

TẠP CHÍ

KHÍ TƯỢNG THỦY VĂN

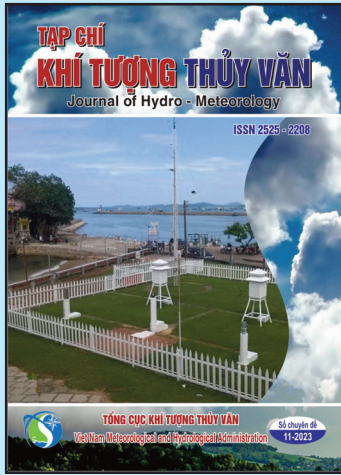
Journal of Hydro - Meteorology

ISSN 2525 - 2208



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

Số chuyên đề
11-2023



Q. TÔNG BIÊN TẬP

PGS. TS. Đoàn Quang Trí

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

Giấy phép xuất bản

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

Tòa soạn

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

Chế bản và In tại:

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

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

Giá bán: 40.000 đồng

TẠP CHÍ KHÍ TƯỢNG THỦY VĂN SỐ 755(1) - 11/2023

MỤC LỤC

Bài báo khoa học

- 1 Nguyễn Hữu Tuấn, Nguyễn Trọng Khanh, Cấn Thu Văn: Mô phỏng và đánh giá mức độ xâm nhập mặn trên hệ thống sông tỉnh Tiền Giang trong bối cảnh biến đổi khí hậu - nước biển dâng
- 11 Nguyễn Văn Hương, Nguyễn Hoàng Minh, Nguyễn Vĩnh An, Trần Thị Thu Thảo: Dự báo thử nghiệm ngư trường khai thác cá ngừ vân (*Katsuwonus pelamis*) ở biển Việt Nam bằng mô hình HSI
- 19 Nguyễn Ngọc Tuấn, Nguyễn Văn Hương, Đỗ Thị Phương Thảo, Nguyễn Thị Thanh Huyền, Cấn Thu Văn: Nghiên cứu chế độ mưa, nhiệt tại vùng biển Vịnh Bắc Bộ từ dữ liệu vệ tinh
- 29 Phạm Thị Minh, Trần Thị Hồng Tường, Hà Anh Đông: Ứng dụng phương pháp trung bình có trọng số hiệu chỉnh quỹ đạo cơn bão Podul 2019
- 43 Nghiêm Văn Tuấn, Đỗ Thị Phương Thảo, Vũ Thị Hiền, Nguyễn Trọng Thế: Ứng dụng công nghệ viễn thám trong giám sát biến đổi độ cao mực nước lưu vực sông ngoài biên giới phục vụ quản lý tài nguyên nước ở Việt Nam trong bối cảnh biến đổi khí hậu
- 56 Hoàng Thị Tố Nữ, Nguyễn Vĩnh An, Nguyễn Hữu Tuấn, Cấn Thu Văn: Mô phỏng và đánh giá khả năng tiêu thoát nước mưa khu vực quận 7 – Thành phố Hồ Chí Minh
- 67 Trần Thị Kim, Phùng Thị Mỹ Diễm, Hoàng Phan Phương Quỳnh, Ngô Nam Thịnh, Lê Thị Kim Thoa: Đánh giá tính dễ tổn thương do xâm nhập mặn đến nông nghiệp ở các tỉnh đồng bằng sông Cửu Long
- 83 Vũ Thị Vân Anh, Phan Thị Thùy Dương, Cấn Thu Văn, Trần Thị Thu Thảo: Đánh giá khả năng đáp ứng nhu cầu nước ở lưu vực sông Ba trong bối cảnh biến đổi khí hậu
- 95 Nguyễn Huy Anh, Trần Văn Trọng, Trần Văn Sơn: Ứng dụng ảnh vệ tinh Landsat 8 đánh giá mức độ khô hạn tại thị xã Buôn Hồ, tỉnh Đắk Lắk
- 107 Nguyễn Văn Hồng, Nguyễn Như Tuệ, Vũ Thị Hiền: Nghiên cứu đánh giá chất lượng nước mặt sông Sài Gòn - Đồng Nai

THƯ NGỎ



Hiệu trưởng
PGS. TS. HUYNH QUYEN
Email: hquyen@hcmunre.edu.vn

Trải qua hơn 45 năm xây dựng và phát triển, Trường Đại học Tài nguyên và Môi trường TP. Hồ Chí Minh (HCMUNRE) đã khẳng định được vị thế trong hệ thống giáo dục đại học đào tạo nguồn nhân lực có trình độ trong lĩnh vực công nghệ, quản lý tài nguyên theo định hướng phát triển bền vững và cùng thế giới ứng phó với các vấn đề biến đổi khí hậu.

Với mục tiêu trở thành một trường đại học đạt chuẩn với sứ mệnh cung cấp nguồn nhân lực chất lượng cao trong lĩnh vực tài nguyên - môi trường, hoạt động đào tạo và nghiên cứu khoa học Nhà trường được định hướng theo triết lý: “**Giáo dục toàn diện - Phát triển bền vững - Hội nhập quốc tế**”. Với phương châm giảng dạy “**Học đi đôi với hành**” dựa trên giá trị cốt lõi: “**Sáng tạo, chất lượng, hiệu quả**”. Nhà trường cam kết luôn đảm bảo một môi trường học tập năng động, hiện đại và sát nhất với thực tế.

Tiếp theo những thành quả việc tổ chức hội thảo khoa học 5 lần trước đó, năm nay HCMUNRE tổ chức hội thảo khoa học lần 6 năm 2023 với chủ đề: “**Quản lý Tài nguyên và Môi trường hướng đến nền kinh tế tuần hoàn và kỹ nguyên số**”. Hội thảo được tổ chức nhằm mục đích: (i) Trao đổi kinh nghiệm và kết quả nghiên cứu giữa các nhà khoa học trong nước và quốc tế, giới thiệu những thành tựu khoa học mới nhằm bảo vệ môi trường, sử dụng hợp lý tài nguyên và ứng phó với biến đổi khí hậu trong thời kỳ cách mạng công nghiệp 4.0; (ii) Hình thành mối liên kết giữa các chuyên gia, nhà khoa học trong và ngoài nước hợp tác nghiên cứu và ứng dụng những công nghệ, kỹ thuật hiện đại trong các lĩnh vực bảo vệ môi trường, quản lý tài nguyên thiên nhiên và ứng phó với biến đổi khí hậu; (iii) Tạo diễn đàn học thuật cho các nghiên cứu sinh, học viên cao học và sinh viên học tập, trao đổi kiến thức, kỹ năng, kinh nghiệm trong nghiên cứu khoa học, công bố những kết quả nghiên cứu mới.

Lĩnh vực “**Khí tượng - Thủy văn - Biến đổi khí hậu và Các giải pháp thích ứng**” là 1 trong 7 lĩnh vực mà hội thảo quan tâm hướng tới. Phân ban là diễn đàn để các nhà khoa học cùng trao đổi các kết quả nghiên cứu liên quan đến khoa học khí hậu - khí tượng, thủy văn, thời tiết cực đoan, các giải pháp thích ứng biến đổi khí hậu, thiên tai có nguồn gốc khí tượng ở Việt Nam. Phân ban đã nhận được 18 bài báo khoa học và 01 giải pháp công nghệ có chất lượng, với hàm lượng khoa học cao. Trong số đó, 10 bài báo có chất lượng nhất đã được lựa chọn để xuất bản trong số đặc san cùng tên thuộc tạp chí Khí tượng Thủy văn - đây là tạp chí chuyên ngành quốc gia có uy tín hàng đầu trong lĩnh vực khí tượng thủy văn thuộc Bộ Tài nguyên và Môi trường đã được Hội đồng Giáo sư Nhà nước chấm 1.0 điểm (Hội đồng Giáo sư ngành Thủy lợi) và 0.75 điểm (Hội đồng Giáo sư liên ngành Khoa học Trái đất - Mỏ). Điều này chứng tỏ những đóng góp về mặt khoa học của các công bố thuộc phân ban là thực sự chất lượng và bổ sung vào thành quả chung của hội thảo lần 6 của Trường.

Các kết quả này là cơ sở khoa học cho việc ứng dụng ở từng địa phương, từng vùng trong công tác thích ứng biến đổi khí hậu nhằm mục tiêu phát triển bền vững đất nước.

Thay mặt lãnh đạo nhà trường, chân thành cảm ơn Ban Biên tập của số Đặc san **Khí tượng - Thủy văn - Biến đổi khí hậu và Các giải pháp thích ứng** thuộc tạp chí Khí tượng Thủy văn đã hỗ trợ nhà trường trong công tác xuất bản số đặc san.

Trân trọng!

HIỆU TRƯỞNG
TRƯỜNG ĐH TÀI NGUYÊN VÀ MÔI TRƯỜNG TP.HCM

PGS.TS. HUYNH QUYEN

Bài báo khoa học

Mô phỏng và đánh giá mức độ xâm nhập mặn trên hệ thống sông tỉnh Tiền Giang trong bối cảnh biến đổi khí hậu - nước biển dâng

Nguyễn Hữu Tuấn¹, Nguyễn Trọng Khanh¹, Cấn Thu Văn^{1*}

¹ Trường Đại học Tài nguyên và Môi trường TP. Hồ Chí Minh; nhtuan@hcmunre.edu.vn; ntkhanh@hcmunre.edu.vn; ctvan@hcmunre.edu.vn

*Tác giả liên hệ: ctvan@hcmunre.edu.vn; Tel.: +84-983738347

Ban Biên tập nhận bài: 5/8/2023; Ngày phản biện xong: 9/10/2023; Ngày đăng bài: 25/11/2023

Tóm tắt: Tiền Giang là tỉnh thuộc vùng đồng bằng sông Cửu Long (ĐBSCL), là hạ nguồn sông Mê Công có 2 cửa sông chảy ra biển nên thường xuyên chịu tác động nặng từ hiện tượng xâm nhập mặn (XMN). Bài báo áp dụng mô hình Mike 11-AD kết hợp công cụ GIS trong việc mô phỏng mức độ XMN trên hệ thống sông tỉnh Tiền Giang theo các kịch bản biến đổi khí hậu – nước biển dâng (BĐKH-NBD). Kết quả mô phỏng độ mặn theo các kịch bản cho thấy diễn biến mặn trên các sông trong tương lai có xu hướng xâm nhập sâu vào nội đồng. Dưới tác động của BĐKH - NBD, mặn có xu thế ăn sâu vào đất liền. Kịch bản RCP4.5, mặn 1^{0/00} có khả năng ăn sâu vào 60-80 km, mặn 2^{0/00} sắp si 55 km, mặn >4^{0/00} sắp si 25 km. Kịch bản RCP8.5, mặn 1^{0/00} có khả năng ăn sâu vào 75-85 km, mặn 2^{0/00} sắp si 60-80 km, mặn > 4^{0/00} sắp si 45-55 km.

Từ khóa: MIKE11; Xâm nhập mặn; Biến đổi khí hậu; Tỉnh Tiền Giang.

1. Giới thiệu

XMN là hiện tượng nước mặn từ biển tràn vào đất liền qua cửa sông, hệ thống sông rạch, kênh mương và gây nhiễm mặn nguồn nước và đất đai chuyển tiếp giữa sông và biển, cũng là một loại hình thiên tai đáng quan tâm tại nước ta. Tỉnh Tiền Giang có vị trí địa lý thuộc vùng ĐBSCL, tiếp giáp biển Đông với chiều dài 40,2 km. Tỉnh Tiền Giang đã trải qua nhiều ảnh hưởng nghiêm trọng trong cấp nước sinh hoạt, nông nghiệp là vào mùa khô, lượng nước từ thượng nguồn đổ về suy giảm lớn cùng với dưới ảnh hưởng của hướng gió mạnh đẩy nước biển lấn sâu vào nội đồng như năm 2011, 2016, 2017, 2020,....

Vào những thập niên 70, bắt đầu xuất hiện phương trình 3D diễn toán quá trình XMN [1-2]. Tuy nhiên, yêu cầu về số liệu và tính toán là vô cùng lớn, công tác kiểm tra đánh giá cũng gặp khó khăn khi yêu cầu về dữ liệu rất nhiều. Với thực trạng này, [3] đã đơn giản hoá bằng cách kết hợp giữa 1D - đáp ứng các yêu cầu về bài toán trong thực tế - và 2D.

Tại Việt Nam, [4] thực hiện dự án xác định ranh mặn theo phương pháp thống kê dữ liệu tại 9 vùng cửa sông ĐBSCL. Với sự phát triển khoa học công nghệ, Bộ Tài nguyên và môi trường, Viện Khí tượng Thủy văn và BĐKH [5] đã xây dựng được kịch bản BĐKH đến năm 2050 dưới tác động nhiều yếu tố đồng thời đưa ra các giải pháp thích ứng với BĐKH và NBD. Ngoài ra, những năm gần đây nhiều dự án, công trình đã phân tích được các yếu tố chính dẫn đến XMN tại vùng ĐBSCL, đồng thời dự báo XMN tại nhiều vị trí trên sông chính theo từng thời kỳ [6-11].

Từ những kết quả nghiên cứu đạt được của các nhà khoa học, [12] đã đánh giá thực trạng XMN tỉnh Bến Tre vào các năm 2010 và 2016 và mô phỏng diễn biến mặn lớn nhất theo kịch bản BĐKH đến năm 2050. Đặng Hoàng Lam và nhóm nghiên cứu đã xây dựng phương án

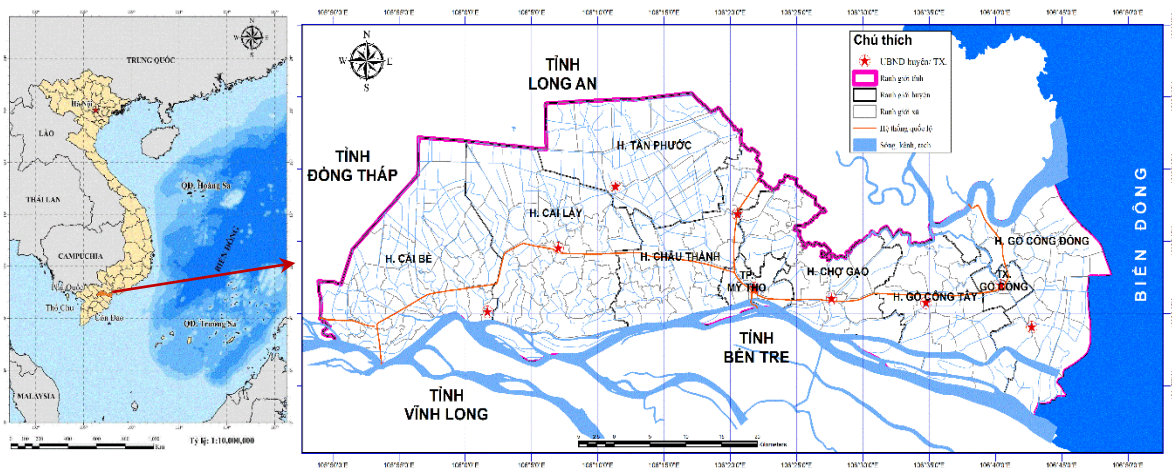
dự báo XNM áp dụng tại Đài khí tượng thủy văn tỉnh Bến Tre góp phần hoàn thiện bản tin dự báo XNM thời hạn 10 ngày và thời hạn tháng [13].

Nghiên cứu này đánh giá mức độ xâm nhập mặn tỉnh Tiền Giang được giới hạn trên từ đoạn sông Cầu Mỹ Thuận đến giới hạn dưới cửa ra là cửa Tiểu trên địa bàn tỉnh Tiền Giang, áp dụng số liệu mặn năm 2016, năm 2020 mô phỏng XNM với kịch bản ĐKH RCP4.5, RCP8.5 đến năm 2030.

2. Số liệu sử dụng và phương pháp nghiên cứu

2.1. Khu vực nghiên cứu

Tỉnh Tiền Giang trải dài từ 105049'07" đến 106048'06" kinh độ Đông và ở bờ phải sông Tiền với chiều dài trên 120 km, Tiền Giang có diện tích tự nhiên là 2.556,4 km², chiếm khoảng 6% diện tích tự nhiên vùng ĐBSCL [14]. Địa hình tương đối bằng phẳng với độ dốc nhỏ hơn 1% và cao trình mặt đất dao động từ 0,30-1,60 m so với mốc Hòn Dấu. Nhiệt độ trung bình tháng tại trạm Mỹ Tho giai đoạn 1980-2020 dao động từ 24,8-28,6°C, tháng IV là nóng nhất. Ngược lại, tổng lượng bốc hơi lại có sự khác biệt rõ rệt giữa các tháng trong năm. Tổng lượng mưa bình quân năm của tỉnh đạt từ 1.295,3-1.525,6 mm, lượng mưa tập trung từ tháng V-XI và cao nhất tại tháng VIII-X với lượng mưa trung bình khoảng 150,1-297,2 mm. Trong năm, triều cao nhất thường xuất hiện vào tháng XII-I năm sau, mực nước đỉnh triều trung bình khoảng +1,3 m đến +1,4 m. Mưa phân bố không đều theo không gian kết hợp với thời đoạn mưa góp phần tạo nên hiện tượng XNM nghiêm trọng trên địa bàn tỉnh [15].



Hình 1. Bản đồ hành chính tỉnh Tiền Giang.

Tại trạm Vàm Kênh, trước năm 2010 độ mặn quanh năm lớn hơn 4 g/l, tháng IX và X độ mặn dao động từ 2,5-4,0 g/l, cao nhất dao động từ 20-25 g/l xuất hiện vào tháng IV hằng năm. Tuy nhiên từ 2014 đến 2020, độ mặn có xu hướng gia tăng, đặc biệt là mùa khô, độ mặn trung bình dao động từ 10-20 g/l.

2.2. Giới thiệu về mô hình MIKE 11

Với trình độ phát triển như hiện nay, XNM được nghiên cứu và đánh giá mức độ xâm nhập qua nhiều loại mô hình, trong nghiên cứu này, kết quả tính toán mô phỏng được áp dụng bằng mô hình MIKE 11 (HD, AD) - được nghiên cứu và phát triển bởi Viện thủy lực Đan Mạch - phương trình Saint Venant 1D được sử dụng trong mô hình này [21-22].

Phương trình liên tục:

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial A}{\partial t} = q \quad (1)$$

Phương trình động lượng:

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial(\alpha \frac{Q^2}{A})}{\partial x} + gA \frac{\partial h}{\partial x} + \frac{gQ|Q|}{C^2AR} = 0 \tag{2}$$

Phương trình truyền tải - khuếch tán:

$$\frac{\partial AC}{\partial t} + \frac{\partial QC}{\partial x} - \frac{\partial}{\partial x} \left(AD \frac{\partial C}{\partial x} \right) = -AKC + C_2q \tag{3}$$

Trong đó Q là lưu lượng (m³/s); A là diện tích mặt cắt (m²); q là lưu lượng nhập lưu trên một đơn vị chiều dài dọc sông (m²/s); C là hệ số Chezy; α là hệ số sửa chữa động lượng; R là bán kính thủy lực (m); C là nồng độ (kg/m³); D là hệ số khuếch tán. Để đánh giá chất lượng so sánh kết quả hiệu chỉnh mô hình, nghiên cứu đã sử dụng 03 chỉ số NSE, RSR và PBIAS để đánh giá chất lượng tính toán và thực đo [23–26], được tính toán theo các công thức (4).

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (X_{iTD} - X_{iTT})^2}{\sum_{i=1}^n (X_{iTD} - \bar{X}_{iTD})^2}$$

$$PBIAS = \frac{\sum_{i=1}^n (X_{iTD} - X_{iTT}) \times 100}{\sum_{i=1}^n X_{iTD}} \tag{4}$$

$$RSR = \frac{RMSE}{STDEV_{obs}} = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n (X_{iTD} - X_{iTT})^2}}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (X_{iTD} - \bar{X}_{iTD})^2}}$$

Trong đó XTD là giá trị thực đo; \bar{X}_{iTD} là giá trị trung bình thực đo, XTT là giá trị tính toán, n là số lượng giá trị thực đo.

Bảng 1. Tiêu chí đánh giá chất lượng các chỉ số.

Xếp loại	NSE	RSR	PBIAS (%)
Rất tốt	0,75 < NSE ≤ 1	0 ≤ RSR ≤ 0,5	PBIAS < ±10
Tốt	0,65 < NSE ≤ 0,75	0,5 ≤ RSR ≤ 0,6	±10 ≤ PBIAS < ±15
Đạt yêu cầu	0,5 < NSE ≤ 0,65	0,6 ≤ RSR ≤ 0,7	±15 ≤ PBIAS < ±25
Không đạt	NSE ≤ 0,5	RSR > 0,7	PBIAS ≥ ±25

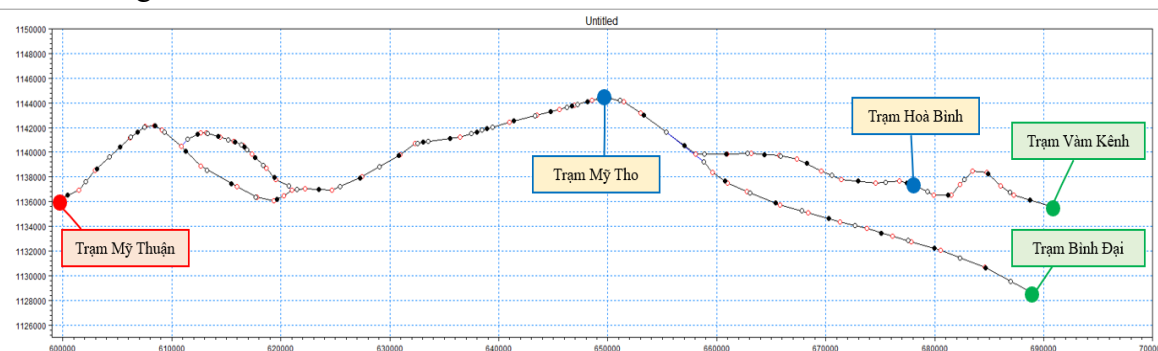
2.3. Số liệu sử dụng

Số liệu dùng để phục vụ nghiên cứu tính toán mô phỏng thủy lực (MIKE 11HD) là số liệu thời đoạn giờ như sau:

- Biên lưu lượng nước: Trạm Mỹ Thuận.
- Biên dưới mực nước: Trạm Vàm Kênh và trạm Bình Đại.
- Hiệu chỉnh và kiểm định thủy lực: Trạm Mỹ Tho và Hoà Bình.
- Thời gian hiệu chỉnh từ 01/I/2016 đến 31/XII/2016.
- Thời gian kiểm định từ 01/I/2020 đến 31/XII/2020.

Số liệu dùng để phục vụ nghiên cứu tính toán lan truyền mặn (MIKE 11AD) là số liệu thời đoạn giờ như sau:

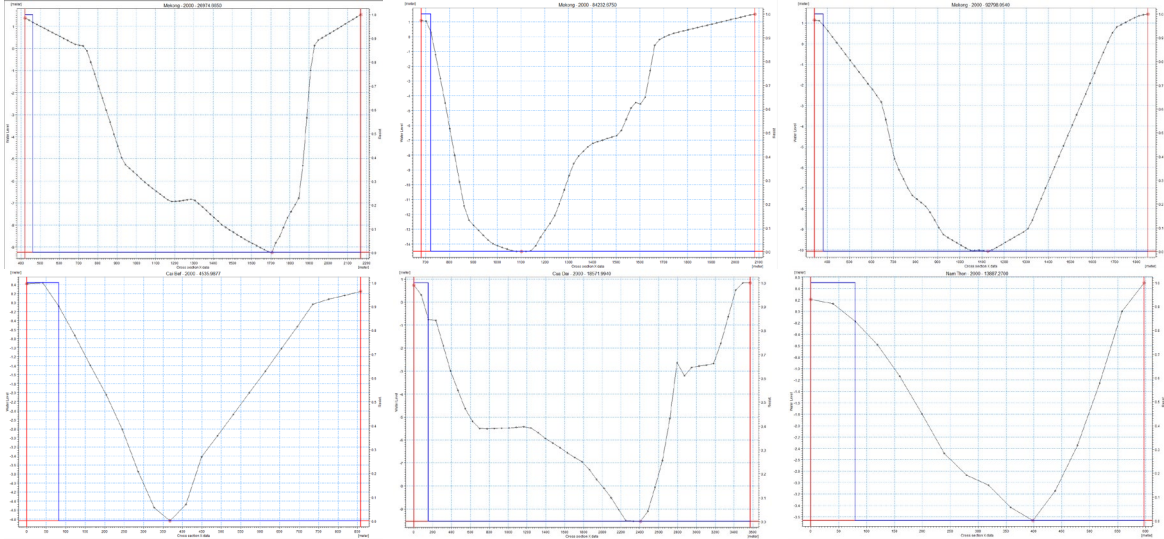
- Biên mặn tại trạm Vàm Kênh, Bình Đại.
- Hiệu chỉnh, kiểm định tại trạm Mỹ Tho và Hoà Bình.
- Thời gian hiệu chỉnh từ 01/I/2016 đến 30/VI/2016.
- Thời gian kiểm định từ 01/I/2020 đến 30/VI/2020.



Hình 2. Sơ đồ khối nghiên cứu lan truyền mặn.

2.4. Thiết lập mô hình

Hệ thống mạng lưới thủy lực của mô hình được thiết lập trong mô hình MIKE 11 với 01 biên lưu lượng phía thượng lưu - trạm Mỹ Thuận và 02 biên mực nước tại phía hạ lưu tại trạm Vàm Kênh và Bình Đại. Để phục vụ tính toán mô phỏng, nghiên cứu này đã sử dụng 142 mặt cắt đại hình trên sông Tiền Giang, sông Cửa Tiểu, sông Cửa Đại để thiết lập sơ đồ thủy lực trong mô hình MIKE 11 [27] (Hình 3).



Hình 3. Một số mặt cắt trong mô hình MIKE 11.

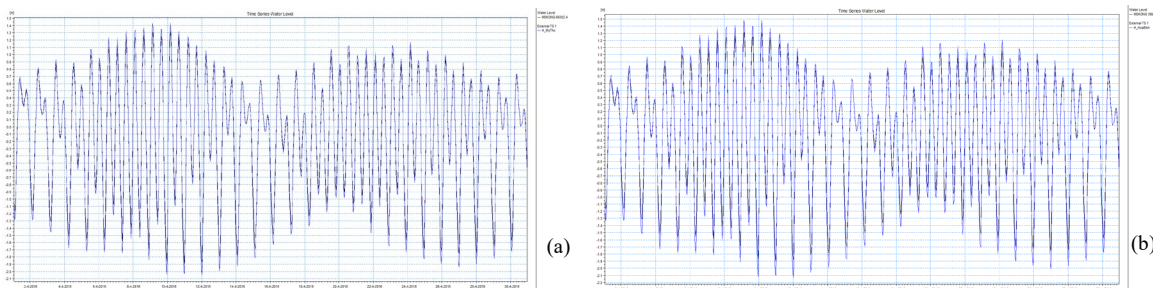
2.5. Kịch bản biến đổi khí hậu

Nghiên cứu áp dụng kịch bản BĐKH RCP4.5 và RCP8.5 với thay đổi của yếu tố NBD đối với khu vực nghiên cứu theo kịch bản BĐKH năm 2020 của Bộ Tài nguyên và Môi trường đã đưa ra cái nhìn tương tận về sự thay đổi trong thế kỷ XXI tại Việt Nam. Tiền Giang nằm trong khu vực Mũi Kê Gà - Mũi Cà Mau, giá trị nước biển dâng theo kịch bản RCP4.5 vào năm 2030 là 7-17 cm và giá trị mực nước biển dâng được chọn dùng để mô phỏng là 12 cm. Giá trị nước biển dâng theo Kịch bản RCP8.5 năm 2030 là 10-18 cm và giá trị mực nước biển dâng được chọn dùng để mô phỏng là 14 cm [28].

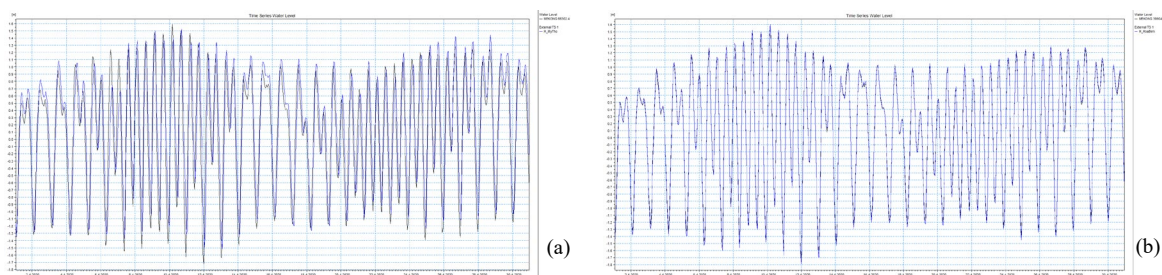
3. Kết quả và thảo luận

3.1. Hiệu chỉnh và kiểm định mô hình thủy lực

Quá trình hiệu chỉnh và kiểm định mô hình thủy lực sử dụng chuỗi số liệu thực đo trong thời gian năm 2016 và 2020 tại hai trạm Hoà Bình và Mỹ Tho để so sánh giữa số liệu thực đo và tính toán, mô phỏng từ mô hình. Kết quả đánh giá vào tháng IV năm 2016 và năm 2020 chỉ số Nash dao động từ 0,89-0,94 và hệ số tương quan R^2 dao động từ 0,90-0,97 đạt kết quả tốt. Kết quả mô hình cho thấy bộ thông số có thể áp dụng cho quá trình tính toán XNM.



Hình 4. Kết quả hiệu chỉnh H tính toán và thực đo tháng IV/2016 tại trạm (a) Mỹ Tho, (b) Hoà Bình.



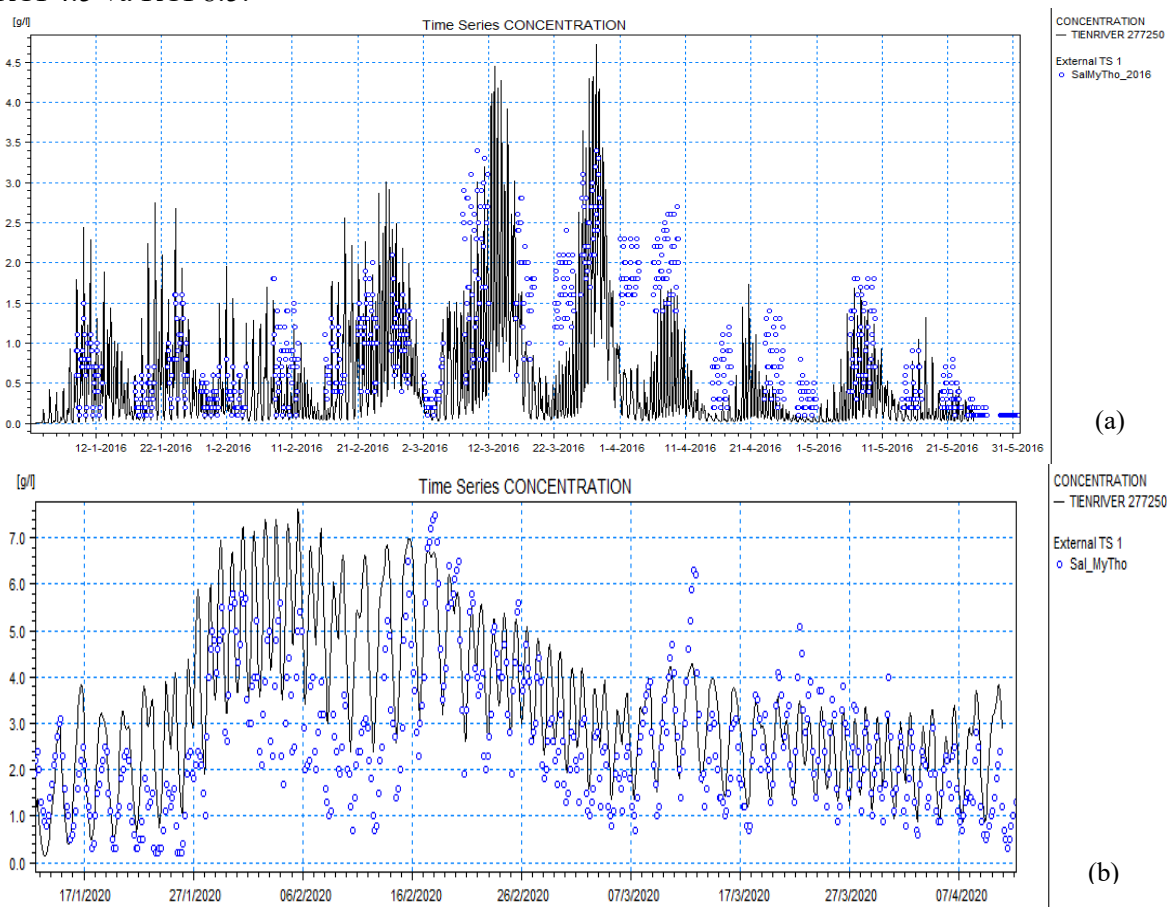
Hình 5. Kết quả kiểm định H tính toán và thực đo tháng IV/2016 tại trạm (a) Mỹ Tho, (b) Hoà Bình.

Bảng 2. Kết quả đánh giá sai số hiệu chỉnh và kiểm định mô hình thủy lực.

Quá trình	Năm	Chỉ tiêu	Hoà Bình	Mỹ Tho	Đánh giá
Hiệu chỉnh	IV/2016	Nash	0,90	0,95	Rất tốt
		R ²	0,92	0,97	Rất tốt
Kiểm định	IV/2020	Nash	0,89	0,94	Rất tốt
		R ²	0,90	0,96	Rất tốt

3.2. Hiệu chỉnh và kiểm định mô hình truyền tải - khuếch tán

Sau khi hiệu chỉnh và kiểm định mô hình thủy lực, bộ thông số tìm được tiếp tục sử dụng để mô phỏng tính toán quá trình truyền tải khuếch tán trong sông. Nghiên cứu sử dụng số liệu quan trắc mặn thời kỳ mùa kiệt trong hai năm 2016 và 2020 để phục vụ cho quá trình hiệu chỉnh và kiểm định mô hình. Kết quả hiệu chỉnh và kiểm định giữa số liệu tính toán và thực đo độ mặn lớn nhất tại trạm Mỹ Tho. Kết quả đánh giá hiệu chỉnh và kiểm định đạt kết quả tốt, vậy nên, bộ thông số HD và AD được sử dụng để mô phỏng cho các kịch bản BĐKH RCP4.5 và RCP8.5.



Hình 6. Kết quả (a) hiệu chỉnh, (b) kiểm định độ mặn tính toán và thực đo tại trạm Mỹ Tho thời kỳ mùa kiệt năm 2016 và 2020.

Bảng 3. Kết quả đánh giá sai số hiệu chỉnh và kiểm định mô hình truyền tải khuếch tán.

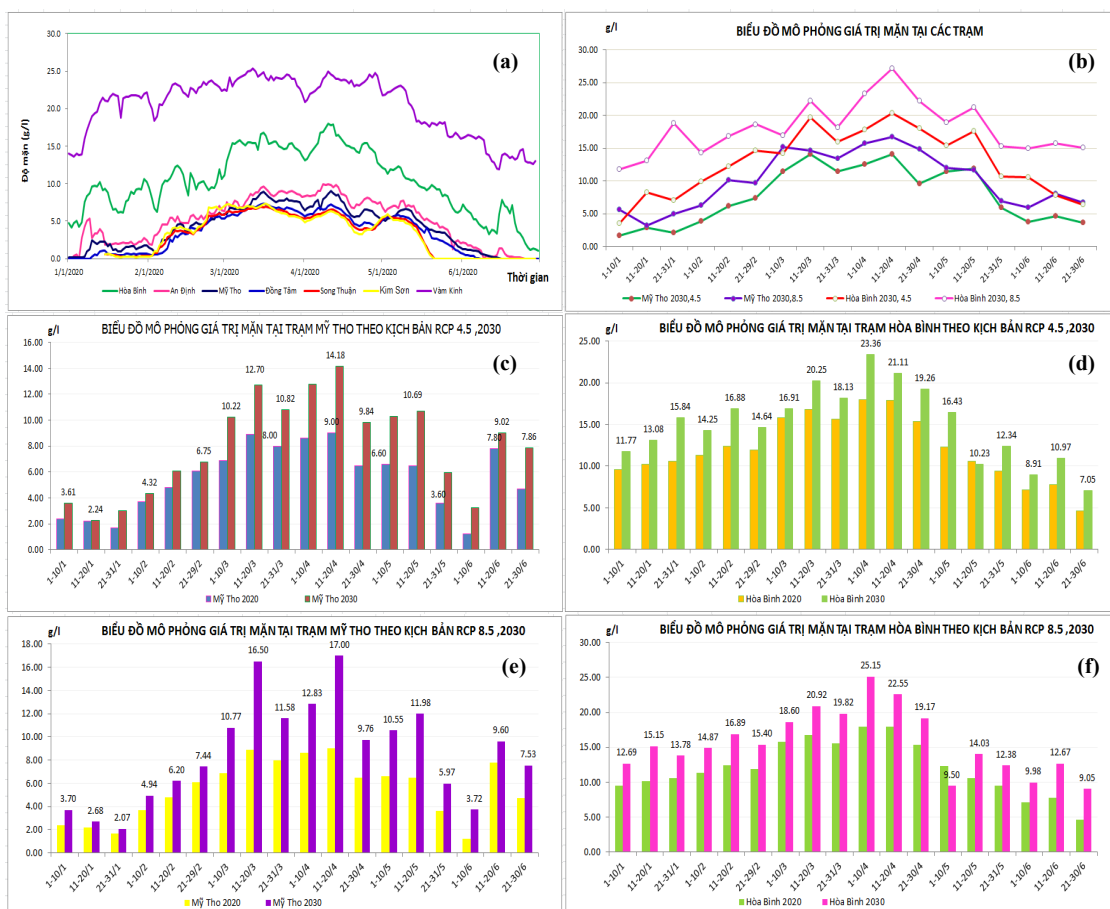
Quá trình	Năm	Chỉ tiêu	Mỹ Tho	Đánh giá
Hiệu chỉnh	I-VI/2016	Nash	0,67	Tốt
		RSR	0,55	Tốt
		PBIAS	12,3	Tốt
Kiểm định	I-VI/2020	Nash	0,72	Tốt
		RSR	0,58	Tốt
		PBIAS	13,7	Tốt

3.3. Kết quả mô phỏng XNM theo kịch bản BĐKH

Kết quả mô phỏng được trình bày chi tiết ở bảng 4, hình 7-8.

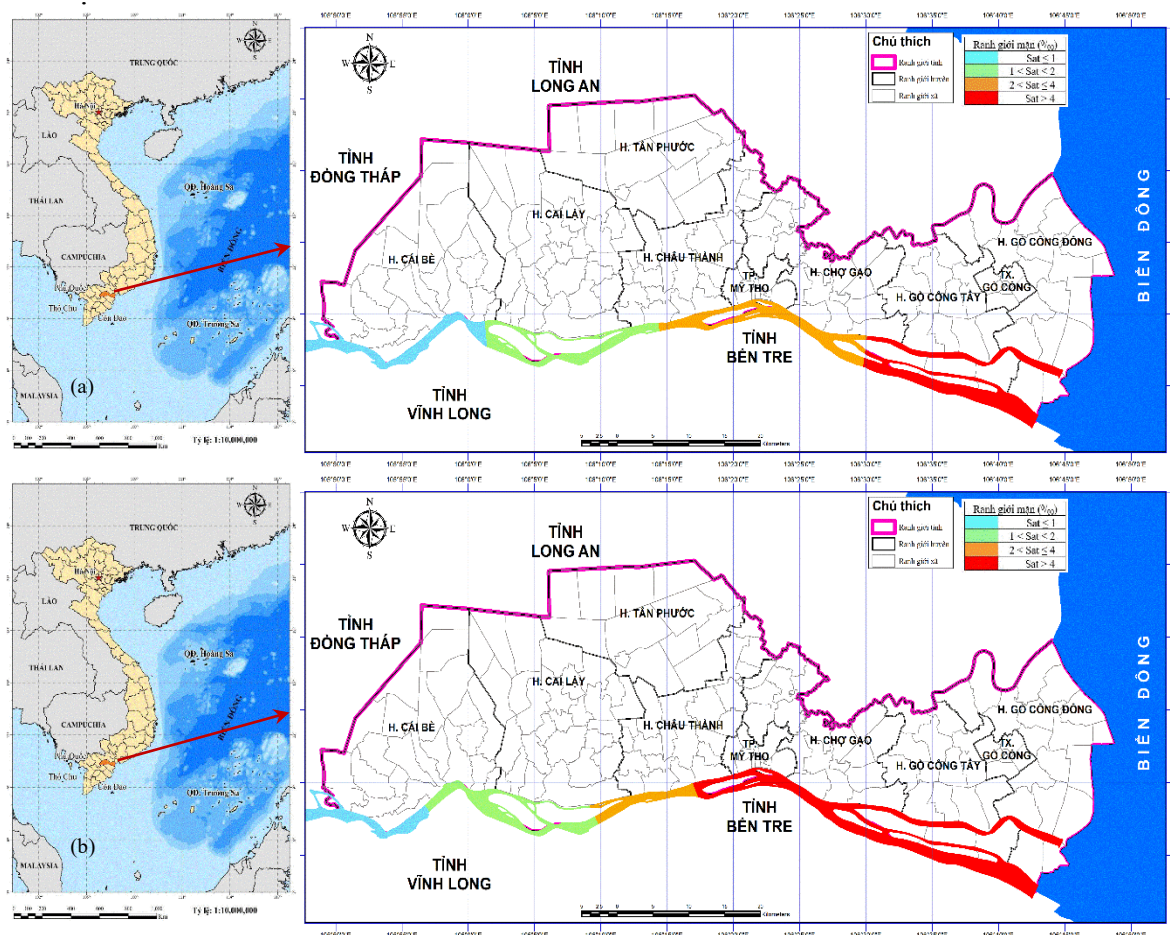
Bảng 4. Kết quả mô phỏng vị trí các ranh mặn theo kịch bản RCP4.5 và RCP8.5 năm 2030.

Kịch bản	Độ mặn	Khoảng cách	Địa danh bị ảnh hưởng (huyện, xã)
RCP4.5	1 ⁰ /00	60-80 km	Xã Song Thuận, Long Hưng, Vĩnh Kim, Bình Trưng, Bàn Long - huyện Châu Thành.
	2 ⁰ /00	55 km	Xã Ngũ Hiệp, Tân Phong - huyện Cai Lậy
	> 4 ⁰ /00	25 km	Xã Bình Đức - huyện Châu Thành
RCP8.5	1 ⁰ /00	78-80 km	Xã Tam Bình, Mỹ Long, Long Tiên, Bình Phú – huyện Cai Lậy
	2 ⁰ /00	60-68 km	Xã Song Thuận, Long Hưng, Vĩnh Kim, Bình Trưng, Bàn Long, Kim Sơn, Phú Phong - huyện Châu Thành. Xã Ngũ Hiệp, Tân Phong - huyện Cai Lậy.
	> 4 ⁰ /00	45-55 km	Xã Xuân Đông, Hoà Định, Bình Ninh - huyện Chợ Gạo. Xã Thới Sơn, xã Tây Mỹ Chánh, P. Tân Long, P1, P9 - TP. Mỹ Tho



Hình 7. Kết quả (a) Đường quá trình diễn biến mặn năm 2020 tại các trạm; (b) Phân bố nồng độ mặn lớn nhất tại trạm Mỹ Tho và Hoà Bình theo kịch bản BĐKH RCP 4.5 và RCP 8.5; (c), (d), (e) và (f) Biểu đồ so sánh mặn thực đo và tính toán trạm Mỹ Tho và trạm Hoà Bình năm 2030 theo kịch bản BĐKH RCP4.5 và RCP8.5.

Kết quả mô phỏng các kịch bản BĐKH và NBD đến năm 2030 cho thấy khả năng mặn theo dòng chảy mực nước biển tăng cao vào sâu trong đất liền qua các năm hoàn toàn có thể xảy ra với cường độ lớn. Độ mặn ảnh hưởng đến khu vực nghiên cứu không chỉ thay đổi theo thời gian mà theo không gian. Nghiên cứu tiến hành nghiên cứu đánh giá mức độ XNM vào nội đồng tại các khoảng: $< 1^0/00$, $1^0/00 - 2^0/00$, $2^0/00 - 4^0/00$ và $> 4^0/00$, kết quả cho ta thấy rằng trong điều kiện biến đổi khí hậu hiện nay và cả trong tương lai, mặn có thể xuất hiện sớm, lấn sâu và lan rộng là điều khó dự đoán trước được. Mức độ chỉ số mặn trên $4^0/00$ đã lấn sâu vào toàn bộ khu vực tỉnh Tiền Giang và có thể gây những thiệt hại to lớn đối với người dân trên địa bàn tỉnh.



Hình 8. Bản đồ ranh mặn lớn nhất theo kịch bản BĐKH (a) RCP4.5, (b) RCP8.5 đến năm 2030.

- Độ mặn $> 4^0/00$, chiều sâu mặn xâm nhập có sự khác biệt rõ rệt giữa 2 kịch bản, RCP4.5 khoảng 25km ảnh hưởng tới 1 phần huyện Chợ Gạo, RCP8.5 khoảng 45-55 km ảnh hưởng tới 1 phần huyện Châu Thành dọc sông Tiền.

- Độ mặn $2^0/00 - 4^0/00$, KB RCP4.5 khoảng 30 km ảnh hưởng từ huyện Chợ Gạo đến huyện Châu Thành, RCP8.5 khoảng 13-15km ảnh hưởng từ huyện Châu Thành đến 1 phần huyện Cai Lậy.

- Độ mặn $1^0/00 - 2^0/00$, KB RCP4.5 khoảng 5-25 km ảnh hưởng từ huyện Châu Thành đến huyện Cai Lậy, RCP8.5 khoảng 12 km ảnh hưởng từ huyện Cai Lậy đến 1 phần huyện Cái Bè.

Qua các kết quả đánh giá và mô phỏng mặn trên hệ thống sông tỉnh Tiền Giang, nhận thấy rằng hiện tượng XNM sẽ diễn ra ngày càng phức tạp và tiến sâu hơn vào nội đồng. Ảnh hưởng nghiêm trọng đến nguồn nước cấp cho nhà máy nước Bình Đức và Đồng Tâm, dẫn đến tình trạng thiếu nguồn nước cấp cho sinh hoạt của các hộ dân thuộc các huyện Châu Thành, TP. Mỹ Tho và các huyện giáp biển Đông.

4. Kết luận

Nghiên cứu đã ứng dụng mô hình toán MIKE11 1D trong việc mô phỏng, tính toán và đánh giá mức độ XNM trên hệ thống sông tỉnh Tiền Giang. Kết quả hiệu chỉnh và kiểm nghiệm mô hình HD và AD đều đạt kết quả tốt, cho thấy rằng bộ thông số có thể dùng để mô phỏng các kịch bản bất thường có thể xảy ra trong tương lai. Bên cạnh đó, nghiên cứu cũng đã áp dụng công cụ viễn thám thành lập bản đồ ranh mặn $1^{0/00}$, $2^{0/00}$, và $4^{0/00}$ theo các kịch bản BĐKH. Nghiên cứu chỉ mới dừng lại ở việc mô phỏng, tính toán trên dòng sông chính sông Tiền tại tỉnh Tiền Giang, mà chưa xem xét đến sự suy giảm lưu lượng nước từ thượng lưu, sự nhập lưu khu giữa và cũng như ảnh hưởng của các công trình/ dự án tại tỉnh. Vì vậy, việc đưa các điều kiện vào mô hình sẽ giúp kết quả tính toán, mô phỏng đạt chất lượng cao.

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

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

Tài liệu tham khảo

1. Harleman, D.R.F. One dimensions estuarine modeling an assessment, Tracor, Inc, Project 16070DVZ, Water Quality Office, U.S Environmental Protection Agency, Stock No. 5501-0129, U.S Government Printing, Office, Washington, DC, 1971.
2. Prichard, D. The dynamic structure of a coastal plain estuary. *J. Mar. Res.* **1971**, *15*, 33–42.
3. Leendertee. Aspect of a computational model for long period water wave propagation, RM - RC-5294, Rand Corp, Santa Monica, California. 1971.
4. Khuê, N.N. Modelling of tidal propagation and salinity intrusion in the Mekong main estuarine system. Technical paper, Mekong Secretariat, 1986.
5. Viện Khoa học Khí tượng Thủy văn và Môi trường. Dự án “Đánh giá tác động của BĐKH lên tài nguyên nước và các biện pháp thích ứng”, 2010.
6. Trung tâm Thâm định-Tư vấn Tài nguyên nước, Cục Quản lý Tài nguyên nước. Đề tài cấp nhà nước “Nghiên cứu cơ sở khoa học xác định nguyên nhân, đề xuất giải pháp ứng phó với xâm nhập mặn trong điều kiện Biến đổi khí hậu ở vùng đồng bằng sông Cửu Long”, 2012-2013.
7. Khuê, N.N. Nghiên cứu về đặc điểm xâm nhập mặn của ĐBSCL. Viện Khoa học Thủy lợi Miền Nam, 1994.
8. Niên, N.A.; Lân, N.V. Nghiên cứu xâm nhập mặn ở Việt Nam. Viện Khoa học Thủy lợi Miền Nam, 1999.
9. Sâm, L. Dự án Khảo sát điều tra chua mặn ĐBSCL, Viện Khoa học Thủy lợi miền Nam, Bộ NN&PTNT, 1993-2000.
10. Viện Khoa học Thủy lợi Miền Nam. Đề tài độc lập cấp nhà nước KC08-18 Nghiên cứu xâm nhập mặn phục vụ phát triển kinh tế-xã hội vùng ven biển Đồng bằng sông Cửu Long, 2001-2004.
11. Viện Khoa học Thủy lợi Miền Nam. Đề tài độc lập cấp nhà nước Nghiên cứu đề xuất các giải pháp KHCN phục vụ xây dựng hệ thống đê biển, đê ngăn mặn cửa sông Nam Bộ, 2002.
12. Đào, N.V.; Bình, P.T.T. Đánh giá thực trạng và tác động của biến đổi khí hậu đến xâm nhập mặn tỉnh Bến Tre. *Tap chí Khí tượng Thủy văn* **2019**, *700*, 12–22.
13. Lam, Đ.H.; Định, N.P.; Sỹ, N.V. Xây dựng Phương án dự báo xâm nhập mặn trên các sông chính của tỉnh Bến Tre. *Tap chí Khí tượng Thủy văn* **2023**, *747*, 37–53. doi: 10.36335/VNJHM.2023(747).37-53.
14. Tỉnh Tiền Giang. Công thông tin điện tử tỉnh Tiền Giang. 2019. Trục tuyến: <http://tiengiang.gov.vn/chi-tiet-tin/?/gioi-thieu-ve-tien-giang/11243313>.

15. Tuấn, P.H.Q.; Tùng, N.B.; Trí, Q.Đ.; Anh, T.N.; Nhật, N.V. Nghiên cứu đánh giá tác động của ngập lụt tỉnh Tiền Giang. *Tap chí Khí tượng Thủy văn* **2022**, 740(1), 11–23. doi:10.36335/VNJHM.2022(2022(1)).11-23.
16. Doan, Q.T.; Nguyen, C.D.; Chen, Y.C.; Pawan, K.M. Modeling the influence of river flow and salinity intrusion in the Mekong River estuary, Vietnam. *Lowland Technol. Int.* **2014**, 16(1), 14–25.
17. Doan, Q.T.; Quach, T.T.T. Effect of climate change on the salinity intrusion: case study Ca river basin, Vietnam. *Int. J. Clim. Change* **2016**, 2(1), 91–101.
18. Doan, Q.T.; Tran, H.T. Adaptation to Climate Change on the Saltwater Intrusion in Estuaries. LAP LAMBERT Academic Publishing, OmniScriptum GmbH & Co. KG, BahnhofstraBe 28, 66111 Saarbrücken Germany, 2017, pp. 60.
19. Luong, P.T. Luận văn cao học “Nghiên cứu ứng dụng mô hình MIKE 11 tính toán xâm nhập mặn hạ lưu sông Cã dưới tác động của biến đổi khí hậu”. 2019, tr. 94.
20. Tran, H.T.; Hoang, V.D.; Doan, Q.T. Application Couple Model in Saltwater Intrusion Forecasting in Estuary. LAP LAMBERT Academic Publishing, OmniScriptum GmbH & Co. KG, BahnhofstraBe 28, 66111 Saarbrücken Germany, 2017, pp. 124.
21. DHI. MIKE 11 Reference Manual, 2007.
22. Shooshtari, M.M. Principles of flow in open channels. Shahid Chamran University Press **2008**, 15(2), 643–745.
23. Nash, J.E.; Sutcliffe, J.V. River flow forecasting through conceptual models: part I - A discussion of principles. *J. Hydrol.* **1970**, 10(3), 282–290.
24. Greenberg, D.A.; Blanchard, W.; Smith, B.; Barrow, E. Climate Change, Mean Sea Level and High Tides in the Bay of Fundy. *Atmosphere-Ocean* **2012**, 50(3), 261–276. Doi:10.1080/07055900.2012.668670.
25. Islam, A.S.; Bala, S.K.; Haque, M.A. Flood inundation map of Bangladesh using MODIS time-series images. *J. Flood Risk Manage.* **2010**, 3, 210–222.
26. McCuen, R.H.; Knight, Z.; Cutter, A.G. Evaluation of the Nash-Sutcliffe efficiency Index. *J. Hydrol. Eng.* **2006**, 11, 597–602.
27. Nguyễn Thị Tuyết, 2018, Nghiên cứu đánh giá sự biến đổi dòng chảy mặt và xâm nhập mặn vùng ĐTM dưới tác động của hệ thống đê bao và đề xuất các biện pháp quản lý; Đề tài cấp Bộ Tài nguyên và Môi trường mã số TNMT.2016.05.10.
28. Kịch bản biến đổi khí hậu và nước biển dâng năm 2020. Bộ Tài nguyên và Môi trường, 2020.

Modeling and Assessing the Salinity Intrusion Level in the River System of Tien Giang Province in the Context of Climate Change and Rising Sea Levels

Nguyen Huu Tuan¹, Nguyen Trong Khanh¹, Can Thu Van^{1*}

¹ Ho Chi Minh City University of Natural Resources and Environment;
nhtuan@hcmunre.edu.vn; nt Khanh@hcmunre.edu.vn; ctvan@hcmunre.edu.vn

Abstract: Tien Giang is a province located in the Mekong Delta region, where the Mekong River originates and has two river mouths flowing into the sea, making it frequently vulnerable to the phenomenon of saltwater intrusion (SWI). This article applies the Mike 11-AD model in conjunction with GIS tools to simulate the level of SWI in the river system of Tien Giang province under the conditions of the RCP4.5 and RCP8.5 climate change scenarios. The results of hydraulic model calibration and validation indicate a high degree of similarity in phase and amplitude of water level oscillations between calculated and measured data during the dry seasons of 2016 and 2020. The simulation results of salinity

levels under various climate change scenarios and sea-level rise (SLR) scenarios reveal a trend of increased salinity intrusion into the inland areas of the rivers. Under the influence of climate change and sea-level rise, there is a tendency for saltwater to penetrate deeper into the interior. In the RCP4.5 scenario, SWI with a salinity of 1⁰/₀₀ has the potential to intrude up to 60-80 km, while 2⁰/₀₀ salinity approaches approximately 55 km, and salinity levels > 4⁰/₀₀ encroach to around 25 km. In the RCP8.5 scenario, SWI with a salinity of 1⁰/₀₀ is capable of advancing up to 75-85 km inland, 2⁰/₀₀ salinity reaches approximately 60-80 km, and salinity levels > 4⁰/₀₀ extend to around 45-55 km.

Keywords: MIKE11; Saline Intrusion; Climate Change; Tien Giang Province.

Bài báo khoa học

Dự báo thử nghiệm ngư trường khai thác cá ngừ vằn (*Katsuwonus pelamis*) ở biển Việt Nam bằng mô hình HSI

Nguyễn Văn Hương¹, Nguyễn Hoàng Minh¹, Nguyễn Vĩnh An², Trần Thị Thu Thảo^{2*}

¹ Viện nghiên cứu hải sản; nvhuong0509@gmail.com; nhminh10@gmail.com

² Trường Đại học Tài nguyên và Môi trường TP.HCM; nvan@hcmunre.edu.vn; ttthao@hcmunre.edu.vn

*Tác giả liên hệ: nvhuong0509@gmail.com; Tel.: +84-982513247

Ban Biên tập nhận bài: 8/9/2023; Ngày phản biện xong: 12/10/2023; Ngày đăng bài: 25/11/2023

Tóm tắt: Mô hình HSI (*Habitat Suitability Index*) dự báo vùng phân bố cho mỗi loài sinh vật nào đó dựa trên các “khoảng giá phù hợp” của yếu tố môi trường đối với đời sống của các loài sinh vật đó. Đối với mô hình HSI dự báo ngư trường khai thác cá ngừ vằn ở vùng biển Việt Nam ở nghiên cứu này đã sử dụng các yếu tố môi trường bề mặt biển bao gồm nhiệt độ, độ muối, chlorophyll a, tốc độ dòng chảy và độ cao bề mặt biển tính toán chỉ số thích ứng sinh thái SI và thiết lập mô hình dự báo năng suất khai thác cá ngừ vằn theo các ô biển có độ phân giải 0,5x0,5 độ kinh vĩ. Kết quả phân tích chỉ số SI cho thấy, cá ngừ vằn phân bố ở vùng có SST dao động từ 21,5 đến 31,0°C, SSS từ 30,5 đến 34,5‰. Trong đó, cá ngừ vằn tập trung cao nhất ở vùng biển có SST trong khoảng từ 28,5 đến 29,5°C, SSS trong khoảng 33,0-33,4‰, Chl-a trong khoảng 0,1-0,2 mg/m³, SSH trong khoảng 0,6-0,9 m và Cur_sp trong khoảng 10-100 cm/s. Kết quả dự báo thử nghiệm ngư trường khai thác cá ngừ vằn cho năm 2020 cho thấy, trong vụ cá bắc ngư trường khai thác cá ngừ vằn cao tập trung chủ yếu ở khu vực từ Côn Đảo đến quần đảo Trường Sa và khu vực từ quần đảo Hoàng Sa đến giữa Biển Đông. Trong vụ cá nam, tập trung chủ yếu khu vực vùng biển Miền Trung và một phần xa bờ thuộc vùng biển Đông Nam Bộ.

Từ khóa: Chỉ số thích ứng sinh thái; Cá ngừ vằn; Năng suất khai thác.

1. Mở đầu

Mô hình HSI (*Habitat Suitability Index*) là thích ứng sinh thái được sử dụng rộng rãi trong dự báo vùng phân bố cho nhiều loài động vật ở cả ở trên bờ cũng như dưới nước. Mô hình này sử dụng các “khoảng giá trị thuận” (*optimal*) của yếu tố môi trường đối với đời sống của các loài sinh vật. Những giá trị này được xem như “chỉ số thích ứng” SI (*Suitability Index*) để có thể xác định tập tính di cư, phân bố của các loài sinh vật đó để từ đó đưa ra được các dự báo, đánh giá về vùng tập trung, phân bố của đối tượng nghiên cứu. Đối với nghề cá mô hình này đã được sử dụng để dự báo các vùng đánh bắt tiềm năng đối với cá ngừ mắt to và cá thu Nhật Bản ở khu vực biển Đông Trung Hoa [1–2]. Ở Việt Nam mô hình này đã được sử dụng để dự báo thử nghiệm cho đối tượng cá nỏ nhỏ [3].

Cá ngừ vằn (*Katsuwonus pelamis*) thuộc họ cá Thu Ngừ (*Scombridae*), là một trong những loài có giá trị kinh cao trên thế giới. Theo số liệu thống kê của FAO, 1995, tổng sản lượng khai thác cá ngừ nói chung của 80 nước trên thế giới đạt khoảng 4 triệu tấn/năm, trong đó cá ngừ vằn chiếm tỉ lệ cao nhất khoảng 50% tổng sản lượng [4]. Ở Việt Nam, cá ngừ vằn là đối tượng có sản lượng khai thác rất cao và là đối tượng chính nghề lưới rê và lưới vây ở vùng biển xa bờ Miền Trung và Đông Nam Bộ [5]. Đây là đối tượng cá kinh tế có tiềm năng rất lớn cho sự phát triển của nghề cá xa bờ ở nước ta hiện nay.

Hiện tại, ở Việt Nam việc dự báo ngư trường khai thác cá ngừ vằn đã được thử nghiệm với mô hình hồi quy tuyến tính và được đánh giá tốt [5–9]. Tuy nhiên, để có kết quả dự báo tốt hơn nữa nhằm đáp ứng nhu cầu sản xuất khai thác hiệu quả của ngư dân thì việc mở rộng nghiên cứu áp dụng các mô hình dự báo tiên tiến trên thế giới cho đối tượng này ở vùng biển Việt Nam là rất cần thiết. Vì vậy, trong bài báo này sẽ nghiên cứu thử nghiệm mô hình HSI kết hợp với kỹ thuật GIS dự báo thử nghiệm ngư trường khai thác cá ngừ vằn ở vùng biển nước ta.

2. Phương pháp nghiên cứu và tài liệu thu thập

2.1. Nguồn số liệu

Số liệu năng suất khai thác cá ngừ vằn (CPUE) được lấy từ nguồn số liệu sổ nhật kí khai thác nghề cá trong giai đoạn từ năm 2014 đến 2020. Sổ nhật kí khai thác nghề cá được ngư dân ghi sổ nhật kí các mẻ lưới khai thác hàng ngày, gửi về các chi cục khai thác ở các tỉnh ven biển và được nhập vào cơ sở dữ liệu (CSDL) nghề cá.

Dữ liệu hải dương được khai thác từ dữ liệu viễn thám và được tính trung bình theo tháng từ tháng 1/2014 đến tháng 12/2020 với ô lưới 0,5×0,5 độ kinh vĩ bao gồm các yếu tố tầng mặt: nhiệt độ nước biển (SST), độ muối (SSS), hàm lượng chlorophyll a (Chl-a), tốc độ dòng chảy (Cur_spd) và độ cao bề mặt biển (SSH).

2.2. Phương pháp phân tích xử lý số liệu

2.2.1. Thu thập và tính toán số liệu

Năng suất khai thác cá ngừ vằn: $CPUE=C/f$, trong đó C (kg) - sản lượng khai thác cá ngừ vằn, f (giờ) - số ngày khai thác trong ô lưới [10]. Đây là đại lượng được dự báo, định lượng cho ngư trường khai thác.

Các yếu tố hải dương môi trường biển bao gồm: nhiệt độ, độ muối, độ đục, ôxy hòa tan, dòng chảy... và biến động của những yếu tố này cũng có ảnh hưởng trực tiếp/gián tiếp đến sự phân bố và tập tính di cư của cá [6, 9, 11–16]. Việc nghiên cứu, xác định mối tương quan giữa chúng có thể thiết lập được mô hình dự báo nguồn lợi cá. Trong nghiên cứu ngư trường khai thác nguồn lợi cá ngừ vằn, mô hình HSI phân tích đánh giá, xác định định lượng sự biến động của yếu tố môi trường biển đối với sự phân bố của cá ngừ vằn. Nghiên cứu này đã lựa chọn các 5 yếu tố môi trường biển đã nêu ở mục 2.1 phân tích xác định các chỉ số phù hợp (SI) để thiết lập mô hình HSI và dự báo thử nghiệm năng suất khai thác cá ngừ vằn hạn tháng cho năm 2020.

Đồng bộ dữ liệu CPUE và các môi trường: Các dữ liệu CPUE và 5 yếu tố môi trường biển được phân tích, tính toán trung bình tháng từ 1/2014 đến 12/2019 và được đồng bộ theo ô lưới 0,5x0,5 độ kinh vĩ. Các ô này được mã hóa về tên ô lưới, tọa độ trung tâm ô lưới, CPUE và các yếu tố môi trường tương ứng [3, 17].

2.2.2. Phương pháp xác định bộ chỉ số SI và thiết lập mô hình HSI

Mô hình HSI dự báo nguồn lợi cá biển dựa trên việc phân tích mối quan hệ của từng yếu tố môi trường biển với sự phân bố của nguồn lợi cá để xác định các khoảng giá trị phù hợp (SI) của từng yếu tố SST, Chl-a, SSH... với cá biển [1–3, 18]. Việc tính toán chỉ số SI của mỗi yếu tố môi trường với sự phân bố cá ngừ vằn sẽ đưa ra được bộ chỉ số phù hợp giữa chúng. Chỉ số SI được xác định theo công thức:

$$SI_k = \frac{T_CPUE_k}{T_CPUE_{max}}, k = 1..N \quad (1)$$

Trong đó T_CPUE_k là tổng giá trị CPUE tương ứng cho khoảng dao động thứ k ($k = 1..N$); T_CPUE_{max} là tổng giá trị CPUE lớn nhất.

Các giá trị SI_k tính toán được sẽ dao động trong khoảng từ 0 đến 1,0 tương ứng với mức độ phân tán hay tập trung của cá ngừ vằn. Việc dự báo mức độ tập trung cao của cá ngừ vằn theo từng yếu tố môi trường sẽ được phân mức tương ứng theo chỉ số SI đã tính toán được (bảng 1) và chỉ số SI được gọi là chỉ số phù hợp của từng yếu tố môi trường đối với cá ngừ vằn [1–3, 18–19].

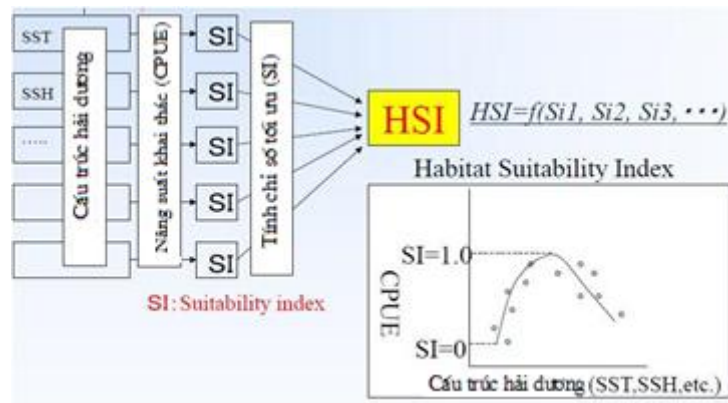
Bảng 1. Phân mức CPUE cá ngừ vằn tương ứng với giá trị SI của từng yếu tố môi trường.

Phân mức chỉ số SI	Mức CPUE
0,0-0,2	Rất thấp
0,2-0,4	Thấp
0,4-0,6	Trung bình
0,6-0,8	Cao
0,8-1,0	Rất cao

Dựa trên các số thích ứng sinh thái SI được tính toán theo cặp giữa năng suất khai thác cá ngừ vằn với từng yếu tố môi trường, mô hình HSI được thiết lập theo các mô hình mô hình trung bình số học (AMM):

Mô hình trung bình số học (AMM):
$$HSI = (SI_1 + SI_2 + SI_3 + \dots + SI_n)/n \quad (2)$$

Mô hình HSI được thực hiện theo quy trình cụ thể như hình 1.



Hình 1. Quy trình xây dựng mô hình HSI dự báo ngư trường khai thác cá ngừ vằn.

Kết quả dự báo năng suất khai thác cá ngừ vằn ở biển Việt Nam dựa trên giá trị HSI tính toán được theo mô hình (1). Kết quả này sẽ đưa ra được mức CPUE dự báo dựa trên tổng thể các giá trị SI của từng yếu tố môi trường và việc phân mức dự báo sẽ được chia theo Bảng 2.

Bảng 2. Phân mức CPUE cá ngừ vằn theo giá trị HSI của tổng thể các yếu tố môi trường.

Phân mức chỉ số HSI	Mức CPUE (kg/ngày)
0,0-0,2	≤ 250
0,2-0,4	250-500
0,4-0,6	500-750
0,6-0,8	750-1000
0,8-1,0	≥ 1000

2.2.3. Đánh giá kiểm chứng chất lượng kết quả dự báo thử nghiệm

Bài báo này đã dự báo thử nghiệm ngư trường khai thác cá ngừ vằn từ tháng 1/2020-12/2020. Đánh giá chất lượng bản dự báo dựa trên giá trị sai số tuyệt đối giữa giá trị CPUE cá ngừ vằn dự báo và CPUE cá ngừ vằn thực tế trong cùng ô biển. Nếu giá trị sai số tuyệt đối $< \pm 10\text{kg/ngày}$ thì dự báo là tốt; trong khoảng $\pm 10 - \pm 20\text{kg/ngày}$ dự báo ở mức khá; trong khoảng $\pm 20 - \pm 30\text{kg/ngày}$ dự báo được đánh giá là đạt.

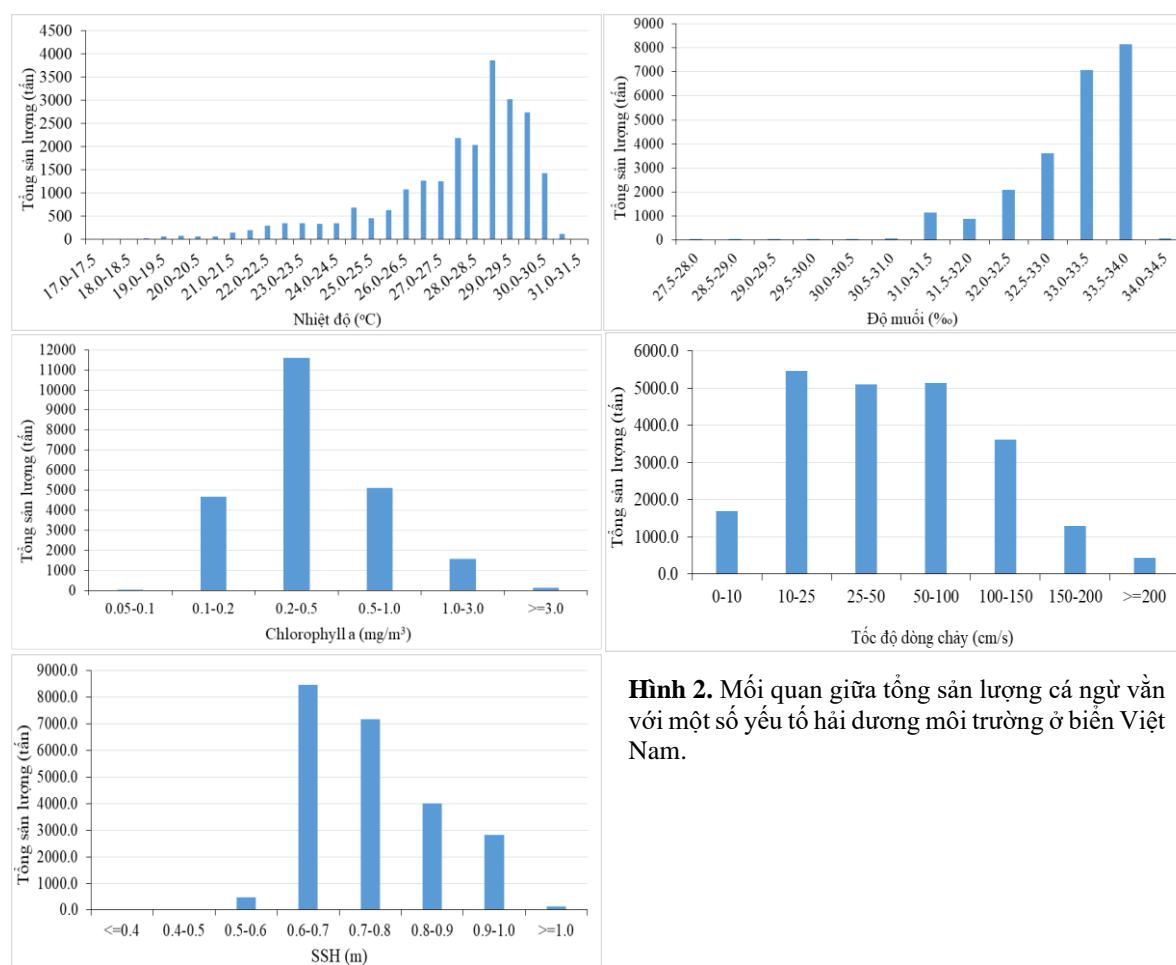
3. Kết quả nghiên cứu và thảo luận

3.1. Bộ chỉ SI của cá ngừ vằn ở biển Việt Nam

Kết quả nghiên cứu cho thấy, cá ngừ vằn phân bố ở vùng biển có nhiệt độ tầng mặt dao động trong khoảng từ 21,5-31,0°C, độ muối từ 30,5-34,5‰. Trong đó, cá ngừ vằn tập trung chủ yếu (tổng sản lượng >1000 tấn) ở khu vực có nhiệt độ tầng mặt từ 28,5 đến 29,5°C, độ muối tầng mặt từ 33,0 đến 33,5‰, hàm lượng chlorophyll a trong khoảng 0,1-0,2 mg/m³, tốc độ dòng chảy từ 10-100 cm/s và độ cao bề mặt biển trong khoảng 0,6-0,9 m (Bảng 3, Hình 2). Đây là những khoảng giá trị cực thuận cho sự tập trung cá ngừ vằn.

Bảng 3. Bộ chỉ số SI của từng yếu tố môi trường với cá ngừ vằn ở biển Việt Nam.

Mức CPUE cá ngừ vằn	SI	Yếu tố môi trường				
		SST	Chl-a	SSS	Cur_sp	SSH
Rất cao	>0,8	28,5-29,0	0,2-0,5	33,0-34,0	10-100	0,6-0,7
Cao	0,6-0,8	29,0-30,0	-	-	100-150	0,7-0,8
Trung bình	0,4-0,6	27,5-28,5	0,1-0,2 0,5-1,0	32,5-33,0	-	0,8-0,9
Thấp	0,2-0,4	26,0-27,5 30,0-30,5	-	32,0-32,5	0-10	0,9-1,0
Rất thấp	<0,2	17,0-26,0 30,5-31,5	0,05-0,1 ≥1,0	27,5-32,0	≥200	0-0,6 ≥1,0



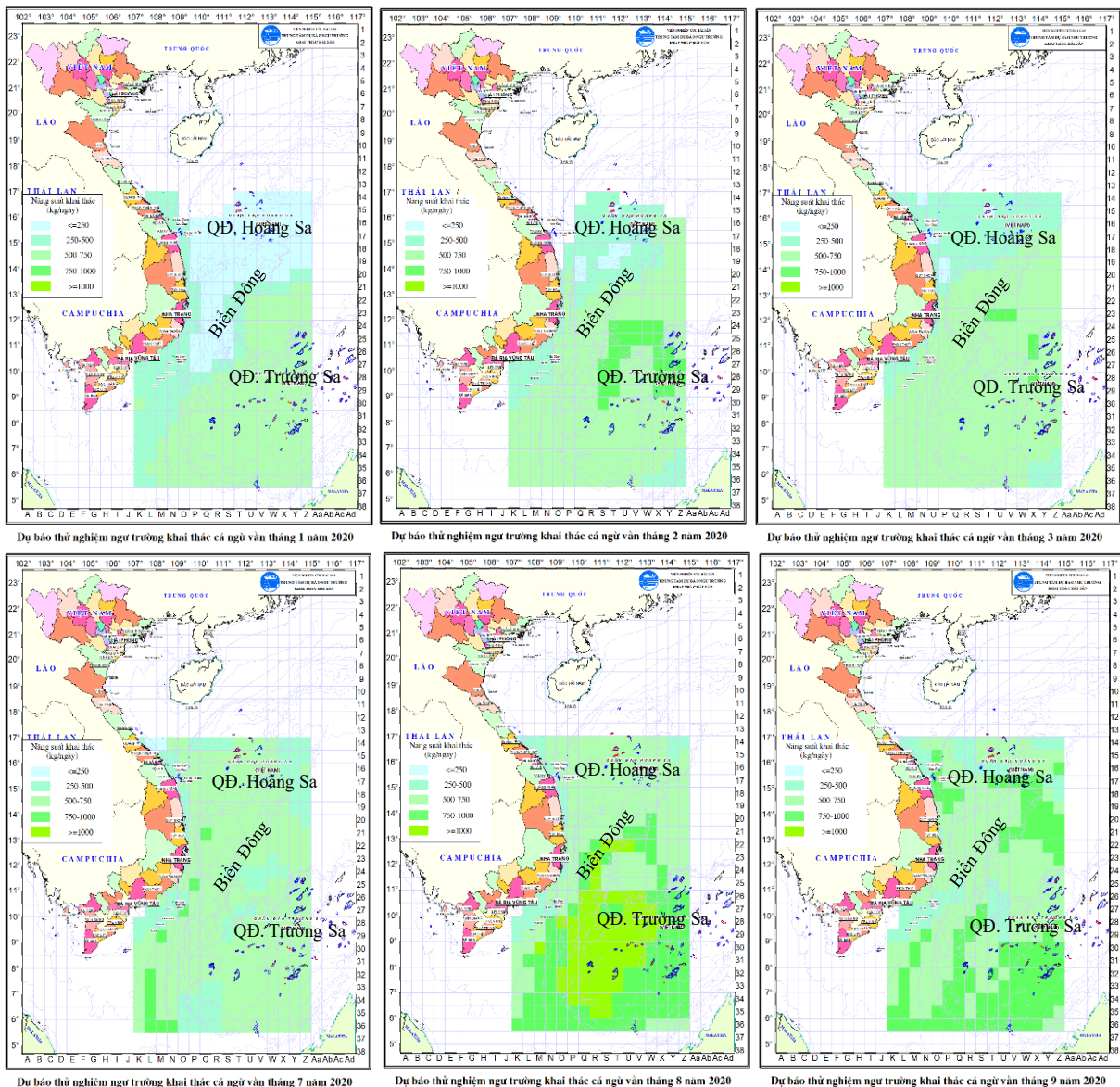
Hình 2. Mối quan giữa tổng sản lượng cá ngừ vằn với một số yếu tố hải dương môi trường ở biển Việt Nam.

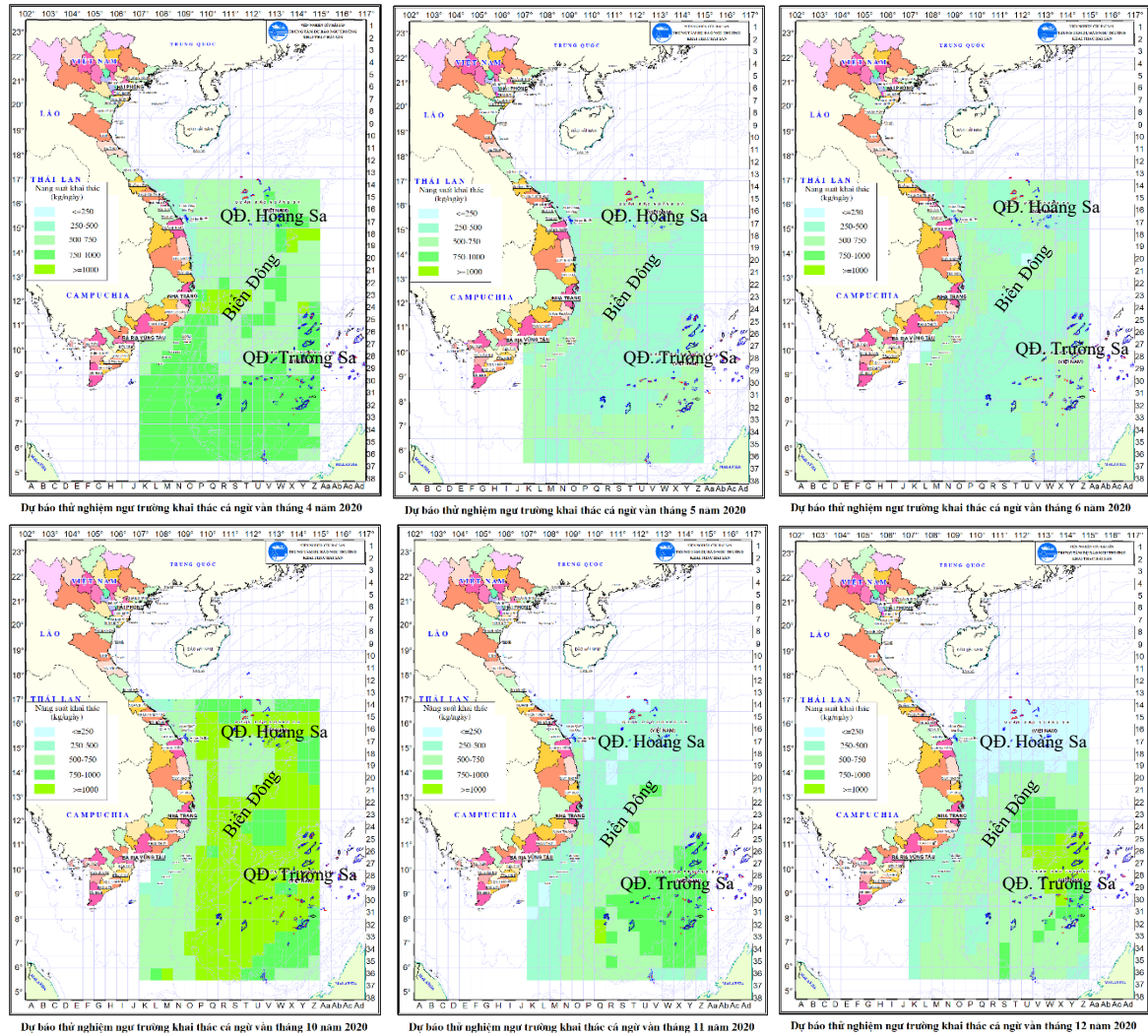
3.2. Dự báo thử nghiệm ngư trường khai thác cá ngừ vằn

Kết quả cho thấy, trong vụ cá bắc (từ tháng 1-3 và 10-12) [20] ngư trường khai thác cá ngừ vằn tập trung chủ yếu ở vùng biển Đông Nam Bộ đặc biệt từ khu vực từ Nam Côn Sơn

đến quần đảo Trường Sa và khu vực từ quần đảo Hoàng Sa đến giữa Biển Đông; Trong vụ cá nam (từ tháng 4-9) [20], tập trung chủ yếu khu vực vùng biển Miền Trung và một phần khu vực xa bờ thuộc vùng biển Đông Nam Bộ. Sự phân bố của cá ngừ vằn trong năm 2020 không thể hiện rõ sự thay đổi theo chu kì thời gian giữa các tháng trong năm hay theo hai mùa gió đông bắc, tây nam. Tháng 8/2020 có mức độ tập trung cao nhất và ở khu vực rìa của vùng nước trôi cho đến quần đảo Trường Sa trong khi đó tháng 10 lại là tháng có mức dự báo trung bình đến cao nhiều nhất nhưng cá ngừ vằn lại phân bố ở rộng nhất. Ngư trường khai thác thử nghiệm hạn tháng cá ngừ vằn từ tháng 1/2020 đến 12/2020 ở biển Việt Nam cụ thể được trình bày trên Hình 3.

Trong năm 2020, số liệu sỏ nhật kí khai thác của các tỉnh ven biển chỉ được thực hiện từ tháng 1 đến 6, do vậy việc đánh giá kiểm chứng dự báo cũng chỉ thực hiện được trong thời gian này. Kết quả tính toán sai số tuyệt đối và đánh giá mức độ chất lượng dự báo cho thấy, có tổng cộng 220 số liệu thu được từ thực tế nằm trong các ô dự báo ngư trường khai thác cá ngừ vằn. Trong đó, năng suất khai thác của các mẻ lưới này so với bản dự báo đạt yêu cầu trên 70,0%. Đặc biệt, các tháng 2, tháng 6 có trên 90% ô dự báo đạt từ mức tốt (Bảng 4). Kết quả này cho thấy, ứng dụng mô hình HSI dự báo thử nghiệm ngư trường khai thác cá ngừ vằn bước đầu cho kết quả tốt, mô hình này cần được nghiên cứu ứng dụng và thử nghiệm trong thời gian tới để phát triển mô hình dự báo cho đối tượng cá ngừ vằn cũng như các đối tượng dự báo khác ở biển Việt Nam.





Hình 3. Bản dự báo thử nghiệm ngư trường khai thác cá ngừ vằn năm 2020 ở biển Việt Nam.

Bảng 4. Kết quả đánh, giá kiểm chứng chất lượng dự báo ngư trường khai thác cá ngừ vằn.

Năm	Tháng	Mức đánh giá										Tổng Số ô lưới
		Loại tốt		Loại khá		Đạt		Đạt yêu cầu		Không đạt yêu cầu		
		Số ô lưới	Tỉ lệ %	Số ô lưới	Tỉ lệ %	Số ô lưới	Tỉ lệ %	Số ô lưới	Tỉ lệ %	Số ô lưới	Tỉ lệ %	
2020	1	10	58,8	3	17,6	-	-	13	76,5	4	23,5	17
	2	17	94,4	1	5,6	-	-	18	100,0	-	0,0	18
	3	19	59,4	4	12,5	-	-	23	71,9	9	28,1	32
	4	33	84,6	6	15,4	-	-	39	100,0	-	0,0	39
	5	31	81,6	2	5,3	-	-	33	86,8	5	13,2	38
	6	1	100,0	-	0,0	-	-	1	100,0	-	0,0	1
Tổng số mê lưới		165	75,0	18	8,2	-	-	185	84,1	35	15,9	220

4. Kết luận

Nghiên cứu này đã xây dựng được mô hình HSI dự báo năng suất cá ngừ vằn dựa trên bộ chỉ số thích ứng sinh thái SI của từng yếu tố môi trường (5 yếu tố môi trường gồm: SST, SSS, Chl-a, Cur_spd, SSH) ở vùng biển Việt Nam.

Trong vụ cá bắc năm 2020, khu vực cho năng suất khai thác cá ngừ vằn tập trung cao ở ngư trường từ khu vực Nam Côn Sơn đến quần đảo Trường Sa và từ quần đảo Hoàng Sa đến

giữa Biển Đông. Trong vụ cá nam, khu vực này tập trung chủ yếu khu vực vùng biển Miền Trung và một phần xa bờ thuộc vùng biển Đông Nam Bộ. Kết quả đánh giá kiểm chứng chất lượng dự báo đạt yêu cầu trên 70,0%. Do không có nguồn dữ liệu bổ sung mới cho tới thời điểm hiện tại nên dự báo thử nghiệm chỉ thực hiện cho năm 2020 để có số liệu đánh giá chất lượng các bản dự báo thử nghiệm. Với kết quả này, cần có hướng nghiên cứu mở rộng áp dụng mô hình vào dự báo ngư trường cho đối tượng cá ngừ vằn cũng như các đối tượng hải sản khác để phục vụ khai thác của bà con ngư dân đạt hiệu quả cao hơn.

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

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

Tài liệu tham khảo

1. Chen, X.J.; Feng, B.; Xu, L.X. A comparative study on habitat suitability index of bigeye tuna in the Indian Ocean. *J. Fish. Sci. China* **2008**, 15(2), 269–278.
2. Chen, X.J.; Li, G.; Feng, B.; Tian, S.Q. Habitat suitability of chub mackerel (*Scomber japonicus*) in the East China Sea. *J. Oceanog.* **2009**, 65(1), 93–102.
3. Hướng, N.V và cs. Ứng dụng mô hình thích ứng sinh thái (HSI) trong dự báo thử nghiệm ngư trường khai thác cá nổi nhỏ biển Việt Nam. *Tap chí Nông nghiệp và Phát triển nông thôn* **2021**, T12.2021, 217–224.
4. FAO. Status of interaction of Pacific tuna fisheries in 1995, 1996.
5. Bộ, Đ.V.; Hùng, B.T.; Hướng, N.V. Dự báo khai thác năm 2015 nguồn lợi cá ngừ vằn ở vùng biển xa bờ miền Trung. *Tap chí khoa học ĐHQGHN, khoa học tự nhiên và Công Nghệ* **2015**, 31(3S), 14–19.
6. Bộ, Đ.V và cs. Ứng dụng và hoàn thiện quy trình công nghệ dự báo ngư trường phục vụ khai thác hải sản xa bờ. Báo cáo tổng kết khoa học kỹ thuật đề tài KC.09.14/06-10, 2010.
7. Bộ, Đ.V.; Cầu, L.H.; Hùng, B.T.; Thành, N.D. Ứng dụng mô hình Length-Based Cohort Analysis (LCA) trong nghiên cứu nguồn lợi cá nổi lớn đại dương và quản lý nghề cá ở vùng biển xa bờ miền Trung. *Tap chí Khoa học ĐHQGHN, Khoa học Tự nhiên và Công nghệ* **2010**, 26(3S), 295–301.
8. Bộ, Đ.V và cs. Ứng dụng và hoàn thiện quy trình công nghệ dự báo ngư trường phục vụ khai thác hải sản xa bờ. Báo cáo tổng kết khoa học kỹ thuật đề tài KC.09.14/06-10, 2010.
9. Ưu, Đ.V và cs. Xây dựng mô hình dự báo cá khai thác và các cấu trúc hải dương có liên quan phục vụ đánh bắt xa bờ ở vùng biển Việt Nam. Báo cáo tổng kết khoa học kỹ thuật đề tài KC.09.03 (2001-2004), 2004.
10. FAO. Tonle sap fisheries: A case study on flood plain gillnet fisheries, 2001.
11. Nghĩa, N.V và cs. Nghiên cứu ảnh hưởng của các yếu tố hải dương đến sự phân bố của cá nục và cá bạc má ở vùng biển Vịnh Bắc Bộ. *Tap chí Nông nghiệp và Phát triển nông thôn* **2018**, T12.2018.
12. Tạng, V.T. Sinh học và sinh thái biển, Nhà xuất bản Đại học Quốc gia Hà Nội: 336 trang, 2004.
13. Tố, L.Đ và cs. Khả năng dự báo cá khai thác ở các vùng biển Việt Nam, Tuyển tập Hội nghị khoa học công nghệ biển toàn quốc lần thứ 4, Tập 2: Sinh học, nguồn lợi, sinh thái, môi trường biển... TT KHTN & CNQG.
14. Tố, L.Đ và cs. Luận chứng khoa học cho việc dự báo biến động sản lượng và phân bố nguồn lợi cá, Báo cáo tổng kết Khoa học và Kỹ thuật đề tài mã số KT - 03-10 (1991 - 1995).

15. Laevastu, A. Fisheries Oceanography and Ecology, Fishing News Books Ltd, London UK, 1982.
16. Paxton, J.R.; Hoese, D.F.; Allen, G.R.; Hanley, J.E. Pisces Petromyzontidae to Carangidae. *Australian Biological Resources Survey: Canberra* **1989**, 7(i-xii), pp. 1–665.
17. Huấn, P.V. Phương pháp thống kê trong hải dương học. Nxb Đại học Quốc gia Hà Nội, 2003, tr.147.
18. Hường, N.V. Nghiên cứu xác định bộ chỉ số thích ứng sinh thái của cá chỉ vàng (*Selaroides leptolepis*) ở vùng biển Đông Nam Bộ. *Tap chí nông nghiệp và phát triển nông thôn* **2018**.
19. Hường, N.V. và cs. Nghiên cứu ảnh hưởng của các yếu tố hải dương, môi trường biển đến sự phân bố và biến động nguồn lợi hải sản ở vùng biển Tây Nam Bộ. *Tap chí Khoa học Công nghệ và Thực phẩm* **2019**, 19(2), 89–102.
20. Bộ Thủy sản. Nguồn lợi thủy sản Việt Nam, Nhà xuất bản Nông nghiệp, Hà Nội, 1996.

Forecasting skipjack tuna fishing grounds in Vietnamese waters using the HSI model

Nguyen Van Huong¹, Nguyen Hoang Minh¹, Nguyen Vinh An², Tran Thi Thu Thao^{2*}

¹ Research institute for marine fisheries; nvhuong0509@gmail.com; nhminh10@gmail.com; nvan@hcmunre.edu.vn; ttthao@hcmunre.edu.vn

² Ho Chi Minh University of Natural Resources and Environment, 236B Le Van Sy Str., Ward 1, Tan Binh Dist, Ho Chi Minh City; nvan@hcmunre.edu.vn; ttthao@hcmunre.edu.vn

Abstract: The HSI model predicts skipjack tuna fishing grounds in Vietnamese waters in the study using sea surface environmental factors including SST, SSS, Chl-a, SSH and Cur_sd to calculate the SI index and establish a model to predict catch per unit effort of skipjack tuna. SI index analysis results show that skipjack tuna is distributed in areas with SST ranging from 21.5 to 31.0°C, SSS from 30.5 to 34.5‰. Among them, skipjack tuna is most concentrated in waters with SST in the range of 28.5 to 29.5°C, SSS in the range of 33.0-33.4‰, Chl-a in the range of 0.1-0.2 mg/m³, SSH in the range of 0.6-0.9 m and Cur_sp in the range of 10-100 cm/s. Results of experimental forecasts of skipjack tuna fishing grounds for 2020 show that in the northern fishing season, skipjack tuna fishing areas are high, mainly concentrated in the area from Con Dao Island to the southwest Truong Sa Islands and sea area from Hoang Sa Islands to the central waters of East Sea. During the southwest monsoon season, the high concentration of skipjack tuna is the offshore central coast of Vietnam and a part in the southeast coastal area of Vietnam.

Keywords: Suitability Index; Skipjack tuna; CPUE.

Bài báo khoa học

Nghiên cứu chế độ mưa, nhiệt tại vùng biển Vịnh Bắc Bộ từ dữ liệu vệ tinh

Nguyễn Ngọc Tuấn^{1*}, Nguyễn Văn Hương¹, Đỗ Thị Phương Thảo², Nguyễn Thị Thanh Huyền³, Cấn Thu Văn⁴

¹ Viện Nghiên cứu hải sản; nntuan@rimf.org.vn; nvhuong0509@gmail.com

² Trường Đại học Mở - Địa chất; dothiphuongthao@humg.edu.vn

³ Học viện Quốc tế; thuminh886@gmail.com

⁴ Trường Đại học Tài nguyên và Môi trường TP.HCM; ctvan@hcmunre.edu.vn

*Tác giả liên hệ: nntuan@rimf.org.vn; Tel.: +84-983628798

Ban Biên tập nhận bài: 6/9/2023; Ngày phản biện xong: 18/10/2023; Ngày đăng bài: 25/11/2023

Tóm tắt: Nhiệt độ không khí (T), lượng mưa (R) là những đặc trưng khí tượng cơ bản để có thể phân biệt các vùng khí hậu ở trên đất liền cũng như giữa các vùng biển khác nhau. Để nghiên cứu, đánh giá đặc trưng khí hậu riêng cho vùng biển vịnh Bắc Bộ (VBB) phục vụ cho nghiên cứu nguồn lợi hải sản, dự báo ngư trường khai thác hải sản, bài báo đã sử dụng 20 năm số liệu (T) và (R) thu được từ vệ tinh thám (2001-2021), phân tích đánh giá chúng theo chuỗi thời gian và phân bố trên phạm vi toàn vùng biển VBB. Kết quả thấy rằng nhiệt độ cao nhất vào các tháng mùa hè từ tháng 6 đến tháng 8 (trung bình $\approx 29,5^{\circ}\text{C}$); Mùa đông, nhiệt độ giảm mạnh (dao động trong khoảng $16,0-22,0^{\circ}\text{C}$), thấp nhất từ tháng 12 năm trước đến tháng 1 năm sau và có xu hướng giảm dần theo chiều giảm của vĩ độ từ Bắc xuống Nam. Trung bình năm, nhiệt độ dao động trong khoảng từ $22,5-27,0^{\circ}\text{C}$ và xu thế nhiệt độ tăng $0,02^{\circ}\text{C}/\text{năm}$ từ 2001 đến năm 2021. Trong thời gian này có tổng 4747 ngày mưa tập trung chủ yếu vào các tháng mùa hè. Khu vực có lượng mưa cao nhất (khoảng 1400mm) phân bố ở các vùng ven biển Quảng Ninh - Hải Phòng và Nghệ An - Quảng Bình; Mùa đông, lượng mưa giảm mạnh và giảm dần từ phía Tây Nam về phía Đông Bắc VBB với (R) dao động trong khoảng 150-600mm. Tổng (R) theo năm dao động từ 1090-3400mm, trung bình ở khoảng 1677-2232mm, (R) tăng nhẹ từ 13-50mm/năm.

Từ khóa: Biến đổi khí hậu; Nhiệt độ không khí; Lượng mưa; Vịnh Bắc Bộ.

1. Mở đầu

Nhiệt độ không khí (T) và lượng mưa (R) là hai yếu tố đặc trưng cho sự khác biệt của các vùng khí hậu. Qua theo dõi chỉ số (T) và (R) trung bình hàng tháng, mùa và năm sẽ biết được diễn biến của khí hậu vùng nhất định. Ngoài ra, sự biến đổi của lượng mưa theo thời gian và khu vực sẽ ảnh hưởng đến chu trình thủy văn và tài nguyên nước dẫn tới làm thay đổi các giá trị trung bình của (T) và (R) ở các khu vực đó. Theo báo cáo Chỉ số rủi ro khí hậu toàn cầu năm 2020 của tổ chức môi trường Germanwatch (Đức) mới được công bố, Việt Nam đứng thứ sáu về mức độ dễ bị tổn thương bởi rủi ro khí hậu. Do vậy, việc khai thác và sử dụng hợp lý tài nguyên khí hậu có ý nghĩa quan trọng trong sự phát triển của mỗi vùng, mỗi địa phương, nhất là các tỉnh ven biển - nơi thường xuyên chịu nhiều tác động của các hiện tượng khí hậu cực đoan như: bão, lũ lụt, áp thấp nhiệt đới, sạt lở bờ biển,... tác động nghiêm trọng đến các hoạt động nuôi biển, khai thác thủy - hải sản của ngư dân hay đời sống và sản xuất dân sinh ven biển. Cho tới nay, ở Việt Nam, đã có nhiều nghiên cứu về biến đổi khí hậu

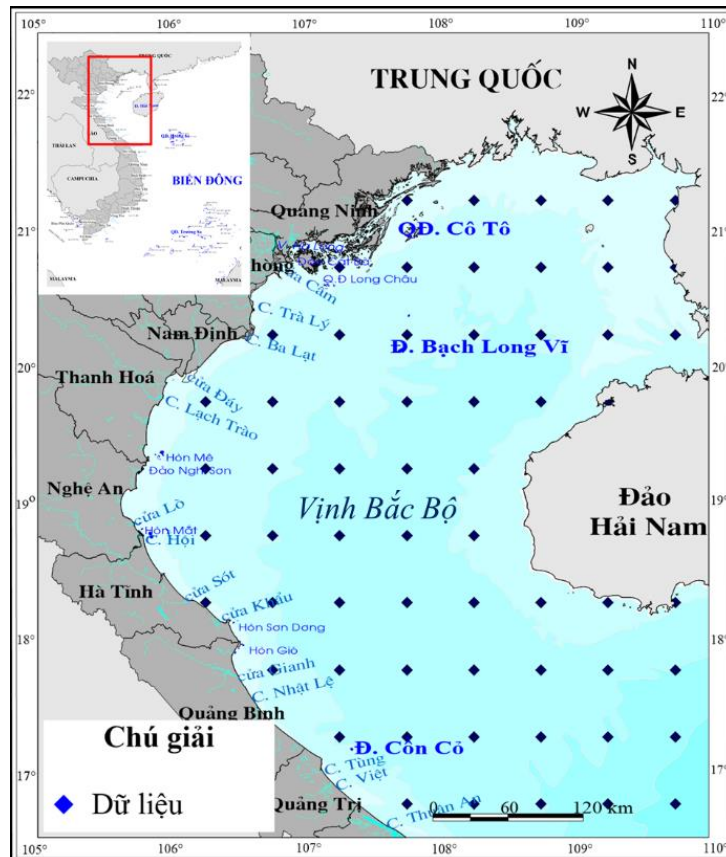
(BĐKH) thông qua nghiên cứu sự biến đổi của hai yếu tố (T) và (R) [1–13] đặc biệt là trên đất liền. Tuy nhiên, ở trên biển vẫn còn ít tài liệu công bố nhất là đối với các vùng biển ở phạm vi khu vực như vịnh Bắc Bộ (VBB). Đây là khu vực có vị trí chiến lược quan trọng, là ngư trường khai thác hải sản chính của các tỉnh ven biển phía Bắc nước ta.

Để quan trắc được yếu tố (T) và (R) theo không gian và biến trình của chúng liên tục theo thời gian dài đòi hỏi phải có hệ thống các trạm đo hoặc hệ thống radar thời tiết, đặc biệt đối với việc thực hiện trên biển là tương đối khó khăn. Do đó, sử dụng dữ liệu vệ tinh cho phép khai thác một cách thuận lợi yếu tố (T) và (R) không những trên diện rộng mà còn theo cả chuỗi thời gian liên tục. Bài báo này sử dụng dữ liệu vệ tinh nghiên cứu sự thay đổi (T) và (R) tại vùng biển VBB giai đoạn 2001-2021 và đánh giá xu thế tăng hay giảm của các yếu tố đó phục vụ cho các nghiên cứu khác về BĐKH, đánh giá nguồn lợi, dự báo ngư trường khai thác hải sản ở vùng biển này.

2. Dữ liệu và phương pháp nghiên cứu

2.1. Dữ liệu và khu vực nghiên cứu

Dữ liệu sử dụng là số liệu hàng giờ theo ngày của các yếu tố (T) và (R) từ năm 2001-2021 với độ phân giải $0,5^{\circ} \times 0,5^{\circ}$ ở vùng biển VBB từ dữ liệu vệ tinh do NASA cung cấp (Hình 1). Đây là nguồn dữ liệu được tập hợp từ một loạt các sản phẩm thu được từ hình ảnh vệ tinh, mô hình hóa và đồng hóa dữ liệu,... Trên thế giới đã có nhiều công trình nghiên cứu đánh giá độ tin cậy của dữ liệu này với độ chính xác cao [14–19].



Hình 1. Khu vực nghiên cứu.

2.2. Phương pháp nghiên cứu

Các dữ liệu sau khi thu thập được xử lý, tổng hợp vào file định dạng (*.csv) hoặc (*.xlsx) theo biến trình không gian và thời gian. Sử dụng phương pháp thống kê tổng hợp, chuẩn hóa dữ liệu, loại bỏ những dữ liệu có sai số thô.

Sử dụng phương pháp thống kê thông thường và phương pháp phân tích không gian trong GIS để phân tích, đánh giá sự biến đổi của (T) và (R) theo không gian, thời gian của từng thời điểm, từng khu vực nhỏ trong vùng biển nghiên cứu.

Để phân tích sự khác biệt của biến trình (T) và (R) giữa các khu vực ven bờ, ngoài khơi theo thời gian, nhóm nghiên cứu đã phân tích dữ liệu tại 3 khu vực biển: quanh đảo Cô Tô (ven bờ phía bắc VBB), đảo Cồn Cỏ (ven bờ phía Nam VBB) và đảo Bạch Long Vĩ (khu vực ngoài khơi).

Mức độ và xu thế biến đổi của các yếu tố (T), (R) được đánh giá thông qua đường biến trình và phương trình hồi quy tuyến tính theo hàm thời gian với công thức: $y = a_0t + a_1$; ở đây y là (T) hoặc (R), t là thời gian (năm); a_0, a_1 là các hệ số hồi quy. Hệ số a_0 cho biết độ dốc của đường hồi quy, thể hiện xu thế biến đổi tăng hay giảm theo thời gian. Nếu a_0 mang dấu (+) nghĩa là xu thế tăng, a_0 mang dấu (-) nghĩa là xu thế giảm.

Ngoài ra còn sử dụng phần mềm MapInfo để biểu thị không gian theo mùa các yếu tố (T) và (R), kết quả được trình bày dưới dạng đồ thị, bản đồ. Để đảm bảo tính thống nhất, khách quan, chính xác giữa các bản đồ trong các mùa được sử dụng chung một bản đồ nền và thang màu cho từng yếu tố. Đối với nhiệt độ khoảng chia đều là $0,5^{\circ}\text{C}$ và lượng mưa khoảng chia đều là 50 mm.

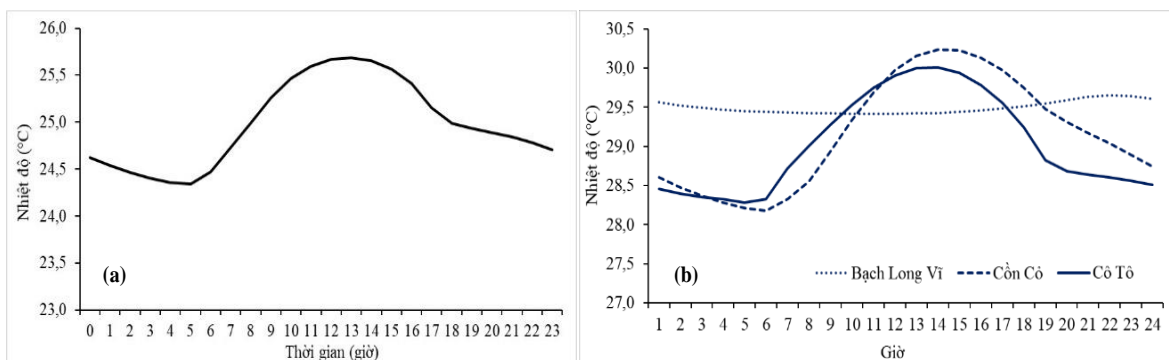
3. Kết quả và thảo luận

3.1. Nhiệt độ không khí

Nhiệt độ không khí là yếu tố khí hậu thể hiện rõ nhất bởi sự ảnh hưởng của vị trí địa lý, hoàn lưu không khí, chế độ nắng, cũng là yếu tố thay đổi tuần hoàn trong ngày - đêm, tháng, mùa và năm.

3.1.1. Biến trình nhiệt độ ngày - đêm

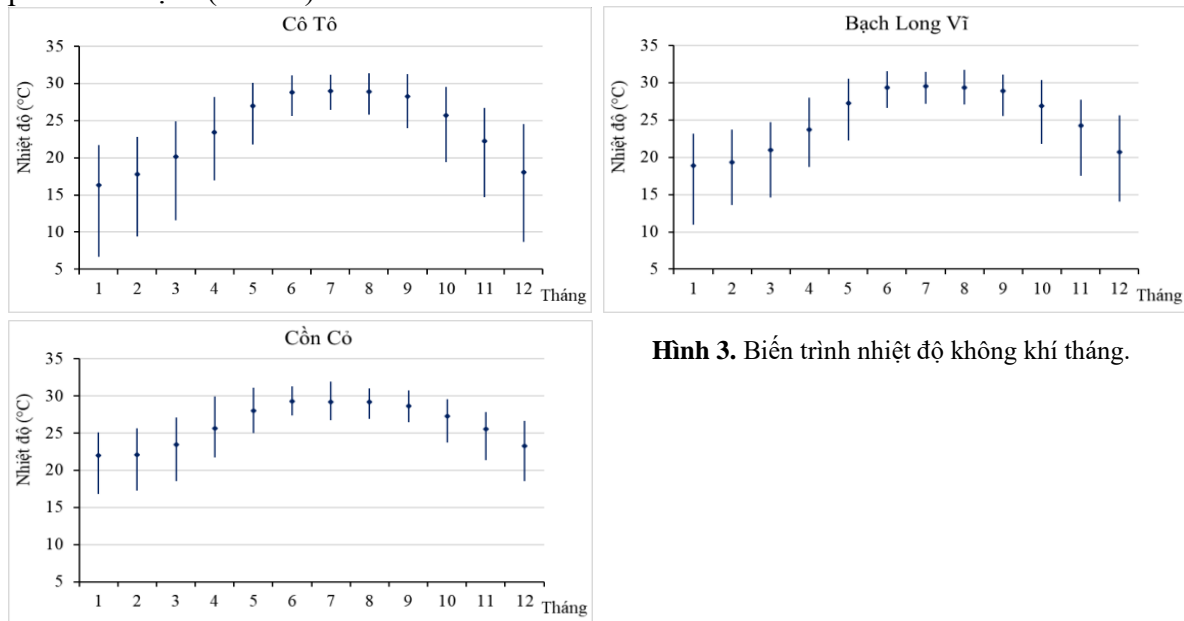
Sự biến đổi nhiệt độ trong ngày là do bề mặt Trái Đất hấp thụ bức xạ mặt trời tại từng thời điểm trong ngày khác nhau. Quy luật tuần hoàn ngày - đêm là một trong những đặc điểm quan trọng của nhiệt độ. Ở VBB, trong một ngày - đêm, nhiệt độ thấp nhất thường xảy ra sau 4 giờ sáng đến trước lúc mặt trời mọc, nhiệt độ cao nhất thường xảy ra vào lúc 12-14 giờ chiều. Tuy nhiên, trong những ngày có sự thay đổi bất thường của chế độ gió mùa như thời gian bắt đầu ảnh hưởng của gió mùa đông bắc mạnh, nhiệt độ thấp nhất có thể xảy ra vào bất cứ lúc nào trong ngày hay vào ngày có mưa hoặc lượng mây tăng nhanh vào buổi trưa và kéo dài đến chiều thì nhiệt độ cao nhất trong ngày có thể xảy ra trước trưa. Trong giai đoạn 2001-2021, nhiệt độ không khí dao động trong khoảng $5,0-34,7^{\circ}\text{C}$, thấp nhất vào 4 giờ sáng ngày 27/12/2002 và cao nhất vào 14 giờ chiều ngày 03/7/2015. Ở các khu vực ven bờ như quanh đảo Cô Tô, Cồn Cỏ biến đổi nhiệt độ ngày - đêm thể hiện rõ hơn (chênh lệch trung bình chung khoảng $4,3^{\circ}\text{C}$) trong khi sự biến đổi này ở khu vực ngoài khơi (như khu vực quanh đảo Bạch Long Vĩ) sự chênh lệch này chỉ khoảng $0,4^{\circ}\text{C}$ (Hình 2).



Hình 2. Biến trình ngày - đêm của nhiệt độ không khí chung cho các tháng trong năm (a), riêng cho tháng 7 ở vùng biển VBB (b).

3.1.2. Biến trình nhiệt độ theo tháng

Vùng biển VBB là vùng chịu ảnh hưởng của khí hậu nhiệt đới gió mùa đông lạnh. Theo các tháng trong năm, nhiệt độ không khí có một cực đại vào mùa hè và một cực tiểu vào mùa đông. Nhiệt độ trung bình tháng dao động trong khoảng 16,0-30,0°C (Bảng 1). Nhiệt độ cao nhất từ tháng 6 đến tháng 8 với nhiệt độ trung bình tháng khoảng 29,0-30,0°C. Thời gian này trùng với thời kỳ hoàn lưu áp thấp nóng phía Tây phát triển cực đại, gió mùa tây nam hoạt động mạnh, thường mang lại nhiệt độ ngày - đêm cao và độ ẩm thấp. Nhiệt độ trung bình tháng trong mùa đông giảm thấp, thấp nhất từ tháng 12 năm trước đến tháng 1 năm sau với nhiệt độ trung bình tháng khoảng 16,0°C ở khu vực phía Bắc và khoảng 22,0°C ở khu vực phía Nam vịnh (Hình 3).



Hình 3. Biến trình nhiệt độ không khí tháng.

Bảng 1. Nhiệt độ không khí trung bình tháng.

Vị trí	Nhiệt độ không khí (°C)											
	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12
Cò Tô	16,4	17,7	20,1	23,5	27,0	28,8	29,0	28,9	28,2	25,7	22,3	18,0
Bạch Long Vĩ	18,9	19,3	21,0	23,7	27,3	29,3	29,5	29,4	28,9	26,9	24,2	20,7
Cồn Cỏ	22,0	22,1	23,5	25,7	28,0	29,3	29,2	29,2	28,7	27,2	25,6	23,3

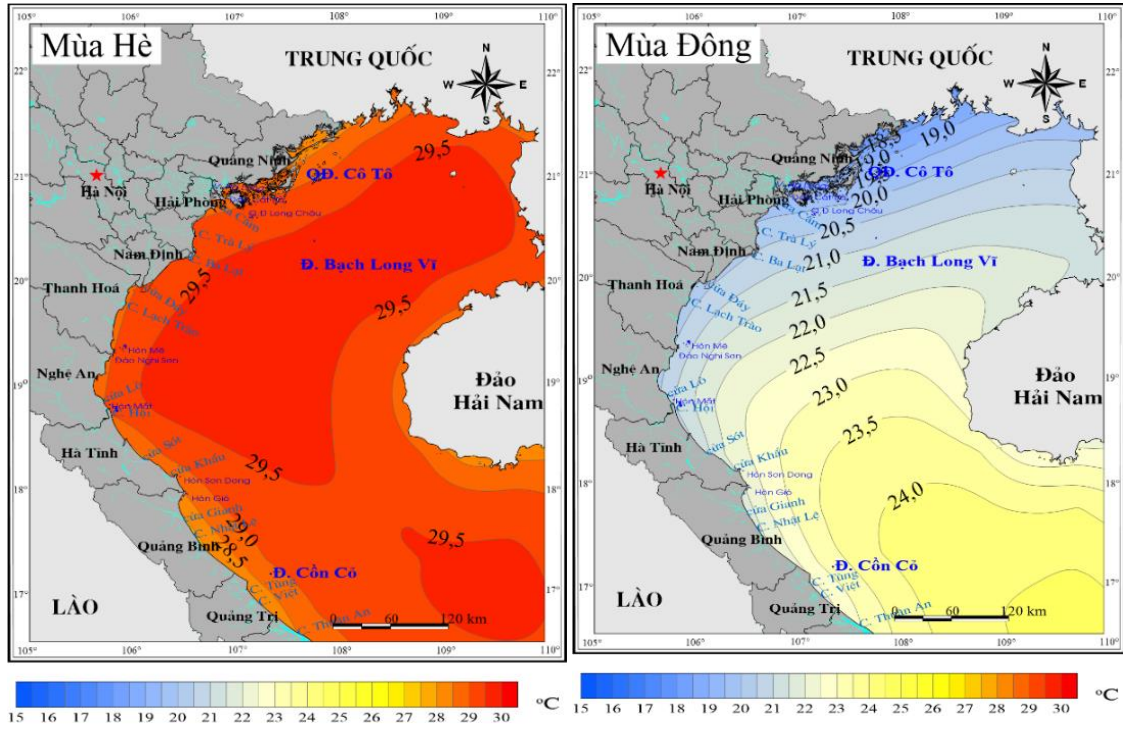
3.1.3. Thay đổi nhiệt độ theo mùa, theo không gian

Mùa đông (đại diện là tháng 1), do sự ảnh hưởng của gió mùa đông bắc lạnh nên nền nhiệt trên phạm vi toàn vùng biển VBB giảm mạnh nhất là ở các khu vực ven bờ. Trong thời gian này xu thế của nhiệt độ tăng dần từ bờ ra khơi và từ Bắc xuống Nam của vùng biển nghiên cứu. Chênh lệch nhiệt độ giữa năm thấp nhất và năm cao nhất không quá 5,0°C. Mùa hè (đại diện là tháng 7), phân bố nhiệt độ khá ổn định, toàn VBB nhiệt độ dao động trong khoảng 28,0-29,5°C. Chênh lệch nhiệt độ giữa hai mùa trong khoảng từ 6,0-10,0°C (Hình 4).

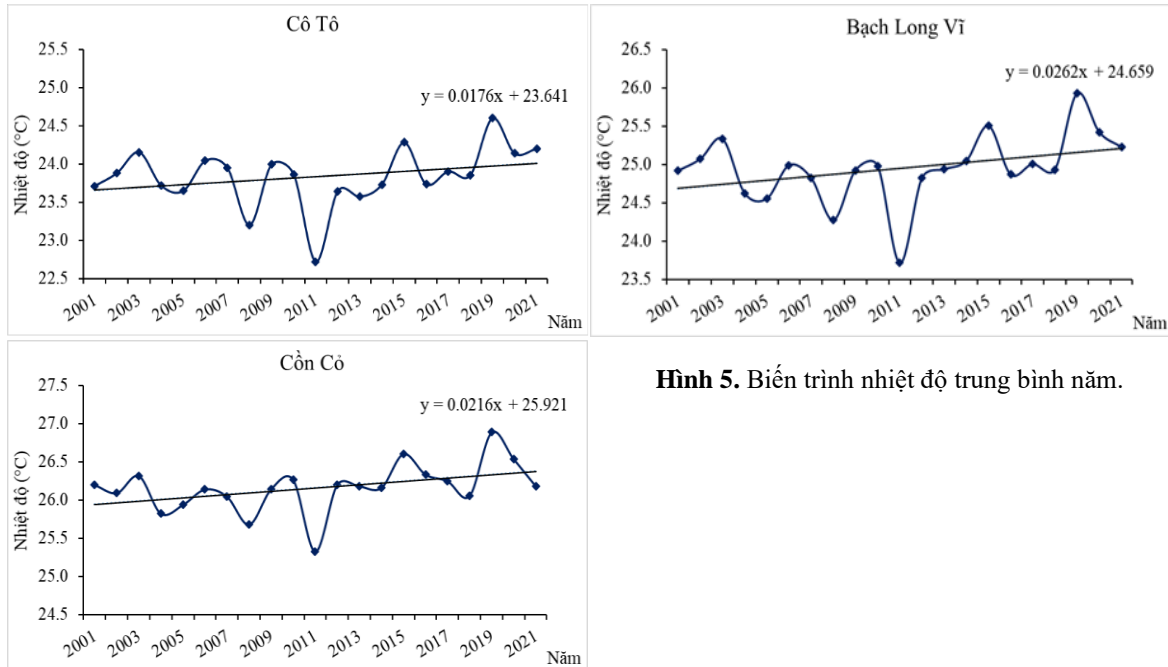
3.1.4. Biến động và biến đổi nhiệt độ năm

Cường độ và thời gian của các hệ thống hoàn lưu tác động đến vùng biển VBB thay đổi hàng năm nên các đặc trưng nhiệt độ năm thay đổi theo một cách rõ rệt. Những năm hoàn lưu có sự biến động trên quy mô toàn cầu xảy ra hiện tượng El Niño, La Niña đều gây nên sự thay đổi nhiệt độ cực đoan và nhiệt độ trung bình tại vùng biển VBB. Nhiệt độ trung bình năm tại đây dao động với chu kỳ 3-5 năm. Trong giai đoạn 2001-2021, giá trị này dao động trong khoảng từ 22,5-27,0°C, thấp nhất vào năm 2011 và cao nhất vào năm 2019. Độ lệch âm lớn nhất (-1,2°C) và độ lệch dương lớn nhất (+1,0°C) xảy ra quanh khu vực đảo Cò Tô. Ở Việt

Nam nói chung và vùng biển VBB nói riêng, không khí đang có xu thế nóng dần lên, trung bình mỗi năm tại vùng biển VBB nhiệt độ tăng khoảng 0,02°C/năm (Hình 5, Bảng 2-3). Dựa theo kịch bản RCP4.5 (BĐKH_2020), vào giữa thế kỷ XXI nhiệt độ trung bình năm khu vực phía Bắc tăng 1,6 ÷ 1,7°C, đến cuối thế kỷ XXI sẽ tăng lên từ 1,9 ÷ 2,4°C [20].



Hình 4. Phân bố nhiệt độ không khí trung bình mùa.



Hình 5. Biến trình nhiệt độ trung bình năm.

Bảng 2. Biến động nhiệt độ trung bình năm.

Vị trí	Độ lệch	Độ lệch (-) max (°C)	Năm xuất hiện	Độ lệch (+) max (°C)	Năm xuất hiện
Cỏ Tô		- 1,2	2011	+ 1,0	2019
Bạch Long Vĩ		- 1,1	2011	+ 0,8	2019
Cồn Cỏ		- 0,8	2011	+ 0,7	2019

Bảng 3. Xu thế nhiệt độ không khí.

Vị trí	Xu thế	Phương trình	Xu thế (°C/năm)
Cô Tô		$y = 0,0176x + 23,641$	+ 0,02
Bạch Long Vĩ		$y = 0,0262x + 24,659$	+ 0,03
Cồn Cỏ		$y = 0,0216x + 25,921$	+ 0,02

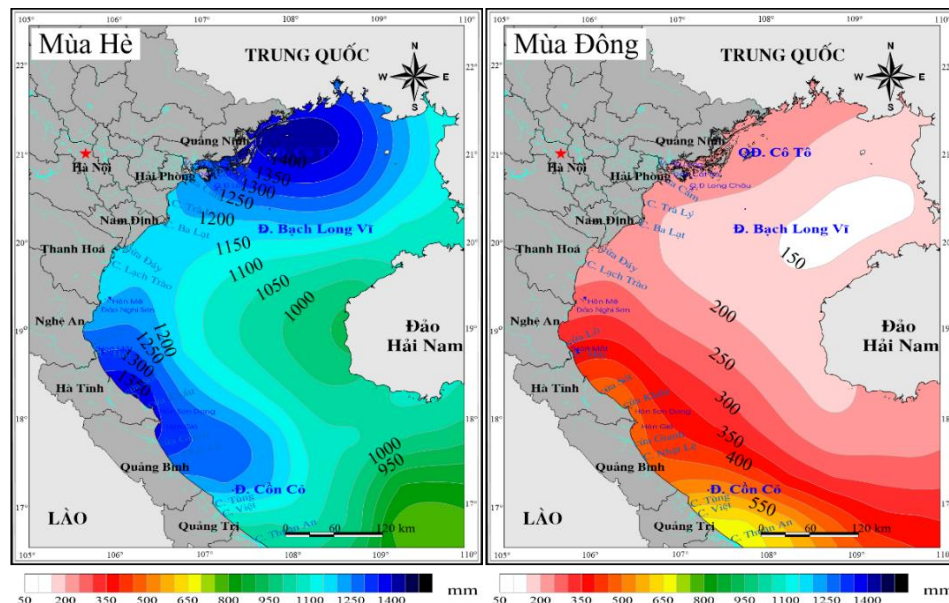
3.2. Lượng mưa

3.2.1. Lượng mưa ngày và số ngày mưa

Theo số liệu thống kê trong giai đoạn 2001-2021 có nhiều ngày mưa lớn xảy ra ở một số khu vực vùng biển VBB với lượng mưa trên 300 mm/ngày, điển hình vào các ngày 14/10/2016 và 18-19/10/2020, lượng mưa dao động trong khoảng 400±20 mm/ngày. Đặc biệt, có những đợt mưa xảy ra trên diện rộng và tập trung trong khoảng 5-7 ngày với tổng lượng mưa lớn, xấp xỉ với lượng mưa trung bình nhiều năm của cả mùa mưa. Tổng số ngày mưa trong vòng 21 năm là 4747 ngày mưa với lượng mưa trung bình toàn vùng trên 1,0mm và 1058 ngày mưa với lượng mưa trung bình trên 10 mm. Trong đó, những ngày mưa to (>50 mm) xảy ra tập trung chủ yếu vào các tháng mùa hè từ tháng 5 đến tháng 9, điển hình khu vực quanh đảo Cồn Cỏ số ngày mưa to kéo dài đến tận tháng 12 do ảnh hưởng hoàn lưu bão và áp thấp nhiệt đới.

3.2.2. Phân bố lượng mưa theo mùa

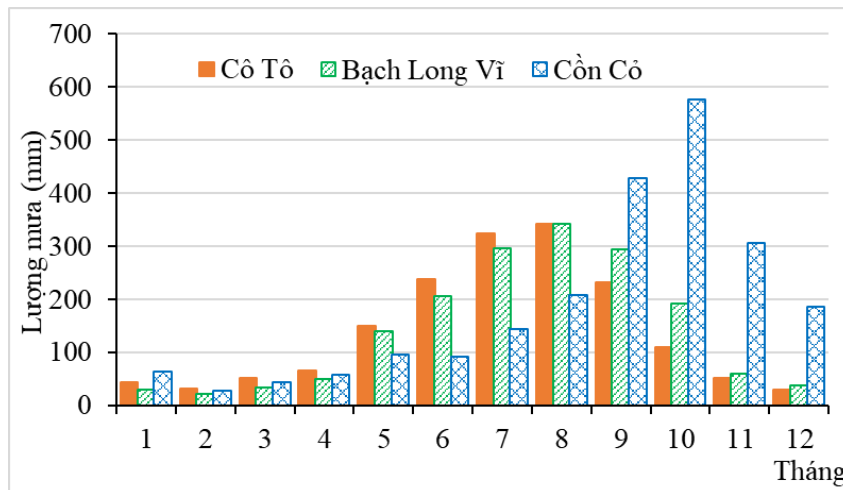
Các hệ thống thời tiết cục bộ, quy mô nhỏ gây mưa dông nhiệt có thể tạo nên khác biệt một ít về mưa tại các nơi trong vùng. Ở miền Bắc không có sự phân biệt rõ ràng giữa mùa mưa và mùa khô, chỉ có mùa mưa và mùa ít mưa. Mùa mưa thông thường vào thời gian mùa hè còn mùa ít mưa vào thời gian mùa đông. Vào mùa hè, lượng mưa phân bố tập trung cao ở khu vực ven bờ phía Bắc vịnh (Quảng Ninh) và ven bờ Hà Tĩnh với lượng mưa khoảng 1400 mm. Lượng mưa có xu hướng giảm dần từ ven bờ ra khơi, giảm dần từ phía Bắc xuống phía Nam vịnh, chênh lệch lượng mưa thấp nhất và cao nhất trong vùng biển khoảng 500 mm. Vào mùa đông xu thế phân bố lượng mưa không giống với mùa hè, xu thế phân bố lượng mưa ở mùa này thấp ở phía Đông Bắc vịnh với lượng mưa khoảng 150mm và cao dần về ven bờ phía Tây VBB. Khu vực ven bờ Quảng Trị có lượng mưa cao nhất khoảng 600 mm. Chênh lệch lượng mưa giữa hai mùa trong khoảng từ 400-1250 mm (Hình 6).



Hình 6. Phân bố lượng mưa trung bình mùa.

3.2.3. Phân bố mưa trong năm

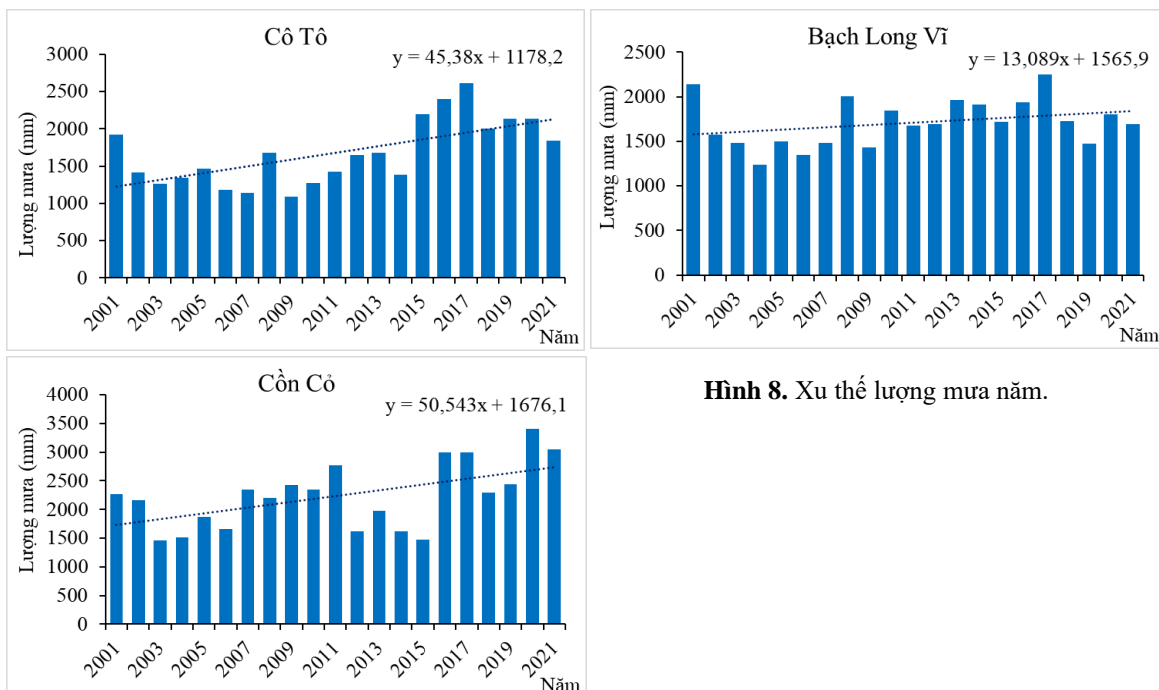
Trong các tháng 1, 2, 3, 4 vào thời điểm gió mùa đông bắc hoạt động với các khối khí xuất phát từ cao áp Xibia di chuyển về Việt Nam với tính chất lạnh khô, lượng mưa vào thời điểm này thấp, chỉ khoảng 40-70 mm/tháng. Nhưng khoảng từ tháng 6 đến tháng 10 các nhiễu động nhiệt đới (bão, áp thấp nhiệt đới, dải hội tụ nhiệt đới, nhiễu động gió đông,...) hoạt động ở Tây Thái Bình Dương di chuyển về nước ta và gió mùa đông bắc hoạt động thường xuyên nên khu vực phía Nam vịnh mưa lớn với lượng mưa trung bình khoảng từ 200-600 mm (Hình 7). Vào mùa hè là thời điểm gió mùa tây nam hoạt động với khối khí hình thành từ áp thấp Ấn Độ - Myanmar vượt qua xích đạo vào Việt Nam trở nên nóng ẩm mưa nhiều, lượng mưa trung bình trong khoảng thời gian này là 200-350 mm/tháng.



Hình 7. Lượng mưa trung bình tháng.

3.2.4. Biến động và biến đổi lượng mưa năm

Theo năm từ 2001 đến 2021, lượng mưa dao động khá mạnh, khoảng 79% số năm có tổng lượng mưa chênh lệch $\pm 20\%$ so với lượng mưa năm trung bình, còn lại khoảng 21% số năm có độ chênh lệch vượt ngoài $\pm 20\%$. Tổng lượng mưa năm dao động trong khoảng 1677-3400 mm, lượng mưa trung bình năm tại một số vị trí trong vùng biển từ 1677-2232 mm. Trong đó cao nhất vào năm 2020 ở khu vực đảo Côn Cỏ với lượng mưa 3400 mm và thấp



Hình 8. Xu thế lượng mưa năm.

nhất khu vực quanh đảo Cô Tô năm 2009 với lượng mưa 1090 mm (Hình 8, Bảng 4). Xu thế lượng mưa tăng nhẹ hàng năm, trung bình mỗi năm tăng +50 mm tại khu vực quanh đảo Cồn Cỏ, +45 mm tại khu vực quanh đảo Cô Tô và +13 mm tại khu vực quanh đảo Bạch Long Vĩ. Thời gian tới dự kiến lượng mưa năm sẽ tiếp tục tăng, theo kịch bản RCP4.5 vào giữa thế kỷ XXI lượng mưa năm tăng 10 ÷ 15%, khu vực ven biển vùng Đông Bắc lượng mưa năm có thể tăng 20 ÷ 30% [20].

Bảng 4. Lượng mưa năm tại một số vị trí vùng biển VBB.

Vị trí	Lượng mưa năm (mm)		
	Trung bình	Lớn nhất	Nhỏ nhất
Cô Tô	1677	2616	1090
Bạch Long Vĩ	1710	2253	1237
Cồn Cỏ	2232	3400	1459

4. Kết luận

Nhiệt độ không khí có sự thay đổi mạnh theo không gian và thời gian do vị trí địa lý và quy luật mùa. Trong một ngày - đêm, nhiệt độ thấp nhất khoảng 4 giờ sáng, cao nhất khoảng 12-14 giờ trưa. Trong năm, nhiệt độ không khí cao nhất từ tháng 6 đến tháng 8 thấp nhất và tháng 12 và tháng 1. Vào mùa hè, phân bố nhiệt độ đều toàn vùng với nền nhiệt khoảng 28,0-29,5°C; mùa đông nhiệt độ phân bố thấp hơn từ 6-10°C có xu hướng tăng dần từ phía Bắc xuống phía Nam vịnh, từ bờ ra khơi. Nhiệt độ trung bình năm dao động khoảng từ 22,5-27,0°C, xu thế nhiệt độ đang nóng dần lên trung bình mỗi năm tăng 0,02°C/năm.

Trong 21 năm có 4747 ngày mưa với lượng mưa trung bình trên 1 mm, những ngày mưa to lớn hơn 50 mm tập trung chủ yếu vào các tháng mùa hè. Phân bố mưa trong năm tập trung chủ yếu từ tháng 5 đến tháng 10. Vào mùa hè mưa phân bố toàn vùng với lượng mưa cao, tập trung cao nhất ở khu vực ven bờ Quảng Ninh và Hà Tĩnh với lượng mưa khoảng 1400 mm, vào mùa đông lượng mưa giảm sút ở khoảng từ 150-600 mm với xu hướng giảm dần về phía Đông Bắc vịnh. Tổng lượng mưa năm dao động trong khoảng 1090-3400 mm, khu vực quanh các đảo Cồn Cỏ, Cô Tô, Bạch Long Vĩ lượng mưa trung bình dao động từ 1677-2232 mm. Xu thế lượng mưa tăng nhẹ hàng năm, trung bình mỗi năm tăng 13-50 mm/năm.

Nghiên cứu này đã phân tích số liệu viễn thám với chuỗi số liệu liên tục, nhiều năm để có thể đánh giá được quy luật phân bố và tính chu kỳ theo mùa theo thời gian của (T) và (R). Tuy nhiên, vẫn rất cần thiết có số liệu quan trắc thực tế từ các đài trạm cố định hoặc các trạm phao tự động trên biển để có thể kịp thời đánh giá, dự báo về các yếu tố này được chuẩn xác hơn nữa phục vụ các công tác nghiên cứu nghề cá, BĐKH cũng như các nghiên cứu biển khác.

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

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

Tài liệu tham khảo

- Đức, L.X.; Lành, N.V.; Anh, P.V. Nghiên cứu đánh giá đặc điểm khí hậu khu vực Đông Bắc Bộ thời kì 1970-2017. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* **2018**, 689, 11–20.
- Tuyết, N.T.; Minh, P.T.; Thảo, T.T.T.; Hằng, N.T. Nghiên cứu đặc điểm, xu thế biến đổi nhiệt độ và lượng mưa trên khu vực Nam Trung Bộ giai đoạn 1989-2018. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* **2021**, 729, 63–78.

3. Cảnh, L.Q.; Vân, H.N.T.; Thành, N.T.; Huy, N.Đ.; Quang, T.H.; Tài, Đ.T. Đánh giá tác động của biến đổi khí hậu đến nhiệt độ và lượng mưa khu vực tỉnh Quảng Bình. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* **2021**, 724, 1–14.
4. Hạnh, N.T.B. Xu thế biến đổi nhiệt độ, lượng mưa tại thành phố Hải Phòng trong bối cảnh biến đổi khí hậu. *Tạp chí Khoa học & Công nghệ* **2017**, 163(03/2), 119–123.
5. Hồng, N.V. Nghiên cứu đánh giá mức độ dao động và xu thế biến đổi của các yếu tố khí hậu tại Bình Định. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* **2022**, 738, 49–59.
6. Hương, N.T.L.; Hà, L.T.T.; Quang, N.Đ.; Hiệp, N.V. Đặc điểm và cơ chế gây mưa lớn tại Quảng Ninh từ 24 tháng 7 đến 05 tháng 8 năm 2015. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* **2018**, 687, 32–41.
7. Năm, T.T.; Minh, P.T.; Tuyết, B.T. Nghiên cứu đặc điểm khí hậu tỉnh Ninh Thuận. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* **2018**, 691, 21–29.
8. Ninh, L.V.; Giám, N.M. Đặc điểm khí hậu tỉnh An Giang. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* **2017**, 684, 18–26.
9. My, P.T.T. Xu thế biến đổi nhiệt độ và lượng mưa ở Nghệ An giai đoạn 1962 - 2017. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* **2018**, 689, 58–64.
10. Phùng, N.K.; Phùng, H.L.T.; Phụng, L.T.; Hoàng, T.X.; Tuấn, L.N. Xu thế biến đổi một số yếu tố khí tượng thủy văn tại thành phố Hồ Chí Minh và lân cận. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* **2017**, 676, 21–30.
11. Phùng, N.K.; Phụng, L.T.; Phùng, H.L.T.; Hoàng, T.X.; Tuấn, L.N. Xu thế biến đổi một số yếu tố khí tượng thủy văn tại tỉnh Đồng Nai. *Tạp chí Khoa học Biến đổi Khí hậu* **2017**, 2(6), 16–24.
12. Tâm, Đ.T.; Chi, N.T.P. Nghiên cứu đặc điểm khí hậu tỉnh Trà Vinh. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* **2017**, 717, 56–66.
13. Tuyết, B.T.; Minh, P.T. Nghiên cứu đặc điểm và xu thế biến đổi mưa nhiệt tỉnh Kiên Giang. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* **2018**, 685, 36–47.
14. Halimi, H.A.; Karaca, C.; Buyukta, D. Evaluation of NASA POWER climatic data against ground-based observations in the mediterranean and continental regions of Turkey. *J. Tekirdag Agric Fac.* **2023**, 20(1), 104–114.
15. Aboelkhair, H.; Morsy, M.; El Afandi, G. Assessment of agroclimatology NASA POWER reanalysis datasets for temperature types and relative humidity at 2 meter against ground observations over Egypt. *Adv. Space Res.* **2019**, 64(1), 129–142.
16. Bai, J.; Chen, X.; Dobermann, A.; Yang, H.; Cassman, K.G.; Zhang, F. Evaluation of NASA satellite and model. Derived weather data for simulation of maize yield potential in China. *Agron. J.* **2010**, 102(1), 9–16.
17. Irvem, A.; Ozbuldu, M. Evaluation of Satellite and Reanalysis Precipitation Products Using GIS for All Basins in Turkey. *Adv. Meteorol.* **2019**, 1–11.
18. Monteiro, A.L.; Sentelhas, P.C.; Pedra, G.U. Assessment of NASA/POWER Satellite based weather system for Brazilian conditions and its impact on sugar cane yield simulation. *Int. J. Climatol.* **2018**, 38(6), 1571–1581.
19. White, J.W.; Hoogenboom, G.; Stackhouse Jr., P.W.; Hoell, J.M. Evaluation of NASA satellite and assimilation model-derived long-term daily temperature data over the continental US. *J. Agric. For Meteorol.* **2008**, 148(10), 1574–1584.
20. Kịch bản Biến đổi Khí hậu 2020. Bộ Tài nguyên và Môi trường, Hà Nội, 2020.

Research of rain and air temperature in the gulf of Tonkin from satellite data

Nguyen Ngoc Tuan^{1*}, Nguyen Van Huong¹, Do Thi Phuong Thao², Nguyen Thi Thanh Huyen³, Can Thu Van⁴

¹ Research Institute for marine fisheries; nntuan@rimf.org.vn; nvhuong0509@gmail.com

² Hanoi University of Mining and Geology; dothiphuongthao@humg.edu.vn

³ International academy; thuminh886@gmail.com

⁴ Ho Chi Minh city University of Natural Resources and Environment; ctvan@hcmunre.edu.vn

Abstract: Air temperature (T) and precipitation (R) are basic meteorological characteristics that can distinguish climate zones on land as well as between different sea areas. To evaluate the specific climate characteristics of the Tonkin Gulf waters to serve research on seafood resources and forecasting fishing grounds, the article used 20 years of remote sensing data on T and R (2001-2021), analyze and evaluate their changes over time series and distribution throughout this sea area. The results show that the highest temperature is in the summer months from June to August (average $\approx 29.5^{\circ}\text{C}$); In winter, the temperature drops sharply (ranging from 16.0 to 22.0°C), lowest from December of the previous year to January of the following year and tends to decrease gradually in the direction of decreasing latitude from North to South. On average, the annual temperature ranges from 22.5 - 27.0°C and the temperature trend is $0.02^{\circ}\text{C}/\text{year}$ from 2001 to 2021. During this period, there are a total of 4747 days of concentrated rain. weak in the summer months. The area with the highest rainfall (about 1400mm) is distributed in the coastal areas of Quang Ninh - Hai Phong and Nghe An - Quang Binh; In winter, rainfall decreases sharply and gradually from the southwest to the northeast of Tonkin Gulf with R fluctuating between 150-600 mm. Total (R) by year ranges from 1090-3400 mm, the average is about 1677-2232 mm, (R) increases slightly from 13-50 mm/year.

Keywords: Climate Change; Air Temperature; Rainfall; Tonkin Gulf.

Bài báo khoa học

Ứng dụng phương pháp trung bình có trọng số hiệu chỉnh quỹ đạo cơn bão Podul 2019

Phạm Thị Minh^{1*}, Trần Thị Hồng Tường², Hà Anh Đông³

¹ Khoa Khí tượng Thủy văn và Biến đổi khí hậu, Trường Đại học Tài nguyên và Môi trường TP. HCM; minhpt201@gmail.com

² Khoa hệ thống thông tin và Viễn thám; tthtuong@hcmunre.edu.vn

³ Khoa Đại cương, Trường Đại học Tài nguyên và Môi trường TP. HCM; hadong@hcmunre.edu.vn

*Tác giả liên hệ: ptminh@hcmunre.edu.vn; Tel: +84-936069249

Ban Biên tập nhận bài: 15/9/2023; Ngày phản biện xong: 20/10/2023; Ngày đăng bài: 25/11/2023

Tóm tắt: Bài báo này trình bày kết quả ứng dụng phương pháp trung bình có trọng số (SEWE) của các thành phần tổ hợp tối ưu để hiệu chỉnh quỹ đạo cơn bão Podul 2019. Trong đó, các tổ hợp tối ưu chọn từ dự báo tổ hợp được tạo ra từ tổ hợp đa vật lý của mô hình WRF. Kết quả thử nghiệm cho thấy thử nghiệm SEWE cải thiện được chất lượng dự báo quỹ đạo ở hầu hết các hạn dự báo từ 12 giờ đến 48 giờ. Đặc biệt, đối với các hạn dự báo dài hơn 24 giờ chất lượng dự báo quỹ đạo của thử nghiệm SEWE cải thiện được từ 6% đến 10% so với sai số quỹ đạo của phương pháp trung bình tổ hợp thông thường. Kết quả này có thể là do ở hạn dự báo dài hơn 24 giờ cơn bão Podul 2019 di chuyển ổn định và đang mạnh lên do đó phương pháp trung bình có trọng số hiệu quả hơn. Kết quả của nghiên cứu có thể ứng dụng dự báo quỹ đạo bão ảnh hưởng đến Việt Nam.

Từ khóa: Trung Bình; Dự báo tổ hợp; Mô hình WRF; Bão Podul.

1. Giới thiệu

Bão là hiện tượng thời tiết nguy hiểm, những hậu quả do bão đem lại là rất lớn về mặt tài sản và con người. Do đó, dự báo quỹ đạo bão chính xác là bài toán được đặt ra cho ngành khí tượng từ nhiều năm nay. Trên thế giới có nhiều phương pháp áp dụng để dự báo quỹ đạo bão, và các nghiên cứu hiện tại thường đi theo các hướng: 1) Hiệu chỉnh các quá trình vật lý trong mô hình; 2) Ban đầu hóa xoáy và đồng hóa số liệu; 3) xử lý hậu mô hình - hiệu chỉnh sau mô hình. Với hướng 1, chủ yếu phát triển các mô hình số và ứng dụng để dự báo quỹ đạo bão [1–2]. Hướng 2 thường đi theo các phương pháp đồng hóa biến phân và phương pháp đồng hóa dãy [3–6]. Ngoài ra, dự báo tổ hợp cũng được áp dụng để dự báo quỹ đạo bão trên các trung tâm lớn trên thế giới như trung tâm dự báo hạn vừa và hạn dài Châu Âu (ECMWF), trung tâm dự báo môi trường quốc gia Hoa Kỳ (NCEP) [7–10]. Hướng 3 thường được xử lý hậu mô hình, bằng cách hiệu chỉnh kết quả dự báo quỹ đạo bão bằng các phương pháp thống kê truyền thống hoặc hiện đại. Cụ thể trong các bài toán dự báo tổ hợp, thường sử dụng phương pháp trung bình đơn giản và phương pháp siêu tổ hợp để xác định quỹ đạo dự báo của bão [11]. Năm 2014, tác giả Qi và các cộng sự đã thử nghiệm phương pháp trung bình tổ hợp của các thành phần lựa chọn đối với sản phẩm từ các thành phần hệ thống dự báo tổ hợp (EPS) từ Trung tâm Dự báo Thời tiết hạn vừa Châu Âu (ECMWF), Cơ quan Khí tượng Nhật Bản (JMA), Trung tâm Quốc gia về Dự báo Môi trường (NCEP), và Cục Khí tượng Trung Quốc đối với 35 cơn bão ở Tây Bắc Thái Bình Dương vào năm 2010 và 2011, các tác giả đã chứng

minh rằng phương pháp trung bình có trọng số vượt trội hơn so với kết quả của phương pháp trung bình tổ hợp đơn giản ở thời hạn ngắn [12].

Ở Việt Nam, ứng dụng mô hình số và đồng hóa số liệu trong bài toán dự báo quỹ đạo bão cũng được nghiên cứu phổ biến [13–16]. Các kết quả nghiên cứu cải thiện sai số dự báo quỹ đạo từ 3 đến 5 ngày [13–16]. Ngoài ra, dự báo quỹ đạo bão bằng phương pháp tổ hợp cũng được nhiều tác giả nghiên cứu [14, 16], các kết quả nghiên cứu cho thấy dự báo tổ hợp cải thiện đáng kể sai số dự báo quỹ đạo bão [14, 16]. Mặt khác, dự báo bão tổ hợp quỹ đạo bão được tạo ra từ mô hình WRF được phát triển rất mạnh và đem lại kết quả khả quan [4–6]. Tuy nhiên, việc tổng hợp quỹ đạo dự bão cuối cùng bằng phương pháp trung bình tổ hợp thông thường hầu như chưa mang lại hiệu quả cao [4–6], do đó kết quả dự báo quỹ đạo bão còn sai lệch khá nhiều so với vị trí quan trắc. Năm 2020, một nghiên cứu đã ứng dụng phương pháp tổ hợp trung bình có lựa chọn và có trọng số được ứng dụng tính toán, đánh giá cụ thể đối với trường hợp dự báo cơn bão Damrey năm 2017 từ các sản phẩm tổ hợp gồm 51 thành phần dự báo của ECMWF. Kết quả cho thấy khả năng hiệu chỉnh rõ rệt của phương pháp lựa chọn các thành phần tổ hợp với sai số trong ngưỡng xem xét ở các hạn dự báo ngắn hạn [17]. Ngoài ra, một nghiên cứu khác cũng áp dụng phương pháp trung bình có trọng số của các thành phần tổ hợp tối ưu được tạo ra từ mô hình WRF để hiệu chỉnh quỹ đạo cơn bão Molave năm 2020. Kết quả chỉ ra phương pháp cũng hiệu quả ở các hạn dự báo dưới 48 giờ [18]. Do đó, hướng giải quyết liên quan đến hậu mô hình để cải thiện kết quả dự báo quỹ đạo bão cũng được quan tâm.

Đối với cơn bão Podul năm 2019 là một cơn bão số 4 đã ảnh hưởng nghiêm trọng đến các tỉnh khu vực Bắc Bộ, Bắc Trung Bộ và Nam Trung Bộ làm 4 người chết, 3 người mất tích, 4 người bị thương. Thiệt hại về nhà ở: 1.709 căn nhà bị phá hủy và hư hại, gây ngập lụt nhiều diện tích lúa và hoa màu, cây ăn quả, hư hại nhiều công trình đê điều, giao thông, ... Tổng thiệt hại ước tính khoảng 393,302 triệu đồng [19]. Do đó, Nghiên cứu chọn cơn bão Podul năm 2019 để ứng dụng phương pháp trung bình có trọng số hiệu chỉnh quỹ đạo dự báo.

2. Phương pháp nghiên cứu và số liệu sử dụng

2.1. Tóm tắt hoạt động của cơn bão Podul

Bão nhiệt đới Podul hay còn gọi là Bão số 4 là cơn bão thứ 12 của mùa bão Tây Bắc Thái Bình Dương 2019. Podul tiến vào Biển Đông ngày 28 tháng 8 và đổ bộ vào tỉnh Hà Tĩnh, Quảng Bình ngày 30 tháng 8 (Hình 1). Diễn biến cụ thể của cơn bão Podul có thể tham khảo tại [19]. Riêng đối với Việt Nam, bão số 4 đã ảnh hưởng nghiêm trọng đến các tỉnh khu vực Bắc Bộ, Bắc Trung Bộ và Nam Trung Bộ làm 4 người chết, 3 người mất tích, 4 người bị thương. Thiệt hại về nhà ở: 1.709 căn nhà bị phá hủy và hư hại, gây ngập lụt nhiều diện tích lúa và hoa màu, cây ăn quả, hư hại nhiều công trình đê điều, giao thông, Tổng thiệt hại ước tính khoảng 393,302 triệu đồng. Vì thế, nghiên cứu này lựa chọn cơn bão Podul để tiến hành thử nghiệm hiệu chỉnh quỹ đạo bão bằng phương pháp trung bình có trọng số của các thành phần tổ hợp tối ưu [19].

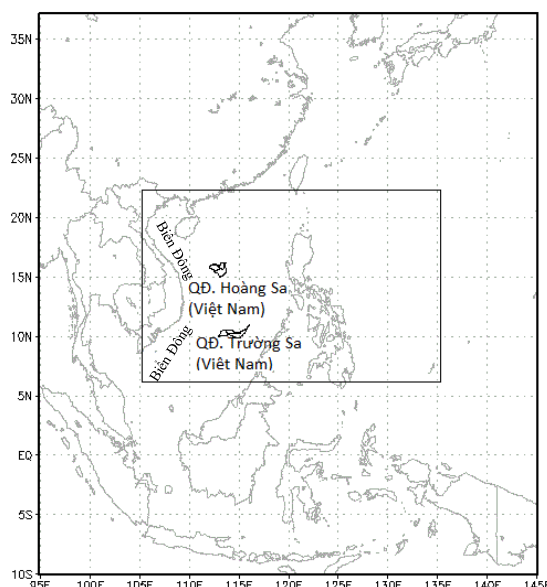


Hình 1. Quỹ đạo di chuyển của cơn bão Podul 2019 [19].

2.2. Thiết lập cơ sở cho mô hình

2.2.1. Mô hình và cấu hình tổ hợp đa vật lý

Dự báo tổ hợp đa vật lý được triển khai trong phiên bản V4.0 của mô hình WRF-ARW áp dụng phương pháp trung bình có trọng số của các tổ hợp tối ưu để tìm ra quỹ đạo bão tốt nhất. Mô hình WRF được lựa chọn kết hợp với một lưới lồng gồm hai miền tính sử dụng phép chiếu Mercator có độ phân giải ngang 36 km và 12 km tương ứng (miền lưới 1 gồm 151×151 điểm lưới và miền lưới 2 gồm 151×151 điểm lưới với tâm miền tính cố định 13,8°N - 122,9°E) được khởi tạo với số liệu từ hệ thống NCEP/GFS (Hình 2). Miền không gian của mô hình có 31 mực theo phương thẳng đứng (σ) với mực áp suất cao nhất (biên trên của mô hình) có giá trị là 10 hPa, và miền không gian này nằm ở gần trung tâm của biển Đông, về phía Đông của Việt Nam (Hình 2). Tổ hợp đa vật lý trong mô hình WRF gồm nhiều sơ đồ tham số mô tả các quá trình vật lý xảy ra trong khí quyển nhưng theo những nghiên cứu trước đây [4–6] đã sử dụng các sơ đồ được liệt kê trong bảng 2 để tạo ra dự báo tổ hợp đa vật lý trong mô hình WRF và có kết quả khả quan. Do đó trong nghiên cứu này cũng sử dụng các sơ đồ trên để tạo ra dự báo tổ hợp đa vật lý.



Hình 2. Miền lưới thử nghiệm.

Như vậy, tổng cộng có 21 kết hợp khác nhau của các sơ đồ vật lý được trong các thành phần tổ hợp khác nhau trong mô hình WRF theo một chuỗi các hoán vị của các sơ đồ vật lý đó, khi số lượng của các thành phần tổ hợp lớn hơn số lượng của các kết hợp, việc gán sẽ được lặp lại. Theo đó, 21 bộ mô hình vật lý gồm các sơ đồ sau: (1) sơ đồ vi vật lý gồm sơ đồ của Kessler, sơ đồ của Lin [20], vi vật lý Ferrier và các sơ đồ WSM3, WSM5, WSM6; (2) sơ đồ bức xạ sóng ngắn gồm sơ đồ của Dudhia và Goddard; (3) sơ đồ bức xạ sóng dài của RRTM và (4) hai sơ đồ tham số hóa đối lưu của Kain-Fritsch và Betts-Miller-Janjic (BMJ) (Bảng 1), và các tổ hợp kết hợp được đưa ra trong Bảng 2.

Bảng 1. Sơ đồ tham số hóa trong mô hình WRF ứng với các lựa chọn cụ thể.

Sơ đồ	Kí hiệu	Các lựa chọn
Vi vật lý	mp_physics	= 1, Kessler scheme
		= 2, Lin et al. scheme
		= 3, WSM 3-class simple ice scheme
		= 4, WSM 5-class scheme
		= 5, Ferrier (new Eta) microphysics

Sơ đồ	Kí hiệu	Các lựa chọn
		= 6, WSM 6-class graupel scheme
Bức xạ sóng ngắn	ra_sw_physics	= 1, Dudhia scheme = 2, Goddard short wave
Bức xạ sóng dài	ra_lw_physics	= 1, rrtm scheme
Đổi lưu	cu_physics	= 1, Kain-Fritsch (new Eta) scheme = 2, Betts-Miller-Janjic scheme

Bảng 2. Thành phần tổ hợp tương ứng với các sơ đồ vật lý khác nhau.

Tổ hợp	Ra_lw_physics	Ra_sw_physics	mp_physics	cu_physics
001	1	2	1	1
002	1	1	1	2
003	1	2	1	2
004	1	1	2	1
005	1	2	2	1
006	1	1	2	2
007	1	2	2	2
008	1	1	3	1
009	1	2	3	1
010	1	1	3	2
011	1	2	3	2
012	1	1	4	1
013	1	2	4	1
014	1	1	4	2
015	1	2	4	2
016	1	1	5	1
017	1	2	5	1
018	1	1	5	2
019	1	2	5	2
020	1	1	6	1
021	1	2	6	1

2.3. Số liệu

Mô hình số thông thường cần số liệu đầu vào như điều kiện biên và điều kiện ban đầu để giải hệ phương trình cơ bản của khí tượng động lực bằng phương pháp số [21]. Tương tự mô hình WRF cũng cần số liệu đầu vào như điều kiện biên và điều kiện ban đầu. Số liệu này nghiên cứu sử dụng số liệu dự báo toàn cầu GFS của trung tâm dự báo môi trường quốc gia Hoa Kỳ [22]. Ngoài ra số liệu quan trắc về vị trí tâm bão sử dụng để đánh giá hiệu quả của phương pháp trung bình có trọng số được lấy từ trang web [23], số liệu cụ thể đối với cơn bão Podul năm 2019 thể hiện trong bảng 3.

Bảng 3. Số liệu quan trắc vị trí tâm bão.

Thời gian	Vị trí tâm bão	
	Vĩ độ	Kinh độ
2019082600	12.8N	133.7E
2019082606	13.3N	131.9E
2019082612	13.7N	129.6E
2019082618	14.3N	128.1E
2019082700	14.7N	126.7E
2019082706	15.2N	124.8E
2019082709	15.8N	124.0E
2019082712	16.0N	122.9E
2019082718	16.3N	120.6E
2019082800	16.7N	118.0E

Thời gian	Vị trí tâm bão	
	Vĩ độ	Kinh độ
2019082806	16.8N	116.4E
2019082812	17.1N	114.8E
2019082818	17.3N	113.2E
2019082900	17.5N	111.6E
2019082906	17.5N	109.7E
2019082912	17.7N	108.0E
2019082918	17.2N	106.4E
2019083000	16.5N	104.5E
2019083006	16.6N	103.6E
2019083012	16.8N	103.0E
2019083018	17.3N	102.5E
2019083100	17.9N	102.1E

2.4. Phương pháp trung bình tổ hợp có trọng số

Trung bình tổ hợp cuối cùng được xác định bởi các bước sau:

- Sai số vị trí SLT tại 12 giờ được tính toán cho các dự báo quỹ đạo từ tất cả các thành phần tổ hợp liên quan đến quan trắc;
- Sai số vị trí SLT trung bình của tất cả thành phần tổ hợp được tính toán;
- Các thành phần có sai số nhỏ hơn sai số SLT trung bình sẽ được lựa chọn;
- Hai giá trị trung bình tổ hợp sẽ được tính toán đơn giản bằng cách lấy trung bình cộng các thành phần được lựa chọn và tính trọng số các thành phần được lựa chọn với hệ số tỉ lệ nghịch với các thành phần tương ứng;
- Sai số trung bình và trọng số để tính toán quỹ đạo trung bình tổ hợp sẽ được điều chỉnh để khớp với vị trí SLT với các số liệu quan trắc mới nhất. Quỹ đạo được điều chỉnh cuối cùng ký hiệu là trung bình của các thành phần tổ hợp có lựa chọn (SEAV), trung bình có trọng số của các thành phần tổ hợp có lựa chọn (SEWE).

Hình 3a minh họa trường hợp tồn tại 3 thành phần tổ hợp (kí hiệu tương ứng là m1, m2, m3) được lựa chọn để xác định dự báo tổ hợp trọng số cuối cùng do đáp ứng chỉ tiêu sai số vị trí SLT nhỏ hơn so với sai số SLT trung bình của tất cả thành phần. Trong trường hợp này, dự báo LLT của 3 thành phần này sẽ được sử dụng để xác định dự báo SEAV hoặc dự báo SEWE cuối cùng.

Sơ đồ trọng số được thiết kế để xác định trọng số dự báo quỹ đạo LLT bởi hệ số tỉ lệ nghịch với các sai số SLT tương ứng, được đặt tên là e₁, e₂, e₃. Khi đó, các trọng số được tính toán theo phương trình (1-3).

$$w_1 = \frac{1}{e_1}; w_2 = \frac{1}{e_2}; w_3 = \frac{1}{e_3} \tag{1}$$

$$x = (w_1 + w_2 + w_3) \tag{2}$$

$$W_1 = \frac{w_1}{x}; W_2 = \frac{w_2}{x}; W_3 = \frac{w_3}{x} \tag{3}$$

Trong đó W₁, W₂, W₃ là các hệ số trọng số của các thành phần tối ưu. Tuy nhiên, một số thành phần được chọn lại không có dự báo LLT, đặc biệt là khi xoáy thuận nhiệt đới bước vào giai đoạn suy yếu. Trong trường hợp này, quy trình tính trọng số vẫn được áp dụng cho các thành phần còn lại và vẫn tuân theo phương trình từ (1-3). Trong phương pháp trung bình trọng số này, cần có ít nhất 2 thành phần tổ hợp cho tất cả các thời hạn dự báo.

Như vậy, công thức tính trọng số của phương pháp này được mở rộng cho N thành phần tổ hợp, thành phần thứ i có sai số khoảng cách DPE (kí hiệu là e_i) ở hạn SLT, sẽ có dạng:

$$w_i = \frac{1}{e_i} \tag{4}$$

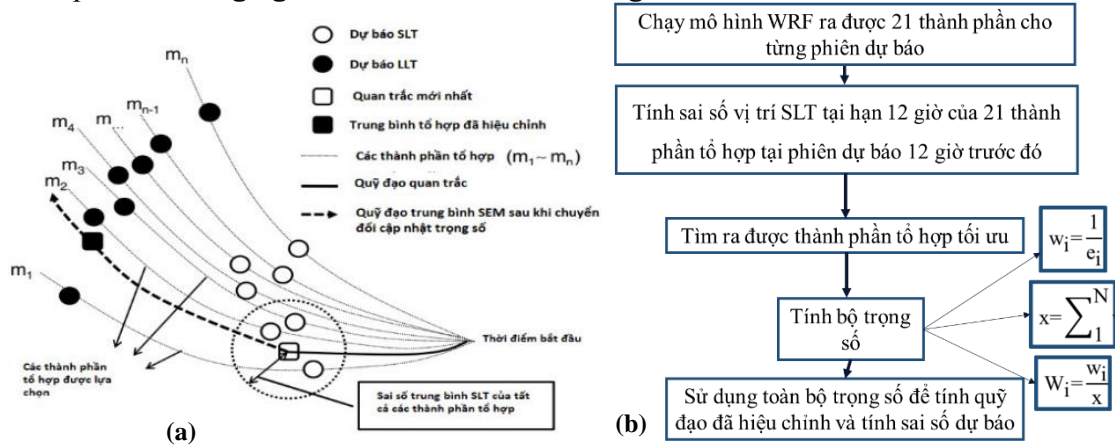
$$x = \sum_1^N w_i \tag{5}$$

$$W_i = \frac{w_i}{x} \tag{6}$$

Sau khi tính toán xong các hệ số trọng số, giá trị trung bình có trọng số SEWE của tổ hợp tối ưu sẽ được tính theo công thức:

$$SEWE = \sum_{i=1}^N (W_i e_i) \tag{7}$$

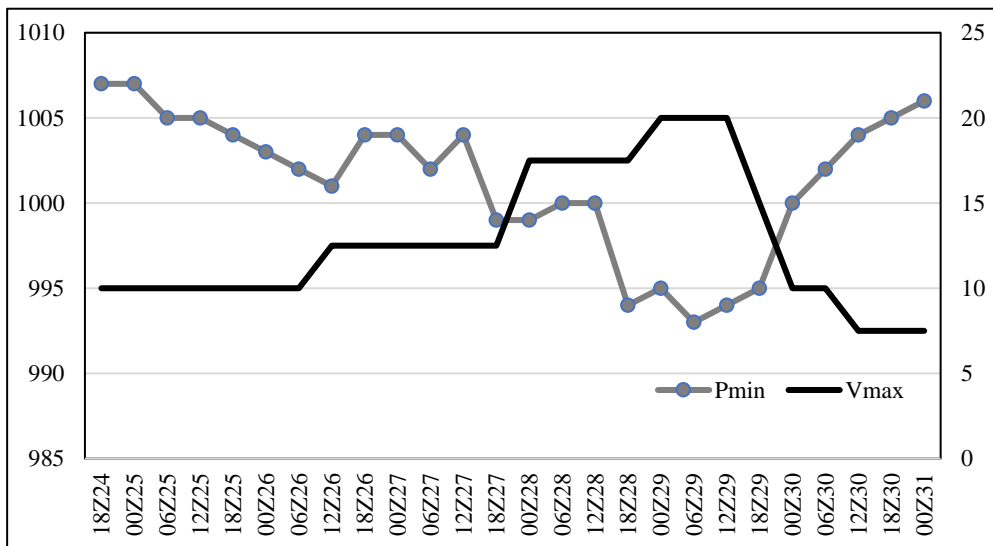
Các sai số đáp ứng ở hạn dự báo SLT liên quan đến chính mẫu thống kê của từng hệ thống dự báo tổ hợp. Các bước thực hiện phương pháp trung bình có trọng số của các thành phần tổ hợp tối ưu trong nghiên cứu được tóm tắt trong hình 3b.



Hình 3. Sơ đồ minh họa kỹ thuật trung bình tổ hợp có lựa chọn (a) [17]. Sơ đồ khối mô tả các bước tính toán (b).

2.5. Các trường hợp thử nghiệm

Con bão Podul 2019 tiến vào Biển Đông ngày 28 tháng 8 và đổ bộ vào tỉnh Hà Tĩnh, Quảng Bình ngày 30 tháng 8. Mặt khác bão bắt đầu mạnh dần lên từ 12 UTC ngày 27 tháng 8 và mạnh nhất vào ngày 29 tháng 8 năm 2019, bão suy yếu dần bắt đầu từ 00 UTC ngày 30 tháng 8 năm 2019 (Hình 4). Do đó, trong nghiên cứu này sẽ thử nghiệm dự báo hạn 3 ngày với khoảng thời gian có thể dự báo được cơn bão bắt đầu mạnh dần lên, đó là từ thời điểm 12 UTC ngày 26 tháng 8 năm 2019 đến 12 UTC ngày 27 tháng 8 năm 2019 (hình 4). Trong đó, dự báo hạn ngắn 12 giờ được thực hiện lúc 00 UTC ngày 26/8, lúc 12 UTC ngày 26/8 và 00 UTC ngày 27/8, quỹ đạo hiệu chỉnh cho 3 phiên dự báo lúc 12 UTC ngày 26/8, 00 UTC ngày 27/8 và 12 UTC ngày 27/8/2019.



Hình 4. Biến trình Pmin và Vmax của cơn bão Podul 2019.

2.6. Phương pháp đánh giá

Sai số quỹ đạo tính theo công thức (8):

$$PE = R_e * \arccos [\sin(\alpha_1) * \sin(\alpha_2) + \cos(\alpha_1) * \cos(\alpha_2) * \cos(\beta_1 - \beta_2)] \quad (8)$$

Trong đó R_e là bán kính trái đất (6378.16 km); α_1, α_2 là vĩ độ của tâm bão thực tế và tâm bão do mô hình dự báo (đv radian); β_1, β_2 là kinh độ của tâm bão thực tế và tâm bão dự báo (đv radian). Sai số trung bình khoảng cách được tính như sau:

$$MPE_j = \frac{\sum_{i=1}^n PE_{i,j}}{n} \quad (9)$$

Trong đó PE là sai số khoảng cách của từng trường hợp dự báo; n là số trường hợp thử nghiệm; j là hạn dự báo.

3. Kết quả và thảo luận

3.1. Mối liên hệ giữa sai số dự báo hạn ngắn và trọng số của các tổ hợp tối ưu

Do khoảng thời gian nghiên cứu thực hiện hiệu chỉnh quỹ đạo bão là các phiên dự báo cách nhau 12 giờ, và trong khoảng thời gian 12 giờ số liệu quỹ đạo thực mới được cập nhật, do đó sai số dự báo hạn ngắn sử dụng trong nghiên cứu là sai số dự báo 12 giờ. Sai số dự báo này được tính tại các phiên dự báo 00 UTC, 12 UTC ngày 26/8 và 00 UTC ngày 27/8 theo công thức (8 và 9), kết quả được thể hiện trong bảng 4.

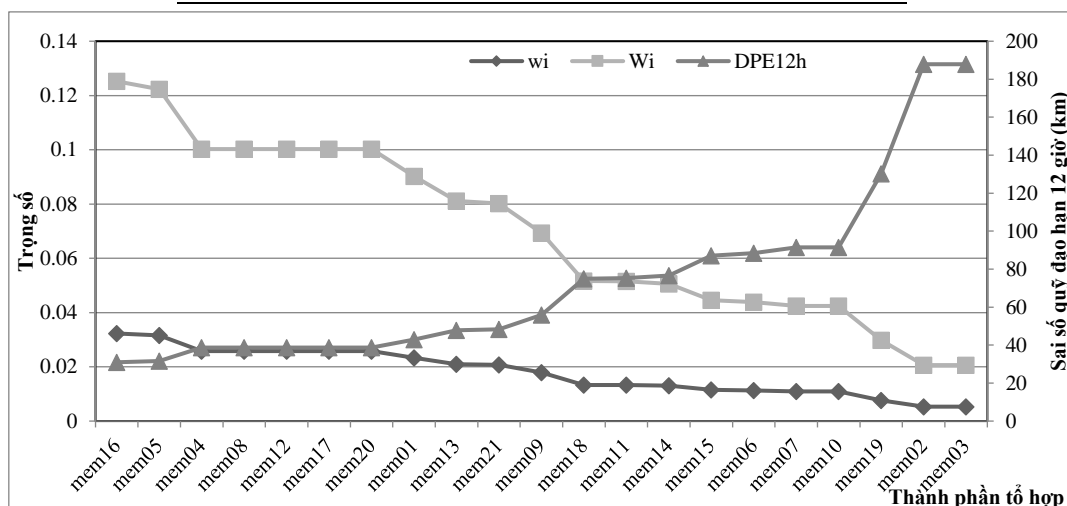
Trong bảng 4 sai số dự báo hạn 12 giờ (DPE12) ở từng phiên dự báo được sắp xếp từ nhỏ đến lớn. Từ kết quả sai số hạn 12 giờ nghiên cứu so sánh với sai số dự báo quỹ đạo trung bình tổ hợp (EM), nếu thành phần tổ hợp nào có DPE12 nhỏ hơn sai số dự báo quỹ đạo trung bình tổ hợp thì chọn thành phần đó là thành phần tổ hợp tối ưu. Như vậy, nghiên cứu đã chọn ra được các thành phần tổ hợp tối ưu cho từng phiên dự báo cần hiệu chỉnh quỹ đạo đưa ra trong bảng 5. Tiếp theo nghiên cứu tính các trọng số theo phương pháp của Qi thông qua sai số dự báo hạn ngắn 12 giờ (công thức 4 - 6).

Bảng 4. Sai số dự báo quỹ đạo hạn 12 giờ tại từng phiên dự báo (đơn vị km).

00Z26		12Z26		00Z27	
TT	DPE12	TT	DPE12	TT	DPE12
mem16	30,97	mem04	60,10	mem05	63,83
mem05	31,71	mem05	60,10	mem12	63,83
mem04	38,71	mem12	60,10	mem13	63,83
mem08	38,71	mem13	60,10	mem20	63,83
mem12	38,71	mem20	65,38	mem21	63,83
mem17	38,71	mem08	71,60	mem04	70,16
mem20	38,71	mem09	71,60	mem16	70,62
mem01	42,98	mem16	71,60	mem17	70,62
mem13	47,80	mem21	76,09	mem08	70,82
mem21	48,37	mem17	83,18	mem09	70,82
mem09	55,91	mem14	83,66	mem18	101,62
mem18	75,03	mem15	83,66	mem01	104,55
mem11	75,34	mem10	84,43	mem10	137,49
mem14	76,65	mem11	84,43	mem11	137,49
mem15	87,04	mem06	95,59	mem19	157,72
mem06	88,44	mem07	95,59	mem03	165,20
mem07	91,43	mem18	98,39	mem07	168,30
mem10	91,43	mem19	98,39	mem14	169,62
mem19	130,21	mem01	115,96	mem15	169,62
mem02	187,90	mem02	120,12	mem02	171,99
mem03	187,90	mem03	120,12	mem06	173,95

Bảng 5. Số các thành phần tổ hợp tối ưu được lựa chọn.

Phiên dự báo	Số thành phần đạt ngưỡng 12h
00UTC 26-8-2019	10
12UTC 26-8-2019	5
00UTC 27-8-2019	10

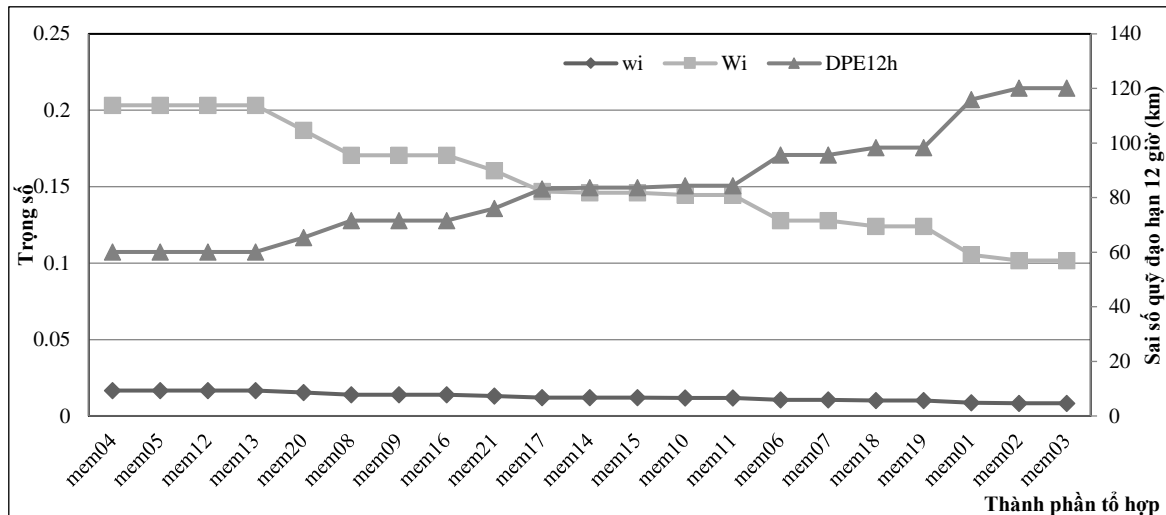


Hình 5. Biểu đồ biểu diễn trọng số của từng thành phần tổ hợp ứng với phiên dự báo 12UTC ngày 26/8/2019.

Cụ thể, từ kết quả sai số quỹ đạo dự báo hạn ngắn 12 giờ trong bảng 3.4 so sánh với sai số trung bình tổ hợp của 21 thành phần tại hạn dự báo đó để tìm ra từng thành phần tổ hợp tối ưu. Kết quả tính toán cho từng phiên dự báo như sau: Với phiên dự báo 00 UTC ngày 26/8/2019 có 10 thành phần tổ hợp được chọn để tính quỹ đạo dự báo cho tất cả các hạn dự báo của phiên dự báo 12 UTC ngày 26/8/2019; phiên dự báo 12 UTC ngày 26/8/2019 có 5 thành phần tổ hợp được chọn để dự báo quỹ đạo bão cho phiên dự báo 00UTC ngày 26/8/2019; phiên dự báo 00 UTC ngày 27/8/2019 có 10 thành phần tổ hợp được chọn để tính quỹ đạo dự báo cho tất cả các hạn dự báo của phiên dự báo 12 UTC ngày 27/8/2019 (bảng 3.5). Ngoài ra, các trọng số tương ứng với các thành phần tổ hợp (Bảng 4) được tính từ sai số dự báo quỹ đạo hạn 12 giờ theo các công thức (5 và 6). Kết quả được biểu diễn trên hình 5, hình 6 và hình 7.

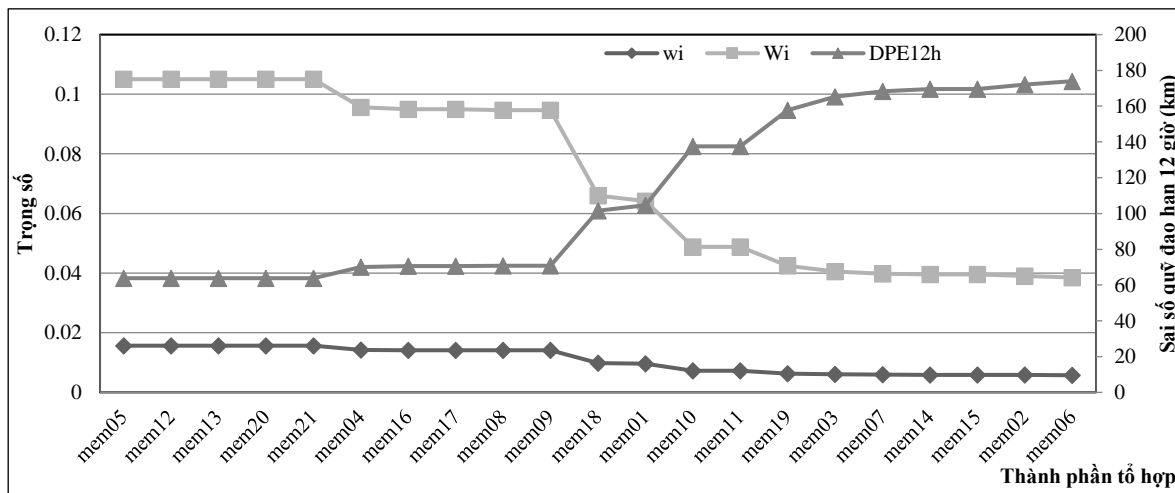
Hình 5, hình 6 và hình 7 là biểu đồ biểu diễn trọng số của từng thành phần tổ hợp ứng với phiên dự báo 12 UTC ngày 26/8, phiên dự báo lúc 00 UTC và 12 UTC ngày 27 tháng 8 năm 2019. Trong đó, trục tung ở bên trái là giá trị của trọng số W_i (đường màu xám vuông) và w_i (đường màu xám hình thoi); trục tung bên phải là sai số dự báo hạn 12 giờ (DPE12 - đường màu xám hình tam giác).

Từ hình 5, hình 6 và hình 7 cho thấy W_i (đường màu xám vuông) và w_i (đường màu xám hình thoi) đồng biến, tức giá trị w_i tăng (giảm) thì giá trị W_i cũng tăng (giảm) tương ứng. Trong khi đó, giá trị của sai số dự báo quỹ đạo hạn 12 giờ (DPE12- màu xám hình tam giác) của thành phần tổ hợp càng lớn thì W_i càng nhỏ, hoặc ngược lại nếu DPE12 càng nhỏ thì W_i càng lớn hay giữa W_i và DPE12 có quan hệ nghịch biến. Điều này có nghĩa là những thành phần tổ hợp nào có sai số DPE12 càng nhỏ thì tỷ lệ % tham gia vào phương trình (7) càng lớn. Đối với phiên dự báo 00 UTC ngày 26 tháng 8 năm 2019, các thành phần tổ hợp có DPE12 dưới 80 km thì có giá trị W_i dao động từ 0,06 đến 0,14, còn những tổ hợp còn lại có DPE12 trên 80 km đến 190 km thì tương ứng với giá trị W_i dao động từ 0,02 đến 0,06 (hình 5). Trong phiên dự báo 12 UTC ngày 26 tháng 8 năm 2019 các thành phần 4, 5, 12, 13, 20, 8, 9 và 21 có DPE12 dưới 80 km nên giá trị trọng số W_i dao động từ 0,15 đến 0,2. Trong khi đó các thành phần tổ hợp còn lại có W_i dao động từ 0,1 đến 0,15 ứng với DPE12 dao động từ 80 km đến 120 km (Hình 6).



Hình 6. Biểu đồ biểu diễn trọng số của từng thành phần tổ hợp ứng với phiên dự báo 00UTC ngày 27/8/2019.

Đối với phiên dự báo 00 UTC ngày 27 tháng 8 năm 2019 (hình 7), các thành phần tổ hợp có DPE12 nhỏ hơn 60 km thì trọng số W_i dao động từ 0.08 đến 0.12, còn những tổ hợp còn lại có DPE12 trên 60 km đến 180 km thì tương ứng với giá trị W_i dao động từ 0.04 đến 0.08 (hình 7). Như vậy đối với phiên dự báo được thực hiện lúc 12 UTC ngày 26/8, 00 UTC ngày 27/8 và 12 UTC ngày 27/8 các thành phần tối ưu tham gia vào phương trình (7) được thể hiện trong bảng 6.



Hình 7. Biểu đồ biểu diễn trọng số của từng thành phần tổ hợp ứng với phiên dự báo 12UTC ngày 27/8/2019.

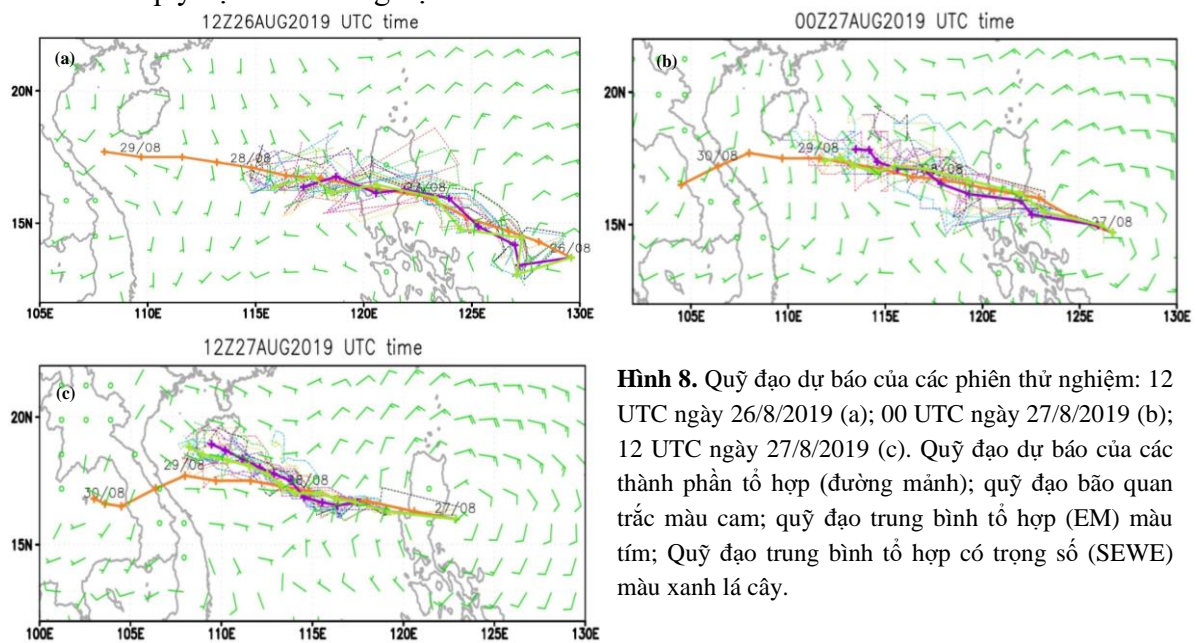
Bảng 6. Các thành phần tổ hợp tối ưu được lựa chọn.

Phiên dự báo	Thành phần tối ưu được chọn
12UTC 26-8-2019	16, 04, 05, 08, 17, 20, 01, 13, 21, 09
00UTC 27-8-2019	04, 05, 13, 12, 20
12UTC 27-8-2019	05, 12, 13, 20, 21, 04, 16, 17, 08, 09

Các thành phần tổ hợp tối ưu trong bảng 6 và các trọng số W_i tương ứng được đưa vào công thức (7) để xác định các vị trí bão dự báo của các phiên 12 UTC ngày 26/8, 00 UTC và 12 UTC ngày 27/8/2019. Các vị trí của cơn bão này được đưa vào phần mềm Grads để vẽ ra quỹ đạo bão cho từng phiên dự báo. Ngoài ra, sai số dự báo quỹ đạo tính bằng công thức (8 và 9) được thực hiện trong phần tiếp theo.

3.2. Hiệu chỉnh quỹ đạo

Từ hình 8a cho thấy một số thành phần tổ hợp được lựa chọn không bắt được vị trí tâm bão, do đó quỹ đạo trung bình có trọng số (SEWE) chỉ tính được tới hạn 48 giờ, tùy vào từng hạn dự báo mà quỹ đạo bão của thử nghiệm SEWE có thể gần hoặc xa quỹ đạo thực hơn thử nghiệm EM. Cụ thể, ở hạn dự báo 6 giờ vị trí tâm bão của cả 2 thử nghiệm đều nằm ở phía nam so với vị trí tâm bão quan trắc, tuy nhiên thử nghiệm SEWE dự báo vị trí tâm bão xa vị trí tâm bão quan trắc hơn so với thử nghiệm EM (Hình 8a). Ở hạn dự báo 12 giờ đến 18 giờ, dường như cả 2 thử nghiệm đều dự báo vị trí tâm bão ở phía nam vị trí bão quan trắc với sự sai khác không đáng kể. Ở hạn dự báo 24 giờ, thử nghiệm SEWE dự báo vị trí bão ở phía nam so với vị trí bão quan trắc, còn thử nghiệm EM dự báo vị trí bão ở phía bắc so với vị trí bão quan trắc. Từ hạn dự báo 30 giờ đến 48 giờ, thử nghiệm SEWE dự báo quỹ đạo bão đi nhanh hơn và gần quỹ đạo thực hơn so với quỹ đạo dự báo bão của thử nghiệm EM. Độ chính xác của kết quả dự báo quỹ đạo bão được xác định thông qua sai số khoảng cách giữa tâm bão dự báo và tâm bão quan trắc tính thông qua công thức (8 và 9). Kết quả sai số cho phiên dự báo lúc 12 UTC ngày 26 tháng 8 năm 2019 thể hiện trong Hình 9. Tại hạn dự báo 06 giờ thử nghiệm SEWE có sai số quỹ đạo cao hơn so với sai số quỹ đạo của thử nghiệm EM, sang hạn dự báo 12 giờ thử nghiệm SEWE vẫn có sai số quỹ đạo cao hơn so với sai số quỹ đạo của thử nghiệm EM, từ hạn dự báo 18 giờ đến hạn dự báo 24 giờ thử nghiệm SEWE có sai số quỹ đạo nhỏ hơn sai số quỹ đạo của thử nghiệm EM.

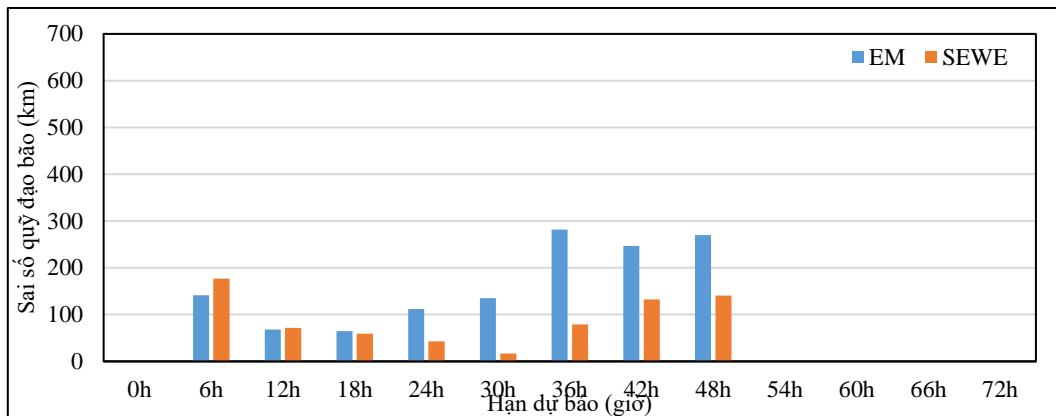


Hình 8. Quỹ đạo dự báo của các phiên thử nghiệm: 12 UTC ngày 26/8/2019 (a); 00 UTC ngày 27/8/2019 (b); 12 UTC ngày 27/8/2019 (c). Quỹ đạo dự báo của các thành phần tổ hợp (đường mảnh); quỹ đạo bão quan trắc màu cam; quỹ đạo trung bình tổ hợp (EM) màu tím; Quỹ đạo trung bình tổ hợp có trọng số (SEWE) màu xanh lá cây.

Đối với phiên dự báo lúc 00 UTC ngày 27/8/2019, từ Hình 8b cho thấy từ 00 giờ đến 30 giờ quỹ đạo bão dự báo của thử nghiệm SEWE nằm ở phía bắc quỹ đạo dự báo bão của thử nghiệm EM và quỹ đạo màu xanh lá này (SEWE) gần với quỹ đạo thực (màu cam) hơn so với thử nghiệm EM ngoại trừ hạn dự báo lúc 06 giờ. Từ hạn dự báo 36 giờ đến hạn dự báo 60 giờ quỹ đạo dự báo của thử nghiệm SEWE nằm ở phía nam so với quỹ đạo dự báo của thử nghiệm EM nhưng quỹ đạo của thử nghiệm vẫn nằm gần quỹ đạo thực hơn so với thử nghiệm EM. Tương tự như phiên dự báo lúc 12 UTC ngày 26/8, độ chính xác của kết quả dự báo quỹ đạo bão được xác định thông qua sai số khoảng cách giữa tâm bão dự báo và tâm bão quan trắc tính thông qua công thức (8 và 9). Sai số quỹ đạo của phiên dự báo lúc 00 UTC ngày 27/8/2019 được thể hiện trên hình 10.

Từ hình 10, cho thấy phiên dự báo lúc 00UTC ngày 27 tháng 8 năm 2019, ở hạn dự báo 6 giờ thử nghiệm SEWE có sai số dự báo quỹ đạo lớn hơn so với thử nghiệm EM. Còn ở hạn dự báo 12 giờ đến 60 giờ thử nghiệm SEWE có sai số dự báo quỹ đạo nhỏ hơn so với sai số dự báo quỹ đạo bão của thử nghiệm EM. Như vậy trong phiên dự báo lúc 00UTC ngày 27 tháng

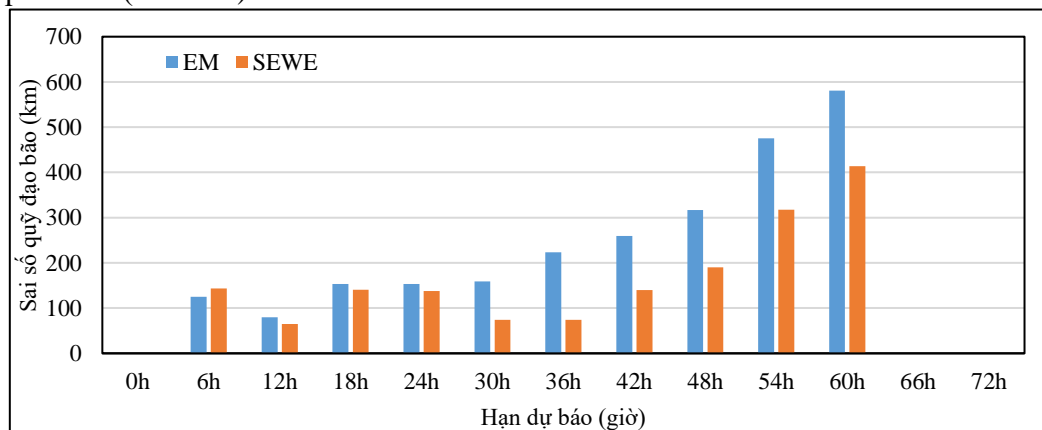
8 năm 2019, thử nghiệm SEWE dự báo quỹ đạo bão Podul 2019 hiệu quả ở hầu hết các hạn dự báo.



Hình 9. Sai số quỹ đạo trung bình tổ hợp (EM), trung bình trọng số (SEWE) ở phiên dự báo 12Z ngày 26/8/2019.

Ở hạn dự báo lúc 12 UTC ngày 27/8/2019 quỹ đạo dự báo của các thành phần tổ hợp (đường màu tím), quỹ đạo dự báo của thử nghiệm SEWE (đường màu xanh lá) và quỹ đạo dự báo của thử nghiệm EM (đường màu tím) và quỹ đạo thực quan trắc (đường màu cam) được thể hiện trong hình 8c. Trong phiên dự báo này, kết quả của thử nghiệm SEWE tính được cho hạn 66 giờ vì các thành phần tham gia phương trình (7) chỉ dự báo được vị trí cơn bão ở hạn 66 giờ. Do đó, số liệu lấy trung bình tổ hợp (EM) cũng được tính đến hạn 66 giờ.

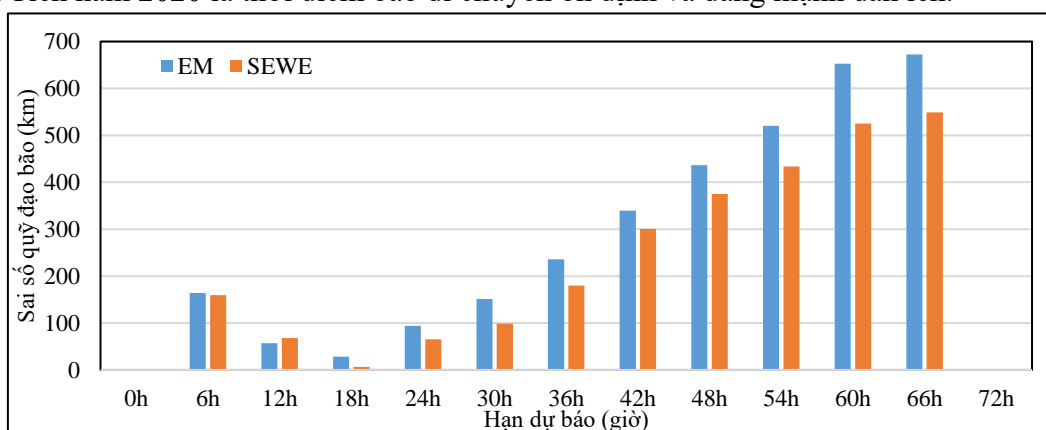
Từ hình 8c cho thấy, từ hạn dự báo 12 giờ đến hạn 24 giờ, đường màu xanh lá gần trùng với đường màu cam và nằm về phía bắc so với đường màu tím. Riêng hạn dự báo 6 giờ dường như 2 thử nghiệm đều dự báo vị trí của cơn bão gần nhau (không phân biệt giữa xanh lá và màu tím). Còn từ hạn dự báo 30 giờ đến 66 giờ quỹ đạo bão của thử nghiệm SEWE nằm ở giữa quỹ đạo thực và quỹ đạo dự báo của thử nghiệm EM. Như vậy, ở hạn dự báo từ 12 giờ đến 66 giờ thử nghiệm SEWE dự báo quỹ đạo cơn bão Podul 2019 khá sát với quỹ đạo thực. Kết quả này càng thể hiện rõ hơn thông qua sai số khoảng cách giữa tâm bão dự báo và tâm bão quan trắc (Hình 11).



Hình 10. Sai số quỹ đạo trung bình tổ hợp (EM), trung bình trọng số (SEWE) ở phiên dự báo 00z ngày 27/8/2019.

Từ hình 11 cho thấy thử nghiệm SEWE cải thiện được chất lượng dự báo quỹ đạo bão ở hầu hết các hạn dự báo ngoại trừ hạn dự báo 12 giờ. Cụ thể, ở hạn dự báo 06 thử nghiệm SEWE cải thiện được 1.4% sai số khoảng cách so với thử nghiệm EM, ở dự báo 18 giờ SEWE cải thiện lên tới 61% sai số khoảng cách so với thử nghiệm EM; Còn từ hạn dự báo 24 giờ đến 36 giờ thử nghiệm SEWE cải thiện được từ 13% đến 20% sai số khoảng cách đối với

thử nghiệm EM; từ hạn dự báo 42 giờ đến 66 giờ, thử nghiệm SEWE cải thiện được từ 6% đến 10% sai số khoảng cách so với thử nghiệm EM. Như vậy đối với phiên dự báo lúc 12 UTC ngày 27/8/2019, phương pháp trung bình có trọng số của các thành phần tổ hợp tối ưu cải thiện được chất lượng dự báo quỹ đạo bão ở các hạn dài hơn 24 giờ. Kết quả này khá khác biệt với các nghiên cứu trước đây như kết quả của Trần Quang Năng và Trần Tân Tiến năm 2020 và kết quả của Phạm Thị Minh và các cộng sự năm 2022 và kết quả của nghiên cứu của M. Nishimura và M. Yamaguchi, 2015 chỉ ra được phương pháp này cải thiện được chất lượng dự báo ở các hạn ngắn. Tuy nhiên, thời điểm mà phương pháp SEWE cải thiện được chất lượng dự báo quỹ đạo lại khá tương đồng với nghiên cứu của Trần Quang Năng và Trần Tân Tiến năm 2020 là thời điểm bão di chuyển ổn định và đang mạnh dần lên.



Hình 11. Sai số quỹ đạo trung bình tổ hợp (EM), trung bình trọng số (SEWE) ở phiên dự báo 12z ngày 27/8/2019.

4. Kết luận

Nghiên cứu đã chỉ ra được mối liên hệ giữa sai số dự báo hạn 12 giờ với trọng số W_i được sử dụng để hiệu chỉnh quỹ đạo bão ở phiên dự báo kế tiếp có mối liên hệ nghịch biến, nghĩa là khi sai số hạn 12 giờ càng nhỏ thì giá trị W_i càng lớn, nghĩa là tỷ lệ % của thành phần tổ hợp đó trong phương trình (7) càng lớn.

Nghiên cứu đã áp dụng được phương pháp trung bình có trọng số của các thành phần tổ hợp tối ưu thử nghiệm thực tế đối với cơn bão Podul 2019 tại 3 phiên dự báo: 12UTC ngày 26/8/2019 và 00 UTC ngày 27/8/2019 và 12 UTC ngày 27/8/2019. Kết quả thử nghiệm cho thấy, ở hai phiên dự báo 12 UTC ngày 26/8 và 00 UTC ngày 27/8 ngoại trừ hạn dự báo 6 giờ thì thử nghiệm SEWE cải thiện được chất lượng dự báo quỹ đạo ở hầu hết các hạn dự báo. Đối với phiên dự báo lúc 12 UTC ngày 27/8/2019, các hạn dự báo dài hơn 24 giờ chất lượng dự báo quỹ đạo của thử nghiệm SEWE cải thiện được từ 6% đến 10% so với sai số của thử nghiệm EM. Kết quả này khác biệt với các kết quả nghiên cứu trước đây khi ứng dụng phương pháp trung bình có trọng số với cơn bão Damrey 2017 [17] và cơn bão Molave 2020 [18]. Kết quả này có thể là do ở hạn dự báo dài hơn 24 giờ cơn bão Podul 2019 di chuyển ổn định và đang mạnh dần lên [17] do đó phương pháp trung bình có trọng số hiệu quả hơn.

Các trường hợp thử nghiệm trong nghiên cứu chỉ áp dụng cho một cơn bão nên chỉ có kết luận cho một trường hợp cụ thể. Cần được thử nghiệm nhiều cơn bão trong nhiều phiên dự báo hơn để đưa ra được kết luận đầy đủ hơn về khả năng ứng dụng phương pháp trung bình có trọng số của các thành phần tổ hợp tối ưu trong công tác dự báo quỹ đạo bão ảnh hưởng đến Việt Nam.

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

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. Pattanayak, S.; Mohanty, U.C. A comparative study on performance of MM5 and WRF models in simulation of tropical cyclones over Indians seas. *Curr. Sci. New Delhi* **2008**, 95, 7.
2. Gu, J., Xiao, Q.; Kuo, Y.H.; Barker, D.M.; Jishan, X.; Xiaoxing, M. Assimilation and Simulation of Typhoon Rusa (2002) Using the WRF System. *Adv. Atmos. Sci.* **2005**, 22(3), 415–427.
3. Dale, M.B.; Huang, W.; Guo, Y.R.; Xiao, Q. A three-dimensional variational (3DVAR) data assimilation system for use with MM5: Implementation and initial results. *Mon. Wea. Rev.* **2005**, 132, 897–914.
4. Tien, D.D.; Thanh, N.D.; Mai, H.T.; Chanh, K. A study of the connection between tropical cyclone track and intensity errors in the WRF model. *Meteorol. Atmos. Phys.* **2013**, 121(3–4), 12.
5. Kieu, C.Q.; Truong, N.M.; Mai, H.T.; Ngo–Duc, T. Sensitivity of the Track and Intensity Forecasts of Typhoon Megi (2010) to Satellite–Derived Atmosphere Motion Vectors with the Ensemble Kalman filter. *J. Atmos. Oceanic Technol.* **2012**, 29, 179–1810.
6. Chanh, K.; Minh, P.T.; Mai, H.T. An Application of the Multi–Physics Ensemble Kalman Filter to Typhoon Forecast. *Pure Appl. Geophys.* **2013**, 170, 745–954.
7. Toth, Z.; Kalnay, E. Ensemble forecasting at NCEP and the Breeding method. *Mon. Wea. Rev.* **1997**, 125, 3297–3319.
8. Palmer, T.N.; Monteni, F.; Mureau, R.; Buizza, R.; Chapelet, P.; Tribbia, J. Ensemble prediction. ECMWF Technical Memorandum, 1992, pp. 188.
9. Grijn, V.D. Tropical cyclone forecasting at ECMWF: New products and validation. ECMWF Tech. Memo. 2002, pp. 386.
10. Heming, J.T. Tropical cyclone ensemble forecast product development and verification at the Met Office. Proceeding of the 26th Conference on Hurricanes and Tropical Meteorology, Miami, FL. Amer. Meteor. Soc. 2004, 5C.6.
11. Carr, L.E.III.; Elsebery, R.L. Systematic and integrated approach to tropical cyclone track forecasting. Part I. Approach overview and description of meteorological basis. Tech. Rep. NPS-MR-94-002, Naval Postgraduate school, Monterey, CA 93943-5114. 1994, pp. 273.
12. Qi, L.B.; Yu, H.; Chen, P.Y. Selective ensemble-mean technique for tropical cyclone track forecast by using ensemble prediction systems. *Q. J. R. Meteorol. Soc.* **2014**, 140, 805–813.
13. Tan, P.V.; Dung, N.L. Thử nghiệm ứng dụng hệ thống WRF-VAR kết hợp với sơ đồ ban đầu hóa xoáy vào dự báo quỹ đạo bão trên Biển Đông. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* **2009**, 583, 1–9.
14. Tiến, T.T.; Mai, H.T.; Thanh, C. An Application of the Ensemble Kalman Filter on 5 days Forecasting Track and Intensity Tropical Cyclone. *VNU J. Sci.: Nat. Sci. Technol.* **2013**, 29(2S), 201–206.
15. Cường, H.D. Nghiên cứu ứng dụng sơ đồ đồng hóa số liệu 3DVAR cho mô hình WRF để dự báo thời tiết ở Việt Nam. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* **2011**, 610, 1–6.
16. Thanh, C.; Tien, T.T.; Thuy, T.P.; Nga, N.T. Thử nghiệm mô hình WRF đồng hóa LETKF trong dự báo sự hình thành của xoáy thuận nhiệt đới trên biển Đông giai đoạn 2013–2017. Nghiên cứu cơ bản trong “Khoa học Trái đất và Môi trường. *Nhà xuất bản Khoa học tự nhiên và công nghệ*, 2019, tr. 338–341.

17. Năng, T.Q.; Tiến, T.T. Phương pháp hiệu chỉnh dự báo quỹ đạo bão từ sản phẩm hệ thống dự báo tổ hợp thông qua lựa chọn thành phần tổ hợp tối ưu. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* **2020**, 718, 1–10.
18. Minh, P.T.; Đáp, P.X.; Hằng, N.T.; Tường, T.T.H; Thủy, P.K. Dự báo quỹ đạo bão Molave năm 2020 bằng phương pháp trung bình có trọng số của các thành phần tổ hợp tối. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* **2022**, 739, 46–58.
19. Bão Podul (2019). Wikipedia tiếng Việt. Wikipedia.org. Truy cập vào 11/05/2023. Từ [https://vi.wikipedia.org/wiki/B%C3%A3o_Podul_\(2019\)](https://vi.wikipedia.org/wiki/B%C3%A3o_Podul_(2019)).
20. Lin, Y.L.; Faley, D.; Orvilli, D. Bulk parameterization of the snow field in a cloud model. *J. Clim. Appl. Meteorol.* **1983**, 22, 1065–1092.
21. Holton, J.R. An introduction to dynamic meteorology, 2004.
22. Trục tuyên:
<https://www.ncdc.noaa.gov/data-access/model-data/model-datasets/global-forecast-system-gfs>.
23. Trục tuyên: <https://www.metoc.navy.mil/jtwc/jtwc.html?western-pacific>.

Application of weighted average method to correction orbit of storm Podul 2019

Minh Thi Pham^{1*}, Tuong Hong Thi Tran², Dong Anh Ha³

¹ Department of Meteorology, Hydrology and Climate change, Ho Chi Minh University of Natural Resources and Environment; ptminh@hcmunre.edu.vn

² Department of Information Systems and Remote Sensing, Ho Chi Minh University of Natural Resources and Environment; tthtuong@hcmunre.edu.vn

³ Department of General Science Ho Chi Minh University of Natural Resources and Environment; hadong@hcmunre.edu.vn

Abstract: This article presents the results of applying the weighted average method (SEWE) of the optimal ensemble components to correct the trajectory of storm Podul 2019. In which, the optimal ensembles are selected from the ensemble forecast which is created from the multiphysics ensemble of the WRF model. Experimental results show that the SEWE test improves orbit forecast quality at most forecast horizons from 12 hours to 48 hours. In particular, for forecast periods longer than 24 hours, the orbit forecast quality of the SEWE test improves from 6% to 10% compared to the orbit error of the conventional ensemble average method. This result may be due to the longer forecast period of 24 hours, storm Podul 2019 moves stably and is strengthening, so the weighted average method is more effective. The results of the study can be applied to forecast storm trajectories affecting Vietnam.

Keywords: Mean; Ensemble forecasting; WRF model; Podul Typhoon.

Bài báo khoa học

Ứng dụng công nghệ viễn thám trong giám sát biến đổi độ cao mực nước lưu vực sông ngoài biên giới phục vụ quản lý tài nguyên nước ở Việt Nam trong bối cảnh biến đổi khí hậu

Nghiêm Văn Tuấn^{1*}, Đỗ Thị Phương Thảo², Vũ Thị Hiền³, Nguyễn Trọng Thế⁴

¹ Cục Viễn thám quốc gia; tuan.nghiem.rsc@gmail.com;

² Trường Đại học Mở-Địa Chất; phuongthao.mdc@gmail.com;

³ Trường Đại học Tài nguyên và Môi trường TP.HCM; vthien@hcmunre.edu.vn;

⁴ Viện Công nghệ thông tin; nguyentrongthecntt@gmail.com;

*Tác giả liên hệ: tuan.nghiem.rsc@gmail.com; Tel.: +84-985226577

Ban Biên tập nhận bài: 15/9/2023; Ngày phản biện xong: 23/10/2023; Ngày đăng bài: 25/11/2023

Tóm tắt: Trên dòng chính sông Mê Công các quốc gia đã và đang xây dựng hàng chục hồ chứa nước phục vụ thủy điện, thủy lợi đã làm giảm lưu lượng dòng chảy về khu vực đồng bằng sông Cửu Long vào mùa khô kết hợp nước biển dâng do biến đổi khí hậu đã đẩy khu vực đối mặt với hiện tượng xâm nhập mặn ngày càng gia tăng. Để chủ động việc dự báo tài nguyên nước vào mùa khô, dữ liệu thủy văn phía thượng nguồn bên ngoài biên giới như lưu lượng dòng chảy, dung tích hồ chứa, hay số liệu điều tiết hồ gần thời gian thực là rất quan trọng. Tuy nhiên, số liệu này hiện nay các nước đều không chia sẻ và Việt Nam cũng không thể quan trắc trực tiếp do vấn đề về địa lý. Mục đích của bài báo này nhằm trình bày phương pháp viễn thám trong xác định, giám sát độ thay đổi cao mực nước của các hồ chứa trên dòng chính sông phía thượng lưu phục vụ cho việc tính toán số liệu điều tiết hồ chứa. Kết quả nghiên cứu cho thấy, với việc sử dụng kết hợp dữ liệu đo cao radar từ các vệ tinh Sentinel-3A, Sentinel-3B và Sentinel-6 có thể xác định được độ cao mực nước ở các hồ chứa với tần suất khoảng 10 ngày/1 lần; giúp cho việc dự báo sớm khả năng tác động đến mực nước đồng bằng sông Cửu Long.

Từ khóa: Đo cao vệ tinh radar; SAR; Mực nước; BĐKH; Mê Công.

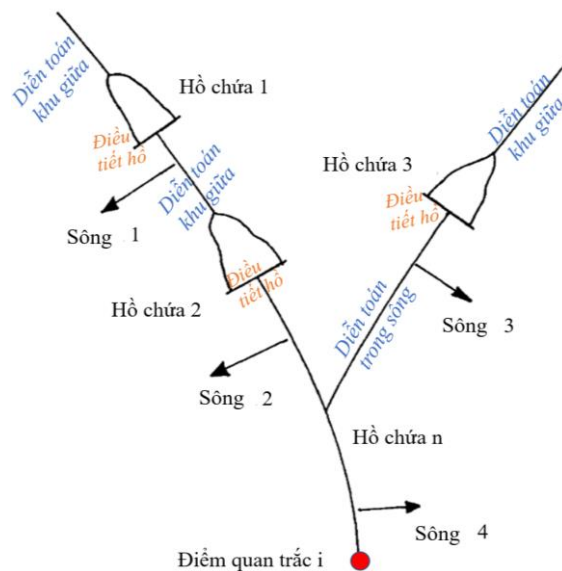
1. Giới thiệu

Biến đổi khí hậu đang trở thành những thách thức nghiêm trọng không chỉ Việt Nam mà cả thế giới. Đối với Việt Nam, biến đổi khí hậu đến ảnh hưởng trực tiếp đến sự gia tăng nhiệt độ trung bình, hạn hán xuất hiện ở nhiều nơi, tăng các trận mưa cực đoan, mực nước biển dâng cao [1]. Theo Kịch bản biến đổi Khí hậu do Bộ Tài nguyên và Môi trường công bố năm 2020 cho thấy nhiệt độ khu vực Việt Nam đến cuối thế kỷ 21 (kịch bản RCP8.5) có thể tăng từ 1,5-3,5°C, nước biển dâng từ 48-105 cm đối với khu vực đồng bằng soogn Cửu Long [1]; dự báo này tương đồng với dự báo về nhiệt độ trung bình trên thế giới có thể tăng thêm từ 1-3,4°C trong giai đoạn 2080-2090 [2]. Với đường bờ biển dài và địa hình thấp, kết hợp với các hiện tượng biến đổi khí hậu trên, khu vực đồng bằng sông Cửu Long đã, đang và sẽ phải đối mặt với một số tác động tiêu cực nhất của biến đổi khí hậu. Thể hiện rõ nhất là hạn mặn và xâm nhập đã và đang mở rộng ở 13 tỉnh của đồng bằng trong những năm gần đây, đe dọa đến canh tác nông nghiệp của khu vực. Chiếm khoảng 12% tổng diện tích đất cả nước với 21% dân số, vùng đồng bằng này sản xuất 24,3 triệu tấn gạo, tương đương 56% tổng sản lượng lúa của Việt Nam trong năm 2012. Với những đóng góp của đồng bằng vào nền kinh tế quốc

dân, thiệt hại kinh tế do xâm nhập mặn là rất đáng kể. Năm 2015, thiệt hại ước tính khoảng 45 triệu USD, tương đương 1,5% sản lượng lúa hàng năm ở Đồng bằng sông Cửu Long. Tình trạng này càng trầm trọng hơn khi khan hiếm nước sau khi kết thúc mùa mưa. Cùng với rủi ro về khí hậu, vùng châu thổ cũng đang phải đối mặt với sự dao động của mực nước do có nhiều đập được xây dựng ở thượng nguồn sông Mê Công khiến tình trạng xâm nhập mặn ngày càng trầm trọng hơn, đặc biệt là vào mùa khô khi dòng chảy của sông thấp hơn [3].

Năm 2023 được dự báo khả năng xâm nhập mặn có thể đến sớm hơn mọi năm, có thể xuất hiện ngay từ tháng 10 do lượng nước từ thượng nguồn đổ về thấp do sự tích trữ nước ở các hồ thủy điện phía thượng nguồn sông Mê Công [3, 4]. Chỉ tính riêng lưu vực sông Mê Công, Trung Quốc đã và đang xây dựng 14 đập thủy điện trên dòng chính sông Lan Thương (thượng nguồn sông Mê Công), ngoài ra dọc dòng chính sông Mê Công thuộc các nước Lào và Cam Pu Chia đã xây dựng và đang có các kế hoạch xây dựng các công trình thủy điện trên dòng sông này [5]. Theo đánh giá, năm 2019 do tác động của việc tích trữ nước ở thượng nguồn sông Mê Công đã làm cho mực nước trên hệ thống sông Tiền, sông Hậu xuống mức rất thấp và gây ra hiện tượng xâm nhập mặn vào sâu trong nội đồng ở khu vực Miền Tây Nam Bộ.

Tuy nhiên hiện nay, việc thiếu thông tin, số liệu, dữ liệu về điều tiết hồ chứa (lưu lượng xả nước của các đập) và lưu lượng dòng chảy phía thượng lưu sông Mê Công bên ngoài biên giới do các nước quản lý hồ chứa không cung cấp và Việt Nam cũng không thể tiến hành quan trắc, đo đạc trực tiếp vì liên quan đến vấn đề lãnh thổ. Việc không có được đầy đủ thông tin này đặt ra nhiều khó khăn đối với công tác dự báo, xây dựng các kịch bản về tài nguyên nước phục vụ ứng phó kịp thời cho khu vực đồng bằng sông Cửu Long [6]. Để dự báo tài nguyên nước đối với các lưu vực sông lớn có nhiều hồ chứa như sông Mê Công thường áp dụng các mô hình thủy văn lưu vực (ví dụ như Mike NAM và IQQM). Trong đó dữ liệu điều tiết hồ chứa (lượng nước xả ra của mỗi hồ chứa), lưu lượng dòng chảy trên sông là rất quan trọng [7, 8] nhằm thiết lập mô hình dự báo dòng chảy liên hồ chứa trên các lưu vực sông lớn (Hình 1).



Hình 1. Sơ đồ áp dụng mô hình dự báo tài nguyên nước trên các lưu vực sông lớn.

Trên hình 2 có thể thấy, đối với hồ chứa 1 hoặc 3, việc tính toán lưu lượng dòng chảy vào hồ chủ yếu mô hình hóa quan hệ mưa dòng chảy. Trong khi đó, lưu lượng dòng chảy vào hồ chứa 2 hoặc hồ chứa n phức tạp hơn do được kết hợp từ nhiều nguồn khác nhau như lưu lượng xả (điều tiết hồ) từ Hồ chứa 1 và diễn toán khu giữa (dựa trên quan hệ mưa dòng chảy) Hồ chứa 1 và Hồ chứa 2. Lưu lượng xả của hồ có thể được xác định thông qua dữ liệu điều tiết hồ hoặc lưu lượng dòng chảy ngay gần đập xả của Hồ chứa. Tuy nhiên, số liệu điều tiết hồ chứa hoặc lưu lượng dòng chảy của các quốc gia phía thượng nguồn sông Mê Công hiện

nay đều không chia sẻ; đồng thời chúng ta cũng không thể quan trắc trực tiếp được. Do đó việc thiết lập, hiệu chỉnh mô hình dự báo tài nguyên nước sẽ không thể thực hiện được do thiếu dữ liệu, ảnh hưởng quan trọng đến độ tin cậy của kết quả mô hình.

Công nghệ viễn thám hiện nay có khả năng trực tiếp hoặc gián tiếp cung cấp thông tin về một số khía cạnh của thủy văn với tần suất trung bình ngày, trong đó số liệu về biến động mực nước các hồ chứa và sông phía thượng nguồn. Đây là dữ liệu vô cùng cần thiết nhằm dự báo trước được những thay đổi về mực nước ở khu vực hạ du phục vụ trực tiếp cho công tác quản lý tài nguyên nước ở khu vực đồng bằng sông Cửu Long. Một trong những công nghệ đã và đang được ứng dụng một cách rộng rãi trên thế giới để nghiên cứu thủy văn lục địa như sông, hồ và các vùng đất ngập nước lớn; trong đó chủ yếu là xác định độ cao mực nước sử dụng công nghệ đo cao vệ tinh radar [9]. Ưu điểm của phương pháp là khả năng cung cấp tập dữ liệu toàn cầu và khắc phục những hạn chế của phương pháp thủy văn truyền thống bằng việc tạo ra những trạm “ảo” bổ sung việc quan trắc ở những sông khó tiếp cận hay các khu vực ngoài biên giới [10] nhằm bổ sung dữ liệu đầu vào quan trọng cho các mô hình dự báo lưu lượng dòng chảy.

2. Số liệu sử dụng và phương pháp nghiên cứu

2.1. Giới thiệu khu vực nghiên cứu

Khu vực nghiên cứu là lưu vực sông Mê Công (Hình 2) [5]. Là một trong những dòng sông lớn nhất trên thế giới với chiều dài hơn 4.350 km, khởi nguồn từ vùng núi cao Tây Tạng, dọc theo suốt chiều dài tỉnh Vân Nam (Trung Quốc) và chảy qua lãnh thổ Myanmar, Lào, Thái Lan, Campuchia trước khi vào Việt Nam rồi đổ ra biển Đông. Lưu vực sông Mê Công có tổng diện tích khoảng 795.000 km² với tổng lượng dòng chảy hàng năm xấp xỉ 475 tỷ m³ và lưu lượng trung bình khoảng 15.000 m³/s [11].

Sông có vai trò vô cùng quan trọng đối với đời sống dân sinh và kinh tế - xã hội khu vực đồng bằng sông Cửu Long do cung cấp nguồn nước và phù sa cho nông nghiệp cũng như các nguồn lợi lâm nghiệp và thủy sản. Trên lưu vực sông Mê Công một số quốc gia đã xây dựng một số công trình thủy điện lớn như: Cổng Quả Kiệu, Tiểu Loan, Mãn Loan, Đại Triều Sơn, Nọa Trác Độ và Cảnh Hồng (Trung Quốc); Xayaboury, Don



Hình 2. Lưu vực sông Mê Công và vị trí các hồ chứa nước trên dòng chính.

Sahong, Pak Beng (Lào) [5]. Trong nghiên cứu này sẽ tập trung thực nghiệm tính toán độ cao mực nước đối với 02 hồ thủy điện gồm Đại Triều Sơn (Trung Quốc) và Xayabury (Lào).

2.2. Dữ liệu sử dụng

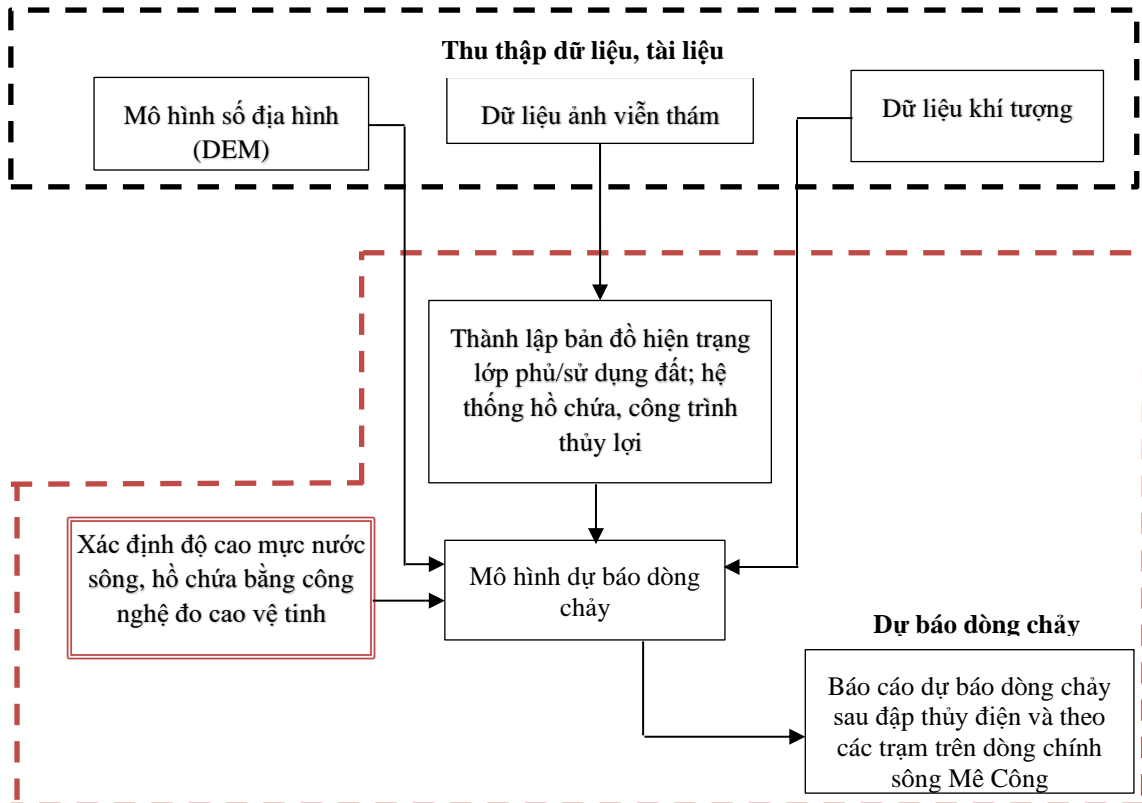
Để tính toán độ cao mực nước bằng công nghệ đo cao vệ tinh, trong nghiên cứu này sử dụng các nguồn dữ liệu như sau:

- Dữ liệu đo cao vệ tinh Sentinel-3A/B và Sentinel-6. Đây là các dữ liệu vệ tinh mới ứng dụng công nghệ SAR. Vệ tinh Sentinel-3 và Sentinel-6 nằm trong Chương trình Copernicus của Cơ quan vũ trụ Châu Âu (ESA). Vệ tinh Sentinel-3A đã được phóng thành công lên quỹ đạo vào ngày 18/02/2016 và sau đó là vệ tinh Sentinel-3B vào ngày 25/04/2018; với chu kỳ của quỹ đạo của mỗi vệ tinh là xấp xỉ 27 ngày [12]. Vệ tinh Sentinel-6 được phóng ngày 22/11/2020 là dự án hợp tác giữa ESA và NASA nối tiếp thế hệ vệ tinh Jason [13]. Dữ liệu Sentinel-3A/B, Sentinel-6 được tải về từ Copernicus Open Access Hub ở mức xử lý L2 với loại sản phẩm SA_2_LAN tại địa chỉ <https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home>.

- Dữ liệu viễn thám quang học: Dữ liệu viễn thám Sentinel 2A/2B thu thập tại địa chỉ <https://scihub.copernicus.eu>; Dữ liệu viễn thám Landsat 8/9 [14] được tải từ địa chỉ <http://glovis.usgs.gov>. Dữ liệu ảnh vệ tinh quang học được sử dụng để chiết tách đối tượng bề mặt nước và xác định các trạm “ảo” là vị trí giao cắt giữa vệ tinh quỹ đạo vệ tinh trên mặt đất với đối tượng mặt nước.

2.3. Quy trình công nghệ dự báo lưu lượng dòng chảy cho khu vực hạ lưu

Việc dự báo lưu lượng dòng chảy và mực nước ở hạ lưu sông Mê Công phụ thuộc rất nhiều vào số liệu thủy văn đầu nguồn, trong đó có dữ liệu điều tiết các hồ chứa và lưu lượng dòng chảy phía thượng lưu phục vụ hiệu chỉnh và kiểm định mô hình dự báo [19, 20]. Như đã phân tích ở trên, đối với lưu vực sông Mê Công hiện nay các dữ liệu đầu vào này theo thời gian thực hoặc gần thực đều không thể thu thập hoặc đo đạc trực tiếp do vấn đề lãnh thổ và bí mật quốc gia mà các nước không công bố. Do đó, việc dự báo lưu lượng nước về các sông khu vực đồng bằng sông Cửu Long được đề xuất như trong quy trình trên hình 2.



Hình 3. Sơ đồ quy trình công nghệ dự báo lưu lượng dòng chảy sau các đập thủy điện.

Trong quá trình này, dữ liệu đo cao mực nước được sử dụng để tính toán dữ liệu điều tiết hồ chứa thông qua mối quan hệ Mực nước-Diện tích-Dung tích hồ chứa. Lưu lượng xả của hồ chứa có thể được tính toán nếu biết được thay đổi dung tích nước trong hồ trong một khoảng thời gian. Trong khi đó, biến đổi dung tích nước trong hồ có thể xác định thông qua biến đổi độ cao mực nước và diện tích mặt hồ ở độ cao mực nước tương ứng. Với giải pháp này, trong trường hợp thiếu dữ liệu điều tiết hồ vẫn có thể tiến hành thiết lập và hiệu chỉnh, kiểm định mô hình.

Khi đó, việc thiết lập, hiệu chỉnh mô hình dự báo lưu lượng dòng chảy được thực hiện như sau:

- Tính toán độ cao mực nước hồ chứa và diện tích hồ để xây dựng đường đặc tính dòng chảy nhằm xác định số liệu điều tiết hồ giả định (đường cong vận hành).
- Áp dụng mô hình diễn toán dòng chảy cho lưu vực sông tính toán dòng chảy ngày tới mỗi hồ chứa (sử dụng đầu vào từ mô hình thủy văn).
- Áp dụng mô hình cho toàn bộ mạng lưới sông và hệ thống hồ chứa lưu vực sông dựa trên bài toán liên hồ chứa để tính toán dòng chảy hệ thống tới từng vị trí yêu cầu.
- Kiểm định toàn bộ mô hình sử dụng dữ liệu lưu lượng dòng chảy quan trắc được ở các sông phía Việt Nam.

Như vậy, bài toán khó khăn nhất trong trường hợp thiếu dữ liệu điều tiết hồ chứa có thể được giải quyết thông qua việc xác định biến đổi độ cao mực nước hồ chứa theo thời gian. Do đó, trong nghiên cứu này không đi sâu vào phân tích, thiết lập mô hình dự báo dòng chảy mà chỉ tập trung vào việc xử lý, cung cấp số liệu độ cao mực nước (hoặc số liệu biến đổi độ cao mực nước) nhằm xây dựng dữ liệu điều tiết hồ giả định cho các hồ chứa phía thượng nguồn.

2.4. Xác độ cao mực nước hồ chứa sử dụng công nghệ viễn thám

Do không có dữ liệu điều tiết hồ của các đập thủy điện, thủy lợi nên trong nghiên cứu này sẽ đề xuất sử dụng dữ liệu đo cao mực nước hồ từ dữ liệu viễn thám để xác định quan hệ Mực nước và Dung tích hồ nhằm phục vụ tính toán lưu lượng xả của các đập thủy điện, thủy lợi. Để tính toán độ cao mực nước hồ bằng công nghệ viễn thám, có hai phương pháp có thể được sử dụng như sau:

a) Phương pháp 1: Xác định độ cao mực nước sông, hồ bằng công nghệ đo cao vệ tinh

Giải pháp công nghệ đo cao vệ tinh trong xác định độ cao mực nước sông, hồ, được thể hiện như quy trình hình trong hình 3. Nguyên lý chung của phương pháp đo cao vệ tinh trong xác định độ cao mực nước là dựa trên việc gián tiếp xác định khoảng cách từ vệ tinh đến bề mặt nước. Để đo khoảng cách từ vệ tinh đến mặt nước, trên vệ tinh sẽ lắp đặt thiết bị đo cao để phát đi các xung tín hiệu radar cao tần theo phương thẳng đứng về phía bề mặt sông, hồ; sau đó thiết bị sẽ thu nhận lại các tín hiệu phản hồi. Sau đó sử dụng các thuật toán nhằm tính toán khoảng cách R giữa vệ tinh và mặt nước dựa vào việc xác định khoảng thời gian lan truyền hai chiều của tín hiệu radar t . Độ cao mực nước WSH (*water surface height*) được xác định bởi chênh cao giữa độ cao quỹ đạo vệ tinh (Alt) với trị đo khoảng cách R và các số hiệu chỉnh khác nhau như độ trễ thời gian khi các xung tín hiệu radar đi qua môi trường khí quyển Trái đất [9, 10, 15, 16].

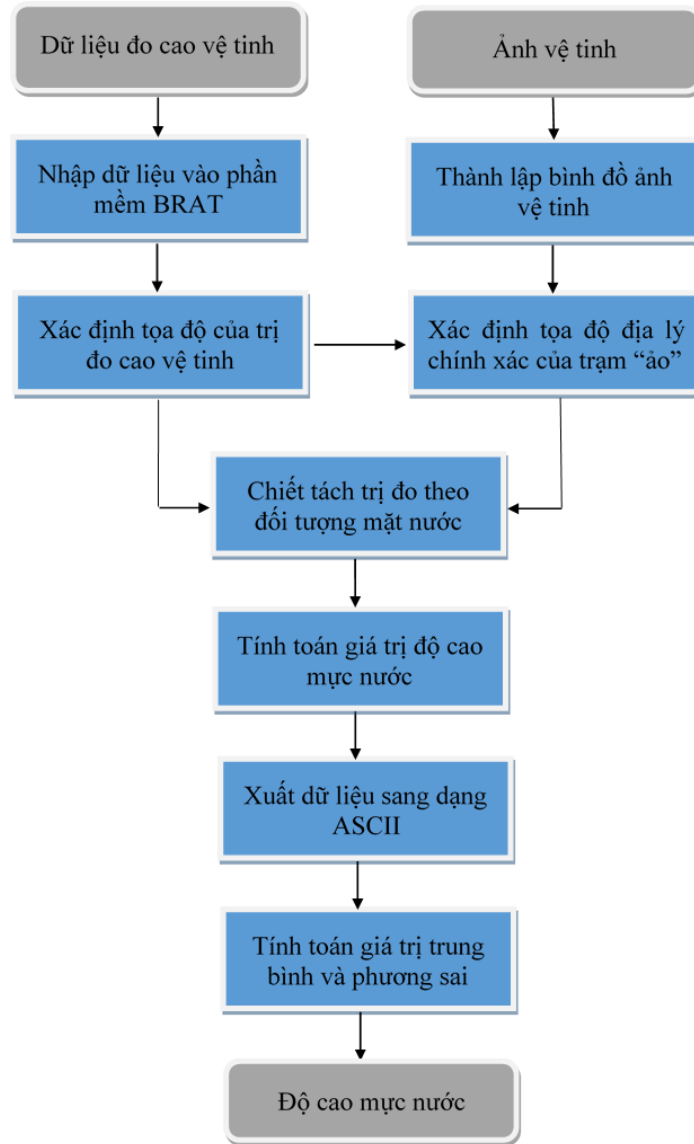
Thông tin về tọa độ của các trị đo cao vệ tinh được chiết xuất từ các trường dữ liệu độ kinh (lon) và độ vĩ (lat) trong các bản ghi dữ liệu. Để tính toán độ cao mực nước tại một vị trí, cần thiết lập và xác định tọa độ địa lý của trạm “ảo”. Vị trí trạm ảo đảm bảo chứa được tất cả các trị đo trên bề mặt nước tại điểm giao cắt và hạn chế những trị đo trên bề mặt đất. Việc xác định các điểm đo dọc theo vệt quỹ đạo vệ tinh trong tất cả các chu kỳ dữ liệu được xác định dựa trên nền dữ liệu viễn thám đã được quy chiếu về Hệ quy chiếu và Hệ tọa độ toàn cầu WGS-84 [5].

Việc chiết tách trị đo theo đối tượng mặt nước tại các vị trí giao cắt của vệt quỹ đạo vệ tinh với bề mặt sông được thực hiện theo công thức như sau [5]:

$$\bar{x} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n x_i \quad (1)$$

Trong đó \bar{x} là giá trị trung bình độ cao mực nước; x_i là giá trị độ cao mực nước của mỗi trị đo tần số cao nằm trong phạm vi ranh giới đa giác của một trạm ảo; N là số lượng trị đo tần số cao nằm trong phạm vi ranh giới đa giác của một trạm ảo.

Toàn bộ quá trình tính toán xác định độ cao mực nước sông, hồ bằng công nghệ đo cao vệ tinh được thực hiện như trong hình 4.



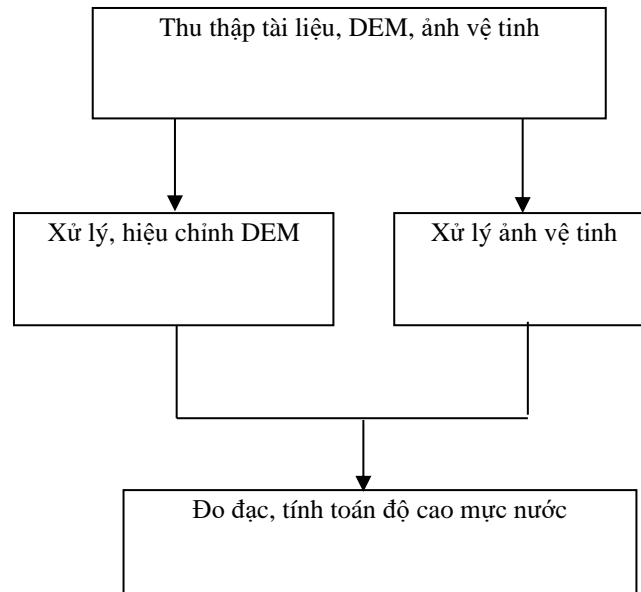
Hình 4. Quy trình xác định độ cao mực nước sông, hồ bằng đo cao vệ tinh.

Đối với phương pháp đo cao vệ tinh hiện nay, có thể sử dụng dữ liệu từ các vệ tinh như: Jason-3 (chu kỳ khoảng 10 ngày), Sentinel-3A (chu kỳ 27 ngày), Sentinel-3B (chu kỳ 27 ngày), Sentinel-6 (chi kỳ lặp 10 ngày). Việc kết hợp các vệ tinh trên với nhau có thể cung cấp bộ dữ liệu độ cao mực nước trung bình 7-10 ngày tùy từng khu vực. Kết quả đo cao mực nước sông, hồ trên lưu vực sông Mê Công bằng phương pháp đo cao vệ tinh đã được một số tác giả [16, 17] đánh giá thử nghiệm tại Trạm đo Mộc Hóa trên sông Vàm Cỏ Tây có thể đạt độ chính xác 0,125 m.

b) Phương pháp 2: Sử dụng kết hợp ảnh radar, ảnh quang học và mô hình số địa hình (DEM) độ chính xác cao để xác định độ cao mực nước

Do giải pháp 1, các chu kỳ của vệ tinh khá thưa, nên việc cung cấp dữ liệu chỉ có thể đáp ứng với tần suất khoảng 10 ngày (tùy vị trí). Do đó để đảm bảo tăng tối đa tần suất cung cấp

dữ liệu độ cao mực nước sông, hồ trên lưu vực trong trường hợp cần thiết có thể kết hợp với giải pháp thứ 2, đó là sử dụng kết hợp ảnh vệ tinh radar, quang học và mô hình số địa hình (DEM) độ chính xác cao để xác định độ cao mực nước. Phương pháp này được tiến hành như quy trình trong hình 5 [5]. Đối với phương pháp này, trước tiên xác định đường mép nước hồ, sông tại thời điểm thu ảnh; sau đó kết hợp với mô hình số độ cao (DEM) có độ chính xác cao để xác định độ cao tuyệt đối của mực nước; trên cơ sở đó sẽ các định được sự biến đổi mực nước theo thời gian. Với phương pháp này, độ chính xác phụ thuộc rất lớn với độ chính xác của DEM và độ phân giải ảnh viễn thám được sử dụng. Thực tế hiện nay DEM ở khu vực các hồ thượng nguồn sông Mê Công tốt nhất là có độ chính xác 2 m được thành lập bằng phương pháp lập thể từ ảnh vệ tinh. Do đó, độ chính xác của độ cao mực nước đo được bằng phương pháp này cũng khá thấp, sai số độ cao có thể hơn 2 m.



Hình 5. Quy trình xác định độ cao mực nước sông, hồ bằng phương pháp kết hợp ảnh radar, ảnh quang học và DEM.

Tuy vậy, trong trường hợp cần thiết, nếu không có nguồn dữ liệu khác bổ sung (dữ liệu đo cao vệ tinh radar, dữ liệu quan trắc) thì có thể sử dụng kết hợp dữ liệu độ cao mực nước tính toán theo Phương pháp 1 và Phương pháp 2 nhằm tăng dày được chuỗi số liệu quan trắc mực nước. Với việc kết hợp này, có thể đảm bảo được sự liên tục của chuỗi số liệu trung bình 5 ngày có một trị đo độ cao mực nước tại một vị trí.

3. Kết quả và thảo luận


Để xác thử nghiệm định độ cao mực nước, nghiên cứu này tiến hành tính toán chuỗi số liệu độ cao mực nước tại 02 hồ thủy điện trên dòng chính sông Mê Công bên ngoài biên giới, gồm: Hồ Đại Triều Sơn (Trung Quốc) và hồ Xayabury (Lào). Việc tính toán giá trị độ cao mực nước được thực hiện theo hướng tự động hóa việc đọc dữ liệu vệ tinh và xử lý trên phần mềm chuyên dụng BRAT (*Basic Radar Altimetry Tools*) [18–20].

3.1. Kết quả tính toán độ cao mực nước hồ Đại Triều Sơn (Dechaosan)

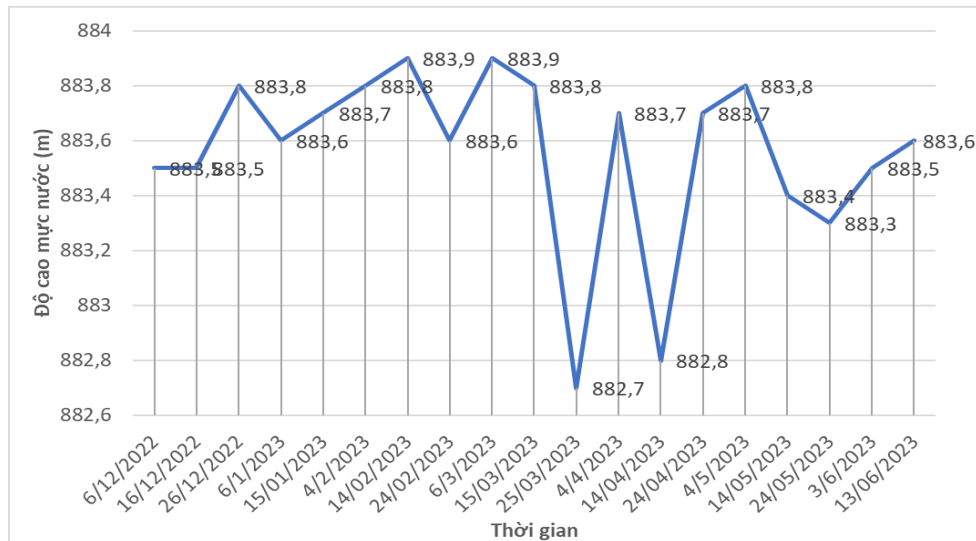
Hồ thủy điện Đại Triều Sơn nằm trên dòng Lan Thương (thượng nguồn sông Mê Công) thuộc địa phận Trung Quốc có tọa độ $X = 639.363,83$; $Y = 22.658.461,92$ với chiều dài đập là 460 m, chiều rộng đập là 28 m. Để tính toán mực nước hồ Đại Triều Sơn, nghiên cứu sử dụng dữ liệu vệ tinh Sentinel-6 trong thời gian từ tháng 9/2022 đến tháng 6 năm 2023; với trung bình 10 ngày có 1 vệ tinh đi qua. Thông tin về hồ và vị trí quan trắc độ cao mực nước thể hiện trong Bảng 1.

Bảng 1. Thông tin về vị trí quan trắc độ cao mực nước hồ thủy điện Đại Triều Sơn

Sông/Hồ:	Đại Triều Sơn (Dechaosan)		
Trạm thủy văn:			
Vệ tinh:	Sentinel-6	Vệt quỹ đạo vệ tinh:	140
Trạm đo ảo: Đại Triều Sơn			Mã:
	Kinh độ	Vĩ độ	
Trái trên:	100.5026	24.1422	
Phải dưới:	100.5107	24.1139	
Trung bình:	100.5060	24.1272	
Độ rộng sông/hồ (m):	300		
Khoảng cách đến trạm thủy văn (km)/Đập nước: Về phía thượng lưu 21,9 km			



Kết quả tính toán chuỗi biến đổi mực nước trong thời gian từ tháng 9/2022 đến tháng 6 năm 2023 như trong hình 6.



Hình 6. Biến đổi độ cao mực nước hồ thủy điện Đại Triều Sơn.

Hình 6 cho thấy, độ cao mực nước tại hồ Đại Triều Sơn tương đương ổn định giao động quanh mức 882-883 m; điều này cho thấy hồ Đại Triều Sơn không có sự xả nước đột biến mà tương đối cân bằng giữa lượng nước vào và ra khỏi hồ.

3.2. Kết quả tính toán độ cao mực nước hồ Xayabury

Hồ thủy điện Xayabury nằm trên dòng chính sông Mê Công, thuộc địa phận của Lào có tọa độ X = 165.252,41, Y = 2.131.530,64 với chiều dài đập là 820m, chiều rộng đập là 60 m (Hình 7) [3].

Để tính toán độ cao mực nước hồ Xayabury, bài báo sử dụng kết hợp dữ liệu đo cao của vệ tinh Sentinel-3A và Sentinel-3B trong thời gian từ 9/2022-tháng 6 năm 2023. Thông tin vị trí vệt vệ tinh Sentinel-3A đi qua hồ Xayabury (trạm ảo Xayabury-1) được thể hiện trong Bảng 2.



Hình 7. Đập thủy điện và hồ chứa Xayabury.

Bảng 2. Thông tin về vị trí quan trắc độ cao mực nước hồ thủy điện Xayabury tại trạm ảo Xayabury-1.

Sông/Hồ:	Xayabury			
Trạm thủy văn:				
Vệ tinh:	Sentinel-3A	Vệt quỹ đạo vệ tinh:	563	
Trạm đo ảo:	Xayabury_1	Mã:		
	Kinh độ	Vĩ độ		
Trái trên:	101.8725	19.4211		
Phải dưới:	101.8764	19.4134		
	101.8742			
Trung bình:		19.4177		
Độ rộng sông/hồ (m):			748	
Khoảng cách đến trạm thủy văn (km)/Đập nước: Về phía thượng lưu 24,57 km				

Kết quả tính toán độ cao mực nước tại hồ Xayabury sử dụng dữ liệu vệ tinh Sentinel-3A trong giai đoạn từ ngày 06/9/2022-03/6/2023 được thể hiện trong bảng 3. Bảng 3 cho thấy, trong giai đoạn từ tháng 9/2022-6/2023 trung bình 27 ngày sẽ có một lần vệ tinh bay qua đúng vị trí trạm ảo “Xayabury_1”.


Bảng 3. Độ cao mực nước tại hồ Xayabury sử dụng dữ liệu vệ tinh Sentinel-3A.

Ngày	Kinh độ	Vĩ độ	Chu kỳ	Độ cao mực nước trung bình (m)
06/09/2022			89	277,3
03/10/2022			90	276,9
30/10/2022			91	276,7
26/11/2022			92	276,8
23/12/2022			93	277,1
19/01/2023	101,867	19,4198	94	276,9
15/02/2023			95	276,9
14/03/2023			96	276,7
10/04/2023			97	276,5
07/05/2023			98	276,7
03/06/2023			99	276,4

Bên cạnh sử dụng dữ liệu đo cao vệ tinh Sentinel-3A, việc tính toán độ cao mực nước tại hồ Xayabury sử dụng thêm dữ liệu Sentinel-3B trong thời gian từ ngày 21/9/2022-22/5/2023. Thông tin vị trí vệ tinh Sentinel-3B đi qua hồ Xayabury (trạm ảo Xayabury-2) được thể hiện trong bảng 4. Quan sát vị trí “trạm ảo Xayabury-2” cho thấy gần trùng với vị trí trạm ảo “Xayabury-1”.

Bảng 4. Thông tin vị trí quan trắc độ cao mực nước hồ thủy điện Xayabury tại trạm ảo Xayabury-2.

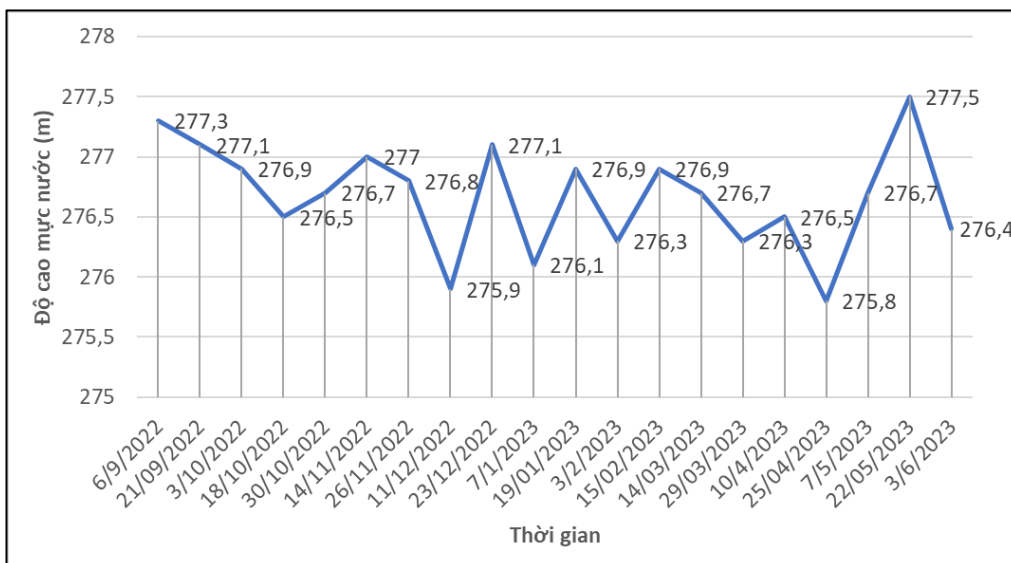
Sông/Hồ:	Xayabury		
Trạm thủy văn:			
Vệ tinh:	Sentinel-3B	Vệt quỹ đạo vệ tinh:	692
Trạm đo ảo: Xayabury_2			Mã:
	Kinh độ	Vĩ độ	
Trái trên:	101.8412	19.4320	
Phải dưới:	101.8466	19.4248	
Trung bình:	101.8439	19.4284	
Độ rộng sông/hồ (m):	748		
Khoảng cách đến trạm thủy văn (km)/Đập nước:	Về phía thượng lưu 27,57km		



Kết quả tính toán độ cao mực nước hồ Xayabury tại trạm ảo “Xayabury-2” sử dụng dữ liệu vệ tinh Sentinel-3B trong giai đoạn từ ngày 21/9/2022-22/5/2023 được thể hiện trong bảng 5. Bảng 5 cho thấy, trong giai đoạn từ tháng 9/2022-6/2023 tại vị trí trạm ảo “Xayabury-2” có 09 lần vệ tinh Sentinel-3B bay qua, tương tự như vệ tinh Sentinel-3A trung bình 27 ngày sẽ có một lần vệ tinh bay qua đúng vị trí trạm ảo.

Bảng 5. Độ cao mực nước tại hồ Xayabury sử dụng dữ liệu vệ tinh Sentinel-3B.

Ngày	Kinh độ	Vĩ độ	Chu kỳ	Độ cao mực nước trung bình (m)
21/09/2022			70	277,1
18/10/2022			71	276,5
14/11/2022			72	277,0
11/12/2022			73	275,9
07/01/2023	101,8445	19,428	74	276,1
03/02/2023			75	276,3
29/03/2023			77	276,3
25/04/2023			78	275,8
22/05/2023			79	277,5



Hình 8. Biến đổi độ cao mực nước hồ thủy điện Xayabury.

Do vị trí trạm ảo “Xayabury-1” và “Xayabury-2” gần như trùng nhau, do đó kết hợp dữ liệu độ cao mực nước tính toán từ 02 vệ tinh Sentinel-3A và Sentinel-3B sẽ cho bộ dữ liệu độ cao mực nước trong giai đoạn từ tháng 9/2022-6/2023 với trung bình 13 ngày có 01 giá trị. Kết quả tổng hợp dữ liệu độ cao mực nước tại 02 trạm ảo “Xayabury-1” và “Xayabury-2” được thể hiện trong hình 8. Tương tự như với hồ Đại Triều Sơn, trong giai đoạn này, mực nước hồ Xayabury không có biến động nhiều, điều này cho thấy lưu lượng dòng chảy vào ra tương đối cân bằng, không có sự đột biến nhiều.

4. Kết luận

Xác định độ cao mực nước hồ chứa trên dòng chính sông Mê Công phía thượng nguồn là vô cùng cần thiết đối với công tác dự báo biến động mực nước ở khu vực đồng bằng sông Cửu Long. Dữ liệu đo cao vệ tinh radar độ mở tổng hợp SAR đang mở ra cơ hội để theo dõi mực nước các sông, hồ có độ rộng trung bình và nhỏ. Kết quả tính toán cho thấy việc sử dụng giải pháp đo cao vệ tinh là hoàn toàn có tính khả thi trong việc giám sát độ cao mực nước các hồ chứa ở khu vực thượng nguồn sông Mê Công. Đối với các hồ ở thượng nguồn như hồ Đại Triều Sơn thì khi có biến động mực nước (tích hoặc xả) trong vòng 15-20 ngày sẽ ảnh hưởng đến mực nước các sông ở khu vực đồng bằng sông Cửu Long. Do đó, với tần suất quan trắc được như hiện nay, khoảng 10 ngày có 1 dữ liệu độ cao mực nước có thể cung cấp cho việc chạy mô hình dự báo lưu lượng dòng chảy và độ cao mực nước tại khu vực đồng bằng sông Cửu Long nhằm ứng phó với khả năng xâm nhập mặn. Giải pháp cũng có thể áp dụng trong việc tính toán độ cao mực nước biển nhằm giám sát hiện tượng nước biển dâng do biến đổi khí hậu cho khu vực đồng bằng sông Cửu Long nhằm đưa ra được giải pháp thích ứng của khu vực đối với vấn đề biến đổi khí hậu. Bên cạnh việc sử dụng dữ liệu đo cao vệ tinh từ các vệ tinh như Sentinel-3A, Sentinel-3B và Sentinel-6 thì hiện nay có thể sử dụng kết hợp thêm dữ liệu đo cao vệ tinh Janson-2, Janson-3 để tăng tần suất quan trắc lên từ 5-7 ngày. Điều này có ý nghĩa rất lớn trong việc giám sát tài nguyên nước gần thời gian thực phục vụ công tác ứng phó và xây dựng kế hoạch thích ứng với biến đổi khí hậu của khu vực đồng bằng sông Cửu Long.

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

Lời cảm ơn: Bài báo hoàn thành nhờ vào kết quả của Đề án đặc thù “Ứng dụng viễn thám giám sát thường xuyên phục vụ các lĩnh vực thuộc Bộ Tài nguyên và Môi trường” do Cục Viễn thám quốc gia, Bộ Tài nguyên và Môi trường chủ trì.

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. Kịch bản biến đổi khí hậu. Nhà xuất bản Tài nguyên-Môi trường và Bản đồ Việt Nam, 2020.
2. Kaveney, B.; Lennard, E.B.; Minh, K.C.; Duy, M.D.; Thi, K.P.N.; Kristiansen, P.; Orgill, S.; Stewart-Koster, B.; Condon, J. Inland dry season saline intrusion in the Vietnamese Mekong River Delta is driving the identification and implementation of alternative crops to rice. *Agric. Syst.* **2023**, *207*, 103632.
3. Thanh, T.N.; Van, H.H.; Minh, H.V.; Tri, V.P.D. Salinity Intrusion Trends under the Impacts of Upstream Discharge and Sea Level Rise along the Co Chien River and Hau River in the Vietnamese Mekong Delta. *Climate* **2023**, *11*(3), 66. <https://doi.org/10.3390/cli11030066>.

4. VNMC-Ủy ban sông Mê Công Việt Nam. Bản tin nửa cuối tháng 9/2023 diễn biến tài nguyên nước tới Đồng bằng sông Cửu Long. 2023. Truy cập ngày 14/10/2023 tại địa chỉ: <https://vnmc.gov.vn/?p=3451>.
5. Cục Viễn thám quốc gia. Báo cáo giám sát biến động mực nước tại các hồ chứa trên dòng chính sông Hồng, sông Mê Công thuộc Đề án đặc thù “Ứng dụng viễn thám giám sát thường xuyên phục vụ các lĩnh vực thuộc Bộ Tài nguyên và Môi trường”, 2023.
6. Van Tho, N. Salinity Intrusion in the Vietnamese Mekong Delta, a Threat: Possible Causes, Effects on People’s Life and Production, and Temporary Solutions and Adaptable Strategies. In: Jeon, H.Y. (Eds) Sustainable Development of Water and Environment. Environmental Science and Engineering. Springer, Cham. 2022. https://doi.org/10.1007/978-3-031-07500-1_1.
7. Hong, N.V.; Hien, N.T.; Diem, N.T.; Thuong, L.D. Trend and forecast the saline intrusion at estuaries in the coastal Mekong delta: A case study of the coastal sub-region between the Tien and Hau rivers. *VN J. Hydrometeorol.* **2023**, 14, 12–21. doi:10.36335/VNJHM.2023(14).12-21.
8. Tri, D.Q.; Don, N.C.; Chen, Y.C.; Mishra, P.K. Modeling the influence of river flow and salinity intrusion in the Mekong river estuary, Vietnam. *Lowland Technol. Int.* **2014**, 16(1), 14–26.
9. Birkett, C.M. Contribution of the Topex NASA radar altimeter to the global monitoring of large rivers and wetlands. *Water Resour. Res.* **1998**, 34(5), 1223–1239.
10. Phú, N.H.; Nam, N.N.; Sơn, N.T.T. Giám sát biến đổi độ cao mực nước bằng đo cao vệ tinh radar độ mở tổng hợp trên lưu vực sông Mê Kông. *Tạp chí Khoa học đo đạc và bản đồ* **2021**, 47-3/2021, 33–41.
11. Tuấn, L.A. Các đập nước và hồ chứa ở thượng nguồn: Có hay không nguy cơ môi sinh tiềm ẩn cho hạ nguồn sông Mê Kông, Hội đập lớn và phát triển nguồn nước Việt Nam. Truy cập online ngày 14/10/2023 tại địa chỉ: <http://www.vncold.vn/Web/Content.aspx?distid=230>.
12. Trực tuyến: <https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/missions/sentinel-3>
13. Trực tuyến: ESA-
https://www.esa.int/Applications/Observing_the_Earth/Copernicus/Sentinel-6.
14. Trực tuyến: <https://landsat.gsfc.nasa.gov/satellites/landsat-8/>.
15. Calmant, S.; Seyler, F.; Crétaux, J.F. Monitoring continental surface water by satellite altimetry. *Surv. Geophysics* **2008**, 29, 247–269.
16. Đề tài NCKH cấp Bộ “Giám sát biến đổi mực nước sông Hồng và sông Mê Kông bằng công nghệ đo cao vệ tinh”. Mã số TNMT.2017.08.05. Tổ chức chủ trì: Trung tâm thông tin và dữ liệu viễn thám, Cục Viễn thám quốc gia. 2020.
17. Tuấn, N.V.; Thảo, Đ.T.P.; Thảo, V.T.P.; Phú, N.H. Nghiên cứu giám sát biến đổi độ cao mực nước ở thượng lưu sông Mê Công bằng công nghệ viễn thám phục vụ quản lý tài nguyên nước ở Việt Nam. Tuyển tập báo cáo Hội thảo Khoa học & Công nghệ tài nguyên nước lần thứ nhất, 2022.
18. Benveniste, J.; Rosmorduc, V.; Niemeijer, S.; Picot, N. Basic Radar Altimetry Toolbox. IGARSS 2008 - 2008 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium. 2008. Doi:10.1109/IGARSS.2008.4779494.
19. ESA. Sentinel online. <https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/-/brat/1.0>.
20. Rosmorduc, V.; Benveniste, J.; Picot, N.; Niemeijer, S. Basic radar altimetry toolbox & tutorial. 2020. Online available: https://www-cdn.eumetsat.int/files/2020-04/pdf_conf_p_s9_36_rosmordu_p.pdf.

Applying remote sensing technology in monitoring water level changes in border river basins to serve water resources management in Vietnam in the context of climate change

Nghiem Văn Tuan^{1*}, Do Thi Phuong Thao², Vu Thi Hien³, Nguyen Trong The⁴

¹National Remote Sensing Department; tuan.nghiem.rsc@gmail.com

² University of Mining and Geology; phuongthao.mdc@gmail.com

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

⁴ Information Technology Institute; nguyentrongthecntt@gmail.com;

Abstract: On the main stream of the Mekong River, countries have been building dozens of water reservoirs for hydropower and irrigation, thus reducing the flow to the Mekong Delta in the dry season combined with rising sea levels due to Climate change has pushed the region to face increasing saltwater intrusion. To take the initiative of water resource forecasts in the dry season, near real-time hydrological data upstream beyond the border such as flow, reservoir capacity, or lake regulation is very important. However, this data is currently not shared by all countries and Vietnam cannot monitor the one directly due to geographical issues. The main goal of the article is to present remote sensing methods in determining and monitoring high water level changes of reservoirs on the upstream main river to serve the calculation of reservoir regulation data. Research results show that, with the combined use of radar altimeter data from the Sentinel-3A, Sentinel-3B and Sentinel-6 satellites, it is possible to determine the water level in reservoirs with a frequency of about 10 days/1 time; helps to early forecast the potential impact on water levels in the Mekong Delta.

Keywords: Radar satellite altimeter; SAR; Water level; Climate change; Mekong.

Bài báo khoa học

Mô phỏng và đánh giá khả năng tiêu thoát nước mưa khu vực quận 7 – Thành phố Hồ Chí Minh

Hoàng Thị Tố Nữ^{1*}, Nguyễn Vĩnh An¹, Nguyễn Hữu Tuấn¹, Cấn Thu Văn¹

¹ Trường Đại học Tài nguyên và Môi trường TP.HCM; nu.htt@hcmunre.edu.vn;
nvan@hcmunre.edu.vn; nhtuan@hcmunre.edu.vn; ctvan@hcmunre.edu.vn

*Tác giả liên hệ: nu.htt@hcmunre.edu.vn; Tel.: +84-908817694

Ban Biên tập nhận bài: 5/9/2023; Ngày phản biện xong: 12/10/2023; Ngày đăng bài: 25/11/2023

Tóm tắt: Thành phố Hồ Chí Minh (TP.HCM) nằm trong vùng chuyển tiếp giữa miền Đông Nam bộ và đồng bằng sông Cửu Long với địa hình có dạng thấp dần từ Bắc xuống Nam và từ Đông sang Tây. Các quận 9, 8, 7 và các huyện Bình Chánh, Nhà Bè, Cần Giờ nằm ở phía Nam-Tây Nam và Đông Nam thành phố có độ cao trung bình trên dưới 1m và cao nhất 2 m, thấp nhất 0,5 m thường xuyên ngập do triều, mưa lớn hoặc mưa kết hợp triều. Nghiên cứu ứng dụng mô hình SWMM mô phỏng mức độ ngập khu vực quận 7 và đánh giá khả năng thoát nước của hệ thống ứng với tần suất mưa $T = 3$ năm và hai trường hợp biên mực nước $H = 1,25\text{m}$ và $1,32\text{m}$. Kết quả hiệu chỉnh kiểm định mô hình có hệ số tương quan giữa thực đo với tính toán $R^2 = 0,83$ và kết quả mô phỏng cho thấy mức độ ngập thường xảy ra tại các cửa thoát với thời gian tập trung nước nhanh, lượng nước đổ về hồ ga lớn gây nên ngập ú nước tại những tiêu lưu vực.

Từ khóa: Mô hình SWMM; Khả năng tiêu thoát nước mưa quận 7; TP.HCM.

1. Giới thiệu

Phát triển đô thị, quá trình đô thị hóa, bê tông hóa bề mặt khu vực tự nhiên đang phát triển khá nhanh và ở rộng khắp các tỉnh, thành ở nước ta. Đi kèm với phát triển đô thị là những vấn đề khó khăn, các đô thị có qui mô lớn như thành phố Hồ Chí Minh (TP. HCM) phải đối mặt với nhiều thách thức làm thế nào để cung cấp hiệu quả nhất các dịch vụ hạ tầng kỹ thuật phục vụ đô thị, nâng cao chất lượng sống của người dân; sử dụng hợp lý nguồn tài nguyên về đất đai và giảm thiểu tác động bất lợi về môi trường. Hơn nữa, hiện nay, biến đổi khí hậu (BĐKH) với các biểu hiện đi kèm như nắng nóng, băng tan, nước biển dâng dẫn đến ngập lụt ngày càng diễn ra phức tạp và có xu hướng khó dự đoán. Như đa phần các thành phố thuộc khu vực đồng bằng, thành phố Hồ Chí Minh phải đối mặt với những thách thức nghiêm trọng do BĐKH gây ra. Trong đó có những thách thức đáng chú ý như hiện nay thành phố đã thường xuyên bị ngập, nếu mực nước biển dâng sẽ tiếp tục tác động đến thành phố. Mưa lớn và thiếu hồ lưu trữ nước, hệ thống thoát nước chưa đáp ứng, ... cũng là các nguyên nhân dẫn đến ngập. Những vấn đề này sẽ trở nên nghiêm trọng hơn khi lượng mưa gia tăng do BĐKH.

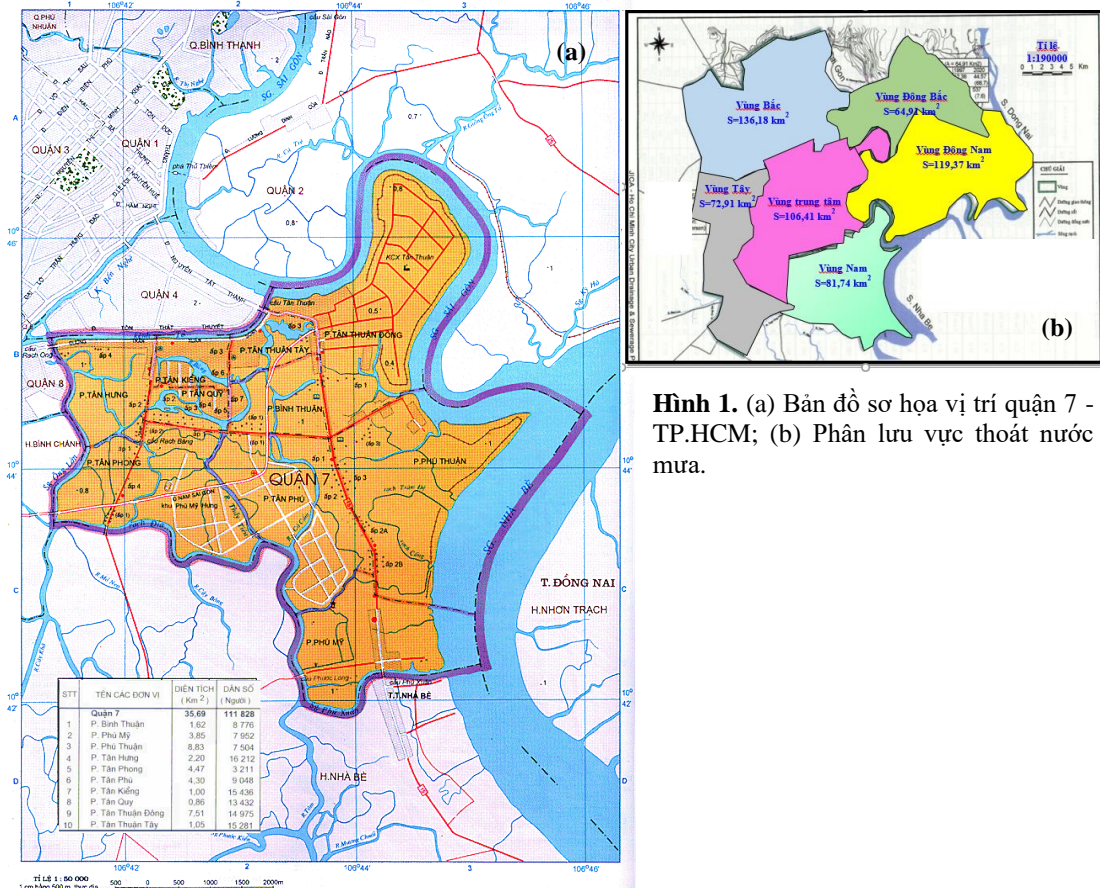
Theo Trung tâm điều hành chương trình chống ngập nước TP. HCM, trong những tháng mùa mưa, cứ vài tuần lại xảy ra một vụ ngập nước do mưa với nhiều mức độ nghiêm trọng khác nhau. Số liệu quan trắc trên địa bàn quận 1 cho thấy chỉ trong vòng 90 phút vũ lượng đã đạt 204 mm, khiến cho 59 tuyến đường bị ngập nặng, trên thực tế gần như toàn bộ thành phố bị tê liệt vì ngập. Một số khu vực bị ngập nặng như Thảo Điền (quận 2), Hiệp Bình Chánh (quận Thủ Đức), phường 15 (quận Tân Bình), phường Đông Hưng Thuận (quận 12),

Quận 7, Nhà Bè,... Trong khi đó, hệ thống thoát nước và kiểm soát triều vẫn chưa đủ khả năng đáp ứng đã làm cho tình trạng ngập đô thị ở TP.HCM ngày càng trở nên trầm trọng. Một số vị trí ngập xuất hiện trên địa bàn thành phố sau những trận mưa có vũ lượng trên 40 mm ngay cả khi thủy triều đang ở mức thấp, cho thấy dòng chảy đô thị do mưa lớn vượt quá khả năng thoát nước của công hiện là tác nhân gây ngập chủ yếu hiện nay. BĐKH làm cho mực nước biển tăng và do đó mực thủy triều dâng cao có thể dẫn đến việc phá hỏng công trình bảo vệ sông/bờ biển hiện hữu. Điều này sẽ gây ra ngập lụt trực tiếp cho nhiều khu vực rộng lớn ở Thành phố Hồ Chí Minh và gây quá tải hệ thống thoát nước đô thị hiện hữu nếu các cửa xả ra sông không được bảo vệ bằng công điều tiết hoặc van một chiều ngăn thủy triều. Ngoài ra, dưới tác động của BĐKH, mùa mưa sẽ khắc nghiệt hơn cường độ mưa cao, kéo dài, tần suất gia tăng nguy cơ làm quá tải hệ thống thoát nước hiện hữu, giảm mức bảo vệ chống ngập của hệ thống thoát nước đô thị hiện hữu, vì vậy tăng ngập lụt đô thị. Những biện pháp chống ngập như xây dựng mới, cải tạo hệ thống cống đang xuống cấp, nâng đường,... có nhiều ưu điểm tuy nhiên chưa giải quyết được vấn đề cảnh báo ngập trong thời gian ngắn để người dân, các ban quản lý nắm bắt tình hình và nhanh chóng đưa ra quyết định trong bối cảnh ngập như hiện nay ở TP.HCM [1].

Tình hình ngập hiện nay ở Thành phố Hồ Chí Minh nói chung và Quận 7 nói riêng là vấn đề được nhiều người quan tâm, ngập lụt ảnh hưởng đến tình hình dân sinh, kinh tế cũng như môi trường sống của người dân. TP.HCM dốc từ Bắc xuống Nam, vì thế hướng thoát nước sẽ là hướng Bắc - Tây Bắc - Đông Bắc xuống Nam - Đông Nam - Tây Nam, do đó hướng Nam sẽ thường hay bị ngập, và chưa được đầu tư đúng mức vì đây là vùng trũng thấp, đầm lầy. Khi mưa to hay triều cường khu vực phía Nam này sẽ là túi chứa nước cho thành phố, khi đô thị Phú Mỹ Hưng hình thành và phát triển mạnh mẽ nhiều kênh rạch ở đây đã bị san lấp để xây dựng công trình dẫn đến tình trạng ngập ngày càng nặng [1–3].

Một số nghiên cứu điển hình về các nguyên nhân gây ngập và tìm kiếm giải pháp giảm thiểu ở TP.HCM cho thấy các vùng lún cho thấy TP.HCM đang diễn ra với tốc độ lún lớn trên 10 cm trong vòng 10 năm. Từ năm 2005-2015, cá biệt có những nơi lún tới 73 cm/10 năm (tại mốc trên sân Trung tâm Văn hóa Thể dục Thể thao tại phường An Lạc quận Bình Tân) [4]. Theo kết quả nghiên cứu của Trung tâm địa tin học (Thuộc ĐHQG TP.HCM): hiện tượng lún tại TP.HCM được chia làm năm cấp độ. Cấp độ 1 khu vực lún ổn định 0,1 cm/năm, cấp độ 2 khu vực lún chậm từ 0,1-0,3 cm/năm, cấp độ 3 là lún trung bình 0,4-0,6cm/năm, cấp độ 4 là những khu vực lún 0,7-1,0 cm/năm. Riêng cấp độ 5 là những nơi có độ lún hơn 1cm/năm [5–6]. Nguyễn Kỳ Phùng và nnk (2012) đã ứng dụng mô hình thủy lực và mô hình độ cao số tính toán ngập lụt TP. Hồ Chí Minh. Kết quả mô phỏng thủy lực được kết hợp với mô hình độ cao số để mô phỏng bản đồ các khu vực ngập lụt hiện trạng và theo kịch bản mực nước biển dâng năm 2020 của thành phố [7]. Nghiên cứu [8] ứng dụng mô hình MIKE để tính toán ngập lụt hạ lưu lưu vực sông Cu Đê, thành phố Đà Nẵng. Các tác giả áp dụng MIKE FLOOD, một modun kết nối MIKE11 và MIKE21 thuộc bộ phần mềm MIKE của Viện khoa thủy lực Đan Mạch, để tính toán. Tác giả đã dựa vào các trận lũ năm 2008 và năm 2009 để hiệu chỉnh và kiểm tra mô hình; đã tìm được bộ tham số mô hình nhằm làm cơ sở cho tính toán dự báo cho các kịch bản phát triển đô thị hạ lưu sông Cu Đê. Tác giả [9] với đề tài nghiên cứu khoa học cấp thành phố “Nghiên cứu đề xuất lựa chọn chiến lược quản lý ngập lụt thích hợp trên cơ sở các dự án đã, đang và dự kiến triển khai tại TP.HCM” đã xây dựng được một lộ trình thực hiện chiến lược quản lý ngập lụt. Dự án kiểm soát triều “Quy hoạch thủy lợi chống ngập ứng khu vực TP.HCM được Thủ tướng chính phủ phê duyệt theo QĐ 1547/QĐ-TTg, ngày 15/10/2008. Đây là dự án có quy mô lớn, mang tính hệ thống và có cần nhiều thời gian để xây dựng. Trong đó có công trình cống Thị Nghè của một tiểu lưu vực độc lập thoát ra sông Sài Gòn được xây dựng nên cần có đánh giá tính hiệu quả, theo dõi quá trình vận hành (đã có nghiên cứu về chế độ vận hành) nhằm đúc rút kinh nghiệm thực tiễn áp dụng cho các công trình tiếp theo của dự án này. Dự án này có xét đến BĐKH thông qua các kịch bản nước biển dâng, tác động của BĐKH đến mưa đô thị chưa được xem xét. Quy hoạch tổng

mặt bằng TP.HCM đến năm 2025, đã được Thủ tướng chính phủ phê duyệt theo QĐ 24-TTg, ngày 26/10/2010. Trong quy hoạch này có phần nội dung tính toán cốt nền xây dựng phục vụ giảm ngập, liên quan đến hệ thống [10–12]. Kết quả của các đề tài, dự án đã góp phần quan trọng vào việc đề xuất cơ sở khoa học, định hướng về các giải pháp chống ngập và kiểm soát ngập cho toàn TP. Hồ Chí Minh. Nghiên cứu này sẽ tiếp cận theo cách chi tiết mô phỏng cho một khu vực nhỏ để có các giải pháp cụ thể giảm thiểu tác động do ngập của quận 7 - một trong những quận phát triển và đóng vai trò quan trọng trong phát triển kinh tế TP.HCM (Hình 1a).



Hình 1. (a) Bản đồ sơ họa vị trí quận 7 - TP.HCM; (b) Phân lưu vực thoát nước mưa.

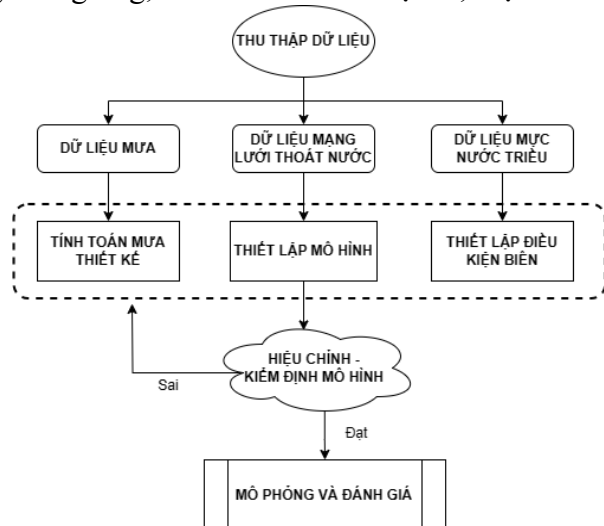
TP.HCM chia làm 6 lưu vực thoát nước (Hình 1b) dựa trên cao trình mặt đất và quy hoạch đô thị và Quận 7 là nơi thoát nước cho toàn thành phố, nhưng với mục tiêu phát triển kinh tế: nhiều khu đô thị mới được xây, nhiều nhà cao tầng mới mọc lên, ... đã dần san lấp hết vùng thoát nước, không gian xanh không tương ứng, thêm vào đó nền bị lún, mực nước dâng thì ngập sẽ là tất yếu [13–15].

Do đó, cần thiết đánh giá khả năng tiêu thoát nước mưa cho khu vực nghiên cứu trên cơ sở đó đề xuất các biện pháp quản lý nhằm giảm ngập cho khu vực.

2. Số liệu sử dụng và phương pháp nghiên cứu

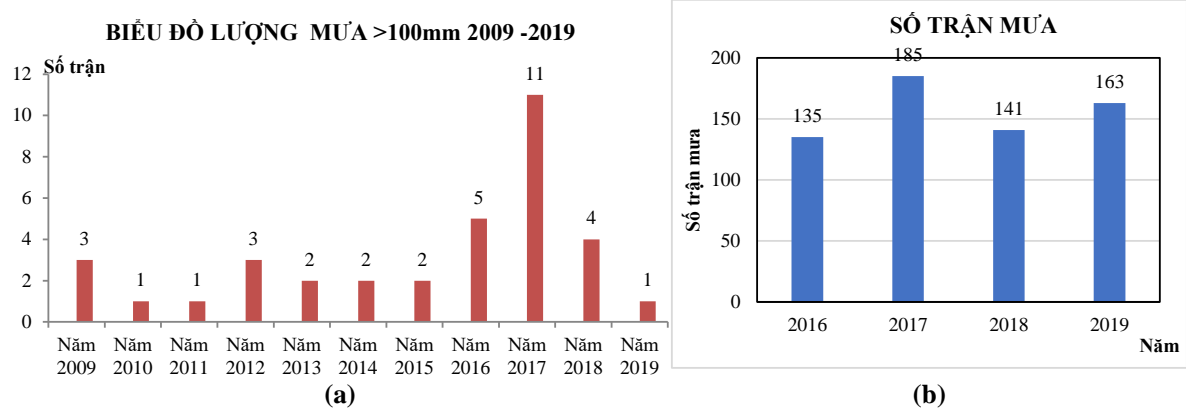
2.1. Số liệu sử dụng

Về tình hình mưa: Theo số liệu thống kê, từ năm 2009 đến năm 2015, trong 7 năm chỉ xuất hiện 14 trận mưa trên 100 mm, bình quân 01 năm xuất hiện 2 lần. Nhưng ở các năm tiếp theo, từ năm 2016-2019 đã xuất



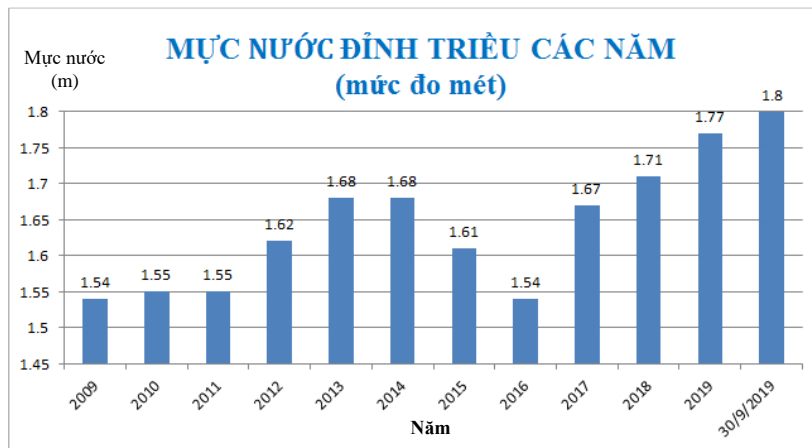
Hình 2. Sơ đồ cấu trúc nghiên cứu.

hiện nhiều hơn gấp đôi, tới 21 trận mưa, trong đó có những trận mưa đạt 100 mm - 204,3 mm (Hình 3a-3b) [1, 13].



Hình 3. (a) Biểu đồ lượng mưa trên 100 mm từ 2009-2019 ở TP.HCM; (b) Biểu đồ số trận mưa trên 100mm từ 2009-2019 ở TP.HCM.

Về tình hình diễn biến triều cường: trong những năm qua (2012-2018) đã xuất hiện trên 113 đỉnh triều bằng và lớn hơn +1,5m, đỉnh max là +1,68 m. Năm 2019 đỉnh triều cán mức +1,8m tại trạm Nhà Bè (30/9/2019) (Hình 4).



Hình 4. Diễn biến mực nước đỉnh triều.

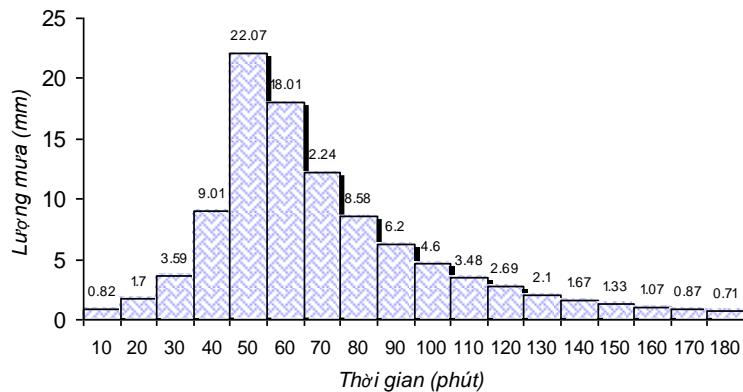
a. Biên mực nước:

- Trường hợp hiệu chỉnh kiểm định mô hình biên mực nước là dao động mực nước triều ngày 15/8/2021 được gán tại các cửa xả trong phạm vi nghiên cứu.

- Trường hợp mô phỏng đánh giá khả năng tiêu thoát nước mưa khu vực nghiên cứu là dao động mực nước triều ngày 15/7/2023 và giá trị mực nước cố định tại cao độ +1,32 m.

b. Mô hình mưa thiết kế:

Biểu đồ mưa thiết kế được xác định trên phương trình biểu diễn IDF, bằng phương pháp cường độ mưa tức thời và dữ liệu này được kế thừa từ nghiên cứu [1].



Hình 5. Biểu đồ mưa thiết kế chu kỳ 3 năm.

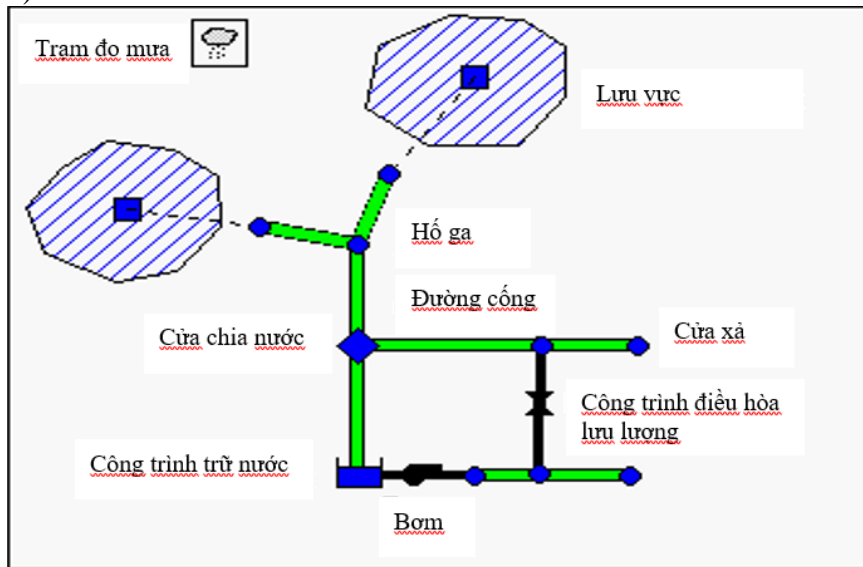
Sử dụng hệ số mưa trước đỉnh $r = 0,25$, xây dựng mô hình mưa thiết kế cho trạm Tân Sơn Hòa chu kỳ lặp lại 3 năm, thời đoạn 180 phút (Hình 5).

2.2. Phương pháp mô phỏng đánh giá

Phương pháp sử dụng là phương pháp đo đạc thực tế kết hợp mô phỏng bằng mô hình toán số SWMM [16–18].

SWMM (Storm Water Management Model) được xây dựng ở hai trường đại học San Phansico và Florida (Mỹ) do cơ quan bảo vệ môi trường Hoa Kỳ (EPA) xây dựng từ năm 1971-1999 để mô phỏng chất và lượng nước của lưu vực thoát nước đô thị và tính toán quá trình chảy tràn từ mỗi lưu vực bộ phận đến cửa nhận nước của nó. Thuộc tính dòng chảy của mô hình cho phép mô phỏng dòng chảy trực tiếp ra điểm tiếp nhận hoặc chảy từ vùng thấm sang vùng không thấm hay ngược lại [16–18].

SWMM bao gồm các khối sau: (1) Khối “dòng chảy” (*Runoff block*) tính toán dòng chảy mặt và ngầm dựa trên biểu đồ quá trình mưa (và/hoặc tuyết tan) hàng năm, điều kiện ban đầu về sử dụng đất và địa hình; (2) Khối “truyền tải” (*Transport block*) tính toán truyền tải vật chất trong hệ thống nước thải; (3) Khối “chảy trong hệ thống” (*Extran block*) diễn toán thủy lực dòng chảy phức tạp trong cống, kênh...; (4) Khối “Trữ/xử lý” (*Storage/Treatment block*) biểu thị các công trình tích nước như ao hồ...và các công trình xử lý nước thải, đồng thời mô tả ảnh hưởng của các thiết bị điều khiển dựa trên lưu lượng và chất lượng- các ước toán chi phí cơ bản cũng được thực hiện; (5) Khối “nhận nước” (*Receiving block*) Môi trường tiếp nhận (Hình 6).



Hình 6. Các thành phần trong hệ thống mô phỏng SWMM.

Dòng chảy trong cống được mô phỏng dựa trên hệ phương trình dòng không ổn định Saint-Venant 1 chiều, sai phân theo sơ đồ hiện [16–18]:

- Phương trình liên tục của dòng không ổn định:

$$\frac{\partial A}{\partial t} + V \frac{\partial A}{\partial x} + A \frac{\partial V}{\partial x} = 0 \tag{1}$$

Trong đó A là diện tích mặt cắt ngang; V là lưu tốc trung bình mặt cắt ngang dòng chảy; x là khoảng cách dọc theo lòng dẫn; t là thời gian.

- Phương trình động lượng của dòng không ổn định:

Phương trình động lượng của dòng không ổn định:

$$S_f = S_o - \frac{\partial h}{\partial x} - \frac{V}{g} \cdot \frac{\partial V}{\partial x} - \frac{1}{g} \cdot \frac{\partial V}{\partial t} \tag{2}$$

Trong đó S_f là độ dốc thủy lực; S_o là độ dốc đáy; g là gia tốc trọng trường.

- Phương trình liên hệ giữa lưu lượng Q và cột nước đo áp H

$$H_{t+\Delta t} = H_t + \Sigma Q_t \Delta t / A_{st} \tag{3}$$

Trong đó A_s là diện tích mặt thoáng của nút; Δt là bước thời gian phải thỏa mãn điều kiện Courant sau: Đối với ống: $\Delta t \leq L / (gD)^{1/2}$; Đối với nút: $\Delta t \leq 0,1 A_s \Delta H_{max} / \Sigma Q$.

Trong đó D là chiều sâu tối đa trong ống; L là chiều dài ống trên đó thực hiện truyền sóng động lực; ΔH_{max} là độ dâng lớn nhất của mặt nước trong một bước thời gian; ΣQ là tổng lưu lượng thực chảy vào nút.

2.3. Phạm vi mô phỏng

Thời gian gần đây, vấn đề ngập ở quận 7, TP.HCM ngày càng nghiêm trọng. Theo số liệu thông kê có những sự biến động đáng lo ngại:

Mỗi khi có cơn mưa lớn kéo dài trong khoảng 2-3 giờ, các khu vực như Phú Mỹ Hưng, Tân Phong và Nam Long thường ghi nhận tình trạng ngập úng, đạt độ sâu từ 20 cm đến 1 m tại một số điểm thấp. Điều này gây ra không chỉ bất tiện cho giao thông và cuộc sống hàng ngày của người dân mà còn thiệt hại đáng kể cho doanh nghiệp và cơ sở hạ tầng đô thị. Bên cạnh, ngập lụt gây ảnh hưởng đến sức khỏe và môi trường sống của người dân khu vực [19–24].

Bảng 1. Bảng tổng hợp tình hình mưa năm 2019.

Nội dung	Năm 2018	Năm 2019	Tăng (+)/giảm (-)
Tổng số ngày mưa	141	163	+15,60%
Tổng lượng mưa trung bình (mm)	1.268	1.138	-10%
Số ngày mưa có lượng mưa trên 50mm/24h	23	23	0
Số trận mưa gây ngập	17	25	+47,05%
Tổng số tuyến đường ngập	38	15	-60,52%
Số ngày vượt tần suất thiết kế	03	01	
Số ngày mưa có vũ lượng lớn nhất từ đầu năm đến nay	401mm (trạm Tân Sơn Hòa ngày 25/11/2018)	123,7mm (trạm Nguyễn Hữu Cảnh ngày 14/09/2019)	

Bảng 2. Bảng tổng hợp tình hình ngập do triều.

Tình hình triều	Năm 2018	Năm 2019	Tăng (+)/giảm (-)
Số ngày triều gây ngập	35	17	-51,42%
Số tuyến đường ngập	11	14	+27,27%
Số ngày triều có mực nước > 1,5m	18	25	+38,88%
Mực nước lớn nhất từ đầu năm đến nay (m)	1,71m (trạm Phú An ngày 02/02/2018)	1,80m (trạm Nhà Bè ngày 30/9/2019)	+0,09%

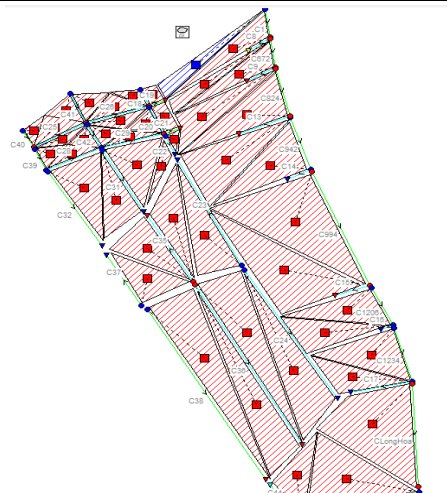
Thêm vào đó tình trạng ngập do triều tại các khu vực thấp cũng bắt đầu xuất hiện ở mức triều từ +1,0 m trở lên trong đó Quận 7 là một trong những địa điểm ngập nặng [19–24]. Khu vực nghiên cứu đánh giá được giới hạn bởi: Đường Huỳnh Tấn Phát, Hoàng Quốc Việt, Nguyễn Lương Bằng, quận 7, Thành phố Hồ Chí Minh.

Mạng lưới thoát nước được mô phỏng gồm 40 nút, 20 cửa xả, 45 tiểu lưu vực, 39 đoạn cống (Hình 7).

3. Kết quả và thảo luận

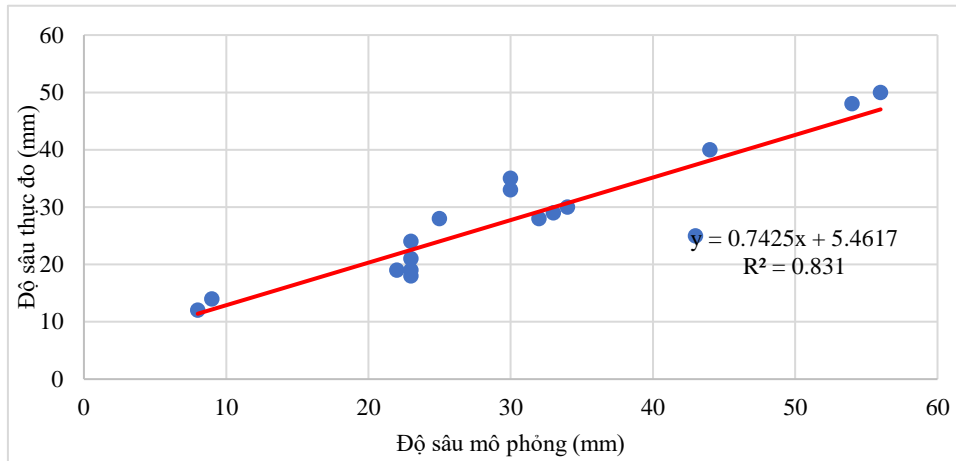
3.1. Hiệu chỉnh mô hình

Với số liệu sử dụng hiệu chỉnh kiểm định mô hình, sau khi tiến hành mô phỏng khu vực nghiên cứu bằng



Hình 7. Sơ đồ tính toán thủy lực khu vực nghiên cứu.

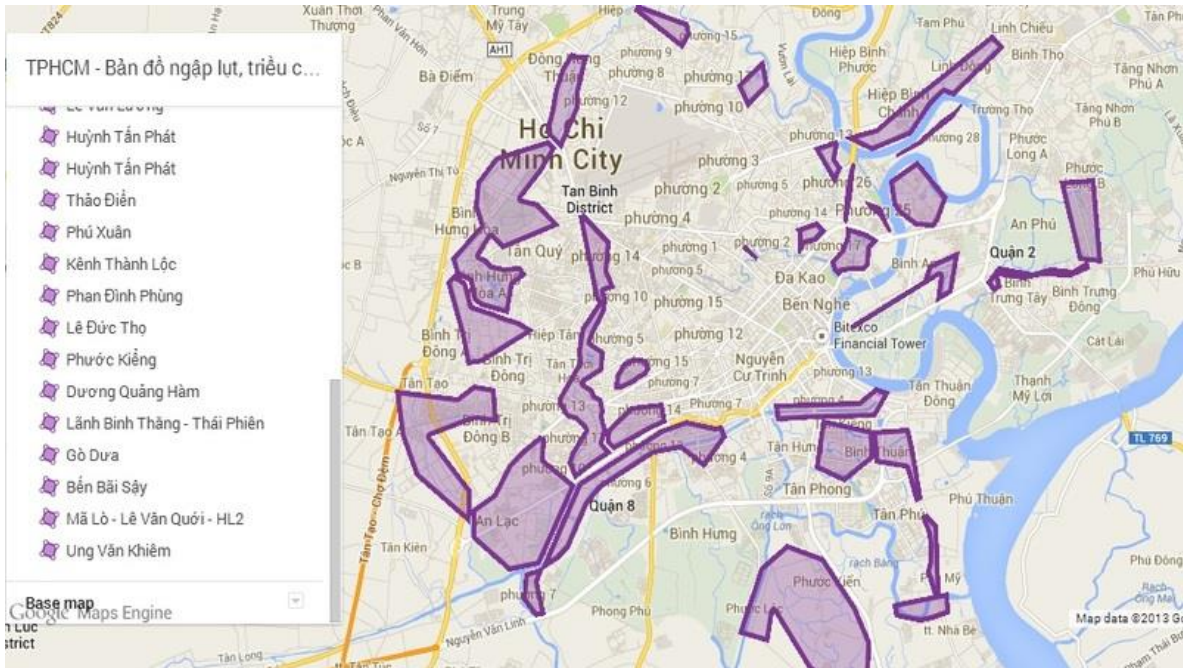
mô hình SWMM cho kết quả trong hình 8. Giá trị tương quan giữa các điểm thực đo độ ngập và mô phỏng đạt $R^2 = 0,83$ cho thấy mô hình cơ bản đảm bảo độ tin cậy để tiếp tục mô phỏng.



Hình 8. Biểu đồ so sánh độ sâu ngập tại các node mô phỏng và thực đo.

3.2. Kết quả mô phỏng

Dựa vào kết quả mô phỏng cho thấy mức độ ngập tại các điểm trong trường hợp mô phỏng tương đương với đo đạc thực tế, tổng độ sâu ngập thực đo tại các điểm khảo sát là 512 mm, mô hình mô phỏng là 473 mm. Với kết quả hiệu chỉnh, cho thấy mô hình có thể được dùng để mô phỏng đánh giá khả năng tiêu thoát nước mưa khu vực nghiên cứu (Hình 9).

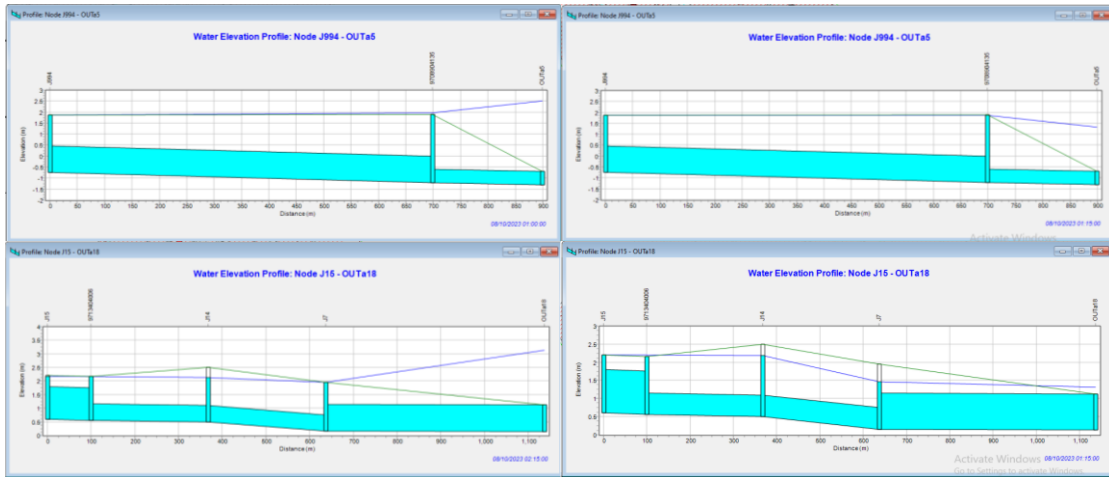


Hình 9. Biểu đồ ngập TP.HCM năm 2021,

Nghiên cứu xây dựng các kịch bản đánh giá khả năng tiêu thoát nước mưa khu vực nghiên cứu như sau:

- Biên mực nước ảnh hưởng dao động mực nước triều ngày 15/7/2023;
- Biên mực nước không chế đạt cao trình +1,32 m theo thiết kế dự án chống ngập;
- Biên mực nước không chế đạt cao trình +1,25 m;
- Biên mực nước đạt cao trình +1,32 m và tăng tỷ lệ thấm bề mặt lưu vực lên 25%.

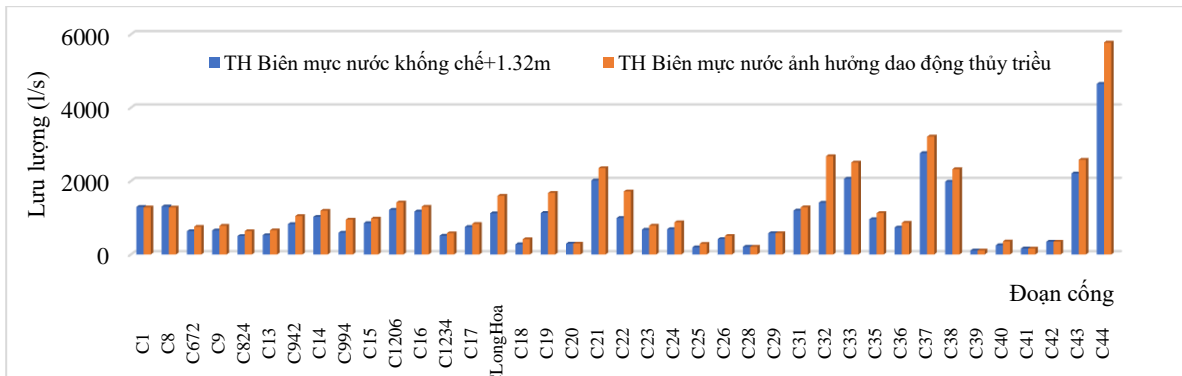
Kết quả các kịch bản được thể hiện ở hình 10-13.



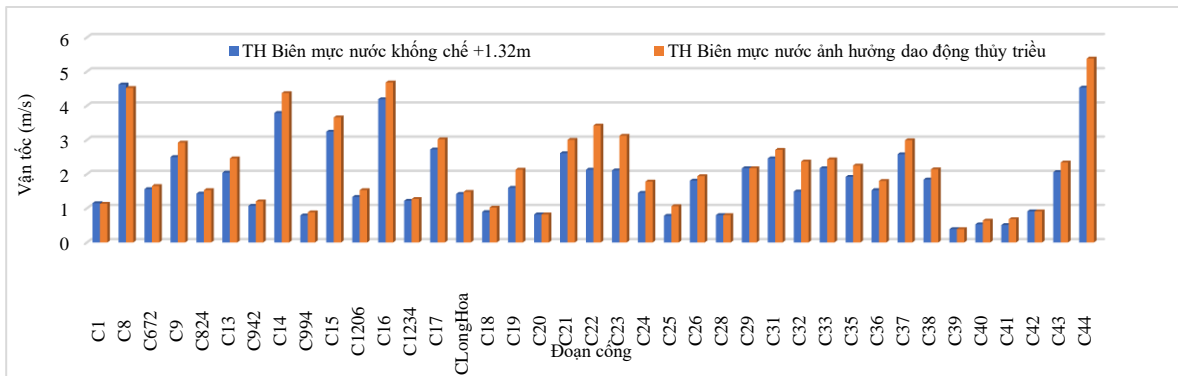
TH: Ảnh hưởng thủy triều 15/7/2023

TH: Biên mực nước khống chế +1,32m

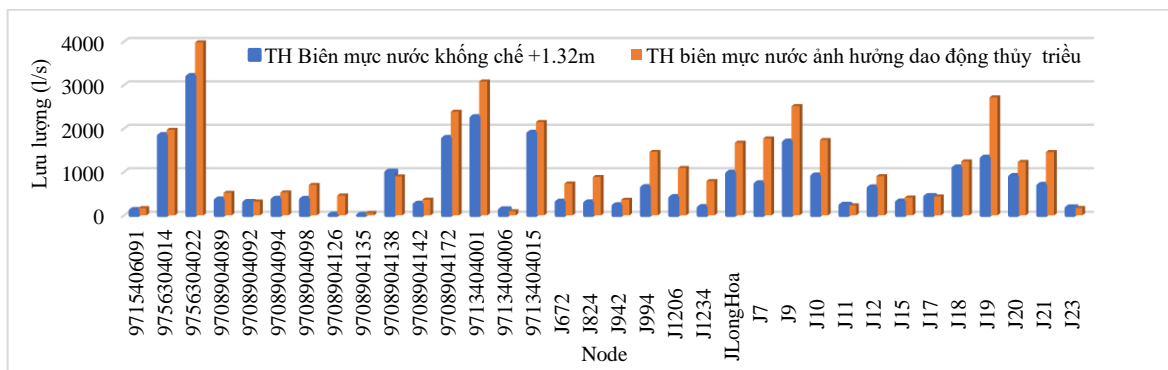
Hình 10. Diễn biến mực nước trong tuyến công điện hình.



Hình 11. Diễn biến dòng chảy lớn nhất trong công.



Hình 12. Vận tốc nước chảy trong công.



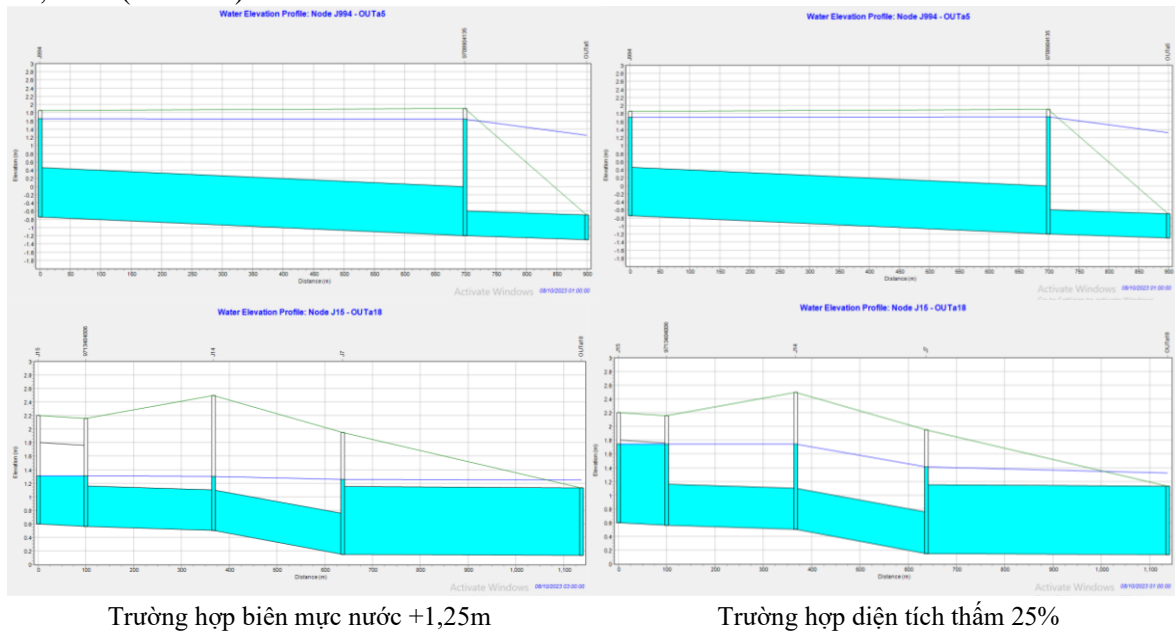
Hình 13. Lưu lượng lớn nhất tại node.

Kết quả mô phỏng đánh giá cho thấy cả hai trường hợp biên mực nước không chế đạt cao trình +1,32 m và ảnh hưởng dao động thủy triều mạng lưới thoát nước khu vực đánh giá đều xảy ra tình trạng ngập.

Qua các kết quả mô phỏng mức độ ngập lụt tại Q7 TP.HCM bằng mô hình SWMM thể hiện qua các 2 trận mưa hiệu chỉnh và theo biểu đồ mưa thiết kế chu kỳ 3 năm với các kịch bản BĐKH trong điều kiện nước biển dâng, có thể nhận thấy rằng ngập lụt diễn ra tại các cửa thoát của hệ thống cống. Với thời gian tập trung nước nhanh, lượng nước đổ về hố ga lớn gây nên ngập ú nước tại những tiểu lưu vực.

3.3. Đề xuất biện pháp quản lý khu vực nghiên cứu

Với các nguyên nhân gây ra ngập chủ quan và khách quan và trên cơ sở kết quả mô phỏng đánh giá khu vực nghiên cứu, đề xuất một vài biện pháp hỗ trợ quản lý giúp giảm thiểu tình trạng ngập do mưa và triều khu trung tâm hành chính Quận 7 là: Hạ mực nước không chế xuống +1,25 m và Tăng tỷ lệ thấm của lưu vực lên 25%. Kết quả mô phỏng trường hợp hạ mực nước không chế xuống +1,25 m và tăng tỷ lệ thấm bề mặt phủ lên 25% với mực nước +1,32 m (Hình 14).



Hình 14. Diễn biến mực nước trong tuyến cống điển hình.

Theo kết quả mô phỏng cho thấy, với kịch bản biên mực nước ảnh hưởng dao động triều cường ngày 15/7/2023 và mực nước không chế tại cao độ +1,32 m, khu vực nghiên cứu còn ngập khá nghiêm trọng. Kết quả mô phỏng cho thấy: Điểm ngập nặng: độ sâu ngập $H > 0,3$ m và không tiêu thoát hết trong thời gian $t > 120$ phút sau khi hết mưa; Điểm ngập vừa: độ sâu tụ nước $0,15m < H < 0,3$ m và không tiêu thoát hết trong thời gian 30 phút $< t < 120$ phút sau khi hết mưa; Điểm ngập nhẹ: độ sâu tụ nước $0,1 < h < 0,15$ m và không tiêu thoát hết trong thời gian $t < 30$ phút sau khi hết mưa; Không ngập: là vị trí nước tụ lại ở độ sâu $H < 0,1m$ và tiêu thoát hết trong thời gian $t < 30$ phút.

Với kịch bản biên mực nước không chế tại cao trình +1,25 m cũng như trường hợp biên mực nước không chế tại cao trình +1,32 m và tăng bề mặt thấm lưu vực lên 25%, kết quả mô phỏng cho thấy tình hình ngập của phạm vi nghiên cứu cơ bản được kiểm soát. Khi tăng bề mặt thấm lưu vực lên, tăng khả năng điều tiết nước bằng tự nhiên, mưa xuống một phần lưu lượng được thấm bổ cập cho nguồn nước dưới đất, một phần được giữ lại trên bề mặt không thấm. Cùng với việc, thời gian tập trung dòng chảy tràn lâu hơn, mực nước không chế thấp hơn thuận lợi cho việc tiêu thoát giảm ngập cho đô thị.

4. Kết luận

Để đánh giá khả năng tiêu thoát nước mưa của một phần khu vực quận 7, Thành phố Hồ Chí Minh nghiên cứu sử dụng mô hình SWMM kết quả tương đối phù hợp với thực trạng khu vực nghiên cứu. Mô hình mô phỏng, tính toán quá trình chảy tràn trên bề mặt phủ của lưu vực đến cửa nhận nước của nó với kịch bản biên mực nước triều ngày 15/7/2023, mực nước dâng 1,25 m; 1,32 m và kịch bản mực nước 1,32m cùng với bề mặt thấm của lưu vực là 25%, tuy nhiên trong thực tế tốc độ này có thể tăng nhanh hoặc chậm hơn, lúc đó hiệu quả của phương án có thể ngắn hoặc dài hơn. Như vậy cho thấy rằng, nếu vẫn giữ mực nước không chế tại cửa xả ở cao trình +1,32m theo thiết kế thì phải tăng bề mặt thấm của lưu vực lên 25%. Hoặc hạ mực nước không chế xuống cao trình +1,25 m thì vấn đề ngập của khu vực nghiên cứu coi như đã được kiểm soát.

Quá trình mô phỏng mới chỉ hiệu chỉnh mô hình 1 năm nên độ tin cậy của mô hình mới chỉ dừng lại ở khả năng ứng dụng nghiên cứu, để kết quả chính xác hơn thì cần thiết phải hiệu chỉnh kiểm định nhiều trận mưa, ngập hơn. Những điều này sẽ được thực hiện ở các nghiên cứu tiếp theo.

Lời cảm ơn: Bài báo được hoàn thành trong khuôn khổ đề tài cấp trường Đại học Tài nguyên và Môi trường TP.HCM năm 2023, mã số: CT.2023.09. Các tác giả chân thành cảm ơn.

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

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

Tài liệu tham khảo

1. Long, P.T. Xây dựng mô hình dự báo, cảnh báo và quản lý ngập cho đô thị thông minh tại thành phố Hồ Chí Minh. Báo cáo tổng hợp đề tài KHCN cấp thành phố 2021, 2021.
2. Nữ, H.T.T. Nghiên cứu giải pháp thoát nước chống ngập cho lưu vực rạch Văn Thánh Thành phố Hồ Chí Minh, Luận văn thạc sĩ kỹ thuật Đại học Bách Khoa TP.HCM 2010.
3. 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.
4. Trường, T.V. Nhìn lại bài toán ngập lụt Thành phố Hồ Chí Minh. Trực tuyến: <https://ashui.com/mag/tuongtac/phanbien/14844-nhin-lai-bai-toan-ngap-lut-thanh-pho-ho-chi-minh.html>, 2018.
5. Cục Đo đạc và Bản đồ Việt Nam (Bộ Tài nguyên và Môi trường). Báo cáo tình hình sụt lún khu vực TP.HCM và ĐBSCL, 2016. Trực tuyến: <https://baotainguyenmoitruong.vn/bao-cao-tinh-hinh-sut-lun-khu-vuc-tp-hcm-va-dbscl-246240.html>.
6. Vinh, P.T. và cs. Diễn biến ngập lụt dưới tác động của BĐKH, lún sụt đất và các giải pháp kiểm soát ngập cho khu vực tp.hcm nói riêng và các đô thị phía nam. Hội thảo khoa học và công nghệ về quản lý công trình thủy lợi, Viện Khoa học Thủy lợi Miền nam, 2018.
7. Phùng, H.L.T.; Hoàng, T.T.; Toàn, H.C.; Đông, N.P.; Linh, H.T.M.; Phùng, N.K. Xây dựng kịch bản giảm ngập cho quận 12 trên mô hình toán. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* **2019**, 705, 64–70.
8. Viện Quy hoạch Thủy lợi miền Nam. Quy hoạch tổng thể thủy lợi ĐBSCL trong điều kiện BĐKH, NBD, 2011.
9. Giang, L.S. và cs. Nghiên cứu đề xuất lựa chọn chiến lược quản lý ngập lụt thích hợp trên cơ sở các dự án đã, đang và dự kiến triển khai tại Tp.HCM, Đề tài cấp thành phố Hồ Chí Minh năm 2018.
10. Dự án: “Giải quyết ngập do triều khu vực TP.HCM có xét đến yếu tố biến đổi khí hậu (giai đoạn 1)”, Trung tâm điều hành chương trình chống ngập nước TP.HCM, 2015.

11. Đề án: “Chống ngập và xử lý nước thải TP.HCM giai đoạn 2020-2045 và kế hoạch chống ngập và xử lý nước thải giai đoạn 2020-2030”, UBND TP.HCM, 2020.
12. Quyết định: 752/QĐ-TTg: “Về việc phê duyệt quy hoạch tổng thể hệ thống thoát nước TP.HCM đến năm 2020”, 2001.
13. Tín, N.T. Quy hoạch thủy lợi phục vụ tìm kiếm giải pháp chống ngập lụt cho TP. Hồ Chí Minh. Báo cáo hội thảo UBND TP.HCM.
14. Nghiên cứu thu thập dữ liệu về kiểm soát ngập bằng cách lắp đặt cống thu gom nước thải và khả năng tài trợ tư nhân cho việc thoát nước và kiểm soát ngập. UBND TP.HCM, 2019.
15. Nữ, H.T.T.; Vũ, D.T.; Phùng, L.V.; Văn, C.T. Mô phỏng mức độ ngập và đề xuất giải pháp thoát nước chống ngập cho khu vực Văn Thánh - Thành phố Hồ Chí Minh. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* **2020**, 716, 12–25.
16. EPA. Storm water management model user’s manual version 5.2.
17. James, W.; Rossman, L.E.; James, W.R.C. User’s Guide to SWMM5 13th Edition, CHI Press, 2010.
18. Boyd, J.M.; Bufill, M.C.; Knee, R.M. Pervious and impervious runoff in urban catchments. *Hydrol. Sci. J.* **1993**, 38(6), 463–478.
19. Điềm, N.V.; Sơn, H.T. Mô hình tính toán thoát nước mưa cho những đô thị trong vùng bị ảnh hưởng thủy triều. Trường đại học Bách Khoa TP HCM (12/2002).
20. Zhou, Q.; Yang, X.; Melvil, M.D. A GIS network model for sugarcane field drainage management. Proceedings of 8th Australasian Remote Sensing Conference, 25-29.
21. Thiệp, N.N. Các thách thức và giải pháp trong công tác giảm ngập nước cho đô thị TP.HCM. Hội thảo chuyên đề: Thực trạng triển khai giải pháp giảm ngập 5 năm qua và đề xuất các giải pháp, chỉ tiêu định hướng giai đoạn 2021-2025 trên địa bàn thành phố, 2019.
22. Vinh, P.T. Giải pháp phòng tránh và kiểm soát ngập cho các đô thị khu vực phía nam”, Hội thảo khoa học và công nghệ thủy lợi phục vụ phát triển bền vững. Viện Khoa học Thủy lợi Miền nam, 2023.
23. Sở Quy hoạch - Kiến trúc TPHCM. Giải pháp hạn chế tình trạng ngập lụt tại TP.HCM và tình hình biến đổi khí hậu trong tương lai. Trục tuyến: <https://qhkt.hochiminhcity.gov.vn/do-thi-xanh/giai-phap-han-che-tinh-trang-ngap-lut-tai-tphcm-va-tinh-hinh-bien-doi-khi-hau-trong-tuong-lai-1031.html>, 2017.
24. TCVN 7957:2023 Thoát nước - Mạng lưới và công trình bên ngoài - Tiêu chuẩn thiết kế.

Research and application of simulation models and assessment of rainwater drainage capacity in District 7 - Ho Chi Minh City

Hoang Thi To Nu^{1*}, Nguyen Vinh An¹, Nguyen Huu Tuan¹, Can Thu Van¹

¹ HCMC University of Natural Resources and Environment; nu.htt@hcmunre.edu.vn; nvan@hcmunre.edu.vn; nhtuan@hcmunre.edu.vn; ctvan@hcmunre.edu.vn

Abstract: Ho Chi Minh City (HCMC) is located in the transition zone between the Southeast and the Mekong Delta with terrain that gradually lowers from North to South and from East to West. The area of districts 9, 8, 7 and Binh Chanh, Nha Be, Can Gio districts located in the South-Southwest and Southeast of the city has an average height of around 1m and the highest is 2m, the lowest is 0.5m. Frequently flooded by tides, heavy rain or combined rain and tides. This paper will research and apply the SWMM model to simulate the level of flooding in District 7 and evaluate the drainage capacity of the system corresponding to rain frequency T = 3 years and two cases of water level boundary H = 1.25 m and 1.32 m. The results of model calibration and testing have a correlation coefficient between actual measurements and calculations $R^2 = 0.83$ and the simulation results show that the level of flooding often occurs at the outlet with fast water concentration time, large amount of water flowing into the manhole, causing water stagnation research area.

Keywords: Urban flooding in Ho Chi Minh City, SWMM model.

Bài báo khoa học

Đánh giá tính dễ tổn thương do xâm nhập mặn đến nông nghiệp ở các tỉnh đồng bằng sông Cửu Long

Trần Thị Kim¹, Phùng Thị Mỹ Diễm¹, Hoàng Phan Phương Quỳnh¹, Ngô Nam Thịnh¹, Lê Thị Kim Thoa^{1*}

¹ Trường Đại học Tài nguyên và Môi trường Tp.HCM; ttkim@hcmunre.edu.vn ; diemptm@hcmunre.edu.vn; nnthinh@hcmunre.edu.vn; thoa.ltk@hcmunre.edu.vn.

*Tác giả liên hệ: thoa.ltk@hcmunre.edu.vn;; Tel.: +84-936854385

Ban Biên tập nhận bài: 5/9/2023; Ngày phản biện xong: 23/10/2023; Ngày đăng bài: 25/11/2023

Tóm tắt: Đồng bằng sông Cửu Long là vùng sản xuất nông nghiệp chính ở Việt Nam, có vùng đất cửa sông ven biển với chế độ thủy văn phức tạp do chịu ảnh hưởng của dòng chảy sông Mê Kông và thủy triều. Nghiên cứu này tập trung đánh giá tính dễ bị tổn thương do xâm nhập mặn đến nông nghiệp ở Đồng bằng sông Cửu Long, có xét đến ảnh hưởng nước biển dâng bằng phương pháp AHP và mô hình hóa. Các thành phần về khả năng thích ứng, phơi nhiễm và độ nhạy của ngành nông nghiệp được tính toán và từ đó, xác định mức độ tổn thương của từng tỉnh Đồng bằng sông Cửu Long trong năm 2020 và dự báo đến 2050. Kết quả nghiên cứu cho thấy các chỉ số tổn thương có sự thay đổi trong các tỉnh ĐBSCL, tỉnh Trà Vinh có chỉ số tổn thương tăng đến 62,16 năm 2050, trong khi năm 2020 chỉ ghi nhận được 55,74. Chỉ số tổn thương ở Vĩnh Long và Kiên Giang ghi nhận dấu hiệu giảm, còn tương ứng 43 và 58,92, so với năm 2020 là 61,36 và 59,3. Kết quả là cơ sở khoa học phục vụ cho các quy hoạch nông nghiệp, phát triển kinh tế - xã hội tại địa phương.

Từ khóa: Đồng bằng sông Cửu Long; Xâm nhập mặn; Tính dễ bị tổn thương; Khả năng thích ứng, Phơi nhiễm; Độ nhạy.

1. Giới thiệu

Theo tiếp cận mới hiện nay trong việc ứng phó với thiên tai là dựa trên tiếp cận quản lý rủi ro. Rủi ro (RR) là khả năng xảy ra một sự kiện bất lợi hoặc mất mát trong tương lai. Hay là tần suất của các hậu quả gây hại hoặc các mất mát được kỳ vọng (người chết, thương vong, tài sản, kế sinh nhai, các hoạt động kinh tế bị gián đoạn hoặc môi trường bị thiệt hại) do kết quả từ các tương tác giữa hiểm họa tự nhiên (hoặc do con người tạo ra) và các tình trạng dễ bị tổn thương [1]. Tính dễ bị tổn thương (TDBTT) thể hiện mức độ mất mát hoặc tổn hại có thể hoặc thiệt hại đến con người, các tòa nhà và môi trường do hiểm họa thiên nhiên gây ra. TDBTT thể hiện tính nhạy cảm khi bị ảnh hưởng [2, 3]. Năm 1979, tổ chức cứu trợ thiên tai của Liên Hợp Quốc (UNDRO) và Tổ chức Giáo dục, Khoa học và Văn hóa Liên Hợp Quốc (UNESCO) bắt đầu đưa ra khái niệm về hiểm họa, TDBTT, RR, yếu tố rủi ro hay phơi nhiễm, rủi ro tổng hợp. Theo tiếp cận này, nhiều nghiên cứu đã được triển khai và thực hiện để đưa ra những bộ chỉ thị cho đánh giá TDBTT bằng chỉ số. Lisa K. Flax đã xây dựng công cụ đánh giá TDBTT của cộng đồng (CVAT) hỗ trợ các nhà quản lý và lập kế hoạch khẩn cấp trong nỗ lực giảm thiểu TDBTT [4]. Tác giả [5] đã xem xét các phương pháp đánh giá lũ lụt và so sánh lợi ích và hạn chế của chúng. Nghiên cứu này kết luận rằng phương pháp tiếp cận dựa trên chỉ số về TDBTT do lũ lụt nói chung ở từng khu vực hơn là

các phương pháp tiếp cận khác. Nghiên cứu [6] đã đánh giá TDBTT do lũ lụt ở lưu vực sông Bến Hải - Thạch Hãn, đặc biệt là tỉnh Quảng Trị thuộc miền Trung Việt Nam, nơi lũ lụt hàng năm xảy ra từ tháng 9 đến tháng 11. Khung đánh giá TDBTT được sử dụng để tính toán các chỉ số TDBTT do lũ lụt (FVI) dưới các khía cạnh kinh tế xã hội, môi trường và vật lý. Tác giả [7] đã nghiên cứu ảnh hưởng của xâm nhập mặn (XNM) đến hệ sinh thái nông nghiệp theo không gian và thời gian thông qua Các cuộc phỏng vấn hộ gia đình và chuyên gia, thảo luận nhóm nhằm tập trung và đánh giá các văn bản chính sách được sử dụng để nắm bắt các vấn đề về độ mặn trong quá khứ cũng như những thay đổi trong hệ thống canh tác. Tuy nhiên, [8] cũng chỉ ra điểm thách thức trong hạn chế về đánh giá TDBTT, đó là hạn chế về phạm vi (khu vực) đánh giá. Điều này cho thấy từng địa phương tương ứng với từng khía cạnh sẽ có các chỉ thị và trọng số đánh giá khác nhau dựa trên khung đánh giá tổn thương chung [8–10]. Các nghiên cứu đánh giá TDBTT phổ biến dựa trên 3 thành phần: Độ phơi nhiễm (ĐPN), độ nhạy (ĐN) và khả năng thích ứng (KNTU) [11–23].

Để đánh giá TDBTT, phương pháp được dùng phổ biến là phương pháp phương pháp phân tích thứ bậc (AHP). Phương pháp này đã được áp dụng phổ biến và rộng rãi trên thế giới [14, 15, 18, 19] và cả Việt Nam [11–13, 16, 17, 20, 21, 23] trong việc đánh giá tình tổn thương. Tác giả [19] đã đánh giá tổn thương hệ sinh thái sử dụng GIS và AHP cho khu vực cao nguyên ở Trung Quốc dựa trên các yếu tố tự nhiên, yếu tố môi trường và yếu tố kinh tế xã hội của Diên An năm 1997, 2004 và 2011. Tác giả [15] cũng đã dự đoán TDBTT của các khu vực có nguy cơ lũ lụt bằng phương pháp GIS và AHP. Việc lập bản đồ TDBTT do lũ dựa theo cách tiếp cận đa thông số và tích hợp một số yếu tố gây lũ lụt như phân bố lượng mưa, độ cao và độ dốc, mạng lưới thoát nước và mật độ, sử dụng đất/lớp phủ đất và loại đất. Các nghiên cứu cho thấy việc bản đồ hóa TDBTT bằng chỉ số hiệu quả trong việc cũng cấp cơ sở dữ liệu trong dự báo và quy hoạch những khu vực tổn thương cao do thiên tai. Tại Việt Nam, tác giả [17] đã đánh giá TDBTT do thiên tai tại các xã thuộc thành phố Quy Nhơn, Bình Định bằng phương pháp AHP. Trong nghiên cứu này, sự thiệt hại có quan hệ chặt chẽ với độ phơi lộ, DN và KNTU. Cùng với hướng trên, tác giả [16] cũng đã áp dụng phương pháp tính toán trọng số AHP để xác định TDBTT dưới tác động của biến đổi khí hậu tại Côn Đảo. Bộ chỉ số tổn thương trong nghiên cứu này được xây dựng với 3 thành phần: ĐPN, ĐN và KNTU [11, 20, 22]. Tác giả [21] đã áp dụng phương pháp AHP để xác định TDBTT về sinh kế SVI của nông hộ trong bối cảnh ảnh hưởng của sự thay đổi lũ ở thượng nguồn sông MêKong. Nghiên cứu này chỉ ra rằng, nguồn vốn là yếu tố rất quan trọng ảnh hưởng đến sinh kế của địa phương.

Việt Nam đang chịu nhiều tác động của biến đổi khí hậu (BĐKH) [24], đặc biệt, Đồng bằng sông Cửu Long (ĐBSCL) là một trong những quan trọng nhất của nước đang chịu áp lực lớn từ sự BĐKH và xâm nhập mặn. Vùng ĐBSCL không chỉ là một trong những khu vực nông nghiệp chính của Việt Nam [25], mà còn là trọng điểm của nền kinh tế và sinh thái quốc gia. Tuy nhiên, hiện nay, khí hậu trong vùng biến đổi theo hướng không thuận lợi cho hoạt động nông nghiệp. Những vấn đề như thiếu nước ngọt trong mùa khô, thay đổi mùa mưa, và sự tăng mực nước biển dâng đã dẫn đến sự xâm nhập mặn sâu vào nội đồng. Khu vực các cửa sông của ĐBSCL, là bộ phận quan trọng của dòng sông Mê Kông, chịu ảnh hưởng đồng thời từ sông Mê Kông và thủy triều [26, 27]. Vào mùa khô, sự kết hợp giữa nước từ thượng nguồn suy giảm và thủy triều biển dâng đã ảnh hưởng đến nông nghiệp, đặc biệt là trong điều kiện BĐKH. Sự gia tăng mực nước biển dẫn đến XNM ăn sâu vào nội đồng, ảnh hưởng nông nghiệp và cuộc sống hàng ngày của người dân [28]. Có rất nhiều nghiên cứu về XNM đã được thực hiện ở ĐCSCL bằng mô hình toán [26, 29–33]. Tác giả [26] đã xác định ranh giới mặn 2,5 g/l sẽ dịch chuyển lên tới 15 km về phía thượng nguồn trên các nhánh chính của sông với giả định mực nước biển dâng (NBD) 20 cm và giảm 38% lưu lượng vào năm 2030. Tác giả [27] cũng đã mô phỏng ranh mặn 4 g/l sẽ ăn sâu vào nội đồng 6-10 km theo kịch bản NBD 0,5 m và hơn 20 km theo kịch bản NBD 1 m. Điều này có thể ảnh hưởng tương ứng từ 132.500 đến 331.000 ha, ảnh hưởng đến hệ thống

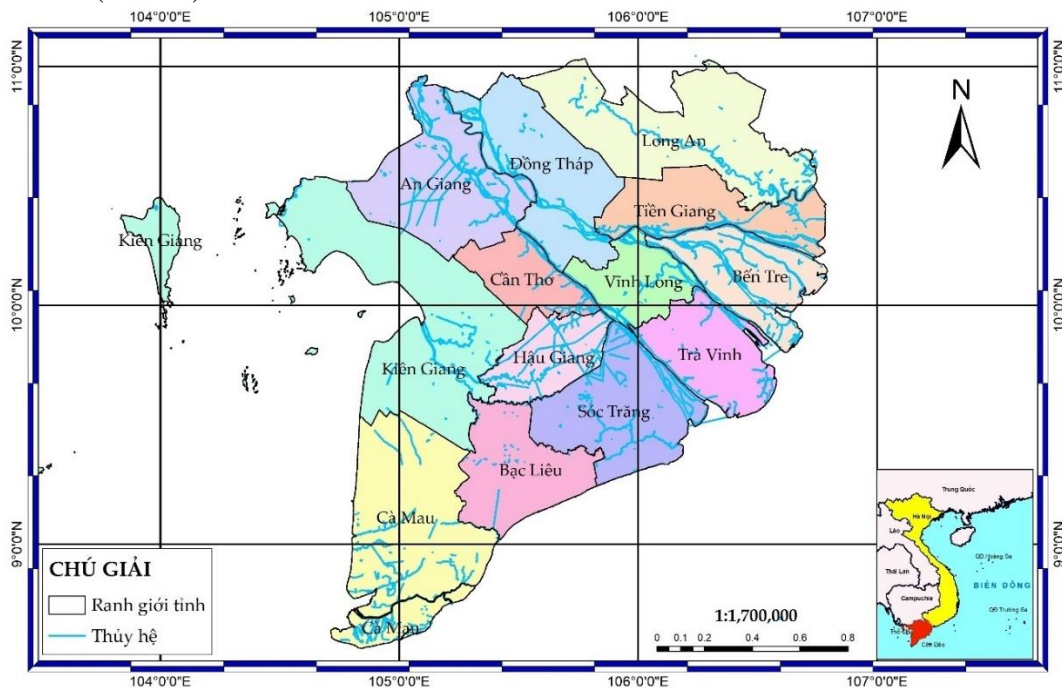
thủy lợi ở Gò Công, Ba Lai và Nam Mang Thít. Theo nghiên cứu [34], trong số 13 tỉnh ở ĐBSCL thì có 9 tỉnh bị ảnh hưởng XNM nghiêm trọng và tất cả các tỉnh đều bị thiếu nước. Hiện có khoảng 400.000 ha đất trồng trọt bị nhiễm mặn, trong đó 238.276 ha là ruộng lúa [35]. Do đó, việc đánh giá ảnh hưởng của biến đổi khí hậu XNM đến nông nghiệp trong bối cảnh BĐKH là cần thiết cho việc quy hoạch nông nghiệp, phát triển kinh tế - xã hội khu vực ĐBSCL.

Từ các phân tích trên, nghiên cứu này tập trung đánh giá về TDBTT của yếu tố XNM đến nông nghiệp ở ĐBSCL trong bối cảnh NBD năm 2050. Nghiên cứu đã đánh giá được KNTU, ĐPN và ĐN của ngành nông nghiệp và từ đó, đưa ra đánh giá TBDTT của từng tỉnh ĐBSCL. Điểm đóng góp của nghiên cứu này là việc đánh giá ảnh hưởng của XNM đến nông nghiệp có xét đến các yếu tố xã hội, kinh tế và môi trường một cách tổng thể tại ĐBSCL. Kết quả nghiên cứu cho thấy được TDBTT do XNM đến nông nghiệp, đây là cơ sở khoa học phục vụ cho các quy hoạch nông nghiệp, phát triển kinh tế - xã hội khu vực ĐBSCL ứng với tương lai khi có ảnh hưởng của NBD.

2. Dữ liệu sử dụng và phương pháp nghiên cứu

2.1. Khu vực nghiên cứu

Khu vực nghiên cứu bao gồm 13 tỉnh: Long An, Bến Tre, Tiền Giang, Vĩnh Long, Đồng Tháp, Trà Vinh, An Giang, Cần Thơ, Hậu Giang, Sóc Trăng, Bạc Liêu, Kiên Giang, và Cà Mau (Hình 1).



Hình 1. Phạm vi nghiên cứu.

2.2. Dữ liệu thu thập

Các dữ liệu cho tính toán tổn thương thu thập được trình bày như Bảng 1.

Số liệu cho mô hình MIKE 11 bao gồm các bản đồ địa hình khu vực ĐBSCL được thu thập theo hệ tọa độ địa lý hoặc UTM.

Các dữ liệu đầu vào biên mực nước lưu lượng theo giờ, được thu thập từ các trạm đo đặc thủy văn trên khu vực ĐBSCL như An Thuận, Bến Lức, Bến Trại, Biên Hòa, Bình Đại, Cà Mau, Cần Thơ, Cao Lãnh, Châu Đốc, Chợ Lách, Đại Ngãi, Gành Hào, Long Xuyên, Mộc Hóa, Mỹ Tho, Mỹ Thuận, Năm Căn, Rạch Giá, Sông Đốc, Tân Châu, Trà Vinh. Số

liệu năm 2020 được thu thập từ đài Khí tượng Thủy văn khu vực Nam Bộ dùng làm biên, và tháng 04/2009, 03/2014 để kiểm tra mô hình.

Dữ liệu thủy văn lưu lượng năm 2020 tại Tân Châu và Châu Đốc được sử dụng làm biên thượng. Biên hạ gồm các biên mực nước biển sử dụng số liệu thực đo của các trạm thủy văn tại các trạm An Thuận, Bến Trại, Bình Đại, Gành Hào, Nam Căn, Rạch Giá, Sông Đốc, Trần Đề, Vàm Kênh, Vũng Tàu, Xẻo Rô.

Số liệu mặn thực đo theo giờ tại trạm thủy văn Gành Hào và Phước Long trong 3 ngày 19, 20, 21 tháng 3 năm 2014 được sử dụng để kiểm tra mô hình.

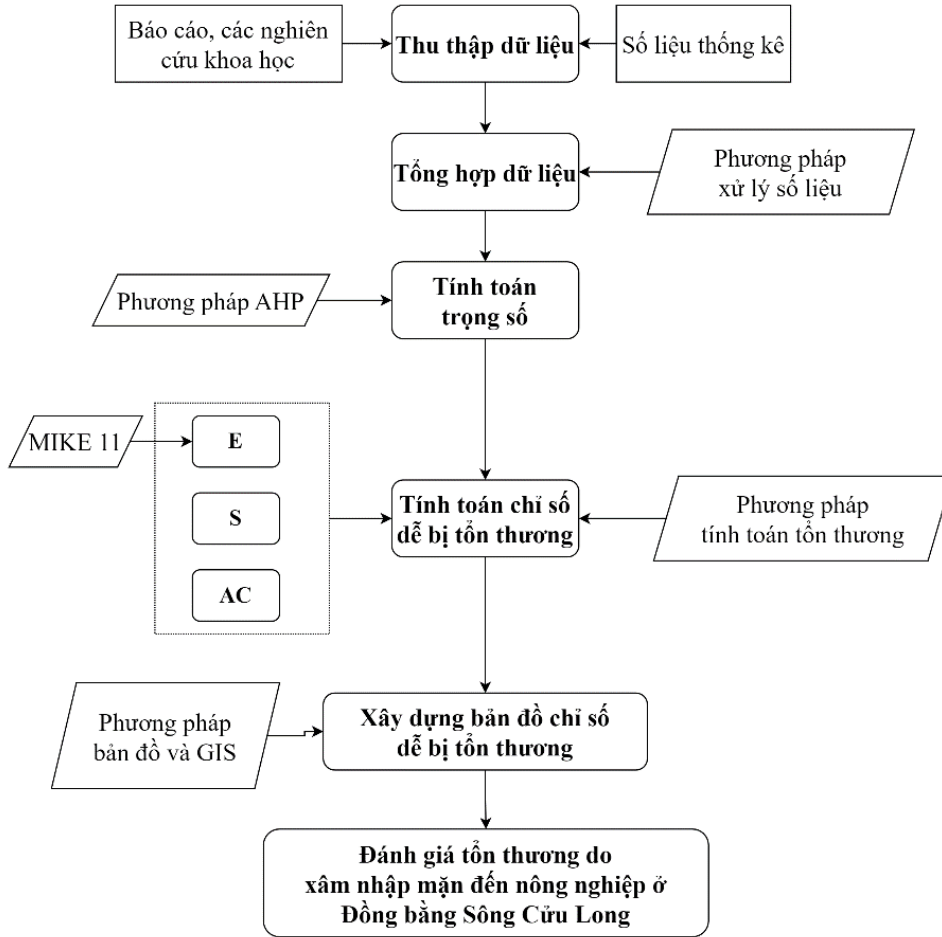
Bảng 1. Bảng dữ liệu.

Nhóm chỉ tiêu	Chỉ tiêu	Ký hiệu	Nguồn thu thập
Dân số (S _{ds})	Diện tích (Km ²)	S.ds.1	Niên giám thống kê 2020
	Dân số nông thôn trung bình phân theo địa phương (Nghìn người)	S.ds.2	Niên giám thống kê 2020
	Lực lượng lao động từ 15 tuổi trở lên phân theo địa phương (Nghìn người)	S.ds.3	Niên giám thống kê 2020
	Tỷ lệ lao động từ 15 tuổi trở lên đã qua đào tạo (%)	S.ds.4	Niên giám thống kê 2020
	Tỷ lệ hộ nghèo phân theo địa phương (%)	S.ds.5	Niên giám thống kê 2020
Điều kiện tự nhiên (S _{dk})	Đất nông nghiệp (Ha)	S.dk.1	Niên giám thống kê 2020
	Đất lâm nghiệp (ha)	S.dk.2	Niên giám thống kê 2020
Điều kiện Kinh tế (S _{kt})	Diện tích lúa cả năm phân theo địa phương (km ²)	S.kt.1	Niên giám thống kê 2020
	Năng suất lúa cả năm phân theo địa phương (Ha)	S.kt.2	Niên giám thống kê 2020
	Sản lượng lúa cả năm phân theo địa phương (Triệu/tấn)	S.kt.3	Niên giám thống kê 2020
	Sản lượng thủy sản phân theo địa phương (Nghìn tấn)	S.kt.4	Niên giám thống kê 2020
	Sản lượng thủy sản khai thác phân theo địa phương (Nghìn tấn)	S.kt.5	Niên giám thống kê 2020
	Sản lượng thủy sản nuôi trồng phân theo địa phương (Nghìn tấn)	S.kt.6	Niên giám thống kê 2020
Cộng đồng dân cư (A _{cd})	Thu nhập bình quân đầu người một tháng năm 2020 theo giá hiện hành phân theo nguồn thu và theo địa phương (Nghìn đồng)	A.cd.1	Niên giám thống kê 2020
	Số dân bị ảnh hưởng bởi xâm nhập mặn (%)	A.cd.2	Báo cáo kinh tế xã hội các tỉnh năm 2020
Chính quyền địa phương (A _{cq})	Số trạm quan trắc mặn	A.cq.1	Kế thừa từ dự án: “Lập quy trình vận hành công ĐBSCL” do Viện Khoa học Thủy lợi miền nam chủ trì năm 2020
	Cổng	A.cq.2	Kế thừa từ dự án: “Lập quy trình vận hành công ĐBSCL” do Viện Khoa học Thủy lợi miền nam chủ trì năm 2017

Ngoài ra, mô hình còn sử dụng các dữ liệu mặt cắt sông thu thập trên toàn khu vực nghiên cứu và các dữ liệu về công trình thủy văn như hệ thống điều tiết, các cửa cống, các đập tràn...

2.3. Phương pháp nghiên cứu

Để đánh giá TDBTT do XNM đối với nông nghiệp ở các tỉnh ĐBSCL, nghiên cứu đã áp dụng phương pháp tính trọng số để tối ưu hóa tính toán đa biến và các đặc điểm định tính. Quá trình tính TDBTT do XNM đối với nông nghiệp ở các tỉnh ĐBSCL được thực hiện như khung sau (Hình 2).



Hình 2. Khung định hướng nghiên cứu.

2.3.1. Phương pháp chỉ số

TDBTT do XNM (V) được tính toán theo công thức (1):

$$V = \frac{E + S + (100 - AC)}{3} \tag{1}$$

Trong đó công thức tính thành phần E, S và AC được trình bày như Bảng 2 và kết quả tính toán sẽ được phân cấp thành 04 mức độ khác nhau:



Bảng 2. Công thức tính toán các chỉ số thành phần của chỉ số TDBTT do XNM [36-38].

Thành phần E	Thành phần S	Thành phần AC
$E = \sum_{i=1}^n E_i \times W_{E_i}$	$S = \sum_{i=1}^n S_i \times W_{S_i}$	$AC = \sum_{i=1}^n AC_i \times W_{AC_i}$
- E: CS khả năng phơi nhiễm với XNM	- S: CS mức DN cảm với XNM	- AC: CS năng lực thích ứng với XNM
- E _i biến số thứ i đã chuẩn hóa	- S _i biến số thứ i đã chuẩn hóa	- AC _i biến số thứ i đã chuẩn hóa
- W _{E_i} trọng số ưu tiên của các	- W _{S_i} trọng số ưu tiên của các	

Thành phần E	Thành phần S	Thành phần AC
biến phụ thứ i	biến phụ thứ i	-
- n số lượng chỉ thị thành phần	- n số lượng chỉ thị thành phần	- W_{AC_i} trọng số ưu tiên của các biến phụ thứ i
		- n số lượng chỉ thị thành phần

2.3.2. Chuẩn hóa các giá trị

Có hai loại hàm thường được sử dụng để chuẩn hóa giá trị [39]: Nếu các chỉ số tương quan thuận với RR, chuẩn hóa được thực hiện với công thức (2). Ngược lại, nếu có mối quan hệ nghịch, thì quá trình chuẩn hóa được thực hiện bằng cách sử dụng công thức (3):

$$\text{Chỉ số} = \frac{\text{Giá trị } i - \text{giá trị thấp nhất}}{\text{Giá trị cao nhất} - \text{Giá trị thấp nhất}} \times 100 \tag{2}$$

$$\text{Chỉ số} = \frac{\text{Giá trị cao nhất} - \text{Giá trị } i}{\text{Giá trị cao nhất} - \text{Giá trị thấp nhất}} \times 100 \tag{3}$$

2.3.3. Phương pháp so sánh thứ bậc AHP

Tiếp theo, nhóm nghiên cứu đã áp dụng phương pháp phân tích thứ bậc (AHP) [40] để tìm các trọng số cho các tiêu chí với bốn bước sau:

Bước 1. Phân rã vấn đề ra thành các phần nhỏ hơn, sau đó, xây dựng hệ thống phân cấp AHP

Bước 2. Thiết lập ma trận để so sánh các chỉ tiêu

Bước 3. Tính trọng số cho các chỉ tiêu

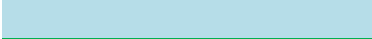




Bước 4. Kiểm tra tính thống nhất và tổng hợp kết quả

Kết quả khảo sát sẽ được tổng hợp bằng phương pháp trung bình nhân.

2.3.4. Phương pháp GIS thành lập bản đồ

Nghiên cứu đã sử dụng GIS để xây dựng bản đồ đánh giá TDBTT do XNM (V), màu sắc quy định mức độ tổn thương dựa theo [41] được thống nhất như trong Bảng 3.

Bảng 3. Thang mức độ dễ bị tổn thương.

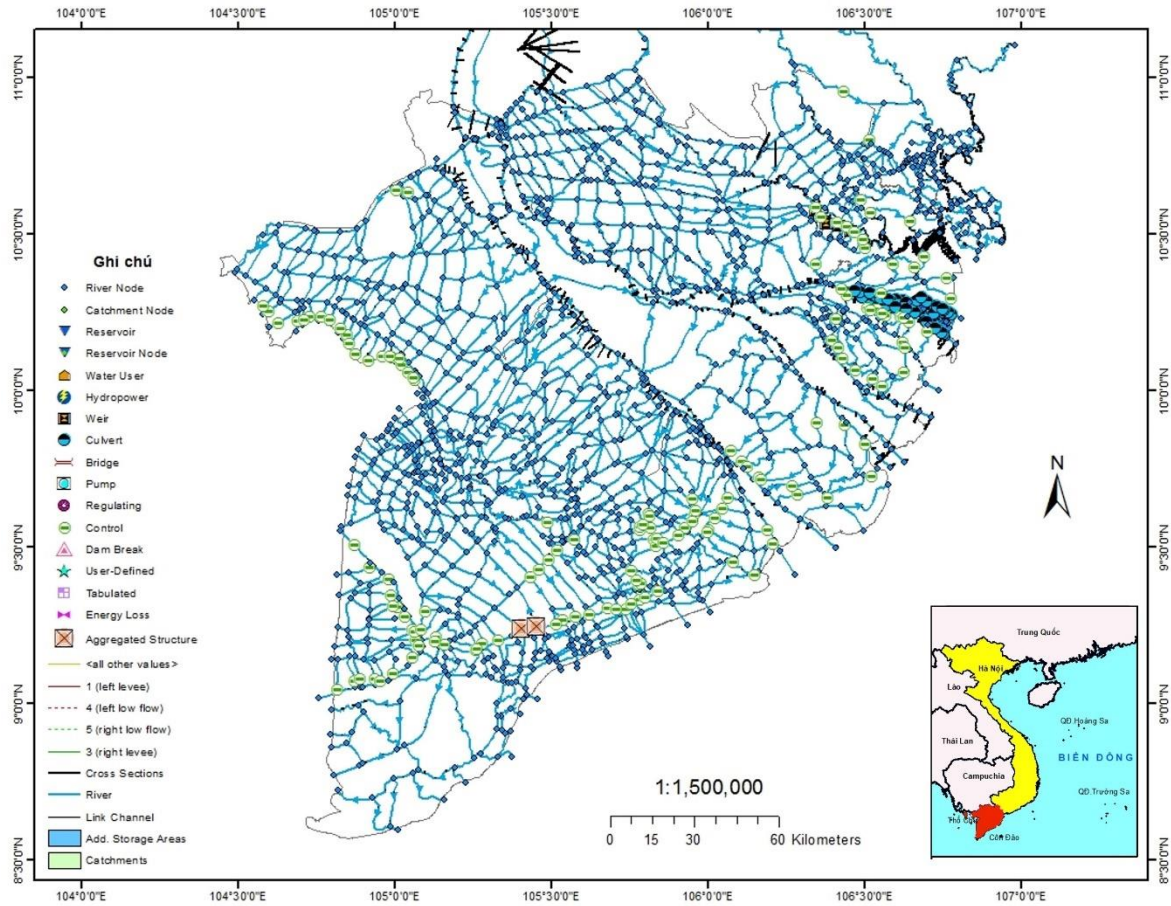
STT	TBDDT	Mức độ tổn thương	Bảng màu
1	$0 < V \leq 0.2$	Tổn thương không đáng kể	
2	$20 < V \leq 40$	Tổn thương vừa phải	
3	$40 < V \leq 60$	Tổn thương tương đối	
4	$60 < V \leq 80$	Tổn thương lớn	
5	$80 < V \leq 100$	Tổn thương rất lớn	

2.3.5. Mô hình Mike 11

Trong nghiên cứu này, sự lan truyền mặn được mô phỏng bằng mô hình Mike 11. Mike 11 là mô hình thủy động lực học 1 chiều, dựa xây dựng trên phương trình một chiều Saint – Venant. Đây là một hệ thống mô hình phổ biến có thể được sử dụng để quản lý tài nguyên nước. Mô hình này được do Viện Thủy lực Đan Mạch (DHI) (<http://www.mikebydhi.com>) phát triển, được thiết kế để mô phỏng dòng chảy trong sông và kênh rạch, bao gồm một số mô-đun sau: mưa-dòng chảy (RR), thủy động lực học (HD), tải - khuếch tán (AD), v.v. [42].

2.3.6. Thiết lập mô hình

Mạng sông trong khu vực nghiên cứu được thể hiện bằng một hệ thống bao gồm 12,681 điểm tính toán liên quan đến lưu lượng và mực nước, 1,116 nhánh sông lớn và nhỏ, 4 đập tràn, 54 cửa cống, và 155 công trình điều tiết thủy lợi được kế thừa từ đề tài [43].



Hình 3. Mạng thủy lực sông.

Điều kiện biên:

Đối với mô hình thủy lực: (1) Biên thượng lưu: lưu lượng giờ năm 2009, 2014 và 2020 tại Tân Châu và Châu Đốc; (2) Biên hạ lưu: mực nước biển theo giờ tại các trạm thủy văn An Thuận, Bến Trại, Bình Đại, Gành Hào, Năm Căn, Rạch Giá, Sông Đốc, Trần Đề, Vàm Kênh, Vũng Tàu và Xẻo Rô.

Đối với mô hình XNM: Biên thượng thiết lập là 0,1 PSU, và biên hạ trong khoảng 28 - 33 PSU.

Điều kiện ban đầu: Mực nước tĩnh với bước thời gian 30s.

2.3.7. Các kịch bản tính toán

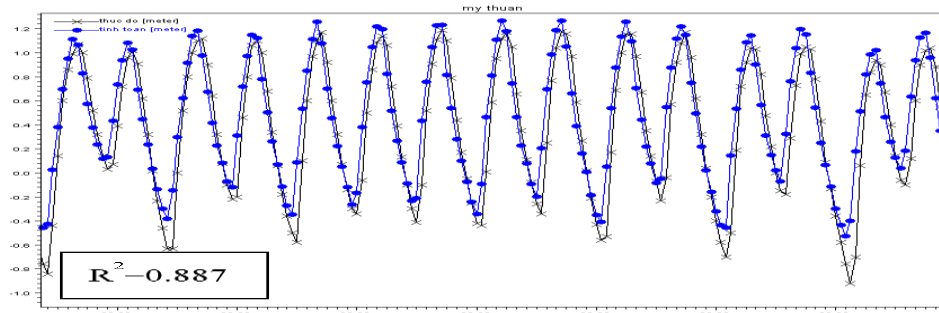
Trong nghiên cứu này, hai kịch bản được tính toán gồm: (1) Kịch bản năm 2020: Kịch bản hiện trạng; (2) Kịch bản năm 2050: Mực NBD 0,28 m, các dữ liệu về ĐN và KNTU giữ nguyên như năm 2020.

3. Kết quả và thảo luận

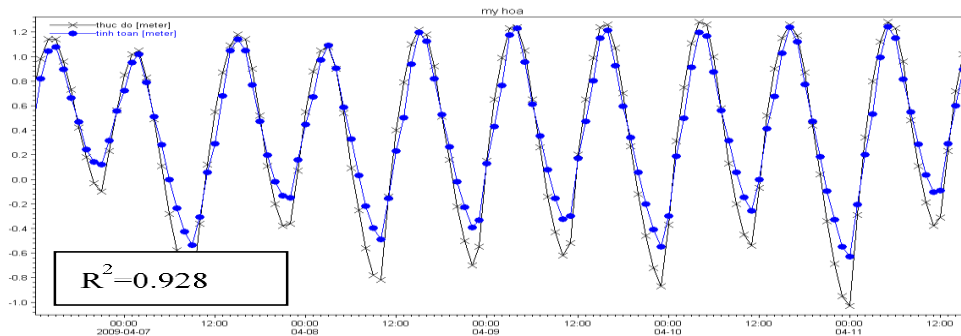
3.1. Hiệu chỉnh và kiểm định mô hình

3.1.2. Hiệu chỉnh và kiểm định mô hình

Hiệu chỉnh mô hình thủy lực: Quá trình hiệu chỉnh vào tháng 04/2009 và quá trình kiểm định được thực hiện vào tháng 03/2014. Kết quả của quá trình hiệu chỉnh mực nước tại hai trạm thủy văn điển hình (Mỹ Thuận và Mỹ Hóa) đã được trình bày trong Hình 4 và Hình 5.



Hình 4. Hiệu chỉnh mực nước tính toán và thực đo tại Mỹ Thuận, tháng 4/2009.



Hình 5. Hiệu chỉnh mực nước tính toán và thực đo tại Mỹ Hoá, tháng 4/2009.

Kết quả tính toán cho hệ số NASH và hệ số tương quan mực nước (R^2) tại trạm Mỹ Thuận (NASH = 0,82; R^2 = 0,88) và Mỹ Hóa (NASH = 0,84; R^2 = 0,92) cho thấy rằng kết quả của mô hình khá tốt khi mực nước biến đổi từ mức thấp lên cao và ngược lại. Tuy nhiên, độ chính xác giảm xuống ở các điểm đỉnh và chân của sóng nước.

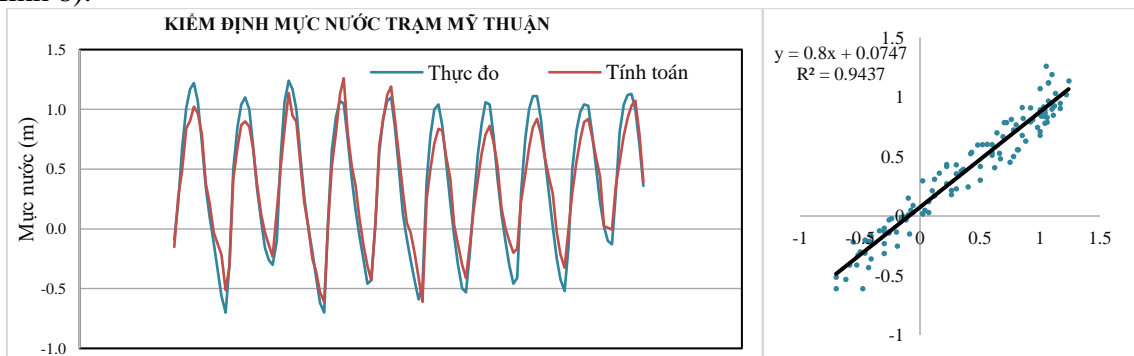
Trong quá trình thiết lập và hiệu chỉnh mô hình thủy lực, đã thực hiện tối ưu hóa bộ thông số thủy lực như sau:

+ Hệ số nhám Manning đã được điều chỉnh để phù hợp với khu vực nghiên cứu và nằm trong khoảng từ 30 đến 45 $m^{1/3}/s$.

+ Điều kiện ban đầu của mực nước: Mực nước ban đầu đã được đặt ở mức 0,5 mét.

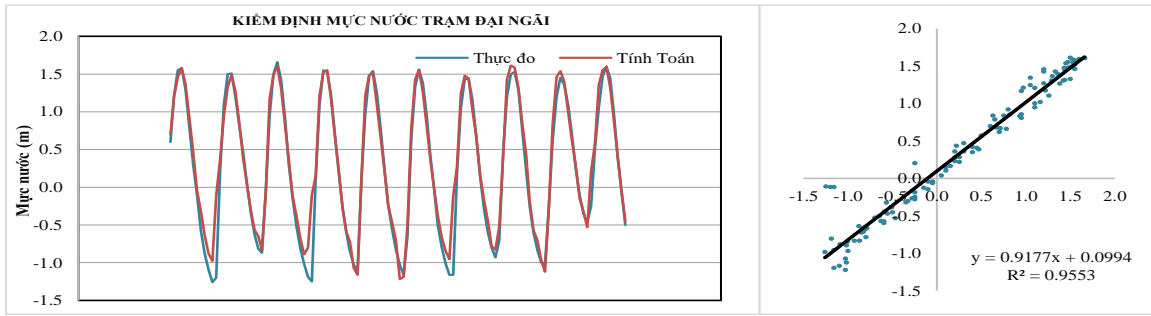
+ Điều kiện lưu lượng ban đầu: Lưu lượng ban đầu đã được thiết lập ở mức 10 m^3/s .

Kiểm định mô hình thủy lực: Kết quả kiểm định mực nước đã được thực hiện vào tháng 3/2014 tại các trạm điển hình, bao gồm Mỹ Thuận, Đại Ngãi và Cần Thơ (Hình 6 - Hình 8).

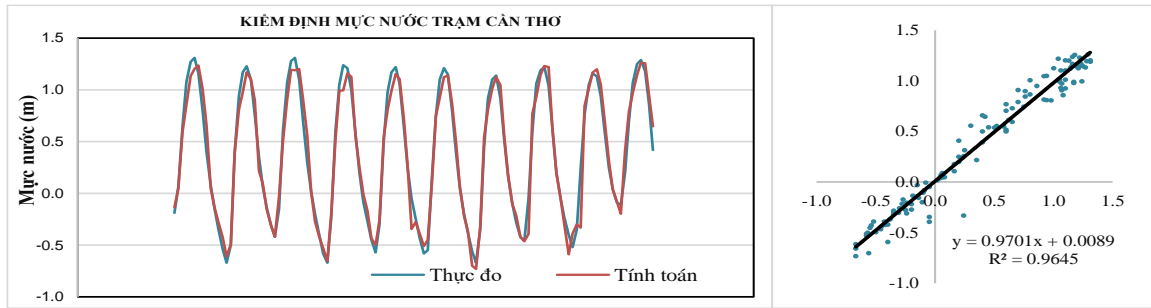


Hình 6. Kết quả kiểm định mực nước và tương quan trạm Mỹ Thuận T3/2014.

Kết quả hiệu chỉnh thủy lực tại các trạm đo đã đạt được kết quả rất tốt. Tại trạm Mỹ Thuận, hệ số tương quan R^2 đạt 0,94 và hệ số NASH là 0,91. Tương tự, tại trạm Đại Ngãi thu được hệ số tương quan R^2 = 0,95, hệ số NASH = 0,91. Cuối cùng, tại trạm Cần Thơ, kết quả cho thấy hệ số tương quan R^2 = 0,96, hệ số NASH là 0,92.

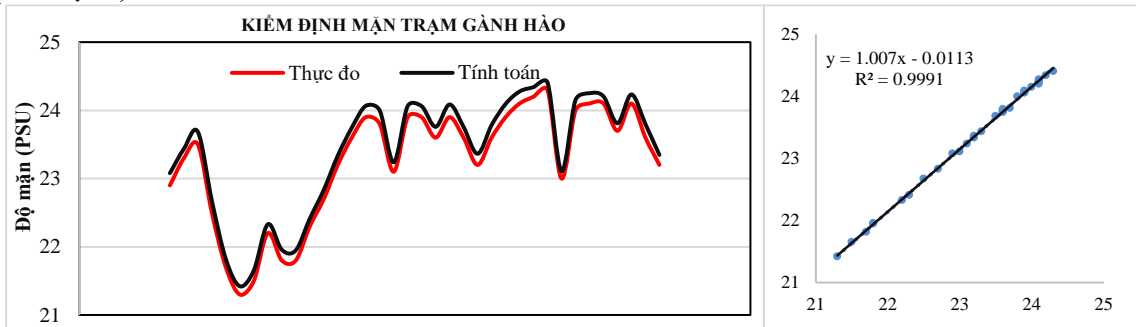


Hình 7. Kết quả kiểm định mực nước và tương quan trạm Đại Ngãi T3/2014.

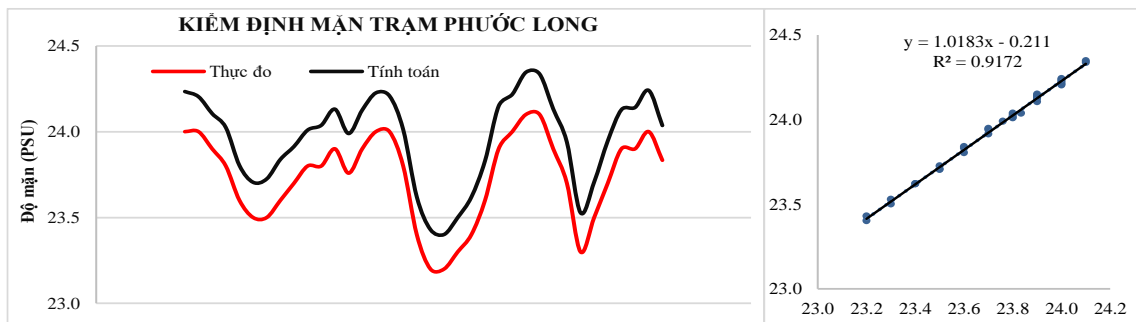


Hình 8. Kết quả kiểm định mực nước và tương quan trạm Cần Thơ T3/2014.

Kết quả kiểm định mô hình thủy lực tại các trạm Mỹ Thuận, Đại Ngãi và Cần Thơ đều cho thấy kết quả rất tốt. Hệ số tương quan R^2 đều vượt trên 0,9, điều này cho thấy rằng mô hình thủy lực được áp dụng phù hợp với dữ liệu thực tế. Do đó, bộ thông số mô hình đã được lựa chọn sẽ được sử dụng để tính toán thủy lực cho các kịch bản khác nhau. Hiệu chỉnh mô hình lan truyền mặn: Kết quả của mô hình XNM đã được so sánh với dữ liệu mặn thực tế tại trạm thủy văn Gành Hào và Phước Long trong 3 ngày (19, 20, 21 tháng 3 năm 2014) với hệ số khuếch tán đã điều chỉnh là 50. Kết quả hiệu chỉnh của mô hình XNM cho thấy sự tương quan tương đối tốt với tình hình thực tế tại tỉnh Bạc Liêu. Trong mùa khô tại trạm Gành Hào, giá trị XNM dao động trong khoảng từ 21 đến 25 PSU. Điều này cho thấy mô hình có một mức độ tương quan mạnh với dữ liệu quan sát thực tế, với hệ số tương quan đạt 0,99.



Hình 9. Kết quả kiểm định mặn và tương quan tại trạm Gành Hào.



Hình 10. Kết quả kiểm định mặn và tương quan tại trạm Phước Long.

Kết quả tính toán XNM đã được kiểm tra và cho thấy phù hợp với tình hình XNM thực tế tại Đồng bằng sông Cửu Long (ĐBSCL). Tại cửa sông Gành Hào ở tỉnh Bạc Liêu, giá trị XNM tính toán trong tháng 3 dao động từ 21 đến 26 PSU. Tại ngã tư Phước Long ở tỉnh Bạc Liêu trên Kênh Quản Lộ - Phụng Hiệp (kênh nội đồng), độ mặn dao động từ 20 đến 25 PSU. Cuối cùng, tại ngã tư Ninh Quới ở tỉnh Bạc Liêu trên kênh Quản Lộ - Phụng Hiệp, trong tháng 3 năm 2014, giá trị XNM tính toán dao động từ 10 đến 16 PSU.

3.2. Lựa chọn các tham số

3.2.1. Thành phần E

Bằng cách tham vấn các chuyên gia, thành phần E được xác định dựa trên ba nhóm yếu tố chính: độ mặn PSU, biến đổi độ mặn, và thời gian nhiễm mặn (Bảng 4).

Bảng 4. Thành phần E.

Nhóm	Chỉ tiêu	Chỉ thị	Kí hiệu	Tương quan
Thành phần E	Độ mặn	Độ mặn PSU (g/l)	E1	Hàm quan hệ thuận
		Dao động mặn (%)	E2	Hàm quan hệ thuận
		Thời gian mặn/ ngày (giờ)	E3	Hàm quan hệ thuận

3.2.2. Thành phần S

Các số liệu về thành phần S được chia thành ba nhóm chính: dân số, xã hội và điều kiện tự nhiên. Ba chỉ tiêu với 13 chỉ thị cơ bản này đánh giá các yếu tố quan trọng liên quan đến nông nghiệp, đặc biệt là những yếu tố ảnh hưởng đến XNM. Bảng 5 hiển thị các chỉ số nhạy cảm với XNM trong vùng ĐBSCL.

Bảng 5. Bộ chỉ số nhạy cảm (S).

Nhóm	Chỉ tiêu	Kí hiệu	Tương quan
Thành phần S	S _{ds}	S.xh.1	Hàm quan hệ thuận
		S.xh.2	Hàm quan hệ thuận
		S.xh.3	Hàm quan hệ thuận
		S.xh.4	Hàm quan hệ thuận
		S.xh.5	Hàm quan hệ thuận
	S _{dk}	S.dk.1	Hàm quan hệ thuận
		S.dk.2	Hàm quan hệ thuận
	S _{kt}	S.kt.1	Hàm quan hệ thuận
		S.kt.2	Hàm quan hệ thuận
		S.kt.3	Hàm quan hệ thuận
		S.kt.4	Hàm quan hệ thuận
		S.kt.5	Hàm quan hệ thuận
		S.kt.6	Hàm quan hệ thuận

3.2.3. Thành phần AC

Các số liệu về thành phần AC của cộng đồng dân cư đo lường khả năng của người dân trong việc thích ứng sau khi gặp ảnh hưởng từ XNM. Các yếu tố liên quan đến chỉ thị này được thể hiện trong các tiêu chí như: Công, số trạm quan trắc, thu nhập bình quân đầu người một tháng năm 2020 và số dân ảnh hưởng bởi XNM (Bảng 6).

Bảng 6. Bộ chỉ thị đánh giá khả năng thích ứng (AC).

Nhóm	Chỉ tiêu	Kí hiệu	Tương quan
Thành phần AC	AC _{cq}	AC.cq.1	Hàm quan hệ thuận
		AC.cq.2	Hàm quan hệ thuận
	AC _{cd}	AC.cd.1	Hàm quan hệ thuận
		AC.cd.2	Hàm quan hệ thuận

3.3. Tính toán các trọng số

Trọng số cho từng thành phần được xác định dựa trên đánh giá của các chuyên gia dựa trên đánh giá mức độ quan trọng của mỗi cặp chỉ tiêu (hoặc biến) trong việc xác định trọng số của chúng. Điểm số từ các đánh giá này được tổng hợp thành một ma trận, và sau đó ma trận này được chuẩn hóa bằng AHP. Các trọng số sau khi chuẩn hóa được trình bày trong Bảng 7.

Bảng 7. Bảng trọng số của các yếu tố thành phần.

Thành phần	Trọng số chỉ tiêu	Thành phần	Trọng số thành phần	Biến	Trọng số biến
Thành phần E	0,1	E	1	E ₁	0,441
				E ₂	0,289
				E ₃	0,269
				S.xh.1	0,264
				S.xh.2	0,247
				S.xh.3	0,141
Thành phần S	0,1	S	1	S.xh.4	0,126
				S.xh.5	0,221
				S.kt.1	0,25
				S.kt.2	0,14
				S.kt.3	0,09
				S.kt.4	0,16
				S.kt.5	0,09
				S.kt.6	0,07
Thành phần AC	0,1	AC	1	S.kt.7	0,12
				S.kt.8	0,09
				AC.cq.1	0,64
				AC.cq.2	0,36
				AC.cd.1	0,71
				AC.cd.2	0,29

3.4. Tính toán TDBTT

3.4.1. Kết quả tính toán các chỉ số thành phần

Các giá trị của biến được tính toán dựa trên dữ liệu thu thập, sau đó chúng được xử lý, tính toán và chuẩn hóa trước khi tính toán trọng số. Sau quá trình chuẩn hóa dữ của ba nhóm thành phần, nghiên cứu đã áp dụng công thức tính TDBTT dựa trên tiêu chí riêng cho từng tỉnh. Kết quả tính toán được thể hiện trong Bảng 8:

Bảng 8. Kết quả tính toán các chỉ số thành phần và TDBTT năm 2020 và 2050.

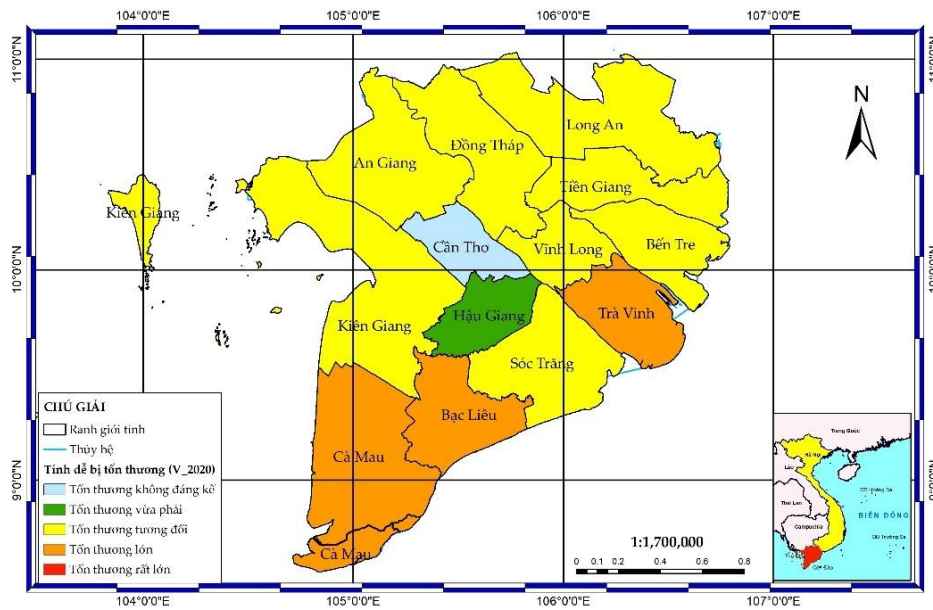
STT	Tỉnh/TP	Năm 2020				Năm 2050			
		E	S	AC	V	E	S	AC	V
1	Long An	53,43	51,99	38,89	55,51	55,78	51,99	38,89	56,29
2	Tiền Giang	90,68	42,80	61,69	57,26	96,01	42,80	61,69	59,04
3	Bến Tre	82,53	35,40	50,72	55,77	87,45	35,40	50,72	57,38
4	Trà Vinh	93,17	34,31	43,40	55,74	95,59	34,31	43,40	62,16
5	Vĩnh Long	41,41	28,71	41,26	61,36	41,55	28,71	41,26	43,0
6	Đồng Tháp	34,37	54,23	43,18	42,95	34,67	54,23	43,18	48,57
7	An Giang	0,65	55,58	8,31	49,31	0,65	55,58	8,31	49,31
8	Kiên Giang	43,62	75,44	42,33	59,30	44,78	75,44	42,33	58,91
9	Cần Thơ	0,27	20,76	70,66	16,72	0,06	20,76	70,66	16,79
10	Hậu Giang	24,87	23,59	44,79	34,64	25,13	23,59	44,79	34,55

STT	Tỉnh/TP	Năm 2020				Năm 2050			
		E	S	AC	V	E	S	AC	V
11	Sóc Trăng	83,59	40,55	44,92	58,75	85,62	40,55	44,92	58,07
12	Bạc Liêu	83,75	31,97	32,55	61,88	85,63	31,97	32,55	61,09
13	Cà Mau	99,43	50,75	24,28	75,30	99,43	50,75	24,28	75,30

3.4.2. Kết quả tính toán TDBTT

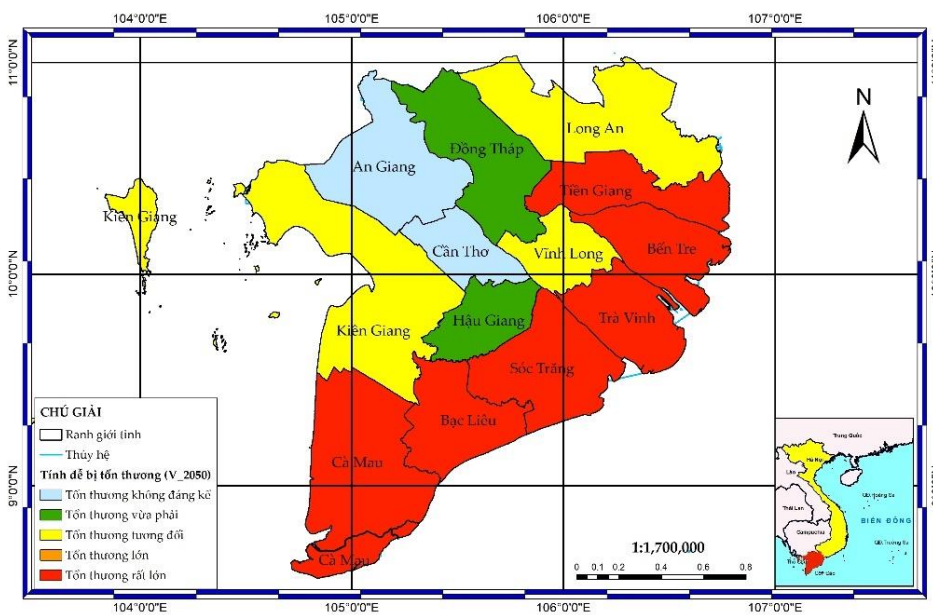
Dựa trên các chỉ số tương ứng cho các thành phần E, S, AC, nghiên cứu tiến hành xác định trọng số cho các chỉ số thành phần, sau đó, áp dụng các công thức để tính toán chỉ số TDBTT do XNM trong lĩnh vực nông nghiệp. Kết quả của chỉ số V được trình bày trong cột cuối cùng của Bảng 8 và thể hiện như Hình 11 - Hình 12.

BẢN ĐỒ TÍNH ĐỀ BỊ TỔN THƯƠNG NĂM 2020



Hình 11. Bản đồ TDBTT do XNM đến nông nghiệp ở ĐBSCL 2020.

BẢN ĐỒ TÍNH ĐỀ BỊ TỔN THƯƠNG NĂM 2050



Hình 12. Bản đồ TDBTT do XNM đến nông nghiệp ở ĐBSCL 2050.

Dựa vào kết quả đã tính toán có thể thấy:

Trong năm 2020, tỉnh Cà Mau thành phần E được tính toán là cao nhất, 99,43. Kết quả tính toán chỉ số V đối với nông nghiệp cũng là cao nhất trong ĐBSCL (75,30). Trong khi đó, về thành phần AC, An Giang là tỉnh được tính toán thấp nhất (8,31) và cao nhất là Cần Thơ 70,66. Điều này cho thấy năng lực thích của chính quyền địa phương và cộng đồng đối với XNM tại Cần Thơ là cao nhất trong ĐBSCL. So với nghiên cứu [44] đánh giá về năng lực thích ứng ở các tỉnh ĐBSCL, kết quả cũng cho thấy sự tương đồng khi ghi nhận năng lực thích ứng của Cần Thơ là cao nhất với sự đầu tư lớn của chính quyền trước ảnh hưởng của BĐKH.

Về thành phần S, tỉnh Kiên Giang có chỉ số S cao nhất (69,49), trong khi tỉnh Bến Tre có chỉ số S là thấp nhất (15,85).

Trong kịch bản năm 2050, độ mặn tăng nhẹ ở một số tỉnh. Ở Trà Vinh, Sóc Trăng và Cà Mau, độ mặn tính toán lớn nhất cho thấy mặn lên 30 PSU. Ba tỉnh này có độ mặn cao nhất trong khu vực, đó là lý do tổn thương ở Trà Vinh năm 2020 chỉ 55,74 nhưng tới năm 2050 lại tăng lên 62,16. Xét về ảnh hưởng của XNM đến năng suất lúa gạo, nghiên cứu [45] đã tính toán dựa trên các biến liên quan đến năng suất lúa gạo, Trà Vinh được ước tính là tỉnh có mức độ tổn thương cao nhất với những thay đổi của điều kiện khí hậu và các hiện tượng cực đoan.

Trong khi đó, sự xếp hạng của các tỉnh có sự thay đổi do sự tăng độ mặn khác nhau nên thành phần E cũng thay đổi. Chỉ số V ở Vĩnh Long và Kiên Giang ghi nhận dấu hiệu giảm, còn tương ứng 43 và 58,92, so với năm 2020 là 61,36 và 59,3. Các tỉnh Bạc Liêu và Hậu Giang cũng ghi nhận chỉ số V giảm nhưng không đáng kể.

4. Kết luận

Kết quả tính toán của nghiên cứu xây dựng bộ chỉ số TDBTT do XNM đến nông nghiệp ĐBSCL cho thấy chỉ số V phân bố ở các mức thấp, trung bình và cao.

Về thành phần E: Các tỉnh Cà Mau, Bạc Liêu, Sóc Trăng, Tiền Giang, Bến Tre và Trà Vinh được tính toán là cao nhất. Long An nằm ở mức trung bình cao, trong khi Kiên Giang, Vĩnh Long, Đồng Tháp, An Giang và Hậu Giang nằm ở mức trung bình thấp, và Cần Thơ, Hậu Giang ở mức thấp nhất.

Về thành phần S: Kiên Giang, Tiền Giang, và Vĩnh Long là các tỉnh có mức độ nhạy cảm ở mức trung bình thấp, trong khi Long An, Đồng Tháp, An Giang, Cà Mau ở mức trung bình cao. Cần Thơ và Hậu Giang có mức nhạy cảm thấp nhất.

Về thành phần AC: Cần Thơ, Tiền Giang và Bến Tre là ba tỉnh có khả năng thích ứng cao nhất. Tuy nhiên, tỉnh An Giang có khả năng thích ứng thấp nhất, và các tỉnh còn lại ở mức trung bình thấp.

Xét về chỉ số V trong năm 2020 và trong kịch bản năm 2050, kết quả cho thấy rằng chỉ số V có sự thay đổi giữa các tỉnh. Sự xếp hạng của các tỉnh có sự thay đổi do sự tăng độ mặn khác nhau nên thành phần E cũng thay đổi. Tỉnh Trà Vinh có chỉ số V tăng đến 62,16 năm 2050, trong khi năm 2020 chỉ ghi nhận được 55,74. Chỉ số V ở Vĩnh Long và Kiên Giang ghi nhận dấu hiệu giảm, còn tương ứng 43 và 58,92, so với năm 2020 là 61,36 và 59,3.

Nghiên cứu này chỉ mới đánh giá TDBTT dưới sự thay đổi của thành phần E, các chỉ số khác vẫn giữ nguyên như năm 2020, đây là hạn chế của nghiên cứu này.

Đóng góp của tác giả: Xây dựng ý tưởng nghiên cứu: T.T.K., P.T.M.D., L.T.K.T.; Lựa chọn phương pháp nghiên cứu: T.T.K., P.T.M.D., L.T.K.T.; Xử lý số liệu: H.P.P.Q.; Tính toán chỉ số để bị tổn thương: T.T.K., H.P.P.Q.; Phân tích kết quả: T.T.K., P.T.M.D., H.P.P.Q.; Chỉnh sửa bài báo: P.T.M.D., T.T.K.

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. ISDR, U. Disaster occurrence: Number of natural disasters registered in EMDAT. 2007.
2. Moret, W. Vulnerability assessment methodologies: A review of the literature. Washington, DC: FHI, 2014, pp. 360.
3. UNDRR. <https://www.undrr.org/terminology#H>. 2017.
4. Flax, L.K.; Jackson, R.W.; Stein, D.N. Community vulnerability assessment tool methodology. *Nat. Hazard. Rev.* **2002**, 3(4), 163–176.
5. Nasiri, H.; Mohd Yusof, M.J.; Mohammad Ali, T.A. An overview to flood vulnerability assessment methods. *Sustainable Water Resour. Manage.* **2016**, 2, 331–336.
6. Van, C.T.; Tuan, N.C.; Son, N.T.; Tri, D.Q.; Anh, L.N.; Tran, D.D. Flood vulnerability assessment and mapping: A case of Ben Hai-Thach Han River basin in Vietnam. *Int. J. Disaster Risk Reduct.* **2022**, 75, 102969.
7. Renaud, F.G. Resilience and shifts in agro-ecosystems facing increasing sea-level rise and salinity intrusion in Ben Tre Province, Mekong Delta. *Clim. Change* **2015**, 133, 69–84.
8. Fekete, A.; Damm, M.; Birkmann, J. Scales as a challenge for vulnerability assessment. *Nat. Hazards* **2010**, 55, 729–747.
9. Foden, W.B. et al. Climate change vulnerability assessment of species. *Wiley Interdiscip. Rev. Clim. Change* **2019**, 10(1), e551.
10. Plummer, R.; de Loë, R.; Armitage, D. A systematic review of water vulnerability assessment tools. *Water Resour. Manage.* **2012**, 26, 4327–4346.
11. Văn, C.T.; Son, N.T.; Anh, T.N.; Tuấn, N.C. Xây dựng chỉ số dễ bị tổn thương lũ lụt sử dụng phương pháp phân tích hệ thống phân cấp (AHP) - thử nghiệm cho vài đơn vị cấp xã tỉnh Quảng Nam thuộc vùng hạ lưu sông Thu Bồn. *Tap chí Khí tượng Thủy văn* **2014**, 643, 10–18.
12. Trường, N.H. Áp dụng phương pháp phân tích thứ bậc (AHP) trong lựa chọn phương án thiết kế các dự án thủy lợi. *Tap chí Khoa học và Công nghệ Thủy lợi* **2020**, 61, 57–65.
13. Thi, N.T.P.; Pham, K.Q.; Nguyen, A.H. Using GIS-based and AHP-GALDIT method for salt intrusion vulnerability mapping in the coastal Pleistocene aquifer, Ba Ria–Vung Tau province. *VNUHCM J. Earth Sci. Environ.* **2021**, 5(S3), 93–102.
14. Sener, E.; Davraz, A. Assessment of groundwater vulnerability based on a modified DRASTIC model, GIS and an analytic hierarchy process(AHP) method: the case of Egirdir Lake basin(Isparta, Turkey). *Hydrogeol. J.* **2013**, 21(3), 701–714.
15. Ouma, Y.O.; Tateishi, R. Urban flood vulnerability and risk mapping using integrated multi-parametric AHP and GIS: methodological overview and case study assessment. *Water* **2014**, 6(6), 1515–1545.
16. Nga, N.T.T.; Thắng, N.T.X. Áp dụng phương pháp tính toán trọng số AHP để xác định chỉ số dễ bị tổn thương dưới tác động của biến đổi khí hậu tại Côn Đảo. *Tap chí Khoa học Thủy lợi và Môi trường* **2019**, 64, 25–35.
17. Long, P.T.; Nam, B.C.; Tín, N.V. Ứng dụng phương pháp AHP đánh giá mức độ tổn thương do thiên tai tại các xã thuộc thành phố Quy Nhơn, Bình Định. *Tap chí Khí tượng Thủy văn* **2015**, 660, 26–31.
18. Le Cozannet, G. et al. An AHP-derived method for mapping the physical vulnerability of coastal areas at regional scales. *Nat. Hazards Earth Sys. Sci.* **2013**, 13(5), 1209–1227.
19. Hou, K. et al. Evaluating Ecological Vulnerability Using the GIS and Analytic Hierarchy Process (AHP) Method in Yan'an, China. *Polish J. Environ. Stud.* **2016**, 25(2), 599–605.

20. Hoàng, L.T.T. Đánh giá mức độ tổn thương của ngành nông nghiệp tỉnh Nghệ An do tác động của biến đổi khí hậu có tính đến trọng số của các chỉ thị. *VNU J. Sci.: Earth Environ. Sci.* **2019**, 35(4), 57–67.
21. Hoàng, H.M.; Luân, P.Đ.M.H.; Bình, N.T.; Trinh, T.T.M.; Hương, T.K.; Trí, V.P.Đ.; Sỹ, L.T. Đánh giá tính tổn thương về sinh kế của nông hộ vùng giáp biên giới tỉnh an giang trước sự thay đổi lũ ở Đồng Bằng Sông Cửu Long. *Tap chí Khoa học và công nghệ nông nghiệp Trường Đại học Nông Lâm Huế* **2020**, 4(2), 1970–1980.
22. Hiều, T.X.; et al. (). Đánh giá tình trạng dễ bị tổn thương do ngập lụt khu vực thị xã Thái Hòa. *Tap chí Khoa học Công nghệ Xây dựng -ĐHXDHN* **2022**, 16(4V), 174–185.
23. Đỗ, M.N.; Đặng, T.T.; Đỗ, M.Đ. Ứng dụng GIS và phương pháp phân tích thứ bậc (AHP) thành lập bản đồ nguy cơ trượt lở huyện Xín Mần, tỉnh Hà Giang, Việt Nam. *VNU J. Sci.: Earth Environ. Sci.* **2016**, 32(2S), 206–216.
24. Solomon, S. IPCC (2007): Climate change the physical science basis. in Agu fall meeting abstracts. 2007.
25. Tổng cục thống kê. Niên giám thống kê năm 2021. 2021.
26. Dat, T.Q. et al. Modeling the influence of river discharge and sea level rise on salinity intrusion in Mekong Delta. Proceeding of the First Environment Asia International Conference on “Environmental Supporting in Food and Energy Security: Crisis and Opportunity. 2011.
27. Toan, T.Q. Climate change and sea level rise in the Mekong Delta: flood, tidal inundation, salinity intrusion, and irrigation adaptation methods. *Coastal disasters Clim. Change Vietnam* **2014**, 199–218.
28. Định, L.X.; Quân, N.M.; Tiên, P.A. Xâm nhập mặn tại Đồng bằng Sông Cửu long: Nguyên nhân, Tác động và Các giải pháp ứng phó. Bộ Khoa học Công nghệ, Cục Thông tin Khoa học và Công nghệ Quốc gia, 2016.
29. Tran Anh, D. et al. Simulating future flows and salinity intrusion using combined one-and two-dimensional hydrodynamic modelling—the case of Hau River, Vietnamese Mekong delta. *Water* **2018**, 10(7), 897.
30. Trang, H.; Ha, N.T.T.; Khoi, D.N. Simulating impacts of sea level rise on salinity intrusion in the Mekong Delta, Vietnam in the period 2015-2100 using MIKE 11. *Naresuan Univ. Eng. J.* **2016**, 11(1), 21–24.
31. Hai, T.X. et al. (). Assessing and forecasting saline intrusion in the Vietnamese Mekong Delta Under the impact of upstream flow and sea level rise. *J. Environ. Sci. Eng. B* **2019**, 8, 174.
32. Ho, B.Q. et al. Apply MIKE 11 model to study impacts of climate change on water resources and develop adaptation plan in the Mekong Delta, Vietnam: A case of Can Tho city. *Environ. Monit. Assess.* **2022**, 194, 765.
33. Duong, T.; Bui, M.; Rutschmann, P. Impact of climate change on salinity intrusion in the Mekong Delta. Proceeding of the 14th International Conference on Environmental Science and Technology (CEST2015), Rhodes, Greece, 2015.
34. Nguyen, N.A. Historic drought and salinity intrusion in the Mekong Delta in 2016: Lessons learned and response solutions. *VN J. Sci. Techno. Eng.* **2017**, 59(1), 93–96.
35. Leinenkugel, P. et al. Characterisation of land surface phenology and land cover based on moderate resolution satellite data in cloud prone areas—A novel product for the Mekong Basin. *Remote Sens. Environ.* **2013**, 136, 180–198.
36. WWF Việt Nam. Báo cáo đánh giá tính dễ tổn thương trước biến đổi khí hậu của các hệ sinh thái tại Việt Nam, 2013.

37. IPCC WGII. Climate Change 2007: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, . Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 2007, pp. 869–883.
38. World Bank. Climate Risks and Adaptation in Asian Coastal Mega cities. A Synthesis Report, 2010.
39. Connor, R.; Hiroki, K. Development of a method for assessing flood vulnerability. *Water Sci. Technol.* **2005**, *51(5)*, 61–67.
40. Saaty, R. The analytic hierarchy process—what it is and how it is used. *Math. Modell.* **1987**, *9(3-5)*, 161–176.
41. Balica, S.F.; Wright, N.G.; Van der Meulen, F. A flood vulnerability index for coastal cities and its use in assessing climate change impacts. *Nat. Hazards* **2012**, *64*, 73–105.
42. Trục tuyến: <https://www.mikepoweredbydhi.com/>.
43. Bầy, N.T. Nghiên cứu hiện tượng bồi lắng, sạt lở bờ sông, xác định nguyên nhân, đề xuất các giải pháp phòng chống, khắc phục ở tỉnh Vĩnh Long. 2014 - 2015.
44. Birkmann, J. et al. Vulnerability, coping and adaptation to water related hazards in the Vietnamese Mekong Delta. The Mekong Delta System: Interdisciplinary Analyses of a River Delta: 2012, pp. 245–289.
45. Thuy, N.N.; Anh, H.H. Vulnerability of rice production in Mekong River Delta under impacts from floods, salinity and climate change. *Int. J. Adv. Sci. Eng. Inf. Technol.* **2015**, *5(4)*, 272–279.

Determining the Vulnerability of Agriculture to Salinity Intrusion in the Mekong Delta Provinces

Tran Thi Kim¹, Phung Thi My Diem¹, Ngo Nam Thinh¹, Hoang Phan Phuong Quynh¹, Le Thi Kim Thoa^{1*}

¹ Ho Chi Minh University of Natural Resources and Environment;
 ttkim@hcmunre.edu.vn; diemptm@hcmunre.edu.vn; nnthinh@hcmunre.edu.vn;
 thoa.ltk@hcmunre.edu.vn

Abstract: The Mekong Delta is the primary agricultural production area in Vietnam, characterized by its coastal river-mouth region with complex hydrological regimes, influenced simultaneously by the upstream flow of the Mekong River and the East and West sea tides. This study focuses on assessing the vulnerability of saline intrusion to agriculture in the Mekong Delta in the context of climate change using the Analytic Hierarchy Process (AHP) and modeling. The components of adaptability, exposure, and sensitivity of the agricultural sector are calculated, allowing the determination of the level for each province in the Mekong Delta in 2020 and projected until 2050. The research results show that the vulnerability indexes vary among the provinces in the Mekong Delta but do not increase significantly in the 2050 scenario. Ca Mau province continues to have the highest index due to saline intrusion. The research findings provide a scientific basis for local agricultural planning and socio-economic development.

Keywords: The Mekong Delta; Saltwater Intrusion; Vulnerability; Adaptability; Exposure; Sensitivity.

Bài báo khoa học

Đánh giá khả năng đáp ứng nhu cầu nước ở lưu vực sông Ba trong bối cảnh biến đổi khí hậu

Vũ Thị Vân Anh^{1*}, Phan Thị Thùy Dương¹, Cấn Thu Văn¹, Trần Thị Thu Thảo¹

¹ Trường Đại học Tài nguyên và Môi trường TP. Hồ Chí Minh; vtvan@hcmunre.edu.vn; pttduong@hcmunre.edu.vn; ctvan@hcmunre.edu.vn; tttthao@hcmunre.edu.vn

*Tác giả liên hệ: vtvan@hcmunre.edu.vn; Tel.: +84-946019595

Ban Biên tập nhận bài: 8/9/2023; Ngày phản biện xong: 23/10/2023; Ngày đăng bài: 25/11/2023

Tóm tắt: Bài báo này đánh giá khả năng đáp ứng nhu cầu nước trong bối cảnh biến đổi khí hậu của lưu vực sông Ba trong điều kiện công trình hiện trạng và quy hoạch theo Quyết định số 5205/QĐ-BNN-TCTL của Bộ NN&PTNT ban hành ngày 27/12/2018. Bài báo sử dụng mô hình Mike Nam để mô phỏng dòng chảy đến và mô hình Mike Hydro để tính toán cân bằng nước tại các nút nhu cầu nước. Kết quả cho thấy, ở thời kỳ cơ sở, tỷ lệ diện tích cây trồng bị thiếu nước ở điều kiện công trình quy hoạch không quá khác biệt so với điều kiện công trình hiện trạng (14.111 ha, chiếm 22,8% tổng diện tích được đảm bảo tưới ở điều kiện hiện trạng và 51.033 ha, chiếm 24,3% ở điều kiện quy hoạch). Trong tương lai có biến đổi khí hậu, tỷ lệ diện tích bị thiếu nước trong điều kiện công trình quy hoạch tăng lên, 14% ở cả giữa thế kỷ và cuối thế kỷ đối với cả kịch bản RCP4.5 và RCP8.5, so với 7,0% và 8,2% ở giữa thế kỷ và 5,3% và 9,6% ở cuối thế kỷ trong điều kiện công trình hiện trạng. Các khu vực bị thiếu nước đáng kể bao gồm: Thượng nguồn sông Ba, KrongPa và hạ lưu đập Đồng Cam. Đối với cấp nước cho sinh hoạt và các ngành sử dụng khác, nút cấp nước tại lưu vực sông Hinh bị thiếu nước trong điều kiện công trình quy hoạch, với mức thiếu 6-9%.

Từ khóa: Mike Nam; Mike Hydro; Cân bằng nước; Biến đổi khí hậu; Lưu vực sông Ba.

1. Giới thiệu

Biến đổi khí hậu (BĐKH) là một trong những thách thức lớn đối với nhân loại trong thế kỷ 21. Trong những thập niên gần đây, có nhiều bằng chứng về sự thay đổi của hệ thống khí hậu trái đất. Trong thời kỳ 1901-2012, nhiệt độ trung bình toàn cầu tăng khoảng 0,89°C, lượng mưa trung bình có xu thế tăng ở vùng lục địa có vĩ độ trung bình và cao nhưng lại có xu hướng giảm ở khu vực nhiệt đới, mực nước biển trung bình toàn cầu tăng khoảng 19 cm với tốc độ tăng trung bình là 1,7 mm/năm [1]. Sự thay đổi trong hệ thống khí hậu đã dẫn đến sự thay đổi dòng chảy trên các lưu vực sông (LVS) ở mức độ khác nhau, và từ đó dẫn đến sự thay đổi trong khả năng đáp ứng nhu cầu nước đối với các ngành sử dụng nước trên phạm vi toàn thế giới. Đã có nhiều nghiên cứu đánh giá tác động của BĐKH đến khả năng đáp ứng nhu cầu nước ở các LVS trên phạm vi toàn thế giới. Nghiên cứu [2] đã sử dụng mô hình SWAT để phân tích tác động của biến đổi khí hậu đến tài nguyên nước của lưu vực sông Guajoyo ở El Salvador từ việc so sánh kết quả mô phỏng khí hậu tại địa phương của hai kịch bản biến đổi khí hậu (RCP 4.5 và RCP 8.5) và năm mô hình hoàn lưu chung (GCM). Nghiên cứu [3] cũng sử dụng mô hình SWAT để đánh giá tác động của biến đổi khí hậu đến cân bằng nước lưu vực sông Kabompo ở Zambezi với đầu vào là kết quả GCM đã điều chỉnh sai lệch và giảm quy mô. Nghiên cứu [4] đánh giá tác động của biến đổi khí hậu đến các thành phần cân bằng nước và hạn hán ở lưu vực sông Guajoyo (El Salvador) từ các dữ liệu khí tượng đã

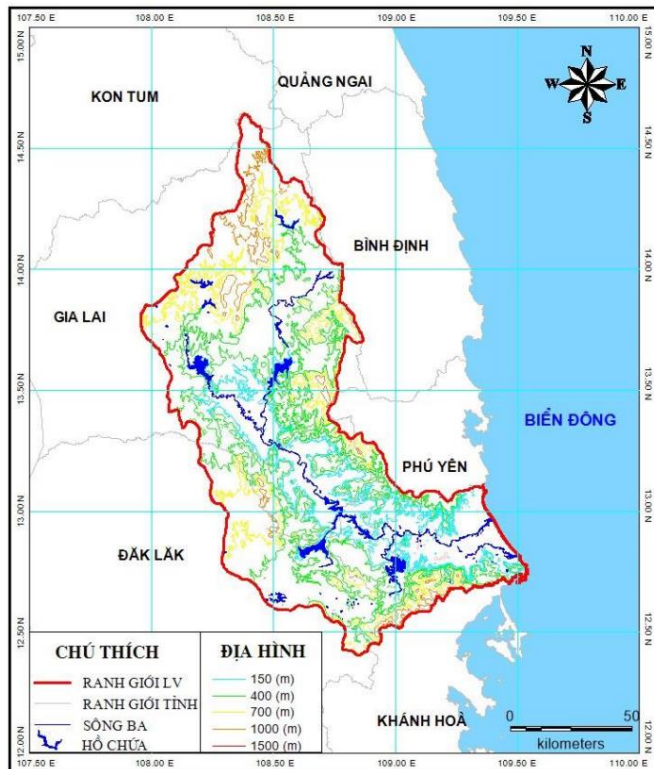
được chi tiết hóa bằng công cụ tạo thời tiết ngẫu nhiên (WG) với đầu vào là các kết quả mô hình biến đổi khí hậu nhất định và sau đó mô phỏng dòng chảy bằng mô hình thủy văn đơn vị.

Việt Nam được đánh giá là một trong những quốc gia chịu ảnh hưởng nặng nề bởi BĐKH [5]. Các nghiên cứu trước đây cho thấy, dưới tác động của BĐKH, trên rất nhiều các lưu vực sông (LVS) ở Việt Nam, dòng chảy mùa lũ có xu hướng gia tăng trong khi dòng chảy dòng chảy mùa kiệt có xu thế giảm, các cực trị lũ và hạn gia tăng cả về cường độ và tần suất [6–7], gây ra các thiên tai liên quan đến tài nguyên nước (TNN), trong đó tình trạng thiếu nước để cung cấp cho các ngành sử dụng nước có thể gây ảnh hưởng lớn đến đời sống con người và các hoạt động phát triển kinh tế xã hội (KT-XH)... Do đó việc nghiên cứu đánh giá tác động của BĐKH đến khả năng đáp ứng nhu cầu nước trên các LVS ở Việt Nam là rất cần thiết, dựa trên những kết quả này có thể đưa ra những kế sách nhằm nâng cao hiệu quả quản lý TNN trong khu vực.

LVS Ba là LVS lớn nhất ở miền Trung Việt Nam với diện tích lưu vực 13.900 km² [8], trải dài từ 12°55' đến 14°58' vĩ độ Bắc và 108°00' đến 109°55' kinh độ Đông. Phía bắc giáp với LVS Sê San và sông Trà Khúc, phía nam giáp với LVS Cái (Nha Trang) và sông Srêpôk, phía tây giáp với LVS Sê San và sông Srêpôk, phía đông giáp với LVS Kôn, sông Kỳ Lộ và biển Đông (Hình 1) [6]. LVS Ba chảy qua 4 tỉnh miền Trung Việt Nam là Kon Tum, Gia Lai, Đắk Lắk và Phú Yên

Dòng chính sông Ba dài 396 km, bắt nguồn từ núi Ngọc Rô có đỉnh cao 1.549m thuộc dải Trường Sơn. Ba nhánh chính cấp I lớn nhất có diện tích lưu vực $F > 100 \text{ km}^2$ là sông Ayun dài 192km; sông Krong H'Năng dài 134km và sông Hinh dài 101km, chúng đều nằm ở phía hữu ngạn của sông Ba. Hằng năm toàn LVS nhận được lượng mưa trung bình khoảng 1.740 mm, module dòng chảy năm bình quân nhiều năm M_0 đạt 22,8 l/s.km², thuộc dạng không lớn so với các LVS khác ở miền Trung Việt Nam. Mùa lũ ở khu vực Tây Trường Sơn (gồm nhánh sông Ayun và thượng nguồn sông Krong H'Năng) kéo dài 5 tháng từ tháng VII đến tháng XI; ở khu vực Đông Trường Sơn (gồm toàn bộ phần hạ lưu sông Ba) chỉ kéo dài 3 tháng, từ tháng X đến tháng XII; ở vùng Trung gian (bao gồm phần lớn LVS Ba, dọc theo thung lũng sông Ba, kéo dài đến phần thượng nguồn sông Krông Ana) kéo dài 4 tháng từ tháng IX đến tháng XII.

Với dân số năm 2016 là khoảng 1.109.000 dân, vị trí địa lý giáp với biển Đông, LVS Ba có vai trò quan trọng trong sự phát triển KT-XH và an ninh quốc phòng của cả nước. Tổng giá trị sản xuất trên địa bàn vùng năm 2016 đạt 132.008 tỷ đồng, trong đó tỷ trọng ngành nông nghiệp - lâm nghiệp - thủy sản chiếm 44,3% [9]. Trên lưu vực, diện tích đất sản xuất nông nghiệp trên 681.000 ha và gần 755.000 ha đất lâm nghiệp kết hợp với điều kiện thổ nhưỡng đất đai phù hợp để phát triển các loại cây trồng có giá trị kinh tế cao, đặc biệt là cao su, cà phê, mía đường và lúa nước cao sản [9]. Có thể thấy, nhu cầu nước cấp cho các ngành sử dụng nước ở LVS Ba là rất lớn. Trong những năm gần đây, do yêu cầu phát triển KT-XH,



Hình 1. Vị trí địa lý Lưu vực sông Ba.

dân số gia tăng cộng với tình trạng di cư vào các tỉnh Tây nguyên ngày một gia tăng, nhu cầu sử dụng nước trên LVS Ba càng gia tăng đáng kể. Trong khi đó, TNN trên lưu vực chứa đựng nhiều yếu tố không bền vững, như lượng mưa phân bố không đều theo không gian và thời gian; sự chênh lệch giữa nhu cầu nước và lượng nước sẵn có; sự tranh chấp nguồn nước của các ngành sử dụng nước khác nhau... Đặc biệt, hệ thống thủy lợi trên lưu vực chưa hoàn thiện; các công trình đầu mối sẵn có chưa được tận dụng hết công suất, nhiều khu vực trên lưu vực chưa được cấp nước chủ động. Thêm vào đó, các công trình hiện có bị xuống cấp, hư hỏng nghiêm trọng, không đáp ứng được nhiệm vụ thiết kế... [9].

Ngày 27/12/2018, Bộ Nông nghiệp và Phát triển nông thôn (NN&PTNT) ban hành Quyết định số 5205/QĐ-BNN-TCTL về việc Phê duyệt điều chỉnh quy hoạch thủy lợi LVS Ba và vùng phụ cận giai đoạn đến năm 2030, tầm nhìn đến năm 2050. Theo đó, nhiều công trình thủy lợi mới sẽ được xây dựng, diện tích đảm bảo tưới và khả năng cấp nước cho các ngành cấp nước khác gia tăng đáng kể.

Trước đây, đã có nhiều nghiên cứu về đánh giá tác động của BĐKH đến TNN cũng như khả năng cấp nước ở LVS Ba. Nghiên cứu [10] đã đánh giá tác động của BĐKH đến TNN dựa trên các kịch bản biến đổi khí hậu (KBBĐKH) của Bộ Tài nguyên và Môi trường (BTNMT) [11] và đưa ra các giải pháp thích ứng chi tiết cho LVS Ba. Phiên bản cập nhật đánh giá sự thay đổi dòng chảy ở LVS Ba trong bối cảnh BĐKH dựa trên KBBĐKH được BTNMT công bố năm 2012 [12] là nghiên cứu [13, 14]. Bên cạnh đó, nghiên cứu [15] đã phân tích và đánh giá hiện trạng hạn hán và sa mạc hóa ở Tây Nguyên đồng thời dự tính tình trạng này trong bối cảnh BĐKH trong thế kỷ 21, từ đó đề xuất các giải pháp giảm thiểu và ứng phó với hạn hán và sa mạc hóa ở Tây Nguyên. Dựa trên kịch bản BĐKH được BTNMT công bố năm 2016 [5], một loạt các nghiên cứu về đánh giá tác động của BĐKH đến các ngành/lĩnh vực đã được thực hiện trên phạm vi LVS Ba. Một số nghiên cứu điển hình như: nghiên cứu mô phỏng ngập lụt vùng hạ du sông Ba khi xét đến BĐKH và đề xuất các định hướng ứng phó với BĐKH cho thành phố Tuy Hòa [16]; hay xây dựng quy trình vận hành hồ chứa đa mục tiêu trong mùa kiệt cho LVS Ba có xét đến BĐKH [17]. Nghiên cứu [18] đã dựa trên KBBĐKH được BTNMT công bố năm 2016 để xây dựng bản đồ phân vùng hạn hán LVS Ba theo kịch bản nền và các KBBĐKH, đồng thời phân tích, đánh giá được tác động của BĐKH đến hạn hán LVS Ba. Các nghiên cứu này đã đánh giá tác động của BĐKH đến TNN ở LVS Ba theo những phiên bản cập nhật KBBĐKH của BTNMT trước đây.

Mục tiêu của bài báo này là: (1) Đánh giá khả năng đáp ứng nhu cầu nước của LVS Ba trong bối cảnh BĐKH theo phiên bản mới nhất Kịch bản BĐKH và NBD 2020 của BTNMT [19]; và (2) Xem xét đánh giá đáp ứng nhu cầu nước của LVS Ba trong điều kiện công trình hiện trạng và quy hoạch theo Quyết định số 5205/QĐ-BNN-TCTL của Bộ NN&PTNT.

2. Số liệu sử dụng và phương pháp nghiên cứu

2.1 Phương pháp nghiên cứu

a) Mô phỏng dòng chảy đến các nút nhu cầu nước

Nghiên cứu này sử dụng mô hình Mike Nam để mô phỏng dòng chảy đến các nút nhu cầu nước. Mô hình thủy văn Mike Nam mô phỏng quá trình mưa - dòng chảy mặt xảy ra tại phạm vi LVS, được hình thành trên một phần của mô đun lượng mưa - dòng chảy mặt (RR) của hệ thống lập mô hình sông Mike 11. Cấu trúc mô hình Mike Nam được xây dựng trên nguyên tắc các hồ chứa theo chiều thẳng đứng và các hồ chứa tuyến tính, gồm có 5 bể chứa theo chiều thẳng đứng, bao gồm: bể chứa tuyết tan, bể chứa mặt, bể chứa tầng dưới, bể chứa nước ngầm tầng trên, bể chứa nước ngầm tầng dưới [20].

Trong phạm vi của nghiên cứu này, kết quả hiệu chỉnh kiểm định và bộ thông số của mô hình Mike Nam cho hệ thống LVS Ba được kế thừa từ Đề tài cấp Bộ “Nghiên cứu xây dựng hệ thống hỗ trợ kỹ thuật giải quyết tranh chấp về tài nguyên nước LVS Ba” được thực hiện bởi Viện Khoa học Khí tượng Thủy văn và Biến đổi khí hậu [8]. Kết quả hiệu chỉnh và kiểm

định mô hình tại các trạm được trình bày tại Bảng 1. Kết quả bộ thông số mô hình được trình bày tại Bảng 2. Bộ thông số ở trạm An Khê được sử dụng cho các nhánh sông thuộc vùng khí hậu Trung gian, trạm Pơ Mơ Rê cho vùng Tây Trường Sơn và trạm Sông Hinh cho vùng Đông Trường Sơn.

Bảng 1. Kết quả hiệu chỉnh và kiểm định mô hình Mike Nam tại 3 trạm LVS Ba [8].

STT	Trạm	Thời gian		Nash-Sutcliffe	
		Hiệu chỉnh	Kiểm định	Hiệu chỉnh	Kiểm định
1	An Khê	1980 - 1989	1990 -1999	0,74	0,72
2	Sông Hinh	1980 - 1989	1990 -1995	0,68	0,77
3	Pơ Mơ Rê	2005	2006	0,81	0,69

Bảng 2. Bộ thông số mô hình Mike Nam tại các lưu vực của trạm thủy văn LVS Ba [8].

STT	Trạm	Diện tích (km ²)	Thông số								
			U _{max}	L _{max}	CQOF	CKIF	CK1,2	TOF	TIF	TG	CKBF
1	An Khê	1.350	18,3	206	0,544	508,6	24	0,737	0,561	0,793	1.400
2	Sông Hinh	752	11	120	0,99	600	15,6	0,3	0,3	0,01	2.800
3	Pơ Mơ Rê	310,8	15,4	205	0,383	711,3	14,6	0,554	0,451	0,316	1.521

b) Tính toán nhu cầu nước cho các ngành sử dụng nước

Đối với nước tưới: Bài báo sử dụng phần mềm Cropwat 8.0 để tính nhu cầu nước cho các loại cây trồng. Phần mềm Cropwat 8.0 là chương trình tính nhu cầu tưới, chế độ tưới và kế hoạch tưới cho các loại cây trồng trong các điều kiện khác nhau; được soạn thảo, công bố và yêu cầu áp dụng bởi tổ chức lương thực của Liên Hợp Quốc FAO.

Đối với nước cho sinh hoạt và các ngành sử dụng khác: Tính toán theo tiêu chuẩn cấp nước cho các ngành sử dụng nước. Tiêu chuẩn cấp nước cho sinh hoạt dân sinh theo TCVN 4454:2012; Tiêu chuẩn cấp nước cho chăn nuôi được lấy theo TCVN 4454:2012; Tiêu chuẩn cấp nước cho công nghiệp lấy theo TCVN 4449-1987 của Bộ Xây Dựng. Tiêu chuẩn dùng nước cho thủy sản: Lượng nước cải tạo ruộng ban đầu 15.000 m³/ha, sau đó lấy nước vào ao nuôi và hàng tháng phải bổ sung nước thất thoát do ngấm, bốc hơi, mỗi năm phải thay nước 5 lần, mỗi lần 1/3 lượng nước (5.000 m³/ha).

c) Tính toán cân bằng nước (CBN) tại các nút nhu cầu nước

Để tính toán CBN cho các nút nhu cầu nước ở LVS Ba, nghiên cứu đã sử dụng mô hình MIKE HYDRO. MIKE HYDRO là phiên bản được nâng cấp của MIKE BASIN, là một công cụ cân bằng giữa nhu cầu về nước và nước có sẵn theo cách tối ưu giúp cho công tác quy hoạch LVS tổng hợp và quản lý TNN do Viện thủy lực Đan Mạch (DHI) xây dựng. Các số liệu nhập đầu vào liệu chủ yếu của mô hình bao gồm số liệu theo thời gian của dòng chảy trên lưu vực của từng công trình. Các tệp số liệu bổ trợ gồm các đặc tính hồ chứa và các quy tắc vận hành của từng hồ chứa, liệt số liệu khí tượng và số liệu tương ứng với hệ thống hoặc cấp nước như nhu cầu nước và các thông tin về dòng hồi quy...[21].

Nghiên cứu này xem xét 2 điều kiện về công trình thủy lợi ở LVS Ba như sau:

(1) Điều kiện công trình theo hiện trạng năm 2016. Sơ đồ tính toán CBN được trình bày ở Hình 2a, bao gồm 12 hồ chứa và đập Đồng Cam, 10 nút thủy điện, 45 nút tưới, 8 nút cấp nước cho các ngành sử dụng nước khác (sinh hoạt, công nghiệp, chăn nuôi, thủy sản). Số liệu diện tích tưới phụ trách theo công trình hiện trạng, với diện tích đảm bảo tưới là 61.842 ha. Quy mô của các ngành sử dụng nước khác theo hiện trạng năm 2016 được thu thập từ Sở Nông nghiệp và Phát triển nông thôn của các tỉnh Gia Lai, Đắk Lắk và Phú Yên.

(2) Điều kiện công trình quy hoạch theo Quyết định số 5205/QĐ-BNN-TCTL ban hành ngày 27/12/2018 về việc Phê duyệt điều chỉnh quy hoạch thủy lợi LVS Ba và vùng phụ cận giai đoạn đến năm 2030, tầm nhìn đến năm 2050 [9]. Sơ đồ tính toán CBN được trình bày ở Hình 2b, bao gồm 12 hồ chứa và đập Đòng Cam, 10 nút thủy điện, 52 nút tưới, 8 nút cấp nước cho các ngành sử dụng nước khác. Số liệu về diện tích tưới phụ trách theo công trình quy hoạch với tổng diện tích đảm bảo tưới toàn LVS là 210.000 ha. Quy mô của các ngành sử dụng nước khác theo Quy hoạch tài nguyên nước hoặc Kế hoạch phát triển kinh tế xã hội của các tỉnh trong phạm vi lưu vực.

Bảng 3. Nút tưới và diện tích cây trồng tương ứng mà các nút phụ trách trong điều kiện công trình hiện trạng và quy hoạch.

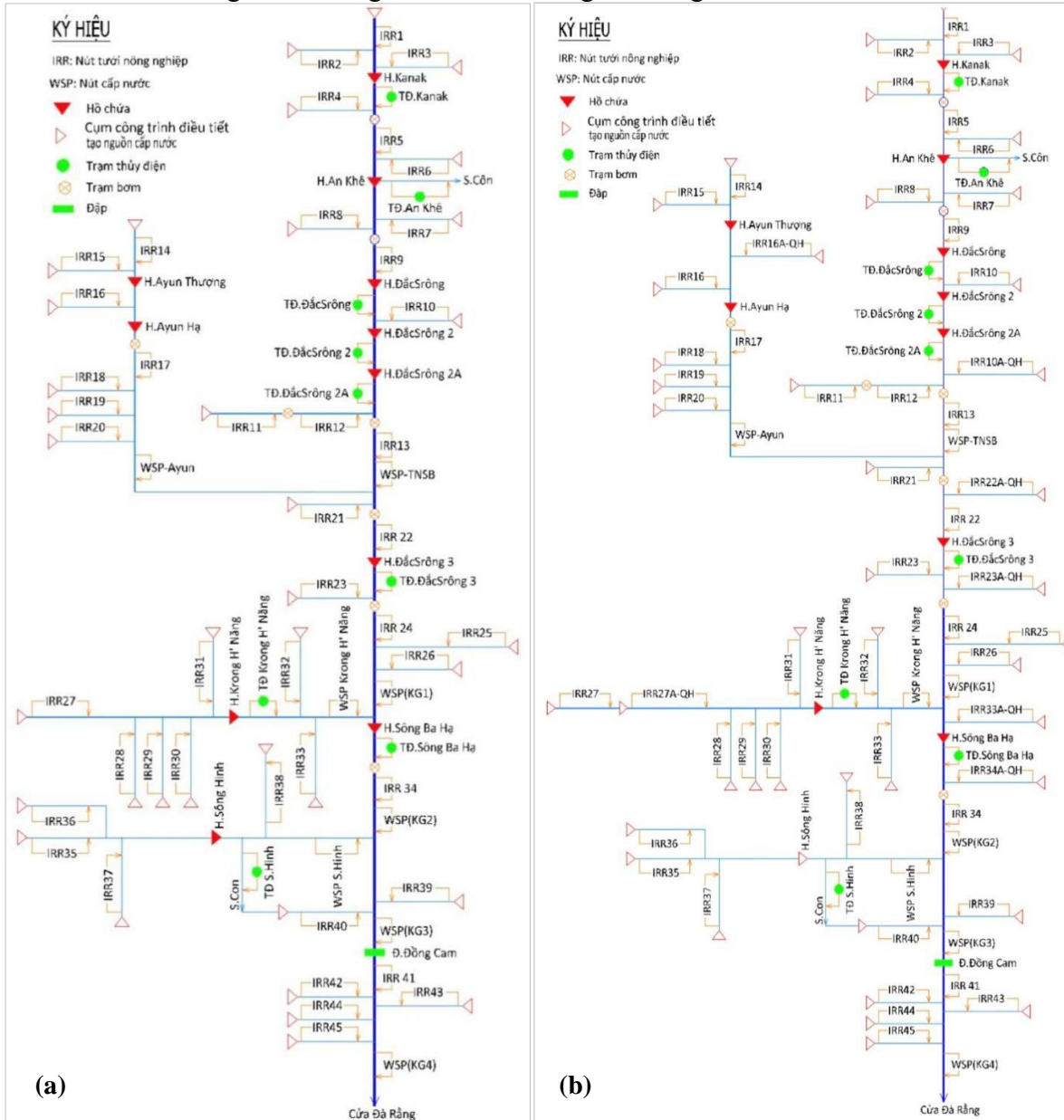
Điều kiện công trình hiện trạng				Điều kiện công trình quy hoạch			
Nút	Diện tích (ha)	Nút	Diện tích (ha)	Nút	Diện tích (ha)	Nút	Diện tích (ha)
IRR1	179	IRR27	2.622	IRR1	365	IRR23A-QH	7
IRR2	46	IRR28	2.872	IRR2	93	IRR24	7
IRR3	316	IRR29	2.734	IRR3	3.110	IRR25	437
IRR4	55	IRR30	876	IRR4	13.810	IRR26	11
IRR5	92	IRR31	386	IRR5	188	IRR27	7.924
IRR6	29	IRR32	450	IRR6	59	IRR27A-QH	34
IRR7	139	IRR33	556	IRR7	2.913	IRR28	6.609
IRR8	334	IRR34	555	IRR8	3.314	IRR29	5.894
IRR9	241	IRR35	1.311	IRR9	1.108	IRR30	1.781
IRR10	112	IRR36	41	IRR10	4.307	IRR31	1.206
IRR11	117	IRR37	28	IRR10A-QH	1.276	IRR32	914
IRR12	541	IRR38	1.026	IRR11	2.397	IRR33	2.392
IRR13	494	IRR39	153	IRR12	1.099	IRR33A-QH	3.766
IRR14	273	IRR40	1.822	IRR13	1.004	IRR34	1.688
IRR15	588	IRR41	17.212	IRR14	3	IRR34A-QH	4
IRR16	2.639	IRR42	235	IRR15	3.438	IRR35	2.664
IRR17	6.856	IRR43	1.280	IRR16	11.710	IRR36	84
IRR18	1.097	IRR44	4.685	IRR16A-QH	1.514	IRR37	1.206
IRR19	706	IRR45	1.305	IRR17	13.936	IRR38	10.302
IRR20	851			IRR18	2.425	IRR39	1.994
IRR21	48			IRR19	4.464	IRR40	4.265
IRR22	668			IRR20	7.128	IRR41	34.986
IRR23	869			IRR21	2.341	IRR42	477
IRR24	3.552			IRR22	1.357	IRR43	10.605
IRR25	215			IRR22A-QH	14.654	IRR44	9.522
IRR26	635			IRR23	5	IRR45	3.213
Tổng: 61.842 ha				Tổng: 210.000 ha			

2.2. Số liệu sử dụng

- Số liệu khí tượng thủy văn: Số liệu khí tượng ngày (nhiệt độ trung bình, gió, số giờ nắng, độ ẩm, bốc hơi) tại 7 trạm khí tượng (An Khê, Ayunpa, Sơn Hòa, M'Đrăk, Tuy Hòa, Pleiku, Buôn Hồ) và số liệu mưa ngày tại 16 trạm mưa (An Khê, Pơ Mơ Rê, Chư Sê, Ayun Pa, Krông Pa, Sơn Hòa, Củng Sơn, Sơn Thành, M'Đrăk, Tuy Hòa, Phú Lạc, KonPlong, Đăk Đoa, Pleiku, Buôn Hồ, Krông Buk) trên toàn LVS Ba trong giai đoạn 1986-2005 được sử dụng làm đầu vào cho mô hình Mike Nam và tính toán nhu cầu tưới cho nông nghiệp trên lưu vực.

- Số liệu về hiện trạng công trình thủy lợi và sử dụng nước: Số liệu về hiện trạng công trình thủy lợi, công trình cấp nước và hiện trạng năng lực đảm bảo tưới cũng như cấp nước ở LVS Ba được thu thập từ Phòng quy hoạch thủy lợi Nam Trung Bộ và Tây Nguyên thuộc Viện Quy hoạch Thủy lợi Việt Nam.

- Số liệu kinh tế - xã hội: Số liệu về tình hình KT-XH của các tỉnh trong khu vực bao gồm dân số và quy mô của các ngành kinh tế sử dụng nước ở hiện trạng năm 2016 với nguồn từ Niên giám thống kê năm 2016 và kế hoạch phát triển trong tương lai được khai thác từ Quyết định phê duyệt quy hoạch phát triển KT-XH của 3 tỉnh nhằm mục đích tính toán nhu cầu nước cho các ngành sử dụng nước ở hiện trạng và tương lai.



Hình 2. Sơ đồ cân bằng nước: (a) điều kiện công trình hiện trạng; (b) điều kiện công trình quy hoạch.

- Số liệu dự tính khí hậu cho kịch bản BDKH và NBD: Dự tính khí hậu tương lai cho LVS Ba bao gồm số liệu dự tính lượng mưa và nhiệt độ ngày cho 2 giai đoạn giữa thế kỷ (GTK) (2046-2065) và cuối thế kỷ (CTK) (2080-2099) được khai thác từ KBBĐKH năm 2020 của BTNMT. Các kết quả này được nội suy từ các điểm lưới vào tọa độ của 7 trạm khí tượng và 16 trạm mưa bằng phương pháp nội suy song tuyến.

2.3. Kịch bản BDKH cho LVS Ba

KBBĐKH năm 2020 của BTNMT được ban hành bởi Bộ Tài nguyên và Môi trường, đã sử dụng các công bố mới nhất của Ủy ban liên Chính phủ về BDKH, kết quả cập nhật nhất của các mô hình khí hậu toàn cầu (bổ sung 10 phương án mô hình toàn cầu so với KBBĐKH

năm 2016 và 6 mô hình khu vực), số liệu quan trắc khí tượng thủy văn, số liệu mực nước biển đo đạc từ vệ tinh và số liệu địa hình cập nhật đến năm 2020. KBBĐKH năm 2020 nêu lên sự biến đổi của các yếu tố khí hậu như nhiệt độ, lượng mưa và một số hiện tượng khí hậu cực đoan trong thế kỷ 21 [19].

Bài báo sử dụng hai kịch bản RCP4.5 và RCP8.5 với sự biến đổi của khí hậu (nhiệt độ và lượng mưa) giai đoạn GTK (2046-2065) và CTK (2080-2099). Đối với LVS Ba, về nhiệt độ, theo kịch bản RCP4.5, nhiệt độ trung bình năm tăng 1,4°C vào GTK và tăng 1,8°C vào CTK; theo kịch bản RCP8.5, nhiệt độ trung bình năm tăng 1,9°C vào GTK và tăng 3,4°C vào CTK. Về lượng mưa, theo kịch bản RCP4.5, lượng mưa năm tăng 8,0% vào GTK và tăng 10,1% vào CTK; theo kịch bản RCP8.5, nhiệt độ trung bình năm tăng 9,3% vào GTK và tăng 12,4% vào CTK.

3. Kết quả và thảo luận

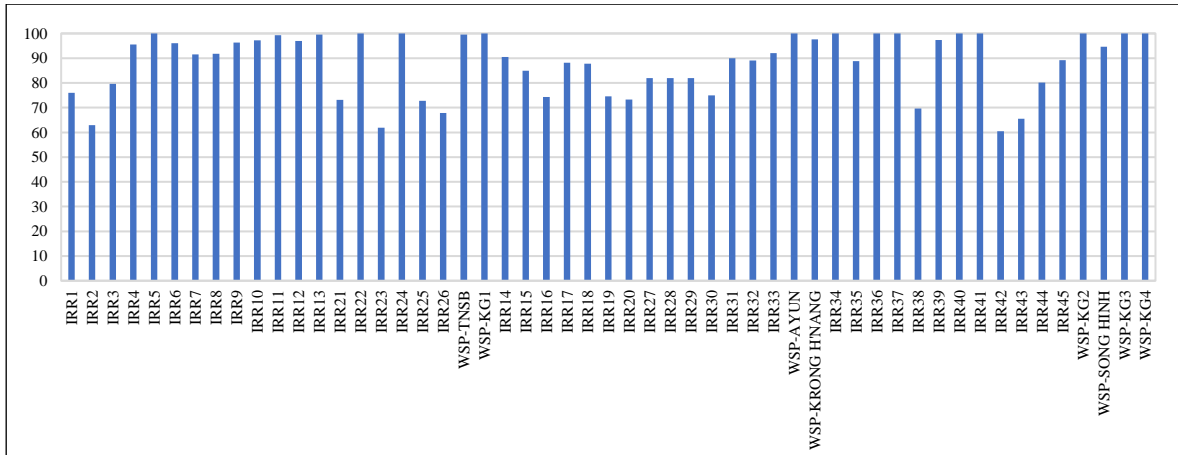
3.1. Kết quả cân bằng nước lưu vực sông Ba trong thời kỳ cơ sở (TKCS)

- Trong điều kiện công trình hiện trạng: Mức đảm bảo cấp nước tại các nút trong TKCS (1986-2005) toàn LVS Ba trong điều kiện công trình hiện trạng được trình bày ở Hình 3. Đối với các nút cấp nước cho sinh hoạt và các ngành sử dụng khác, trên toàn LVS Ba, toàn bộ 8 nút cấp nước đều đủ nước. Đối với các nút tưới, so với tiêu chuẩn cấp nước 75%, có 13 nút trong tổng số 45 nút bị thiếu nước, cụ thể là: IRR2, IRR21, IRR23, IRR25, IRR26, IRR16, IRR19, IRR20, IRR30, IRR38, IRR42, IRR43, IRR44. Trong đó các nút thiếu nghiêm trọng nhất là: IRR2 thuộc vùng thượng lưu sông Ba, IRR23 thuộc vùng khu giữa 1 (Krong Pa); IRR38 thuộc vùng LVS Hình; IRR42, IRR43 thuộc vùng khu giữa 4 (hạ Đồng Cam) với mức thiếu 12-25%.

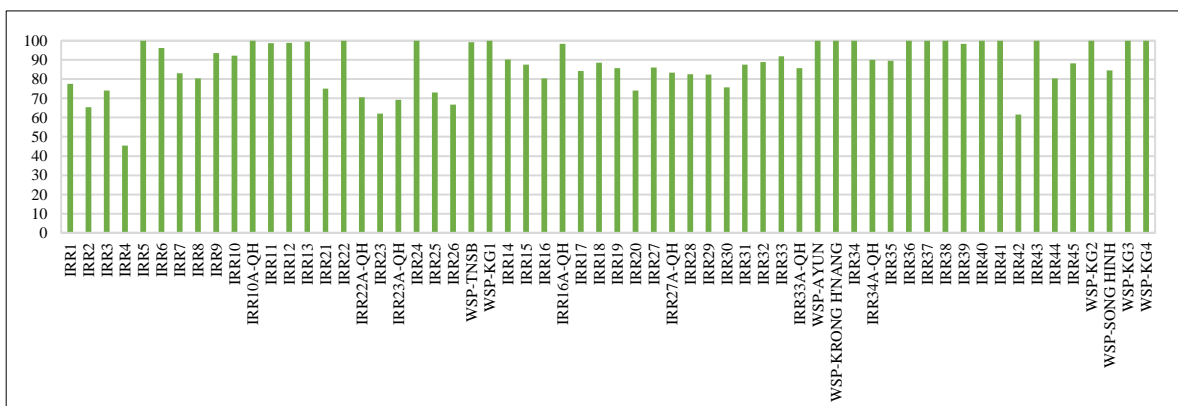
- Trong điều kiện công trình quy hoạch: Mức đảm bảo cấp nước tại các nút nhu cầu nước trong TKCS (1986-2005) toàn LVS Ba ở điều kiện công trình quy hoạch được trình bày ở Hình 4. So với điều kiện công trình hiện trạng, ở điều kiện công trình quy hoạch bổ sung thêm 7 nút tưới. Các nút tưới hiện có cũng được mở rộng diện tích tưới tùy khu vực. Các nút cấp nước cho sinh hoạt và các ngành sử dụng khác cũng tăng nhu cầu sử dụng do dân số tăng và các ngành mở rộng quy mô. Trong số 7 nút tưới bổ sung, có 2 nút bị thiếu nước trong TKCS, mức thiếu khoảng 5%, các nút còn lại đều đủ nước. Trong các nút tưới đã có, có 5 nút tưới được cải thiện tình trạng so với điều kiện công trình hiện trạng (từ thiếu nước trở thành đủ nước), đó là IRR21, IRR16, IRR19, IRR38 và IRR43. Tuy nhiên vẫn có 2 nút ở điều kiện công trình hiện trạng là đủ nước, thì sau khi được quy hoạch đã trở thành thiếu nước, đó là IRR3 và IRR4, trong đó nghiêm trọng nhất là nút IRR4 có mức thiếu lên tới 30%. Đây đều là các nút nằm ở vùng thượng nguồn sông Ba, thuộc lưu vực hồ Kanak và An Khê. Đối với các nút cấp nước cho các ngành sử dụng khác (WSP), có 1 nút tại LVS Hình bị thiếu nước, mức thiếu khoảng 6%.

3.2. Kết quả cân bằng nước lưu vực sông Ba trong điều kiện biến đổi khí hậu

- Thời kỳ GTK (2046-2065): Trong điều kiện công trình hiện trạng, mức đảm bảo cấp nước tại các nút trong thời kỳ GTK (2040-2065) toàn LVS Ba trong điều kiện công trình hiện trạng được trình bày ở Hình 6. Đối với các nút cấp nước cho sinh hoạt và các ngành sử dụng khác, trên toàn LVS Ba, toàn bộ 8 nút cấp nước đều đủ nước. Đối với các nút tưới, so với tiêu chuẩn cấp nước 75%, với KBBĐKH RCP4.5, có 8 nút trong tổng số 45 nút bị thiếu nước, giảm 5 nút so với TKCS, cụ thể các nút bị thiếu nước là: IRR2, IRR21, IRR23, IRR25, IRR26, IRR38, IRR42, IRR43. Với KBBĐKH RCP8.5, có 9 nút trong tổng số 45 nút bị thiếu nước, giảm 4 nút so với TKCS, cụ thể các nút bị thiếu nước là: IRR2, IRR21, IRR23, IRR25, IRR26, IRR19, IRR38, IRR42, IRR43. Trong đó các nút thiếu nghiêm trọng nhất là: IRR2 thuộc vùng thượng lưu sông Ba, IRR23 thuộc vùng khu giữa 1 (Krong Pa); IRR42, IRR43 thuộc vùng khu giữa 4 (hạ Đồng Cam) với mức thiếu 8-15%.



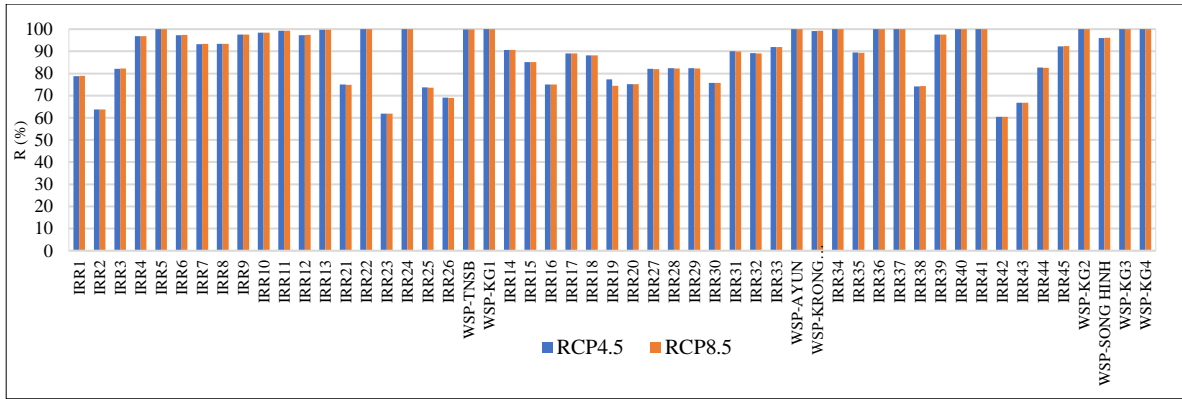
Hình 3. Mức đảm bảo cấp nước của các nút LVS Ba trong TKCS - Điều kiện công trình hiện trạng.



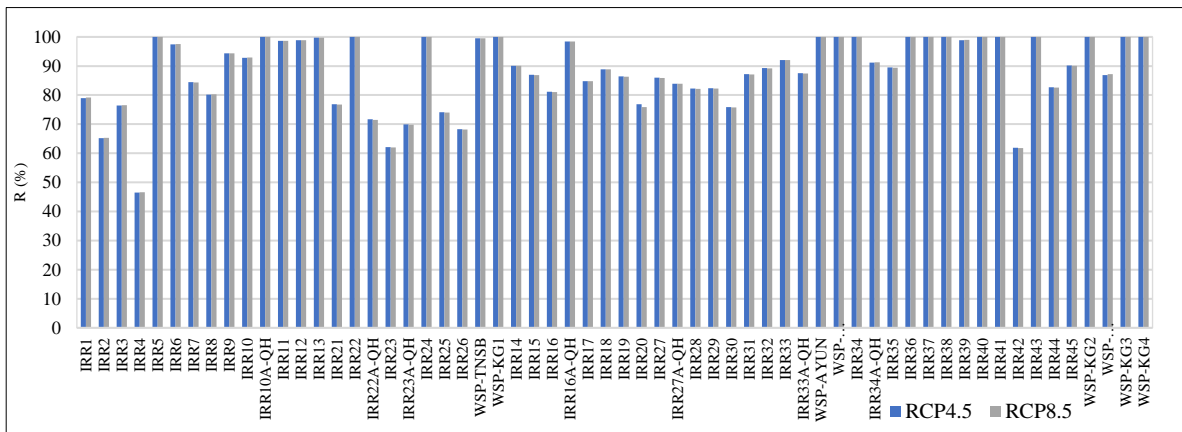
Hình 4. Mức đảm bảo cấp nước của các nút LVS Ba trong TKCS - Điều kiện công trình quy hoạch.

Trong điều kiện công trình quy hoạch, mức đảm bảo cấp nước tại các nút nhu cầu nước trong thời kỳ GTK (2040-2065) toàn LVS Ba ở điều kiện công trình quy hoạch được trình bày ở Hình 5. Điều kiện công trình quy hoạch bổ sung thêm 7 nút tưới như TKCS. Với cả hai KBBĐKH RCP4.5 và RCP8.5, trong số 7 nút tưới bổ sung, có 2 nút bị thiếu nước (IRR22A-QH và IRR23A-QH), mức thiếu khoảng 3-5%, các nút còn lại đều đủ nước. Trong các nút tưới đã có, có 3 nút tưới được cải thiện tình trạng so với điều kiện công trình hiện trạng (từ thiếu nước trở thành đủ nước), giảm 2 nút so với TKCS, đó là IRR21, IRR38 và IRR43. Tuy nhiên vẫn có nút IRR4 (vùng thượng nguồn sông Ba) ở điều kiện công trình hiện trạng là đủ nước, thì sau khi được quy hoạch đã trở thành thiếu nước với mức thiếu lên tới 30%. Đối với các nút cấp nước cho các ngành sử dụng khác (WSP), có 1 nút tại LVS Hinh bị thiếu nước trong cả hai KBBĐKH RCP4.5 và RCP8.5, mức thiếu khoảng 9%.

- Thời kỳ CTK (2080-2099): Trong điều kiện công trình hiện trạng, mức đảm bảo cấp nước tại các nút trong thời kỳ CTK (2080-2099 toàn LVS Ba trong điều kiện công trình hiện trạng được trình bày ở Hình 6. Đối với các nút cấp nước cho sinh hoạt và các ngành sử dụng khác, trên toàn LVS Ba, toàn bộ 8 nút cấp nước đều đủ nước. Đối với các nút tưới, với KBBĐKH RCP4.5, có 6 nút trong tổng số 45 nút bị thiếu nước, giảm 7 nút so với TKCS và giảm 2 nút so với thời kỳ GTK, cụ thể các nút bị thiếu nước là: IRR2 (thượng nguồn sông Ba), IRR23, IRR25, IRR26 (khu giữa KrongPa), IRR42, IRR43 (hạ Đồng Cam). Với KBBĐKH RCP8.5, có 8 nút trong tổng số 45 nút bị thiếu nước, giảm 5 nút so với TKCS, giảm 1 nút so với thời kỳ GTK, cụ thể các nút bị thiếu nước là: IRR2, IRR21, IRR23, IRR25, IRR26, IRR16, IRR42, IRR43. Trong đó, nút IRR16 trong thời kỳ GTK không bị thiếu nước nhưng sang thời kỳ CTK lại bị thiếu nước với mức thiếu chỉ khoảng 1%. Các nút thiếu nghiêm trọng nhất vẫn là các nút IRR2 (thượng nguồn sông Ba), IRR23 (KrongPa), IRR42, IRR43 (hạ Đồng Cam).

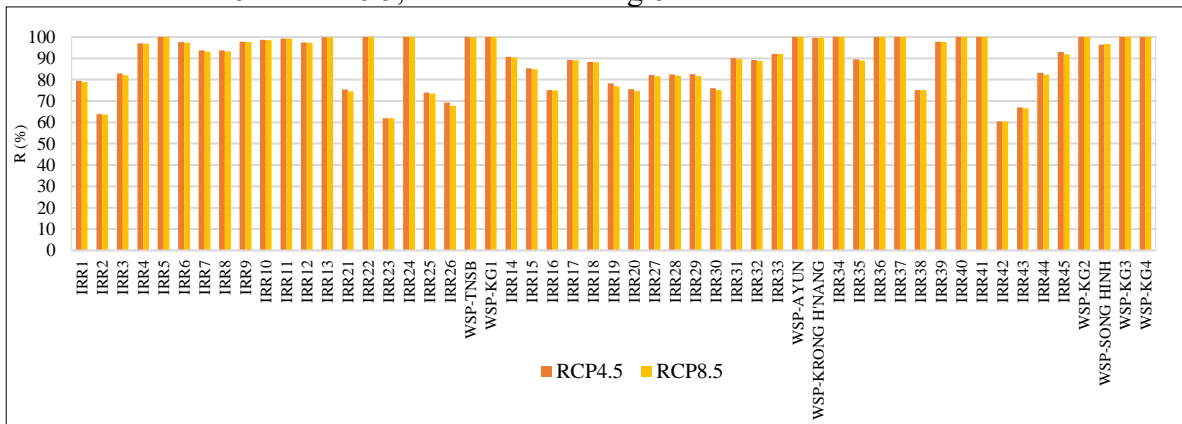


Hình 5. Mức đảm bảo cấp nước của các nút nhu cầu nước LVS Ba thời kỳ GTK - Điều kiện công trình hiện trạng.

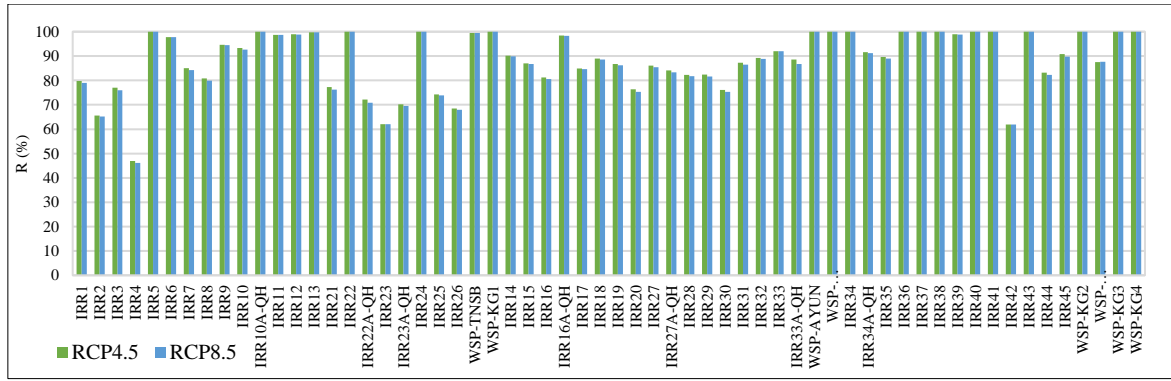


Hình 6. Mức đảm bảo cấp nước của các nút nhu cầu nước LVS Ba thời kỳ GTK - Điều kiện công trình quy hoạch.

Trong điều kiện công trình quy hoạch, mức đảm bảo cấp nước tại các nút nhu cầu nước trong thời kỳ CTK (2080-2099) toàn LVS Ba ở điều kiện công trình quy hoạch được trình bày ở Hình 7. Điều kiện công trình quy hoạch thời kỳ CTK vẫn bổ sung thêm 7 nút tưới như TKCS. Với cả hai KBBĐKH RCP4.5 và RCP8.5, có 2 trong số 7 nút tưới bổ sung bị thiếu nước là IRR22A-QH và IRR23A-QH (vùng KrongPa), mức thiếu khoảng 6%, các nút còn lại đều đủ nước. Trong các nút tưới đã có, tình trạng thiếu nước của các nút giống với thời kỳ GTK, có 3 nút tưới từ thiếu nước trở thành đủ nước, đó là IRR21, IRR38, IRR43 và nút IRR4 (vùng thượng nguồn sông Ba) ở điều kiện công trình hiện trạng là đủ nước, thì sau khi được quy hoạch đã trở thành thiếu nước với mức thiếu lên tới 30%. Đối với các nút cấp nước cho các ngành sử dụng khác (WSP), có 1 nút tại LVS Hinh bị thiếu nước trong cả hai KBBĐKH RCP4.5 và RCP8.5, mức thiếu khoảng 8%.



Hình 7. Mức đảm bảo cấp nước của các nút nhu cầu nước LVS Ba thời kỳ CTK - Điều kiện công trình hiện trạng.



Hình 8. Mức đảm bảo cấp nước của các nút nhu cầu nước LVS Ba thời kỳ CTK - Điều kiện công trình quy hoạch.

Thông kê số nút thiếu nước và số nút đủ nước theo các thời kỳ mô phỏng trong điều kiện công trình hiện trạng (tổng 45 nút tưới) và công trình quy hoạch (tổng 52 nút tưới) được thể hiện trong bảng 4.

Bảng 4. Thông kê số nút thiếu nước, số nút đủ nước trong các thời kỳ trong điều kiện công trình và quy hoạch.

Điều kiện công trình	TKCS (1986-2005)		GTK (2046-2065)				CTK (2080-2099)			
	Số nút đủ nước	Số nút thiếu nước	RCP4.5		RCP8.5		RCP4.5		RCP8.5	
			Số nút đủ nước	Số nút thiếu nước	Số nút đủ nước	Số nút thiếu nước	Số nút đủ nước	Số nút thiếu nước	Số nút đủ nước	Số nút thiếu nước
Hiện trạng	32	13	37	8	36	9	38	7	37	8
Quy hoạch	40	12	44	8	44	8	44	8	44	8

Bảng tổng hợp diện tích cây trồng bị thiếu nước và tỷ lệ % so với tổng diện tích được đảm bảo tưới trên toàn LVS Ba trong các thời kỳ ứng với các KBBĐKH được thể hiện ở Bảng 5. Có thể thấy, ở điều kiện công trình quy hoạch, diện tích đảm bảo tưới tăng lên rất nhiều so với điều kiện công trình hiện trạng (210.000 ha so với 61.842 ha). Tuy nhiên diện tích bị thiếu nước khá nhiều. Ở TKCS (1986-2005), tỷ lệ diện tích thiếu nước ở điều kiện công trình quy hoạch không quá chênh lệch so với điều kiện công trình hiện trạng. Nhưng trong điều kiện BĐKH, tỷ lệ diện tích bị thiếu nước vẫn khá nhiều (14% so với 7% và 8,2% ở GTK và 5,3% và 9,6% ở CTK). Các khu vực bị thiếu nước tưới nhiều điển hình như: Vùng thượng nguồn sông Ba (cụm công trình Kanak - An Khê), vùng KrongPa, vùng hạ lưu đập Đồng Cam. Khu vực bị thiếu nước phục vụ sinh hoạt và các nhu cầu khác là khu vực LVS Hinh.

Bảng 5. Diện tích cây trồng thiếu nước trong các thời kỳ trong điều kiện công trình và quy hoạch.

Điều kiện công trình	TKCS (1986-2005)		GTK (2046-2065)				CTK (2080-2099)			
	Diện tích (ha)	Tỷ lệ (%)	RCP4.5		RCP8.5		RCP4.5		RCP8.5	
			Diện tích (ha)	Tỷ lệ (%)	Diện tích (ha)	Tỷ lệ (%)	Diện tích (ha)	Tỷ lệ (%)	Diện tích (ha)	Tỷ lệ (%)
Hiện trạng	14.111	22,8	4.354	7,0	5.06	8,2	3.279	5,3	5.966	9,6
Quy hoạch	51.033	24,3	29.493	14,0	29.493	14,0	29.493	14,0	29.493	14,0

4. Kết luận

Bài báo này đánh giá khả năng đáp ứng nhu cầu nước trong bối cảnh biến đổi khí hậu của lưu vực sông Ba trong điều kiện công trình hiện trạng và quy hoạch theo Quyết định số 5205/QĐ-BNN-TCTL của Bộ NN&PTNT ban hành ngày 27/12/2018 về việc Phê duyệt điều chỉnh quy hoạch thủy lợi LVS Ba và vùng phụ cận giai đoạn đến năm 2030, tầm nhìn đến năm 2050. Kết quả cho thấy:

- Ở TKCS, tỷ lệ diện tích cây trồng bị thiếu nước ở điều kiện công trình quy hoạch không quá khác biệt so với điều kiện công trình hiện trạng (14.111 ha, chiếm 22,8% tổng diện tích

được đảm bảo tưới trên toàn LVS ở điều kiện hiện trạng và 51.033 ha, chiếm 24,3% tổng diện tích được đảm bảo tưới toàn LVS ở điều kiện quy hoạch). Trong tương lai có BĐKH, tỷ lệ diện tích bị thiếu nước trong điều kiện công trình quy hoạch gia tăng, 14% ở cả GTK và CTK đối với cả KBBĐKH RCP4.5 và RCP8.5, so với 7,0% và 8,2% ở GTK và 5,3 và 9,6% ở CTK (tương ứng với 2 KBBĐKH) trong điều kiện công trình hiện trạng.

- Các khu vực bị thiếu nước đáng kể bao gồm: Thượng nguồn sông Ba (khu vực trước hồ Kanak - An Khê), KrongPa, và hạ lưu đập Đồng Cam.

- Đối với cấp nước cho sinh hoạt và các ngành sử dụng khác, nút cấp nước tại LVS Hình bị thiếu nước trong điều kiện công trình quy hoạch, với mức thiếu 6-9%.

Kết quả của bài báo là cơ sở để hỗ trợ các nhà quản lý, các nhà nghiên cứu về TNN ở LVS Ba trong việc đưa ra những kế sách phù hợp về cấp nước cho các ngành sử dụng nước trong từng giai đoạn. Trong quá trình thiết lập mô hình của nghiên cứu này, có xét đến dung tích hồ, lưu lượng tối thiểu cần xả về hạ lưu để đảm bảo dòng chảy môi trường. Đối với hồ thủy nông, lượng nước xả về hạ lưu được tính toán theo nhu cầu dùng nước của hạ lưu. Đối với hồ thủy điện, lượng nước xả về hạ lưu được tính toán theo nhu cầu phát điện của hồ. Như vậy, bài báo đã xét đến vận hành hồ chứa, tuy nhiên, không theo quy trình vận hành hàng ngày của hồ. Kết quả tính toán, vì thế không thể hiện dòng chảy mang tính tức thời, mà là bình quân trong một thời khoảng, phù hợp với bài toán cân bằng nước. Tuy nhiên, nếu muốn nghiên cứu điều tiết cho phòng lũ thì cần thiết phải dùng một mô hình khác.

Đóng góp của tác giả: Xây dựng ý tưởng nghiên cứu: V.T.V.A.; Xử lý số liệu: P.T.T.D., V.T.V.A.; Viết bản thảo bài báo: V.T.V.A., P.T.T.D.; Hoàn chỉnh bài báo: C.T.V.; chỉnh sửa format và hoàn chỉnh: T.T.T.T.

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

Tài liệu tham khảo

1. IPCC. Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, 2013.
2. Uniyal, B.; Jha, M.K.; Verma, A.K. Assessing Climate Change Impact on Water Balance Components of a River Basin Using SWAT Model. *Water Resour. Manage.* **2015**, *29*, 4767–4785.
3. Ndhlovu, G.Z.; Woyessa, Y.E. Modelling impact of climate change on catchment water balance, Kabompo River in Zambezi River Basin. *J. Hydrol.: Reg. Stud.* **2020**, *27*, 100650.
4. Gómez, P.B.; Sáez, P.J.; Aparicio, J.S.; Sánchez, J.P. Impact of Climate Change on Water Balance Components and Droughts in the Guajoyo River Basin (El Salvador). *Water* **2019**, *11*(11), 2360. <https://doi.org/10.3390/w11112360>.
5. Bộ Tài nguyên Môi trường. Kịch bản biến đổi khí hậu và nước biển dâng cho Việt Nam. Hà Nội: NXB Tài nguyên Môi trường và Bản đồ Việt Nam, 2016.
6. Thường, L.Đ.; Hương, H.T.L. Tính toán cân bằng nước lưu vực sông ba dưới tác động của biến đổi khí hậu. *Nông nghiệp Phát triển Nông thôn* **2013**, *9*, 84–90.
7. Xuân, T.T.; Thục, T.; Tuyên, H.M. Tác động của Biến đổi khí hậu đến tài nguyên nước Việt Nam. Hà Nội: NXB Khoa học Kỹ thuật, 2011.
8. Hương, H.T.L. Nghiên cứu xây dựng hệ thống hỗ trợ kỹ thuật giải quyết tranh chấp về tài nguyên nước lưu vực sông Ba. Hà Nội, 2009.
9. Viện Quy hoạch Thủy lợi. Báo cáo tổng hợp Dự án Điều chỉnh quy hoạch thủy lợi Lưu vực sông Ba và vùng phụ cận giai đoạn 2025 và tầm nhìn đến năm 2035. 2018.
10. IMHEN. Tác động của biến đổi khí hậu lên tài nguyên nước và các biện pháp thích ứng: Lưu vực sông Ba. Hà Nội: NXB Tài nguyên Môi trường và Bản đồ Việt Nam, 2010.
11. Bộ Tài nguyên Môi trường, Kịch bản biến đổi khí hậu và nước biển dâng cho Việt Nam.

- Hà Nội: NXB Tài nguyên Môi trường và Bản đồ Việt Nam, 2009.
12. Bộ Tài nguyên và Môi trường. Kịch bản biến đổi khí hậu và nước biển dâng cho Việt Nam. Hà Nội: NXB Tài nguyên Môi trường và Bản đồ Việt Nam, 2012.
 13. Hương, H.T.L. Kết quả nghiên cứu tác động của Biến đổi khí hậu đến dòng chảy Lưu vực sông Ba. *Tạp chí Khoa học và công nghệ thủy lợi* **2013**, 13, 71–79.
 14. Thuong, L.D. Nghiên cứu quản lý bền vững tài nguyên nước lưu vực sông Ba trong bối cảnh biến đổi khí hậu, Luận án tiến sĩ, Trường Đại học Bách Khoa - Đại học Quốc gia TP HCM, TP HCM 2015.
 15. Dan, N.L.; Hieu, N.T.; Lan, V.T.T. Drought, desertification in Tay Nguyen territory associated with climate change scenarios. *Vietnam J. Earth Sci.* **2013**, 35(4), 310–317.
 16. Luu, N.V. Mô phỏng ngập lụt hạ du sông Ba khi xét đến tác động của biến đổi khí hậu và mực nước biển dâng. Đại học Bách Khoa Đà Nẵng, 2018.
 17. Huy, C.D. Xây dựng mô hình toán vận hành hệ thống hồ chứa đa mục tiêu thời kỳ mùa kiệt cho lưu vực sông Ba. Đại học Bách Khoa Đà Nẵng, 2019.
 18. Thành, N.N.; Thái, T.H.; Dũng, B.Q. Nghiên cứu xây dựng bản đồ phân vùng hạn hán lưu vực sông Ba trong bối cảnh biến đổi khí hậu. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* **2019**, 704, 20–27.
 19. Bộ Tài nguyên Môi trường. Kịch bản biến đổi khí hậu và nước biển dâng cho Việt Nam. Hà Nội: NXB Tài nguyên Môi trường và Bản đồ Việt Nam, 2020.
 20. DHI. Mike 11 - A modelling system for Rivers and Channels - User Guide. Online Available: https://manuals.mikepoweredbydhi.help/2017/Water_Resources/MIKE11_UserManual.pdf, 2017.
 21. DHI. Mike Hydro - River - User Guide. Online Available: https://manuals.mikepoweredbydhi.help/2017/Water_Resources/MIKEHydro_River_UserGuide.pdf, 2017.

Assessing the ability to meet water demand in the Ba River basin in the context of climate change

Vu Thi Van Anh^{1*}, Phan Thi Thuy Duong¹, Can Thu Van¹, Tran Thi Thu Thao¹

¹ Ho Chi Minh City University of Natural Resources and Environment; vtvan@hcmunre.edu.vn; pttduong@hcmunre.edu.vn; ctvan@hcmunre.edu.vn; tttthao@hcmunre.edu.vn

Abstract: This paper evaluates the ability of the Ba River basin to meet the water demand in the context of climate change under the conditions of construction: current and planning according to Decision No. 5205/QĐ-BNN-TCTL issued by the Ministry of Agriculture and Rural Development on December 27, 2018. The paper uses Mike Nam model to simulate the incoming flow and Mike Hydro model to calculate the water balance at water demand nodes. The results show that, in the baseline period, the proportion of crop areas lacking water in planned construction conditions is not too different from the current construction conditions (14,111 hectares, accounting for 22.8% of the total area in the current conditions and 51,033 hectares, accounting for 24.3% in the planning conditions). In the future with climate change, the proportion of areas with water shortage under the planning construction conditions increases, 14% at both mid-century and end-century for both RCP4.5 and RCP8.5 scenarios, compared to 7.0% and 8.2% at mid-century and 5.3% and 9.6% at end-century under current construction conditions. Areas with significant water shortages include Upstream of the Ba River, KrongPa and downstream are of Dong Cam dam. Regarding water supply for domestic and other uses, the water supply node in the Hinh river basin is short of water in planning conditions, with a shortage of 6-9%.

Keywords: Mike Nam; Mike Hydro; Climate Change; Water Balance; Ba river basin.

Bài báo khoa học

Ứng dụng ảnh vệ tinh Landsat 8 đánh giá mức độ khô hạn tại thị xã Buôn Hồ, tỉnh Đắk Lắk

Nguyễn Huy Anh^{1*}, Trần Văn Trọng¹, Trần Văn Sơn¹

¹ Đại học Tài nguyên và Môi trường TP. Hồ Chí Minh; anhnh@hcmunre.edu.vn;
tvson@hcmunre.edu.vn; tvtrong@hcmunre.edu.vn

*Tác giả liên hệ: anhnh@hcmunre.edu.vn; Tel.: +84-905201473

Ban Biên tập nhận bài: 12/9/2023; Ngày phản biện xong: 27/10/2023; Ngày đăng bài: 25/11/2023

Tóm tắt: Hiện nay, tư liệu ảnh viễn thám đã được sử dụng rộng rãi trong giám sát, đánh giá mức độ hạn hán, đây là phương pháp nghiên cứu hiện đại và mang lại hiệu quả cao, thời gian đưa ra kết quả nhanh. Nghiên cứu này giới thiệu kết quả sử dụng tư liệu ảnh vệ tinh Landsat 8 đánh giá mức độ khô hạn ở thị xã Buôn Hồ thông qua chỉ số khô hạn nhiệt độ - thực vật (TVDI). Dữ liệu ảnh Landsat 8 sử dụng trong bài báo này được chụp vào tháng 3 (đặc trưng cho mùa khô) các năm 2018, 2019 và 2020. Theo đó, kết quả bài báo đã chỉ ra trong thời gian từ năm 2018-2020 phần lớn diện tích của thị xã Buôn Hồ có mức độ khô hạn từ trung bình (TVDI từ 0,4-0,6) đến khô hạn nặng và rất nặng (TVDI > 0,6). Diện tích các khu vực có mức độ khô hạn nặng và rất nặng có xu thế tăng so với những năm trước đó, năm 2018 diện tích có mức độ khô hạn nặng và rất nặng chỉ chiếm 4,48%, năm 2019 chiếm 10,97% và đến năm 2020 tỷ lệ diện tích, vùng có mức độ khô hạn nặng đến rất nặng chiếm 28,27% tổng diện tích tự nhiên.

Từ khóa: Hạn hán; Chỉ số khô hạn nhiệt độ - thực vật; Chỉ số khác biệt thực vật; Nhiệt độ bề mặt; Thị xã Buôn Hồ; Ảnh Landsat 8.

1. Giới thiệu

Những năm gần đây, dưới tác động của BĐKH đã làm cho hiện tượng nắng nóng xảy ra bất thường và ngày càng khốc liệt, hệ quả là tình trạng hạn hán xảy ra ở nhiều nơi trên thế giới và Việt Nam. Hạn hán ảnh hưởng xấu đến môi trường sống và hoạt động của con người, mức độ khô hạn có xu hướng ngày càng tăng và khó kiểm soát [1, 2]. Hạn hán là loại hình thiên tai nguy hiểm và gây ra thiệt hại nặng nề đối với con người và gây ra những thảm họa cho môi trường, hạn hán còn là nguyên nhân gây nên nghèo đói, bệnh tật và có thể dẫn đến chiến tranh do xung đột nguồn nước giữa các vùng, lãnh thổ. Việt Nam nằm trong vùng khí hậu nhiệt đới gió mùa, hàng năm tình trạng hạn hán xảy ra ở hầu hết các khu vực trên lãnh thổ và nghiêm trọng hơn là ở khu vực Tây Bắc, miền Trung và Tây Nguyên. Hạn hán kéo dài sẽ gây nên hiện tượng thiếu nước cho các hoạt động sản xuất phát triển như sản xuất nông nghiệp, công nghiệp, sinh hoạt... Hạn hán còn ảnh hưởng xấu đến môi trường và các hệ sinh thái, chất lượng cuộc sống cũng như những mâu thuẫn xảy ra do xung đột nguồn nước.

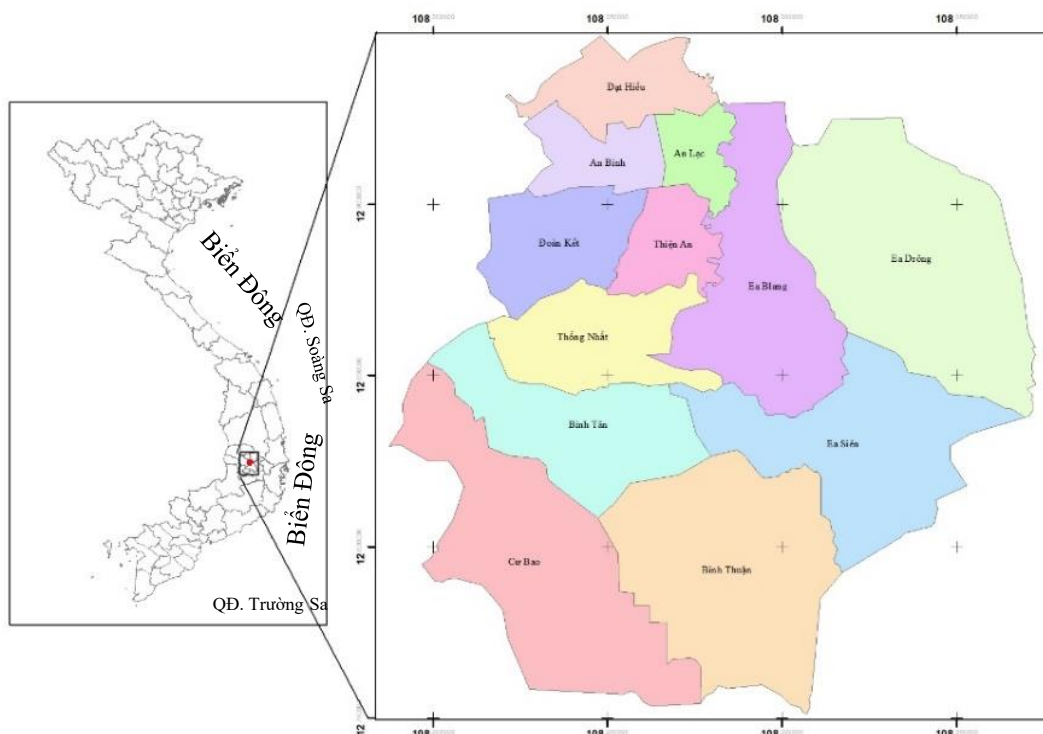
Hiện nay, ngoài việc sử dụng số liệu đo đạc từ các trạm đo mưa, nhiệt độ để tính toán mức độ hạn hán thì hướng nghiên cứu mới đang được ứng dụng rộng rãi là sử dụng tư liệu ảnh viễn thám với các kênh hồng ngoại nhiệt để xác định nhiệt bề mặt đất, độ ẩm không khí, đặc điểm lớp phủ bề mặt nhằm đánh giá mức độ khô hạn. Đây là phương pháp nghiên cứu hiện đại mang lại hiệu quả và thời gian nhanh hơn các phương pháp truyền thống sử dụng

số liệu đo đạc tại các trạm khí tượng. Gần đây, tại Việt Nam đã có những công trình mới sử dụng tư liệu ảnh viễn thám để nghiên cứu hạn hán như: sử dụng ảnh hồng ngoại nhiệt MODIS, NOAA/AVHRR xác định mức độ khô hạn [3].

Ảnh vệ tinh Landsat thế hệ thứ 8, 9 hiện đã được tích hợp các kênh hồng ngoại nhiệt với độ phân giải 100 m, mang theo 2 bộ cảm: bộ cảm biến thu nhận ảnh mặt đất (*OLI - Operational Land Imager*) và bộ cảm biến hồng ngoại nhiệt (*TIRS - Thermal Infrared Sensor*). Với khả năng thu nhận 500 cảnh ảnh/ngày (vệ tinh Landsat 8) và 1.200 cảnh ảnh/ngày (vệ tinh Landsat 9) sẽ là nguồn dữ liệu ảnh quan sát trái đất giúp cung cấp những thông tin quan trọng cho các nghiên cứu về quản lý tài nguyên và bảo vệ môi trường như: giám sát biến động lớp phủ, theo dõi hiện trạng rừng, giám sát hiện trạng các dạng tài nguyên, hiện trạng môi trường, quy hoạch đô thị, khắc phục thảm họa do thiên tai, quản lý mùa vụ trong nông nghiệp [3], nghiên cứu, khảo sát biến đổi nhiệt độ tại các đô thị, đảo nhiệt đô thị [4]. Với các kênh hồng ngoại nhiệt có độ phân giải không gian từ 100 m, ảnh vệ tinh Landsat 8, 9 cung cấp thông tin chi tiết hơn về các yếu tố nhiệt độ, độ ẩm bề mặt của trái đất so với dữ liệu ảnh vệ tinh MODIS - có độ phân giải không gian thấp hơn (từ 250-1.000 m). Dữ liệu ảnh vệ tinh Landsat 8, 9 hiện nay đang được sử dụng hoàn toàn miễn phí, đây là nguồn tư liệu quan trọng trong nghiên cứu khoa học, phục vụ công tác đào tạo [5].

Trên thế giới đã có nhiều nghiên cứu theo hướng ứng dụng tư liệu ảnh viễn thám để giám sát, đánh giá, phân vùng hạn hán như: quan trắc hạn hán dùng ảnh vệ tinh Sentinel [6-8], giám sát hạn hán bằng ảnh Landsat [9]. Các nghiên cứu chủ yếu ứng dụng phương pháp tính toán nhiệt độ mặt đất LST từ ảnh đa phổ từ cảm biến hồng ngoại nhiệt (*TIRS - Thermal Infrared Sensor*) [10, 11].

Tại Việt Nam ứng dụng tư liệu ảnh viễn thám trong nghiên cứu hạn hán đã được quan tâm và ngày càng có nhiều công trình nghiên cứu được áp dụng trên cả nước. Hướng nghiên cứu sử dụng chỉ số khô hạn nhiệt độ thực vật (TVDI) để giám sát, đánh giá mức độ hạn hán [12-14], đánh giá hạn hán [15-17], ứng dụng ảnh viễn thám trong đánh giá hạn hán nông nghiệp [18, 19], xây dựng bản đồ phân vùng hạn hán và hạn hán nông nghiệp [20] và nghiên cứu tình trạng hạn hán nông nghiệp trên nền tảng Google Earth Engine [21].



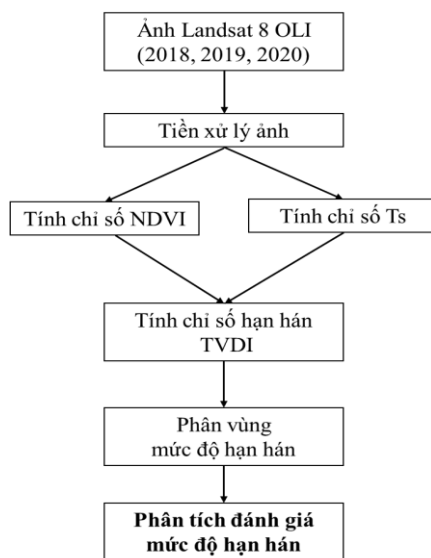
Hình 1. Vị trí khu vực nghiên cứu.

Thị xã Buôn Hồ được thành lập theo Nghị định số 07/NĐ-CP ngày 23/12/2008 của Chính phủ, theo đó thị xã được tách ra từ thị trấn Buôn Hồ và 7 xã phía Nam của huyện huyện Krông Búk. Ngày nay, thị xã Buôn Hồ có diện tích tự nhiên là 28.260,99 ha chiếm hơn 2% diện tích tự nhiên của tỉnh Đắk Lắk [21]. Thị xã Buôn Hồ cách thành phố Buôn Ma Thuột 42 km về phía Đông Bắc, đây là trung tâm kinh tế, văn hóa - xã hội của tiểu vùng phía Bắc tỉnh Đắk Lắk [22]. Trong những năm gần đây tình trạng hạn hán xảy ra thường xuyên và gây ra nhiều thiệt hại về kinh tế và môi trường sống. Chính vì vậy, việc nghiên cứu ứng ảnh vệ tinh Landsat 8 trong đánh giá mức độ hạn hán làm cơ sở khoa học cho dựng các giải pháp dài hạn để phòng và ứng phó với hạn hán ở địa bàn nghiên cứu là nhiệm vụ quan trọng và cần thiết. Mục tiêu nghiên cứu là thử nghiệm phương pháp phân tích dữ liệu ảnh viễn thám để đánh giá mức độ hạn hán thực vật (TVDI) thông qua chỉ số NDVI và Ts. Nghiên cứu đã thực hiện trên địa bàn thị xã Buôn Hồ, sử dụng ảnh đại diện cho mùa khô các năm 2018, 2019 và năm 2020.

2. Dữ liệu sử dụng và phương pháp nghiên cứu

2.1. Dữ liệu sử dụng nghiên cứu

Dữ liệu ảnh Landsat sử dụng trong bài báo này được khai thác từ trang web của cục Khảo sát địa chất Hoa Kỳ (USGS - United States Geological Survey). Ảnh sử dụng là Landsat 8 với 11 kênh phổ, thời gian chụp vào tháng 3 (đại diện cho mùa khô ở Buôn Hồ) các năm 2018, 2019 và 2020. Quy trình nghiên cứu xử lý ảnh được thể hiện trong Hình 2.



Hình 2. Sơ đồ quy trình nghiên cứu.

Ảnh Landsat 8 có kênh hồng ngoại nhiệt (Thermal Infrared 1, 2) có độ phân giải không gian 100 m (xem Bảng 1).

Bảng 1. Thông số ảnh vệ tinh Landsat 8 [4, 5].

Vệ tinh	Kênh/Band	Bước sóng (micrometers)	Độ phân giải (meters)
Landsat8 bộ cảm OLI và TRIs	Kênh 1 - Coastal aerosol (Xanh tím) - quan sát vùng nước ven bờ và các hạt mịn.	0,433 - 0,453	30
	Kênh 2 - Blue (Xanh lơ)	0,450 - 0,515	30
	Kênh 3 - Green (Xanh lục)	0,525 - 0,600	30
	Kênh 4 - Red (Đỏ)	0,630 - 0,680	30
	Kênh 5 - Near Infrared (NIR) - (Cận hồng ngoại)	0,845 - 0,885	30
	Kênh 6 - SWIR1 (Hồng ngoại sóng ngắn 1)	1,560 - 1,660	30
	Kênh 7 - SWIR2 (Hồng ngoại sóng ngắn 2)	2,100 - 2,300	30

Vệ tinh	Kênh/Band	Bước sóng (micrometers)	Độ phân giải (meters)
	Kênh 8 - Panchromatic (Toàn sắc)	0,500 - 0,600	15
	Kênh 9 - Cirrus (Phát hiện mật độ, độ dày mây ti)	1,360 - 1,390	30
	Kênh 10 - Thermal Infrared (NIR) 1 (Hồng ngoại nhiệt 1)	10,3 - 11,3	100
	Kênh 11 - Thermal Infrared (NIR) 2 (Hồng ngoại nhiệt 2)	11,5 - 12,5	100

Trong nghiên cứu sử dụng 3 ảnh được chụp vào tháng 3 các năm 2018, 2019, 2020, có thể được xem là đại diện cho đặc trưng mùa khô ở địa bàn nghiên cứu, thông tin của các ảnh Landsat 8 được trình bày ở Bảng 2.

Bảng 2. Dữ liệu ảnh nghiên cứu [5].

Mã ảnh	Ngày chụp	Tỷ lệ bóng mây (%)
LC08_L1TP_124051_20180314_20200901_02_T1	14/03/2018	7,53
LC08_L1TP_124051_20190317_20200829_02_T1	17/03/2019	9,32
LC08_L1TP_124051_20200319_20200822_02_T1	19/03/2020	5,46

2.2. Phương pháp nghiên cứu

- Tính chỉ số thực vật NDVI:

Chỉ số khác biệt thực vật chuẩn hóa NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) được xác định bằng giá trị phản xạ phổ bề mặt ở kênh hồng ngoại (NIR) và kênh đỏ (RED) trên tổng của chúng, theo công thức (1) sau:

$$NDVI = \frac{P_{NIR} - P_{RED}}{P_{NIR} + P_{RED}} \quad (1)$$

Trong đó P_{NIR} , P_{RED} lần lượt là giá trị phản xạ phổ bề mặt của kênh cận hồng ngoại (NIR) và kênh đỏ (RED).

- Nhiệt độ mặt đất LST (*Land Surface Temperature*):

Giá trị số nguyên của ảnh Landsat 8 được chuyển về giá trị thực của bức xạ điện từ ($Wm^{-2} \mu m^{-1}$) [24].

Theo đó với ảnh Landsat 8, giá trị bức xạ được xác định như sau:

$$L_{\lambda} = M_L \cdot Q_{cal} + A_L \quad (2)$$

Trong đó M_L , A_L là hệ số chuyển đổi (lấy trong tệp metadata của ảnh Landsat 8), Q_{cal} là giá trị số của ảnh (DN).

Giá trị bức xạ phổ (L_{λ}) được dùng để tính nhiệt độ sáng (*brightness temperature*) theo công thức:

$$T_B = \frac{K_2}{\ln(1 + \frac{K_1}{L_{\lambda}})} \quad (3)$$

Trong đó Các hệ số K_1 , K_2 được cung cấp trong file metadata ảnh Landsat 8.

Nhiệt độ bề mặt đất được tính toán dựa vào yếu tố nhiệt độ độ sáng và ảnh hưởng của độ phát xạ. Nhiệt độ sáng sẽ được hiệu chỉnh trên cơ sở độ phát xạ bề mặt. Để xác định nhiệt độ bề mặt áp dụng công thức sau:

$$LST = \frac{T_B}{1 + (\frac{\lambda \cdot T_B}{\rho}) \cdot \ln \epsilon} \quad (4)$$

Trong đó λ là giá trị bước sóng trung tâm kênh hồng ngoại nhiệt; $\rho = \frac{hc}{\sigma}$; σ là hằng số Stefan - Boltzmann ($1,38 \cdot 10^{-23} J/K$); h là hằng số Plank ($6,626 \cdot 10^{-34} J \cdot sec$); c là vận tốc ánh sáng ($2,998 \cdot 10^8 m/s$); ϵ là độ phát xạ bề mặt (*surface emissivity*).

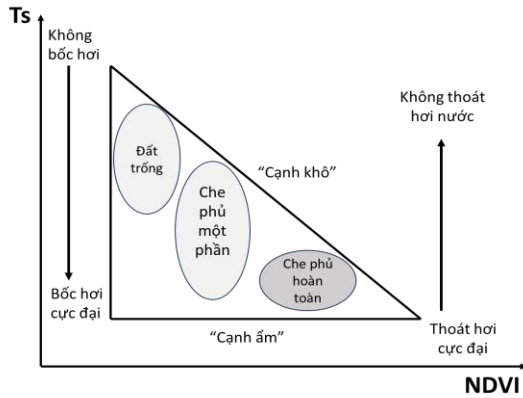
- Chỉ số khô hạn nhiệt độ thực vật (TVDI):

Các công trình nghiên cứu trước đã chỉ ra nhiệt độ bề mặt và lớp phủ thực vật là những yếu tố quan trọng cung cấp thông tin về độ ẩm tại bề mặt đất. Nghiên cứu sử dụng chỉ số khô hạn nhiệt độ thực vật (*Temperature Vegetation Dryness Index - TVDI*) để tính, chỉ số này được tác giả [25] đề xuất.

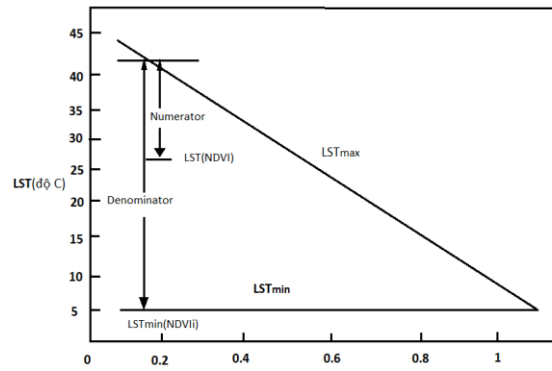
Công thức tính chỉ số khô hạn nhiệt độ thực vật (TVDI):

$$TVDI = \frac{T_s - T_{Smin}}{T_{Smax} - T_{Smin}} \quad (5)$$

Trong đó T_s là nhiệt độ tại pixel cần tính (nhiệt độ bề mặt); T_{Smax} là Nhiệt độ bề mặt cực đại quan sát được cho mỗi khoảng giá trị của NDVI (rìa khô); T_{Smin} tương ứng là nhiệt độ bề mặt cực tiểu xác định bởi đường rìa ướt trong tam giác không gian $T_s/NDVI$ [26] (Hình 3, Hình 4, Bảng 3).



Hình 3. Không gian nhiệt độ $T_s/NDVI$ [26].



Hình 4. Mối quan hệ giữa các chỉ số của TVDI [26].

Chỉ số TVDI của ảnh vệ tinh Landsat 8 nhận giá trị trong khoảng từ 0 đến 1. Trong đó, giá trị TVDI nhỏ hơn 0,2 tương ứng với các vùng không có nguy cơ hạn hán; Nếu chỉ số TVDI từ 0,2-0,4 tương ứng với mức độ khô hạn nhẹ; TVDI trong khoảng từ 0,4-0,6 tương ứng với khu vực có mức độ khô hạn trung bình; TVDI > 0,6 là những vùng có mức độ khô hạn từ nặng đến rất nặng [3, 14, 15, 18, 25, 27].

Bảng 3. Phân cấp mức độ khô hạn đối với chỉ số TVDI [2, 6, 28].

STT	Giá trị TVDI	Mức khô hạn
1	0 - 0,2	Không khô hạn
2	0,2 - 0,4	Khô hạn nhẹ
3	0,4 - 0,6	Khô hạn trung bình
4	0,6 - 0,8	Khô hạn nặng
5	0,8 - 1,0	Khô hạn rất nặng

3. Kết quả và thảo luận

3.1. Tính toán chỉ số khác biệt thực vật chuẩn hóa (NDVI)

Chỉ số khác biệt thực vật chuẩn hóa (NDVI) được xác định bằng hệ số phản xạ mặt ở kênh đỏ (RED) và kênh hồng ngoại (NIR). Đối với ảnh vệ tinh Landsat 8 kênh cận hồng ngoại (NIR) là kênh số 5 và kênh đỏ (RED) là kênh số 4 (Bảng 1), công thức (1) tính NDVI sẽ là:

$$NDVI = \frac{P_{NIR} - P_{RED}}{P_{NIR} + P_{RED}} = \frac{Band5 - Band4}{Band5 + Band4} \quad (\text{ảnh Landsat 8}) \quad (6)$$

Kết quả tính toán chỉ số NDVI ở thị xã Buôn Hồ (Hình 5) dao động trong khoảng - 0,492374 - 0,19737 (năm 2018), - 0,224879 - 0,60309 (năm 2019) và từ - 0,145 - 0,590 (năm 2020). NDVI có giá trị âm (-) là mặt nước, NDVI < 0,1 là đất trống, đá; NDVI từ 0,2 - 0,3 thường là vùng đồng cỏ và cây bụi; NDVI > 0,6 là vùng có lớp phủ là rừng nhiệt đới.

3.2. Xác định nhiệt độ bề mặt đất (LST)

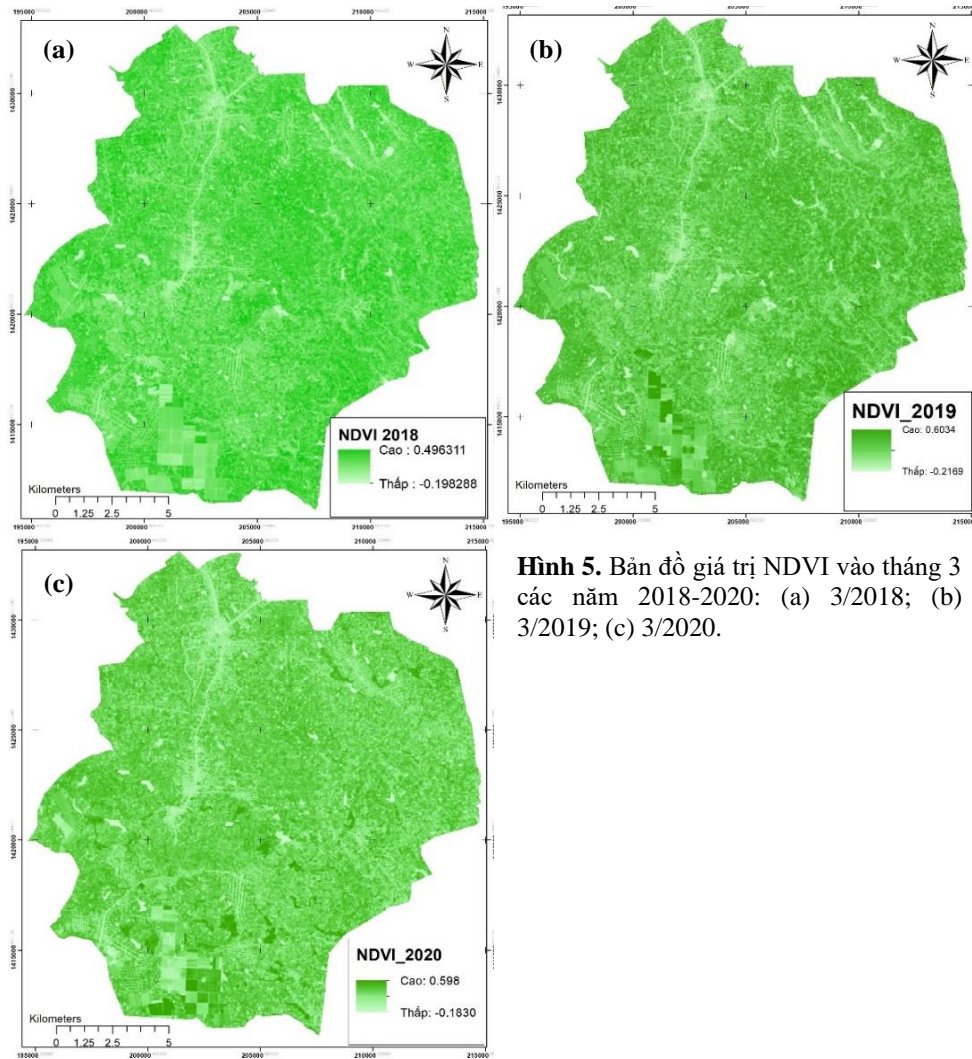
Sử dụng công thức (4) để tính toán nhiệt độ bề mặt đất như sau:

$$LST = \frac{T_B}{1 + \left(\frac{\lambda \cdot T_B}{\rho}\right) \cdot \ln} = \frac{T_{B_b10}}{1 + \left(\frac{10.8 \times 10^{-6} \times T_{B_b10}}{0.144}\right) \times \ln 0.96} \quad (7)$$

Trong đó ρ là giá trị bước sóng trung tâm kênh hồng ngoại nhiệt; Landsat 8 là kênh 11 có bước sóng từ 10,3-11,3 μm . vậy $\rho = 10,8 \mu\text{m} = 10,8 \times 10^{-6}\text{m}$; $\rho = h.c/\sigma$, σ là hằng số Stefan-Boltzmann ($1,38 \times 10^{-23} \text{ J/K}$); h là hằng số Plank ($6,626 \times 10^{-34} \text{ J.sec}$); c là vận tốc ánh sáng ($3 \times 10^8 \text{ m/s}$).

$$\rho = \frac{6,626 \times 10^{-34} \times 3 \times 10^8}{1,38 \times 10^{-23}} = 0,144$$

Trong đó ϵ là độ phát xạ bề mặt (surface emissivity); Độ phát xạ bề mặt của mỗi loại thảm phủ như sau: Không thực vật (đất, nhựa đường, cát, pixel hỗn hợp): $\epsilon = 0,96$; Thực vật: $\epsilon = 0,97$; Nước: $\epsilon = 0,98$ ở đây sử dụng hệ số độ phát xạ là $\epsilon = 0,96$.



Hình 5. Bản đồ giá trị NDVI vào tháng 3 các năm 2018-2020: (a) 3/2018; (b) 3/2019; (c) 3/2020.

Từ kết quả chuyển đổi sang ảnh nhiệt ($^{\circ}\text{C}$) (Hình 6) cho thấy nhiệt độ khu vực nghiên cứu dao động từ khoảng 21,31-33,8 $^{\circ}\text{C}$ vào tháng 3/2018, 19,3-28,4 $^{\circ}\text{C}$ vào tháng 3/2019 và 15,6-31,5 $^{\circ}\text{C}$ vào tháng 3/2020.

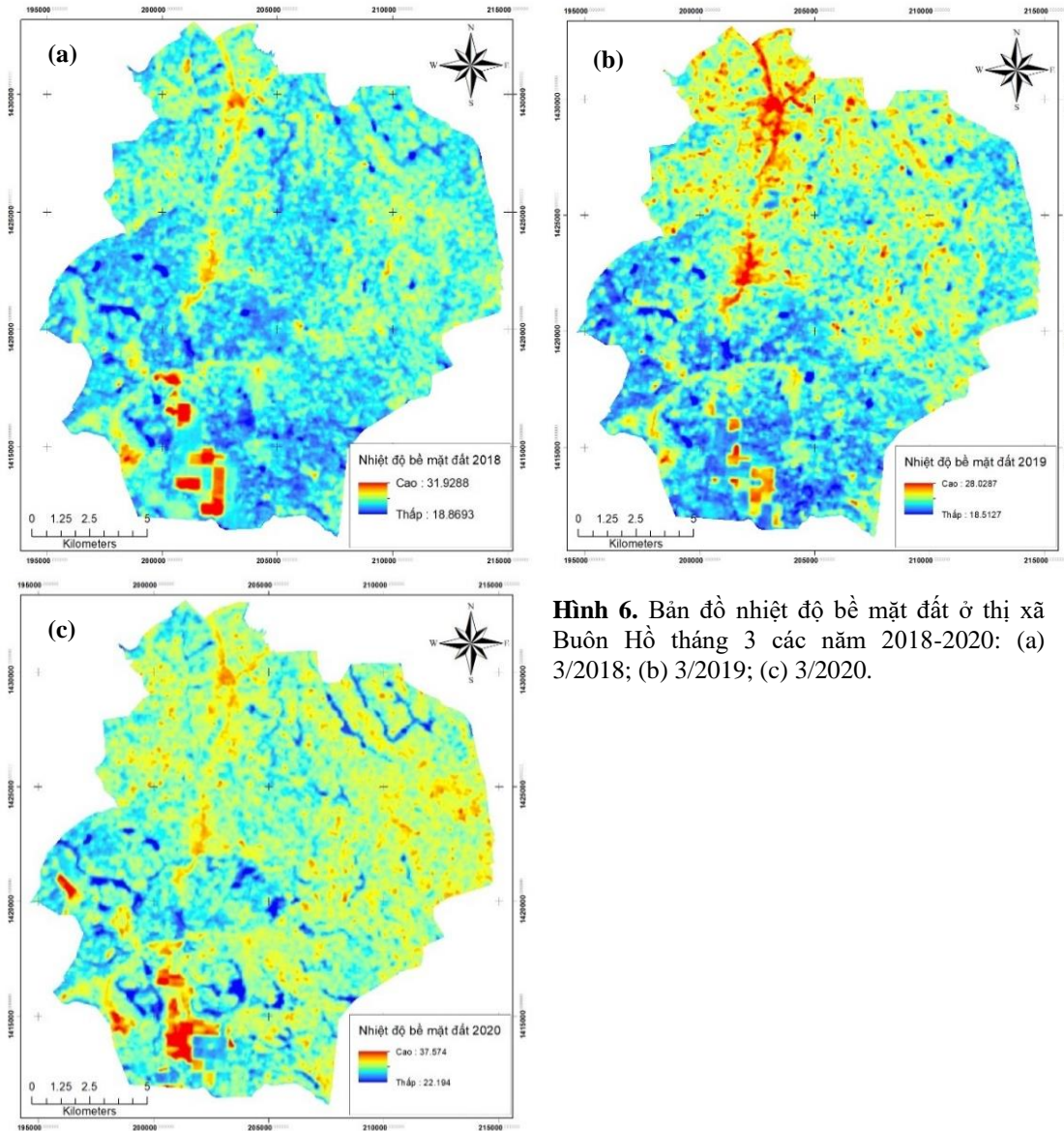
3.3. Kết quả tính chỉ số khô hạn nhiệt độ thực vật (TVDI)

Kết quả tính toán hồi quy tuyến tính các giá trị nhiệt độ bề mặt cực đại (T_{Smax}) tại các khoảng giá trị NDVI, “cạnh khô” T_{Smax} trong không gian T_s/NDVI cho các ảnh năm 2018, 2019, 2020 được xác định như sau (Hình 7, Hình 8).

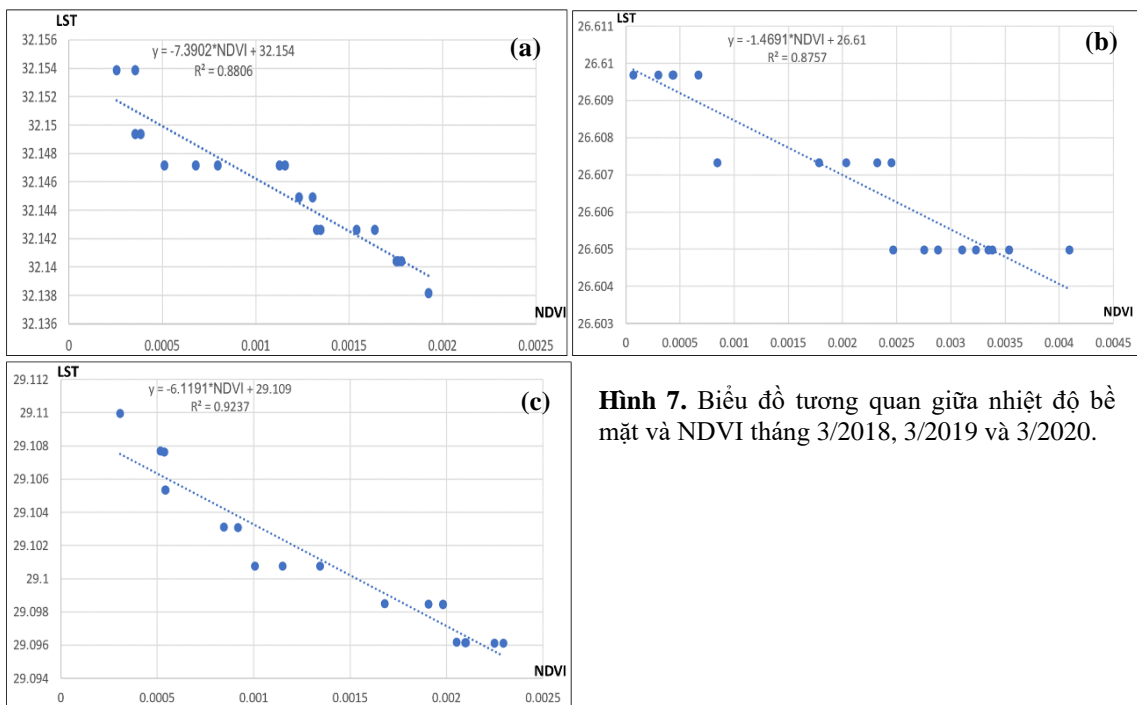
$$T_{Smax} (2018) = - 7.3902 * \text{NDVI} + 32,154 (R^2 = 0,8806)$$

$$T_{Smax} (2019) = - 1.4691 * \text{NDVI} + 26,61 (R^2 = 0,8757)$$

$$T_{Smax} (2020) = - 6.1191 * \text{NDVI} + 29,109 (R^2 = 0,9237)$$



Hình 6. Bản đồ nhiệt độ bề mặt đất ở thị xã Buôn Hồ tháng 3 các năm 2018-2020: (a) 3/2018; (b) 3/2019; (c) 3/2020.



Hình 7. Biểu đồ tương quan giữa nhiệt độ bề mặt và NDVI tháng 3/2018, 3/2019 và 3/2020.

NDVI	LST	SUMMARY OUTPUT					(2018)				
0.0002563	32.1538696										
0.0003543	32.1538696	<i>Regression Statistics</i>									
0.0003553	32.149353	Multiple R 0.995604									
0.0003843	32.149353	R Square 0.991227									
0.0005105	32.1471558	Adjusted R 0.991137									
0.0006787	32.1471558	Standard E 0.002222									
0.0007969	32.1471558	Observatio 99									
0.0011274	32.1471558										
0.0011581	32.1471558	ANOVA									
0.001232	32.1448975	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>ignificance F</i>					
0.0013048	32.1448975	Regression	1	0.054134	0.054134	10960.27		1.4E-101			
0.001326	32.1426392	Residual	97	0.000479	4.94E-06						
0.001348	32.1426392	Total	98	0.054613							
0.0015402	32.1426392										
0.0016376	32.1426392	<i>Coefficientsandard Err</i>									
0.0017536	32.1404114	Intercept	32.15001	0.000423	76011.15	0		32.14917	32.15085	32.14917	32.15085
0.001762	32.1404114	NDVI	-5.8666	0.056037	-104.691	1.4E-101		-5.97782	-5.75538	-5.97782	-5.75538
0.0017813	32.1404114										
0.0019257	32.1381531										

NDVI	LST	SUMMARY OUTPUT					(2019)				
0.0000709	26.6096802										
0.0003005	26.6096802	<i>Regression Statistics</i>									
0.0004309	26.6096802	Multiple R 0.990936									
0.0004381	26.6096802	R Square 0.981954									
0.0006702	26.6096802	Adjusted R 0.981768									
0.0008449	26.6073303	Standard E 0.001003									
0.0017847	26.6073303	Observatio 99									
0.0020344	26.6073303										
0.0023188	26.6073303	ANOVA									
0.0024514	26.6073303	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>ignificance F</i>					
0.0024659	26.6049805	Regression	1	0.005307	0.005307	5278.254		2.22E-86			
0.0027544	26.6049805	Residual	97	9.75E-05	1.01E-06						
0.0028809	26.6049805	Total	98	0.005405							
0.0031019	26.6049805										
0.0032292	26.6049805	<i>Coefficientsandard Err</i>									
0.0033454	26.6049805	Intercept	26.61021	0.000218	122018.5	0		26.60977	26.61064	26.60977	26.61064
0.0033832	26.6049805	NDVI	-1.42179	0.01957	-72.6516	2.22E-86		-1.46064	-1.38295	-1.46064	-1.38295
0.0035361	26.6049805										
0.0040934	26.6049805										

NDVI	LST	SUMMARY OUTPUT					(2020)				
0.000307	29.1099606										
0.0005179	29.1076832	<i>Regression Statistics</i>									
0.0005361	29.1076431	Multiple R 0.989994									
0.0005413	29.1053486	R Square 0.980089									
0.0005444	29.1053448	Adjusted R 0.979883									
0.0008449	29.1031075	Standard E 0.002594									
0.0009195	29.1030865	Observatio 99									
0.0010066	29.100771										
0.0011497	29.100769	ANOVA									
0.0013434	29.1007538	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>ignificance F</i>					
0.0016799	29.0985069	Regression	1	0.032119	0.032119	4774.619		2.62E-84			
0.0019059	29.0984783	Residual	97	0.000653	6.73E-06						
0.0019805	29.0984783	Total	98	0.032772							
0.0019826	29.0984516										
0.0020515	29.0961666	<i>Coefficientsandard Err</i>									
0.0020964	29.096159	Intercept	29.10616	0.000513	56788.63	0		29.10514	29.10718	29.10514	29.10718
0.0021	29.0961342	NDVI	-5.20432	0.075317	-69.0986	2.62E-84		-5.3538	-5.05483	-5.3538	-5.05483
0.0022478	29.0961323										
0.0022939	29.0961304										

Hình 8. Kết quả tính hồi quy tuyến tính giữa NDVI và TSmax của ảnh năm 2018, 2019 và 2020.

Để tính chỉ số khô hạn thực vật (TVDI), áp dụng công thức (5):

$$TVDI = \frac{T_s - T_{smin}}{T_{smax} - T_{smin}} \tag{5}$$

Trong đó Ts là ảnh nhiệt độ bề mặt; Tsmax, Tsmin tương ứng là nhiệt độ bề mặt cực đại và cực tiểu trong tam giác không gian nhiệt độ/NDVI.

- Chỉ số khô hạn năm 2018: $TVDI_{2018} = \frac{Nhietdo_{2018} - 21,312}{T_{smax} - 21,312}$

- Chỉ số khô hạn năm 2019: $TVDI_{2019} = \frac{Nhietdo_{2019} - 19,324}{T_{smax} - 19,324}$

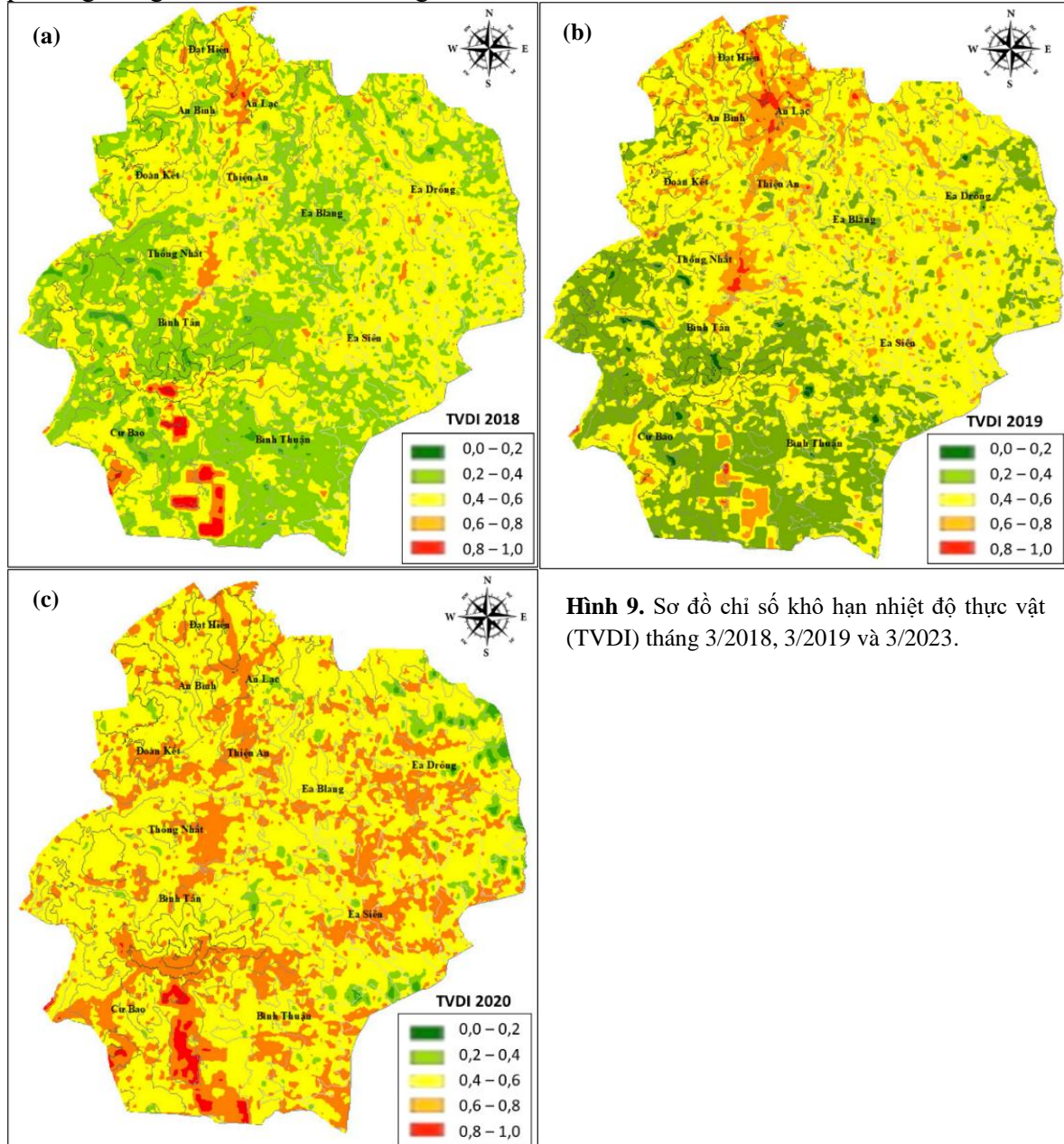
- Chỉ số khô hạn năm 2020: $TVDI_{2020} = \frac{Nhietdo_{2020} - 15,636}{T_{smax} - 15,636}$

Các giá trị 21.312; 19.324; 15.636 ở công thức trên là nhiệt độ thấp nhất với các đối tượng lớp phủ bề mặt không phải là mây. Từ kết quả tính toán chỉ số khô hạn đã xây dựng bản đồ phân bố mức độ khô hạn ở thị xã Buôn Hồ thông qua chỉ số TVDI (Hình 7).

Trong giai đoạn nghiên cứu từ năm 2018-2020 diễn biến khô hạn ở TX. Buôn Hồ có xu hướng gia tăng. Kết quả phân tích từ ảnh vệ tinh cho thấy giá trị TVDI từ 0,6 đến 0,8

(khô hạn nặng) và TVDI > 0,8 (Khô hạn rất nặng) có xu hướng tăng theo từng năm, năm 2020 diện tích TVDI > 0,6 cao hơn nhiều so với các năm 2018, 2019.

Năm 2018 phần lớn diện tích thị xã Buôn Hồ có mức độ khô hạn ở ngưỡng trung bình, trong đó khô hạn nhẹ và không khô hạn (TVDI < 0,4) có diện tích 11.056,71 ha chiếm 39,2% tổng diện tích tự nhiên. Vùng có mức độ khô hạn trung bình phân bố ở khu vực phía Nam thị xã như: xã Cư Bao, Bình Thuận, phường Bình Tân, vùng có chỉ số khô hạn trung bình (TVDI 0,4-0,6) có diện tích 15.888,38 ha chiếm 56,33 % diện tích tự nhiên phân bố tập trung ở các xã Ea Đrong, Ea Blang. Vùng có mức độ khô hạn nặng (TVDI từ 0,6-0,8) có diện tích là 1.049,26 ha chiếm 3,72%, vùng có mức độ khô hạn rất nặng (TVDI > 0,8) có diện tích 214,36 ha chiếm 0,76% tổng diện tích tự nhiên, Vùng này phân bố rải rác ở các phường trung tâm thị xã như: Thống Nhất, An Lạc.



Hình 9. Sơ đồ chỉ số khô hạn nhiệt độ thực vật (TVDI) tháng 3/2018, 3/2019 và 3/2023.

Năm 2019 diện tích vùng có cấp độ khô hạn trung bình đến nặng có chiều hướng gia tăng. Diện tích khô hạn ở mức độ nhẹ đến không khô hạn (TVDI < 0,4) có diện tích 8.518,18 ha chiếm 30,2% tổng diện tích tự nhiên phân bố ở các xã phía Nam như: Cư Bao và Bình Thuận. Vùng có chỉ số khô hạn ở mức độ trung bình (TVDI 0,4-0,6) có diện tích 17.386,11 ha chiếm 61,64 % diện tích tự nhiên. Vùng có mức độ khô hạn trung bình phân

bố ở khu vực phía Bắc và Đông Bắc như: Thiên An, Đoàn Kết, An Bình. Vùng có mức độ khô hạn nặng (TVDI từ 0,6-0,8) có diện tích là 2950,34 ha chiếm 10,46% tổng diện tích tự nhiên, phân bố ở khu vực trung tâm thị xã. Vùng có mức độ khô hạn rất nặng (TVDI > 0,8) có diện tích 143,85 ha chiếm 0,51% (Hình 9).

Bảng 4. Mức độ khô hạn ở thị xã Buôn Hồ giai đoạn 2018-2020.

	Không khô hạn		Khô hạn nhẹ		Khô hạn trung bình		Khô hạn nặng		Khô hạn rất nặng	
	Diện tích (ha)	Tỷ lệ (%)	Diện tích (ha)	Tỷ lệ (%)	Diện tích (ha)	Tỷ lệ (%)	Diện tích (ha)	Tỷ lệ (%)	Diện tích (ha)	Tỷ lệ (%)
2018	217,19	0,77	10.839,52	38,43	15.888,38	56,33	1.049,26	3,72	214,36	0,76
2019	896,95	3,18	7.621,23	27,02	17.386,11	61,64	2.950,34	10,46	143,85	0,51
2020	155,13	0,55	7.621,23	3,78	19.007,95	67,39	7.714,31	27,35	259,49	0,92

Kết quả phân tích từ ảnh viễn thám năm 2020 cho thấy diện tích khô hạn nhẹ đến không khô hạn (TVDI < 0,4) giảm dần, diện tích tính toán được là 7.776,36 ha chiếm 4,33 % tổng diện tích tự nhiên, vùng có chỉ số khô hạn trung bình (TVDI 0,4-0,6) có diện tích là 19.007,95 ha chiếm 67,39 % diện tích tự nhiên. Vùng có mức độ khô hạn nặng (TVDI > từ 0,6-0,8) có diện tích là 7714,3 ha chiếm 27,35 % tổng diện tích tự nhiên. Diện tích vùng có mức độ hạn nặng có chiều hướng tăng mạnh so với năm 2018 (3,72%), năm 2019 (10,46 %), phân bố đều trên địa bàn nghiên cứu.

4. Kết luận

Trong thời gian từ năm 2018-2020 phần lớn diện tích của thị xã Buôn Hồ, tỉnh Đắk Lắk có mức độ khô hạn từ trung bình đến khô hạn nặng và rất nặng. Diện tích các khu vực có mức độ khô hạn nặng và rất nặng đang có xu hướng tăng so với năm trước, những vùng có diện tích khô hạn nặng năm 2018 chiếm 3,72% diện tích thì đến năm 2019 là 10,46% và đến năm 2020 tỷ lệ diện tích này là 27,35% tổng diện tích tự nhiên. Những khu vực có mức độ khô hạn nặng phân bố chủ yếu ở những vùng sản xuất nông nghiệp, đô thị và các vùng có ít hoặc không có thực vật che phủ.

Qua nghiên cứu cho thấy mối quan hệ giữa lớp phủ thực vật và nhiệt độ bề mặt đất. Ứng dụng tư liệu ảnh viễn thám trong nghiên cứu các vấn đề khí tượng, khí hậu nói chung và hạn hán nói riêng đang được sử dụng rộng rãi. Kỹ thuật xử lý ảnh viễn đã hỗ trợ việc xử lý số liệu, xây dựng được các bản đồ phân vùng hạn hán so với các nghiên cứu theo hướng truyền thống trước đây. Tuy nhiên kết quả của nghiên cứu này mới chỉ thử nghiệm ứng dụng phương pháp phân tích ảnh viễn thám để xác định mức độ hạn hán ở địa bàn thị xã Buôn Hồ, tỉnh Đắk Lắk trong thời gian từ 2018-2020. Trong các nghiên cứu tiếp theo cần nghiên cứu trên diện rộng hơn, thời gian nghiên cứu dài hơn và kết hợp việc so sánh, kiểm chứng với kết quả quan trắc, giám sát hạn hán từ các trạm đo để tính thực tiễn của kết quả nghiên cứu.

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

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. Học, Đ.X. và cs. Hạn hán và những giải pháp giảm thiệt hại. NXB. Nông nghiệp, Hà Nội, 2022, tr. 188.
2. Hùng, T.L.; Hoài, Đ.K. Ứng dụng viễn thám đánh giá nguy cơ hạn hán khu vực huyện Bắc Bình, tỉnh Bình Thuận. *Tạp chí Khoa học Đại học Sư phạm TP. Hồ Chí Minh* 2008, 5, 128–139.

3. Hùng, T. Sử dụng tư liệu MODIS theo dõi độ ẩm đất/thực vật bề mặt thử nghiệm với chỉ số mức khô hạn nhiệt độ - thực vật(TVDI). *Tap chí Viễn thám và Địa tin học* **2007**, 2, 28–35.
4. Anh, N.H. và cs. Ứng dụng ảnh viễn thám khảo sát nhiệt độ bề mặt TP. Hồ Chí Minh giai đoạn 2016 – 2020. *Tap chí Khí tượng Thủy văn* **2021**, 729, 29–39.
5. Hội Khảo sát Địa chất Hoa Kỳ. Trục tuyến: <http://earthexplorer.usgs.gov>.
6. Varghese, D.; Radulović, M.; Stojković, S.; Crnojević, V. Reviewing the Potential of Sentinel-2 in Assessing the Drought. *Remote Sens.* **2021**, 13, 3355.
7. Zhou, X.J.; Wang, P.X.; Kevin, T.S.; Darren, G.; Zhang, S.Y.; Li, S.Y.; Wang, L. Drought Monitoring Using the Sentinel 3 Based Multiyear Vegetation Temperature Condition Index in the Guanzhong Plain, China. *IEEE J. Sel. Top. Appl. Earth Obs. Remote Sens.* **2020**, 13, 129–142.
8. Amalo, L.F.; Ma'rufah, U.; Permatasari, P.A.; Monitoring 2015 drought in West Java using Normalized Difference Water Index (NDWI). *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.* **2018**, 149, 012007.
9. Mhaweji, M.; Abou, N.S. Regional Landsat-Based Drought Monitoring from 1982 to 2014 Faour Ghaleb. *Open access Clim.* **2015**, 3, 563–577. doi:10.3390/cli3030563.
10. Schmutge, T.; Hook, S.J.; Coll, C. Recovering surface temperature and emissivity from thermal infrared multispectral data. *Remote Sens. Environ.* **2018**, 65, 121–131.
11. Dash, P.; Gottsche, F.M.; Olesen, F.S.; Fischer, H. Land surface temperature and emissivity estimation from passive sensor data: Theory and practice-current trends. *Int. J. Remote Sens.* **2022**, 23(13), 2563–2594.
12. Trinh, B.T.K.; Phi, N.Q.; Cường, N.M. Ứng dụng GIS và ảnh viễn thám trong giám sát và cảnh báo hạn hán. Tuyển tập Hội nghị Khoa học thường niên năm 2019, Đại học Thủy Lợi, 2019, ISBN: 978-604-82-2981-8.
13. Lingkui, M.; Jiyuan, L.; Zidan, Ch.; Wenjun, X.; Deqing, Ch.; Hongwei, D. The calculation of TVDI based on the composite time of pixel and drought analysis. *Inte. Archives Photogrammetry Remote Sens. Spatial Inf.* **2016**, 38, Part II.
14. Quyền, N.H.; Khâm, D.V.; Tâm, T.T. Nghiên cứu ứng dụng công nghệ viễn thám giám sát hạn hán tại khu vực Tây Nguyên. Hội nghị khoa học Quốc gia về Khí tượng thủy văn, môi trường và BDKH, Viện Khoa học KTTV&BDKH, 2014, 267–272.
15. Khâm, D.V.; Quyền, N.H.; Tâm, T.T.; Dũng, L.T. Nghiên cứu ứng dụng công nghệ viễn thám đánh giá mức độ khắc nghiệt hạn hán ở các tỉnh Duyên hải miền Trung. *Tap chí Khí tượng Thủy văn* **2014**, 638, 26–32.
16. Thục, T. Xây dựng bản đồ hạn hán và mức độ thiếu nước sinh hoạt ở Nam Trung Bộ và Tây Nguyên. Báo cáo tổng kết đề án cấp Bộ, 2008.
17. Thắng, N.V; Khiêm, M.V; Mậu, N.Đ; Trí, T.Đ. Nghiên cứu xác định chỉ tiêu hạn hán cho vùng Nam trung bộ. *Tap chí Khí tượng Thủy văn* **2014**, 3, 49–55.
18. Khánh, Đ.Q.; Khâm, D.V.; Yên, D.H. Nghiên cứu ứng dụng công nghệ viễn thám và GIS xây dựng bản đồ hạn nông nghiệp tỉnh Ninh Thuận. *Tap chí Khí tượng Thủy văn* **2022**, 736, 12–24.
19. Hương, H.T.T.; Minh, V.Q.; Tuấn, L.A. Ứng dụng ảnh viễn thám MODIS trong phân vùng canh tác lúa có ảnh hưởng của điều kiện khô hạn và ngập lũ khu vực đồng bằng Sông Cửu Long. *Tap chí học Trường Đại học Cần Thơ* **2016**, 45, 52–65.
20. Thành, N.N.; Thái, T.H.; Dũng, B.Q. Nghiên cứu xây dựng bản đồ phân vùng hạn hán lưu vực sông Ba trong bối cảnh biến đổi khí hậu. *Tap chí Khí tượng Thủy văn* **2019**, 704, 1–8.
21. Hòa, P.T.T.; Quang, V.N. Nghiên cứu tình trạng hạn nông nghiệp dựa trên chỉ số hạn từ ảnh viễn thám Landsat 8 trên nền tảng Google Earth Engine. Hội nghị toàn quốc Khoa học trái đất và Tài nguyên với phát triển bền vững 2020, 41–50.
22. UBND thị xã Buôn Hồ. Báo cáo thuyết minh kế hoạch sử dụng đất năm 2022.
23. UBND thị xã Buôn Hồ. Báo cáo tình hình kinh tế - xã hội năm 2022.

24. Vân, T.T. Lan; H.T., Trung, L.V. Nghiên cứu xác định nhiệt độ bề mặt đô thị bằng phương pháp viễn thám nhiệt. *Tap chí Phát triển Khoa học và Công nghệ, chuyên san Kỹ thuật - Công nghệ, Đại học Quốc gia TP HCM* **2009**, 12(4), 107–120.
25. Sandholt, I.; Rasmussen, K.; Anderson, J.A. Simple interpretation of the surface temperature/vegetation index space for assessment of the surface moisture status. *Remote Sens. Environ.* **2002**, 79, 213–224.
26. Hùng, T.L.; Hoài, Đ.K. Ứng dụng viễn thám đánh giá nguy cơ hạn hán khu vực huyện Bắc Bình, tỉnh Bình Thuận. *Tap chí Khoa học Đại học Sư phạm Thành phố Hồ Chí Minh* **2015**, 5(70), 128–139.
27. Ánh, Đ.T.N.; Phi, N.Q.; Sơn, N.H. Nghiên cứu phương pháp cảnh báo hạn nông nghiệp vùng hạ lưu sông Cà. *Tap chí Khoa học Tài nguyên và Môi trường* **2017**, 56(3), 24–33.
28. Thục, T.; Khâm, D.V. Công nghệ viễn thám (RS) và hệ thống thông tin địa lý (GIS) trong khí tượng thủy văn. Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật 2012, 68–85 và 116–117.

Landsat 8 satellite imagery application in the assessment of the level of drought in Buon Ho town, Dak Lak province

Nguyen Huy Anh^{1*}, Tran Van Trong¹, Tran Van Son¹

¹ Ho Chi Minh University of Natural Resource and Environment;

anhnh@hcmunre.edu.vn; tvson@hcmunre.edu.vn; tvtrong@hcmunre.edu.vn

Abstract: Currently, remote sensing imagery is widely used in monitoring and evaluating drought levels. This study presents the results of using Landsat 8 imagery to assess drought levels in Buon Ho town through the Temperature–Vegetation Dryness Index (TVDI). Landsat 8 imagery data used in this study were captured in March (characteristic of the dry season) of the years 2018, 2019, and 2020. The study indicated that from 2018 to 2020, most areas of Buon Ho town experienced moderate (TVDI from 0.4 to 0.6) to severe and very severe drought conditions (TVDI > 0.6). The areas with severe and very severe drought tendencies increased compared to previous years. In 2018, the area with severe and very severe drought conditions accounted for 4.48%, in 2019 it was 10.97%, and by 2020, the proportion of areas with severe and very severe drought conditions had risen to 28.27% of the total natural area.

Keywords: Drought, Temperature Vegetation Dryness Index (TVDI); Normalized Difference Vegetation Index (NDVI); Land Surface Temperature (LST); Buon Ho town; Landsat 8 satellite imagery.

Bài báo khoa học

Nghiên cứu đánh giá chất lượng nước mặt sông Sài Gòn - Đồng Nai

Nguyễn Văn Hồng^{1*}, Nguyễn Như Tuệ¹, Vũ Thị Hiền²

¹ Phân viện Khoa học Khí tượng Thủy văn và Biến đổi khí hậu;
nguyenvanhong79@gmail.com; ng.nh.tue@gmail.com

² Trường Đại học Tài nguyên và Môi trường TP.HCM; vthien@hcmunre.edu.vn

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

Ban Biên tập nhận bài: 15/9/2023; Ngày phản biện xong: 26/10/2023; Ngày đăng bài: 25/11/2023

Tóm tắt: Ô nhiễm môi trường nước mặt là một vấn đề mang tính toàn cầu, gây ảnh hưởng đến sức khỏe của con người và hệ sinh thái nếu không được xử lý và kiểm soát chặt chẽ. Tại Việt Nam, tài nguyên nước mặt tại các khu vực sông nói chung và đặc biệt là sông Sài Gòn hiện đang được khai thác, sử dụng cho nhiều mục đích khác nhau. Tuy nhiên, nhiều kết quả nghiên cứu cho thấy chất lượng nước sông Sài Gòn đang bị suy giảm bởi các nguồn thải vào sông. Mục tiêu của bài báo này là tính toán, đánh giá chất lượng nước mặt sông Sài Gòn. Các chỉ tiêu được lựa chọn để đánh giá bao gồm: COD, BOD₅, Amoni (NH₄⁺), Nitrat (NO₃⁻). Các kết quả tính toán cho thấy chất lượng nguồn nước mặt tại khu vực nghiên cứu đang bị suy giảm.

Từ khóa: Ô nhiễm; Nguồn ô nhiễm; Sông Sài Gòn.

1. Mở đầu

Sông Sài Gòn là một lưu vực trong hệ thống sông Đồng Nai. Hiện nay, tài nguyên nước mặt sông Sài Gòn đang được khai thác, sử dụng cho nhiều mục đích khác nhau. Tuy nhiên, nhiều kết quả nghiên cứu cho thấy chất lượng nước sông Sài Gòn đang bị suy giảm bởi các nguồn thải từ sinh hoạt, nước thải công nghiệp, hoạt động nông nghiệp, nước mưa chảy tràn. Các nguồn nước thải này phần lớn chưa được xử lý hoặc đã được xử lý nhưng chưa đạt tiêu chuẩn cho phép. Nhiều chỉ tiêu môi trường đã vượt tiêu chuẩn cho phép và đáng báo động [1-9]. Do vậy việc đánh giá chất lượng nước trên lưu vực phục vụ công tác quản lý là rất cần thiết.

Trong những năm gần đây, ở Việt Nam nói chung và ở Thành phố Hồ Chí Minh nói riêng đã thực hiện nhiều nghiên cứu và góp phần rất lớn trong việc đánh giá chất lượng nước tại các khu vực. Tác giả [9] nghiên cứu phương pháp tự động tính toán chỉ số chất lượng môi trường tại thành phố Hồ Chí Minh. Kết quả tính toán các chỉ số chất lượng môi trường tự động trên phần mềm có độ chính xác tương ứng với phương pháp tính toán thủ công. Việc tính toán tự động các chỉ số chất lượng môi trường sẽ giúp công tác xử lý dữ liệu môi trường được dễ dàng và chính xác, cập nhật thông tin về ô nhiễm môi trường nhanh chóng hơn. Tác giả [1] nghiên cứu đánh giá ô nhiễm phát sinh từ các nguồn thải chính trên địa bàn huyện Cần Giờ đến năm 2025 dựa trên 04 nguồn chính: (i) sinh hoạt - dịch vụ - tiểu thủ công nghiệp, (ii) chăn nuôi, (iii) nuôi trồng thủy sản, (iv) nước mưa chảy tràn đến năm 2025 cho ra kết quả lượng ô nhiễm tăng qua các năm. Tác giả [3] nghiên cứu khả năng chịu tải của nguồn nước vùng bờ thành phố Hồ Chí Minh đến năm 2030 cho thấy các khu vực hiện không còn khả năng chịu tải (KNCT) được nhận diện bao gồm toàn phạm vi vùng bờ (đối với TSS), sông

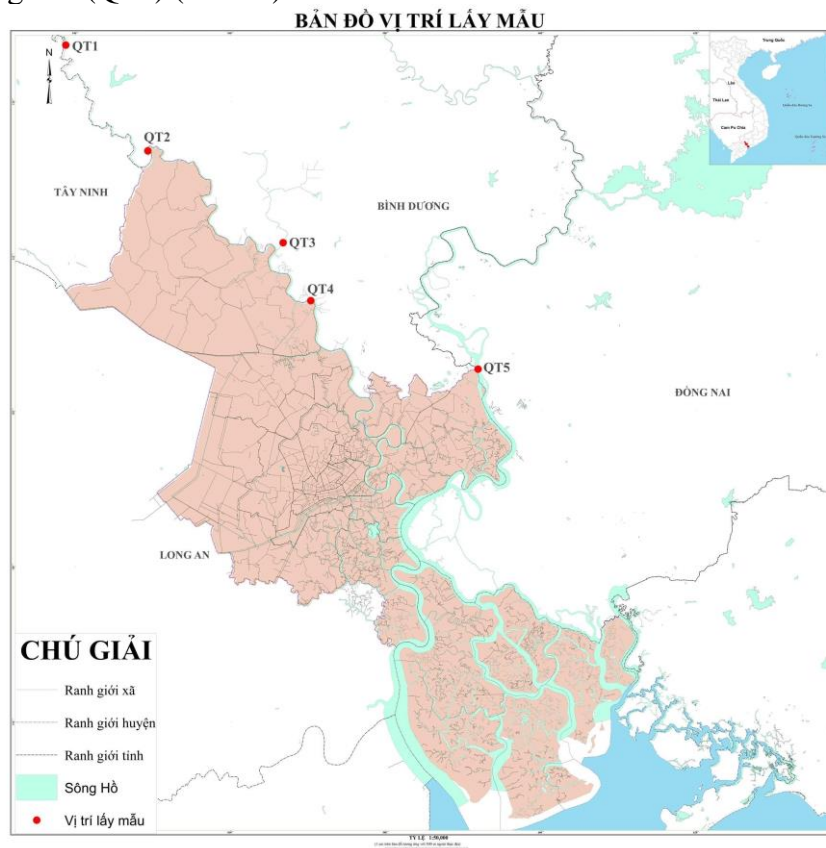
Soài Rạp, thượng nguồn sông Lòng Tàu (BOD, Coliform), Đồng Tranh (BOD), Vàm Sát (BOD). Nếu không cải thiện tình hình xử lý nước thải (KB4), KNCT năm 2030 sẽ giảm, đơn cử KNCT BOD của các sông, rạch dao động 6,0-23,4 tấn/ngày; giảm 17-74%, đồng thời thu hẹp phạm vi chịu tải trên sông Đồng Tranh (BOD) và Vàm Sát (Coliform).

Hiện nay, việc cung cấp nước sạch trên địa bàn Tp. Hồ Chí Minh đang đối mặt với những thách thức bao gồm (1) vấn đề ô nhiễm nguồn nước do tác động của sự phát triển kinh tế, xã hội dọc theo lưu vực hệ thống sông Sài Gòn - Đồng Nai; (2) tác động của biến đổi khí hậu đã ảnh hưởng lớn đến nguồn nước thô cung cấp cho Thành phố, thiếu khả năng dự phòng để ứng phó với diễn biến bất ngờ của nguồn nước thô; và (3) tốc độ đô thị hóa phát triển nhanh, dân số tăng nhanh. Trên khu vực nghiên cứu này có các Trạm cấp nước Hóa An và Bình An (nằm trên sông Đồng Nai); và Trạm Hòa Phú (trên sông Sài Gòn). Trên cơ sở này và các nghiên cứu trước đó nhóm tác giả đã sử dụng phương pháp tính toán chỉ số chất lượng nước WQI của các chất ô nhiễm (COD, BOD₅, N-NH₄⁺, N-NO₃⁻) và kỹ thuật GIS để đánh giá chất lượng nước mặt trên từng đoạn sông gần các vị trí lấy nước của các nguồn nước thô này. Các kết quả nghiên cứu nhằm cung cấp cơ sở khoa học cho việc đánh giá chất lượng nước trên hệ thống sông Sài Gòn của các đoạn sông này.

2. Phương pháp và phạm vi nghiên cứu

2.1. Phạm vi nghiên cứu

Khu vực nghiên cứu này bao gồm hệ thống sông Sài Gòn - Đồng Nai, cụ thể từ hồ Dầu Tiếng trên sông Sài Gòn, từ hồ Trị An trên sông Đồng Nai đến ngã ba sông Sài Gòn. Thực hiện việc tính toán tại các đoạn sông như sau: Cầu Bến Củi, xã Bến Củi, huyện Dương Minh Châu, tỉnh Tây Ninh (QT1); Cầu Bến Súc, xã Phú Mỹ Hưng, huyện Củ Chi, TP. Hồ Chí Minh (QT2); Cầu Ông Cộ, xã Phú An, Thị xã Bến Cát, tỉnh Bình Dương (QT3); Cầu Phú Cường, xã Bình Mỹ, huyện Củ Chi, TP. Hồ Chí Minh (QT4); Cầu Hóa An, xã Hóa An, TP. Biên Hòa, tỉnh Đồng Nai (QT5) (Hình 1).



Hình 1. Khu vực nghiên cứu và vị trí thu mẫu nước mặt sông Sài Gòn.

Lưu vực sông nghiên cứu chủ yếu chịu ảnh hưởng của dòng chảy từ thượng nguồn sông Sài Gòn, vùng chịu ảnh hưởng này tương đối rộng bao gồm từ đập tràn Hồ Dầu Tiếng bao gồm các huyện Trảng Bàng, Dương Minh Châu thuộc tỉnh Tây Ninh, các huyện Bến Cát, TX Thủ Dầu Một, Thuận An thuộc tỉnh Bình Dương và một phần các quận, huyện thành phố Hồ Chí Minh, Đồng Nai. Khu vực nghiên cứu chịu ảnh hưởng của dòng chảy từ phía thượng lưu và tác động đến Thủ Dầu Một (khi lưu lượng này chỉ lớn hơn 600 m³/s), đoạn từ Cầu Phú Cường - Cầu Hóa An chịu ảnh hưởng của triều nhưng không lớn [14–18].

2.2. Đối tượng nghiên cứu

Số liệu quan trắc để đánh giá ô nhiễm gồm các thông số lý hóa về chất lượng môi trường nước: BOD₅, COD, Amoni, Nitrat. Các nguồn thải chính bao gồm: (1) khu công nghiệp - cụm công nghiệp, (2) sinh hoạt - dịch vụ - tiểu thủ công nghiệp, (3) nông nghiệp tập trung vào hoạt động chăn nuôi, (4) nuôi trồng thủy sản và (5) nước mưa chảy tràn.

2.3. Phương pháp nghiên cứu

Quá trình nghiên cứu sử dụng các nhóm phương pháp thực hiện như: thu thập số liệu, thống kê, tổng hợp tài liệu về các phương pháp tính toán trong và ngoài nước; Phương pháp đo đạc, khảo sát thực địa: được tiến hành theo tần suất 2 tháng/lần, mỗi lần lấy vào 2 thời điểm: nước lớn và nước ròng tại điểm lấy mẫu với 5 đợt khảo sát trong năm 2021; Phương pháp thu mẫu, bảo quản và phân tích chất lượng nước trong phòng thí nghiệm: thực hiện theo hướng dẫn tại Tiêu chuẩn Quốc gia TCVN 6663-1:2011 (ISO 5667-2:2006) Chất lượng nước - Lấy mẫu - Phần 1: Hướng dẫn lập chương trình lấy mẫu và kỹ thuật lấy mẫu và Phần 3: Bảo quản và xử lý mẫu nước; Các phương pháp đánh giá gồm:

Đánh giá chất lượng nước mặt theo chỉ số WQI [19–20]: Cơ sở khoa học để đánh giá chất lượng nước căn cứ theo hướng dẫn kỹ thuật tính toán chỉ số chất lượng nước Việt Nam theo Quyết định số 1460/QĐ-TCMT ngày 12/11/2019 của Tổng cục trưởng Tổng cục Môi trường. Các kết quả quan trắc được so sánh, đánh giá theo QCVN 08-MT:2023/BTNMT cột A2. Căn cứ đánh giá này dựa trên phân vùng sử dụng nước của tỉnh Bình Dương (Quyết định số 13/2016/QĐ-UBND của Ủy ban nhân dân tỉnh Bình Dương ngày 16 tháng 6 năm 2016) và Thành phố Hồ Chí Minh (Quyết định số 16/2014/QĐ-UBND của UBND TP Hồ Chí Minh).

*Tính toán WQI thông số (WQI_{SI}) đối với các thông số COD, BOD₅, N-NH₄⁺, N-NO₃⁻ theo công thức sau:

$$WQI_{SI} = \frac{q_i - q_{i+1}}{BP_{i+1} - BP_i} (BP_{i+1} - C_p) + q_{i+1} \quad (1)$$

Trong đó BP_i: Nồng độ giới hạn dưới của giá trị thông số quan trắc được quy định trong Bảng 3.6 tương ứng với mức i; BP_{i+1}: Nồng độ giới hạn trên của giá trị thông số quan trắc được quy định trong Bảng 3.6 tương ứng với mức i+1; q_i: Giá trị WQI ở mức i đã cho trong bảng tương ứng với giá trị BP_i; q_{i+1}: Giá trị WQI ở mức i+1 cho trong bảng tương ứng với giá trị BP_{i+1}; C_p: Giá trị của thông số quan trắc được đưa vào tính toán.

Chỉ số WQI được tính từ các thông số quan trắc chất lượng nước, dùng để mô tả định lượng về chất lượng nước và khả năng sử dụng của nguồn nước và được biểu diễn qua các thang điểm.

Bảng 1. Thang điểm (thang màu) đánh giá chỉ số WQI.

WQI	Chất lượng	Khuyến nghị (thang màu)
91 - 100	Rất tốt	Sử dụng tốt cho mục đích cấp nước sinh hoạt
76 - 90	Tốt	Sử dụng cho mục đích cấp nước sinh hoạt nhưng cần các biện pháp xử lý phù hợp
51 - 75	Trung bình	Sử dụng cho mục đích tưới tiêu và các mục đích tương đương
26 - 50	Kém	Sử dụng cho giao thông thủy và các mục đích tương đương khác
10 - 25	Ô nhiễm nặng	Nước ô nhiễm nặng, cần các biện pháp xử lý trong tương lai
< 10	Ô nhiễm rất nặng	Nước nhiễm độc, cần có biện pháp khắc phục, xử lý

Trong nghiên cứu quan trắc tại 5 vị trí, kết quả quan trắc được so sánh, đánh giá theo QCVN 08-MT:2015/BTNMT cột A2. Căn cứ đánh giá này dựa trên phân vùng sử dụng nước của tỉnh Bình Dương (Quyết định số 13/2016/QĐ-UBND của Ủy ban nhân dân tỉnh Bình Dương ngày 16 tháng 6 năm 2016) và Thành phố Hồ Chí Minh (Quyết định số 16/2014/QĐ-UBND của UBND TP Hồ Chí Minh).

Đánh giá chất lượng nước mặt theo không gian sử dụng phương pháp GIS

Phương pháp GIS được sử dụng trong xử lý, lưu trữ, hiển thị thông tin liên quan đến dữ liệu không gian; tính toán, phân tích các thay đổi về không gian theo thời gian các đối tượng cần phân tích và trình bày các bản đồ chuyên đề.

Phạm vi trên đất liền: Bao gồm các quận, huyện, thành phố, thị xã nằm trong khu vực nghiên cứu trên địa bàn các tỉnh Đồng Nai, Bình Dương, Tây Ninh và TP.HCM.

Phạm vi trên mặt nước: Hệ thống sông Sài Gòn - Đồng Nai, bắt đầu từ hồ Trị An và hồ Dầu Tiếng.

Phần bản đồ nền: Bao gồm các yếu tố ranh giới hành chính, thủy văn trong phạm vi nghiên cứu. Trong quá trình biên tập sẽ tiến hành sàng lọc và giữ lại các yếu tố có liên quan, có tính chất định hướng nhằm phục vụ mục đích, yêu cầu của nghiên cứu.

Có nhiều kỹ thuật nội suy tính toán lưới giá trị cho các bề mặt liên tục như Cokriging, IDW, Kriging, TIN. Các nghiên cứu chỉ ra thuật toán IDW được sử dụng phổ biến nhất trong nội suy chất lượng môi trường. Trong đề tài, nhóm nghiên cứu đã sử dụng phương pháp IDW để nội suy các kết quả chạy từ mô hình MIKE để thể hiện kết quả lên thành bản đồ. IDW là một trong những kỹ thuật phổ biến nhất để nội suy các điểm phân tán. Phương pháp IDW xác định giá trị của các điểm chưa biết bằng cách tính trung bình trọng số khoảng cách các giá trị của các điểm đã biết giá trị trong vùng lân cận của mỗi pixel. Những điểm càng cách xa điểm cần tính giá trị càng ít ảnh hưởng đến giá trị tính toán, các điểm càng gần thì trọng số càng lớn.

IDW là phương pháp nội suy đơn giản nhất, là phương pháp được sử dụng phổ biến nhất trong các chức năng phân tích của GIS. Phương pháp nội suy định lượng khoảng cách ngược cho rằng mỗi điểm đầu vào có những ảnh hưởng cục bộ làm rút ngắn khoảng cách. Phương pháp này tác dụng vào những điểm ở gần điểm đang xét hơn so với những điểm ở xa. Số lượng các điểm chi tiết, hoặc tất cả những điểm nằm trong vùng bán kính xác định có thể được sử dụng để xác định giá trị đầu ra cho mỗi vị trí.

3. Kết quả nghiên cứu và thảo luận

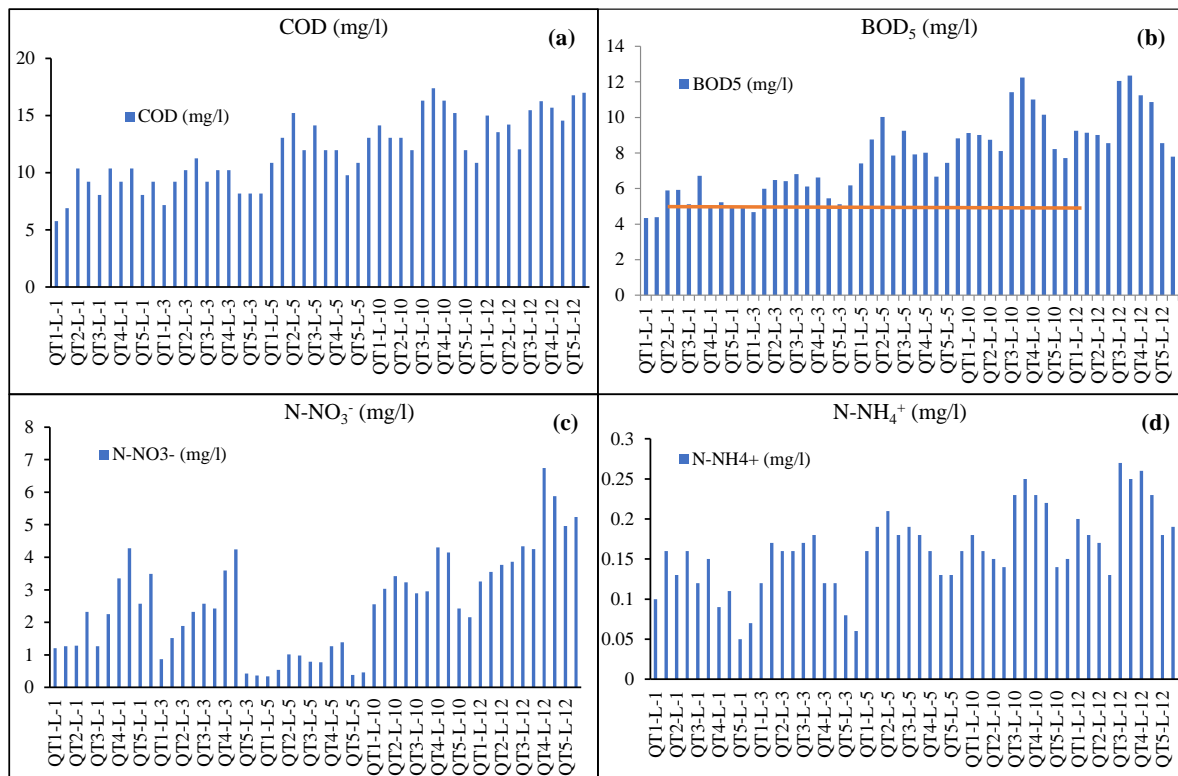
3.1. Đánh giá hiện trạng chất lượng nguồn nước mặt khu vực nghiên cứu theo chỉ số WQI

3.1.1. Kết quả quan trắc các thông số ô nhiễm hữu cơ (COD, BOD₅) và thông số ô nhiễm dinh dưỡng (N-NH₄⁺, N-NO₃⁻)

Các hợp chất hữu cơ (COD và BOD₅) quan trắc được cho thấy có tỷ lệ % vượt chuẩn QCVN cột A2 lần lượt là 22% và 74%. Ô nhiễm các chất dinh dưỡng trên sông Sài Gòn có xu hướng tăng về phía hạ nguồn khi vào nội ô TP. Hồ Chí Minh.

Đa số các vị trí quan trắc tại lưu vực nghiên cứu (ngoại trừ vị trí cầu Bến Củi - QT1) đều ghi nhận ô nhiễm hữu cơ, có xu hướng tăng cao về phía hạ nguồn và các vị trí quan trắc thuộc nội ô thành phố Hồ Chí Minh. Giá trị BOD₅ và COD cao dẫn đến giá trị DO ở các vị trí nghiên cứu cũng rất thấp. Đặc biệt vị trí cầu Ông Cộ có giá trị BOD₅ cao nhất và vượt quy chuẩn 9/10 mẫu quan trắc từ 1,02 lần - 2,06 lần. Đây là vị trí thuộc tỉnh Bình Dương, chịu tác động bởi lượng lớn các khu công nghiệp - cụm công nghiệp cũng như nước thải sinh hoạt từ các khu dân cư đông đúc (Hình 2a-2d).

Giá trị N-NH₄⁺ và N-NO₃⁻ tại các khu vực nghiên cứu trên sông Sài Gòn khá thấp và đa số đều đạt QCVN 08-MT:2023/BTNMT cột A2 đối với từng phân đoạn (chỉ có 3/5 vị trí quan trắc giá trị N-NO₃⁻ vượt QCVN tại vị trí Cầu Phú Cường, Cầu Hóa An vào tháng 12/2021).



Hình 2. Giá trị COD, BOD₅, N-NO₃⁻, N-NH₄⁺ tại các khu vực nghiên cứu.

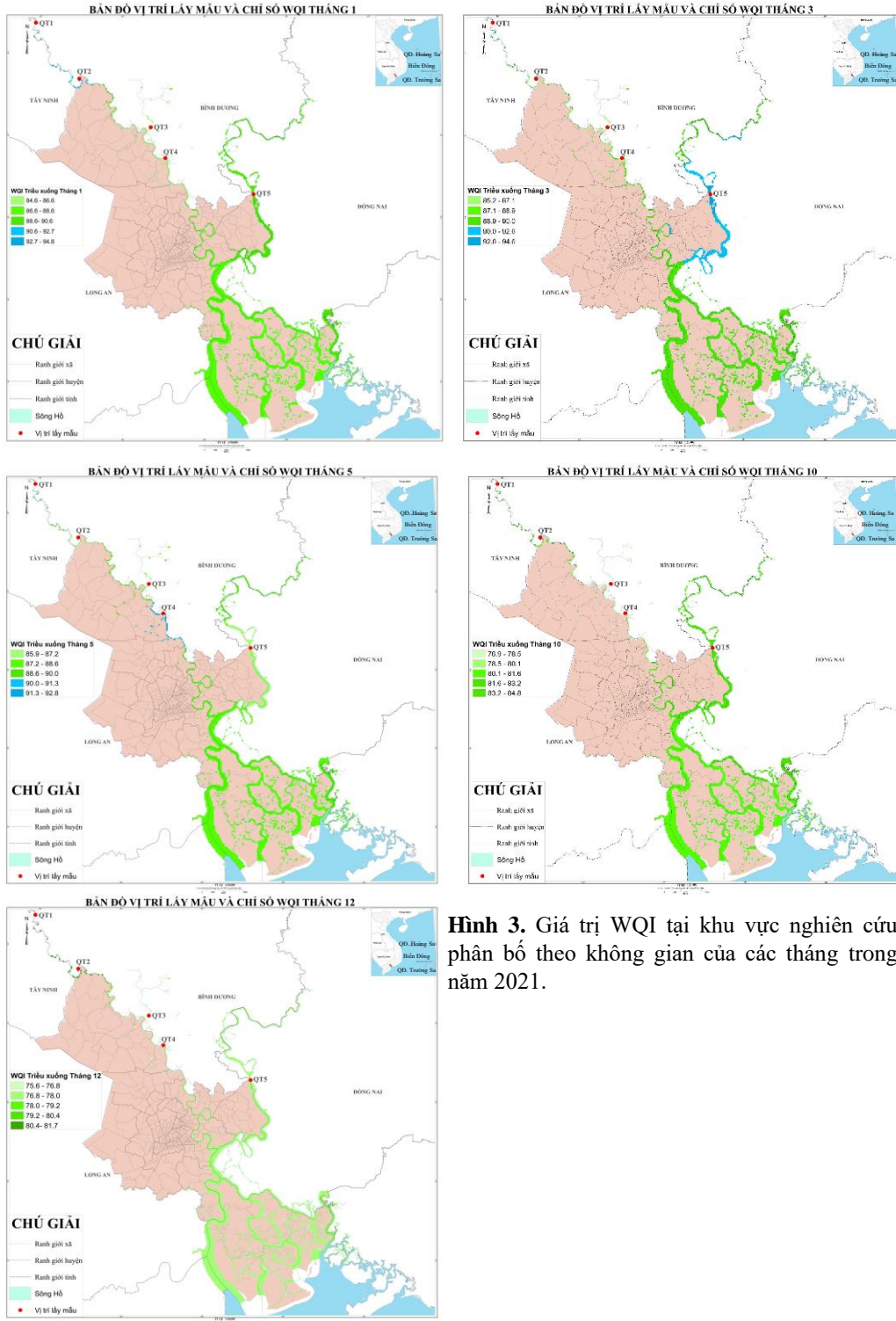
3.1.2. Kết quả tính chỉ số chất lượng nước WQI

Kết quả quan trắc cho thấy, khu vực thượng nguồn ít chịu tác động của nguồn thải nên có chất lượng nước khá tốt và ổn định. Các vị trí về trung lưu bắt đầu tiếp nhận nước thải của các nhà máy sản xuất phân tán (chăn nuôi, chế biến mùn cao su,...), nước thải từ các KCN trên địa bàn tỉnh Bình Dương (KCN Bàu Bàng, KCN Rạch Bắp, KCN An Tây, KCN Việt Hương II, KCN Mỹ Phước I - II - III) và nước thải sinh hoạt từ các đô thị, khu dân cư dọc lưu vực như thị xã Bến Cát, thành phố Thủ Dầu Một, thành phố Dĩ An, thành phố Thuận An tỉnh Bình Dương và tiếp nhận nước thải từ kênh rạch nội ô thành phố Hồ Chí Minh làm chất lượng nước suy giảm.

Vị trí QT1 nằm sau hồ Dầu Tiếng và đoạn sông này chủ yếu bị tác động bởi hoạt động nông nghiệp. Các thông số COD, BOD₅, P-PO₄³⁻, và Coliform đều đạt so với quy chuẩn của QCVN 08-MT:2015/BTNMT ở cột A2 và có 2 thông số DO và N-NH₄⁺ là không đạt so với quy chuẩn. Về tổng thể chất lượng nước, kết quả tính toán WQI cho thấy chất lượng nước đoạn sông từ vị trí QT1 đến QT2 này nằm ở mức độ tốt.

Vị trí QT2 (gần cầu Phú Cường và nằm phía dưới trạm bơm Hòa Phú) và đoạn sông này chịu tác động của nước thải trên địa bàn TP. Thủ Dầu Một và hoạt động công nghiệp từ sông Thị Tinh đổ ra. Chất lượng nước tại khu vực đoạn sông này năm 2021 cho thấy thông số COD có dấu hiệu bị ô nhiễm khi không đạt chuẩn A2 tại vị trí QT3 và trạm bơm Hòa Phú vào mùa mưa. Đặc biệt, thông số BOD₅ có hiện tượng gia tăng ô nhiễm khi nồng độ trung bình năm dao động trong khoảng 7,9-9,3 mg/l. Kết quả tính toán WQI của đoạn sông từ vị trí QT2 đến vị trí QT3 cho thấy chất lượng nước nằm ở mức độ còn tốt (Hình 3).

Vị trí QT3 đến QT4 đoạn sông này bị tác động bởi nước thải từ các khu công nghiệp trên địa bàn TP. Dĩ An, Thuận An và các cơ sở sản xuất trên địa bàn TP. HCM. So sánh các thông số chất lượng nước với quy chuẩn của QCVN 08-MT:2015/BTNMT ở cột A2 cho thấy ngoài pH và Coliform thì các thông số chất lượng nước khác hầu hết đều vượt so với quy chuẩn. Kết quả tính toán WQI của đoạn sông từ vị trí QT3 đến QT4 cho thấy chất lượng nước nằm ở mức độ trung bình. Giá trị WQI tại các đoạn sông có chiều hướng giảm dần từ phía thượng nguồn xuống hạ nguồn.



Hình 3. Giá trị WQI tại khu vực nghiên cứu phân bố theo không gian của các tháng trong năm 2021.

Vị trí QT5 nằm ở gần trạm bơm Hóa An về phía thượng nguồn là vị trí sử dụng cho lấy nước phục vụ cho sinh hoạt. Chỉ số WQI có giá trị trong khoảng 70-85 đạt ở mức độ trung bình đến tốt.

3.4. Đề xuất các giải pháp cải thiện, quản lý chất lượng nước sông Sài Gòn

Các giải pháp công trình để cải thiện và quản lý chất lượng nước sông Sài Gòn, bao gồm: Cải tiến quy trình, công nghệ hiện có để hạn chế ô nhiễm; Lắp đặt hệ thống xử lý nước thải đạt chuẩn tại các nhà máy, khu công nghiệp; Quy hoạch đồng bộ, cải tạo và phát triển hệ thống cơ sở hạ tầng kỹ thuật.

Các giải pháp phi công trình để cải thiện và quản lý chất lượng nước sông Sài Gòn, bao gồm: Giải pháp về kinh tế như thành lập các quỹ bảo vệ môi trường, áp dụng các ưu đãi về thuế đối với những doanh nghiệp, những dự án có các giải pháp tốt về bảo vệ môi trường, phạt hành chính đối với các cơ sở gây ô nhiễm môi trường, áp dụng thuế suất cao đối với những sản phẩm mà việc sản xuất chúng có tác động xấu đến môi trường, giảm hạn chế hoặc khuyến khích thương mại với việc bảo vệ môi trường; giải pháp về xã hội như huy động được quần chúng tham gia một cách tự giác vào công tác cải tạo ô nhiễm môi trường nước và có trách nhiệm bảo vệ môi trường vì lợi ích chung của toàn xã hội.

4. Kết luận

Khu vực đoạn giữa sông Sài Gòn hiện đang hứng chịu các nguồn ô nhiễm. Nồng độ các thông số COD, BOD₅, Amoni cao gây ô nhiễm cục bộ nguồn nước mặt do chịu tác động bởi lượng lớn nước thải sinh hoạt, nước mưa chảy tràn. Giá trị WQI tại các đoạn sông nghiên cứu có chiều hướng giảm dần từ phía thượng nguồn xuống hạ nguồn. Chỉ số WQI có giá trị trong khoảng 70-85 đạt ở mức độ chất lượng nước ở ngưỡng trung bình đến tốt.

Nghiên cứu đề xuất các giải pháp bảo vệ chất lượng nước sông Sài Gòn, trong đó tập trung vào hai nhóm giải pháp chính là công trình và phi công trình. Nhóm giải pháp phi công trình bao gồm hai giải pháp chính là giải pháp kinh tế và giải pháp xã hội. Nhóm giải pháp công trình tập trung vào việc đầu tư, cải tạo hệ thống xử lý nước thải hiện có đối với các nhà máy, doanh nghiệp hiện hữu và áp dụng các công nghệ, kỹ thuật mới cho những nhà máy, doanh nghiệp trong tương lai. Trên cơ sở các nhóm giải pháp, từ đây tới năm 2025 cần nhanh chóng triển khai các dự án bảo vệ môi trường tại trung lưu sông Sài Gòn chủ yếu tập trung ở thành phố Hồ Chí Minh và tỉnh Bình Dương để bảo vệ nguồn nước cấp cho Tp. Hồ Chí Minh.

Đóng góp của tác giả: Xây dựng ý tưởng nghiên cứu: N.V.H.; Xử lý số liệu: V.T.H., N.N.T.; Viết bản thảo bài báo: N.N.T., N.V.H.; Chỉnh sửa bài báo: N.V.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. Bằng, N.V.; Tuấn, L.N. Tính toán tải lượng ô nhiễm phát sinh từ các nguồn thải chính trên địa bàn huyện Cần Giò đến năm 2025. *Tạp chí Khoa học Đại học Sài Gòn* **2017**, 31(56), 20–30.
2. Hồng, N.V.; Linh, P.T. Nghiên cứu tính toán tải lượng của các nguồn ô nhiễm trên sông Sài Gòn. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* **2013**, 636, 6–11.
3. Tuấn, L.N.; Huy, Đ.T. Đánh giá khả năng chịu tải của nguồn nước vùng bờ thành phố Hồ Chí Minh đến năm 2030 và đề xuất giải pháp cải thiện. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* **2021**, 728, 1–13.
4. Hồng, N.V.; Hoàng, T.T. Nghiên cứu mối tương quan giữa mưa, dòng chảy và chất lượng nước ở khu vực trung lưu sông Sài Gòn. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* **2014**, 642, 12–15.
5. Quỳnh, N.P.; Hải, Đ.Đ.; Hoa, V.H. Phương pháp tính toán hệ số cấp nước cho nuôi tôm ven biển vùng Đồng bằng sông Cửu Long. *Tạp chí Khoa học và Công nghệ Thủy lợi* **2015**, 29, 1–8.
6. Tổng cục Thống kê. Dự báo dân số Việt Nam giai đoạn 2019-2069. 2020.
7. Thy, N.T.N. Đánh giá hiện trạng môi trường nước mặt sông Sài Gòn đoạn từ Rạch Cầu Ngang đến khu đô thị Thủ Thiêm và đề xuất các biện pháp quản lý. Khóa luận tốt nghiệp, Trường Đại học kỹ thuật công nghệ thành phố Hồ Chí Minh. 2011.
8. Cổng thông tin điện tử Chính phủ. Trang thành phố Hồ Chí Minh. Nguồn nước và thủy văn. 2011. Truy cập ngày 10/5/2022). <https://tphcm.chinhphu.vn/nguon-nuoc-va-thuy-van-1014577.htm>.
9. Nga, D.T.T.; Phùng, N.K. Phương pháp tự động tính toán chỉ số chất lượng môi trường tại thành phố Hồ Chí Minh. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* **2018**, 685, 11–21.

10. Deng, Y.; Binghui, Z.; Gou, F.; Kun, L.; Zicheng, L. Study on the total water pollutant load allocation in the Changjiang (Yangtze River) Estuary and adjacent seawater area. *Estuarine Coastal Shelf Sci.* **2010**, 86, 331–336.
11. Wijaya, D.S.; Juwana, I. Identification and Calculation of Pollutant Load in Ciwaringin Watershed, Indonesia: Domestic Sector. Proceeding of the 2nd Annual Applied Science and Engineering Conference (AASEC). 2017.
12. Juwana, I.; Nugroho, D.P. Calculation of Pollutant Load in Cipunagara River: Livestock Sector. *J. Civil Engi. Forum* **2020**, 6(2), 145–156.
13. Song, P.V.; Thanh, D.D.; Bảo, L.X. Kết nghiên cứu ảnh hưởng việc xả lũ hồ Dầu Tiếng đến hạ du sông Sài Gòn. *Tap chí Khoa học Thủy lợi* **2013**, 19, 55–66.
14. Hồng, N.V.; Bình, P.A.; Hiền, N.T.; Hải, C.T. Đánh giá ảnh hưởng của thủy triều đến chất lượng nước mặt vùng bờ thành phố Hồ Chí Minh. *Tap chí Khoa học Biến đổi khí hậu* **2022**, 22, 63–74.
15. Hồng, N.V. Biến đổi khí hậu và kế hoạch hành động ứng phó với Biến đổi khí hậu tại TP. Hồ Chí Minh. *Tap chí Khoa học Đại học Sài Gòn* **2022**, 80, 13–22.
16. Hồng, N.V. Xây dựng bản đồ môi trường đường bờ ứng phó sự cố tràn dầu trên địa bàn Huyện Cần Giờ. *Tap chí phát triển khoa học và Công nghệ, Chuyên san khoa học Tự nhiên* **2019**, 3(1), 29–37.
17. Hồng, N.V. Development of an integrated tool responding to accidental oil spills in riverine and shoreline areas of Ho Chi Minh City, Vietnam. *Environ. Impact Assess. Rev.* **2023**, 99, 106987. <https://doi.org/10.1016/j.ear.2022.106987>.
18. Nguyen, D.H.; Quan, N.H.; Quang, N.X.; Hieu, N.D.; Thang, L.V. Spatio-temporal pattern of water quality in the Saigon-Dong Nai River system due to waste water pollution sources. *Int. J. River Basin Manage.* **2019**, 19(2), 221–243. doi: 10.1080/15715124.2019.1700513.
19. Tổng cục môi trường. Quyết định về việc ban hành hướng dẫn kỹ thuật tính toán và công bố chỉ số chất lượng nước Việt Nam (VN_WQI), số 1460/QĐ-TCMT, 2019.
20. Bộ tài nguyên và môi trường. Quy chuẩn kỹ thuật quốc gia về chất lượng nước mặt. QCVN 08-MT:2023/BTNMT, 2023.

Study on the quality of surface water of Sai Gon - Dong Nai river

Nguyen Van Hong^{1*}, Nguyen Nhu Tue², Vu Thi Hien²

¹ Sub-Institute of Hydro-Meteorology and Climate Change;
nguyenvanhong79@gmail.com; ng.nh.tue@gmail.com

² Ho Chi Minh University of Natural Resources and Environment in Ho Chi Minh city;
vthien@hcmunre.edu.vn

Abstract: Surface water pollution is a global problem, affecting the health of humans and ecosystems if it was not strictly treated and controlled. In Vietnam, surface water resources in river regions in general and the Saigon River in especially are currently being exploited and used for many different purposes. However, many study results show that the water quality of the Saigon River is being deteriorated by wastewater sources discharged into the river. The objective of this study is to calculate and assess the current status surface water quality of Saigon Dong nai River. The criteria selected for assessing surface water quality include COD, BOD₅, Ammonium (NH₄⁺), Nitrate (NO₃⁻). The results show that surface water quality of these rivers will gradually decline.

Keywords: Pollution; Wastewater resources; Sai Gon river.

Table of content

- 1** Tuan, N.H.; Khanh, N.T.; Van, C.T. Modeling and assessing the salinity intrusion level in the river system of Tien Giang Province in the context of climate change and rising sea levels. *J. Hydro-Meteorol.* **2023**, 755(1), 1–10.
- 11** Huong, N.V.; Minh, N.H.; An, N.V.; Thao, T.T.T. Forecasting skipjack tuna fishing grounds in Vietnamese waters using the HSI model. *J. Hydro-Meteorol.* **2023**, 755(1), 11–18.
- 19** Tuan, N.N.; Huong, N.V.; Thao, D.T.P.; Huyen, N.T.T.; Van, C.T. Research of rain and air temperature in the gulf of Tonkin from satellite data. *J. Hydro-Meteorol.* **2023**, 755(1), 19–28.
- 29** Minh, P.T.; Tuong, T.T.H.; Dong, H.A. Application of weighted average method to correction orbit of storm Podul 2019. *J. Hydro-Meteorol.* **2023**, 755(1), 29–42.
- 43** Tuan, N.V.; Thao, D.T.P.; Hien, V.T.; The, N.T. Applying remote sensing technology in monitoring water level changes in border river basins to serve water resources management in Vietnam in the context of climate change. *J. Hydro-Meteorol.* **2023**, 755(1), 43–55.
- 56** Nu, H.T.T.; An, N.V.; Tuan, N.H.; Van, C.T. Research and application of simulation models and assessment of rainwater drainage capacity in District 7 - Ho Chi Minh City. *J. Hydro-Meteorol.* **2023**, 755(1), 56–66.
- 67** Kim, T.T.; Diem, P.T.M.; Thinh, N.N.; Quynh, H.P.P.; Thoa, L.T.K. Determining the vulnerability of agriculture to salinity intrusion in the Mekong Delta Provinces. *J. Hydro-Meteorol.* **2023**, 755(1), 67–82.
- 83** Anh, V.T.V.; Duong, P.T.T.; Van, C.T.; Thao, T.T.T. Assessing the ability to meet water demand in the Ba River basin in the context of climate change. *J. Hydro-Meteorol.* **2023**, 755(1), 83–94.
- 95** Anh, N.H.; Trong, T.V.; Son, T.V. Landsat 8 satellite imagery application in the assessment of the level of drought in Buon Ho town, Dak Lak Province. *J. Hydro-Meteorol.* **2023**, 755(1), 95–106.
- 107** Hong, N.V.; Tue, N.N.; Hien, V.T. Study on the quality of surface water of Sai Gon - Dong Nai River. *J. Hydro-Meteorol.* **2023**, 755(1), 107–114.