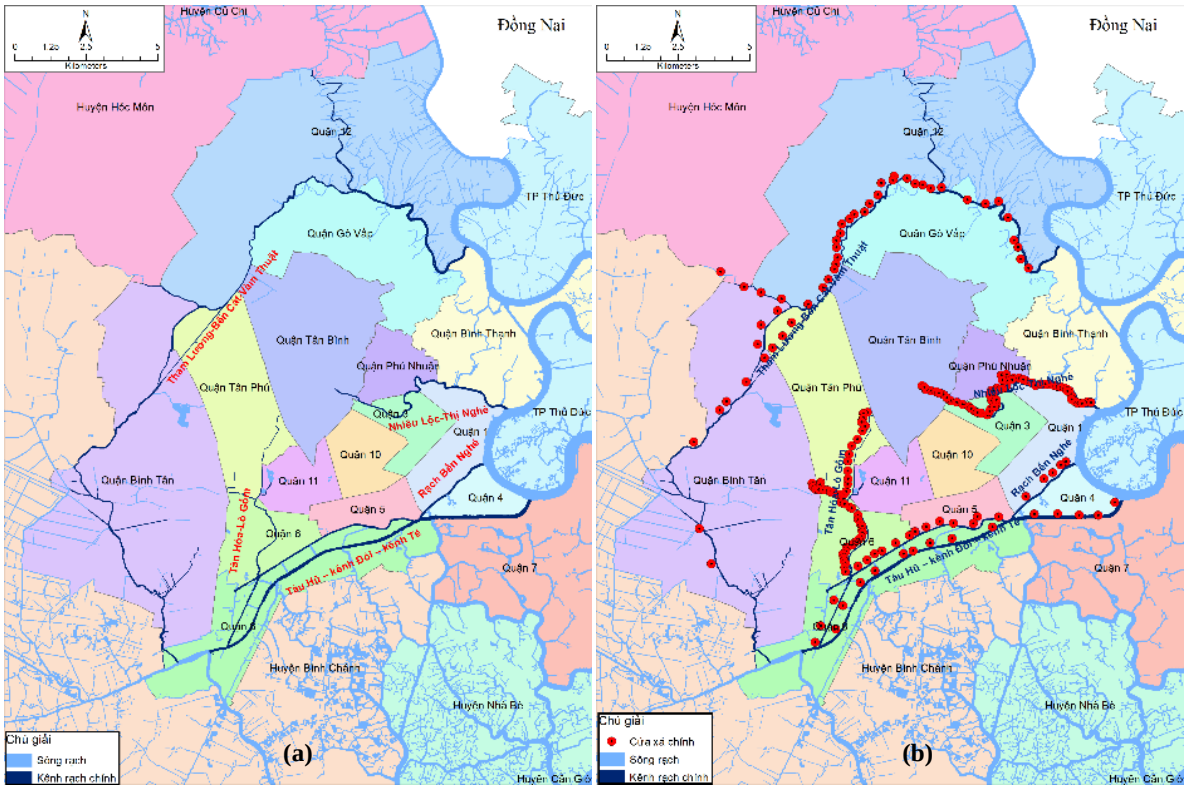
Trong nghiên cứu này, các tác giả sẽ xây dựng một hệ thống quản lý, mô phỏng, tính toán và dự báo tự động chất lượng nước cho hệ thống kênh rạch nội đô của thành phố. Nền tảng quan trọng nhất của hệ thống là bộ phần mềm MIKE 11 bao gồm các module thủy động lực (HD), mưa dòng chảy (RR) và chất lượng nước (ECOLab) thực hiện mô phỏng thủy lực và chất lượng nước hệ thống 5 kênh rạch nội đô TP HCM. Nền tảng thứ hai trong hệ thống là nền tảng Công Nghệ Thông Tin (CNTT) với các bộ công cụ tự động xử lý dữ liệu và kết xuất các kết quả tính toán, dự báo chất lượng nước. Nền tảng CNTT gồm các thành phần chính như sau: (1) Tự động thiết lập kết nối và xử lý liệu các nguồn nước thải trong khu vực, tự động tạo biên nguồn thải cho mô hình thủy lực, chất lượng nước; (2) Tự động thiết lập kết nối và xử lý dữ liệu dự báo các yếu tố mưa, bốc hơi, gió v.v, tự động tạo biên khí tượng cho mô hình thủy lực, chất lượng nước; (3) Tự động tính toán bổ sung lưu lượng gia nhập vào các điểm nguồn thải khi có xuất hiện mưa trên lưu vực; (4) Tự động cập nhật các tham số điều khiển mô hình và thực thi các thành phần của mô hình (RR, HD, ECOLab); (5) Tự động xử lý, phân tích dữ liệu kết quả tính toán của mô hình, tạo các dữ liệu khác nhau cho các mục đích khai thác thông tin mô phỏng, dự báo chất lượng nước trên Website, App, SMS,…

2. Phương pháp nghiên cứu

2.1 Khu vực nghiên cứu

Khu vực nghiên cứu là toàn bộ lưu vực năm hệ thống kênh rạch chính trong nội đô TP HCM gồm: kênh Nhiêu Lộc–Thị Nghè, Tân Hoá–Lò Gốm, Tàu Hủ–kênh Đôi–kênh Tẻ, Bến Nghé và Tham Lương–Bến Cát–Vàm Thuật với tổng chiều dài khoảng 55km (Hình 1). Hệ thống kênh Nhiêu Lộc–Thị Nghè: hệ thống thoát nước chính tự nhiên cho nhiều lưu vực thuộc các quận nội thành TPHCM (Tân Bình, Gò Vấp, Phú Nhuận, Bình Thạnh, quận 10, quận 3 và quận 1) đổ ra sông Sài Gòn. Hệ thống có lưu vực khoảng gần 3.000 ha, chiều dài

dòng chính của kênh là 9.470 m, các chi lưu có chiều dài tổng cộng 8.716 m. Dọc theo kênh có 59 cửa xả. Hệ thống kênh Tân Hoá–Lò Gốm: nằm trong khu cận trung tâm của nội thành, tuyến kênh chính có có diện tích khoảng 1.484 ha, chiều dài khoảng 7,6 km chạy từ hướng Đông Bắc xuống Tây Nam thành phố đi ngang qua các quận: Tân Bình, quận 11, quận 6, quận 8. Dọc theo kênh có 48 cửa xả. Hệ thống kênh Tàu Hũ–kênh Đôi–kênh Tẻ: nằm ngay ở phía Nam trung tâm thành phố. Hệ thống kênh này chảy qua 7 quận: 4, 5, 6, 7, 8 và 11 với tổng độ dài 19,5km. Dọc theo kênh có 5 cửa xả chính. Hệ thống kênh Bến Nghé: bắt đầu từ cửa sông Sài Gòn đến cầu chữ Y dài 3,15km. Dọc theo kênh có 22 cửa xả. Hệ thống kênh Tham Lương–Bến Cát–Vàm Thuật: tuyến kênh quan trọng ở phía Bắc thành phố. Tuyến kênh dài 12km, trong đó đoạn Vàm Thuật hiện còn rất rộng, lưu thông thuỷ và thoát nước khá tốt. Riêng đoạn kênh Tham Lương, từ cầu Chợ Cầu đến thượng nguồn đã bị bồi lấp, thu hẹp dòng chảy. Dọc theo kênh có 49 cửa xả.



Hình 1. Bản đồ vùng nghiên cứu chính bao gồm 5 hệ thống kênh rạch chính vùng nội thành (a) và vị trí các cửa xả vào hệ thống (b).

2.2. Mô tả hệ thống

Sơ đồ hệ thống xây dựng được mô tả trong hình 2, với 3 thành phần chính: Nền tảng mô hình chất lượng nước, Nền tảng CNTT, Hệ thống CSDL, và có thêm một thành phần cung cấp thông tin, khai thác kết quả.

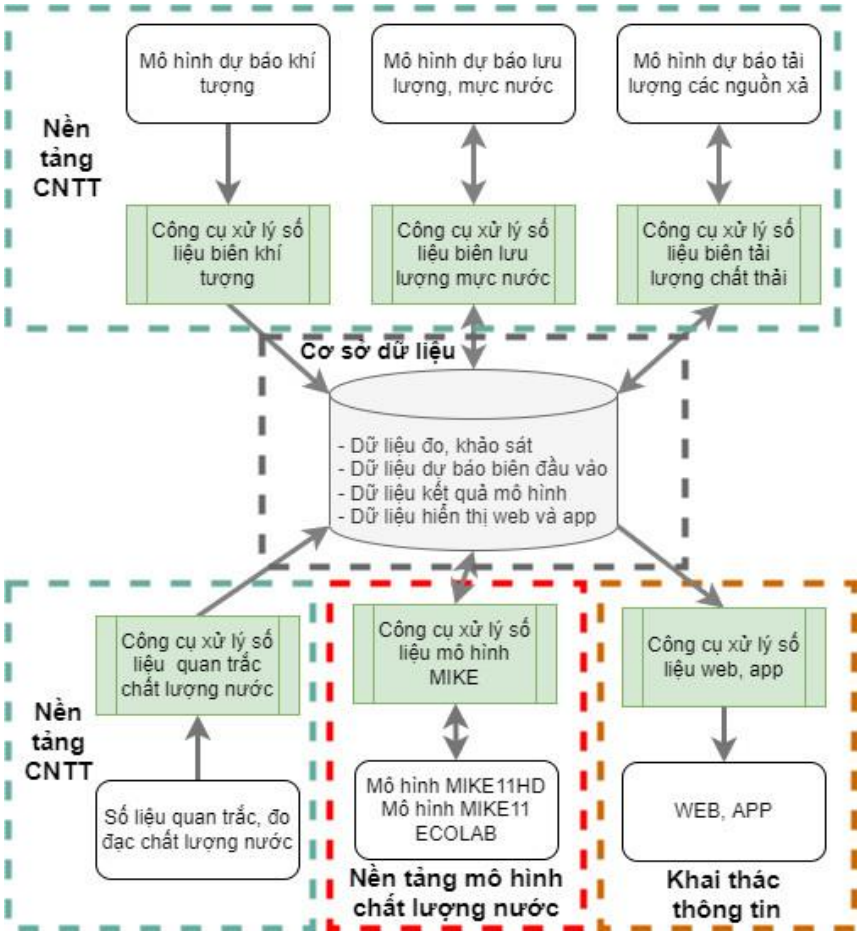
2.3. Nền tảng mô hình chất lượng nước

Nền tảng mô hình chất lượng nước được xây dựng dựa trên mô hình DHI–MIKE với các thành phần của mô hình (RR, HD, ECOLab). Các thành phần cần thiết để vận hành nền tảng này gồm có:

2.3.1. Sơ đồ thủy lực

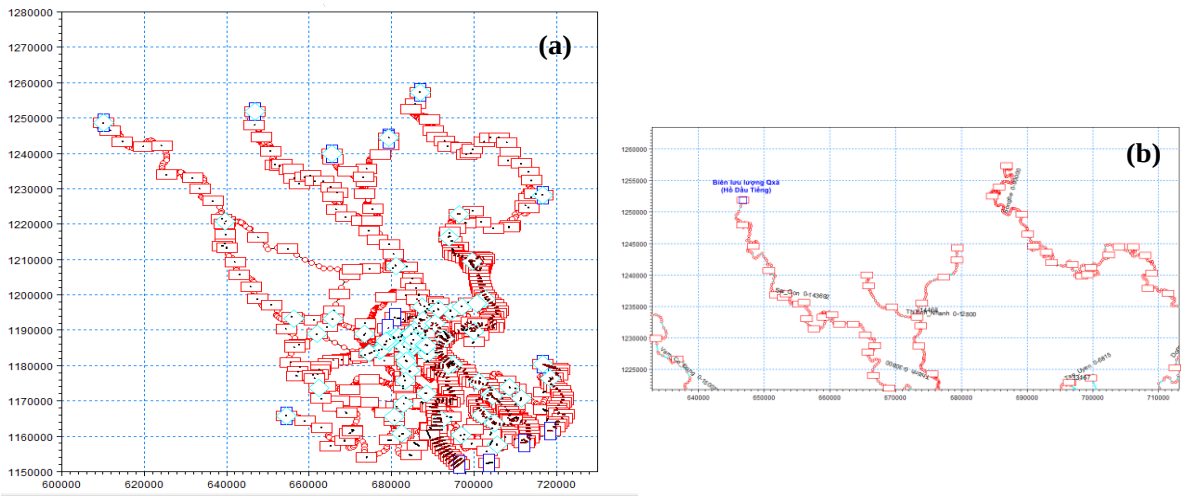
Sơ đồ thủy lực được xây dựng trong nền tảng này gồm có:

- Các nhánh sông, kênh rạch chính trong hệ thống sông Sài Gòn–Đồng Nai gồm sông Sài Gòn, sông Đồng Nai các kênh Tân Hóa–Lò Gốm, Bến Nghé, Tàu Hũ, Nhiêu Lộc–Thị Nghè và Tham Lương–Bến Cát–Vàm Thuật, kênh Đôi–kênh Tẻ.

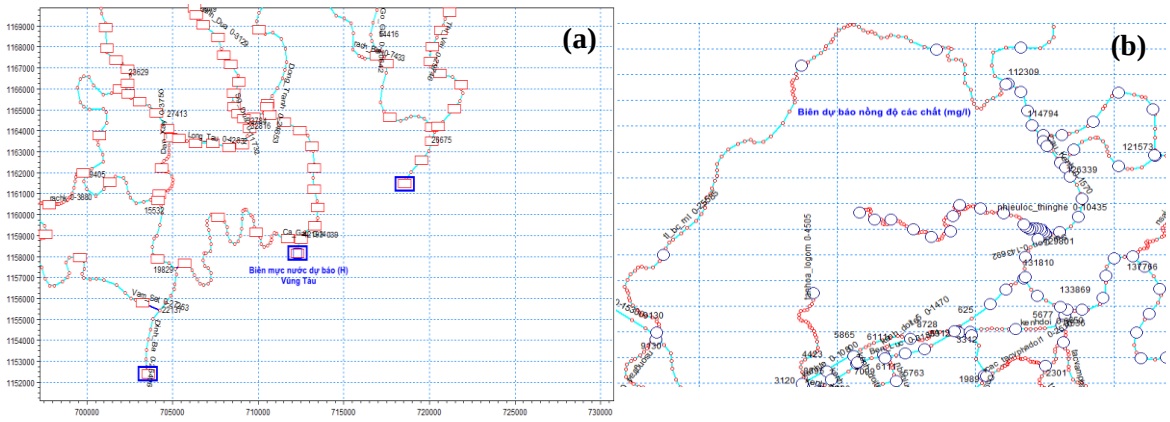


Hình 2. Sơ đồ hệ thống dự báo chất lượng nước tự động.

- Số mặt cắt: hơn 3000 mặt cắt, với số liệu được kế thừa và cập nhật từ các nghiên cứu, dự án; Số liệu từ Trung Tâm Quản lý Hạ Tầng kỹ thuật cho hệ thống thoát nước.
- Số liệu địa hình được cập nhật từ địa hình DEM lưu vực Sài Gòn–Đồng Nai, độ phân giải 10m, năm 2016.
- Bước tính của mô hình thủy lực và chất lượng nước: 60 giây.



Hình 3. Sơ đồ thủy lực toàn mạng lưới (a) và vị trí biên lưu lượng (b).



Hình 4. Vị trí biên mực nước (a) và vị trí nội biên (b).

2.3.2. Số liệu nguồn thải

Qua phân tích, thống kê số liệu chúng tôi đã tích hợp vào hệ thống số liệu 183 cửa xả trên 5 hệ thống kênh rạch chính. Tính toán lưu lượng thải sinh hoạt tại các cửa xả của 5 hệ thống kênh rạch:

- Dựa vào tiêu chuẩn nước thải sinh hoạt theo TCXDVN 33:2006 (Bảng1).

Bảng 1. Tiêu chuẩn cấp nước sinh hoạt tại các khu vực (lít/người/ngàyđêm) [16].

STT	Đối tượng cấp nước	Giai đoạn 2010-2020
1	Đô thị loại đặc biệt, đô thị loại I, khu du lịch:	
	- Nội đô	165 200
	- Ngoại đô	120 150
2	Đô thị loại II, đô thị loại III:	
	- Nội đô	120 150
	- Ngoại đô	80 100
3	Đô thị loại IV, đô thị loại V, điểm dân cư nông thôn	60 100

- Dựa trên số liệu thống kê về dân số và mật độ dân của các quận huyện của Thành phố Hồ Chí Minh năm 2019.
- Dựa trên mạng lưới hệ thống cống trục tiêu thoát nước khu vực xung quanh các cửa xả dọc theo tuyến kênh rạch nội đô (tập trung tuyến kênh chính);
- Theo tiêu chuẩn xả thải nước tải sinh hoạt (200 lít/ngàyđêm).

Công thức tính toán:

$$Q_{xả} = S \times (D \times 10^{-6}) \times QTC \times K \quad (1)$$

Trong đó Qxả là lưu lượng thải qua cửa xả (m^3/s); S là diện tích khu vực tập trung nước thải (m^2); QTC là lưu lượng nước thải sinh hoạt 1 người (m^3/s); D là mật độ dân số (số người/km^2); K là hệ số điều hòa theo TCXDVN 51:2008.

Kết quả tính lượng nước thải sinh hoạt cho 183 cửa xả trong khu vực nghiên cứu được trình bày trong bảng 2.

Tính toán bổ sung lưu lượng khi có mưa trên lưu vực cho các cửa xả:

- Khi không có mưa: thì lưu lượng các cửa xả được tính từ bảng 2;
- Khi có mưa: thì lưu lượng xả tại các cửa xả bằng lưu lượng trong bảng 2 cộng thêm lưu lượng dòng chảy do mưa tạo thành.

Tính toán lưu lượng thải sinh hoạt tại các cửa xả của 5 hệ thống kênh rạch:

Bảng 2. Lưu lượng xả thải ra các kênh nội đô.

Tên kênh	TT LV	Diện tích (km^2)	Số cửa xả Thứ Tự Cửa xả của các kênh	Số dân Số lượng	Số lượng Người	Qx.thải m^3/s
Nhiêu Lộc Thị Nghè	21	4.986	17,47	2	135431	0,486
	22	3.421	13,14,15,16,18,19,20,21,22,45,46,48,49	13	92906	0,344
	23	1.663	23,24,25,26,50,51	6	45177	0,167
	24	5.193	1,2,3,4,5,27,28,29,30,31,32	11	141056	0,506
	25	3.017	6,33	2	81948	0,304
	27	2.105	7,8,9,10,11,12,33,34,35,36,37,38,39,40,41,42,43,44	18	57163	0,212
	29	3.800	52	1	103213	0,382
Tham Lương Bến Cát	1	1.181	10,11,12,13,14,15,16,17,18	9	23046	0,091
	2	3.753	7,8,9	3	73202	0,271
	3	1.733	19,20	2	33808	0,133
	4	6.073	21	1	118449	0,439
	5	2.418	22,23,24,25,26,27	6	47172	0,175
	7	1.833	5,6	2	35748	0,141
	8	3.055	27,28	2	59586	0,221
	9	2.349	29,30,31	3	45823	0,17
	10	2.108	3,4	2	41118	0,162
	11	5.504	1	1	107350	0,398
	12	1.680	2	1	32770	0,129
	13	2.099	32,33,34,35	4	40957	0,161
	15	1.842	36	1	35930	0,141
	18	4.603	40	1	89786	0,333
	20	3.010	37	1	58718	0,217
	26	4.899	39,41,42,43,44	5	95554	0,354
	36	2.748	46	1	53595	0,199
	45	1.548	47	1	30201	0,119
	46	1.414	45	1	27581	0,109
	55	3.102	48,49,50	3	60508	0,224
Kênh Đôi Kênh Tẻ	40	1.997	1,2,3	3	72006	0,267
	41	0.313	4,5	2	11301	0,05
	49	9.422	11	1	339709	1,180
	50	1.887	8	1	68022	0,252
	51	1.479	10	1	53335	0,198
Tàu Hủ Bến Nghé	44	3.880	9	1	139872	0,502
	31	4.678	1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15,16,17	17	175716	0,63
	38	2.144	18,19,20,21,22	5	80538	0,298
Tân Hóa Lò Gốm	35	0.618	3,4,6	3	18617	0,082
	37	2.684	1,2,7	3	80854	0,299
	39	0.467	8,9,10,11	4	14065	0,062
	42	2.323	26,27,28,29,30,31,32,33,34,35,36,37	12	83756	0,31
	44	3.880	38,39,40,41,42,43,44,45,46,47,48	11	139872	0,502
	48	1.247	12,13,14,15,16	5	37554	0,148
	53	1.738	17,18,19,20,21,22,23,24,25	9	52338	0,194

Công thức tính tải lượng chất thải do con người tải ra môi trường được tính cho từng thành phần chất như sau (theo WHO năm 1993, bảng 3):

Tải lượng (mg/ngày) = số người × Tải lượng đơn vị (mg/người/ngày) (2)

Bảng 3. Tải lượng các chất ô nhiễm do con người đưa vào Môi trường.

STT	Chất ô nhiễm	Tải lượng (g/ng/ngày)
1	BOD_5	45–54
2	COD	72–102
3	Chất rắn lơ lửng	70–145
4	Dầu mỡ vi khoáng	10–30
5	Tổng nito	6–12
6	Amoni	2,4–4,8
7	Tổng phốt pho	0,8–4,0

Kết quả tính toán tải lượng được tổng hợp trong bảng 4.

Bảng 4. Tải lượng trong nước thải sinh hoạt của từng vùng thoát nước ra kênh.

Tên kênh	TT LV	Diện tích (km^2)	Thứ tự các cửa xả trên kênh	Tải lượng (kg/ngày)				
				BOD_5	**COD**	**TSS**	**Tổng N**	**Tổng P**
				45	75	70	6	0.8
Nhiêu Lộc Thị Nghè	21	4.986	17,47	6094	10157	9480	813	108
	22	3.421	13,14,15,16,18,19,20,21,22,45,46,48,49	4181	6968	6503	557	74
	23	1.663	23,24,25,26,50,51	2033	3388	3162	271	36
	24	5.193	1,2,3,4,5,27,28,29,30,31,32	6348	10579	9874	846	113
	25	3.017	7,8,9,10,11,12,33,34,35,36,37,38,39,6,33	3688	6146	5736	492	66
	27	2.105	40,41,42,43,44	2572	4287	4001	343	46
	29	3.800	52	4645	7741	7225	619	83
Tham Lương Bến Cát	1	1.181	10,11,12,13,14,15,16,17,18	1037	1728	1613	138	18
	2	3.753	7,8,9	3294	5490	5124	439	59
	3	1.733	19,20	1521	2536	2367	203	27
	4	6.072	21	5330	8884	8291	711	95
	5	2.418	22,23,24,25,26,27	2123	3538	3302	283	38
	7	1.832	5,6	1609	2681	2502	214	29
	8	3.054	27,28	2681	4469	4171	358	48
	9	2.349	29,30,31	2062	3437	3208	275	37
	10	2.108	3,4	1850	3084	2878	247	33
	11	5.503	1	4831	8051	7515	644	86
	12	1.680	2	1475	2458	2294	197	26
	13	2.099	32,33,34,35	1843	3072	2867	246	33
	15	1.842	36	1617	2695	2515	216	29
	18	4.603	40	4040	6734	6285	539	72
	20	3.010	37	2642	4404	4110	352	47
	26	4.899	39,41,42,43,44	4300	7167	6689	573	76
	36	2.747	46	2412	4020	3752	322	43
	45	1.548	47	1359	2265	2114	181	24
	46	1.414	45	1241	2069	1931	165	22
	55	31.022	48,49,50	2723	4538	4236	363	48
	40	1.997	1,2,3	3240	5400	5040	432	58

Tên kênh	TT LV	Diện tích (km^2)	Thứ tự các cửa xả trên kênh	Tải lượng (kg/ngày)				
				BOD_5	COD	TSS	Tổng N	Tổng P
				45	75	70	6	0.8
Kênh Đôi Kênh Tẻ	41	0.313	4,5	509	848	791	68	9
	49	9.422	11	15287	25478	23780	2038	272
	50	1.887	8	3061	5102	4762	408	54
	51	1.479	10	2400	4000	3733	320	43
Tàu Hủ Bến Nghé	44	3.880	9	6294	10490	9791	839	112
	31	4.678	1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15,16,17	7907	13179	12300	1054	141
	38	2.144	18,19,20,21,22	3624	6040	5638	483	64
	35	0.618	3,4,6	838	1396	1303	112	15
Tân Hóa Lò Gốm	37	2.684	1,2,7	3638	6064	5660	485	65
	39	0.467	8,9,10,11	633	1055	985	84	11
	42	2.323	26,27,28,29,30,31,32,33,34,35,36,37	3769	6282	5863	503	67
	44	3.880	38,39,40,41,42,43,44,45,46,47,48	6294	10490	9791	839	112
	48	1.247	12,13,14,15,16	1690	2817	2629	225	30
	53	1.738	17,18,19,20,21,22,23,24,25	2355	3925	3664	314	42

Tính toán tải lượng và nồng độ chất thải trong nước mưa:

Theo các nghiên cứu liên quan, giá trị nồng độ các chất ô nhiễm trong nước mưa chảy tràn phụ thuộc mức độ bê tông hóa hay mật độ xây dựng khu vực. Nghiên cứu kiến nghị sử dụng nồng độ chất thải trong nước mưa chảy tràn tại các kênh nội đô Thành phố Hồ Chí Minh theo nghiên cứu [9], được tổng hợp trong bảng 5.

Bảng 5. Nồng độ chất thải trong nước mưa chảy tràn tại các kênh nội đô thành phố.

TT	Tên kênh	Nồng độ (mg/l)				
		BOD_5	COD	TSS	Tổng N	Tổng P
Tên kênh	Kênh Nhiêu Lộc –Thị Nghè	5	10	30	0.5	0.004
	Kênh Đôi – Kênh Tẻ	10	20	50	0.5	0.004
	Kênh Tân Hóa – Lò Gốm	10	20	50	0.5	0.004
	Kênh Tàu Hủ – Bến Nghé	5	10	30	0.5	0.004
	Kênh Tham Lương– VT–BC	10	20	50	0.5	0.004

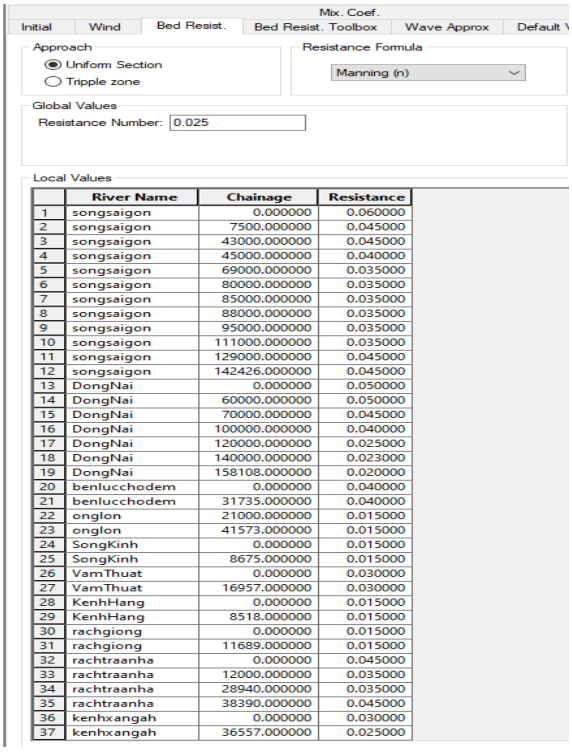
2.3.3. Các tham số mô hình

Bộ tham số các thành phần trong nền tảng mô hình đã được hiệu chỉnh và kiểm định chặt chẽ, đáp ứng các tiêu chí đánh giá độ tin cậy và tính chính xác.

- Mô hình thủy lực: được hiệu chỉnh với số liệu thực đo trong thời đoạn từ 01/03/2015 đến 01/04/2015 sau đó được kiểm định lại với số liệu từ 01/09/2015 đến 01/12/2015. Kết quả đánh giá độ tin cậy của mô hình thông qua hệ số Nash–Sutcliffe (NSE) và R^2 cho thấy, hiệu chỉnh mực nước tính toán so với thực đo có NSE là 0,9 và R^2 là 0,92; kiểm định mực nước với NSE là 0,89 và R^2 là 0,9. Bộ thông số tối ưu sau khi hiệu chỉnh trong Hình 5.

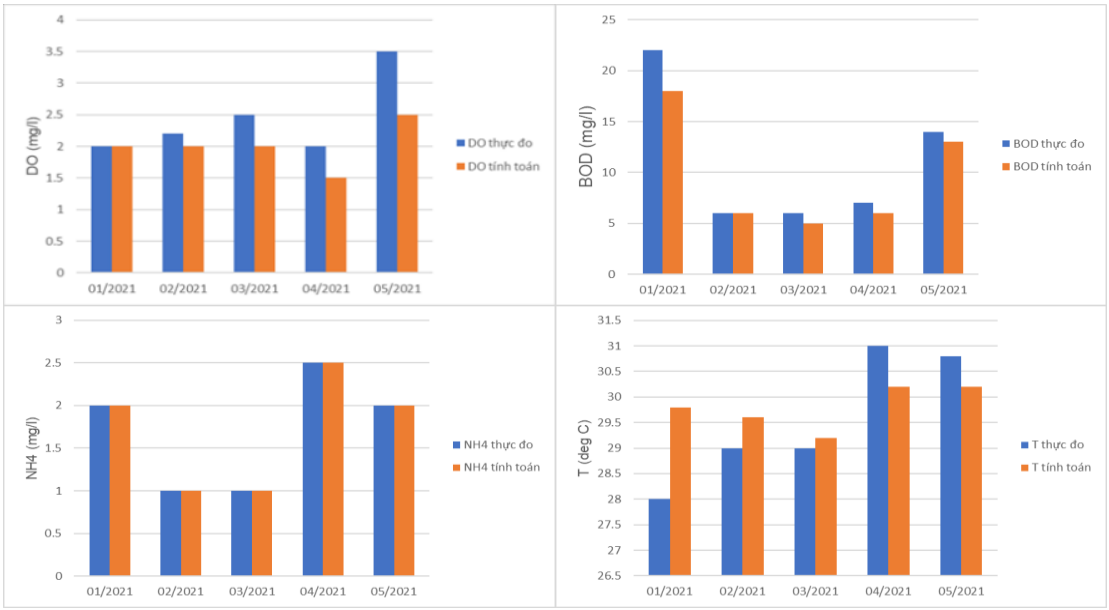
- Mô hình chất lượng nước: được kiểm nghiệm với số liệu đo từ tháng 1 đến tháng 5/2021 tại các vị trí thuộc 5 kênh rạch chính là kênh Nhiêu Lộc–Thị Nghè, , kênh Tân Hóa–Lò Gốm, kênh Tàu Hũ–Bến Nghé và kênh Tham Lương–Vàm Thuật. Kết quả được trình bày đại diện cho kênh Nhiêu Lộc–Thị Nghè (Hình 6). Nồng độ các chất được hiệu chỉnh–kiểm định bao gồm: DO, BOD, Nhiệt độ, NH_4, Ecoli, Coliform.

+ Hệ số phân tán nhỏ nhất: 0 m^2/s
+ Hệ số phân tán lớn nhất: 10000 m^2/s



	River Name	Chainage	Resistance
1	songsaigon	0.000000	0.060000
2	songsaigon	7500.000000	0.045000
3	songsaigon	43000.000000	0.045000
4	songsaigon	45000.000000	0.040000
5	songsaigon	69000.000000	0.035000
6	songsaigon	80000.000000	0.035000
7	songsaigon	85000.000000	0.035000
8	songsaigon	88000.000000	0.035000
9	songsaigon	95000.000000	0.035000
10	songsaigon	111000.000000	0.035000
11	songsaigon	129000.000000	0.045000
12	songsaigon	142426.000000	0.045000
13	DongNai	0.000000	0.050000
14	DongNai	60000.000000	0.050000
15	DongNai	70000.000000	0.045000
16	DongNai	100000.000000	0.040000
17	DongNai	120000.000000	0.025000
18	DongNai	140000.000000	0.023000
19	DongNai	158108.000000	0.020000
20	benlucchodem	0.000000	0.040000
21	benlucchodem	31735.000000	0.040000
22	onglon	21000.000000	0.015000
23	onglon	41573.000000	0.015000
24	SongKinh	0.000000	0.015000
25	SongKinh	8675.000000	0.015000
26	VamThuat	0.000000	0.030000
27	VamThuat	16957.000000	0.030000
28	KenhHang	0.000000	0.015000
29	KenhHang	8518.000000	0.015000
30	rachgiong	0.000000	0.015000
31	rachgiong	11689.000000	0.015000
32	rachtraanha	0.000000	0.045000
33	rachtraanha	12000.000000	0.035000
34	rachtraanha	28940.000000	0.035000
35	rachtraanha	38390.000000	0.045000
36	kenhxangah	0.000000	0.030000
37	kenhxangah	36557.000000	0.025000

Hình 5. Bộ thông số tối ưu sau khi hiệu chỉnh và kiểm định mô hình HD.



Hình 6. Kết quả kiểm định các chỉ số chất lượng nước.

Model definition | State variables | Constants | Forcings | Auxiliary variables | Processes | Derived output

	Description	Transport	Type	Unit	Value	Local
1	Dissolved oxygen	Transport	Concentration_3	mg/l	5	...
2	Temperature	Transport	Undefined	Degrees	28	...
3	Ammonia	Transport	Concentration_3	mg/l	0.3	...
4	Nitrate	Transport	Concentration_3	mg/l	5	...
5	BOD	Transport	Concentration_3	mg/l	6	...
6	Faecal coliform bacteria	Transport	Undefined	no/100ml	50	...
7	Total coliform bacteria	Transport	Undefined	no/100ml	5000	...
8	pH	Transport	Undefined	undefined	7	...
9	PO4	Transport	Concentration_3	mg/l	0.2	...

Hình 7. Bộ thông số tối ưu sau khi hiệu chỉnh và kiểm định mô hình Ecolab.

2.4. Nền tảng công nghệ thông tin

Nền tảng CNTT được xây dựng trong hệ thống bao gồm các bộ công cụ phần mềm máy tính tự động quản lý, xử lý và kết xuất các dữ liệu cho hệ thống thực hiện công việc dự báo chất lượng nước tự động từ khâu thu nhận số liệu đến cung cấp các sản phẩm dự báo trên các nền tảng thông tin khác nhau. Các thành phần chính của nền tảng CNTT được mô tả trong các phần tiếp theo.

2.4.1. Công cụ xử lý số liệu biên khí tượng

Số liệu khí tượng là thành phần biên quan trọng trong mô hình chất lượng nước, lượng nước mưa gia nhập vào hệ thống kênh, rạch sẽ làm tăng–giảm nồng độ chất ô nhiễm. Bộ công cụ này được thiết kế với các thành phần chính như sau:

1. Công cụ tự động thu nhận số liệu dự báo khí tượng

Các tác giả đã thiết kế công cụ thu nhận số liệu mô hình dự báo khí tượng GFS của Cơ quan Quản lý Khí quyển và Đại dương Quốc gia Mỹ, đây là mô hình số toàn cầu, độ phân giải không gian 0.25^0 (~27.8 km), thời gian dự báo lên đến 16 ngày. Đây cũng là mô hình dự báo thời tiết miễn phí và được áp dụng rộng rãi trong dự báo thời tiết.

Đối với hệ thống dự báo CLN tự động, chúng tôi thiết kế công cụ thu nhận và xử lý số liệu dự báo lượng mưa, lượng bốc hơi, gió, nhiệt. Công cụ được thiết kế để tự động tìm kiếm thu nhận kết quả tính toán mới nhất của mô hình, thực hiện công việc giải mã và chuyển đổi dữ liệu. Ngoài ra cũng có chế độ thủ công để quản trị hệ thống thu nhận xử lý dữ liệu dự báo khi cần. Phương thức nhận số liệu : FTP (File transfer protocol), trực tiếp qua mạng LAN.

Do mô hình dự báo khí tượng có độ trễ về thời gian (khoảng 3–4 giờ), do vậy để thực hiện phát bản tin dự báo chất lượng nước hàng ngày vào 7h sáng, chúng tôi thực hiện thu nhận số liệu dự báo khí tượng phiên 1h sáng (kết quả dự báo khí tượng hoàn thành thu nhận vào khoảng 5h sáng), sau đó thực thi các mô hình mô hình NAM, mô hình dự báo chất lượng nước, kết thúc vào khoảng 6h. Như vậy toàn bộ hệ thống thực hiện các công cụ để 7h sáng hàng ngày sẽ có các dữ liệu và bản tin dự báo chất lượng nước cho 5 hệ thống kênh nội đô.

2. Công cụ tự động tính toán, bổ sung lượng nước cho các nguồn thải.

Công cụ này được thiết kế để thực hiện các công việc sau:

- Xử lý số liệu lượng mưa, lượng bốc hơi dự báo, tạo các biên mưa, bốc hơi cho mô hình MIKE NAM.
- Cập nhật các tham số điều khiển mô hình.
- Thực thi mô hình MIKE NAM.
- Xử lý kết quả tính toán lưu lượng hình thành từ lượng mưa cho các lưu vực.
- Tính toán, phân bố lưu lượng gia nhập cho các cửa xả nước thải trong các lưu vực (trong trường hợp không mưa và có mưa).
- Tính toán, phân bố hàm lượng chất thải cho các cửa xả (trong trường hợp không mưa và có mưa).
- Cập nhật và kết xuất các biên nguồn thải cho mô hình MIKE ECOLab.

2.4.2. Công cụ tính biên mực nước và lưu lượng

Biên lưu lượng trong sơ đồ tính của hệ thống gồm: lương lượng xả trung bình ngày từ 2 hồ chứa Trị An và Dầu Tiếng, dùng phương pháp thống kê và sử dụng dữ liệu xả của hồ chứa trong nhiều năm, sẽ xác định ra quy luật xả theo từng ngày trong năm. Từ đó, thiết lập biên lưu lượng từ hồ chứa sẽ xả trong thời thời đoạn dự báo để đưa vào mô hình tính toán tự động.

Biên mực nước dữ liệu mực nước theo giờ tại trạm Vũng Tàu và Tân An được tính tự động trong mô hình MIKE bằng phương pháp hằng số điều hòa.

2.4.3. Công cụ cập nhật tham số và thực thi mô hình

Công cụ này được thiết kế để thực hiện tự động cập nhật các tham số điều khiển mô hình: thời gian, bước chạy,… và tự động thực thi mô hình thủy lực và mô hình ECOLab.

2.4.4. Công cụ kết xuất kết quả dự báo chất lượng nước

Sau khi mô hình hoàn tất tính toán công cụ kết xuất sẽ thực hiện xử lý số liệu kết quả tính toán, kết xuất và cập nhật vào CSDL dùng chung các loại định dạng số liệu sau:

- Tập tin kết quả mô hình MIKE có định dạng .Res11 hay .Res1d.
- Bảng số liệu các thông số môi trường nước mặt được tính toán, dự báo cho các điểm trên kênh rạch được xác định trước đó.
- Tập các đa giác mô phỏng kênh rạch với các thuộc tính là hàm lượng chất thải, tập này có định dạng GEOJSON tương thích với hiển thị trên WebGIS.

3. Kết quả và thảo luận

3.1. Vận hành nền tảng mô hình chất lượng nước của hệ thống

Mô hình thủy lực và chất lượng nước trong nền tảng mô hình của hệ thống sau khi được hiệu chỉnh và kiểm định sẽ được thực thi tự động ngay sau khi các công cụ của nền tảng CNTT thực hiện các công việc xử lý, tính toán và tạo các biên đầu vào cần thiết cho mô hình thủy lực và chất lượng nước, bao gồm:

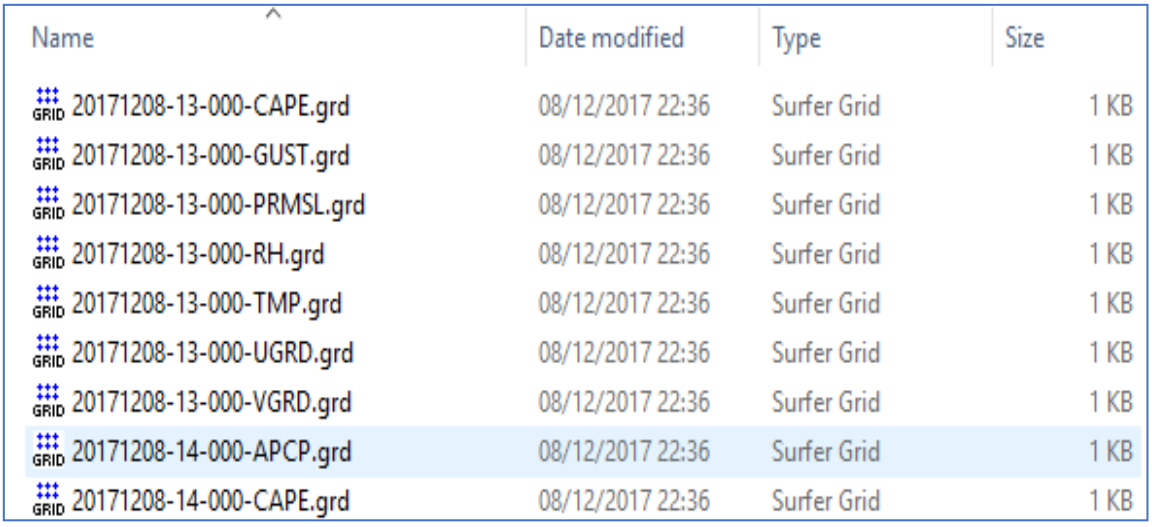
- Biên khí tượng: lượng mưa, lượng bốc hơi do công cụ xử lý biên khí tượng tự động thực hiện;
- Biên tải lượng các cửa xả: lưu lượng, hàm lượng chất thải do công cụ xử lý biên tải lượng chất thải thực hiện;
- Biên lưu lượng, mực nước: do công cụ xử lý biên lưu lượng tự động thực hiện.

3.2. Vận hành nền tảng CNTT

3.2.1. Thu nhận và xử lý số liệu biên khí tượng

Các bước vận hành công cụ này gồm:

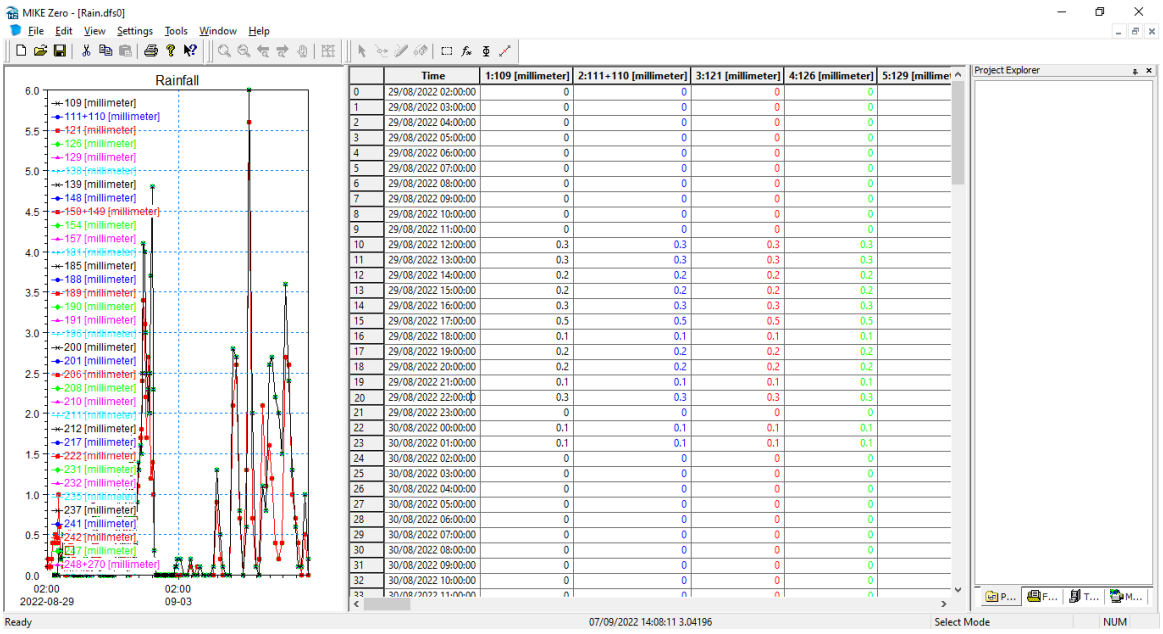
- Định thời hệ thống thực hiện kiểm tra số liệu mô hình dự báo thời tiết GFS và thực hiện tải số liệu từ máy chủ NOAA, thực hiện giải mã số liệu định dạng GRIB2, chuyển đổi số liệu các trường yếu tố thời tiết về các tập tin lưới số liệu với mỗi tập tin chứa một yếu tố dự báo tại một thời điểm nhất định (Hình 8).



Name	Date modified	Type	Size
20171208-13-000-CAPE.grd	08/12/2017 22:36	Surfer Grid	1 KB
20171208-13-000-GUST.grd	08/12/2017 22:36	Surfer Grid	1 KB
20171208-13-000-PRMSL.grd	08/12/2017 22:36	Surfer Grid	1 KB
20171208-13-000-RH.grd	08/12/2017 22:36	Surfer Grid	1 KB
20171208-13-000-TMP.grd	08/12/2017 22:36	Surfer Grid	1 KB
20171208-13-000-UGRD.grd	08/12/2017 22:36	Surfer Grid	1 KB
20171208-13-000-VGRD.grd	08/12/2017 22:36	Surfer Grid	1 KB
20171208-14-000-APCP.grd	08/12/2017 22:36	Surfer Grid	1 KB
20171208-14-000-CAPE.grd	08/12/2017 22:36	Surfer Grid	1 KB

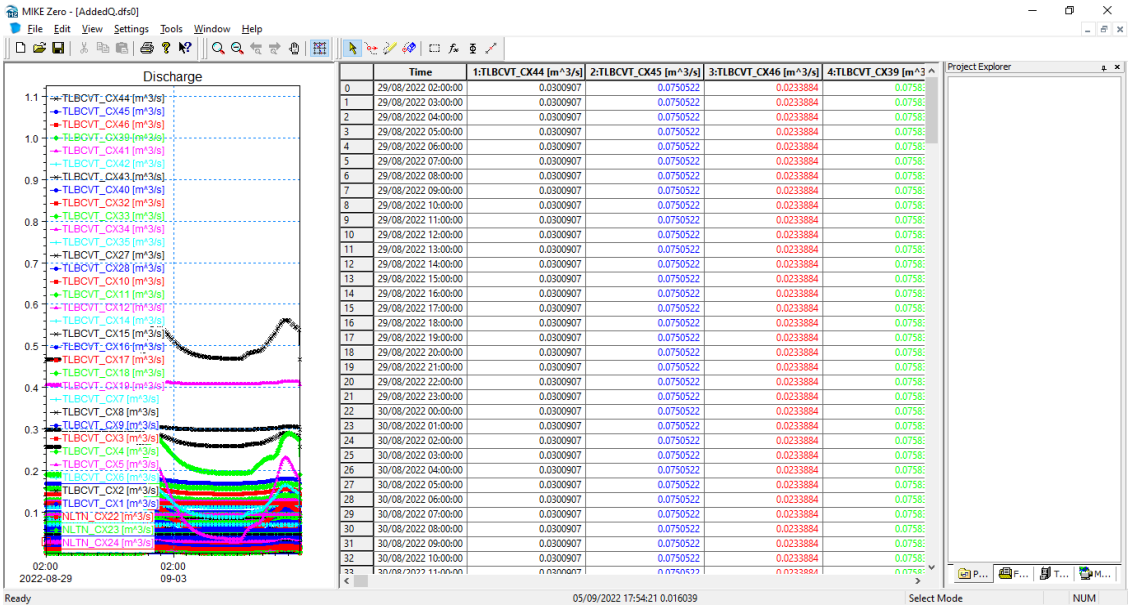
Hình 8. Kết quả giải mã và chuyển đổi số liệu mô hình dự báo khí tượng.

- Khi quá trình thu nhận và giải mã số liệu hoàn tất, hệ thống tự động kích hoạt công cụ tính toán lượng mưa cho 87 lưu vực thoát nước và kết xuất ra tập tin Rain.Dfs0 theo định dạng biên Dfs0 của mô hình MIKE NAM (Hình 9).



Hình 9. Kết quả xử lý và lập biên lượng mưa cho mô hình MIKE NAM.

- Bước tiếp theo hệ thống tự động tham số thời gian điều khiển mô hình, thực thi mô hình MIKE NAM, sau khi mô hình hoàn tất thực thi, công cụ sẽ tính toán, phân bố lưu lượng gia nhập (*khi không có mưa và khi có mưa*) cho các cửa xả nước thải trong các lưu vực và kết xuất tập tin biên nguồn thải AddedQ.Dfs0 cho mô hình MIKE ECOLab.



Hình 10. Kết quả xử lý và lập biên lượng nguồn thải cho mô hình MIKE ECOLab.

3.2.2. Tính toán và lập biên tải lượng chất thải

Các bước vận hành công cụ này gồm:

- Nạp số liệu dự báo lượng mưa cho các lưu vực từ bước thực thi công cụ trong mục 3.2.1.
- Tính toán bổ sung tải lượng chất ô nhiễm trong nước chảy tràn do mưa.
- Bổ sung tải lượng chất ô nhiễm trong nước mưa chảy tràn vào tải lượng chất ô nhiễm của cửa xả.
- Thực hiện kết xuất biên theo định dạng của mô hình MIKE 11 và MIKE ECOLab.

3.2.2. Tính toán và lập biên tải lưu lượng và mực nước

Các bước vận hành công cụ này gồm:

- Nạp số liệu dự tính lưu lượng ngày trung bình của các hồ thủy điện và điểm biên thượng lưu;
- Tính toán lưu lượng hàng giờ cho các điểm biên thượng nguồn;
- Nạp số liệu hằng số điều hòa;
- Khởi động chương trình tính toán mực nước thủy triều của mô hình MIKE, tính toán mực nước triều cho điểm biên Vũng Tàu;
- Thực hiện kết xuất biên lưu lượng và biên mực nước theo định dạng của mô hình MIKE 11 và MIKE ECOLab.

3.2.2. Thực thi các thành phần mô hình thủy lực MIKE11 và chất lượng nước ECOLab

Các thao tác trong bước này đều tiến hành tự động và ở chạy ở chế độ nền.

3.2.3. Kết xuất kết quả dự báo chất lượng nước

Công cụ kết xuất sẽ thực hiện xử lý số liệu kết quả tính toán, kết xuất và cập nhật vào CSDL dùng chung các loại định dạng số liệu sau:

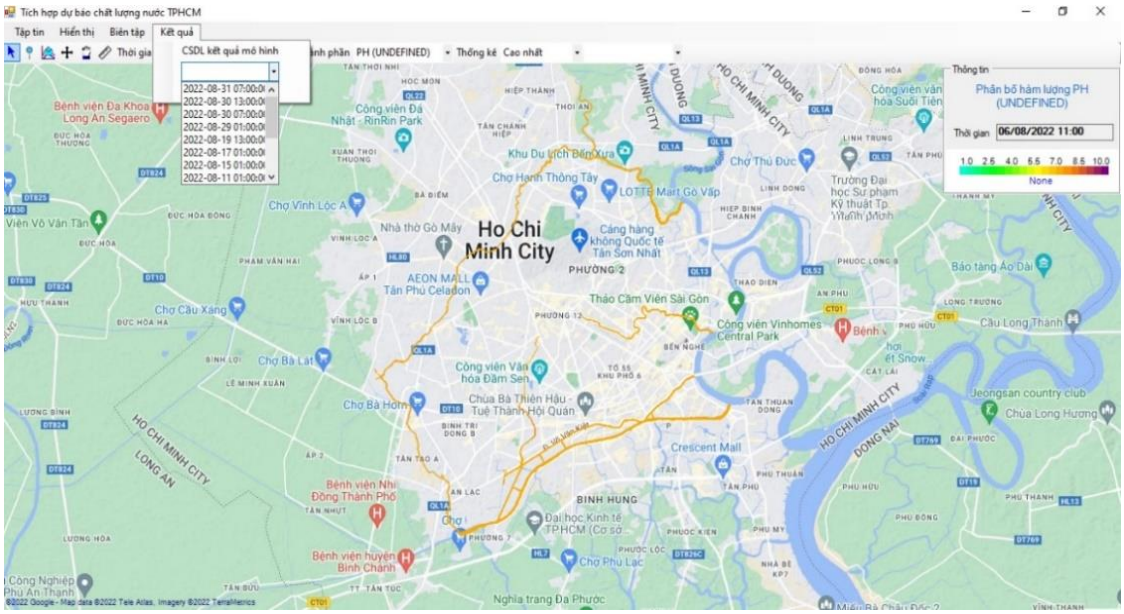
- Tập tin kết quả mô hình MIKE có định dạng .Res11 hay .Res1d
- Bảng số liệu các thông số môi trường nước mặt được tính toán, dự báo cho các điểm trên kênh rạch được xác định trước đó.
- Tập các đa giác mô phỏng kênh rạch với các thuộc tính là hàm lượng chất thải, tập này có định dạng GEOJSON tương thích với hiển thị trên WebGIS.

3.3. Khai thác thông tin dự báo chất lượng nước

Các dữ liệu dự báo ở các dạng khác nhau đã được cập nhật trên CSDL dùng chung, các công cụ khai thác như phần mềm, Website, App điện thoại đều có thể truy cập số liệu và hiển thị khai thác theo yêu cầu khác nhau của người dùng. Dưới đây là các mô tả khai thác kết quả dự báo chất lượng nước từ hệ thống dự báo tự động.

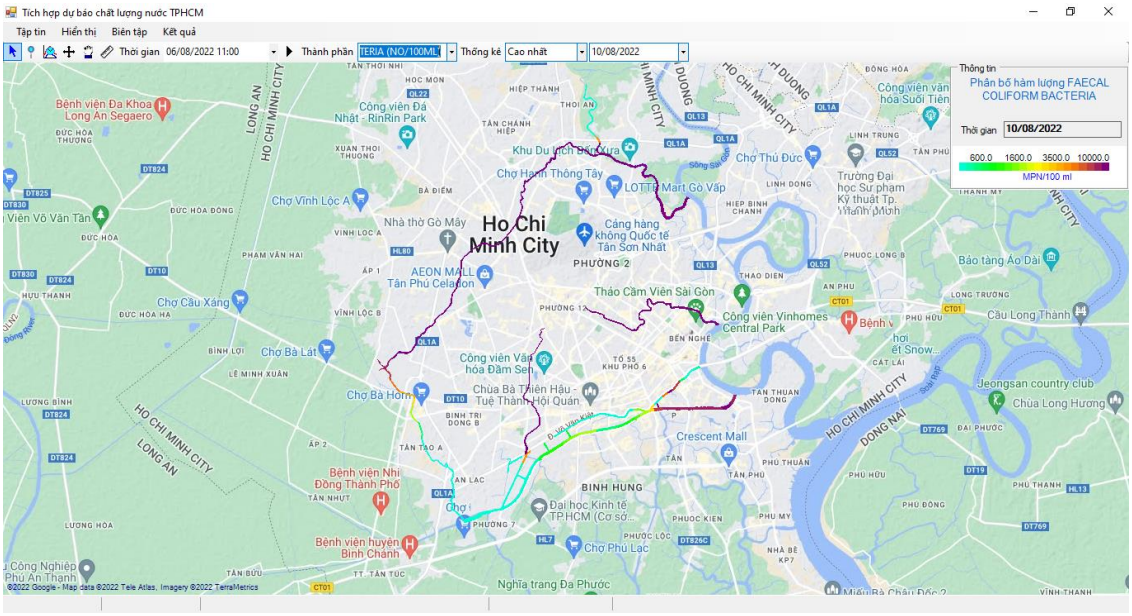
Phần khai thác số liệu được thiết kế để khai thác kết quả dự báo chất lượng nước với các chức năng:

- Kết nối CSDL dung chung để tải kết quả dự báo từ CSDL dùng chung trong danh sách CSDL kết quả mô hình (Hình 11).

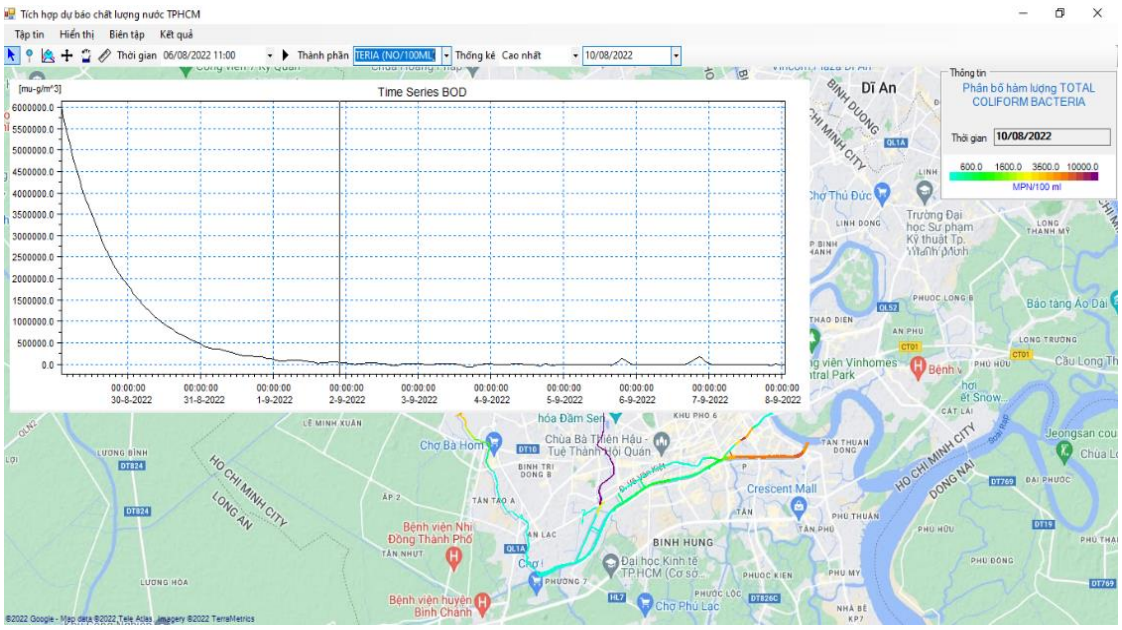


Hình 11. Bản đồ phân bố hàm lượng chất ô nhiễm trong kênh–rạch tại một thời điểm.

- Hiển thị phân bố hàm lượng chất ô nhiễm theo không gian (kênh, rạch) và theo từng thời điểm (theo giờ), có chồng lớp với nền GIS khu vực để hiện thị trực quan hơn (Hình 11 hiện thị phân bố hàm lượng PH trong kênh rạch vào 11h ngày 06/08/2022).
- Hiển thị phân bố hàm lượng chất ô nhiễm theo không gian (kênh, rạch), thống kê theo từng ngày, có chồng lớp với nền GIS khu vực để hiện thị trực quan hơn (Hình 12 hiển thị phân bố hàm lượng Coliform cao nhất trong kênh rạch ngày 10/08/2022).
- Diễn biến chi tiết hàm lượng chất ô nhiễm theo thời gian (Hình 13).



Hình 12. Bản đồ phân bố thống kê hàm lượng chất ô nhiễm cao nhất trong ngày.

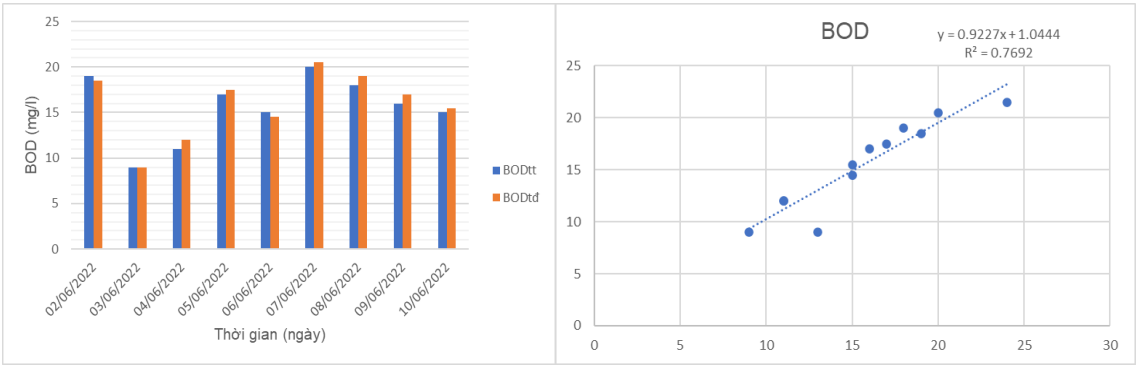


Hình 13. Diễn biến hàm lượng chất ô nhiễm theo thời gian tại một điểm trong kênh–rạch.

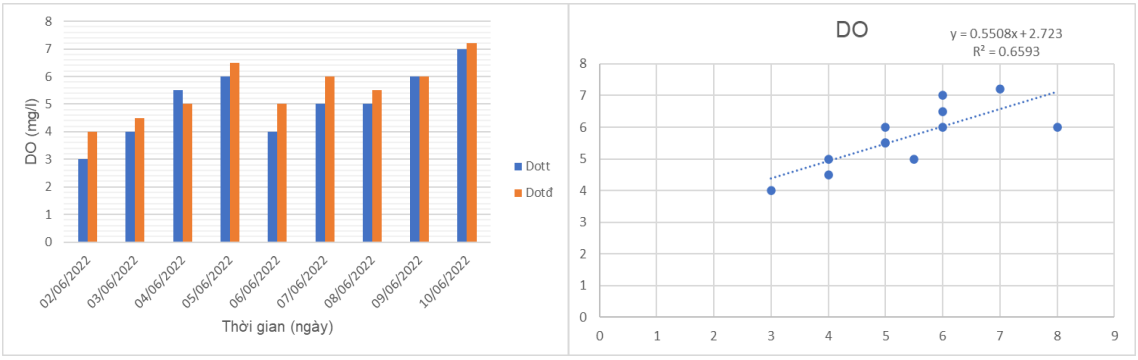
3.4. Kết quả dự báo thử nghiệm

Kết quả dự báo thử nghiệm trong tháng 6 tại 2 vị trí kênh Nhiêu Lộc Thị Nghè (Hình 17–19) và Tham Lương Bến Cát (Hình 14–16) cho kết quả khá phù hợp với hiện trạng chất lượng nước tại 2 khu vực kênh này (số liệu quan trắc được thu thập từ Trung tâm tư vấn quan

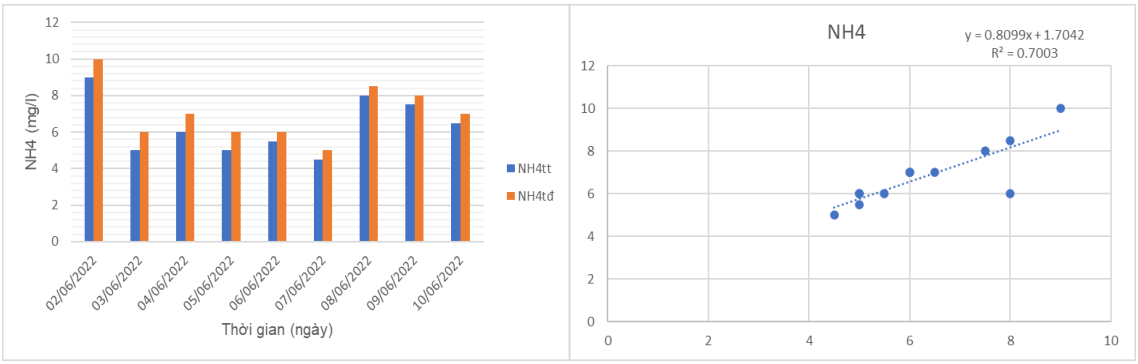
trắc môi trường miền Nam trong đợt đo tháng 6) (Hình 14, 16–19 các hình hệ số tương quan R đạt ở mức khá khoảng 0,7.



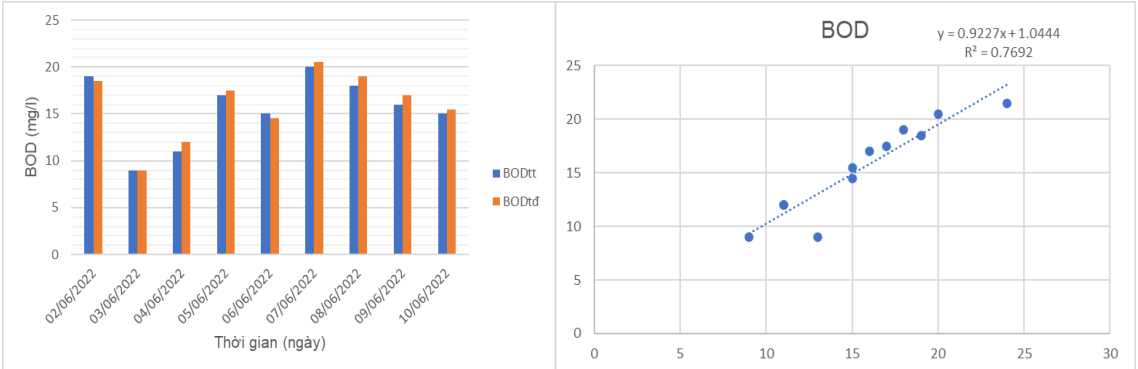
Hình 14. Kết quả kiểm định và hệ số tương quan R^2 nồng độ BOD vị trí kênh Tham Lương–Bến Cát.



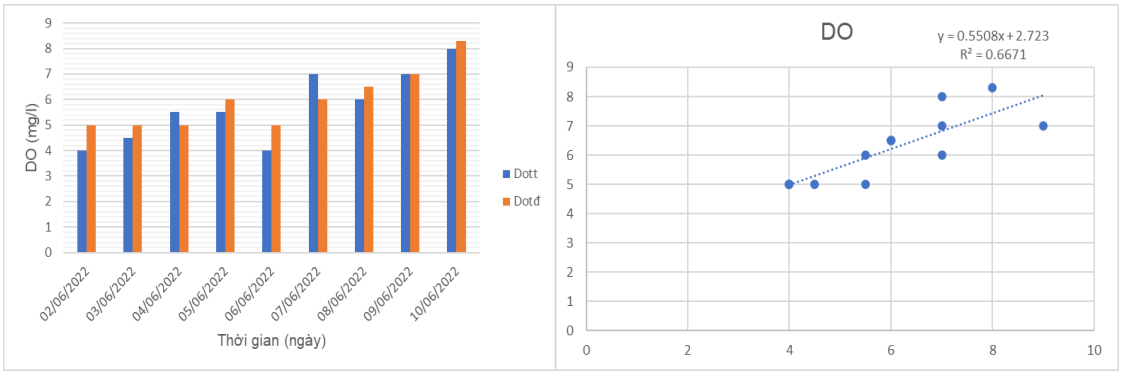
Hình 15. Kết quả kiểm định và hệ số tương quan R^2 nồng độ DO vị trí kênh Tham Lương – Bến Cát.



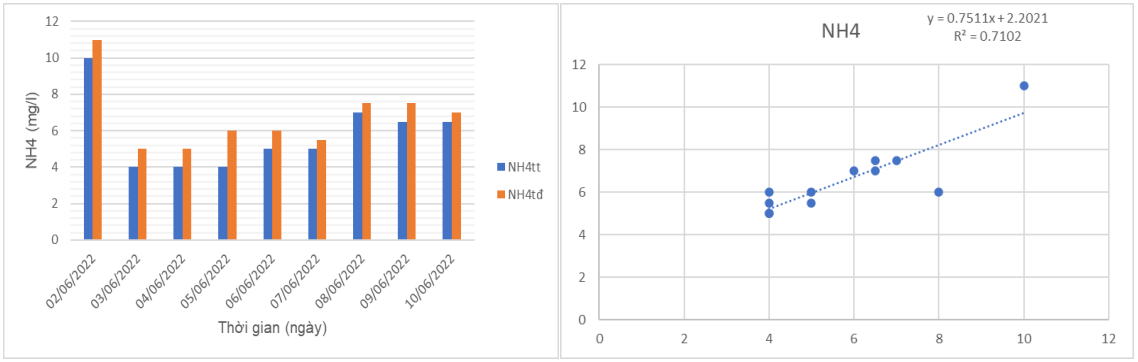
Hình 16. Kết quả kiểm định và hệ số tương quan R^2 nồng độ NH_4 vị trí kênh Tham Lương – Bến Cát.



Hình 17. Kết quả kiểm định và hệ số tương quan R^2 nồng độ BOD vị trí kênh Nhiêu Lộc–Thị Nghè.



Hình 18. Kết quả kiểm định và hệ số tương quan R^2 nồng độ DO vị trí kênh Nhiêu Lộc–Thị Nghè.



Hình 19. Kết quả kiểm định và hệ số tương quan R^2 nồng độ NH_4 vị trí kênh Nhiêu Lộc–Thị Nghè.

4. Kết luận

Với mục tiêu quản lý, dự báo chất lượng nước tự động cho hệ thống kênh rạch nội đô TP HCM, nhóm tác giả đã thực hiện xây dựng và vận hành một hệ thống dự báo CLN tự động với các thành phần chính:

- Nền tảng mô hình thủy lực và chất lượng nước;
- Nền tảng CNTT: xử lý tự động các số liệu, mô hình, kết quả tính toán, tạo các sản phẩm;
- Nền tảng CSDL: lưu trữ các thông tin thu thập và chia sẻ trên các nền tảng thông tin khác nhau.

Kết quả nghiên cứu cho thấy nhóm tác giả đã xây dựng mô hình thủy lực và chất lượng nước các kênh, rạch vùng nội đô thành phố Hồ Chí Minh được hiệu chỉnh và kiểm định tương đối tốt, đáp ứng được yêu cầu dự báo chất lượng nước.

Nghiên cứu cũng đã đề xuất các phương pháp tính toán lưu lượng, tải lượng cho các cửa xả theo các tiêu chí về dân cư, tiêu chuẩn xả thải và được tự động tính toán cập nhật theo các điều kiện lượng mưa khác nhau.

Nền tảng CNTT trong hệ thống bảo đảm tự động hóa hoàn toàn quá trình vận hành hệ thống dự báo chất lượng nước từ khâu biên tập các loại số liệu biên đầu vào, quản lý và điều khiển mô hình thủy lực–chất lượng nước, đến khâu xử lý, kết xuất và cung cấp thông tin chất lượng nước cho các đối tượng người dùng khác nhau.

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

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. Bộ Tài nguyên và Môi trường. Báo cáo Hiện trạng Môi trường Quốc gia giai đoạn 2016–2020. Nhà xuất bản Dân trí, 2021, tr. 191.
2. Cole, M.; Lindeque, P.; Halsband, C.; Galloway, T.S. Microplastics as contaminants in the marine environment: a review. *Mar. Pollut. Bull.* **2011,** *62*, 2588–2597. https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2011.09.025.
3. Obin, N.; Tao, H.; Ge, F.; Liu, X. Research on Water Quality Simulation and Water Environmental Capacity in Lushui River Based on WASP Model. *Water* **2021**, *13*, 2819. https://doi.org/10.3390/w13202819.
4. McBean, E.; Bhatti, M.; Singh, A.; Mattern, L.; Murison, L.; Delaney, P. Temperature Modeling, a Key to Assessing Impact on Rivers Due to Urbanization and Climate Change. *Water* **2022**, *14*, 1994. https://doi.org/10.3390/w14131994.
5. Mateus, M.; Vieira, R.d.S.; Almeida, C.; Silva, M.; Reis, F. ScoRE–A Simple Approach to Select a Water Quality Model. *Water* **2018**, *10*, 1811. https://doi.org/10.3390/w10121811.
6. Deb, D.; Tuppad, P.; Daggupati, P.; Srinivasan, R.; Varma, D. Spatio–Temporal Impacts of Biofuel Production and Climate Variability on Water Quantity and Quality in Upper Mississippi River Basin. *Water* **2015**, *7*, 3283–3305. https://doi.org/10.3390/w7073283.
7. Liangliang, G.; Daoliang, L. A review of hydrological/water–quality models. *Front. Agric. Sci. Eng.* **2014**, *1*, 267–276.
8. Tsakiris, G.; Alexakis, D. Water quality models: An overview. *Eur. Water* **2012**, *37*, 33–46. Available online: http://www.ewra.net/ew/pdf/EW_2012_37_04.pdf.
9. Nguyễn, V.A.T.; Nguyễn, Q.H.; Nguyễn, T.S.; Nguyễn, T.L. Ứng dụng mô hình Mike 11 mô phỏng quá trình lan truyền chất ô nhiễm do nuôi trồng thủy sản trên một số sông lớn tỉnh Quảng Trị. *VNU J. Sci.: Earth Environ. Sci.* **2016**, *32(3S)*, 250–255.
10. Hiện, N.Đ.; Dũng, T.Đ.; Lâm, N.T.T.; Quân, N.Q.; Luân, P.Đ.M.H. Đánh giá và dự báo chất lượng nước các kênh, rạch, sông, suối trên địa bàn tỉnh Bình Dương. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* **2022**, *735*, 12–25. doi:10.36335/VNJHM.2022(735).12-25.
11. An, H.T.; Nhung, T.T. Nghiên cứu kết hợp mô hình thủy lực và mô hình trí tuệ nhân tạo mô phỏng chất lượng nước sông Nhuệ – Đáy. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* **2022**, *739*, 67–80. doi:10.36335/VNJHM.2022(739).67-80.
12. Hồng, N.V. Luận văn "Nghiên cứu ảnh hưởng của nước mưa chảy tràn đến chất lượng nước mặt sông Sài Gòn". Viện Khí Tượng Thủy Văn và BĐKH, 2017.
13. Trân, L.T.H.; Giang, T.T.T. Nghiên cứu bước đầu đánh gía rủi ro sinh thái và sức khỏe cho khu công nghiệp thành phố Hồ Chí Minh. *Sci. Technol. Dev.* **2009**, *12(06)*, 48–59.
14. Tuyền, V.T.T. Diễn biến hàm lượng oxy hòa tan trên tầng nước mặt tại kênh Nhiêu Lộc – Thị Nghè. Tp. Hồ Chí Minh. *Tạp chí khoa học và công nghệ Lâm nghiệp* **2018**, *4*, 118–127.
15. Quân, T.M. Điều tra. đánh giá khả năng chịu tải và đề xuất các giải pháp giảm thiểu ô nhiễm các kênh rạch vùng đô thị phía Nam tỉnh Bình Dương. Sở KHCN tỉnh Bình Dương, 2018.
16. Bộ Xây Dựng. TCXDVN 33:2006 Cấp nước – mạng lưới đường ống và công trình, 2006.

Building an automatic water quality forecasting system on the channel in Ho Chi Minh City

Nguyen Viet Hung[1*], Le Thi Phuong Truc[1], Dang Quang Thanh[2], Nguyen Phuong Dong[3], Tran Thanh Cong[4]

[1] Ho Chi Minh City Technical Infrastructure Management Center; nguyenviethungtv@gmail.com; lethiphuongtruc@gmail.com
[2] DHI Company; tqd.dhi@gmail.com
[3] Sub–Institute of Hydrometeorology and climate change; nguyenphuongdongkttv@gmail.com
[4] Southern Regional Hydrometeorological center; congtt@gmail.com

Abstract: Climate change, sea level rise along with urbanization trends and population growth, industrial and commercial activities will lead to an increase in surface water pollution in large urban areas such as Ho Chi Minh City. Bright. Along with that, Ho Chi Minh City is aiming to become a smart city with six main areas, including "smart environment". Thus, the monitoring, management, monitoring and forecasting of water quality in a smart urban environment will require more and more in terms of quality, time and methods. This paper will introduce a study to build an automatic water quality forecasting and management system for the system of 5 main canals in the inner city of Ho Chi Minh City, based on the DHI MIKE water quality model and other platforms. Information Technology platform, with the goal of meeting the requirements of smart environmental management in a smart city.

Keywords: Water quality; HCMC; MIKE 11; ECOLAB; Test model.

TẠP CHÍ
KHÍ TƯỢNG THỦY VĂN

Check for updates

Bài báo khoa học

Xây dựng chỉ số nhạy cảm đường bờ Vịnh Đà Nẵng áp dụng theo hướng dẫn NOAA về chỉ số nhạy cảm môi trường

Nguyễn Hải Anh[1], Dư Văn Toán[1], Mai Kiên Định[1], Nguyễn Hoàng Anh[1*], Bùi Thị Thủy[1]

[1] Viện Nghiên cứu biển và hải đảo; anhnh.wru@gmail.com; duvantoan@gmail.com; maikiendinh79@yahoo.com; ahoang1983@gmail.com; buithuy46kt@gmail.com

*****Tác giả liên hệ: ahoang1983@gmail.com; Tel.: +84–398203570

Ban Biên tập nhận bài: 17/8/2022; Ngày phản biện xong: 15/9/2022; Ngày đăng bài: 25/9/2022

Tóm tắt: Vịnh Đà Nẵng là vùng phát triển kinh tế trọng tâm của Thành Phố Đà Nẵng đặc biệt với hoạt động hàng hải nội địa và quốc tế nên nguy cơ tràn dầu là hiển hiện sẽ ảnh hưởng rất lớn tới kinh tế và đời sống của người dân. Tài liệu hướng dẫn về chỉ số nhạy cảm môi trường (ESI) của NOAA được ban hành để đánh giá mức độ tổn thương khi có sự cố tràn dầu (SCTD) xảy ra nhằm xác định những khu vực nhạy cảm để có những kế hoạch phòng bị và ứng phó thích hợp . Theo bản hướng dẫn thì bản đồ ESI bao gồm ba loại thông tin cơ bản: Phân loại đường, Tài nguyên sinh và Tài nguyên con người sử. Bài báo tập trung nghiên cứu về vấn đề phân loại đường bờ, cụ thể là nghiên cứu xây dựng chỉ số nhạy cảm đường bờ vịnh Đà Nẵng áp dụng theo tài liệu hướng dẫn về chỉ số nhạy cảm môi trường (ESI). Nghiên cứu sử dụng đường mép nước của bản đồ địa hình tỷ lệ 1:50.000 làm đường bờ cơ sở kết hợp khảo sát thực địa để phân loại đường bờ theo ESI. Kết quả đưa ra được bản đồ phân loại đường bờ ESI và bản đồ mức độ nhạy cảm đường bờ, qua đó cung cấp thông tin cần thiết cho việc lập bản đồ nhạy cảm môi trường ESI.

Từ khóa: NOAA; Chỉ số nhạy cảm môi trường (ESI); Phân loại đường bờ.

1. Mở đầu

Vùng biển Vịnh Đà Nẵng là nơi hoạt động giao thông hàng hải nội địa nhộn nhịp, đây cũng là khu vực tập trung các kho, cảng xăng dầu tiềm ẩn rất lớn nguy cơ về SCTD. Do vậy cần xác định được các vùng nhạy cảm và xây dựng bản đồ nhạy cảm môi trường mà trong đó có hợp phần là bản đồ nhạy cảm đường bờ để có những kế hoạch ứng phó thích hợp khi có SCTD là cần thiết. Bản hướng dẫn (*Environmental Sensitivity Index Guidelines Version 4.0*) được áp dụng để thực thi [1].

Hướng dẫn này đã và đang được áp dụng rộng rãi ở các vùng biển trên toàn cầu, có thể liệt kê ở đây các công trình nghiên cứu áp dụng thử nghiệm ở một số nước trên thế giới như: tại khu vực đường bờ biển A–ma–dôn ở phía bắc Brazil [2]; nghiên cứu về bờ biển Maroc của eo biển Gibraltar [3]; các khu vực biển tại Colombia [4]; nghiên cứu tại bờ biển Estonia thuộc Vịnh Phần Lan (Biển Baltic) và một phần bờ biển Tây Ban Nha [5–6]; vùng bờ Trinidad và Tobago [7]; mô tả hệ thống lập bản đồ và ký hiệu ESI, và đề xuất các loại đường bờ biển có thể được sử dụng cho các đường bờ biển Nigeria [8] hay nghiên cứu tại bờ biển thành phố Lagos, Nigeria [9]; khu vực cảng Bashayer, cộng hòa Sudan [10]; tại các tiểu vương quốc Ả Rập thống nhất [11]; vùng bờ thành phố Kakinada, quận East Godavari thuộc bang Andhra Pradesh [12] hay bở biển bang Odisha [13], ở miền Đông Nam và miền Đông của Ấn Độ; đặc biệt với các nghiên cứu phát triển phần mềm để áp dụng thực tế theo hệ thống bản đồ

ESI của Hàn Quốc [14] và Nhật Bản [15]. Ở Việt Nam cũng có một số nghiên cứu ứng dụng ở một số địa phương như: nghiên cứu của tác giả Lê Việt Thắng về xây dựng bản đồ nhạy cảm môi trường đối với SCTD ven biển tỉnh Bình Định [16]; nghiên cứu [17] đã đưa ra phân loại đường bờ áp dụng theo hướng dẫn ESI ở đảo Cát Bà, Hải Phòng; [18] nghiên cứu lập bản đồ nhạy cảm môi trường khu vực từ Bà Rịa – Vũng Tàu đến Cần Giờ – TP. Hồ Chí Minh, ngoài ra cũng có một số nghiên cứu ở Thanh Hóa và Thái Bình cũng tiếp cận theo hướng dẫn ESI [19–20]. Qua đó cho thấy mức độ phổ cập và tính ứng dụng cao của hướng dẫn này trên thế giới và đã được áp dụng thực tế một số nước. Việt Nam cũng đã có nhiều nghiên cứu tiếp cận phương pháp ở một số vùng biển, tuy vậy cần có những điều chỉnh thích hợp về mức độ áp dụng cũng như các văn bản quy định cho việc áp dụng thống nhất.

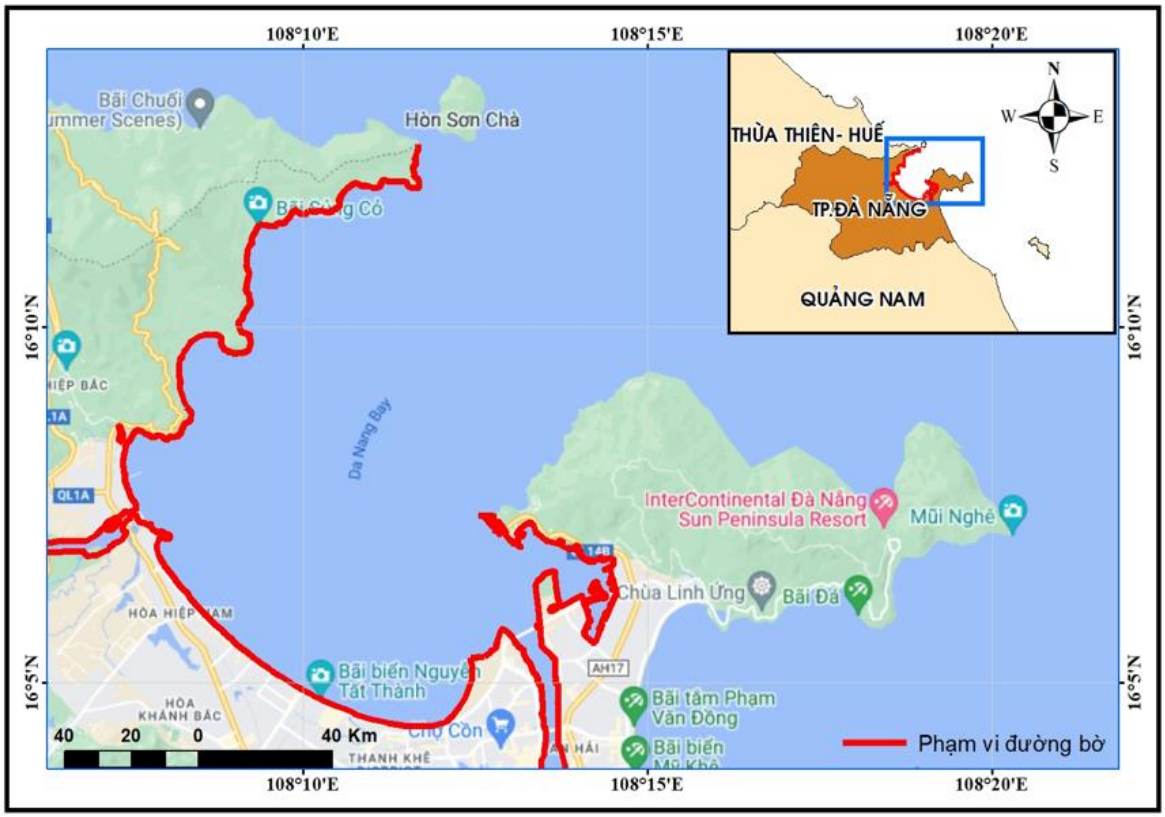
Mục tiêu bài báo nhằm xây dựng được chỉ số nhạy cảm đường bờ Vịnh Đà Nẵng và xếp hạng các chỉ số theo mức độ nhạy cảm áp dụng theo hướng dẫn của NOAA. Qua đó cung cấp thông tin cần thiết để có kế hoạch áp dụng cho xây dựng được các bản đồ nhạy cảm môi trường tại khu vực và toàn Thành Phố trong việc ứng phó SCTD.

Nghiên cứu đã tiến hành đi khảo sát thực địa dọc đường bờ của Vịnh Đà Nẵng theo trương trình của Đề tài khoa học và công nghệ "Nghiên cứu cơ sở khoa học phục vụ xây dựng quy định kỹ thuật xây dựng bản đồ nhạy cảm môi trường do dầu tràn", Mã số TNMT.2020.1862.02. Theo giới hạn về phạm vi của đề tài nên khu vực nghiên cứu cũng bị giới hạn ở Hình 1.

2. Số liệu sử dụng và phương pháp nghiên cứu

2.1. Số liệu sử dụng

Theo phạm vi giới hạn, đường bờ sử dụng cho nghiên cứu này sẽ đi qua địa giới của 4 Quận của Thành Phố Đà Nẵng bao gồm: Liên Chiểu, Thanh Khê, Hải Châu và kết thúc tại cảng Tiên Sa của Quận Sơn Trà, được trình bày ở hình 1.



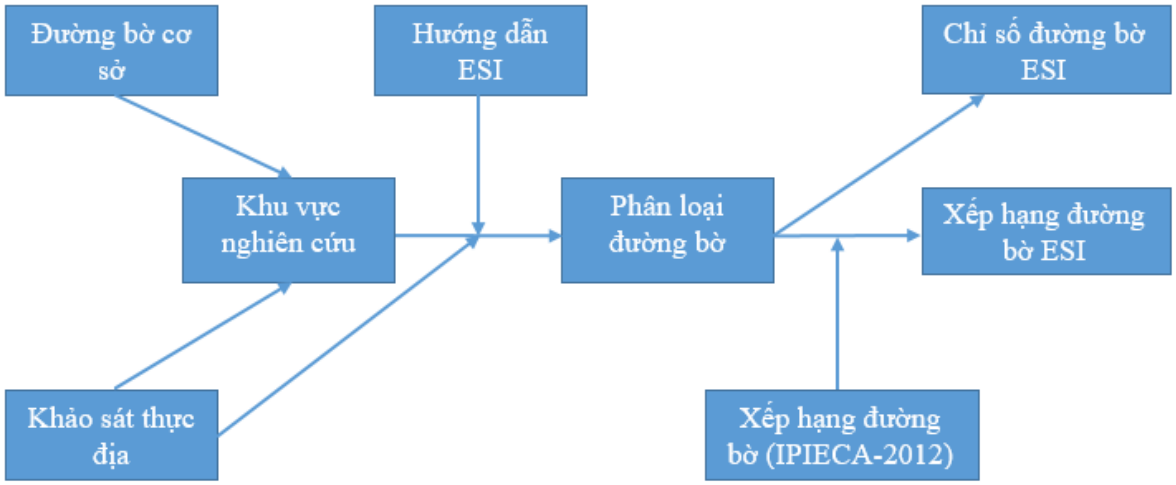
Hình 1. Đường bờ nghiên cứu tại Vịnh Đà Nẵng.

Dữ liệu cho nghiên cứu bao gồm:

- Bản đồ địa hình tỷ lệ 1: 50.000 được sử dụng để chiết xuất thông tin đường mép nước làm đường bờ cơ sở;
- Khảo sát thực địa với các ảnh chụp đường bờ dọc theo đường bờ của khu vực nghiên cứu;
- Phương pháp được sử dụng để xây dựng bản đồ liên quan đến việc phân đoạn các loại đường bờ dựa trên hướng dẫn của NOAA 4.0;
- Hướng dẫn Lập bản đồ mức độ nhạy cảm để ứng phó SCTD (IPIECA–2012) [21]. Sử dụng để đơn giản hóa các chỉ số ESI và xếp hạng chúng theo bảng 1 trình bày bên dưới.

2.2. Phương pháp nghiên cứu

Trong sơ đồ ở hình 2 dưới đây trình bày quy trình các bước của nghiên cứu. Có thể diễn giải như sau: Đầu tiên, khu vực nghiên cứu được thiết lập dựa trên đường bờ cơ sở và khảo sát thực địa đọc đường bờ; bước tiếp theo tiến hành phân loại đường bờ theo hướng dẫn của NOAA và khảo sát nhận dạng đường bờ ngoài thực tế; sau đó xây dựng được chỉ số ESI của đường bờ; cuối cùng là xây dựng chỉ số nhạy cảm đường bờ và xếp hạng đường bờ theo mức độ nhạy cảm.



Hình 2. Sơ đồ các bước nghiên cứu.

Theo bản hướng dẫn (*Environmental Sensitivity Index Guidelines Version 4.0*), phương pháp phân loại dựa trên sự hiểu biết về đặc tính vật lý và sinh học của môi trường ven biển, không chỉ là loại chất nền và kích thước hạt. Mối quan hệ giữa các quá trình vật lý, loại chất nền và quần thể sinh vật liên quan tạo ra các kiểu bờ biển địa mạo/ sinh thái cụ thể, các kiểu vận chuyển trầm tích và các kiểu có thể dự đoán được trong hành vi và tác động sinh học của dầu. Các khái niệm liên quan đến các yếu tố tự nhiên với độ nhạy cảm tương đối của đường bờ biển, hầu hết được phát triển ở vùng cửa sông, đã được sửa đổi một chút với phiên bản cũ đối với các hồ và sông. Xếp hạng độ nhạy được kiểm soát bởi các yếu tố sau:

- Tiếp xúc phơi lộ với năng lượng sóng và thủy triều: Các đường bờ có năng lượng cao (1A–2B) thường xuyên tiếp xúc với sóng lớn hoặc dòng triều mạnh trong tất cả các mùa. Chúng thường xảy ra nhất dọc theo đường bờ biển ngoài cùng của một khu vực hoặc nơi có gió mạnh gây ra sóng đánh trực tiếp vào bờ biển hoặc bằng cách khúc xạ sóng. Đường bờ năng lượng hỗn hợp (3A–7) thường có dạng theo mùa về tần suất bão và độ lớn của sóng. Các đường bờ năng lượng thấp (8A–10F) được che chắn khỏi năng lượng sóng và thủy triều, ngoại trừ các sự kiện bất thường hoặc không thường xuyên;
- Độ dốc đường bờ;
- Loại vật liệu nền (kích thước hạt, tính di động, độ thâm nhập và/ hoặc ẩn lấp và khả năng lưu động);

- Năng suất sinh học và độ nhạy cảm.

Các chỉ số ESI được xếp hạng từ 1 đến 10 theo các dạng đường bờ khác nhau và tùy vào đặc điểm môi trường (cửa sông, hồ, ven sông, đầm,..) ở từng khu vực có thể có một số loại phụ (A, B, C, D).

Bảng 1. Đơn giản hóa sếp hạng các chỉ số ESI.

ESI (Từ 1 đến 10)	Đơn giả hóa chỉ số ESI	Thể hiện trên bản đồ
ESI 1–ESI 2	1 (rất thấp)	Không đại diện
ESI 3–ESI 6	2 (thấp)	Không đại diện
ESI 7	3 (trung bình)	Không đại diện
ESI 8	4 (cao)	4 (cao)
ESI 9–ESI 10	5 (rất cao)	5 (rất cao)

Bảng 2. Phân loại đường bờ tại Vịnh Đà Nẵng theo NOAA.

STT	Phân loại đường bờ	Mã ESI	Kí hiệu	Mã mầu (CMYK)	Đơn giản hóa chỉ số ESI
1	Bờ đá phơi lộ	1A		56/94/0/13	Rất thấp
2	Đường bờ với Công trình nhân tạo rắn, phơi lộ	1B			
3	Bờ bãi cát mịn đến trung bình	3A		100/65/15/0	Thấp
4	Bờ bãi cát hạt thô	4		82/27/0/0	
5	Bãi triều phẳng phơi lộ	7		0/0/100/25	Trung bình
6	Đường bờ có công trình nhân tạo, khuất sóng	8B		2/8/85/0	Cao
7	Đường bờ đá Riprap, khuất sóng	8C			
8	Đường bờ có thực vật trên nền đất cứng, trong môi trường cửa sông	8F		0/17/81/0	
9	Đường bờ thực vật ngập nước dưới bờ, môi trường ven sông	9B		1/42/99/0	Rất cao
10	Đường bờ đầm nước nớ, mộ trường trong đầm ven biển	10A		0/100/100/0	

Ngoài ra yếu tố cần xem xét là mức độ tiếp xúc với năng lượng sóng và thủy triều sẽ quyết định sự tồn tại tự nhiên của dầu đối với đường bờ: năng lượng cao có nghĩa là loại bỏ tự nhiên nhanh chóng, thường trong vài ngày đến vài tuần. Năng lượng thấp có nghĩa là quá trình loại bỏ tự nhiên, chậm chạp, thường là trong vòng vài năm. Năng lượng hỗn hợp có nghĩa là dầu bị tồn tại sẽ được loại bỏ khi sự kiện có năng lượng cao tiếp theo xảy ra, có thể là vài ngày hoặc vài tháng sau sự cố tràn dầu. Việc loại bỏ dầu trên bờ biển năng lượng hỗn hợp là một quá trình dựa trên sự kiện.

Theo hướng dẫn về lập bản đồ mức độ nhạy cảm để ứng phó SCTD (IPIECA–2012) thì sau khi chỉ số ESI đã sếp hạng các đường bờ thành 10 cấp, chúng có thể được đơn giản hóa thành 3 đến 5 chỉ số. Các cấp độ này có thể được đơn giản hóa thành 3–5 lớp, trong đó 5 lớp tương đương với ESI 9 và ESI 10, và 1 tương đương với ESI 1 và ESI 2. Các loại đường bờ nhạy cảm nhất được giữ lại cho bản đồ chiến lược cho một ESI 4 (cao) và ESI 5 (rất cao) (Bảng 1). Nghiên cứu sử dụng bảng sếp hạng này để xây dựng bản đồ chiến lược cho đường bờ khu vực nghiên cứu và đưa ra phân loại chi tiết cho các dạng đường bờ ở Vịnh Đà Nẵng được trình bày ở bảng 2.

3. Kết quả và thảo luận

3.1. Phân loại đường bờ

Dựa theo hướng dẫn, nhóm nghiên cứu tiến hành sàng lọc và phân loại đường bờ chi tiết tại Vịnh Đà Nẵng, kết quả được trình bày ở bảng 3. Một số ảnh chụp thực địa và các dạng đường bờ ESI được trình bày ở hình 3.

Bảng 3. Phân loại đường bờ chi tiết tại Vịnh Đà Nẵng.

STT	Phường	Quận	Dạng đường bờ ESI
1	Hòa Hiệp Bắc	Liên Chiểu	Khu vực nhận dạng với đường bờ: - ESI 1A: Chiếm ưu thế phần lớn kéo dài từ địa phận giáp Tỉnh Thừa Thiên Huế đến Vịnh Liên Chiểu; với cấu tạo bờ đá lởm chởm thuộc phức hệ Hải Vân; Là khu vực phơi lộ với sông và thủy triều. - ESI 1B: Khu vực ở cung bờ lõm, phần chuyển tiếp giữa khối núi Hải Vân và ven biển Liên Chiểu; với cấu tạo bờ công trình nhân tạo bê tông chắc chắn; Là khu vực phơi lộ với song và thủy triều. - ESI 3A: Khu vực chuyển tiếp từ khối núi Hải Vân xuống Vịnh Liên Chiểu đến cửa song Cu Đê; Cấu tạo bờ cát mịn; lộ diện với sóng và triều. - ESI 4: Bao gồm các bãi biển cát thô cửa song Cu Đê và các khu vực xen kẽ dọc bờ khối núi Hải Vân như là các bãi: bãi Bà Đa, bãi Sủng Cò, bãi Xoan, bãi Làng Vân, bãi Hầm; Là khu vực phơi lộ với song và thủy triều. - ESI 7: Bãi triều phẳng phơi lộ ở cửa sông Cu Đê - ESI 9B: Bờ thấp có thực phủ, trong môi trường ven sông Cu Đê - ESI 10A: Vùng đầm nước nợ khu vực kho xăng dầu PVOil Liên Chiểu
2	Hòa Hiệp Nam		Các dạng đường bờ khu vực này: - ESI 4: Đoạn bãi biển và phần doi cát phía nam của sông Cu Đê và phía bắc của núi Nam Ô; - ESI 1A: Khu vực ghềnh đá Nam Ô, cấu tạo bởi đá trầm tích có tuổi Pleitocen, lộ sóng và triều; - ESI 3A: Khu vực bãi biển bở cát mịn phơi lộ ở phần còn lại của phường Hòa Hiệp Nam
3	Hòa Khánh Bắc		ESI 3A: Đoạn bãi tắm Liên Chiểu
4	Hòa Minh		ESI 3A: Đoạn bãi biển Nguyễn Tất Thành
5	Thanh Khê Tây	Thanh Khê	ESI 3A: Đoạn bãi biển Nguyễn Tất Thành
6	Thanh Khê Đông		ESI 3A: Đoạn bãi biển Nguyễn Tất Thành
7	Xuân Hà		ESI 3A: Đoạn cuối bãi biển Nguyễn Tất Thành
8	Thanh Bình	Hải Châu	Dạng đường bờ bao gồm: - ESI 1B: Bờ biển nhân tạo, được hình thành từ dự án lấn biển Đa Phước; cấu tạo bê tông và kè đá chắc chắn, phơi lộ

STT	Phường	Quận	Dạng đường bờ ESI
			- ESI 8B: Bờ kè rắn nhân tạo phía trong khu vực mỏ hàn chắn sóng của dự án Đa Phước, khu vực khuất sóng, gió
9	Thuận Phước	Sơn Trà	Có 2 dạng đường bờ ở khu vực này: - ESI 4: Bãi cát thô khu vực giáp với địa phận Phường Thanh Bình; - ESI 8B: Phần còn lại của đường bờ Phường Thuận Phước; bờ kè rắn bê tông và kè đá nhân tạo; khu vực khuất sóng và gió.
10	Nại Hiên Đông		ESI 8B: Toàn bộ đường bờ khu vực này là bờ kè đá và bê tông nhân tạo, khuất sóng và gió
11	Thọ Quang		ESI 8B và ESI 8C: Khu vực này toàn bộ là công trình kè bê tông nhân tạo xen kẽ một số đường bờ nhỏ với kè đá Riprap; khu vực khuất sóng và gió.

Có thể thấy có 7 dạng đường bờ chủ yếu tại Vịnh Đà Nẵng, với mỗi loại đường bờ sẽ có các mức độ nhạy cảm khác nhau và độ tồn tại tự nhiên của dầu và tính dễ làm sạch khác nhau khi có xảy ra SCTD, bao gồm:

- Đường bờ phơi lộ, vật liệu nền thẳng đứng, không thấm nước với ESI 1: Các loại đường bờ biển này tiếp xúc với sóng lớn, có xu hướng giữ dầu ở ngoài khơi bằng cách phản xạ sóng. Lớp nền không thấm nước nên dầu vẫn còn trên bề mặt, nơi các quá trình tự nhiên sẽ nhanh chóng loại bỏ dầu bám lại trong vòng vài tuần. Ngoài ra, bất kỳ loại dầu nào bị mắc kẹt đều có xu hướng tạo thành dải dọc theo đường thủy triều cao hoặc rửa trôi, trên mức độ cao của giá trị sinh học lớn nhất. Nói chung không cần hoặc khuyến nghị dọn dẹp;

- Đường bờ ESI 3 với chất nền bán thấm, Khả năng thấm và chôn lấp dầu thấp hơn: Xếp hạng đường bờ biển này bao gồm các bãi cát phơi lộ ở các bờ ngoài, các bãi cát có che chắn dọc theo các vịnh và đầm phá, và các bãi cát sườn dốc và các bờ dốc dọc theo bờ hồ và bờ sông. Chất nền cát hạt mịn, nhỏ gọn giảm thiểu sự xâm nhập của dầu, giảm lượng cặn dầu cần loại bỏ. Hơn nữa, các bãi biển cát hạt mịn thường bồi tụ chậm giữa các cơn bão, làm giảm khả năng chôn lấp dầu của cát sạch. Trên các bãi cát có che chắn, việc chôn cất hiếm khi được quan tâm vì năng lượng sóng thấp. Trên các bãi biển phơi lộ, dầu có thể bị chôn vùi sâu nếu dầu mắc cạn ngay sau một cơn bão xói bờ hoặc khi bắt đầu thời kỳ bồi tụ theo mùa. Việc dọn dẹp trên các bãi biển cát hạt mịn được đơn giản hóa nhờ nền cứng có thể hỗ trợ xe cộ và đi bộ;

- Đường bờ ESI 4 với độ thấm trung bình, Khả năng thấm dầu và chôn lấp dầu vừa phải: Các bãi biển cát hạt thô được xếp hạng riêng biệt và cao hơn các bãi biển cát hạt mịn đến trung bình vì khả năng thấm dầu và chôn lấp cao hơn, có thể lớn đến 1 m. Những bãi biển này có thể trải qua chu kỳ xói mòn và bồi tụ rất nhanh, với khả năng bị chôn vùi dầu nhanh chóng, thậm chí chỉ sau một chu kỳ thủy triều. Việc làm sạch khó khăn hơn, vì thiết bị có xu hướng tán dầu vào chất nền do cặn lắng liên kết lỏng lẻo;

- Đường bờ ESI 7 với bãi triều phẳng phơi lộ: Chúng bằng phẳng (nhỏ hơn ba độ) tích tụ trầm tích, nền có tính thấm cao chủ yếu là cát, mặc dù có thể có thành phần phù sa và sỏi, mật độ sinh vật thường cao. Việc làm sạch luôn khó khăn vì khả năng trộn dầu sâu hơn vào trầm tích, đặc biệt là với việc đi bộ thu gom dầu;

- Đường bờ ESI 8 với nền cứng, được cấu tạo từ đá gốc, vật liệu nhân tạo hoặc đất sét cứng: Loại đá gốc có thể thay đổi rất nhiều, từ đá gốc nhẵn, thẳng đứng, đến đá dăm dốc, có khả năng thấm dầu khác nhau, độ dốc trong nền đá nhìn chung là dốc (lớn hơn 15 độ), Chúng được che chở khỏi năng lượng sóng hoặc dòng thủy triều mạnh, dầu có xu hướng phủ lên bề mặt đá thô ráp trong môi trường có che chắn và tồn tại lâu dài, Việc dọn dẹp thường được yêu cầu vì tốc độ loại bỏ tự nhiên chậm, tuy nhiên việc dọn dẹp thường khó khăn và khó tiếp cận;

- Đường bờ ESI 9 với Các khu vực có che chắn, phẳng, lớp nền bán thấm, mềm; sinh vật thường phong phú: Nền thấp (nhỏ hơn ba độ) và bùn chiếm ưu thế; nền đất mềm và khả năng tiếp cận của thủy triều hạn chế khiến các bãi triều có che chắn gần như không thể làm sạch. Thông thường, bất kỳ nỗ lực làm sạch nào cũng trộn dầu sâu hơn vào trầm tích, kéo dài thời

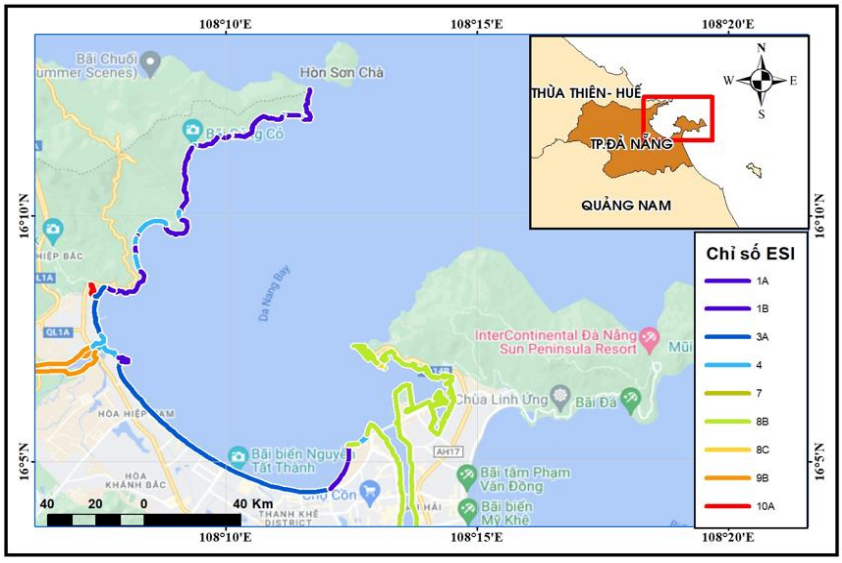
gian phục hồi; các bờ sông thấp thường có nhiều bùn, mềm và thực vật rậm rạp nên rất khó làm sạch, tốc độ loại bỏ tự nhiên có thể rất chậm và phụ thuộc vào tần suất lũ lụt.

Hình 3. Một số ảnh chụp miêu tả cho phân loại đường bờ ESI: (a) ESI 1A: Bờ đá lởm chởm tại Mũi Cửa Khẻm là phần nhô ra biển đông xa nhất của đèo Hải Vân; (b) ESI 1B: Bờ kè nhân tạo ở Khu vực ở cung bờ lõm, phần chuyển tiếp giữa khối núi Hải Vân và ven biển Liên Chiểu; (c) ESI 3A: Bãi cát mịn Vịnh Liên Chiểu; (d) ESI 4: Bãi Xoan, Vịnh Nam Chơn; (e) ESI 7: Bãi triều phẳng khu vực cửa sông Cu Đê; (f) ESI 8B: Bờ kè nhân tạo khu vực cửa sông Hàn; (g) ESI 8B: Bờ kè nhân tạo khu vực cảng dầu khí Đà Nẵng; (h) ESI 8C: Bờ kè Riprap khu vực cảng Tiên Sa; (k) ESI 10A: Đầm nước nợ khu vực kho xăng dầu PVOil Liên Chiểu.

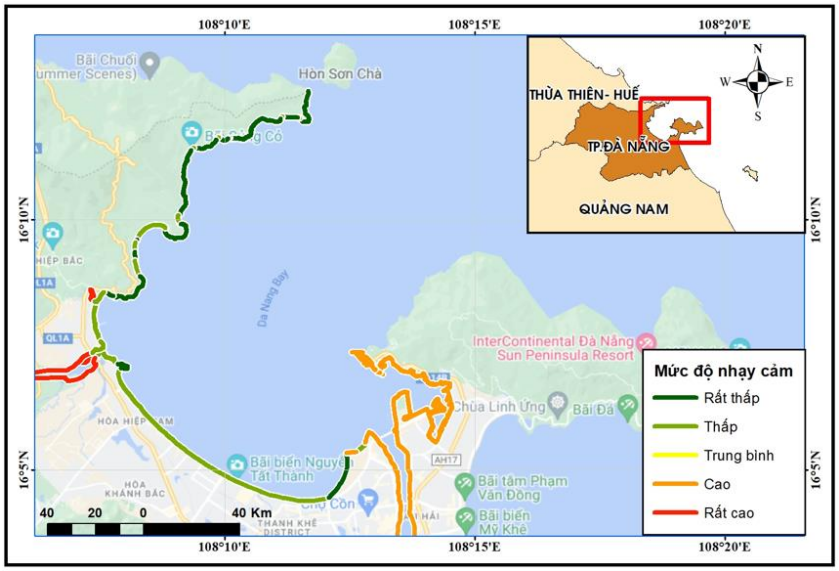
- Đường bờ ESI 10 với vùng đất ngập nước có thực vật nổi: Đầm lầy, rừng ngập mặn và các vùng đất ngập nước có thảm thực vật khác là những môi trường sống nhạy cảm nhất vì giá trị và giá trị sử dụng sinh học cao, ở những khu vực này dầu dễ dàng bám vào thảm thực vật rất khó dọn dẹp và dầu có khả năng tác động lâu dài đến nhiều sinh vật.

3.2. Bản đồ chỉ số nhạy cảm đường bờ

Trên cơ sở phân loại các dạng đường bờ theo ESI ở trên, nhóm nghiên cứu tiến hành xây dựng các bản đồ chỉ số nhạy cảm đường bờ tại Vịnh Đà Nẵng. Bao gồm bản đồ chỉ số nhạy cảm đường bờ và bản đồ mức độ nhạy cảm đường bờ Vịnh Đà Nẵng được trình bày ở các hình 4 và hình 5.



Hình 4. Bản đồ chỉ số nhạy cảm đường bờ ESI.



Hình 5. Bản đồ mức độ nhạy cảm đường bờ.

Bản đồ chỉ số nhạy cảm đường bờ Vịnh Đà Nẵng hiển thị các đoạn bờ được phân loại chi tiết áp dụng theo tài liệu hướng dẫn của NOAA. Có thể thấy do đặc tính và cấu trúc đường bờ thì ở Vịnh Đà Nẵng có 3 dạng đường bờ chiếm ưu thế nhất bao gồm: Đường bờ với các bãi cát hạt mịn đến trung bình với sếp hạng ESI 3A; Đường bờ đá dốc đứng và phơi lộ với sếp hạng 1A; Đường bờ kè nhân tạo trong vùng khuất sóng với sếp hạng 8B.

Bản đồ mức độ nhạy cảm đường bờ Vịnh Đà Nẵng đã áp dụng cách đơn giản hóa các chỉ số nhạy cảm đường bờ (Bảng 1). Dựa theo mức độ nhạy cảm của đường bờ có thể thấy Vịnh Đà Nẵng có 3 khu vực nhạy cảm nhất bao gồm: Khu vực bờ kè nhân tạo, khuất sóng kéo dài từ cửa sông Hàn đến cảng Tiên Sa với mức nhạy cảm cao; Khu vực cửa sông Cu Đê và khu vực Đầm nước nợ khu vực kho xăng dầu PVOil Liên Chiểu với mức nhạy cảm rất cao.

4. Kết luận

Kết quả bài báo cho thấy bức tranh tổng quan về mức độ nhạy cảm đường bờ tại Vịnh Đà Năng. Đồng thời minh chứng cho phương pháp lập chỉ số nhạy cảm đường bờ theo NOAA là khả thi và có thể áp dụng rộng rãi để xây dựng các bản đồ nhạy cảm môi trường ở các vùng biển của Việt Nam.

Vấn đề nghiên cứu đường bờ chỉ là một khía cạnh trong hệ thống hướng dẫn của NOAA về chỉ số nhạy cảm môi trường. Do đó cần có những nghiên cứu chi tiết hơn để có thể áp dụng hướng dẫn này xây dựng cho hệ thống bản đồ nhạy cảm môi trường chung của Thành Phố Đà Nẵng phục vụ cho kế hoạch ứng phó SCTD.

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

Lời cảm ơn: Nhóm tác giả trân trọng cảm ơn sự hỗ trợ của Đề tài khoa học và công nghệ "Nghiên cứu cơ sở khoa học phục vụ xây dựng quy định kỹ thuật xây dựng bản đồ nhạy cảm môi trường do dầu tràn", Mã số TNMT.2020.1862.02.

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. NOAA. Environmental Sensitivity Index Guidelines version 4.0. NOAA Technical Memorandum NOS OR&R 52. Emergency Response Division, National Ocean Service, Seattle, 2019, pp. 228.
2. Souza Filho, P.W.M.; Goncalves, F.D.; de Miranda, F.P.; Beisl, C.H.; de Faria Almeida, E. Environmental sensitivity mapping for oil spill in the Amazon coast using remote sensing and GIS technology, IGARSS 2004. 2004 IEEE International *Geosci. Remote Sens. Symp.* **2004**, *3*, 1565–1568.
3. Nachite, D.; Del Estal Domínguez, N.; El M'rini, A.; Anfuso, G. Environmental Sensitivity Index maps in a high maritime transit area: The Moroccan coast of the Gibraltar Strait study case. *J. Afri. Earth. Sci*. **2020**, *163*, 103750.
4. Gil–Agudelo.; Diego, L.; Nieto, B.; Ramón, A.; Ibarra, M.; Diana, M.; Guevara, V.; Ana, M.; Gundlach, E. Environmental sensitivity index for oil spills in marine and coastal areas in Colombia. *C.T.F Cienc. Tecnol. Futuro*. **2015**, *6(1)*, 17–28.
5. ApsMadli, R.; Kopti, H.; Tõnisson K.; Orviku, Ü. Suursaar. Environmental Sensitivity Index: Estonian shoreline geology classification (Gulf of Finland, Baltic Sea). *Geophys. Res. Abstr*. **2013**, *15*, EGU2013–2566.
6. Aps, R.; Hannes, T.; Giorgio, A.; Perales, J.A.; Orviku, K. Ülo Suursaar. Incorporating dynamics factor to the Environmental Sensitivity Index (ESI) shoreline classification – Estonian and Spanish example. *J. Coastal. Res*. **2014**, *70*, 235–240.
7. Nansingh, P.; Jurawan, S. Environmental sensitivity of a tropical coastline (Trinidad, West Indies) to oil spills. *Spill Sci. Technol. Bull.* **1999**, *5(2)*, 161–172.
8. Gundlach, E.R.; Hayes, M.O.; Getter, C.D. Sen–sitivity of Coastal Environments to Oil Spills. 1981 Semi–nar on the Petroleum Industry and the Nigerian Environ–ment. Petroleum Inspectorate, Lagos, Nigeria, 1981, 78–89.
9. Oyedepo, J.A.; Adeofun, C.O. Environmental Sensitivity Index mapping of Lagos shorelines. *Global NEST J.* **2011**, *13(3)*, 277–287.
10. Sumaya, A.; Idris, U.; Agabna, A.; Mohamed, S.E.; Mohammed, D. Environmental Sensitivity Index Mapping for Oil Spill using GIS Approach, Case Study from Bashayer Oil Terminal, Sudan. *Int. J. Multi-Discip. Res. Publ.* **2021**, *4(5)*, 28–32.

11. Jensen, J.R.; Murday, M.; Sexton, W.J.; Green, C.J. Coastal environment sensitivity mapping for oil spills in the United Arab Emirates using remote sensing and GIS technology. *Geocarto. Int.* **1993**, *2*, 5–13.
12. Sriganesh, J.; Kankara, R.S.; Venkatachalapathy. R. Environmental sensitivity index (ESI) mapping for oil spill hazard – a case study for Kakinada coast. *Int. J. Remote. Sens. Geosci*. **2015**, *4(5)*, 8–13.
13. Binapani, P.; Madhumita, D.; Chinmay, P. A Systematic Approach to Environmental Sensitivity Index Mapping Along Odisha Coast, India. *Thalassas: Int. J. Mar. Sci.* **2022**. https://doi.org/10.1007/s41208-022-00471-z.
14. Sung, H.G.; Lee, H.J.; Lee, M.J.; Kang, C.G. Establishment of Korean Environmental Sensitivity Index Map. *J. Korean. Soc. Mar. Environ. Eng.* **2003**, *6(4)*, 03–12.
15. Masaki, S.; Gell, D.; Dauterman, A.; Verkennes, K.; Sawano, N. Development of environmental sensitivity index maps in Japan. Proceeding of International Oil Spill Conference, 2001, 2, 775–782.
16. Thắng, L.V. Xây dựng bản đồ nhạy cảm môi trường đối với sự cố tràn dầu ven biển tỉnh Bình Định. *Tạp chí Khoa học và Công nghệ* **2021**, *49*, 211–221.
17. Tri, D.Q.; Don, N.C.; Ching, C.Y.; Mishra. P.K. Application of environmental sensitivity index (ESI) maps of shorelines to coastal oil spills: a case study of Cat Ba Island, Vietnam. *Environ. Earth. Sci*. **2015**, *74*, 3433–3451.
18. Phước, N.V.; Hiền, N.T.T. Bản đồ nhạy cảm môi trường khu vực từ Bà Rịa Vũng Tàu đến Cần Giờ TP. Hồ Chí Minh. *Tạp chí Môi trường* **2019**, *II*, 47–53.
19. Phú, Đ.B.; Tú, T.C.; Ngân, L.K. Xây dựng bản đồ nhạy cảm môi trường và bổ sung kế hoạch ứng phó sự cố tràn dầu tỉnh Thanh Hóa. *Dầu khí* **2017**, *11*, 58–64.
20. Sơn, N.N.; Minh, Đ.T.T. Ngân, L.K. Bản đồ nhạy cảm môi trường và phân vùng ưu tiên dãy ven bờ biển tỉnh Thái Bình đối với sự cố tràn dầu. *Dầu khí* **2015**, *8*, 58–64.
21. IPIECA. International Maritime Organization –IMO; International Association of Oil & Gas Producers – OGP. Sensitivity Mapping for Oil Spill Response. Good practice guidelines for incident management and emergency response personnel, London, 2012.

Building shoreline sensitivity index of Da Nang Bay applying NOAA guidelines on environmental sensitivity index

Nguyen Hai Anh[1], Du Van Toan[1], Mai Kien Dinh[1], Nguyen Hoang Anh[1*], Bui Thi Thuy[1]
[1] Vietnam Institute of Seas and Islands; anhnh.wru@gmail.com; duvantoan@gmail.com; maikiendinh79@yahoo.com; ahoang1983@gmail.com; buithuy46kt@gmail.com

Abstract: Da Nang Bay is the key economic development area of Da Nang City, especially with domestic and international maritime activities, so the risk of oil spill is obvious, which will greatly affect the economy and people's lives. The NOAA Environmental Sensitivity Index (ESI) guidance document was issued to assess the extent of oil spill vulnerability in order to identify sensitive areas for potential contamination. appropriate preparedness and response plans. ESI maps are comprised of three types of information:Shoreline classification; biological Resources and Human–Use. The article focuses on studying the problem of shoreline classification, in particular, the study on building the shoreline sensitivity index of Da Nang bay using the guidance document on environmental sensitivity index (ESI). The study uses the water edge of the 1:50,000 scale topographic map as the baseline in combination with the field survey to classify the shoreline according to ESI. The results give ESI shoreline classification map and shoreline sensitivity map, thereby providing necessary information for ESI environmental sensitivity mapping.

Keywords: National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA); Environmental Sensitivity Index (ESI); Shoreline classification.

TẠP CHÍ
KHÍ TƯỢNG THỦY VĂN

Check for updates

Bài báo khoa học

Đánh giá ảnh hưởng của hồ chứa Nước Trong đến hạ lưu sông Trà Khúc trong trường hợp khẩn cấp

Nguyễn Bách Tùng[1*], Đặng Đình Đức[1], Trần Ngọc Anh[1], Nguyễn Hồng Thủy[1], Đặng Thị Hồng Nhung[1], Phạm Thị Hồng Nhung[2], Vũ Minh Cường[2*]

[1] Trung tâm Động lực học Thủy khí Môi trường, Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, Đại học Quốc gia Hà Nội, 334 Nguyễn Trãi, Thanh Xuân, Hà Nội, Việt Nam; bachtung_cefd@hus.edu.vn; dangduc@hus.edu.vn; tranngocanh@hus.edu.vn; dangthihongnhung_t61@hus.edu.vn; nguyenhongthuy@hus.edu.vn

[2] Tổng Công ty Tư vấn xây dựng thủy lợi Việt Nam,95/2 Chùa Bộc, Đống Đa, Hà Nội, Việt Nam; cuongvuminh.hec@gmail.com; nhungmun@gmail.com

*Tác giả liên hệ: bachtung_cefd@hus.edu.vn; cuongvuminh.hec@gmail.com; Tel.: +84–979557265; +84–367665555

Ban Biên tập nhận bài: 17/8/2022; Ngày phản biện xong: 16/9/2022; Ngày đăng bài: 25/9/2022

Tóm tắt: Bài báo đã xây dựng các kịch bản trong các trường hợp khẩn cấp đối với hồ Nước Trong và đánh giá ảnh hưởng của ngập lụt được mô phỏng theo các trường hợp đến hạ lưu của sông Trà Khúc (diện tích bị ngập, số hộ dân ảnh hưởng, số người dân ảnh hưởng). Để mô phỏng ngập lụt bài báo đã sử dụng mô hình MIKE FLOOD để mô phỏng ngập lụt hạ lưu hồ chứa thủy điện trên lưu vực sông Trà Khúc sau khi bộ mô hình đã được hiệu chỉnh và kiểm định với 3 trận lũ lớn tháng 11 năm 2013, tháng 11 năm 2017, tháng 11 năm 2020 và kết quả điều tra khảo sát vết lũ và mặt cắt được thu thập trong thời gian mùa lũ năm 2020. Với thông số đã hiệu chỉnh kiểm định tốt, bộ mô hình đã sử dụng các thông số để mô phỏng và đánh giá ngập lụt trên lưu vực dưới tác động của các hồ chứa Nước Trong theo kịch bản xả lũ thiết kế và khi gặp sự cố vỡ đập. Kết quả cho thấy diện tích ngập lụt lớn nhất trên lưu vực sông Trà Khúc ứng với tần suất xả lũ thiết kế và vỡ đập tràn đỉnh (KB6) khoảng 25.885 ha tập trung ở một số xã như Tịnh Hà, Tịnh Phong, Nghĩa Hà, Nghĩa Lâm. Đối với kịch bản xả lũ vượt thiết kế 0,02% (KB5) thì diện tích ngập lớn nhất trên lưu vực sông Trà Khúc khoảng 25.606 ha, với kịch bản xả lũ thiết kế 0.5% (KB1) khoảng 21.556 ha và xả lũ theo tần suất lũ 10% (KB4) khoảng 11.619 ha. Trong các kịch bản tính toán, số hộ ảnh hưởng nhiều nhất khoảng 75.183 hộ và số người ảnh hưởng khoảng 28.6568 người.

Từ khóa: MIKE FLOOD; Mô phỏng ngập lụt; Hồ Nước Trong; Sông Trà Khúc.

1. Mở đầu

Trong những năm gần đây, các hồ chứa thủy điện được xây dựng rất nhiều tại các vùng núi phía bắc và khu vực Miền Trung. Tính đến năm 2021, tổng số hồ chứa tại Việt Nam khoảng 6873 hồ chứa [1] trong đó có khoảng 58 hồ có dung tích trên 100 triệu m^3 (36 hồ thủy điện), 130 hồ có dung tích từ 10 triệu m^3 đến 100 triệu m^3 (20 hồ thủy điện). Một vài năm qua, các hồ chứa đã phát huy vai trò tối đa như phát điện phục vụ phát triển kinh tế xã hội, cung cấp nước tưới thủy lợi, cắt lũ trong các đợt lũ lớn giảm thiểu thiệt hại cho hạ du. Tuy nhiên, ngoài những lợi ích và vai trò quan trọng của hồ chứa đem lại cũng có nhiều bất cập cần khắc phục như trong một số thời điểm mưa lũ hồ chứa có vai trò cắt lũ nhưng đã gián

tiếp làm gia tăng lũ gây ngập lụt hạ du và có tiềm năng nguy cơ xảy ra các sự cố công trình gây thiệt hại rất lớn tới khu vực hạ du.

Theo nghị định số 114/2018/NĐ–CP ban hành ngày 04/09/2018 về việc Quản lý an toàn đập và hồ chứa [2] có nêu việc xây dựng quy trình vận hành liên hồ chứa cho các lưu vực sông, xây dựng hệ thống trạm khí tượng thủy văn quan trắc chuyên dùng, lên phương án ứng phó với các tình huống khẩn cấp. Nhận thấy sự khẩn thiết, các đơn vị có liên quan và UBND tỉnh Quảng Ngãi, các đơn vị tham mưu đã soạn thảo và trình thủ tướng chính phủ kí Quyết định số 911/QĐ–TTg của Thủ tướng Chính phủ ngày 25/07/2018: Về việc ban hành Quy trình vận hành liên hồ chứa trên lưu vực sông Trà Khúc [3] nhằm vận hành các hồ chứa trên lưu vực sông Trà Khúc theo quy tắc và thống nhất để giảm thiểu thiệt hại thấp nhất xảy ra trên lưu vực sông Trà Khúc. Thực hiện nghị định số 114/2018/NĐ–CP về quản lý an toàn đập, hồ chứa và Quyết định số 911/QĐ–TTg về việc ban hành Quy trình vận hành liên hồ chứa trên lưu vực sông Trà Khúc trong việc vận hành các hồ chứa Nước Trong, Đăk Đrinh, Sơn Trà 1, Đăk Re trong thời gian vừa qua. Để đánh giá được ảnh hưởng của hồ chứa đến hạ lưu lưu vực sông Trà Khúc đặc biệt hồ chứa nước lớn như hồ Nước Trong và hồ Đăk Đrinh thì trong nghiên cứu này sẽ lựa chọn nghiên cứu đánh giá tác động của hồ chứa Nước Trong đến ngập lụt hạ lưu sông Trà Khúc và xem xét các yếu tố các hồ chứa khác vẫn hoạt động bình thường.

Đã có nhiều nghiên cứu trong nước đã nghiên cứu mô phỏng ngập lụt hạ lưu các hồ chứa như Nghiên cứu "Đánh giá diễn biến ngập lụt hạ du hồ Đồng Mỏ khi xảy ra vỡ đập", [4] đã sử dụng bộ công cụ Hec–Ras để mô phỏng vỡ đập và mô hình MIKE FLOOD để mô phỏng ngập lụt theo các kịch bản. Cũng sử dụng công cụ MIKE để mô phỏng ngập lụt hạ lưu như nghiên cứu [5] "Áp dụng mô hình thủy văn, thủy lực mô phỏng ngập lụt hạ du sông Cả" và nhiều nghiên cứu khác [6–16]. Do vậy, Để đánh giá tác động của hồ chứa thủy điện Nước Trong đến ngập lụt khu vực hạ lưu của sông Trà Khúc, chúng tôi sử dụng mô hình MIKE FLOOD là mô hình thuỷ động lực học dòng chảy kết nối 1–2 chiều có khả năng mô phỏng mực nước và dòng chảy trên sông, vùng cửa sông, vịnh và ven biển, cũng như mô phỏng dòng không ổn định hai chiều ngang trên đồng bằng ngập lũ. Mô hình này kết hợp các ưu điểm của mô hình 1 chiều cho mạng lưới sông (thời gian mô phỏng ngắn) với các lợi thế của mô hình 2 chiều (mô phỏng chính xác diện ngập lụt và trường vận tốc trên bề mặt đồng bằng ngập lũ) đồng thời tương thích với các cấu trúc GIS thông dụng vì thế đã nhận được nhiều sự quan tâm của các nhà nghiên cứu cũng như có nhiều ứng dụng trong thực tiễn ở Việt Nam và trên thế giới [6, 8].

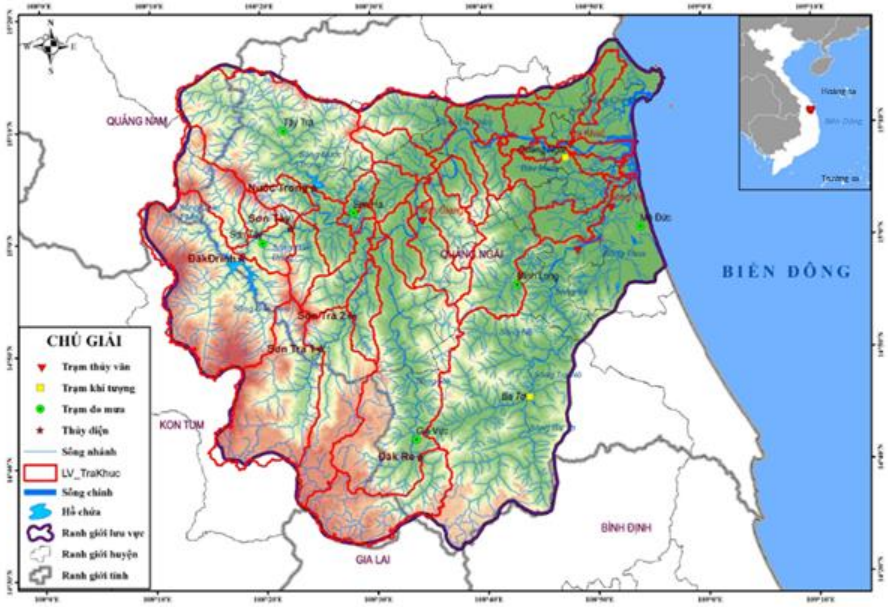
2. Phương pháp nghiên cứu

2.1. Giới thiệu lưu vực

Sông Trà Khúc được hình thành bởi hợp lưu của 3 con sông lớn là sông Rhe, sông Đăk SeeLô và sông Đăk Đrinh. Suối Nước Trong là phụ lưu cấp 1 của sông Đăk Đrinh. Các hồ cắt lũ theo Quy trình vận hành liên hồ chứa trên lưu vực sông Trà Khúc bao gồm hồ thủy điện Đăk Đrinh trên sông Đăk Đrinh và hồ thủy lợi Nước Trong trên suối Nước Trong.

Trên lưu vực sông Trà khúc hiện nay có 2 hồ chứa thủy điện lớn tác động rất lớn đến lưu vực gồm hồ Nước Trong có dung tích hữu ích 258,70 triệu m^3 và hồ Đắk Đ'ring có dung tích hữu ích 205,18 triệu m^3. Hàng năm, vào mùa lũ (bắt đầu từ ngày 01/09 đến ngày 15/12 hàng năm) theo quyết định của Quy trình vận hành liên hồ chứa lưu vực sông Trà Khúc (911/QĐ–TTg) hồ chứa Nước Trong sẽ giữ ngưỡng mực nước lớn nhất đón lũ là 116,0 m (từ ngày 1/9 đến ngày 20/09), 120,0 m (từ ngày 21/09 đến ngày 14/11), 121,0 m (từ ngày 15/11 đến 15/12) và hồ chứa Đăk Drinh sẽ giữ ngưỡng mực nước lớn nhất đón lũ là 405,0 m. Trong đó, với vai trò là công trình hồ chứa thủy lợi và có dung tích lớn nhất trong hệ thống thì công trình hồ chứa Nước Trong sẽ đảm nhận vai trò quan trọng hơn trong quá trình vận hành cắt giảm lũ cho hạ du. Theo Quyết định số 911/QĐ–TTg ngày 25 tháng 7 năm 2018 của Thủ tướng

Chính phủ về việc ban hành quy trình vận hành liên hồ chứa trên lưu vực sông Trà Khúc có nêu rõ mực nước vận hành cắt lũ tại 2 hồ Nước Trong và Đăk Đrinh tại Điều 7 tương đương dung tích cắt lũ tại hồ Đăk Đrinh là 81,7 triệu m^3, hồ Nước Trong là 103,6 triệu m^3, tổng dung tích cắt lũ cả 2 hồ là 185,3 triệu m^3.



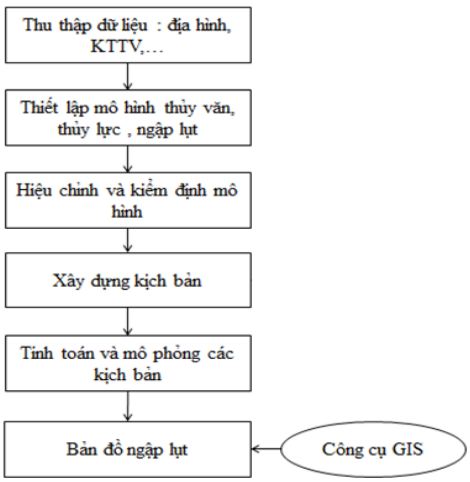
Hình 1. Bản đồ lưu vực sông Trà Khúc.

Mùa mưa, trên sông Trà Khúc thường xảy ra lũ lớn gây ngập úng vùng hạ du ảnh hưởng lớn đến sản xuất. Đặc biệt trong những năm gần đây tình hình lũ càng trở nên phức tạp, lưu lượng đỉnh lũ lớn thời gian lũ kéo dài. Năm 2013, 2017, 2020 là 3 trận lũ lớn nhất xảy ra gần đây. Mực nước ở hạ lưu Trà Khúc đều vượt báo động III cụ thể: +8,76 m (năm 2013); +7,78 m (năm 2017); +7,90 m (năm 2020). Ngập lụt ở các vùng dân cư diễn ra liên tục, kéo dài, ảnh hưởng to lớn đến các hoạt động dân sinh kinh tế và môi trường sinh thái.

2.2. Phương pháp và dữ liệu sử dụng

2.2.1. Các tiếp cận và các bước thực hiện

Nghiên cứu đã sử dụng mô hình MIKE FLOOD được phát triển bởi Viện Thủy lực Đan Mạch (DHI) thực chất là phần mềm liên kết giữa mô hình MIKE 11 và MIKE 21 đã được xây dựng trước đó để mô phỏng ngập lụt cho khu vực [4–6]. Mô hình sau khi được xây dựng sẽ mô phỏng các kịch bản xả lũ theo các tần suất thiết kế (P = 0,5%), lũ thường xuyên (P = 5%, 10%), lũ kiểm tra (P = 0,1%) và lũ vượt kiểm tra (P = 0,02%) và kịch bản vỡ đập tính toán bằng module Dambreak trong mô hình thủy lực Mike 11. Các bước mô phỏng ngập lụt cho hạ lưu các lưu vực sông được khái quát hóa như Hình 2.



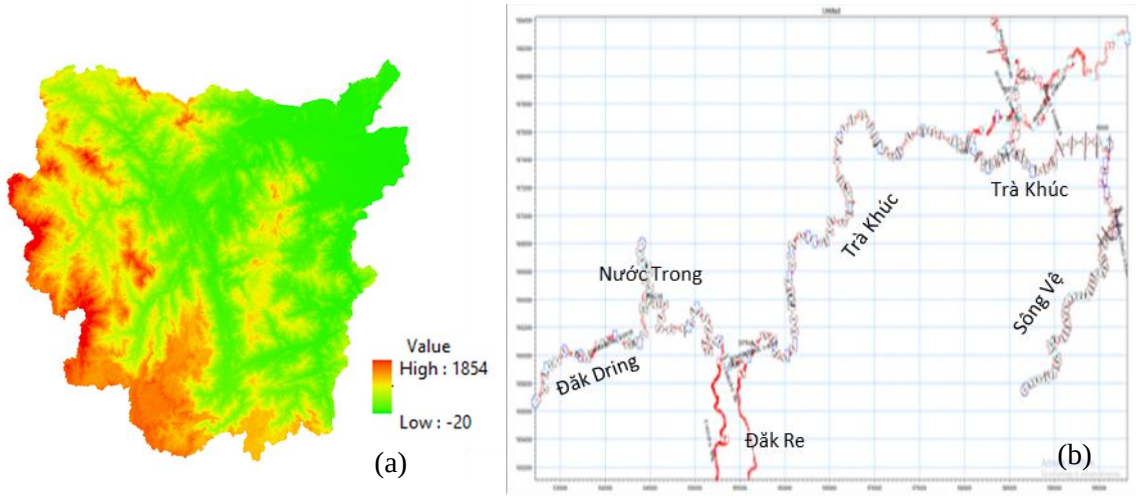
Hình 2. Sơ đồ mô phỏng ngập lụt.

2.2.2. Dữ liệu sử dụng

Dữ liệu địa hình: Dữ liệu địa bản đồ địa hình được thu thập tại Cục đô đạc và Bản đồ Việt Nam, Bộ Tài nguyên và Môi trường với các tỷ lệ 1:10.000, 1:5.000, 1:2.000 được sử

dụng để tạo mô hình số độ cao (DEM) với độ phân giải 30m × 30m (Hình 3) bằng công cụ GIS, hệ tọa độ của VN2000, kinh tuyến trung tâm 108^o và cao độ quốc gia Việt Nam.

Tài liệu mặt cắt sông: Tài liệu mặt cắt ngang sông từ số liệu mặt cắt đo đạc khảo sát bổ sung năm 2019 kết hợp với dữ liệu mặt cắt đã thu thập từ Tổng Công ty Tư vấn xây dựng thủy lợi Việt Nam gồm 159 mặt cắt cho sông chínhvà các chi lưu và một số dữ liệu mặt cắt trên sông Vệ, sông Phú Thọ được đo đạc từ năm 2009, 2010 (Hình 4, Bảng 1).

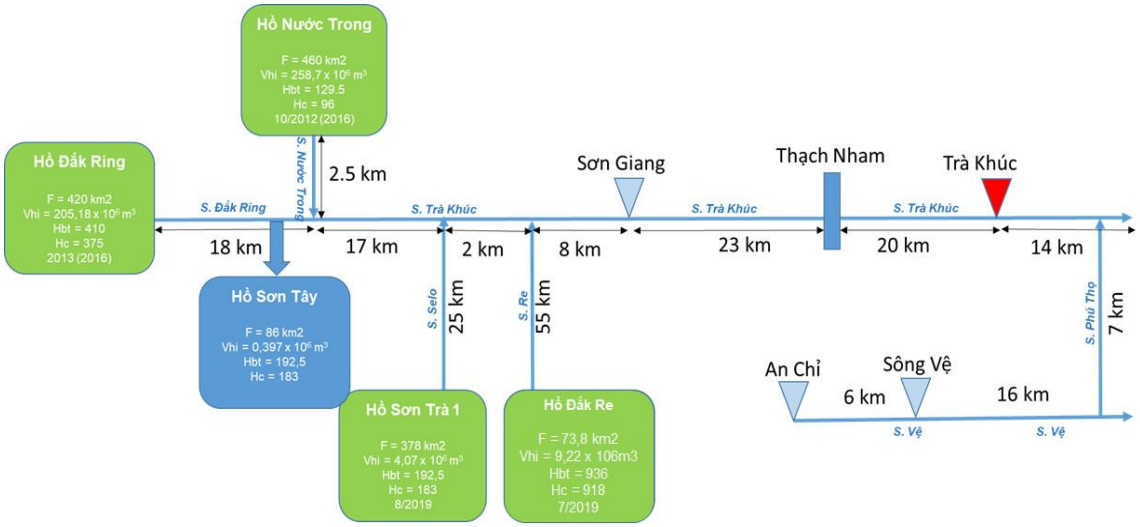


Hình 3. (a) Mô hình số cao độ (DEM) khu vực nghiên cứu; (b) Sơ đồ hình minh họa mặt cắt ngang sông.

Bảng 1. Thông tin về các mặt cắt sử dụng trong mô hình MIKE 11.

TT	Tên sông	Chiều dài (km)	Số mặt cắt	Điểm đầu	Điểm cuối
1	Trà Khúc	90,5	90	Hồ Nước Trong	Cửa Cổ Lũy
2	Đắk Drinh	19,5	20	Hồ Đắk Drinh	Sông Trà Khúc
3	Đắk Selo	26,7	3	Hồ Sơn Trà	Sông Trà Khúc
4	Đắk Re	68,0	7	Hồ Đắk Re	Sông Trà Khúc
5	Sông Vệ	21,0	38	Trạm An Chỉ	Cửa Lở
6	Phúc Thọ	5,3	5	Sông Vệ	Sông Trà Khúc

Tài liệu về công trình: Trên hệ thống sông Trà Khúc có 5 hồ lớn gồm hồ Đắk Drinh, hồ Nước Trong (sông Trà Khúc), Hồ Sơn Trà (sông Đắk Selo), hồ Đắk Re (sông Đắk Re). Phía dưới hạ nguồn là Đập Thạch Nham (Hình 4), đóng vai trò đập dâng là trữ nước và dâng đầu nước làm ảnh hưởng đến chế độ thủy động lực trên sông.



Hình 4. Sơ đồ tính toán mô hình và các công trình trên sông.

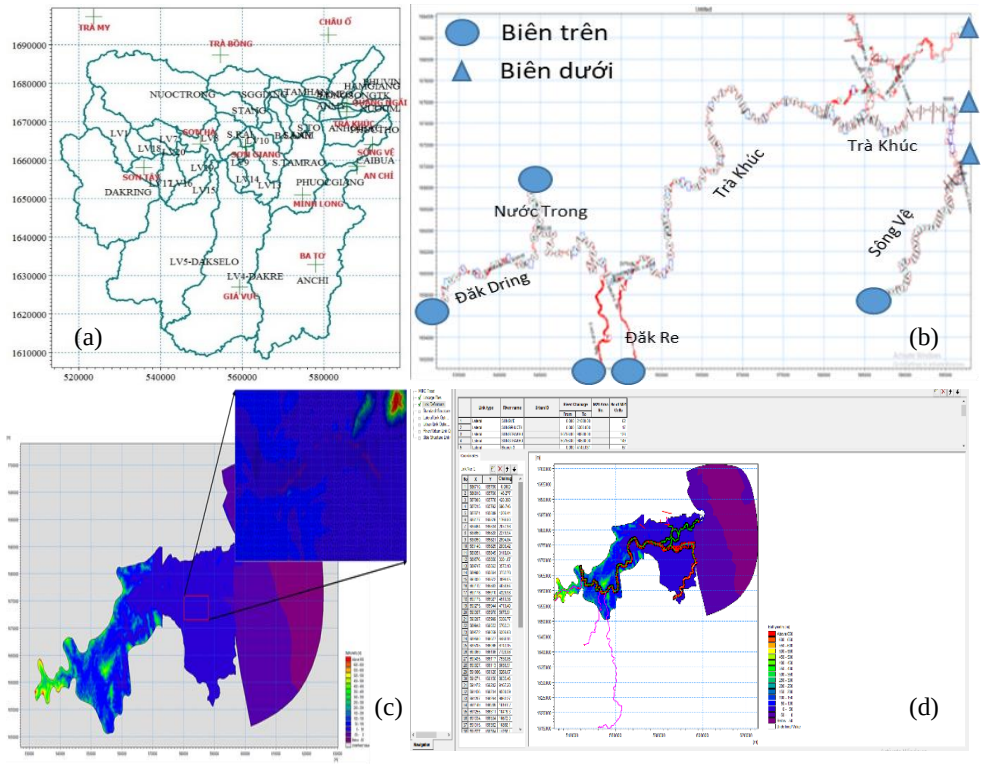
Số liệu khí tượng thủy văn: Nghiên cứu sử dụng lượng mưa giờ một số trận lũ năm 2013, 2017, 2020 tại các trạm Ba Tơ, Giá Vực, Sơn Tây, Sơn Hà, Sơn Giang, Minh Long, Trà My, Trà Bồng, An Chỉ, Sông Vệ, Trà Khúc, Châu Ổ và Quảng Ngãi. Mực nước tại trạm thủy văn Trà Khúc, Sơn Giang, An Chỉ, số liệu lưu lượng tại trạm Sơn Giang, An Chỉ và số liệu vận hành chi tiết các hồ.

Dữ liệu dân cư: Dữ liệu hộ dân được thu thập từ dữ liệu bản đồ sử dụng đất của tỉnh Quảng Ngãi năm 2015 để xác định số hộ dân trên địa bàn vùng ảnh hưởng do lũ lụt và số người dân được sử dụng tính toán dựa trên dữ liệu thống kê năm 2019 của tỉnh Quảng Ngãi.

3. Kết quả và thảo luận

3.1. Thiết lập mô hình

Trong bài báo, bộ mô hình MIKE 11 được thiết lập với biên trên là lưu lượng xả qua hồ tại hạ lưu hồ chứa Đắk Đring, Nước Trong, Sơn Trà 1, Đắk Re (thuộc phần sông chính Trà Khúc) trạm thủy văn An Chỉ (sông vệ) và các nhập lưu khu giữa được tính toán bằng mô hình NAM, biên dưới tại cửa Đại (Quảng Ngãi) (Hình 5a, 5b). Mô hình MIKE 21 với diện tích phần tử lớn nhất là 2.580.150 m^2 (khu vực ngoài biển), diện tích phần tử nhỏ nhất 225 m^2 (khu vực tuyến công trình), diện tích phần tử trung bình khoảng 6700 m^2. Lưới tính toán sử dụng lưới hỗn hợp phi cấu trúc kết hợp lưới cong trực giao, tổng số phần tử là 100.079 (hình dưới đây) cho khu vực hạ lưu sông Trà Khúc (Hình 5c) và kết nối với mạng sông trong MIKE 11 bằng công cụ MIKE FLOOD (Hình 5d).

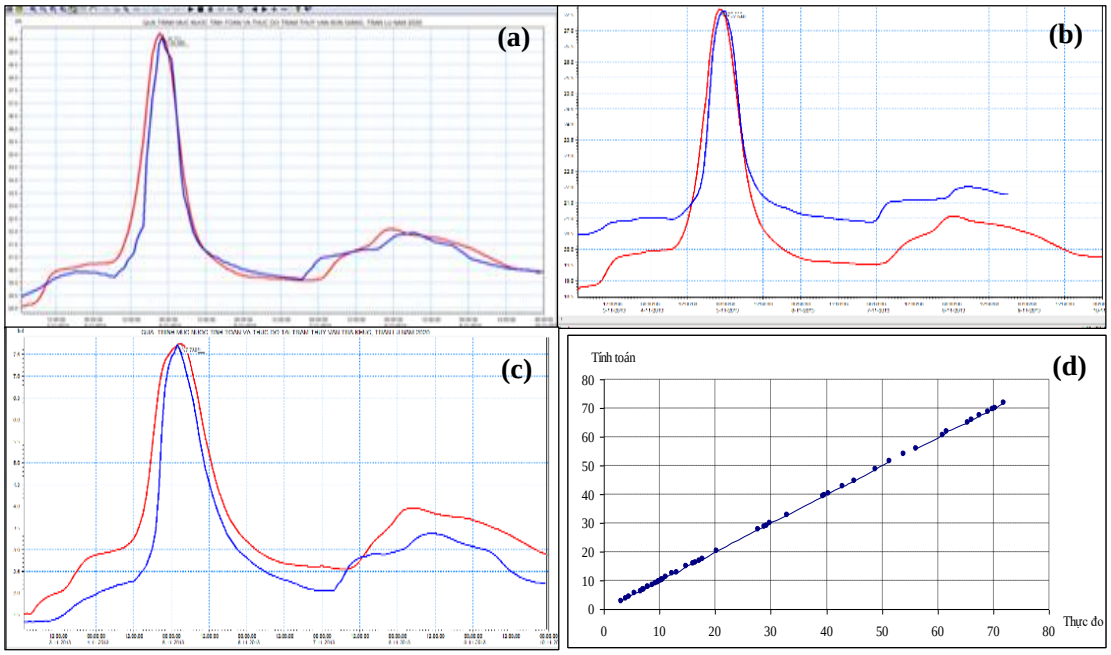


Hình 5. (a) Sơ đồ mô hình MIKE NAM; (b) Sơ đồ mô hình 1 chiều (tròn: Biên trên); (c) Lưới tính toán 2D trong mô hình MIKE 21; (d) Kết nối mô hình 1D–2D trong MIKE FLOOD.

3.2. Hiệu chỉnh và kiểm định mô hình

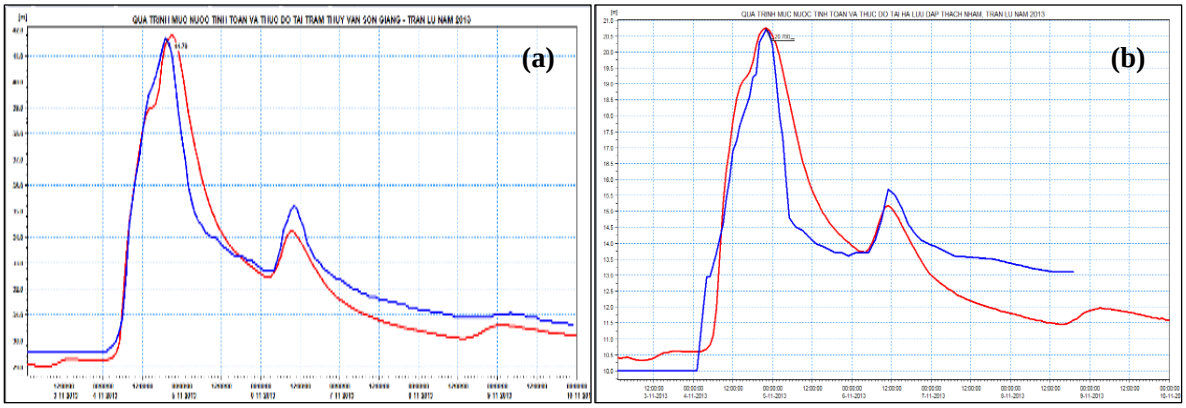
Sau khi nghiên cứu hệ thống sông, hồ chứa, các tài liệu khí tượng thủy văn trên toàn lưu vực sông Trà Khúc lựa chọn trận lũ đại diện như trận lũ cuối tháng 10/2020 để hiệu chỉnh mô hình và kiểm định lại với 2 trận lũ tháng 11/2013 và trận lũ 11/2017 và các vết lũ được điều tra tại thực địa trong đợt khảo sát các năm xảy ra lũ tương ứng.

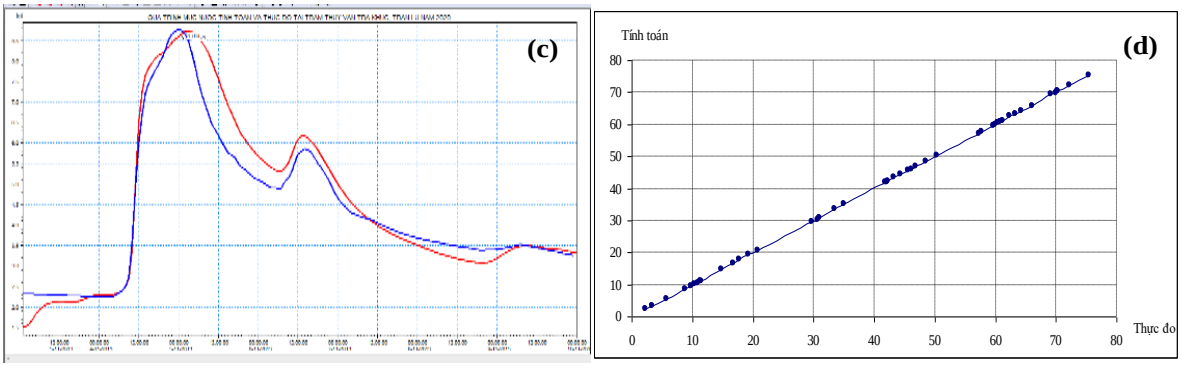
Với bộ thông số đã được thiết lập để hiệu chỉnh mô hình cho thấy, mực nước đỉnh lũ tại trạm Sơn Giang tính toán là 39,7 m, mực nước đỉnh lũ thực đo là 39,56 m, sai số tuyệt đối là 14 cm. Hệ số NASH đạt 85,2% thuộc loại tốt. Mực nước đỉnh lũ tại trạm Trà Khúc tính toán là 7,92 m, mực nước đỉnh lũ thực đo là 7,73 m, sai số tuyệt đối là 19 cm, đây là mức sai số rất nhỏ. Hệ số NASH đạt 80,2% thuộc loại tốt. Mặc dù giai đoạn chân lũ còn thiên cao và đỉnh lũ tính toán trễ pha hơn so với thực đo, tuy nhiên với bộ mô hình mô phỏng lũ thì điều này chấp nhận được. Như vậy, bộ số nhám Manning được thiết lập với vùng núi thượng nguồn hệ số nhám dao động từ 0,065–0,075 và hạ lưu thì nhám giao động từ 0,03–0,035 thu được sau quá trình hiệu chỉnh cho thấy sự phù hợp trong việc mô phỏng. Bộ số nhám này sẽ được sử dụng để kiểm định mô hình, quá trình kiểm định diễn ra độc lập với quá trình hiệu chỉnh.



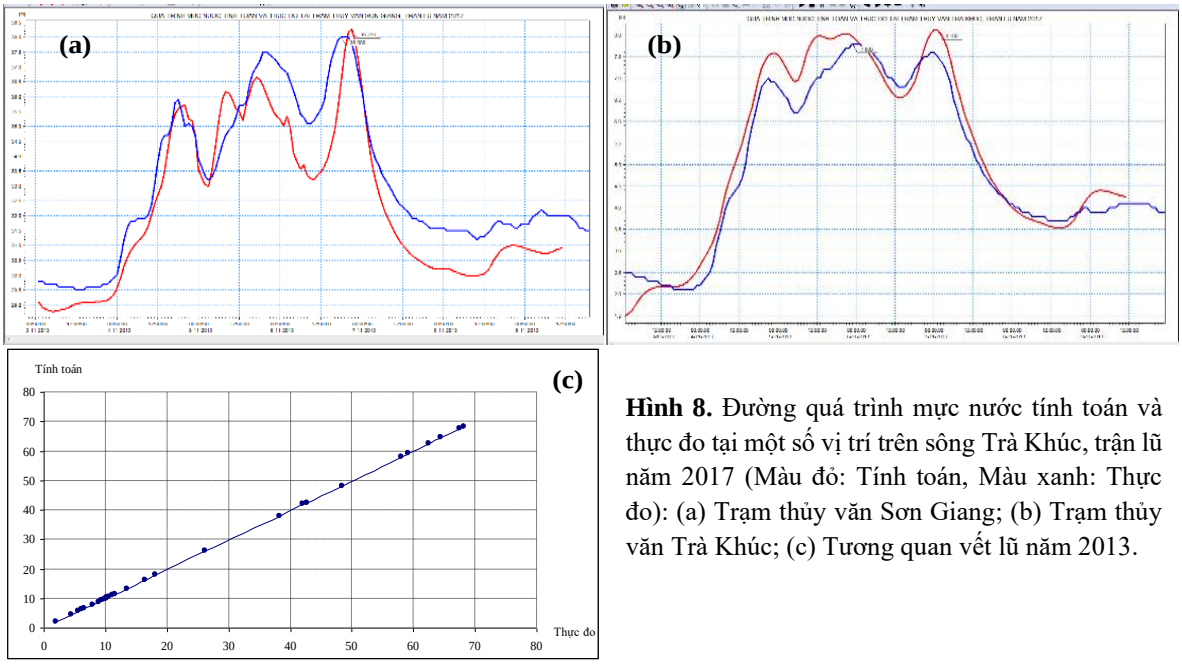
Hình 6. Đường quá trình mực nước, vết lũ tính toán và thực đo tại các trạm và các điểm dọc trên sông Trà Khúc, trận lũ năm 2020 (Màu đỏ: Tính toán, Màu xanh: Thực đo): (a) Trạm thủy văn Sơn Giang; (b) Đập Thạch Nham; (c) Trạm thủy văn Trà Khúc; (d) Tương quan vết lũ năm 2020.

Dùng kết quả tính toán từ mô hình mưa dòng chảy MikeNam làm biên đầu vào cho mô hình thủy lực và ngập lụt Mike Flood. Thực địa điều tra các vết lũ đã xảy ra trong trận lũ tháng 11/2013 và tháng 11/2017 dọc các sông, trong các khu vực dân cư và vùng ngập để kiểm định bộ thông số cho mô hình ngập lụt. Sử dụng bộ thông số nhám thu được từ quá trình hiệu chỉnh mô hình ngập lụt ở trên độc lập mô phỏng kiểm định lại cho 2 trận lũ tháng 11/2013 và tháng 11/2017.

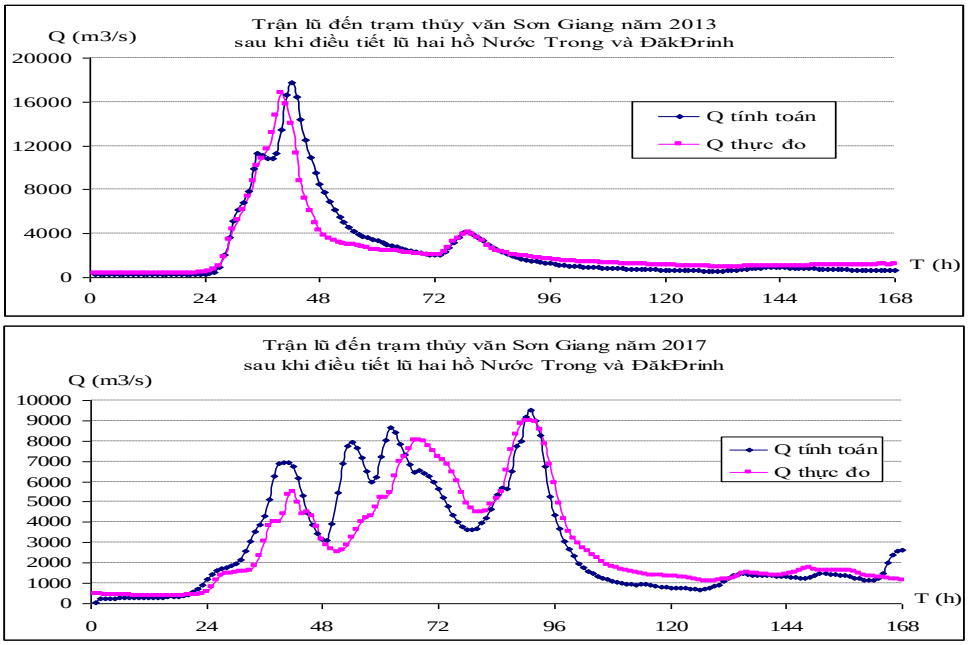




Hình 7. Đường quá trình mực nước tính toán và thực đo tại một số vị trí trên sông Trà Khúc, trận lũ năm 2013 (Màu đỏ: Tính toán, Màu xanh: Thực đo): (a) Trạm thủy văn Sơn Giang; (b) Đập Thạch Nham; (c) Trạm thủy văn Trà Khúc; (d) Tương quan vết lũ năm 2013.



Hình 8. Đường quá trình mực nước tính toán và thực đo tại một số vị trí trên sông Trà Khúc, trận lũ năm 2017 (Màu đỏ: Tính toán, Màu xanh: Thực đo): (a) Trạm thủy văn Sơn Giang; (b) Trạm thủy văn Trà Khúc; (c) Tương quan vết lũ năm 2013.



Hình 9. Đường quá trình lưu lượng tính toán và thực đo tại trạm Sơn Giang trận lũ năm 2013 và năm 2017.

Với trận lũ tháng 11/2013, mực nước đỉnh lũ tại trạm Sơn Giang tính toán là 41,82, mực nước đỉnh lũ thực đo là 41,94 m (lệch +12 cm), hệ số NASH đạt 80,6% (thuộc loại tốt), lưu lượng tại trạm Sơn Giang tính toán là 16800, lưu lượng thực đo là 16900 (lệch 100 m^3/s). Mực nước đỉnh lũ tại trạm Trà Khúc tính toán là 8,72 m, mực nước đỉnh lũ thực đo là 8,76m (lệch +4 cm), hệ số NASH đạt 82,6% (thuộc loại tốt) cho thấy quá trình tính toán bám sát với quá trình thực đo). Trận lũ tháng 11/2017 là trận lũ khá phức tạp về quá trình (có 3 đỉnh), tuy nhiên mô hình cũng đã mô phỏng lại được hiện tượng này. Mực nước đỉnh lũ tại trạm Sơn Giang tính toán là 38,27 m, mực nước đỉnh lũ thực đo là 37,99 m, sai số tuyệt đối là 28 cm. Hệ số NASH đạt 78,2% thuộc loại tốt. Lưu lượng tại trạm Sơn Giang tính toán là 9000, lưu lượng thực đo là 9105 (lệch 105 m^3/s). Mực nước đỉnh lũ tại trạm Trà Khúc tính toán là 7,88 m, mực nước đỉnh lũ thực đo là 7,82 m, sai số tuyệt đối là 0,06 cm, đây là mức sai số rất nhỏ. Hệ số NASH đạt 82,2% thuộc loại tốt. Mặc dù giai đoạn chân lũ còn thiên cao, tuy nhiên với bộ mô hình mô phỏng lũ thì điều này chấp nhận được.

Sau quá trình dò tìm từ kết quả tính toán mô phỏng hiệu chỉnh trận lũ cuối tháng 10/2020 và kiểm định lại với trận lũ tháng 11/2013 và 11/2017 cho mô hình ngập lụt hạ du các hồ chứa và hệ thống sông Trà Khúc như trên cho kết quả chênh lệch không nhiều, các vết lũ điều tra được tin cậy, mực nước tính toán phù hợp, đủ tin cậy để áp dụng vào việc nghiên cứu tính toán mô phỏng các kịch bản xả lũ và vỡ đập hồ Nước Trong cũng như xây dựng bản đồ ngập lụt hạ du.

3.3. Kết quả Đánh giá ngập lụt hạ lưu sông Trà Khúc dưới tác động của hồ Nước Trong

3.3.1. Xây dựng kịch bản

Với mục đích xác định được mức độ thiệt hại và xây dựng được phương án ứng phó khẩn cấp đập/hồ chứa xả lũ/sự cố đập có thể ảnh hưởng trực tiếp đến vùng hạ lưu và đặc biệt khi xảy ra sự cố thì chế độ lũ (lũ lớn thiết kế về hồ) của sông vùng ảnh hưởng tiềm ẩn các nguy cơ về ngập lụt cho hồ Nước Trong. Vì vậy, để phục vụ công tác quản lý giảm thiểu rủi ro ngập lụt cho vùng ảnh hưởng bao gồm toàn bộ diện tích hạ lưu đập Nước Trong về hạ du đến hết phạm vi sông Trà Khúc chảy qua địa phận các huyện và Thành phố Quảng Ngãi. Nghiên cứu sẽ xây dựng các kịch bản bao gồm kịch bản xả lũ chủ động, xả lũ vượt thiết kế, tình huống vỡ đập.

Nhóm kịch bản không xảy ra sự cố vỡ đập (05 kịch bản):

- KB1: Trường hợp xả lũ lũ thiết kế P = 0,5% qua công trình xả lũ kiên cố làm việc bình thường và mưa hạ lưu có tần suất tương ứng. Dòng chảy lũ sau khi qua tràn sẽ đổ vào sông.
- KB2: Trường hợp xả lũ kiểm tra P = 0,1 % qua công trình xả lũ kiên cố làm việc bình thường và mưa hạ lưu có tần suất tương ứng.
- KB3: Trường hợp xả lũ thường xuyên với tần suất P=5% qua công trình xả lũ kiên cố làm việc bình thường và mưa hạ lưu có tần suất tương ứng.
- KB4: Trường hợp xả lũ thường xuyên với tần suất P=10% qua công trình xả lũ kiên cố làm việc bình thường và mưa hạ lưu có tần suất tương ứng.
- KB5: Trường hợp xả lũ trong điều kiện thiên tai bất thường (xả lũ vượt tần suất thiết kế, tần suất 0,02 %) qua công trình xả lũ kiên cố làm việc bình thường và mưa hạ lưu có tần suất tương ứng.

Nhóm kịch bản vỡ đập khi có lũ đến hồ (03 kịch bản):

- KB6: Trường hợp khả năng xả lũ của hồ không đáp ứng tiêu chuẩn thiết kế đập hiện hành, tình huống vỡ đập được tính với lũ thiết kế P = 0,5% và hạ lưu có mưa với tần suất tương ứng.
- KB7: Trường hợp khả năng xả lũ của hồ không đáp ứng tiêu chuẩn thiết kế đập hiện hành, tình huống vỡ đập được tính với lũ kiểm tra P = 0,1% và hạ lưu có mưa với tần suất tương ứng.

- KB8: Trường hợp vỡ đập do động đất vượt tần suất thiết kế, không có mưa và lũ, mực nước hồ ứng với mực nước dâng bình thường.

Bảng 2. Các kịch bản tính ngập lụt khẩn cấp.

Ký hiệu	Tình huống	Lũ đến	Mực nước hồ trước khi lũ đến	Hình thức vỡ
	I. Xả lũ chủ động			
KB1	Xả lũ thiết kế	$Q_{0,5\%}$	MNDBT	Không vỡ đập
KB2	Xả lũ kiểm tra	$Q_{0,1\ \%}$	MNDBT	Không vỡ đập
KB3	Xả lũ 5%	$Q_{5\%}$	MNDBT	Không vỡ đập
KB4	Xả lũ 10%	$Q_{10\%}$	MNDBT	Không vỡ đập
	II. Xả lũ vượt thiết kế			
KB5	Xả lũ vượt thiết kế	$Q_{0,02\%}$	MNDBT	Không vỡ đập
	III. Tình huống vỡ đập (tràn đỉnh)			
KB6	Vỡ đập với lũ thiết kế 0,5%	$Q_{0,5\ \%}$	MNDGC	Tràn đỉnh
KB7	Vỡ đập với lũ kiểm tra 0,1%	$Q_{0,1\%}$	MNDGC	Tràn đỉnh
	IV. Vỡ đập do sự cố công trình			
KB8	Vỡ đập khi có lũ động đất vượt tần suất thiết kế	$Q_{đến}$	MNDBT	

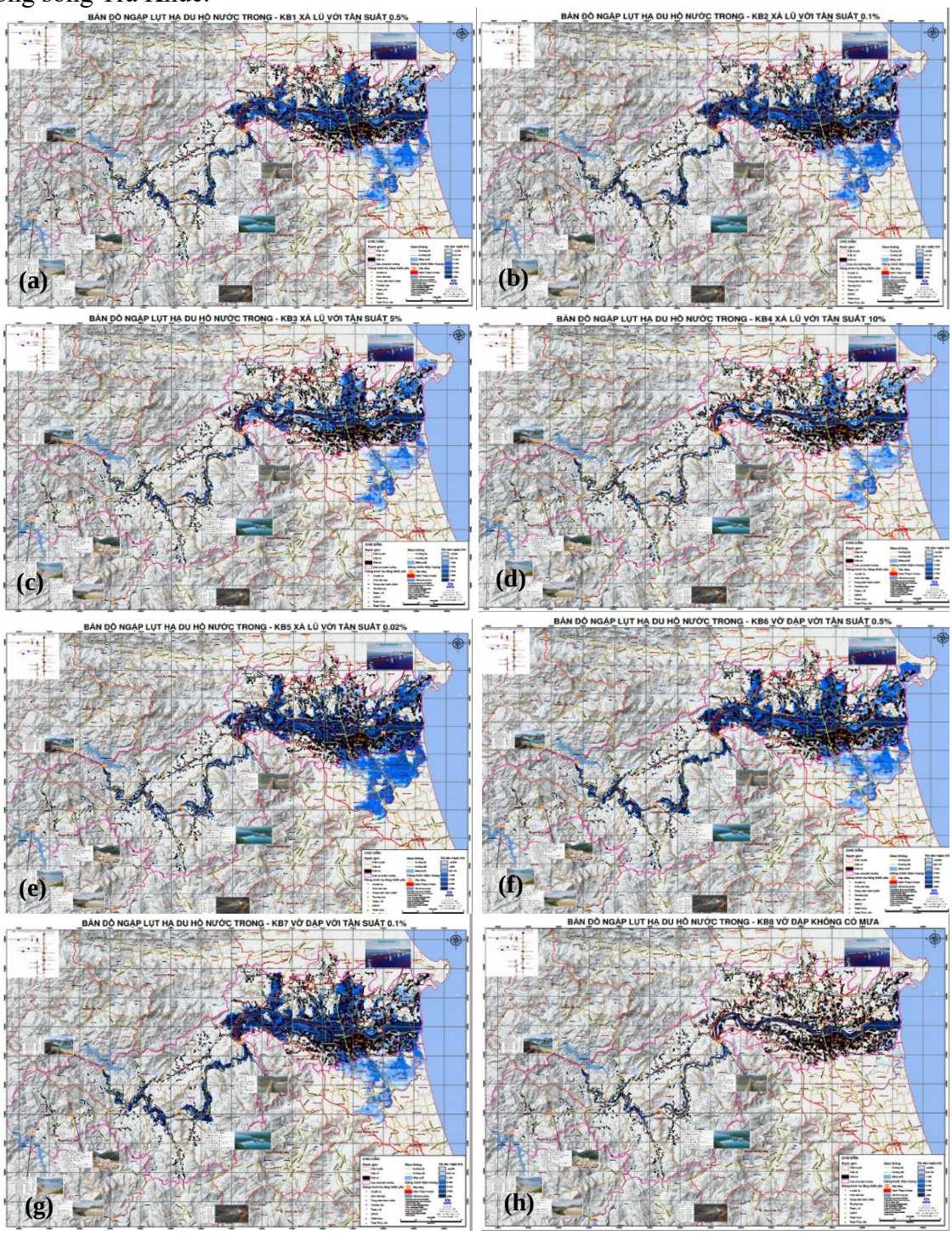
3.3.2. Kết quả ngập lụt lưu vực sông Trà Khúc theo các kịch bản

Bản đồ ngập lụt chi tiết theo các kịch bản được trình bày trên (Hình 10) và số liệu tính diện ngập tương ứng được trình bày trong (Hình 11) cho thấy diện tích ngập lụt lớn nhất trên lưu vực sông Trà Khúc ứng với tần suất xả lũ thiết kế và vỡ đập do tràn đỉnh (KB6) khoảng 25.885 ha tập trung ở một số xã như Tịnh Hà, Tịnh Phong, Nghĩa Hà, Nghĩa Lâm. Đối với kịch bản xả lũ vượt thiết kế (KB5) thì diện tích ngập lớn nhất trên lưu vực sông Trà Khúc khoảng 25.606 ha, với kịch bản xả lũ thiết kế lớn nhất (KB1) khoảng 21.556 ha và xả lũ thiết kế nhỏ nhất (KB4) khoảng 11.619 ha. Trong các kịch bản tính toán, số hộ ảnh hưởng nhiều nhất khoảng 75.183 hộ (Hình12) và số người ảnh hưởng khoảng 28.6568 người (Hình 13). Như vậy, có thể thấy lũ trên lưu vực sông Trà khúc ảnh hưởng rất lớn đến khu vực hạ lưu các hồ chứa khi xả lũ cũng như xảy ra sự cố vỡ đập. Trong điều kiện cực đoan và xảy ra sự cố vỡ đập thì ngập lụt ở lưu vực Trà Khúc cần có các biện pháp phi công trình nhằm giảm thiểu rủi ro và thiệt hại cho vùng hạ lưu như dự báo, cảnh báo và nâng cao nhân thức cộng đồng về lũ lụt.

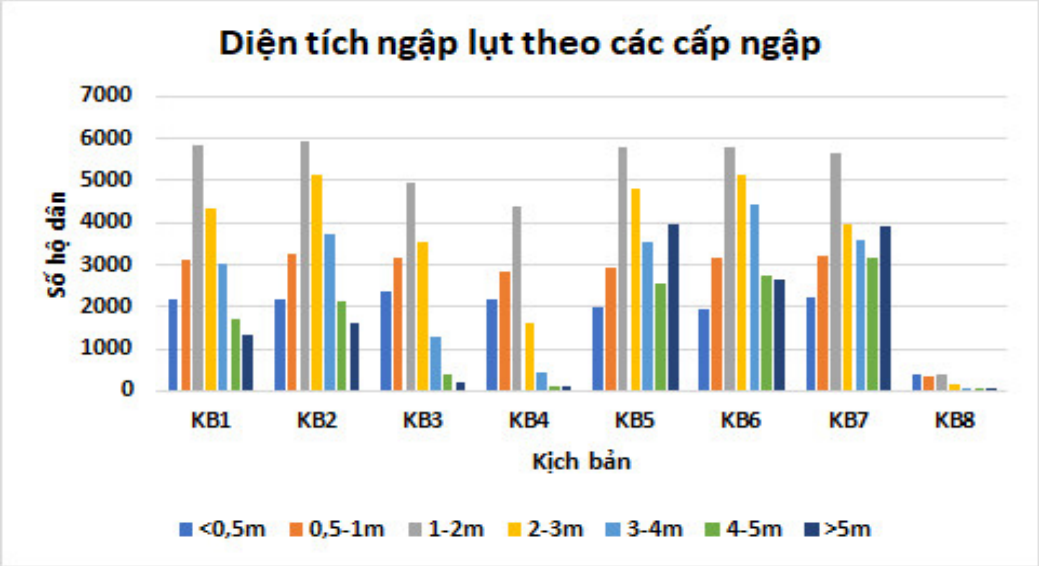
4. Kết luận

Trong quá trình khai thác vận hành cần thực hiện theo đúng QT911/QĐ–TTg cho các công trình trên hệ thống trong mùa lũ và mùa kiệt, đồng thời tăng cường công tác dự báo lũ đến các hồ chứa Nước Trong, Đăk Đrinh, đồng thời dự báo cảnh báo lũ chính vụ, lũ trong mùa kiệt đến thủy văn Trà Khúc theo cấp BĐ nhằm chủ động trong vận hành đóng mở cửa cống đảm bảo an toàn cho công trình và TP Quảng Ngãi. Tuy nhiên, để đánh giá được mức độ ảnh hưởng của hồ chứa Nước Trong đến hạ lưu thì nghiên cứu đã xây dựng mô hình mô phỏng, đánh giá tác động của hồ chứa đến ngập lụt vùng hạ lưu của lưu vực sông Trà Khúc cho thấy bộ thông số đã được hiệu chỉnh và kiểm định cho kết quả tương đối tốt và có thể sử dụng cho các nghiên cứu mô phỏng ngập lụt khu vực hạ lưu. Nghiên cứu đã đánh giá tác động của hồ chứa nước trên lưu vực sông Trà Khúc với các kịch bản xả lũ thiết kế chủ động, xả lũ thiết kế vượt kiểm tra, xả lũ thiết kế và sự cố vỡ đập của hồ chứa Nước Trong đã ảnh hưởng rất lớn đến khu vực hạ lưu, chính vì vậy nghiên cứu sẽ là cơ sở khoa học giúp các nhà quản lý có những định hướng chính sách phù hợp cho vùng hạ lưu các hồ chứa Nước Trong cũng như hạ lưu của lưu vực sông Trà Khúc.

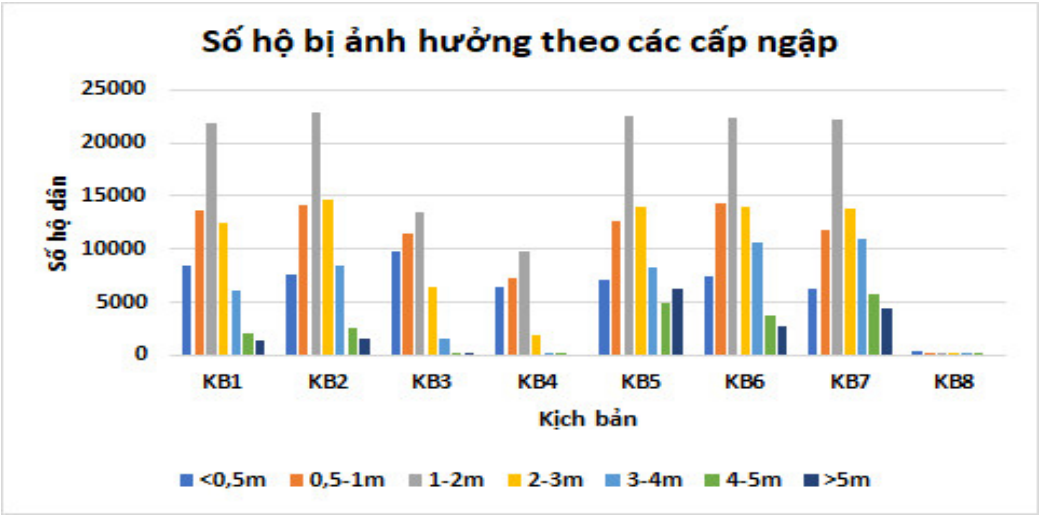
Tuy nhiên, trong nghiên cứu này mới xem xét đến các yếu tố khẩn cấp của hồ chứa Nước Trong mà chưa xem xét đến yếu tố xảy ra đồng thời giữa hồ Nước Trong và hồ Đăk Drinh. Trường hợp này là trường hợp rất cực đoan đối với hệ thống sông Trà Khúc nên đây sẽ là hướng nghiên cứu tiếp theo của nhóm nghiên cứu. Ngoài ra, trên hệ thống Trà Khúc hiện nay diễn biến khá phức tạp, hiện tượng lũ lên rất nhanh mà người dân chưa kịp ứng phó. Do vậy, để đảm bảo an toàn cho người dân đề nghị cần xem xét lắp đặt 1 số trạm quan trắc mực nước tự động và cảnh báo tự động có thể lắp đặt như Cầu Rin ngay Thị trấn Di Lăng theo dõi vận hành lũ thực tế hàng năm phục vụ nghiên cứu tổ hợp lũ và vận hành theo thời gian thực hệ thống sông Trà Khúc.



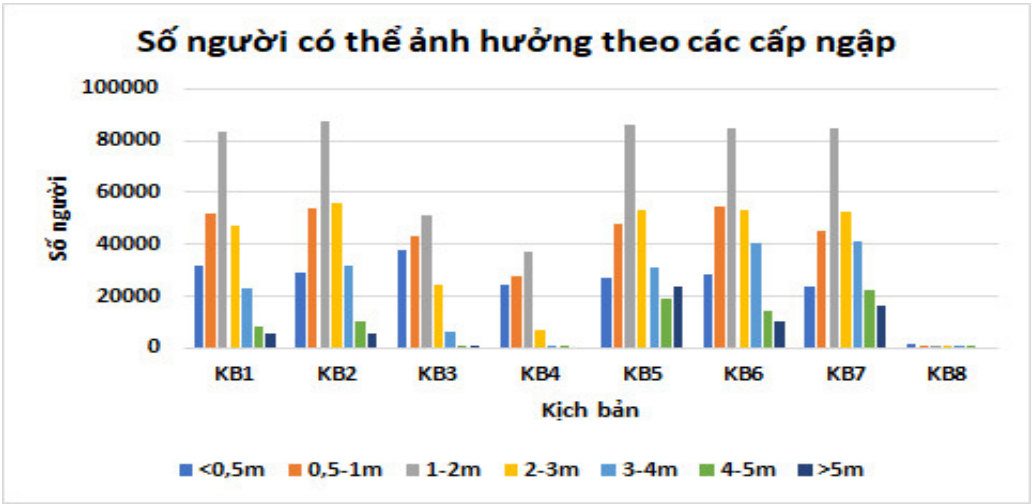
Hình 10. Bản đồ minh họa ngập lụt theo các kịch bản: (a) KB1; (b) KB2; (c) KB3; (d) KB4; (e) KB5; (f) KB6; (g) KB7; (h) KB8.



Hình 11. Biểu đồ thể hiện diện tích ngập lụt theo các cấp ngập trên lưu vực Trà Khúc.



Hình 12. Biểu đồ thể hiện số hộ dân bị ảnh hưởng theo các cấp ngập trên lưu vực Trà Khúc.



Hình 13. Biểu đồ thể hiện số người dân có thể bị ảnh hưởng theo các cấp ngập trên lưu vực Trà Khúc.

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

Lời cảm ơn: Nghiên cứu này được thực hiện trong nghiệp vụ dự báo lũ trên lưu vực sông Trà Khúc của Trung tâm Động lực học Thủy khí Môi trường – Trường Đại học Khoa học tự nhiên – Đại học Quốc gia Hà Nội.

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. Directorate of Water Resource. Ministry of Agriculture and Rural Development, Water Resource database system. http://thuyloivietnam.vn/ (in Vietnamese).
2. Thủ tướng chính phủ. Nghị định số 114/2018/NĐ–CP "Quản lý an toàn đập và hồ chứa có nêu việc xây dựng quy trình vận hành liên hồ chứa cho các lưu vực sông, xây dựng hệ thống trạm khí tượng thủy văn quan trắc chuyên dùng, lên phương án ứng phó với các tình huống khẩn cấp", ban hành ngày 04/09/2018.
3. Thủ tướng chính phủ. Quyết định số 911/QĐ–TTg về việc ban hành Quy trình vận hành liên hồ chứa trên lưu vực sông Trà Khúc, ban hành năm 2018.
4. Cường, H.V. Nghiên cứu đánh giá diễn biến ngập lụt hạ du hồ Đồng Mỏ khi xảy ra vỡ đập. *Tạp chí khoa học và công nghệ Thủy lợi* **2019**, *54*, 1–9.
5. Tiến, N.X.; Sơn, N.T.; Linh, N.V. Áp dụng mô hình thủy văn, thủy lực mô phỏng ngập lụt hạ du sông Cả. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* **2020**, *710*, 1–13
6. Investment Newspaper. Flood Information Update in Central and Central Highlands, Archived from the original on November 16, 2013, accessed September 22, 2015, https://baodautu.vn/cap-nhat-tin-lu-lut-tai-mien-trung-tay-nguyen-d218.html. (In Vietnamese).
7. Binh, H.T.; Anh, T.N.; Kha, D.D. Application of MIKE FLOOD model to calculate the flooding of Nhat Le river system in Quang Binh province. *VNU J. Sci. Technol.* **2010**, *26(3S)*, 285. (In Vietnamese).
8. Kha, D.D. Application of MIKE FLOOD model to calculate flood level in Bac Thuong Tin area. Thesis, University of Sciences, Hanoi National University, 2009. (In Vietnamese).
9. Con, P.M.; Anh, T.N.; Kha, D.D.; Duc, D.D.; Khai, N.M.; Ha, P.Q. Solutions for flooding drainage for the inner city of Hanoi on the basis of an imbalance node study. *VNU J. Sci.: Nat. Sci. Technol.* **2015**, *31(3S)*, 44–55. (In Vietnamese).
10. Tùng, N.B. Mô phỏng và dự báo xâm nhập mặn hạ lưu sông Mã (tỉnh Thanh Hóa) dưới tác động của Biến đổi khí hậu. Hội nghị Địa Lý toàn quốc lần thứ X, năm 2018, Tập 2.
11. Dang, N.M.; Vien, L.N.; Tung, N.B.; Duong, T.A.; Dang, T.D. Assessment of climate change and sea level rise impacts on flows and saltwater intrusion in the Vu Gia Thu Bon River Basin, Vietnam. Proceeding of the International Conference on Asian and Pacific Coasts (APAC), 2019, 1367–1374.
12. Tùng, N.B.; Đức, Đ.Đ.; Quang, T.V.; Trung, N.Đ. Đánh giá ảnh hưởng của xâm nhập mặn đến các công trình lấy nước tưới vào thời kì kiệt của sông Ninh Cơ. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* **2020**, *710*, 43–57.
13. Công, T.N.; Anh, T.N.; Mai, Đ.T. Nghiên cứu xây dựng mô hình dự báo lũ lưu vực sông Hoàng Long. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* **2019**, *698*, 22–30.
14. Tùng, N.B.; Đức, Đ.Đ.; Anh, T.N.; Tùng, T.T. Mô phỏng ngập lụt khu vực sông Kỳ Lộ, tỉnh Phú Yên dưới tác động của biến đổi khí hậu và nước biển dâng. *Tạp chí Đại học quốc gia – khoa học trái đất và môi trường* **2021**, *4*, 80–89.

15. Anh, L.T.; Anh, T.N.; Đạt, T.V.; Giang, N.T.; Hưng, N.Q.; Khá, Đ.Đ. et al. Bản đồ ngập lụt và bản đồ đánh giá mức độ tổn thương do lũ các lưu vực sông: Lam, Bến Hải – Thạch Hãn và Thu Bồn. Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ Thuật, Hà Nội, 2015.
16. Anh, T.N. Xây dựng bản đồ ngập lụt hạ lưu các sông Bến Hải và Thạch Hãn, tỉnh Quảng Trị. *Tạp chí Khoa học Đại học Quốc gia Hà Nội, Khoa học Tự nhiên và Công nghệ* **2011**, 27, 1–8.
17. Chanh, B.V.; Anh, T.N. Tích hợp bộ mô hình dự báo thủy văn lưu vực sông Trà Khúc. *Tạp Chí Khoa Học ĐHQG, Khoa Học Trái Đất và Môi Trường* **2016**, 32, 20–25.
18. Tuấn, P.H.Q.; Tùng, N.B.; Trí, Đ.Q.; Anh, T.N.; Nhật, N.V. Nghiên cứu đánh giá tác động của ngập lụt tỉnh Tiền Giang. *Tạp chí Khí tượng Thuỷ văn* **2022**, *740(1)*, 11–23.
19. Denmark Hydraulic Institute (DHI). MIKE FLOOD User Guide, 2014.

Assessing the impact of Nuoc Trong reservoir on the downstream of Tra Khuc river in emergency cases

Nguyen Bach Tung[1*], Dang Dinh Duc[1], Tran Ngoc Anh[1], Nguyen Hong Thuy[1], Dang Thi Hong Nhung[1], Pham Thi Hong Nhung[2], Vu Minh Cuong[2*]

[1] Center for environmental fluid dynamics, VNU University of Science, 334 Nguyen Trai, Thanh Xuan, Hanoi, Vietnam; bachtung_cefd@hus.edu.vn; dangduc@hus.edu.vn; tranngocanh@hus.edu.vn; dangthihongnhung_t61@hus.edu.vn; nguyenhongthuy@hus.edu.vn

[2] Vietnam Hydraulic Engeneering Consultants Corporation-JSC, 95/2 Chua Boc, Dong Da, Hanoi, Vietnam; cuongvuminh.hec@gmail.com; nhungmun@gmail.com

Abstract: The article has developed scenarios in in emergency cases for Nuoc Trong Lake and assessed the effects of simulated flooding in cases on the downstream of Tra Khuc River (inundated area, the number of affected households, the number of affected people). The article has used MIKE FLOOD model to simulate flooding downstream of a hydroelectric reservoir on Tra Khuc river basin after the model was calibrated and validated with 3 massive floods in November 2013, November 2017, November 2020 and the survey results flood traces and cross–sections were conducted during the flood season in 2020. The model has used well–calibrated parameters to simulate and evaluate inundation in the basin under the impact of Nuoc Trong reservoirs according to the designed flood discharge scenario and dam break scenario. The results show that the largest flooded area in Tra Khuc river basin corresponding to the frequency of design flood discharge and bursting of the spillway of the dam (Scenario 6) is about 25,885 ha and concentrates in some communes such as Tinh Ha, Tinh Phong, Nghia Ha, Nghia Lam. In the scenario of flood discharge exceeding the design 0.02% (Scenario 5), the largest flooded area on Tra Khuc river basin is about 25,606 ha. In the design flood discharge scenario of 0.5% (Scenario 1) is about 21,556 ha and flood discharge according to flood frequency 10% (Scenario 4) is about 11,619 ha. In the calculated scenarios, the most affected households are about 75,183 households and the number of affected people is about 28,6568 people.

Keywords: MIKE FLOOD; Flood simulation; Nuoc Trong reservoir; Tra Khuc River.

TẠP CHÍ
KHÍ TƯỢNG THỦY VĂN

Check for updates

Bài báo khoa học

Thử nghiệm khả năng dự báo số ngày nắng nóng trên lãnh thổ Việt Nam bằng mạng thần kinh nhân tạo

Tạ Hữu Chỉnh[1*], Hoàng Phúc Lâm[2], Vũ Văn Thăng[1], Trương Bá Kiên[1]

[1] Viện Khoa học Khí tượng Thủy văn và Biến đổi khí hậu; chinhth2010@gmail.com; kien.cbg@gmail.com; vvthang26@gmail.com
[2] Trung tâm Dự báo Khí tượng Thủy văn quốc gia; lamhpvn@gmail.com

*Tác giả liên hệ: chinhth2010@gmail.com; Tel.: +84–868791281

Ban Biên tập nhận bài: 5/8/2022; Ngày phản biện xong: 22/9/2022; Ngày đăng bài: 25/9/2022

Tóm tắt: Bài báo trình bày về phân bố nắng nóng đặc trưng bởi đại lượng số ngày nắng nóng (SNN) trong năm trên phạm vi toàn lãnh thổ Việt Nam. Kết quả chỉ ra, SNN gia tăng mạnh ở khu vực Tây Nguyên, Nam Bộ trong thời kỳ khoảng tháng 3 đến tháng 5; ở các tỉnh Bắc Bộ và Trung Bộ trong thời kỳ từ khoảng tháng 4 đến tháng 8. Giá trị SNN nhiều nhất ở khu vực các tỉnh miền Trung, đặc biệt ở Bắc và Trung Trung Bộ. Ngoài ra, nghiên cứu thực hiện dự báo thử nghiệm SNN trong mùa tháng 4 đến tháng 6 bằng sử dụng mạng thần kinh nhân tạo với nhân tố dự báo là các chỉ số liên quan đến ENSO. Kết quả cho thấy, dự báo có kỹ năng cho các khu vực thuộc phần các tỉnh Bắc Bộ và Bắc Trung Bộ, trong khi các tỉnh thuộc phần phía nam như Tây Nguyên, Nam Bộ, Nam Trung Bộ có kỹ năng yếu.

Từ khóa: Mạng ANN; ENSO; Nắng nóng.

1. Giới thiệu

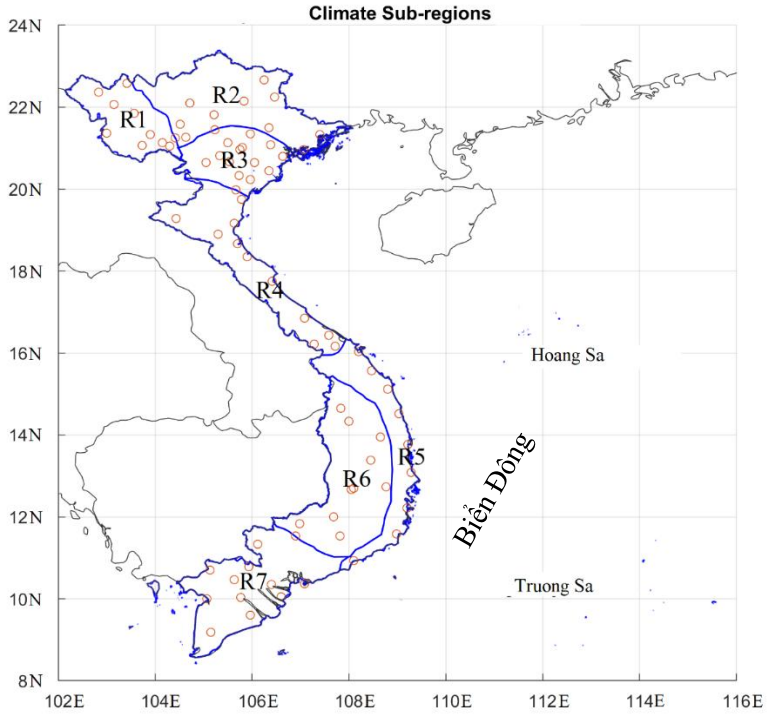
Dự báo khí hậu thời hạn mùa cung cấp thông tin quan trọng trong việc xây dựng các kế hoạch sản xuất dài hạn. Trong đó, có một số thông tin đặc biệt cần thiết với sản xuất nông nghiệp và cơ cấu mùa vụ như: nhiệt độ, lượng mưa, số đợt, số ngày rét đậm, nắng nóng. Hiện nay, ở Việt Nam, có hai đơn vị nhà nước cung cấp thông tin dự báo mùa là: 1) Trung tâm Dự báo khí tượng thủy văn quốc gia (TTDBQG); 2) Viện Khoa học khí tượng thủy văn và Biến đổi khí hậu (Viện KTTV&BĐKH). Các sản phẩm dự báo mùa dựa chính trên ba phương pháp: 1) Sản phẩm từ các mô hình khí hậu động lực (clWRF, RegCM,); 2) Sử dụng thống kê truyền thống với các nhân tố dự báo như: ENSO hoặc nhiệt độ bề mặt biển; 3) Kết hợp giữa thống kê và mô hình dự báo số. Những thông tin dự báo mùa hiện nay cũng cơ bản đáp ứng được phần nào nhu cầu của xã hội. Tuy nhiên, dự báo các yếu tố cực đoan như: số ngày nắng nóng, rét đậm, … cần được được quan tâm, nhấn mạnh và nâng cấp.

Gần đây, phát triển của công nghệ máy tính đã cho phép thực hiện được nhiều tính toán phức tạp hơn, giúp ích nhiều cho các lĩnh vực ứng dụng. Thuật toán về trí tuệ nhân tạo (Aritificial Inteligence; AI), máy học (Learning Machine; LM) có điều kiện thuận lợi để ứng dụng trong các lĩnh vực khác nhau [1–2]. Khoa học khí hậu cũng cần những thuật toán hiện đạicho phân tích dữ liệu [3–7]. Các thuật toán AI, LM hay mạng thần kinh nhân tạo (Artificial Neural Network; ANN) cho phép giải được các quan hệ phi tuyến, khắc phục được các nhược điểm của hồi qui tuyến tính truyền thống. Từ đó, các thuật giải AI, LM, ANN gia tăng cơ hội, tìm kiếm được các tín hiệu có ích, khai thác cho việc xây dựng bài toán dự báo. Một số những ứng dụng của AI, LM, hay mạng thần kinh nhân tạo (Artificial Neural Network; ANN) cũng

đã thu được những thành tựu nhất định. Ví dụ, [4] đã sử dụng NNs để hiệu chỉnh dự báo của mô hình khí quyển tại vị trí trạm quan trắc. Một số nghiên cứu khác đã ứng dụng NNs để tìm tương tự các hình thế qui mô lớn của khí quyển có thể gây ra sự kiện thời tiết cực đoan [8–10], nâng cấp tham số hóa trong mô hình số [11]. Tại Việt Nam, một số những nghiên cứu đã ứng dụng NNs trong dự báo khí tượng thủy văn như: dự báo lưu lượng nước, dòng chảy [12]. Tuy nhiên, hầu như chưa có nghiên cứu thử nghiệm dự báo số ngày nóng với thời hạn khí hậu. Cách tiếp cận, có thể sử dụng mô hình dự báo động lực [13], hoặc sử dụng các quan hệ thống kê với nhân tố dự báo là các dao động khí hậu qui mô lớn như ENSO (*El Niño–Southern Oscillation*). Đã có những nghiên cứu chỉ ra quan hệ giữa ENSO và biến động của các đợt nắng nóng tại các nước ở Bán Đảo Đông Dương, trong đó có Việt Nam [14]. Cụ thể, điều kiền El Niño xuất hiện sẽ làm tăng cường hệ thống dòng giáng dẫn tới điều kiện khô hạn, thiếu mưa góp phần làm gia tăng nắng nóng ở khu vực bán đảo Đông Dương. Đây có thể là cơ sở quan trọng đề xuất xây dựng một phương án dự báo mùa số ngày nắng nóng khu vực Việt Nam dựa trên chỉ số liên quan đến ENSO. Mặt khác, do thời hạn dự báo xa, sản phẩm dự báo từ các mô hình động lực cũng trở nên kém hiệu quả hơn với hạn dự báo khí hậu. Việc sử dụng các thuật toán ANN cung cấp thêm một cách tiếp cận dự báo là điều cần thiết. Những chủ đề nghiên cứu về vấn đề này, cần được thực hiện nhiều hơn. Trong nghiên cứu này, thuật toán ANN được sử dụng để phân tích với dữ liệu đầu vào là các chỉ số dao động khí hậu qui mô lớn liên quan đến ENSO, để thử nghiệm dự báo số ngày nóng trên lãnh thổ Việt Nam.

2. Số liệu và phương pháp

2.1. Khu vực nghiên cứu



Hình 1. Lãnh thổ Việt Nam và mạng lưới trạm quan trắc (chấm tròn). Các phân vùng khí hậu: Tây Bắc Bộ (R1), Đông Bắc Bộ (R2), Đồng Bằng Bắc Bộ (R3), Bắc Trung Bộ (BTB), Nam Trung Bộ (NTB), Tây Nguyên (TN) và Nam Bộ (NB).

Hình 1 trình bày các vùng khí hậu trên lãnh thổ Việt Nam (bao gồm cả quần đảo Hoàng Sa và Trường Sa) và mạng lưới trạm quan trắc. Các kết quả phân tích trong nghiên cứu chủ

yếu tập trung vào khu vực đất liền, nên trong các hình vẽ sau đây sẽ không hiển thị Quần đảo Hoàng Sa và Trường Sa.

2.2. Số liệu

a. Số liệu quan trắc

Nghiên cứu sử dụng dữ liệu nhiệt độ ngày cực đại quan trắc tại các trạm quan trắc trên lãnh thổ Việt Nam để xác định số ngày nắng nóng (SNN). Dữ liệu được thu thập từ Trung tâm Dự báo Khí tượng Thủy văn quốc gia, Việt Nam. Có khoảng gần 200 trạm quan trắc trên toàn lãnh thổ Việt Nam. Tuy nhiên, nhiều trạm vị trí tại khu vực núi cao nơi hầu như không có SNN. Vì vậy, nghiên cứu chỉ thực hiện phân tích, tính toán với 77 trạm quan trắc trong thời kỳ 1981–2020 (40 năm).

b. Các chỉ số khí hậu

Số liệu các chỉ số ENSO đã được tính toán và cung cấp tại website của Trung tâm quốc gia dự báo môi trường Hoa Kỳ (NCEP) như mô tả trong Bảng 1. Các chỉ số liên quan đến ENSO được sử dụng làm điều kiện đầu vào (nhân tố dự báo) để xây dựng mô hình hồi qui thống kê.

Bảng 1. Các chỉ số khí hậu dùng làm nhân tố dự báo.

TT	Ký hiệu chỉ số	Thông tin chỉ số
1	Niño1+2	Chỉ số SST vùng Niño 1+2 (0–10S, 90W–80W) https://www.psl.noaa.gov/data/correlation/NINO1.data
2	Niño3	SST vùng nhiệt đới Đông Thái Bình Dương (5N–5S, 150W–90W) https://www.psl.noaa.gov/data/correlation/NINO3.data
3	Niño3.4	Chỉ số SST vùng Niño 3.4 (5N–5S, 170E–120W) https://www.psl.noaa.gov/data/correlation/NINO34.data
4	Niño4	Chỉ số SST vùng Niño 4 (5N–5S, 160E–150W) https://www.psl.noaa.gov/data/correlation/NINO4.data
5	MEIV2	Chỉ số ENSO đa biến https://psl.noaa.gov/data/correlation/meiv2.data
6	CENSO	Chỉ số ENSO kết hợp https://psl.noaa.gov/data/correlation/censo.data
7	ONI	Chỉ số Niño Đại Dương https://www.psl.noaa.gov/data/correlation/oni.data
8	SOI	Chỉ số dao động Nam https://www.psl.noaa.gov/data/correlation/soi.data

2.3. Định nghĩa ngày nắng nóng

Có nhiều cách định nghĩa về ngày nắng nóng (SNN), một số nghiên cứu trước đây đã sử dụng ngưỡng phân vị 90th hoặc 97,5th của giá trị nhiệt độ cực đại để xác định [15–19]. Trong nghiên cứu này, SNN được định nghĩa dựa trên quy định của TTDBQG. Ngày nắng nóng được định nghĩa như là ngày có nhiệt độ cực đại lớn hơn hoặc bằng 35oC. Số ngày nắng nóng trong một mùa, là tổng số những ngày thỏa mãn điều kiện bên trên.

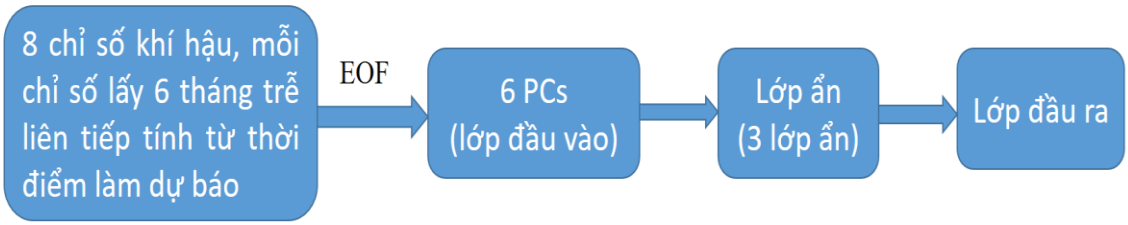
2.4. Phân tích thành phần chính và mạng thần kinh nhân tạo

Phương pháp phân tích thành phần chính được sử dụng để tối giản thông tin trường ban đầu. Trong phương trình (1), trường ban đầu F(x,t) – là các bộ chỉ số dao động khí hậu liên quan đến ENSO như mô tả trong bảng 1. Trong đó, x – là chiều không gian đại diện cho 8 chỉ số, mỗi chỉ số được lấy trễ 6 tháng, và t – là chiều thời gian theo năm. Như vậy, kích cỡ dữ liệu của các chỉ số dao động khí hậu là 1920 = 8 (chỉ số) x 6 (tháng trễ) x 40 (năm).

$$F(x, t) = EOF1 \times PC1 + EOF2 \times PC2 + \ldots + EOFn \times PCn \quad (1)$$

Mạng thần kinh nhân tạo (*Artificial Neural Network – ANN*) đã được ứng dụng trong nhiều lĩnh vực khác nhau. ANN hoạt động dựa trên cơ chế mô phỏng giống như hoạt động của não bộ. Cấu trúc mạng bao gồm 1 lớp đầu vào, 1 lớp đầu ra, ở giữa có thể có 1 lớp hoặc nhiều lớp ẩn. Giữa các lớp và các neuron được liên kết với nhau bằng hàm truyền phi tuyến. Mạng ANN cho phép giải được các bài toán có cấu trúc dữ liệu phức tạp hơn so với các thuật giải tuyến tính truyền thống.

Cấu trúc mạng ANN trong nghiên cứu này gồm 1 lớp đầu vào, 3 lớp ẩn, và lớp đầu ra. Các hệ số PC (6 PC) được cập nhật vào lớp đầu vào sau khi sử dụng phân tích thành phần chính (EOF) phân tích 8 chỉ số khí hậu. Các lớp ẩn (3 lớp) gồm 6 nodes, 3 nodes và 6 nodes tương ứng với mỗi lớp. Việc lựa chọn 3 lớp ẩn vào số nodes tuần tự là 6, 3, 6 thông qua quá trình thực nghiệm (quá trình học cấu trúc).



Hình 3. Cấu trúc mạng ANN.

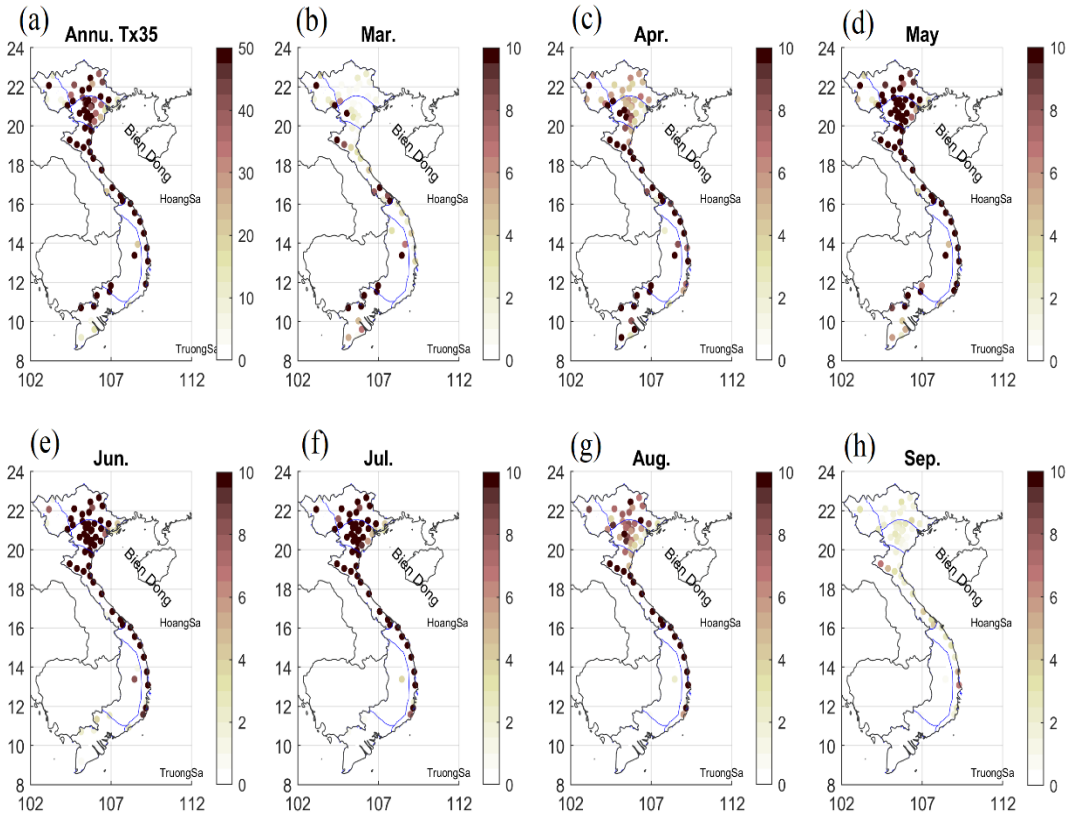
2.5. Đánh giá dự báo

Phương pháp đánh giá dự báo dựa trên một số đặc trưng thống kê. Hệ số tương quan (Pearson correlation) để đánh giá xu hướng dao động của 2 chuỗi dữ liệu: tương quan dương – 2 chuỗi dữ liệu dao động đồng pha, tương quan âm – 2 chuỗi dữ liệu dao động ngược pha. Độ chính xác (Accuracy, %), nếu quan trắc ở pha trên chuẩn (dưới chuẩn), và dự bão ở pha trên chuẩn (dưới chuẩn) thì được tính là dự báo đúng và ngược lại. Độ chính xác, được ứng dụng cho dự báo 2 pha và 3 pha. Dự báo được gọi là có kỹ năng khi độ chính xác tối thiểu vượt qua dự báo ngẫu nhiên.

3. Kết quả

3.1. Phân bố của SNN trên lãnh thổ Việt Nam

Hình 4 chỉ ra SNN được lấy trung bình khí hậu theo tháng và năm trên toàn lãnh thổ Việt Nam. Kết quả cho thấy, SNN trung bình năm cao nhất tại khu vực R_4 và R_5. SNN bắt đầu xuất hiện sớm nhất ở các tỉnh phía nam như Tây Nguyên (R_6) và Nam Bộ (R_7) trong tháng 3, tiếp theo sau là các tỉnh phía bắc (R_1) và miền Trung (R_4, R_5) trong tháng 4, và các tỉnh Đông Bắc (R_1) và Đồng Bằng Bắc Bộ (R_3) trong tháng 5. SNN hầu hết xuất hiện từ tháng 3 đến tháng 5 tại khu vực R_6 và R_7, trong tháng 5 đến tháng 9 tại khu vực R_2 đến R_5, và tháng 4 đến tháng 9 tại khu vực R_1. Xuất hiện của SNN tại khu vực R_6 và R_7 liên quan đến thời kỳ mùa khô và bức xạ trực tiếp của mặt trời gây ra nhiệt độ cao và độ ẩm thấp, trong khi trong những khu vực còn lại, nắng nóng được qui cho hiệu ứng Phơn. Sự xuất hiện sớm của nắng nóng trong vùng R1 có thể do ảnh hưởng của áp thấp Nam Á.

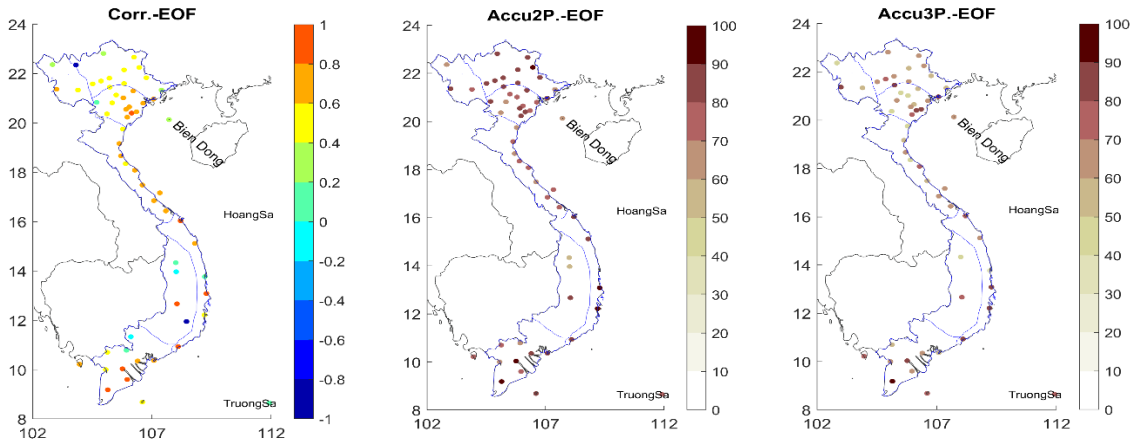


Hình 4. Giá trị khí hậu của SNN theo năm (a) và tháng (b–h, tháng 3 đến tháng 9).

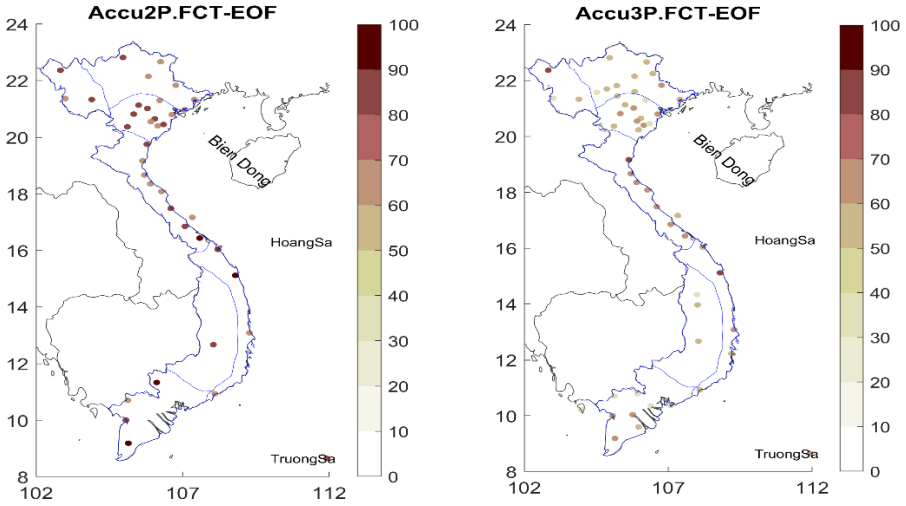
3.2. Kết quả đánh giá dự báo mùa tháng 4–5–6

Trong nghiên cứu này, chúng tôi chỉ thực hiện dự báo thử nghiệm với mùa tháng 4 đến tháng 6 đối với SNN. Như đã phân tích ở trên, đây là thời điểm trong năm mà nắng nóng xuất hiện trên toàn lãnh thổ Việt Nam. Khu vực Tây Nguyên, Nam Bộ, nắng nóng xuất hiện trong giai đoạn từ tháng 3 đến tháng 5. Trong khi các tỉnh Bắc Bộ và Trung Bộ, nắng nóng gia tăng và mở rộng trong tháng 5 và tháng 6. Để đánh giá kỹ năng dự báo của mô hình thống kê, chúng tôi sử dụng hệ số tương quan, độ chính xác 2 pha và 3 pha như đã trình bày ở mục 2.5.

Hình 5 trình bày kết quả đánh giá dự báo trên dữ liệu phụ thuộc giai đoạn 1981–2015. Kết quả cho thấy, hệ số tương quan phổ biến nhận giá trị dương trong khoảng 0,4–0,6 ở khu vực các tỉnh Bắc Bộ và Trung Bộ (đến Huế), trong khi phần các tỉnh Nam Trung Bộ, Tây Nguyên và Nam Bộ tín hiệu tương quan yếu hơn. Tương quan dương cao tương đương với khả năng dự báo được xu thế tăng/giảm của mô hình thống kê. Độ chính xác dự báo 3 pha có xu hướng tương tự như hệ số tương quan, chủ yếu chỉ mạnh ở phần Bắc và Trung Bộ. Trong khi đó, dự báo 2 pha có xu hướng phân bố đều hơn trên toàn lãnh thổ Việt Nam. Chú ý rằng, với đánh giá dự báo pha (2, 3 pha), chỉ các trạm có chất lượng dự báo vượt qua dự báo ngẫu nhiên (trên 50% với 2 pha, và trên 30% với 3 pha) được hiển thị. Như vậy, với dự báo 3 pha trên chuỗi số liệu phụ thuộc, khu vực Nam Trung Bộ, Tây Nguyên và Nam Bộ không có kỹ năng dự báo (dự báo thấp hơn dự báo ngẫu nhiên). Hình 6 trình bày độ chính xác dự báo 2 pha và 3 pha, nhưng trên số liệu độc lập (2016–2020). Nhìn chung, xu thế cũng tương tự như xu thế dự báo trên số liệu phụ thuộc. Kỹ năng dự báo vượt qua dự báo ngẫu nhiên trong cả 2 pha và 3 pha trên hầu hết các bộ phận phía bắc đất nước (Bắc Bộ, Bắc Trung Bộ), trong khi bộ phận các tỉnh phía nam cho thấy dự báo ít kỹ năng hơn. Kết quả cho thấy những tiềm năng dự báo nhất định đối với SNN khu vực các tỉnh Bắc và Trung Bộ.



Hình 5. Hệ số tương quan (trái), độ chính xác dự báo 2 pha (%, giữa), và độ chính xác dự báo 3 pha (%, phải) tính toán trên số liệu phụ thuộc giai đoạn 1981–2015. Với độ chính xác 2, 3 pha, chỉ những giá trị vượt qua dự báo ngẫu nhiên được hiển thị.



Hình 6. Độ chính xác dự báo 2 pha (%, trái), và độ chính xác dự báo 3 pha (%, phải) tính toán trên số liệu độc lập giai đoạn 2016–2020. Chỉ những giá trị vượt qua dự báo ngẫu nhiên được hiển thị.

4. Kết luận

Bài báo trình bày kết quả phân tích phân bố của hiện tượng nắng nóng, được đặc trưng bởi SNN trong năm trên phạm vi toàn lãnh thổ Việt Nam. Kết quả chỉ ra rằng, SNN gia tăng mạnh ở khu vực Tây Nguyên, Nam Bộ trong thời kỳ khoảng tháng 3 đến tháng 5; ở các tỉnh Bắc Bộ và Trung Bộ trong thời kỳ từ khoảng tháng 4 đến tháng 8. SNN xuất hiện nhiều nhất ở khu vực các tỉnh miền Trung, đặc biệt ở Bắc và Trung Trung Bộ. Bên cạnh đó, nghiên cứu cũng trình bày một số kết quả dự báo thử nghiệm SNN trong mùa tháng 4 đến tháng 6 tại các khu vực trên phạm vi lãnh thổ Việt Nam. Nghiên cứu đã ứng dụng phương pháp sử dụng mạng thần kinh nhân tạo với các nhân tố dự báo là các chỉ số dao động khí hậu qui mô lớn có liên quan đến hiện tượng ENSO. Kết quả cho thấy, dự báo có kỹ năng cho các khu vực thuộc phần các tỉnh Bắc Bộ và Bắc Trung Bộ, trong khi các tỉnh thuộc phần phía nam như Tây Nguyên, Nam Bộ, Nam Trung Bộ cho kỹ năng yếu.

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

Lời cảm ơn: Bài báo hoàn thành nhờ vào kết quả của nhiệm vụ "Nghiên cứu ứng dụng các chỉ số dao động khí hậu quy mô lớn vào dự báo khí hậu cho Việt Nam", mã số: TNMT.2021.02.05.

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. Gers, F.A.; Schmidhuber, J.; Cummins, F. Learning to forget: Continual prediction with LSTM. *Neural Comput.* **2000**, *12(10)*, 2451–2471.
2. Hochreiter, S., & Schmidhuber, J. Long short-term memory. *Neural Comput.* **1997**, *9(8)*, 1735–1780.
3. Larraondo, P.R.; Renzullo, L.J.; Inza, I.; Lozano, J.A. A data-driven approach to precipitation parameterizations using convolutional encoder-decoder neural networks. *ArXiv* **2019**. http://arxiv.org/abs/1903.10274.
4. Rasp, S.; Pritchard, M.S.; Gentine, P. Deep learning to represent subgrid processes in climate models. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 2018, 115(39), 9684–9689.
5. Rodrigues, E.R.; Oliveira, I.; Cunha, R.; Netto, M. (). Deep Downscale: A deep learning strategy for high-resolution weather forecast. 2018 IEEE 14th International Conference on e-Science Amsterdam, Netherlands: IEEE. 2018, pp. 415–422. https://doi.org/10.1109/eScience.2018.00130.
6. Ruder, S. An overview of multi-task learning in deep neural networks. *ArXiv* **2017**. http://arxiv.org/abs/1706.05098.
7. Scher, S.; Messori, G. Weather and climate forecasting with neural networks: Using GCMs with different complexity as study-ground. *Geosci. Model Dev. Discuss.* **2019**, *12*, 2797–2809.
8. Kurth, T.; Treichler, S.; Romero, J.; Mudigonda, M.; Luehr, N.; Phillips, E.; ... Houston, M. Exascale deep learning for climate analytics. In SC18: International Conference for High Performance Computing, Networking, Storage and Analysis, IEEE 2018, pp. 649–660.
9. Lagerquist, R.; McGovern, A.; Gagne II, D.J. Deep learning for spatially explicit prediction of synoptic-scale fronts. *Weather Forecasting* **2019**, *34*(4), 1137–1160.
10. Liu, Y.; Racah, E.; Correa, J.; Khosrowshahi, A.; Lavers, D.; Kunkel, K.; ... Collins, W. Application of deep convolutional neural networks for detecting extreme weather in climate datasets. 2016. arXiv preprint arXiv:1605.01156.
11. Brenowitz, N.D.; Bretherton, C.S. Prognostic validation of a neural network unified physics parameterization. *Geophys. Res. Lett.* **2018**, *45(12)*, 6289–6298.
12. Quận, N.V. và cs. Nghiên cứu ứng dụng mạng thần kinh nhân tạo trong dự báo lưu lượng nước đến hồ chứa Cửa Đạt. *Tạp chí khoa học và công nghệ thủy lợi* **2017**, *39*, 1–7.
13. Khiêm, M.V và cs. Nghiên cứu xây dựng hệ thống nghiệp vụ dự báo khí hậu hạn mùa cho Việt Nam bằng các mô hình động lực. Báo cáo tổng kết đề tài mã số KC.08.01/16–20, 2019.
14. Lin, L.; Chen, C.; Luo, M. Impacts of El Niño–Southern Oscillation on heat waves in the Indochina peninsula. *Atmos. Sci. Lett.* **2018**, *19*, e856. https://doi.org/10.1002/asl.856.
15. Anderson, G.B.; Bell, M.L. Heat waves in the United States: mortality risk during heat waves and effect modification by heat wave characteristics in 43 US communities. *Environ. Health. Perspect.* **2011**, *119(2)*, 210–218.
16. Lau, N.C.; Nath, M.J. Model simulation and projection of European heat aves in present–day and future climates. *J. Clim.* **2014**, *27(10)*, 3713–3730.

17. Luo, M.; Lau, N.C. Heat waves in southern China: Synoptic behavior, long–term change, and urbanization effects. *J. Clim.* **2017**, *30(2)*, 703–720.
18. Smith, T.T.; Zaitchik, B.F.; Gohlke, J.M. Heat waves in the United States: definitions, patterns and trends. *Clim. Change* **2013**, *118(3)*, 811–825.
19. Teng, H.; Branstator, G.; Wang, H.; Meehl, G.A.; Washington, W. M. Probability of US heat waves affected by a subseasonal planetary wave pattern. *Nat. Geosci.* **2013**, *6(12)*, 1056–1061.

Predictability of hot day number over Vietnam by the artificial neural network

Ta Huu Chinh[1*], Hoang Phuc Lam[2], Vu Van Thang[1], Truong Ba Kien[1]

[1] Vietnam Institute of Meteorology Hydrology and Climate change; chinhth2010@gmail.com; kien.cbg@gmail.com; vvthang26@gmail.com;
[2] Vietnam National Center for Hydro–Meteorlogy Forecasting; lamhpvn@gmail.com

Abstract: The analysis with data on hot day numbers (HDN) performed over Vietnam show that, HDN occur in the Central Highlands and the South during March to May; in the Northern and Central provinces from about April to August. HDN occur in most of the central regions, especially in the North and the Central region. In addition, the study examines the predictability of HDN during April to June using an artificial neural network with predictors of ENSO–related climate indices. The results show that, the forecast is skillful for the regions of the North and North Central provinces, while the southern provinces such as the Central Highlands, the South, and the South Central region show poor skills.

Keywords: Neural network; ENSO; Hot days.

Table of content

1 Sinh, N.P.; Huy. N.T.; Hung, N.T. Automatic calibration of HEC–HMS model using Shuffled Complex Evolution (SCE–UA) algorithm. *VN J. Hydrometeorol*. **2022**, *741*, 1–18.

19 Hiep, H.V.; Tri, H.H.; Cong, N.T.; Truyen, N.G. Study of causes riverbanks erosion: Case study of Tra Vinh Province. *VN J. Hydrometeorol*. **2022**, *741*, 19–28.

29 Quang, N.D.; Son, L.V.; Hai, B.T.; Van, B.T.; Dung, T.T.T. Studying on building inundation maps of Bui basin and its vicinity. *VN J. Hydrometeorol*. **2022**, *741*, 29–41.

42 Khanh, L.H.; Luat, N.Q.; Ly, T.T.T.; Tri, L.H.; Ty, T.V.; Thinh, H.T.G.; Minh, H.V.T. Assessment of the current state of the irrigation system and the ability to meet water requirement from reservoirs in the context of climate change in Tri Ton and Tinh Bien districts, Bay Nui region, An Giang province. *VN J. Hydrometeorol*. **2022**, *741*, 42–56.

57 Hung, N.V.; Truc, L.T.P.; Thanh, D.Q.; Dong, N.P.; Cong, T.T. Building an automatic water quality forecasting system on the channel in Ho Chi Minh City. *VN J. Hydrometeorol*. **2022**, *741*, 57–74.

75 Anh, N.H.; Toan, D.V.; Dinh, M.K.; Anh, N.H.; Thuy, B.T. Building shoreline sensitivity index of Da Nang Bay applying NOAA guidelines on environmental sensitivity index. **2022**, *741*, 75–84.

85 Tung, N.B.; Duc, D.D.; Anh, T.N.; Thuy, N.H.; Nhung, D.T.H.; Nhung, P.T.H.; Cuong, V.M. Assessing the impact of Nuoc Trong reservoir on the downstream of Tra Khuc river in emergency cases. *VN J. Hydrometeorol*. **2022**, *741*, 85–97.

98 Chinh, T.T.; Lam, H.P.; Thang, V.V.; Kien, T.B. Predictability of hot day number over Vietnam by the artificial neural network. *VN J. Hydrometeorol*. **2022**, *741*, 98–105.