

TẠP CHÍ

KHÍ TƯỢNG THỦY VĂN

Vietnam Journal of Hydro - Meteorology

ISSN 2525 - 2208



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

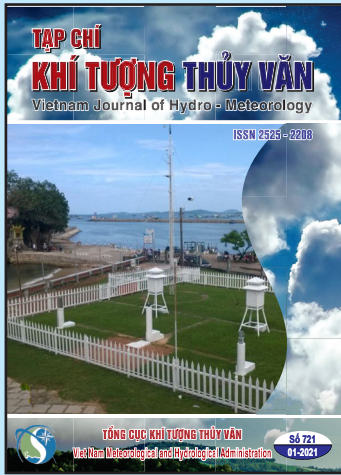
Số 721

01-2021

MỤC LỤC

Bài báo khoa học

- 1 **Bùi Mạnh Hà, Nguyễn Bá Thủy, Đỗ Đình Chiến:** Kết quả bước đầu dự báo tổ hợp sóng biển tại Việt Nam
- 11 **Nguyễn Thiên Phương Thảo, Phạm Quang Vinh, Nguyễn Thị Thu Hà, Nguyễn Thùy Linh:** Giám sát biến thiên mức độ phú dưỡng của hồ Hoàn Kiếm dựa vào hàm lượng Chlorophyll-a tính toán từ ảnh Sentinel-2A
- 21 **Nguyễn Bùi Phong, Mai Trọng Nhuận:** Đánh giá môi quan hệ của các chỉ số khả năng thích ứng với biến đổi khí hậu của hộ gia đình cận nghèo của thành phố Đà Nẵng
- 31 **Dương Thị Lợi, Đặng Phương Lan:** Ứng dụng mô hình đa chỉ tiêu nhằm đánh giá nguy cơ lũ quét trong bối cảnh biến đổi khí hậu toàn cầu. Trường hợp nghiên cứu cụ thể: miền núi Tây Bắc-Việt Nam
- 46 **Phạm Văn Chiến, Đỗ Thị Phương Linh, Nguyễn Thế Long, Nguyễn Minh Tuấn, Nguyễn Văn Khánh:** Nghiên cứu xây dựng phương án dự báo lũ Tiểu mãn dựa vào hình thái thời tiết gây mưa lũ khu vực Trung Trung Bộ
- 54 **Đình Ngọc Huy, Nguyễn Quốc Trinh:** Đánh giá sơ bộ tiềm năng năng lượng thủy triều tại khu vực biển Cần Giờ-Tp. Hồ Chí Minh
- 66 **Nguyễn Tiến Thành:** Phân tích và đánh giá quá trình xói lở và bồi tụ ở khu vực Cà Mau bằng ảnh viễn thám và GIS
- 80 **Trần Quang Trà, Nguyễn Phúc Hiếu, Đào Nguyên Khôi:** Đánh giá sự phân bố nồng độ bụi PM_{2.5} tại khu vực TP. HCM bằng công nghệ viễn thám-một số kết quả ban đầu



Q. TỔNG BIÊN TẬP
TS. BẠCH QUANG DŨNG

Thư ký - Biên tập
TS. Đoàn Quang Trí

Trị sự và Phát hành
Đặng Quốc Khánh

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

Giấy phép xuất bản

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

Tòa soạn

Số 8 Pháo Đài Láng, Đống Đa, Hà Nội
Điện thoại: 04.39364963; Fax: 04.39362711
Email: tapchikttv@gmail.com

Chế bản và In tại:

Công ty TNHH Đầu tư Nông Nghiệp Việt Nam
ĐT: 0243.562.4399 - 0912.565.222

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

Giá bán: 25.000 đồng

Bài báo khoa học

Kết quả bước đầu dự báo tổ hợp sóng biển tại Việt Nam

Bùi Mạnh Hà¹, Nguyễn Bá Thủy^{1*}, Đỗ Đình Chiến²

¹ Trung tâm Dự báo khí tượng thủy văn quốc gia, Tổng cục Khí tượng Thủy văn;
manhhamhc@gmail.com; thuybanguyen@gmail.com

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

* Tác giả liên hệ: thuybanguyen@gmail.com; Tel.: +84-975853471

Ban Biên tập nhận bài: 25/10/2020; Ngày phản biện xong: 21/11/2020; Ngày đăng: 25/01/2021

Tóm tắt: Thông tin dự báo xác suất ứng với các khoảng độ cao sóng rất có ý nghĩa trong công tác tìm kiếm cứu nạn cũng như các hoạt động trên biển và tại vùng ven biển. Khi sử dụng hệ thống dự báo tổ hợp sóng biển chúng ta có thể đưa ra những thông tin dự báo độ cao sóng trung bình tổ hợp, cực trị độ cao sóng và xác suất ứng với các khoảng độ cao sóng khác nhau. Trong nghiên cứu này, hiệu chỉnh mô hình SWAN tính sóng trong gió mùa và trong bão Kaemi (2000) được thực hiện dựa trên việc điều chỉnh hệ số ma sát đáy tính theo công thức JONSWAP (Cfjon) để lựa chọn hệ số ma sát đáy phù hợp. Kết quả kiểm nghiệm mô hình tính sóng trong điều kiện thời tiết bình thường và trong gió mùa cho thấy độ cao sóng hiệu dụng tính toán xu hướng thiên cao so với quan trắc. Sai số tuyệt đối trung bình khi tính sóng trong gió mùa tây nam là 0,38m và trong gió mùa đông bắc là 0,52m. Biên độ trung bình của sai số tính toán sóng trong gió mùa dao động từ 0,55–0,76m và trong thời tiết tốt là 0,49m. Nhằm mục tiêu áp dụng trong nghiệp vụ tại Trung tâm Dự báo khí tượng thủy văn quốc gia, quy trình vận hành hệ thống dự báo tổ hợp sóng biển đã được xây dựng. Những kết quả bước đầu thử nghiệm hệ thống dự báo tổ hợp sóng biển trong bão Damrey tháng 12/2017 đã được đưa vào Nam Trung Bộ với trường gió từ hệ thống dự báo tổ hợp 50 thành phần của Trung tâm Dự báo thời tiết hạn vừa Châu Âu (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts, ECMWF) được thực hiện.

Từ khóa: Dự báo tổ hợp; sóng biển; SWAN.

1. Mở đầu

Sóng biển là yếu tố hải văn được quan tâm bậc nhất đối các hoạt động kinh tế xã hội khu vực ven biển và giao thông hàng hải. Chính vì vậy mà các bản tin cảnh báo, dự báo sóng luôn được quan tâm không chỉ trong những thời điểm có thời tiết nguy hiểm trên biển (bão, áp thấp nhiệt đới, gió mùa mạnh...) mà hàng ngày để lập kế hoạch cho các hoạt động trên biển. Do đó, sóng biển đã được nghiên cứu trên nhiều phương diện khác nhau.

Phương pháp dự báo tổ hợp đã được áp dụng trong dự báo khí tượng và hải dương từ khá lâu. Những hạn chế trong kỹ năng dự báo của mô hình số dự báo khí tượng, hải văn và độ nhạy của các kết quả dự báo liên quan đến độ chính xác trong các trường ban đầu [1]. Hệ thống dự báo tổ hợp trong lĩnh vực khí tượng thủy văn, hải văn nói chung và dự báo tổ hợp sóng biển nói riêng đã được triển khai tại nhiều quốc gia trên thế giới. Kết quả đánh giá hệ thống dự báo tổ hợp sóng biển của NCEP, NOAA cho thấy khi sử dụng dự báo sóng trung bình tổ hợp hợp lý và sát thực tế hơn so với dự báo sóng chỉ sử dụng trường gió đầu vào đơn lẻ [2–3].

Tại Việt Nam, dự báo tổ hợp đã được thực hiện trong vòng gần 20 năm trở lại đây và chủ yếu là dự báo thời tiết [4–5]. Trong dự báo hải văn đã được đề cập đến trong một số nghiên

cứ, [6] đã tiến hành dự báo nước dâng bão theo phương pháp tổ hợp dựa trên 05 phương án về sai số vị trí bão đổ bộ. Trong khuôn khổ luận án tiến sĩ, [7] đã nghiên cứu tính toán sóng tổ hợp với các phương án về hiệu chỉnh mô hình và đồng hóa số liệu.

Nghiên cứu này trình bày một số kết quả hiệu chỉnh, kiểm nghiệm mô hình SWAN và thử nghiệm hệ thống dự báo tổ hợp sóng biển tại Trung tâm Dự báo KTTV quốc gia dựa trên mô hình sóng SWAN với trường gió đầu vào từ hệ thống dự báo tổ hợp 50 thành phần của ECMWF. Ngoài ra, để hỗ trợ dự báo viên trong nghiệp vụ, chương trình hỗ trợ hiển thị sản phẩm dự báo tổ hợp sóng biển đã được xây dựng.

2. Số liệu và phương pháp nghiên cứu

2.1. Số liệu

Số liệu địa hình, là yếu tố đầu vào quan trọng của mô hình tính toán, dự báo sóng biển. Độ tin cậy của mô hình phụ thuộc rất lớn vào số liệu địa hình, đặc biệt là khu vực ven bờ và vùng có địa hình phức tạp. Số liệu địa hình đáy biển khu vực Biển Đông được lấy từ số liệu ETOPO của NOAA, địa hình khu vực ven biển được số hóa từ bản đồ tỉ lệ 1/100.000.

Số liệu gió, trường gió tái phân tích của ECMWF với bước thời gian 6 giờ, độ phân giải $0,125^\circ \times 0,125^\circ$ (khoảng 14km x 14km) được thu thập vụ việc hiệu chỉnh, kiểm định mô hình sóng. Trường gió dự báo từ hệ thống dự báo tổ hợp 50 thành phần của ECMWF được sử dụng làm đầu vào cho mô hình dự báo tổ hợp sóng biển.

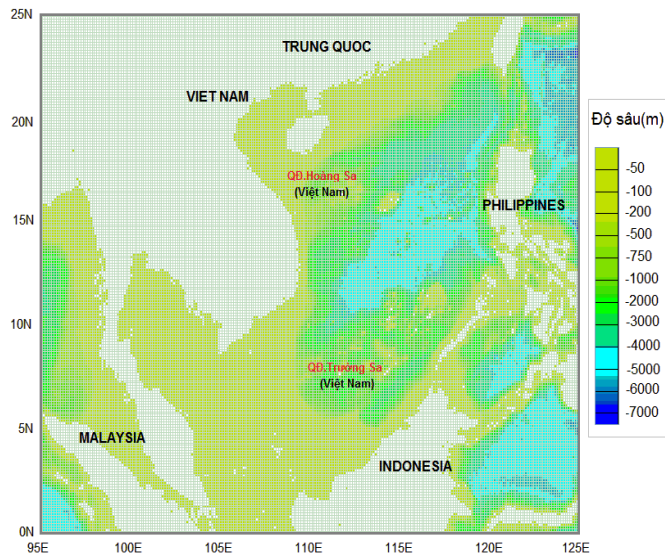
Số liệu sóng, sử dụng số liệu quan trắc từng giờ tại 03 trạm phao biển thuộc khuôn khổ dự án hợp tác giữa Chính phủ Na Uy và Việt Nam do Trung tâm Khí tượng Thủy văn biển (nay là Trung tâm Hải văn-Tổng cục Biển và Hải đảo Việt Nam) chủ trì thực hiện được thu thập để hiệu chỉnh mô hình. Số liệu sóng quan trắc tại trạm Bạch Hổ của của Vietsovpetro với bước thời gian 01 giờ được thu thập để kiểm định mô hình tính sóng trong gió mùa đông bắc, gió mùa tây nam và trong điều kiện thời tiết ổn định.

Bảng 1. Số liệu sóng quan trắc từng giờ sử dụng để hiệu chỉnh và kiểm nghiệm mô hình sóng.

TT	Tên trạm	Kinh độ	Vĩ độ	Thời gian thu thập	Số số liệu	Ghi chú
1	Phao biển số 4001	107°34'E	17°15'N	01h 26/10/2000 đến	143	Hiệu chỉnh mô hình tính sóng trong gió mùa
				23h ngày 31/10/2000		
				01h 22/08/2000 đến		
2	Phao biển số 4002	105°48'E	18°49'N	23h ngày 24/08/2000	71	Hiệu chỉnh mô hình tính sóng trong bão
				01h 22/08/2000 đến		
				23h ngày 24/08/2000		
3	Phao biển số 4003	109°17'E	15°37'N	01h 26/10/2000 đến	143	Hiệu chỉnh mô hình tính sóng trong gió mùa
				23h ngày 31/10/2000		
				0h ngày 15/01/2010 đến		
4	Bạch Hổ	107°58'59''E	09°45'22''N	0h ngày 30/01/2010	337	Kiểm nghiệm mô hình tính sóng trong gió mùa đông bắc
				0h ngày 15/07/2014 đến		
				0h ngày 30/07/2014	337	Kiểm nghiệm mô hình tính sóng trong gió mùa tây nam
				0h ngày 01/09/2015 đến		
0h ngày 15/09/2015	337	Kiểm nghiệm mô hình tính sóng trong thời tiết ổn định				

2.2. Miền tính, lưới tính

Miền tính cho mô hình SWAN dự báo tổ hợp sóng biển được thiết lập cho toàn Biển Đông được giới hạn từ 0° đến 25° độ vĩ Bắc và từ 95° đến 125° độ kinh Đông. Lưới tính được sử dụng là lưới vuông có độ phân giải ngang 14km x 14km. Độ sâu được sử dụng từ nguồn ETOPO của NOAA và chi tiết khu vực ven bờ là dữ liệu số hóa bản đồ, kế thừa từ đề tài nghiên cứu khoa học cấp Bộ Tài nguyên và Môi trường mã số TNMT.05.17. Hình 1 thể hiện trường độ sâu và lưới tính mô hình dự báo tổ hợp sóng biển.



Hình 1. Trường độ sâu và lưới tính mô hình dự báo tổ hợp sóng biển.

2.3. Phương pháp nghiên cứu

Sử dụng mô hình SWAN với 50 thành phần gió dự báo đầu vào khác nhau dự báo từ ECMWF để đưa ra các sản phẩm dự báo tổ hợp sóng biển. SWAN (*Simulating Waves Nearshore*) là mô hình tính toán, dự báo sóng thể hệ ba, tính toán phổ sóng hai chiều bằng cách giải phương trình cân bằng tác động sóng (trong trường hợp không có dòng chảy có thể dùng phương trình cân bằng năng lượng sóng) có tính tới sự lan truyền sóng từ vùng nước sâu vào vùng nước nông ven bờ, đồng thời trao đổi năng lượng với gió thông qua hàm nguồn cùng với sự tiêu tán năng lượng sóng. Cơ sở lý thuyết của mô hình SWAN được trình bày rất chi tiết trong các nghiên cứu [8].

Đánh giá kết quả hiệu chỉnh, kiểm định mô hình dựa trên các chỉ số đánh giá thông dụng như ME (Sai số trung bình, Mean Error), MAE (Sai số tuyệt đối trung bình, Mean Absolute Error-MAE) và RMSE (Căn bậc hai của sai số bình phương trung bình, Root Mean Square Error-RMSE). Các thành phần trung bình (hoặc cực đại) tổ hợp của các yếu tố sóng dự báo được tính trung bình (hoặc cực đại) của các thành phần dự báo với các trọng số như nhau.

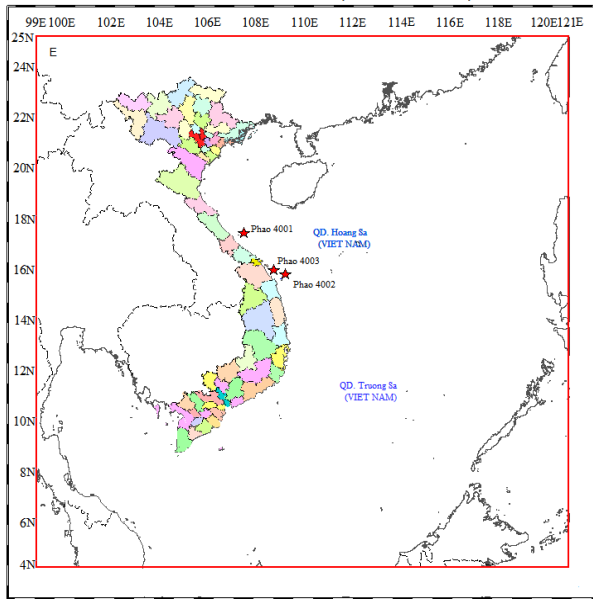
3. Kết quả và thảo luận

3.1. Hiệu chỉnh mô hình

Mô hình được hiệu chỉnh, kiểm nghiệm trước khi áp dụng dự báo thử nghiệm. Để hiệu chỉnh mô hình dữ liệu quan trắc sóng tại 03 trạm phao biển đã được sử dụng để so sánh, phân tích. Sơ đồ vị trí các trạm phao biển được thể hiện trên hình 2.

Trong quá trình hiệu chỉnh mô hình SWAN, các tham số chuẩn được giữ nguyên, và hệ số ma sát đáy sử dụng theo công thức của JONSWAP được điều chỉnh thay đổi từ 0,030 đến 0,040 với mỗi lần thay đổi là 0,001. Mô hình được hiệu chỉnh tính sóng trong gió mùa và tính sóng trong bão. Kết quả so sánh độ cao sóng giữa thực đo và tính toán bằng mô hình trong gió mùa với các hệ số ma sát đáy (C_{fjon}) khác nhau được thể hiện trên hình 3. Qua đó cho thấy, mô hình mô phỏng khá tốt sự biến thiên độ cao sóng theo thời gian với hệ số ma sát đáy

$C_{fjon}=0,037$ và $C_{fjon}=0,040$. Sai số trung bình (ME) âm khi $C_{fjon}=0,032$, nghĩa là trong lựa chọn này giá trị tính toán thiên thấp so với quan trắc.



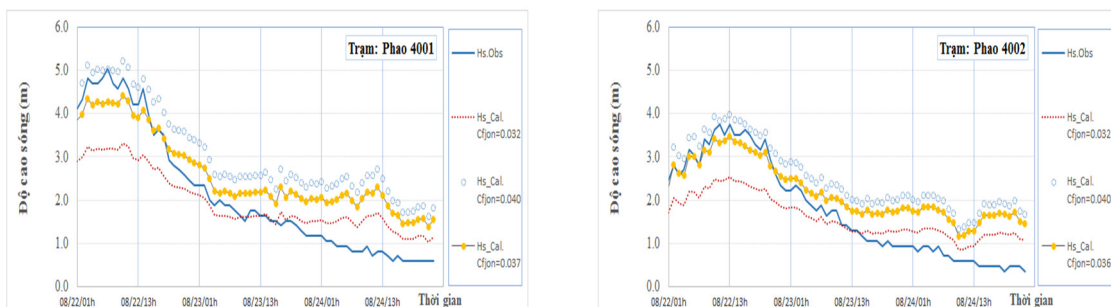
Hình 2. Sơ đồ vị trí trạm phao biển sử dụng số liệu để hiệu chỉnh mô hình.



Hình 3. Kết quả hiệu chỉnh mô hình tính sóng trong gió mùa đông bắc.

Trường hợp $C_{fjon}=0,040$ và $C_{fjon}=0,037$, sai số trung bình dương, điều đó cho thấy kết quả tính toán có xu thế cao hơn so với quan trắc. Khi lựa chọn $C_{fjon}=0,032$, sai số tuyệt đối trung bình (MAE) khi tính sóng trong gió mùa vào khoảng 0,36m và trong bão là 0,42m. Biên độ trung bình của sai số dự báo được đánh giá qua chỉ số RMSE cho thấy, khi chọn $C_{fjon}=0,032$ thì chỉ số RMSE tính sóng trong gió mùa dao động động từ 0,45–0,51m và trong bão từ 0,60–0,70m. Với trường hợp sử dụng $C_{fjon}=0,040$ thì các chỉ số đánh giá kết quả tính toán (ME, MAE, RMSE) đều khá lớn, chỉ số đánh giá RMSE dao động từ 0,74–0,83m khi tính sóng trong gió mùa và sóng trong bão. Khi lựa chọn $C_{fjon}=0,037$, nếu tính trung bình thì các sai số đều nhỏ hơn trường hợp $C_{fjon}=0,030$ và $C_{fjon}=0,040$. Đối với thời điểm xuất hiện độ cao sóng lớn nhất, kết quả tính toán khi $C_{fjon}=0,032$ nhỏ hơn rất nhiều so với quan trắc (biên độ dao động từ 1,05m đến 1,85m).

Khi lựa chọn $C_{fjon}=0,037$, trong trường hợp có gió mùa thì mô hình mô phỏng tương đối tốt thời điểm xuất hiện sóng lớn nhất, nhưng vẫn xu thế thấp hơn (trung bình trong gió mùa thấp hơn khoảng 0,43m và trong bão thấp hơn 0,52m). Chỉ số đánh giá MAE và RMSE khi tính sóng trong gió mùa với việc chọn $C_{fjon}=0,037$ đều thấp hơn khi chọn $C_{fjon}=0,032$ và $C_{fjon}=0,040$. So sánh kết quả hiệu chỉnh mô hình tính sóng trong bão được thể hiện trên hình 4.



Hình 4. Kết quả hiệu chỉnh mô hình tính sóng trong bão Kaemi (2000).

Chỉ số đánh giá kết quả hiệu chỉnh mô hình tính sóng trong bão Kaemi (năm 2000) được thể hiện trong bảng 2. Qua đó cho thấy, khi $C_{fjon}=0,040$ kết quả tính toán sóng trong bão cao hơn thực đo, trường hợp $C_{fjon}=0,032$ và $C_{fjon}=0,037$ độ cao sóng tính toán đều thấp hơn thực đo. Chỉ số đánh giá MAE với $C_{fjon}=0,032$ tại trạm phao 4001 là 0,7m và tại trạm phao 4002 là 0,63m (trung bình 0,67m). Chỉ số MAE tính trung bình tại cả 02 trạm phao với $C_{fjon}=0,040$ là 0,88m và $C_{fjon}=0,037$ là 0,59m. Chỉ số RMSE khi tính sóng trong bão với $C_{fjon}=0,032$ và $C_{fjon}=0,040$ cao hơn so khá nhiều so với trường hợp $C_{fjon}=0,037$. Tương tự như hiệu chỉnh tính sóng trong gió mùa, với $C_{fjon}=0,037$ mô hình tính toán sóng trong bão có kết quả tốt hơn so với trường hợp $C_{fjon}=0,032$ và $C_{fjon}=0,040$.

Bảng 2. Chỉ số đánh giá kết quả hiệu chỉnh mô hình tính sóng trong bão Kaemi.

Ma sát đáy	$C_{fjon}=0,032$			$C_{fjon}=0,040$			$C_{fjon}=0,037$		
	ME	MAE	RMSE	ME	MAE	RMSE	ME	MAE	RMSE
Chi số									
Phao 4001	-0,30	0,70	0,79	0,95	0,95	1,04	0,48	0,64	0,72
Phao 4001	-0,20	0,63	0,72	0,77	0,81	0,87	0,44	0,55	0,65
Trung bình	-0,25	0,67	0,76	0,86	0,88	0,96	0,46	0,59	0,69

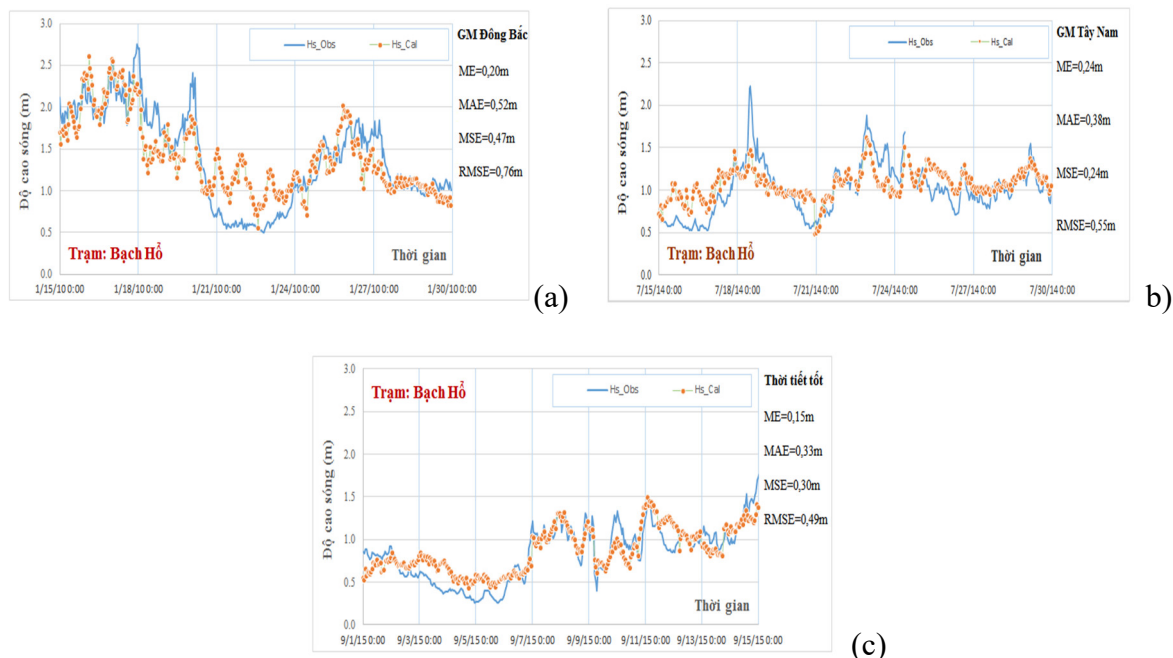
Qua hiệu chỉnh mô hình tính sóng trong gió mùa và trong bão cho thấy, đối với thời điểm xuất hiện sóng lớn nhất thì mô hình đều mô phỏng khá tốt với $c_{fjon}=0,040$ và $c_{fjon}=0,037$. Độ cao sóng hiệu dụng tính toán nhỏ hơn thực đo khi $c_{fjon}=0,032$ và xu hướng cao hơn thực đo khi $C_{fjon}=0,040$ và $c_{fjon}=0,037$. Với $C_{fjon}=0,037$, chỉ số đánh giá MAE và RMSE đều tốt hơn so với $C_{fjon}=0,032$ và $C_{fjon}=0,040$. Sai số tuyệt đối lớn nhất của độ cao sóng hiệu dụng (giá trị tuyệt đối lớn nhất giữa tính toán và thực đo, $\Delta H = |Max(F_i - O_i)|$); trong đó F_i là độ cao sóng tính toán tại thời điểm thứ i , O_i là độ cao sóng thực đo tại thời điểm thứ i) khi $C_{fjon}=0,032$ và $C_{fjon}=0,040$ đều khá lớn so với $C_{fjon}=0,037$. Kết quả hiệu chỉnh mô hình với cả hai trường hợp $C_{fjon}=0,032$ và $C_{fjon}=0,040$ cho thấy, khi tính sóng trong gió mùa trị số ΔH đều lớn hơn 1,23m và ΔH lớn hơn 1,84m khi tính sóng trong bão. Trong khi đó với $C_{fjon}=0,037$ thì $\Delta H = 0,85m$ khi tính sóng trong gió mùa và $\Delta H = 1,45m$ khi tính sóng trong bão. Như vậy, hệ số ma sát đáy $C_{fjon}=0,037$ cho kết quả tính sóng trong gió mùa cũng như tính sóng trong bão tốt hơn so với $C_{fjon}=0,032$ và $C_{fjon}=0,040$ và sẽ được lựa chọn. Hệ số ma sát đáy này được sử dụng để kiểm nghiệm mô hình SWAN.

3.2. Kiểm nghiệm mô hình

Mô hình SWAN sau khi đã hiệu chỉnh được kiểm nghiệm tính toán sóng trong hai đợt gió mùa (gió mùa đông bắc, gió mùa tây nam) và trong điều kiện thời tiết bình thường. Thời gian được lựa chọn kiểm nghiệm mô hình từ 0 giờ ngày 15/01 đến 0 giờ ngày 30/01/2010 (khi tính sóng trong gió mùa đông bắc), từ 0 giờ ngày 15/07 đến 0 giờ ngày 30/07/2014 (khi tính sóng trong gió mùa tây nam) và từ 0 giờ ngày 01/09 đến 0 giờ ngày 15/09/2015 (khi tính sóng trong điều kiện thời tiết bình thường). Để kiểm nghiệm mô hình cần có chuỗi dữ liệu sóng quan trắc có độ tin cậy cao. Do vậy, số liệu sóng quan trắc từng giờ tại Bạch Hổ được sử dụng để so sánh, phân tích đánh giá kết quả kiểm nghiệm mô hình.

Kết quả kiểm nghiệm mô hình tính sóng trong gió mùa và trong điều kiện thời tiết bình thường được đưa ra trên hình 5. Sai số trung bình khi kiểm nghiệm tính sóng trong gió mùa đều dương cho thấy kết quả tính toán xu hướng cao hơn quan trắc. Sai số tuyệt đối trung bình khi tính sóng trong gió mùa tây nam (MAE = 0,38m) thấp hơn so với tính sóng trong gió mùa đông bắc (MAE = 0,52 m), vào thời điểm sóng lớn nhất, trị số tính toán của mô hình thấp hơn thực đo là 0,76m. Phân tích chi tiết số liệu quan trắc từng giờ (từ 15–30/07/2014) tại trạm Bạch Hổ cho thấy, có thời điểm sóng tăng cao đột ngột, thời gian duy trì khoảng 1–2 giờ và

trùng với thời điểm có gió giật mạnh (cấp 6, cấp 7). Nhìn chung mô hình về xu thế cũng đã mô phỏng khá tốt sự biến đổi của độ cao sóng theo thời gian nhưng không mô phỏng được tốt độ cao sóng lúc sóng dâng cao đột ngột do gió giật. Cũng như trong gió mùa, kết quả tính sóng trong điều kiện thời tiết bình thường có xu thế thiên cao so với thực đo (ME = 0,15m), sai số tuyệt đối (MAE) là 0,33m.



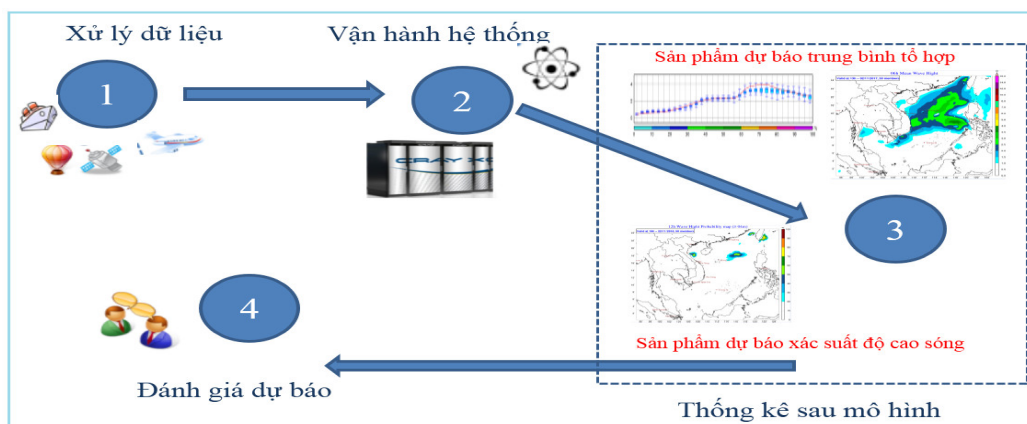
Hình 5. Kết quả kiểm nghiệm mô hình tính sóng (a): trong gió mùa đông bắc, tháng 01/2010; (b): trong gió mùa tây nam, tháng 07/2014 và (c): trong điều kiện thời tiết ổn định (tháng 09/2015).

3.3. Quy trình vận hành hệ thống dự báo tổ hợp sóng biển

Bước 1: Xử lý dữ liệu: Dữ liệu gió từ hệ thống dự báo tổ hợp 50 thành phần của ECMWF được tải trực tiếp từ website của ECMWF thông qua đoạn mã dạng Script, sau đó dữ liệu gió thu thập được chuyển theo định dạng chuẩn đầu vào cho mô hình SWAN bằng chương trình viết trên ngôn ngữ Fortran 90. Thông tin dự báo gió của ECMWF được thu thập với thời hạn dự báo 240 giờ, bước thời gian 06 giờ và được cập nhật 02 lần/ngày cho thời điểm dự báo 00UTC và 12UTC.

Bước 2: Vận hành hệ thống dự báo tổ hợp sóng biển: Để vận hành hệ thống dự báo tổ hợp sóng biển cần tài nguyên máy tính lớn và tốc độ xử lý cao nên mô hình SWAN đã được cài đặt trên siêu máy tính của Tổng cục Khí tượng Thủy văn phục vụ thử nghiệm dự báo tổ hợp sóng biển. Việc chạy mô hình SWAN được thực hiện dựa trên đoạn mã Script điều khiển các thao tác chính: Chuẩn bị số liệu đầu vào, chạy mô hình tại thời gian 00UTC và chạy mô hình tại lúc 12UTC. Sau khi mô hình chạy xong, kết quả dự báo tổ hợp sóng biển được cập nhật trực tiếp sang thư mục lưu trữ dữ liệu để phục vụ thực hiện các bước xử lý tiếp theo.

Bước 3: Tính toán thống kê sau mô hình: Chương trình tính toán thống kê sau mô hình đã được xây dựng để hỗ trợ công tác dự báo nghiệp vụ sóng biển. Chương trình sẽ hỗ trợ hiển thị kết quả dự báo sóng tại các điểm tính và theo dạng bản đồ trường. Để đưa ra biến trình dự báo chi tiết cho các điểm dự báo hoặc điểm bất kỳ trong miền dự báo từ hệ thống dự báo tổ hợp sóng biển, các thông tin dự báo về hướng sóng, chu kỳ sóng được thể hiện dưới dạng biểu đồ hộp và râu (*Box và Whisker*). Hệ thống dự báo tổ hợp sóng biển cũng đưa ra các bản đồ trường độ cao sóng trung bình, cực đại và xác suất độ cao sóng với từng ngưỡng độ cao sóng (ví dụ: >1m, >2m, >3m, >5m, >6m, >8m và >10m) tại từng thời điểm dự báo hoặc theo các hạn dự báo (ví dụ: 24 giờ, 48 giờ, 72 giờ và đến 10 ngày).



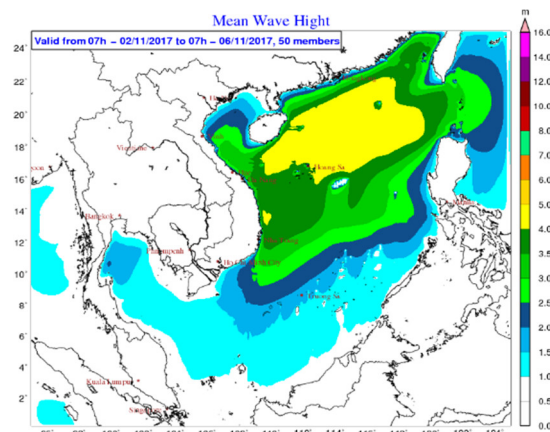
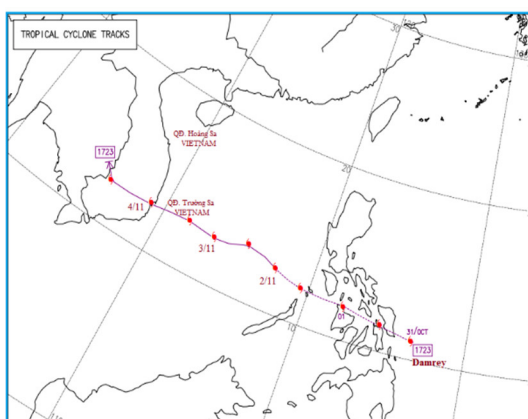
Hình 6. Sơ đồ quy trình vận hành hệ thống dự báo tổng hợp sóng biển.

Bước 4: *Đánh giá kết quả dự báo*: Trong dự báo nghiệp vụ, đánh giá dự báo là bước quan trọng để biết được độ tin cậy của bản tin dự báo. Trong quy trình này, đánh giá dự báo chỉ tiến hành đối với dự báo điểm và sử dụng độ cao sóng trung bình tổng hợp để so sánh với kết quả thực đo tại các trạm khí tượng hải văn. Các chỉ số được sử dụng để đánh giá là ME, MAE, MSE và RMSE.

3.4. Kết quả bước đầu thử nghiệm dự báo tổng hợp sóng biển trong bão

Đã thử nghiệm hệ thống dự báo tổng hợp sóng biển trong bão Damrey (năm 2017). Hệ thống dự báo tổng hợp sóng biển với 50 thành phần gió đầu vào sẽ đưa ra được tập hợp 50 dự báo thành phần tại các điểm lưới theo từng thời hạn dự báo, bước thời gian dự báo là 03 giờ.

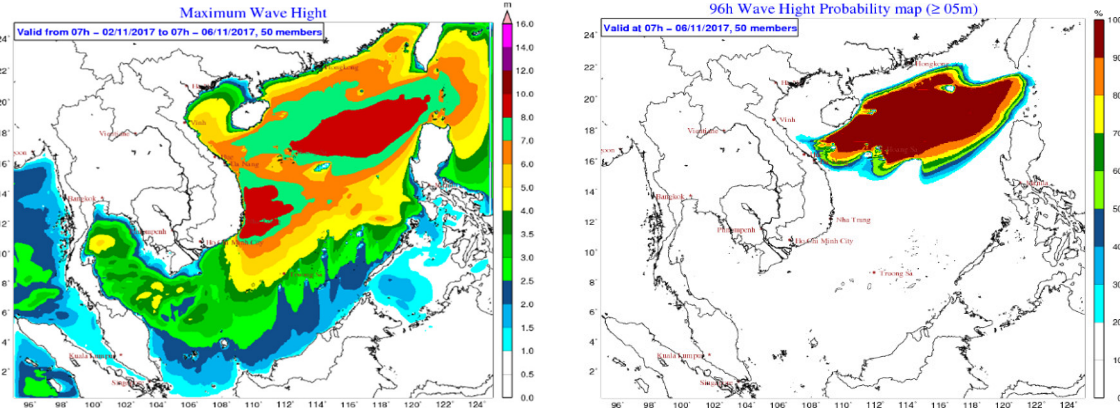
Trường độ cao sóng trung bình tổng hợp 50 thành phần, thời hạn dự báo 96 giờ, từ 07 giờ ngày 02/11 đến 07 giờ ngày 06/11/2017 được thể hiện trên hình 8. Kết quả dự báo cho thấy, độ cao sóng trung bình tổng hợp trong bão Damrey ở khu vực bắc, giữa Biển Đông và vùng biển ngoài khơi Nam Trung Bộ phổ biến trên 3,0m. Sản phẩm dự báo tổng hợp sóng biển cũng cho thấy, bão Damrey đã gây sóng lớn trên 2,5m dọc ven biển Trung Bộ và ngoài khơi phía nam Vịnh Bắc Bộ.



Hình 7. Quỹ đạo di chuyển của bão Damrey. Hình 8. Trường sóng trung bình tổng hợp trong bão Damrey.

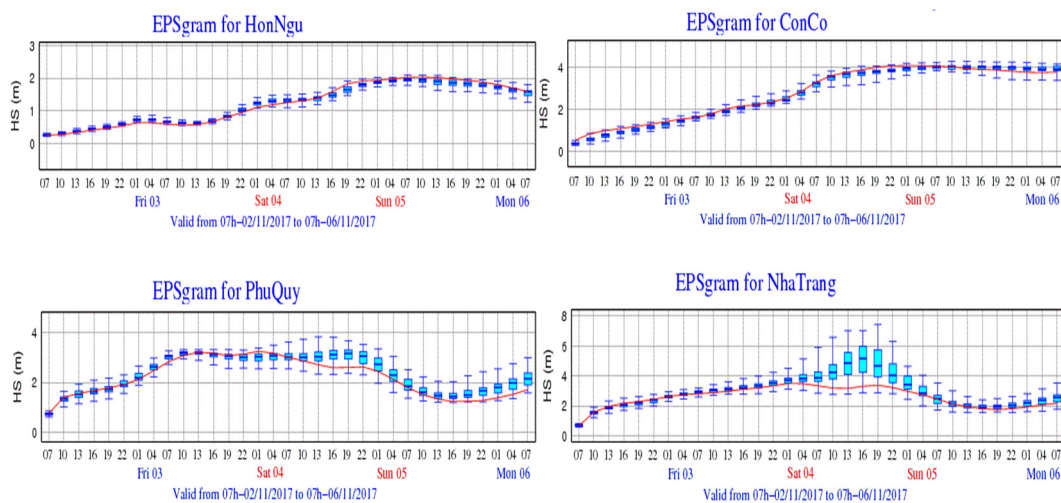
Trên hình 9 thể hiện trường độ cao sóng cực đại trong bão Damrey tính toán từ 50 thành phần dự báo tổng hợp. Phân bố xác suất độ cao sóng từ 5m trở lên trong bão Damrey (2017) được thể hiện trên hình 10. Theo sản phẩm dự báo tổng hợp sóng biển, trường sóng cực đại trong bão Damrey có thể lên đến trên 8,0m và xuất hiện ở khu vực giữa Biển Đông và vùng biển ngoài khơi Nam Trung Bộ. Tuy nhiên, trường sóng cực đại này có phân bố xác suất như thế nào thì phải dựa trên bản đồ phân bố xác suất theo các ngưỡng độ cao sóng. Nhận thấy

rằng, sản phẩm dự báo tổ hợp đưa ra độ cao sóng lớn nhất ở ngoài khơi Nam Trung Bộ đạt trên 8m nhưng phân bố xác suất cho thấy, xác suất sóng từ 5m trở lên ở vùng biển Nam Trung Bộ chỉ dưới 20%. Sóng trên 5m chủ yếu xuất hiện ở khu vực bắc và giữa Biển Đông với xác suất cao, trên 80%. Như vậy, dựa trên sản phẩm dự báo tổ hợp sóng biển dự báo viên có thể đưa ra thông tin dự báo sóng theo xác suất ứng với các ngưỡng độ cao sóng.



Hình 9. Trường sóng cực đại trong bão Damrey. **Hình 10.** Xác suất độ cao sóng $\geq 5m$ trong bão Damrey.

Bên cạnh sản phẩm dự báo trường, biểu đồ dự báo sóng tại các trạm hải văn, vị trí cảng biển, khu vực trọng điểm trên biển và ven bờ sẽ được thiết lập phục vụ dự báo điểm. Hình 11 thể hiện kết quả dự báo tổ hợp sóng biển tại Hòn Ngự, Cồn Cỏ, Phú Quý và Nha Trang với thời hạn dự báo 96 giờ, tính từ 07 giờ ngày 02/11/2017. Sản phẩm dự báo tổ hợp chỉ ra rằng, độ cao sóng trung bình tổ hợp trong bão Damrey tại Hòn Ngự dưới 2,5m và Cồn Cỏ dưới 4,5m. Độ cao sóng trung bình tổ hợp dự báo tại Phú Quý ở mức dưới 4m và Nha Trang là dưới 5m. Biên độ dao động của các độ cao sóng thành phần dự báo tại Hòn Ngự và Cồn Cỏ không lớn, độ tán của dự báo tổ hợp sóng biển tại Hòn Ngự và Cồn Cỏ khá nhỏ trong suốt thời hạn dự báo 96 giờ. Trong 36 giờ đầu, kết quả dự báo tổ hợp sóng biển tại Phú Quý và Nha Trang có độ tán khá nhỏ, biên độ dao động giữa độ cao sóng lớn nhất và nhỏ nhất cùng thời điểm khoảng dưới 1m. Với dự báo sau 36 giờ độ tán của dự báo tổ hợp sóng biển tại Phú Quý và Nha Trang khá lớn, chênh lệch giữa độ cao sóng lớn nhất và thấp nhất dự báo từ 50 thành phần khoảng gần 2m tại Phú Quý và trên 4m tại Nha Trang. Với những vị trí mà độ cao sóng có độ tán lớn, dự báo viên phải xem xét và có những phân tích trước khi đưa ra thông tin dự báo.



Hình 11. Biểu đồ độ cao sóng trong bão Damrey dự báo tại Hòn Ngự, Cồn Cỏ, Phú Quý và Nha Trang.

4. Kết luận

Mô hình SWAN đã được hiệu chỉnh để lựa chọn tham số, sau đó kiểm nghiệm tính sóng trong gió mùa, tính sóng trong điều kiện thời tiết ổn định trước khi tiến hành áp dụng thử nghiệm dự báo tổ hợp sóng biển trong bão. Bài báo này, mới chỉ tiến hành đánh giá kết quả hiệu chỉnh và kiểm nghiệm mô hình dựa trên chuỗi dữ liệu quan trắc sóng từng giờ có độ tin cậy cao. Để áp dụng trong nghiệp vụ tại Trung tâm Dự báo khí tượng thủy văn quốc gia, quy trình dự báo tổ hợp sóng biển đã được xây dựng. Nội dung đánh giá kết quả từng thành phần tham gia dự báo tổ hợp sóng biển và trung bình tổ hợp sẽ được thực hiện trong các nghiên cứu tiếp theo.

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

Lời cảm ơn: Nghiên cứu này được hỗ trợ bởi Đề tài nghiên cứu khoa học cấp bộ Bộ Tài nguyên và Môi trường “*Nghiên cứu xây dựng hệ thống dự báo tổ hợp sóng biển cho khu vực Biển Đông và ven bờ Việt Nam phục vụ phòng chống thiên tai*”, mã số TNMT.2018.05.28. Tập thể tác giả xin chân thành cảm ơn.

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. Hòa, V.V. Nghiên cứu phát triển hệ thống dự báo tổ hợp thời tiết hạn ngắn cho khu vực Việt Nam. Báo cáo tổng kết đề tài nghiên cứu khoa học cấp Bộ, 2012.
2. Chawla, A.; Cao, D.; Gerald,V.M.; Spindler, T.; Tolman,H.L. Operational implementation of a multi-grid wave forecasting system. 10th International Workshop on Wave Hindcasting and Forecasting & Coastal Hazards Symposium, Turtle Bay, Oahu, Paper B3, 2007.
3. Chen, H.S. Ensemble prediction of ocean waves at NCEP. Proceedings of 28th Ocean Engineering Conference in Taiwan, NSYSU, 2006.
4. Mai, N.C.; Hằng, N.T. Phương pháp dự báo tổ hợp và khả năng ứng dụng ở Việt Nam. *Tap chí Khí tượng Thủy văn* **2004**, 518, 30–37.
5. Hòa, V.V. và cs. Nghiên cứu ứng dụng dự báo tổ hợp cho một số trường khí tượng dự báo bão. Báo cáo tổng kết đề tài nghiên cứu khoa học cấp Bộ, 2008.
6. Thủy, N.B. Nghiên cứu lựa chọn mô hình dự báo nghiệp vụ nước dâng do bão vào dự báo nghiệp vụ tại Việt Nam. Báo cáo tổng kết đề tài nghiên cứu khoa học cấp, 2016.
7. Thành, N.T. Nghiên cứu ứng dụng phương pháp đồng hóa số liệu phục vụ mô hình dự báo sóng. Luận án Tiến sĩ Hải dương học, 2020.
8. SWAN team. Swan user manual, Delft University of Technology, 2016.

Some first results of using an ensemble approaching for the wave prediction in Vietnam

Bui Manh Ha¹, Nguyen Ba Thuy^{1*}, Do Dinh Chien²

¹ National Center for Hydro–Meteorological Forecasting, Viet Nam Meteorological and Hydrological Administration; manhhamhc@gmail.com; thuybanguyen@gmail.com

²Vietnam Institute of Meteorology Hydrology and Climate Change;chiendd@gmail.com

Abstract:The information on the probability of wave heights is very important in search and rescue tasks as well as activities at sea and in coastal areas. With an ensemble predict system of waves, we can provide predictions of mean, max or min ensemble wave heights, and probabilities for different wave heights. In this study, the adjustment of SWAN model to simulate waves during monsoons and typhoon Kaemi (2000) is based on the adjustment of the coefficient of bottom friction calculated using the formula JONSWAP (C_{fjon}) to choose the best coefficient of friction. The results of the wave model validation in normal weather conditions and monsoon show that the wave heights are higher compared to the observation. The average absolute error in southwest monsoon is 0.38m and in northeast monsoon is 0.52 m. The average amplitude of the error in the monsoon ranges from 0.55 to 0.76 m and in good weather is 0.49 m. For the purpose of applying this on the operational forecasting at the National Center for Hydro–Meteorological Forecasting, the operating process of the ensemble forecasting system has been built. The initial experimental results of the ensemble wave forecasting system during Typhoon Damrey in December 2017 landing in the Southern Central of Vietnam with the wind field from the 50 component ensemble atmospheric forecasting system from the European Centre for Medium–Range Weather Forecasts (ECMWF) is implemented.

Keywords: Ensemble Prediction System; Sea wave; SWAN.

Bài báo khoa học

Giám sát biến thiên mức độ phú dưỡng của hồ Hoàn Kiếm dựa vào hàm lượng Chlorophyll-a tính toán từ ảnh Sentinel-2A

Nguyễn Thiên Phương Thảo¹, Phạm Quang Vinh², Nguyễn Thị Thu Hà^{1,*}, Nguyễn Thùy Linh^{1,3}

¹ Khoa Địa chất, Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, Đại học Quốc gia Hà Nội; nguyenthienphuongthao_t57@hus.edu.vn

² Viện Địa lý, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam; pqvinh@ig.vast.vn

³ Khoa Địa lý, Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, Đại học Quốc gia Hà Nội; nguyenthuylinh@hus.edu.vn

* Tác giả liên hệ: hantt_kdc@vnu.edu.vn; Tel.: +84-2435587062

Ban Biên tập nhận bài: 12/11/2020; Ngày phản biện xong: 04/12/2020; Ngày đăng bài: 25/01/2021

Tóm tắt: Nghiên cứu này nhằm giám sát sự dao động của chỉ số dinh dưỡng (trophic state index: TSI) của nước hồ Hoàn Kiếm dựa vào hàm lượng chlorophyll-a (Chla) tính toán từ ảnh vệ tinh Sentinel 2A (S2A) thu nhận được từ tháng 9 năm 2019 đến tháng 8 năm 2020. Kết quả khảo sát từ 5 điểm đo tại hồ Hoàn Kiếm vào 5 thời điểm khác biệt trong năm cho thấy hàm lượng Chla của nước hồ dao động trong khoảng 114,8 $\mu\text{g/L}$ đến hơn 700 $\mu\text{g/L}$ và có tương quan cao với tỷ số phản xạ mặt nước ứng với kênh cận hồng ngoại (B5) trên kênh đỏ (B4) của ảnh S2A ($R^2 = 0,82$) do đó có thể tính toán từ tỷ số này bằng phương trình hàm mũ với sai số trung bình đã kiểm chứng là 29,4 $\mu\text{g/L}$. Giá trị TSI(Chla) tính toán từ ảnh và thực tế cho giá trị khá tương đồng, dao động ở mức từ 77 đến 95 tương ứng với mức siêu phú dưỡng, cho thấy tiềm năng cao của việc giám sát mức độ phú dưỡng của hồ từ ảnh S2A. Theo không gian, giá trị TSI(Chla) thay đổi không nhiều, thường tập trung ở mức cao xung quanh khu vực bờ phía bắc và phía nam. Giá trị TSI(Chla) tính toán từ ảnh S2A có sự thay đổi nhẹ theo mùa, cao vào đầu hè (tháng 6) và đầu đông (tháng 10, 12). Để giám sát được chi tiết hơn biến thiên giá trị TSI(Chla) cần khai thác thêm các vệ tinh khác như Landsat 8 và Sentinel 2B để tăng tần suất giám sát.

Từ khóa: Phú dưỡng; Hồ Gươm; Chlorophyll-a; TSI; Sentinel 2A.

1. Mở đầu

Ứng dụng công nghệ viễn thám trong đánh giá chất lượng nước đã được ứng dụng rộng rãi và đạt được nhiều thành tựu quan trọng trong hơn 40 năm qua [1–4]. Hầu hết các nghiên cứu đều được xây dựng và phát triển dựa trên mối quan hệ giữa đặc tính quang học của nước với các thông số chất lượng nước như tổng chất rắn lơ lửng, độ sâu thấu quang hay hàm lượng Chlorophyll-a (Chla) [5].

Hiện nay, tình trạng phú dưỡng đang xảy ra thường xuyên và được đánh giá là một trong những mối đe dọa hàng đầu đến các hệ sinh thái thủy sinh ở các hồ đô thị trên khắp thế giới [6]. Cũng như các hồ đô thị khác trên thế giới, các hồ đô thị ở Hà Nội hiện nay đang đứng trước nguy cơ suy thoái do đô thị hóa, biến đổi khí hậu, ô nhiễm và đặc biệt là hiện tượng phú dưỡng. Hồ Hoàn Kiếm là một trong những hồ nước ngọt tự nhiên có vai trò đặc biệt quan trọng trong đời sống văn hóa–chính trị của người dân Hà Nội, là biểu tượng của thành phố

cũng đang phải đối mặt với tình trạng phú dưỡng nghiêm trọng, đây là nhận định được đưa ra dựa trên việc xác định hàm lượng các chất dinh dưỡng như Phốtpho tổng số và Nitơ tổng số trong nước [7], cũng như mật độ tảo đo được [8]. Do đó, việc phát triển và ứng dụng các kỹ thuật định lượng vào giám sát hiện tượng phú dưỡng của hồ Hoàn Kiếm là vô cùng cần thiết để quản lý môi trường nước hồ cũng như duy trì đa dạng sinh học, bảo tồn các loài gen quý.

Đã có nhiều nghiên cứu tiên hành đánh giá tình trạng phú dưỡng của các hồ đô thị, trong đó phổ biến nhất là sử dụng chỉ số trạng thái phú dưỡng (*TSI–Trophic State Index*). [9] đã đề xuất tính toán TSI của hồ thông qua 1 trong 3 đại lượng: độ sâu thấu quang, hàm lượng Chla và Phốtpho tổng số. Trong số các đại lượng trên, hàm lượng Chla hay còn gọi chất diệp lục là thông số chính phản ánh thực vật phù du trong nước và thường được sử dụng để đánh giá mức độ phú dưỡng của thủy vực [10] vì nó phản ánh trực tiếp sức khỏe của hệ sinh thái thủy sinh hơn là các chỉ số thứ cấp như tỉ số của Nitơ tổng số với Phốtpho tổng số. Ứng dụng công nghệ viễn thám để tính toán hàm lượng Chla là một trong những ứng dụng cơ bản nhất được sử dụng phổ biến trong giám sát chất lượng nước [11], do vậy, trong nghiên cứu này, Chla được lựa chọn là thông số dùng đánh giá mức độ phú dưỡng của Hồ Hoàn Kiếm bằng phương pháp viễn thám. Đã có rất nhiều thuật toán sử dụng các kênh phổ riêng lẻ hay tỷ số các kênh phổ phản xạ từ các dữ liệu vệ tinh đa phổ khác nhau để tính toán Chla trong nước [12], điển hình như thuật toán dựa trên tỷ lệ kênh phổ xanh lục/xanh lam [13–14], xanh lục/đỏ [15–16] hay như tỷ lệ kênh phổ cận hồng ngoại (NIR)/đỏ [17–18] áp dụng vào vùng nước ven biển hay hồ nội địa. Tuy nhiên, Hồ Hoàn Kiếm là một hồ có điều kiện môi trường nước rất đặc trưng với nồng độ sinh khối cao, giá trị Chla thường ở mức từ 129 $\mu\text{g/L}$ đến hơn 500 $\mu\text{g/L}$ dẫn đến tình trạng xuất hiện liên tục hiện tượng “tảo nở hoa” [19] nên việc xây dựng thuật toán tính toán Chla từ các dữ liệu vệ tinh còn nhiều tồn tại. Đặc biệt, do kích thước của hồ Hoàn Kiếm tương đối nhỏ nên các dữ liệu ảnh vệ tinh sử dụng cần hội tụ đủ sự phù hợp của cả hai yếu tố: độ phân giải không gian và độ phân giải bức xạ.

Dữ liệu ảnh vệ tinh Sentinel 2A (S2A) của Cơ quan vũ trụ Châu Âu được đánh giá là dữ liệu ưu việt để giám sát phú dưỡng các hồ đô thị với độ phân giải không gian cao (10 m), chu kỳ thu dữ liệu ngắn (10 ngày), miễn phí. Đặc biệt với thiết kế chuyên biệt cho vùng cận hồng ngoại (có nhiều điểm tương đồng với ảnh vệ tinh MERIS – vệ tinh được ESA phát triển trước đó để giám sát cho môi trường biển), S2A được đánh giá là một dữ liệu phù hợp để nghiên cứu, giám sát môi trường nước đô thị, đảm bảo tính khả thi và hiệu quả về mặt chi phí.

Nghiên cứu này nhằm đánh giá và giám sát mức độ phú dưỡng Hồ Hoàn Kiếm thông qua việc tính toán Chla và giá trị TSI(Chla) từ ảnh vệ tinh S2A. Trong đó, phương trình tính toán Chla từ các thông số ảnh S2A được xây dựng dựa trên kết quả đo Chla và phổ phản xạ mặt nước đo cùng thời kỳ ở nhiều thời điểm khảo sát khác nhau. Phương trình này sau đó được áp dụng vào các ảnh S2A đã được xử lý để tính toán được giá trị TSI(Chla) của nước hồ làm cơ sở đánh giá mức độ phú dưỡng của hồ và sự thay đổi mức độ phú dưỡng nước hồ theo thời gian.

2. Phương pháp nghiên cứu

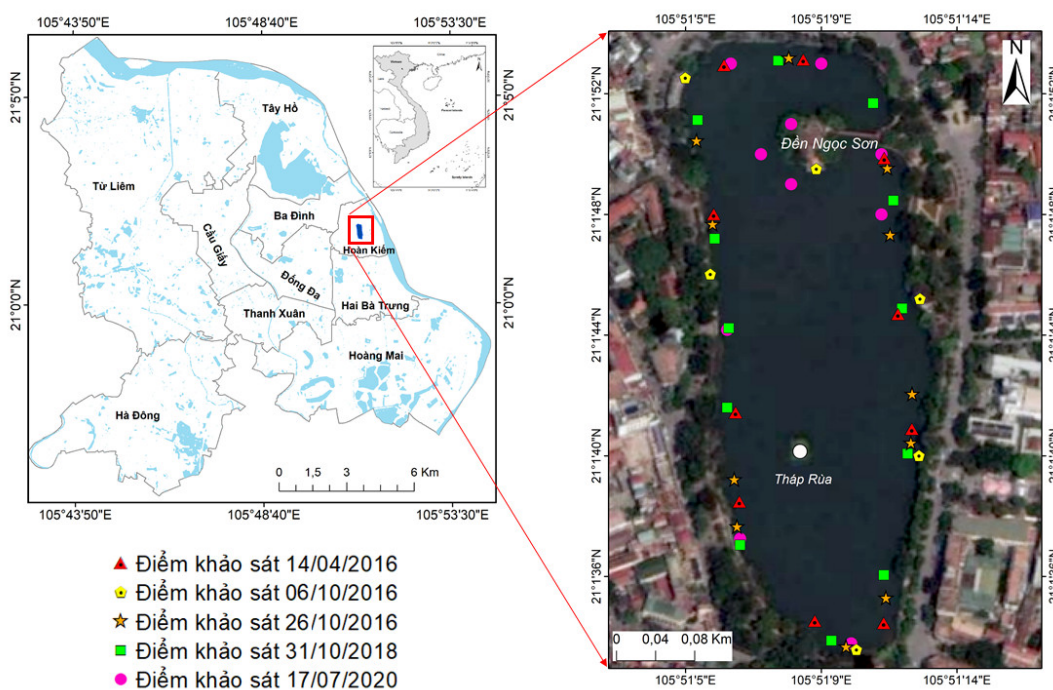
2.1 Phương pháp lấy mẫu và đo phổ hiện trường

Tổng số 50 điểm khảo sát được thực hiện tại hồ Hoàn Kiếm vào 3 đợt khảo sát: đợt 1: ngày 14/04/2016, 06/10/2016 và ngày 26/10/2016; đợt 2: ngày 31/10/2018; và đợt 3: ngày 17/07/2020. Tại mỗi điểm khảo sát, nhóm nghiên cứu đều tiến hành đo phổ phản xạ (ρ_w), lấy mẫu nước để phân tích hàm lượng Chla trong phòng thí nghiệm và định vị bằng GPS (Hình 1).

Theo đó, phổ phản xạ mặt nước được đo bằng máy đo bức xạ hiện trường GER1500 có dải phổ từ 350 nm đến 1050 nm với độ phân giải kênh phổ là 1,5 nm, theo phương pháp của Mobley [20], trong đó sự ảnh hưởng của hiện tượng lấp lánh mặt nước được hiệu chỉnh dựa

vào sự loại trừ phổ phản xạ của bầu trời. Phổ phản xạ mặt nước sau đó được chuẩn hóa về phổ phản xạ ứng với các kênh phổ của ảnh S2A theo phương pháp của Baris [21].

Cùng với đó, các mẫu nước mặt hồ Hoàn Kiếm được lấy ở độ sâu từ 0–50 cm và đựng trong chai sạch, sẫm màu với dung tích 1 lít, sau đó được bảo quản lạnh và vận chuyển đến phòng thí nghiệm. Trong phòng thí nghiệm, hàm lượng Chla được xác định dựa theo phương pháp tiêu chuẩn SMEWH 10200H:2012 của APHA [22].



Hình 1. Vị trí Hồ Hoàn Kiếm trong các điểm khảo sát hồ Hoàn Kiếm trong 5 đợt khảo sát trên nền ảnh vệ tinh GeoEyes thu được ngày 05/08/2020.

Cuối cùng, mức độ phú dưỡng của nước hồ được xác định thông qua TSI được tính toán từ Chla theo công thức [23], cụ thể như sau:

$$TSI(Chla) = 9,81 * \ln(Chla) + 30,6 \quad (1)$$

Trong đó TSI(Chla) là đại lượng không thứ nguyên, Chla có đơn vị là $\mu\text{g/L}$. Dựa vào giá trị TSI(Chla), trạng thái phú dưỡng của hồ được chia thành 4 mức độ: 1) nghèo dinh dưỡng (oligotrophy, $TSI(Chla) < 30$); 2) dinh dưỡng trung bình (mesotrophy, $TSI(Chla) = 30$ đến 50); 3) phú dưỡng (eutrophy, $TSI(Chla) = 50$ đến 70); 4) siêu phú dưỡng (hypereutrophy, $TSI(Chla) > 70$).

2.2. Phương pháp xử lý ảnh vệ tinh

Vệ tinh S2A chụp ảnh khu vực Hà Nội vào khoảng 3:20 GMT (tương ứng với 10:20 giờ địa phương) trong hệ tọa độ WGS84, múi 48N với độ phân giải không gian là 10 m, 30 m và 60 m. Trong nghiên cứu này, 10 cảnh ảnh S2A thu được vào các thời điểm khác nhau, có độ che phủ mây dưới 10% được tải miễn phí từ trang web của ESA (<https://scihub.copernicus.eu/dhus/>) được sử dụng (Bảng 1).

Tất cả các cảnh ảnh sử dụng đã được hiệu chỉnh bức xạ và hiệu chỉnh khí quyển để đưa dữ liệu về giá trị phản xạ tại mặt đất (BOA–reflectance) bởi ESA trước khi đến tay người sử dụng. Do vậy, trong nghiên cứu này, phương pháp xử lý ảnh chủ yếu là hiệu chỉnh hình học. Theo đó, các cảnh ảnh được đồng nhất độ phân giải không gian về 10 m sử dụng công cụ Resampling trong phần mềm SNAP (*Sentinel Application Platform*). Dữ liệu mặt nước sau

đó được chiết tách và tính toán TSI(Chla) dựa vào các công cụ tính toán của phần mềm ENVI 5.3.

Bảng 1. Các ảnh vệ tinh sử dụng trong nghiên cứu.

STT	Các ảnh vệ tinh sử dụng trong nghiên cứu	Ngày
1	S2A_MSIL2A_20190921T032541_N0213_R018_T48QWJ_20190921T073132	21/09/2019
2	S2A_MSIL2A_20191001T032541_N0213_R018_T48QWJ_20191002T155146	01/10/2019
3	S2A_MSIL2A_20191210T033131_N0213_R018_T48QWJ_20191210T070124	10/12/2019
4	S2A_MSIL2A_20200218T032811_N0214_R018_T48QWJ_20200218T072701	18/02/2020
5	S2A_MSIL2A_20200309T032551_N0214_R018_T48QWJ_20200309T073920	09/03/2020
6	S2A_MSIL2A_20200428T032541_N0214_R018_T48QWJ_20200428T073032	28/04/2020
7	S2A_MSIL2A_20200518T032541_N0214_R018_T48QWJ_20200518T073303	18/05/2020
8	S2A_MSIL2A_20200627T032541_N0214_R018_T48QWJ_20200627T073329	27/06/2020
9	S2A_MSIL2A_20200717T032541_N0214_R018_T48QWJ_20200717T072805	17/07/2020
10	S2A_MSIL2A_20200826T032541_N0214_R018_T48QWJ_20200826T073212	26/08/2020

2.3. Phương pháp phân tích thống kê và bản đồ

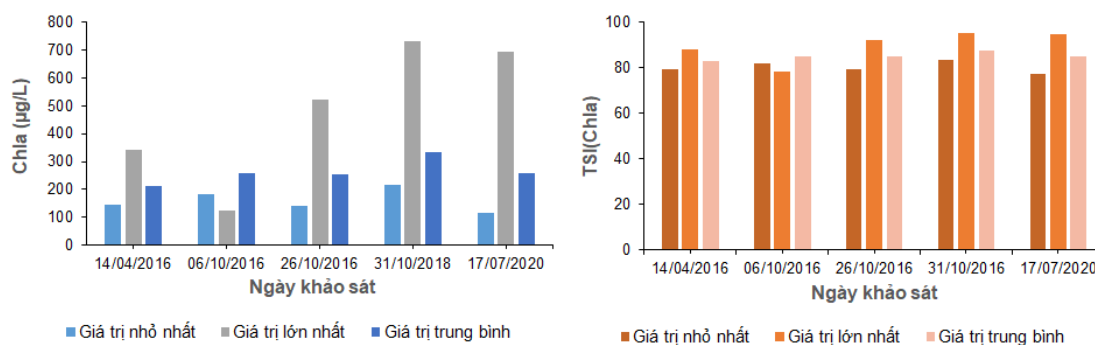
Các phép phân tích hồi quy, thống kê cơ bản, tính toán độ lệch, sai số trong nghiên cứu được thực hiện bằng phần mềm SPSS Statistics 20. Hệ số tương quan sử dụng trong bài báo là hệ số Pearson. Các phép phân tích đều dựa trên 95% phân bố của các chuỗi số.

Bản đồ phân bố không gian của TSI(Chla) được thành lập dựa trên phương pháp phân bố xác suất của biến ngẫu nhiên sử dụng modul phân mảnh mật độ (density slicing) trong ENVI 5.3 và biên tập trong ArcGIS 10.3.

3. Kết quả và thảo luận

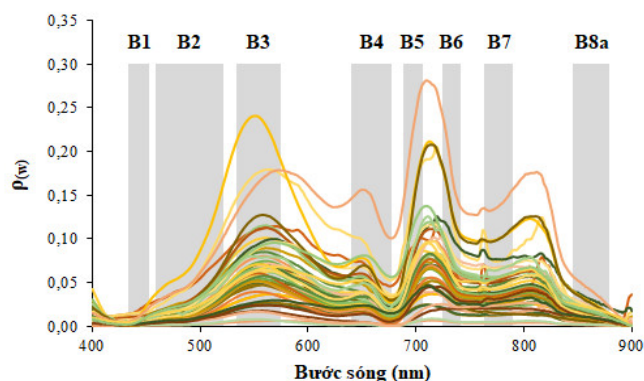
3.1. Đặc trưng môi trường nước hồ Hoàn Kiếm

Kết quả phân tích hàm lượng Chla trong nước hồ Hoàn Kiếm cho thấy hàm lượng Chla dao động trong khoảng từ 114,8 µg/L cho đến hơn 700 µg/L, trung bình khoảng 259 µg/L, độ lệch chuẩn tại mỗi điểm lên đến 121,1 µg/L (Hình 2A). Theo đó, giá trị TSI(Chla) thực tế của nước hồ Hoàn Kiếm dao động từ 77 đến 95, trung bình đạt 84 (Hình 2B). Như vậy, dựa theo thang đánh giá mức độ phú dưỡng của hồ đề xuất bởi [23] thì nước hồ tại những điểm đo ở các thời điểm khác nhau đều ứng với mức siêu phú dưỡng – mức phú dưỡng cao nhất, nhạy cảm với hiện tượng tảo nở hoa [23]. Theo thời gian, giá trị TSI(Chla) của hồ Hoàn Kiếm đạt mức cao nhất là 95 vào tháng 7 năm 2020.



Hình 2. A) Kết quả đo hàm lượng Chla của nước hồ Hoàn Kiếm trong 5 lần khảo sát; B) Giá trị TSI(Chla) tính toán tương ứng với hàm lượng Chla đo được.

Hình 3 thể hiện phổ phản xạ của mặt nước hồ Hoàn Kiếm tại mỗi điểm đo. Theo đó, tất cả các đường cong phổ cho thấy độ phản xạ cực đại của nước hồ nằm trong dải sóng từ 426–479 nm và 670–683 nm với 4 điểm cực đại lần lượt tương ứng ở các bước sóng từ 558–562 nm, 643–645 nm, 713–715 nm, và 804–807 nm. Dựa trên vị trí phân bố của các kênh phổ ảnh S2A (Hình 3), các kênh phổ ứng với điểm cực đại của phổ phản xạ là kênh 3 (xanh lục) và kênh 5 (cận hồng ngoại), trong khi kênh 1 (xanh lục) và kênh 4 (đỏ) gần với điểm cực tiểu của phổ phản xạ mặt nước.



Hình 3. Đặc trưng phổ phản xạ mặt nước (ρ_w) đo tại hồ Hoàn Kiếm vào 5 lần khảo sát so với vị trí các kênh phổ ảnh S2A. B1 đến B8a ứng với vị trí các kênh phổ của ảnh S2A từ 1 đến 8a.

3.2. Mối quan hệ giữa hàm lượng Chla, $TSI(Chla)$ và phổ phản xạ mặt nước

Việc lựa chọn thành công các mô hình đơn kênh phổ hay các tỷ lệ kênh phổ để tính toán Chla phụ thuộc phần lớn vào các đặc tính hóa sinh của nước mà các đặc tính này được thể hiện rất rõ qua phổ phản xạ của nước. Trong nghiên cứu này, các thuật toán phổ biến thường dùng để ước tính hàm lượng Chla trong vùng nước siêu phú dưỡng như thuật toán dựa trên tỷ lệ dải phổ xanh lục/đỏ, cận hồng ngoại/đỏ hay xanh lam/xanh lục [11] sẽ được phân tích và đánh giá dựa trên dữ liệu của 38 điểm đo trong 4 ngày khảo sát. Kết quả phân tích bước đầu cho thấy, trong tất cả các trường hợp, phương trình đường cong có giá trị tương quan cao và sai số nhỏ nhất là đường cong hàm mũ (Bảng 2). Điều này một lần nữa khẳng định sự phù hợp của hàm số mũ để tính toán các thành phần chất lượng nước từ dữ liệu viễn thám đã được chứng minh trong nghiên cứu trước đó [24].

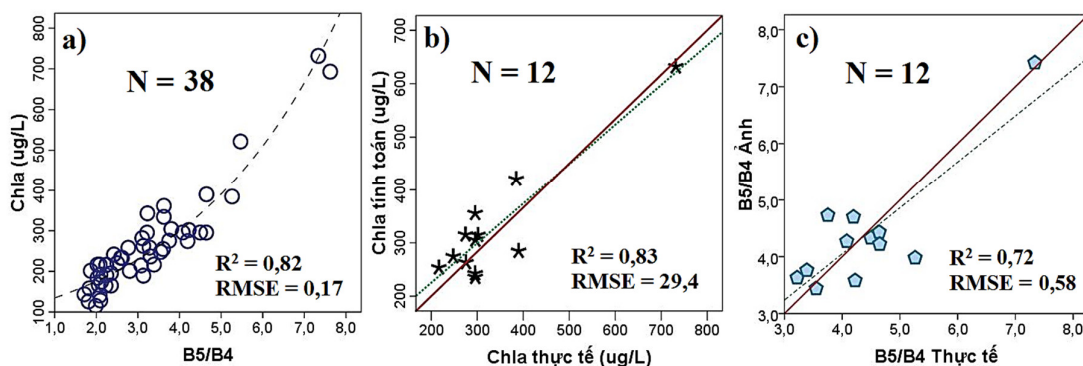
Bảng 2. Mối quan hệ tuyến tính giữa Chla và tỷ số phổ phản xạ ứng với dải phổ của kênh ảnh S2A sử dụng dữ liệu của 38 điểm đo trong 4 ngày khảo sát.

Thuật toán	Tỷ lệ kênh phổ S2A	Hàm tuyến tính		Hàm số mũ		Hàm logarith	
		R ²	RMSE	R ²	RMSE	R ²	RMSE
Xanh lục/Đỏ	B3/B4	0,8	54,25	0,69	0,21	0,66	70,5
	B5/B4	0,86	45,30	0,82	0,17	0,75	60,6
Cận hồng ngoại/Đỏ	B6/B4	0,78	56,53	0,68	0,22	0,73	63,7
	B7/B4	0,77	58,33	0,65	0,23	0,68	69,18
	B8/B4	0,65	71,97	0,51	0,27	0,57	80,58
Xanh lam/Xanh lục	B3/B1	0,01	121,6	0,01	0,38	0,09	116,4
	B3/B2	0,08	117,4	0,02	0,38	0,1	116,1

Trong nghiên cứu này, tỷ số kênh phổ cận hồng ngoại/đỏ (kênh 5/kênh 4) có giá trị tương quan ổn định và chặt chẽ hơn cả với hệ số xác định $R^2 = 0,82$, $p = 0,00$ và giá trị sai số của phép tính là $17 \mu\text{g/L}$ (Hình 4a). Theo đó, hàm lượng Chla có thể tính toán tương đối chính xác từ ảnh S2A theo phương trình:

$$\text{Chla} = 101,58e^{0,27.B5/B4} (\mu\text{g/L}) \quad (2)$$

Trong đó Chla là hàm lượng Chla trong nước hồ ($\mu\text{g/L}$); B5/B4 là tỷ số kênh 5/kênh 4 của ảnh S2A.



Hình 4. Biểu đồ biểu diễn: a) Mối quan hệ tuyến tính giữa hàm lượng Chla và tỷ số kênh 5/kênh 4 (B5/B4) của ảnh S2A; b) Sai số giữa Chla đo được thực tế và Chla tính toán từ phương trình hàm mũ hình 4a và c) Sai số giữa phổ phản xạ B5/B4 đo thực tế và phổ B5/B4 thu hồi từ ảnh S2A của 12 điểm đo ngày 17/7/2020.

Để kiểm chứng mối quan hệ này, tập dữ liệu của 12 điểm đo thực tế thu vào ngày khảo sát 17/7/2020 được đưa vào đánh giá độ lệch chuẩn của kết quả tính toán từ phương trình (hình 4b). Kết quả cho thấy giá trị Chla tính toán từ phương trình (2) và giá trị đo thực tế có tương quan cao ($R^2 = 0,83$) và sai số $29,4 \mu\text{g/L}$ (dưới 10% giá trị trung bình của chuỗi số, Hình 4b). Kết quả này khẳng định tỷ số kênh 5/kênh 4 của ảnh S2A hoàn toàn phù hợp để tính toán hàm lượng Chla của nước hồ Hoàn Kiếm nói riêng và môi trường nước nội địa siêu phú dưỡng nói chung đã được minh chứng trước đó [25].

Do phương trình (2) được xây dựng và kiểm chứng dựa trên giá trị phổ phản xạ mặt nước ρ_w và Chla đo đạc thực tế vào cùng thời điểm nên có độ chính xác gần như tuyệt đối vì không bị ảnh hưởng bởi các yếu tố thời tiết, khoảng cách hay các nhiễu động do các phản ứng, thành phần của bầu khí quyển như dữ liệu vệ tinh. Để áp dụng thành công phương trình (2) vào dữ liệu ảnh vệ tinh S2A, phương pháp xử lý ảnh (cụ thể là phương pháp hiệu chỉnh khí quyển) để thu nhận phổ phản xạ mặt nước phải phù hợp và chính xác. Hình 4c biểu diễn sai số giữa tỷ số phổ phản xạ B5/B4 thu được tại mặt nước và tỷ số phổ phản xạ thu được của B5/B4 ảnh S2A Level 2A trong ngày 17/7/2020 tại 12 điểm đo ứng với 12 pixels ảnh. Kết quả cho thấy ảnh S2A Level 2A đã được hiệu chỉnh khí quyển khá phù hợp cho các vùng nước có độ phú dưỡng cao như nước hồ Hoàn Kiếm trong nghiên cứu này. Với sai số toàn phương trung bình là $0,58$, tương đương dưới 10% trung bình giá trị đo đạc thực tế; dữ liệu ảnh S2A Level 2A này rất phù hợp cho việc tính toán các thông số nước bằng phương pháp sử dụng tỷ số kênh ảnh. Do đó, các kết quả tính toán Chla từ ảnh S2A Level 2A và sử dụng phương trình (2) nói trên cho kết quả khá chính xác khi thay thế tỷ số B5/B4 của ảnh thay cho giá trị phổ mặt nước ứng với các kênh này.

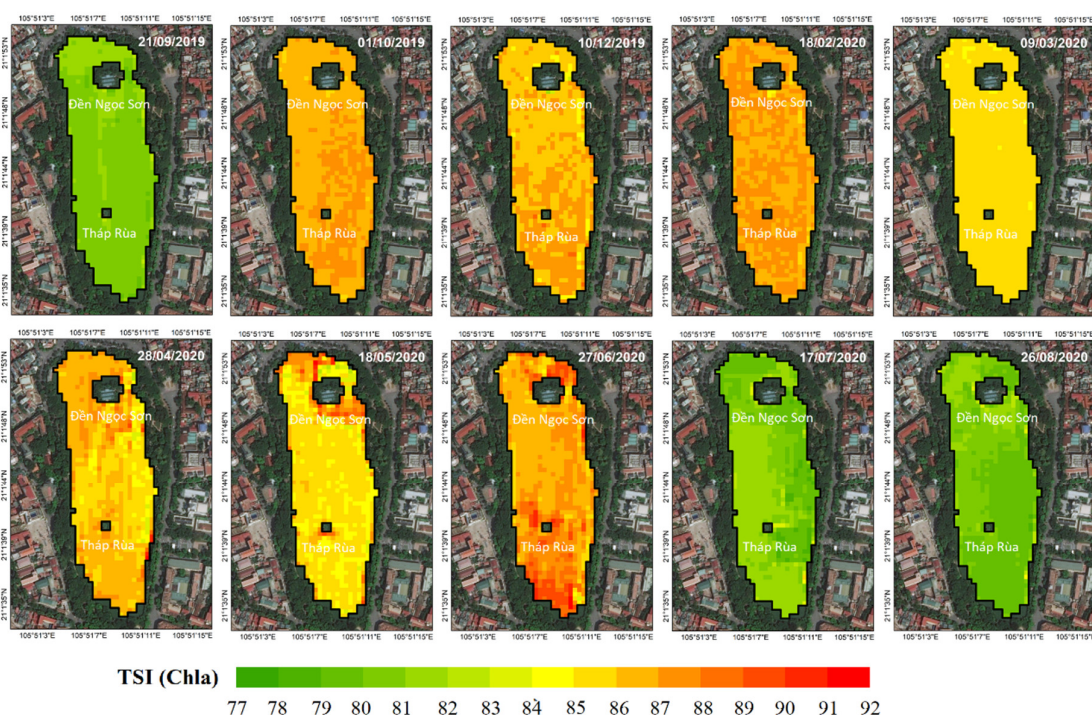
Cũng từ mối quan hệ này, TSI(Chla) của nước hồ có thể tính toán từ ảnh S2A dựa trên sự kết hợp phương trình (1) và (2) như sau:

$$\text{TSI}(\text{Chla}) = 9,81 * \ln(101,58e^{0,27.B5/B4}) + 30,6 \quad (3)$$

Trong đó B5/B4 là tỷ số kênh 5/kênh 4 của ảnh S2A.

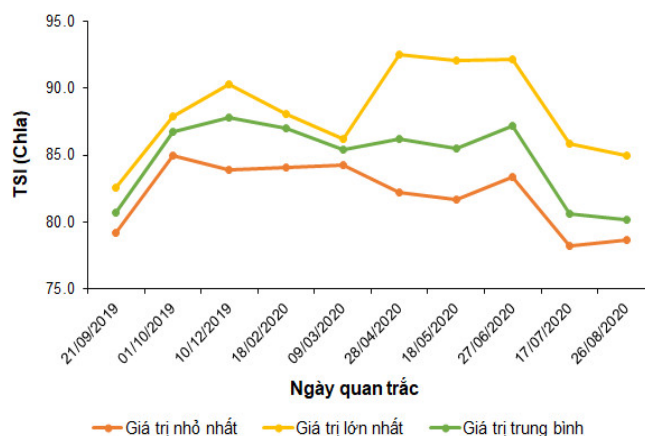
3.2. Mối quan hệ giữa hàm lượng Chla, TSI(Chla) và phổ phản xạ mặt nước

Áp dụng phương trình (3) vào tính toán giá trị TSI(Chla) của nước hồ Hoàn Kiếm từ 10 cảnh ảnh vệ tinh S2A chụp hồ từ tháng 9 năm 2019 đến tháng 8 năm 2020, chúng tôi xây dựng được một chuỗi các bản đồ phân bố theo không gian và thời gian của TSI(Chla) nước hồ như trong hình 5. Dựa vào sự phân bố này có thể thấy, do diện tích hồ tương đối nhỏ nên sự chênh lệch về mặt không gian của TSI(Chla) không thể hiện rõ nét, đặc biệt vào các tháng có nhiệt độ không khí thấp như tháng 2 và tháng 3. Sang đến tháng 4, TSI(Chla) có giá trị > 86 bắt đầu xuất hiện và tập trung chủ yếu về phía Đông Nam của đền Ngọc Sơn và phân ven bờ phía Nam gần tháp Rùa. Sang đến tháng 5, giá trị TSI(Chla) > 90 lại phân bố chủ yếu xung quanh phía Tây Bắc và Đông Nam của đền Ngọc Sơn. Xu hướng này càng thể hiện rõ nét trong tháng 6 năm 2020, khi giá trị TSI(Chla) > 90 luôn được ghi nhận tại các khu vực xung quanh đền Ngọc Sơn và phía Nam của Tháp Rùa. Giá trị TSI(Chla) vào các tháng 7, 8, 9 giảm nhẹ đồng đều khắp mặt hồ, luôn ở giá trị trên 80, trong khi đó lại ở mức xấp xỉ cao hơn 85–86 vào các tháng 10, 12.



Hình 5. Phân bố TSI(Chla) của nước hồ Hoàn Kiếm từ tháng 9 năm 2019 đến tháng 8 năm 2020.

Hình 6 biểu diễn sự thay đổi theo thời gian của giá trị TSI(Chla) tính toán từ 10 cảnh ảnh S2A thu được vào các thời điểm khác nhau trong năm 2019 và 2020. Theo đó, giá trị TSI(Chla) trong tháng 2–3/2020 dao động trong khoảng từ 84–88 với giá trị trung bình đạt 85. Sang đến tháng 4 – giai đoạn chuyển mùa từ mùa khô sang mùa mưa, giá trị TSI(Chla) tăng dần nhưng không đáng kể với giá trị trung bình là 86. Vào các tháng mùa mưa (tháng 5 đến tháng 10), TSI(Chla) tăng dần dao động trong khoảng từ 78 và lên tới hơn 92 vào tháng 6. Sau đó, TSI(Chla) có xu hướng giảm dần trong tháng 7–9, sau đó tăng nhẹ cho đến tháng 1 năm sau. Dựa theo thang phân loại tình trạng phú dưỡng [23], trạng thái của hồ luôn ở mức siêu phú dưỡng, phù hợp với kết quả đo thực tế.



Hình 6. Sự thay đổi theo thời gian của giá trị TSI(Chla) của nước Hồ Hoàn Kiếm tính toán từ ảnh vệ tinh S2A thu được từ tháng 9 năm 2019 đến tháng 8 năm 2020.

4. Kết luận

Kết quả nghiên cứu cho thấy nước hồ Hoàn Kiếm trong khoảng thời gian từ tháng 9 năm 2019 đến tháng 8 năm 2020 luôn ở mức siêu phú dưỡng (hypertrophic) – mức phú dưỡng cao nhất có thể ảnh hưởng đến đời sống của hệ sinh thái thủy sinh ($Chla = 114,8–700 \mu\text{g/L}$, $TSI(Chla) = 77$ đến 95). Giá trị TSI của hồ có thể giám sát thông qua hàm lượng Chla tính toán từ ảnh S2A bằng hàm số mũ tuyến tính với biến là tỷ số kênh cận hồng ngoại (B5) trên kênh đỏ (B4) của ảnh. Giá trị TSI(Chla) thu được từ ảnh S2A có sự thay đổi nhẹ theo mùa và theo không gian hồ. Cụ thể, TSI(Chla) có xu hướng cao hơn trong tháng 5–6, giảm dần trong tháng 7–9, sau đó tăng nhẹ cho đến tháng 1 năm sau; vùng nước hồ xung quanh phần bờ phía bắc và phía nam có giá TSI(Chla) cao hơn các vùng nước hồ khác. Nghiên cứu này cho thấy ảnh S2A với độ phân giải không gian phù hợp (lên đến 10m), các kênh phổ được thiết kế hợp lý là loại ảnh có tiềm năng cao để giám sát chất lượng nước các hồ nội địa có diện tích nhỏ, dưới 15 ha như hồ Hoàn Kiếm. Phương pháp nghiên cứu đề xuất trong bài có thể áp dụng vào giám sát lâu dài hiện trạng phú dưỡng của hồ từ ảnh vệ tinh miễn phí S2A, giúp cho công tác quản lý môi trường thành phố thêm hiệu quả.

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

Lời cảm ơn: Nghiên cứu này được thực hiện dưới sự tài trợ của Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam thông qua đề tài có mã số VAST01.04/19–20. Tập thể tác giả bài báo xin trân trọng cảm ơn sự tài trợ của Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam, đồng cảm ơn tới ESA và Trung tâm CARGIS, Trường Đại học Khoa học Tự nhiên – ĐHQGHN đã cung cấp ảnh Sentinel và thiết bị đo phổ hiện trường cho nghiên cứu này.

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

Tài liệu tham khảo

1. Dekker, A.G.; Peters, S.W.M. The use of the Thematic Mapper for the analysis of eutrophic lakes: a case study in the Netherlands. *Int. J. Remote Sens.* **1993**, *14*, 799–821. <https://doi.org/10.1080/01431169308904379>.

2. Cheng, K.S.; Lei, T.C. Reservoir Trophic State Evaluation using Landsat TM Images. *JAWRA J. Am. Water Resour. Assoc.* **2001**, *37*, 1321–1334. <https://doi.org/10.1111/j.1752-1688.2001.tb03642.x>.
3. Tyler, A.N.; Svab, E.; Preston, T.; Présing, M.; Kovács, W.A. Remote sensing of the water quality of shallow lakes: A mixture modelling approach to quantifying phytoplankton in water characterized by high-suspended sediment. *Int. J. Remote Sens.* **2006**, *27*, 1521–1537. <https://doi.org/10.1080/01431160500419311>.
4. Chang, N.B.; Imen, S.; Vannah, B. Remote sensing for monitoring surface water quality status and ecosystem state in relation to the nutrient cycle: a 40-year perspective. *Crit. Rev. Env. Sci. Technol.* **2015**, *45*, 101–166. <https://doi.org/10.1080/10643389.2013.829981>.
5. Jensen, J.R. Remote sensing of the environment: an earth resource perspective: Pearson Prentice Hall. Upper Saddle River, NJ, USA, 2000.
6. Leng, R. The impacts of cultural eutrophication on lakes: A review of damages and nutrient control measures. *Writing* **2009**, *20*, 33–39.
7. Le Hung Anh. Untersuchungen zur Verwertung der Biomasse in Landwirtschaft und Gartenbau Vietnams unter besonderer Berücksichtigung der Kompostierung. Humboldt University in Berlin, Dissertation Verlag, ISBN 3–89825–571–9, 2002.
8. Thủy, D.T.; Cường, H.T.; Kim, D.D. Biến động hàm lượng độc tố microcystin trong môi trường nước hồ Hoàn Kiếm. *Tap chí sinh học* **2012**, *34*, 94–98. <https://doi.org/10.15625/0866-7160/v34n1.675>.
9. Carlson, R.E. A trophic state index for lakes. *Limnol. Oceanogr.* **1977**, *22*, 361–369. <https://doi.org/10.4319/lo.1977.22.2.0361>.
10. Håkanson, L.; Bryhn, A.C.; Hytteborn, J.K. On the issue of limiting nutrient and predictions of cyanobacteria in aquatic systems. *Sci. Total Environ.* **2007**, *379*, 89–108. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2007.03.009>.
11. Schalles, J.F. Optical remote sensing techniques to estimate phytoplankton chlorophyll–a concentrations in coastal. In Remote sensing of aquatic coastal ecosystem processes (pp. 27–79). Springer, Dordrecht, 2006.
12. Gholizadeh, M.H.; Melesse, A.M.; Reddi, L. A comprehensive review on water quality parameters estimation using remote sensing techniques. *Sensors* **2016**, *16*, 1298. <https://doi.org/10.3390/s16081298>.
13. Sudheer, K.P.; Chaubey, I.; Garg, V. Lake water quality assessment from Landsat thematic mapper data using neural network: an approach to optimal band combination selection. *JAWRA J. Am. Water Resour. Assoc.* **2006**, *42*, 1683–1695. <https://doi.org/10.1111/j.1752-1688.2006.tb06029.x>.
14. Turner, D. *Remote Sensing of Chlorophyll a Concentrations to Support the Deschutes Basin Lake and Reservoirs TMDLs*; Department of Environmental Quality: Portland, OR, USA, 2010.
15. Kloiber, S.M.; Brezonik, P.L.; Bauer, M.E. Application of Landsat imagery to regional–scale assessments of lake clarity. *Water Res.* **2002**, *36*, 4330–4340. [https://doi.org/10.1016/S0043-1354\(02\)00146-X](https://doi.org/10.1016/S0043-1354(02)00146-X).
16. Allan, M.G.; Hicks, B. J.; Brabyn, L. Remote sensing of water quality in the Rotorua lakes. The University of Waikato: Hamilton, New Zealand, 2007.
17. Chipman, J.W.; Olmanson, L.G.; Gitelson, A.A. Remote sensing methods for lake management: A guide for resource managers and decision–makers. North American Lake Management Society, 2009.
18. Menken, K.D.; Brezonik, P.L.; Bauer, M.E. Influence of chlorophyll and colored dissolved organic matter (CDOM) on lake reflectance spectra: Implications for measuring lake properties by remote sensing. *Lake and Reservoir Manage.* **2006**, *22*, 179–190. <https://doi.org/10.1080/07438140609353895>.

19. Thom, D.T.; Kien, H.T.; Nguyet, V.T.; Kim, D.D. Study on some environmental factors and phytoplankton of Lake Hoan Kiem water before dislodging. The 3rd National Scientific Conference on Ecology and Biological Resources. Hanoi, Vietnam, 2009, pp. 1673.
20. Mobley C.D. Estimation of the remote-sensing reflectance from above-surface measurements. *Appl. Opt.* **1999**, *38*(36), 7442–7455. <https://doi.org/10.1364/AO.38.007442>.
21. Barsi, J.A.; Lee, K.; Kvaran, G.; Markham, B.L.; Pedelty, J.A. The spectral response of the Landsat-8 Operational Land Imager. *Remote Sens.* **2014**, *6*, 10232–10251. <https://doi.org/10.3390/rs61010232>.
22. APHA. Standard methods for the examination of water and wastewater analysis. American Public Health Association, Washington DC, 1998.
23. Carlson, R.E.; Simpson, J. A coordinator's guide to volunteer lake monitoring methods. *North American Lake Management Society* **1996**, *96*, 305.
24. Ha N.T.T.; Koike K. Integrating satellite imagery and geostatistics of point samples for monitoring spatio-temporal changes of total suspended solids in bay waters: application to Tien Yen Bay (Northern Vietnam). *Front. Earth Sci.* **2011**, *5*, 305–316. <https://doi.org/10.1007/s11707-011-0187-9>.
25. Hà, N.T.T.; Cảnh, B.Đ.; Thảo, N.T.P.; Nhị, B.T. Thử nghiệm mô hình hóa sự phân bố không gian của hàm lượng chlorophyll-a và chỉ số trạng thái phú dưỡng nước Hồ Tây sử dụng ảnh Sentinel-2A. *VNU Journal of Science: Earth and Environmental Sciences* **2016**, *32*(2S).

Monitoring the eutrophication level of Lake Hoan Kiem based on the estimated Chlorophyll-a concentration from Sentinel-2A imagery

Nguyen Thien Phuong Thao¹, Pham Quang Vinh², Nguyen Thi Thu Ha^{1,*}, Nguyen Thuy Linh^{1,3}

¹ Faculty of Geology, VNU University of Science, Vietnam National University, Hanoi, Vietnam; nguyenthienphuongthao_t57@hus.edu.vn

² Institute of Geography, Vietnam Academy of Science and Technology, Hanoi; pqvinh@ig.vast.vn

³ Faculty of Geography, VNU University of Science, Vietnam National University, Hanoi, Vietnam; nguyenthuylinh@hus.edu.vn

Abstract: This study aims to monitor the trophic state index (TSI) of Lake Hoan Kiem using estimated chlorophyll-a concentration (Chla) from Sentinel 2A (S2A) acquired over Hanoi from September 2019 to August 2020. In situ data measured at 50 points over the lake in 5 field-trips shows that Chla ranged from 114.8 µg/L to 700 µg/L and strongly correlated to the ratio of the near-infrared band (band 5) versus the red band (band 4) of S2A by an exponential equation ($R^2 = 0.82$). The reasonable error of validation (29.4 µg/L) indicates the equation appropriateness for estimating Chla in the lake water. As a result, estimated TSI(Chla) was harmonized with in situ TSI(Chla) and ranged from 77 to 95, classifying the lake water at the hypertrophic level and confirming a high potential of S2A for monitoring the lake trophic status. In space, TSI(Chla) distributed homogeneously and accumulated little in the areas along the northern and southern shores. Estimated TSI(Chla) was little changed by seasons, at the higher level in early summer (June) and early winter (from October to December). To better monitor TSI(Chla), other sensors such as Landsat 8 and Sentinel 2B should be investigated and exploited.

Keywords: The lake trophic state; Ho Guom; Chlorophyll-a; TSI; Sentinel 2A.

Bài báo khoa học

Đánh giá mối quan hệ của các chỉ số khả năng thích ứng với biến đổi khí hậu của hộ gia đình cận nghèo của thành phố Đà Nẵng

Nguyễn Bùi Phong^{1*}, Mai Trọng Nhuận²

¹ Viện Khoa học Khí tượng Thủy văn và Biến đổi khí hậu, Bộ Tài nguyên và Môi trường, phongnb37hut@gmail.com.

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

* Tác giả liên hệ: phongnb37hut@gmail.com; Tel.: +84-914374896

Ban Biên tập nhận bài: 04/11/2020; Ngày phản biện xong: 16/12/2020; Ngày đăng bài: 25/1/2021

Tóm tắt: Mục tiêu của bài báo là đánh giá mối quan hệ của các chỉ số khả năng thích ứng với biến đổi khí hậu (khả năng thích ứng) với khả năng thích ứng của hộ gia đình cận nghèo của thành phố Đà Nẵng. Nghiên cứu đã sử dụng phương pháp phân tích nhân tố khám phá (Exploratory Factor Analysis–EFA), phân tích nhân tố khẳng định (Confirmatory Factor Analysis–CFA), mô hình cấu trúc (Structural Equation Modeling–SEM) và bộ chỉ số khả năng thích ứng của thành phố Đà Nẵng để đánh giá mối quan hệ này. Bộ chỉ số khả năng thích ứng bao gồm 17 chỉ số của các thành phần tài chính, tự nhiên, xã hội, con người, cơ sở hạ tầng. Kết quả chỉ ra rằng khả năng thích ứng của hộ gia đình cận nghèo tương quan chặt chẽ với thành phần tài chính và nguồn nhân lực. Như vậy, để nâng cao khả năng thích ứng của hộ gia đình cận nghèo cần tăng cường nâng cao nhận thức, kỹ năng ứng phó với biến đổi khí hậu, thúc đẩy các hoạt động đa dạng sinh kế và nâng cao thu nhập cho hộ gia đình cận nghèo.

Từ khóa: Khả năng thích ứng; Biến đổi khí hậu; Đà Nẵng; EFA; CFA; SEM.

1. Mở đầu

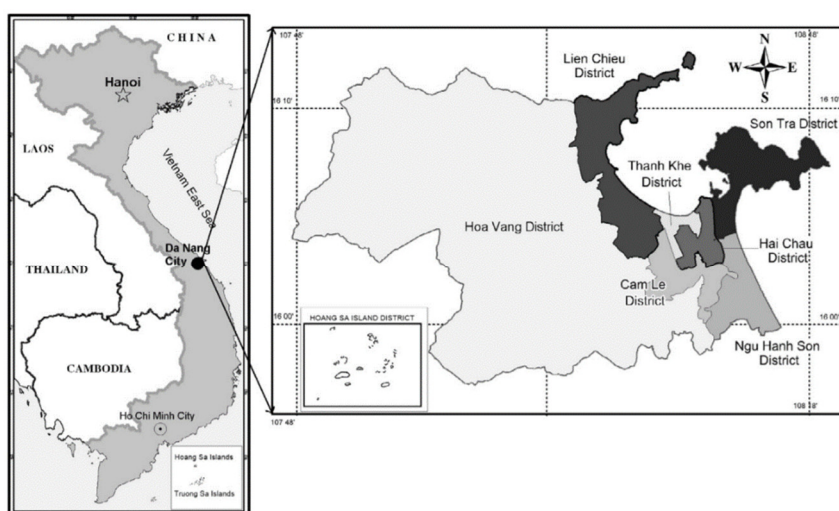
Biến đổi khí hậu và xâm nhập mặn đã gây ra nhiều tác động đến sự phát triển kinh tế–xã hội, tài nguyên thiên nhiên, môi trường ở Việt Nam và ảnh hưởng nghiêm trọng đến đời sống của con người đặc biệt là những người dân nghèo bởi họ là những đối tượng dễ bị tổn thương nhất bởi các tác động của biến đổi khí hậu. Báo cáo về sự phát triển của con người năm 2008 (UNDP) chỉ ra rằng “Rủi ro do biến đổi khí hậu sẽ tác động đến 40% những người nghèo nhất của thế giới vào khoảng 2,6 tỷ người–bị giảm hoặc mất các cơ hội trong tương lai” [1]. Do đó, tăng cường khả năng thích ứng của người dân nghèo là rất cần thiết. Khả năng thích ứng là “năng lực của xã hội để thay đổi theo cách làm cho xã hội được trang bị tốt hơn để có thể quản lý những rủi ro hoặc nhạy cảm từ những ảnh hưởng của biến đổi khí hậu” [2]. Khả năng thích ứng là sự kết hợp của tất cả các điểm mạnh, thuộc tính và nguồn lực sẵn có của một cá nhân, cộng đồng, xã hội, tổ chức để chuẩn bị và thực hiện các hành động để giảm tác động xấu, giảm thiệt hại của biến đổi khí hậu. Đánh giá khả năng thích ứng cho quy mô quốc gia, khu vực, thành phố, cộng đồng đã được thực hiện trong các nghiên cứu ở trong nước [5] và quốc tế [3, 4, 6, 7], các nghiên cứu này đã sử dụng bộ chỉ số khả năng thích ứng phù hợp và các tính toán trọng số theo phân tích [4, 8–10] để đánh giá khả năng thích ứng. Tuy nhiên, đối với nhóm đối tượng là hộ gia đình cận nghèo, đến nay việc đánh giá khả năng thích ứng và đánh giá mối quan hệ của các chỉ số khả năng thích ứng cho nhóm đối tượng này vẫn chưa được nghiên cứu. Vì vậy, trong nghiên cứu này sẽ sử dụng phương pháp phân tích EFA, phân tích

CFA và mô hình cấu trúc SEM và bộ chỉ số khả năng thích ứng của thành phố Đà Nẵng để đánh giá mối quan hệ của các chỉ số khả năng thích ứng cho hộ gia đình cận nghèo của thành phố Đà Nẵng. Kết quả của nghiên cứu có ý nghĩa trong việc xác định nhân tố chính ảnh hưởng đến khả năng thích ứng cho hộ gia đình cận nghèo để từ đó cung cấp các thông tin quan trọng cho chính quyền địa phương trong việc xây dựng các chính sách, kế hoạch thích ứng biến đổi khí hậu của Thành phố Đà Nẵng. Sử dụng kết quả nghiên cứu này có thể đánh giá khả năng thích ứng cho hộ gia đình cận nghèo các vùng ven biển khác.

2. Phương pháp nghiên cứu

2.1 Khu vực nghiên cứu

Thành phố Đà Nẵng nằm ở bờ biển miền trung Việt Nam, một trung tâm địa chính trị và kinh tế xã hội kết nối thủ đô của Hà Nội ở phía bắc và thành phố Hồ Chí Minh ở phía nam (Hình 1).



Hình 1. Bản đồ thành phố Đà Nẵng [5].

Tự nhiên: Tổng diện tích thành phố Đà Nẵng là 1.283,42 km² bao gồm đất liền và quần đảo trên Biển Đông. Địa hình Thành phố Đà Nẵng vừa có đồng bằng vừa có núi, tập trung nhiều núi cao và dốc ở phía Tây và Tây Bắc, vùng đồng bằng ven biển là vùng đồng bằng nhiễm mặn phía Đông. Diện tích nuôi trồng thủy sản gần 0,5 nghìn ha [11].

Về kinh tế: Tổng sản phẩm trên địa bàn (GRDP) năm 2018 theo giá thực tế đạt 3.909,8 triệu USD, tăng 325 triệu USD so với năm 2017. Về cơ cấu kinh tế năm 2018, khu vực nông, lâm nghiệp và thủy sản có tỷ trọng 1,83% GRDP; khu vực công nghiệp và xây dựng chiếm 29,32%, trong đó công nghiệp chiếm 22,24%; khu vực dịch vụ chiếm 56,17%; Thuế sản phẩm trừ trợ cấp sản phẩm đã chiếm 12,68% [12].

Xã hội: Tình hình xã hội của thành phố Đà Nẵng trong những năm gần đây là ổn định với tỷ lệ dân cư sống ở thành thị đứng đầu cả nước, tỷ lệ lao động trên 15 tuổi tăng đều qua các năm, năng suất lao động tăng và đạt 187,7 triệu đồng/lao động năm 2019, thành phố Đà Nẵng còn nổi tiếng về du lịch với cảnh quan ngoạn mục và nền văn hóa độc đáo, hàng năm có 20 lễ hội trong đó có 18 lễ hội dân gian, 1 lễ hội tôn giáo và 1 lễ hội văn hóa du lịch [11].

Cơ sở hạ tầng: Bốn loại hình giao thông bao gồm đường bộ, đường sắt, đường thủy và đường hàng không là phổ biến ở thành phố Đà Nẵng. Hệ thống cấp nước, cấp điện cho sinh hoạt và sản xuất đang từng bước được nâng cấp và phát triển mới nhằm phục vụ tốt hơn cho đời sống của nhân dân cũng như cho hoạt động sản xuất kinh doanh. Hệ thống thông tin liên lạc phát triển mạnh mẽ, hiện đại và trở thành trung tâm hàng đầu cả nước [11].

Nguồn nhân lực: Đến năm 2019, dân số toàn thành phố đạt 1.134.310 người, trong đó nam 576.000 người (chiếm 50,7%) và hơn 558.000 dân nữ (chiếm 49,3%). Dân số đô thị gần 990.000 người. Mật độ dân số 883 người/km² [13].

2.2. Số liệu

Số liệu trong nghiên cứu được thu thập từ bảng câu hỏi của 220 hộ gia đình cận nghèo của thành phố Đà Nẵng phân bố trong các đơn vị quận huyện của thành phố. Các câu hỏi điều tra được thực hiện vào tháng 6 năm 2014 đối với chủ hộ gia đình cận nghèo của thành phố trong khuôn khổ đề tài nghiên cứu cấp quốc gia “Nghiên cứu đề xuất mô hình đô thị ven biển có khả năng thích ứng biến đổi khí hậu”, mã số BDKH.32/11-15. Các dữ liệu điều tra được biên tập bằng Microsoft Excel (version 2013).

2.3. Phương pháp nghiên cứu

Để đánh giá mối quan hệ của các chỉ số khả năng thích ứng với khả năng thích ứng của hộ gia đình cận nghèo của thành phố, nghiên cứu đã sử dụng phương pháp phân tích EFA, CFA, mô hình cấu trúc SEM và bộ chỉ số khả năng thích ứng biến đổi khí hậu của thành phố. Bộ chỉ số khả năng thích ứng bao gồm 17 chỉ số của các hợp phần/yếu tố tài chính, nguồn nhân lực, xã hội, tự nhiên, cơ sở hạ tầng [14] được mô tả tại bảng 1. Trong đó, yếu tố tài chính được phản ánh qua chỉ số C15, C16, C17; yếu tố xã hội chính được phản ánh qua chỉ số C4, C5, C6; yếu tố nguồn nhân lực được phản ánh qua chỉ số C1, C2, C3; yếu tố cơ sở hạ tầng được phản ánh qua chỉ số C7, C8, C9, C10; yếu tố sản xuất dựa vào tự nhiên hay tự nhiên được phản ánh qua chỉ số C11, C12, C13, C14.

Bảng 1. Bộ chỉ số khả năng thích ứng của thành phố Đà Nẵng [14].

Yếu tố	Chỉ số	Định nghĩa
Tài Chính	C15: Thu nhập của hộ gia đình	Vai trò của thu nhập với khả năng thích ứng với biến đổi khí hậu
	C16: Đa dạng sinh kế	Vai trò của đa dạng sinh kế với khả năng thích ứng với biến đổi khí hậu
	C17: Sinh kế	Vai trò của sinh kế với khả năng thích ứng với biến đổi khí hậu
Xã hội	C4: Hỗ trợ của cộng đồng	Hỗ trợ của cộng đồng để ứng phó biến đổi khí hậu
	C5: Hỗ trợ của chính quyền	Hỗ trợ của xã hội để ứng phó biến đổi khí hậu
	C6: Sự tham gia	Tham gia ý kiến vào chính sách ứng phó với biến đổi khí hậu của địa phương
Nguồn nhân lực	C1: Kiến thức	Theo dõi thông tin về ứng phó biến đổi khí hậu
	C2: Trao đổi kinh nghiệm	Trao đổi thông tin ứng phó biến đổi khí hậu
	C3: Kỹ năng	Kỹ năng thích ứng biến đổi khí hậu
Cơ sở hạ tầng	C7: Lượng nước cung cấp	Mức độ đáp ứng nhu cầu về nước
	C8: Chất lượng nguồn nước	Mức độ hài lòng về chất lượng nước
	C9: Lượng điện cung cấp	Mức độ ổn định của nguồn điện
	C10: Công suất điện	Mức độ đảm bảo của công suất điện
Sản xuất/Tự nhiên	C11: Trồng trọt	Vai trò của trồng trọt đối với thích ứng biến đổi khí hậu
	C12: Chăn Nuôi	Vai trò của chăn nuôi đối với thích ứng biến đổi khí hậu
	C13: Nuôi trồng thủy sản	Vai trò của nuôi trồng thủy sản đối với thích ứng biến

Yếu tố	Chỉ số	Định nghĩa
		đôi khí hậu
	C14: Đánh bắt thủy sản	Vai trò của đánh bắt thủy sản đối với thích ứng biến đổi khí hậu

Theo [15] cỡ mẫu để phân tích EFA ít nhất gấp 5 lần tổng số biến quan sát. Mô hình nghiên cứu đề xuất có 17 biến quan sát nên cỡ mẫu tối thiểu là 85. Nghiên cứu sử dụng phương pháp SEM cho mô hình nghiên cứu với 5 nhóm yếu tố và mỗi nhóm yếu tố có ít nhất 3 biến và cỡ mẫu là 220 quan sát. Nghiên cứu sử dụng kiểm định hệ số tin cậy Cronbach's Alpha để kiểm tra độ chặt chẽ của thang đo trong mô hình, sau đó sử dụng phân tích EFA để kiểm định các biến và xác định các biến phù hợp để đưa vào phân tích CFA. Sau đó, sử dụng SEM để xác định tác động của từng yếu tố và chỉ số quyết định đến BDKH của thành phố Đà Nẵng. Trong mô hình nghiên cứu, các yếu tố tài chính, xã hội, nguồn nhân lực, cơ sở hạ tầng, tự nhiên là biến tiềm ẩn; biến phụ thuộc là khả năng thích ứng.

2.3.1. Phương pháp kiểm định Cronbach's Alpha

Cronbach đưa ra hệ số tin cậy cho thang đo. Hệ số Cronbach's Alpha chỉ đo lường độ tin cậy của thang đo (bao gồm từ ba biến quan sát trở lên) không tính được độ tin cậy cho từng biến quan sát. Hệ số Cronbach's Alpha có giá trị biến thiên trong đoạn [0, 1]. Về lý thuyết, hệ số này càng cao càng tốt. Hệ số Cronbach's Alpha lớn hơn 0,6.

2.3.2. Phương pháp phân tích EFA

Phân tích EFA được sử dụng để xác định các yếu tố khả năng thích ứng biến đổi khí hậu của hộ cận nghèo. Phương pháp phân tích EFA thuộc nhóm phân tích đa biến phụ thuộc lẫn nhau. Phân tích EFA dùng để rút gọn một tập k biến quan sát thành một tập F (F < k) các nhân tố ý nghĩa hơn. Phân tích EFA được dùng đến trong trường hợp mối quan hệ giữa các biến quan sát và biến tiềm ẩn là không rõ ràng hay không chắc chắn. Phân tích EFA theo đó được tiến hành theo kiểu khám phá để xác định xem phạm vi, mức độ quan hệ giữa các biến quan sát và các nhân tố cơ sở như thế nào, làm nền tảng cho một tập hợp các phép đo để rút gọn hay giảm bớt số biến quan sát tải lên các nhân tố cơ sở. Các nhân tố cơ sở là tổ hợp tuyến tính (sơ đồ cấu tạo) của các biến mô tả bằng hệ phương trình sau:

$$F_1 = \alpha_{11}x_1 + \alpha_{12}x_2 + \alpha_{13}x_3 + \dots + \alpha_{1p}x_p$$

$$F_2 = \alpha_{21}x_1 + \alpha_{22}x_2 + \alpha_{23}x_3 + \dots + \alpha_{2p}x_p$$
(1)

Số lượng các nhân tố cơ sở tùy thuộc vào mô hình nghiên cứu, trong đó chúng ràng buộc nhau bằng cách xoay các vector trục giao nhau để không xảy ra hiện tượng tương quan. Phân tích EFA rất hữu dụng trong bước thực nghiệm ban đầu hay mở rộng kiểm định.

2.3.3 Phương pháp phân tích CFA

Phân tích CFA là một trong các kỹ thuật cho phép kiểm định các biến quan sát đại diện cho các nhân tố tốt đến mức nào. Phân tích CFA là bước tiếp theo của phân tích EFA vì phân tích CFA chỉ sử dụng thích hợp khi nhà nghiên cứu có sẵn một số kiến thức về cấu trúc tiềm ẩn cơ sở, trong đó mối quan hệ hay giả thuyết (có được từ lý thuyết hay thực nghiệm) giữa biến quan sát và nhân tố cơ sở thì được nhà nghiên cứu mặc nhiên thừa nhận trước khi tiến hành kiểm định thống kê. Phân tích CFA nhằm kiểm định xem có một mô hình lý thuyết có trước làm nền tảng cho một tập hợp các quan sát không. Phương pháp phân tích CFA chấp nhận các giả thuyết của các nhà nghiên cứu, được xác định căn cứ theo quan hệ giữa mỗi biến và một hay nhiều hơn một nhân tố.

2.3.4. Mô hình cấu trúc SEM

Lý thuyết tính toán mô hình SEM được mô tả dưới dạng phương trình sau:

$$X_1 = \lambda_{11} \xi_1 + \delta_1 \tag{2}$$

$$X_2 = \lambda_{22} \xi_2 + \delta_2 \tag{3}$$

$$X_3 = \lambda_{31} \xi_1 + \lambda_{32} \xi_2 + \delta_3 \tag{4}$$

(δ_i là các nhân tố chung; X_i là các nhân tố xác định)

Trong đó λ là các hệ số tải, các nhân tố chung ξ_i có thể có tương quan với nhau, các nhân tố xác định X_i cũng có thể tương quan với nhau. Phương sai của một nhân tố xác định là duy nhất.

3. Kết quả và thảo luận

3.1. Kết quả kiểm định Cronbach's Alpha

Để tiến hành phân tích EFA trước hết cần tiến hành phân tích độ tin cậy thông qua hệ số Cronbach's Alpha và hệ số tương quan biến tổng. Một thang đo có hệ số Cronbach's Alpha $\geq 0,06$ thì có thể chấp nhận về độ tin cậy. Các biến có hệ số tương quan biến tổng nhỏ hơn 0,3 sẽ bị loại. Kết quả kiểm định Cronbach's Alpha của nghiên cứu cho các thang đo thành phần có hệ số Cronbach's Alpha của yếu tố nguồn nhân lực là 0,845; Tự nhiên là 0,968; Xã hội là 0,757; Tài chính là 0,973; Cơ sở hạ tầng là 0,901. Kết quả kiểm định Cronbach's Alpha thang đo khả năng thích ứng là 0,806. Như vậy kết quả kiểm định Cronbach's Alpha cho thang đo thành phần và thang đo khả năng thích ứng chỉ ra Alpha $> 0,6$ cho thấy thang đo đạt yêu cầu về độ tin cậy.

3.2. Kết quả phân tích EFA

Hệ số KMO = 0,792 $> 0,5$ cho thấy dữ liệu phù hợp để tiến hành phân tích EFA. Kết quả cho thấy giá trị Pvalue của kiểm định Bartlett bằng 0 nghĩa là các biến có tương quan với nhau xét trên phạm vi tổng thể. Kết quả phân tích EFA tại bảng 2 cho thấy phương sai trích của 5 nhóm này đạt 82,22 $> 50\%$: Đạt yêu cầu, có thể nói rằng các nhân tố này giải thích 82,22% độ biến thiên của dữ liệu thu thập.

Bảng 2. Kết quả phân tích nhân tố EFA.

Thành phần	Giá trị riêng ban đầu			Tổng bình phương			Tổng bình phương xoay		
	Tổng	Phương sai %	Tích lũy %	Tổng	Phương sai %	Tích lũy %	Tổng	Phương sai %	Tích lũy %
C1	5,135	30,204	30,204	5,135	30,204	30,204	3,679	21,642	21,642
C2	3,096	18,213	48,416	3,096	18,213	48,416	3,095	18,208	39,850
C3	2,287	13,451	61,867	2,287	13,451	61,867	2,845	16,734	56,584
C4	1,966	11,567	73,434	1,966	11,567	73,434	2,325	13,679	70,263
C5	1,494	8,790	82,223	1,494	8,790	82,223	2,033	11,961	82,223
C6	0,609	3,582	85,806						
C7	0,441	2,594	88,400						
C8	0,408	2,402	90,801						
C9	0,377	2,220	93,021						
C10	0,315	1,850	94,871						
C11	0,271	1,596	96,467						
C12	0,173	1,017	97,485						
C13	0,151	0,890	98,374						

Thành phần	Giá trị riêng ban đầu			Tổng bình phương			Tổng bình phương xoay		
	Tổng	Phương sai %	Tích lũy %	Tổng	Phương sai %	Tích lũy %	Tổng	Phương sai %	Tích lũy %
C14	0,102	0,601	98,975						
C15	0,082	0,480	99,455						
C16	0,050	0,292	99,747						
C17	0,043	0,253	100,000						

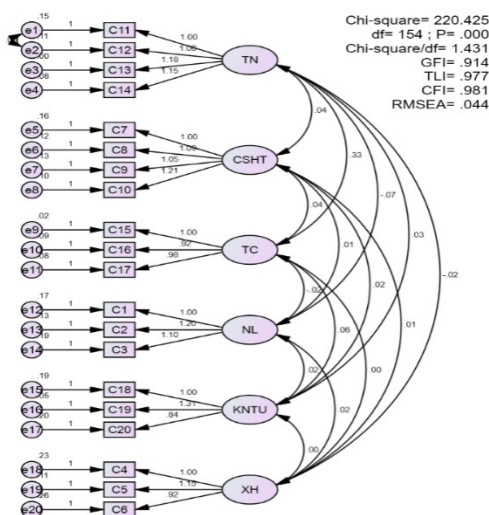
3.3. Kết quả phân tích CFA

Do 5 yếu tố bao gồm yếu tố tài chính, yếu tố xã hội, yếu tố tự nhiên, yếu tố nguồn nhân lực, yếu tố cơ sở hạ tầng là các biến tiềm ẩn hình thành biến quan sát nên nghiên cứu sử dụng phân tích CFA để lượng hóa các biến tiềm ẩn. Sau đó, kết quả được sử dụng để ước lượng mối quan hệ của các biến. Kết quả phân tích CFA cho thấy một số chỉ số phản ánh mức độ phù hợp của mô hình, tuy nhiên, $RMSEA = 0,062 < 0,08$ và $Chi-square/df (cmin/df) = 1,835 < 3$ và $GFI = 0,888$ nghĩa là kết quả phân tích CFA không tốt do đó nghiên cứu sử dụng chỉ báo MI để cải thiện sự phù hợp của mô hình, với cặp có chỉ số MI cao nhất sau đó ước tính lại mô hình cho đến khi đáp ứng các tiêu chí kiểm tra.

Bảng 3. Độ tin cậy tổng hợp CR của các nhân tố.

Nhân tố	Độ tin cậy tổng hợp	Phương sai trung bình
Tự nhiên	0,963	0,867
Cơ sở hạ tầng	0,901	0,695
Tài chính	0,973	0,923
Nguồn nhân lực	0,846	0,698
Xã hội	0,804	0,622
Khả năng thích ứng	0,765	0,524

Kết quả phân tích CFA trong Bảng 3 cho thấy rằng tổng hợp Độ tin cậy (CR) và Phương sai trung bình được trích ra (AVE) cho từng yếu tố tài chính, yếu tố xã hội, yếu tố tự nhiên, yếu tố nguồn nhân lực, yếu tố cơ sở hạ tầng là $CR > 0,7$ và $AVE > 0,5$ [16]. Mô hình đạt giá trị hội tụ.

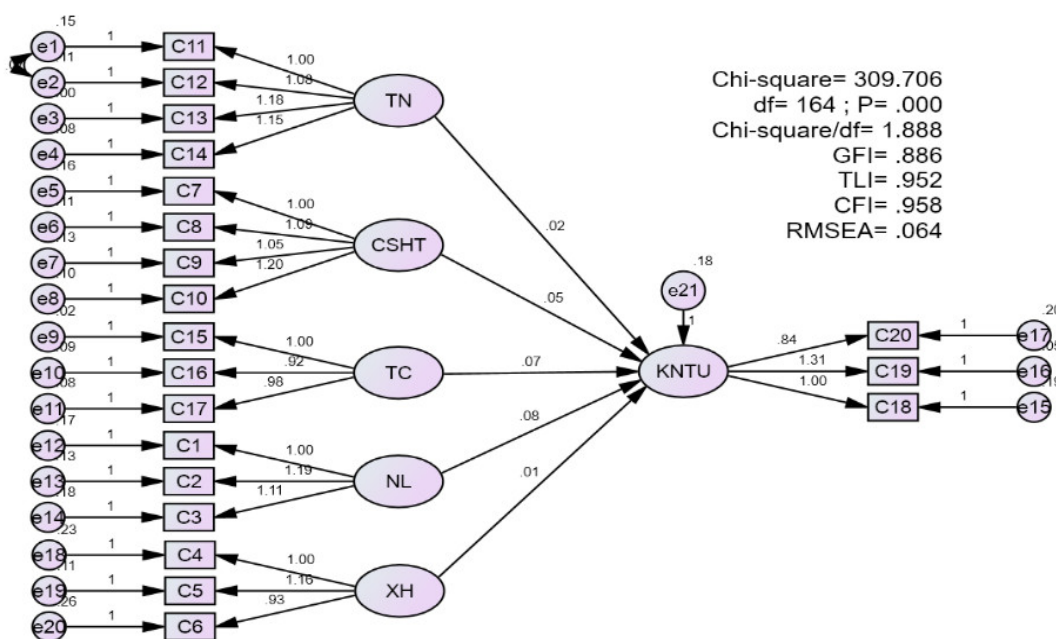


Hình 2. Kết quả phân tích CFA.

Kết quả phân tích CFA trong hình 2 cho thấy trọng số hồi quy chuẩn hóa của tất cả các biến lớn hơn 0,5, nghĩa là mô hình đạt được giá trị hội tụ. Kết quả CFA cho thấy: Chi-square = 220,425 ($p = 0,000$); Chi-bình phương/df = 1,431 < 3; GFI = 0,914; TLI = 0,977; CFI = 0,981 đều lớn hơn 0,9 và RMSEA = 0,044 < 0,08 (Hình 5). Tóm lại, kết quả mô hình phù hợp với dữ liệu thu thập được.

3.4. Kết quả mô hình cấu trúc tuyến tính (SEM)

Kết quả SEM trên hình 3 chỉ ra rằng giá trị Chi-square là 309,706; bậc tự do là 164, với P-value = 0,0 nên đáp ứng yêu cầu về tính tương thích của dữ liệu. Khi điều chỉnh Chi-square với bậc tự do CMIN / df; giá trị này đạt 1,888 < 3; hơn nữa các chỉ số GFI, CFI, TLI lần lượt là 0,886; 0,952; 0,958 \geq 0,9 tương ứng; RMSEA là 0,064 < 0,08.



Hình 3. Kết quả phân tích SEM.

Kết quả của SEM cho thấy mô hình tương thích tốt với dữ liệu thu thập được. Kết quả kiểm tra SEM trong hình 3 cho thấy ảnh hưởng của yếu tố tài chính có ảnh hưởng đáng kể đến khả năng thích ứng của hộ gia đình cận nghèo với độ tin cậy đạt 96% (Ước tính = 0,073; $P = 0,037 < 0,05$). Theo sau mức độ ảnh hưởng của yếu tố nguồn nhân lực là 78% (Ước lượng = 0,083 và 0; $P = 0,212$). Do P-value của các yếu tố tự nhiên, cơ sở hạ tầng và xã hội đều $> 0,25$ nên các yếu tố tự nhiên, cơ sở hạ tầng và xã hội không có ý nghĩa thống kê.

Trọng số hồi quy chuẩn hóa cho thấy mức độ ảnh hưởng của các biến độc lập đến phụ thuộc. Trọng số hồi quy chuẩn hóa của yếu tố tài chính là cao nhất, đạt 0,152, tiếp theo là trọng số hồi quy chuẩn hóa của yếu tố nguồn nhân lực, đạt 0,096. Trọng số hồi quy chuẩn hóa của yếu tố cơ sở hạ tầng đạt 0,055. Trọng số hồi quy chuẩn hóa của yếu tố tự nhiên và xã hội lần lượt là 0,031 và 0,006. Do đó, yếu tố tài chính có ảnh hưởng đáng kể thứ nhất đến khả năng thích ứng của hộ gia đình cận nghèo của thành phố và yếu tố nguồn nhân lực có ảnh hưởng đáng kể thứ hai đến khả năng thích ứng của hộ gia đình cận nghèo. Kết quả cho thấy rằng nếu yếu tố tài chính, yếu tố nguồn nhân lực được cải thiện, sẽ tác động tích cực đến khả năng thích ứng của hộ gia đình cận nghèo của thành phố.

3.5. Kiểm định độ tin cậy của ước lượng bằng Bootstrap

Phương pháp Bootstrap được sử dụng để kiểm định các ước lượng mô hình trong mô hình cuối cùng với số lượng mẫu lặp lại là $N = 300$. Kết quả ước lượng từ 300 mẫu được tính trung bình kèm theo độ lệch được trình bày trong Bảng 4. Kết quả tại bảng 4 cho thấy kết quả về chênh lệch (cột bias) giữa giá trị ước lượng (estimate) và cột giá trị trung bình (mean) có giá trị tuyệt đối rất bé và giá trị tới hạn C.R nhỏ hơn hoặc bằng 2 do vậy có thể coi độ chệch rất nhỏ ở độ tin cậy 95% hay kết quả ước lượng từ mô hình ban đầu và từ trung bình của 300 lần ước lượng khác cho kết quả như nhau hay mô hình tin cậy được.

Bảng 4. Kết quả ước lượng bằng Bootstrap.

	Yếu tố		Estimation	SE	SE-SE	Mean	Bias	SE-Bias	CR
KNTU	<-	Tự nhiên	0,091	0,004	0,041	0,010	0,005	0,091	0,5
KNTU	<-	Cơ sở hạ tầng	0,072	0,003	0,057	0,003	0,004	0,072	0,5
KNTU	<-	Tài chính	0,098	0,004	0,144	0,008	0,006	0,098	0,61
KNTU	<-	Nhân lực	0,085	0,003	0,087	0,009	0,005	0,085	0,59
KNTU	<-	Xã hội	0,088	0,004	0,003	0,002	0,005	0,088	0,57

4. Kết luận

Nghiên cứu đã sử dụng thang đo khả năng thích ứng của hộ gia đình cận nghèo của thành phố Đà Nẵng bao gồm 5 yếu tố tài chính, nguồn nhân lực, xã hội, tự nhiên, cơ sở hạ tầng và 17 chỉ số và phương pháp phân tích EFA, phân tích CFA, cấu trúc mô hình SEM để xác định mối quan hệ của các chỉ số khả năng thích ứng đến khả năng thích ứng của hộ gia đình cận nghèo của thành phố Đà Nẵng.

Kết quả nghiên cứu chỉ ra rằng yếu tố tài chính có ảnh hưởng nhiều nhất đến khả năng thích ứng của hộ gia đình cận nghèo bởi tài chính đóng vai trò quan trọng trong quá trình chuẩn bị ứng phó, giảm mức độ tổn thương và phục hồi sau khi thiên tai xảy ra. Yếu tố tài chính được xác định bằng các nguồn lực tài chính mà con người sử dụng để đầu tư, phát triển và tạo ra nguồn thu nhập. Yếu tố có ảnh hưởng thứ hai đến khả năng thích ứng của hộ gia đình cận nghèo là yếu tố nguồn nhân lực, đó chính là khả năng, kỹ năng, kiến thức, thông tin, trình độ để giúp con người theo đuổi những chiến lược khác nhau nhằm đạt được mục tiêu sinh kế bền vững thích ứng biến đổi khí hậu. Nguồn nhân lực được đánh giá thông qua chỉ số kiến thức, kỹ năng, trao đổi kinh nghiệm thông tin ứng phó biến đổi khí hậu. Các chỉ số này cho thấy mức độ kết nối của cộng đồng thành phố với nhau và với các cộng đồng khác, đồng thời mô tả mức độ duy trì thông tin liên lạc trong thiên tai giữa các cá nhân, cộng đồng với nhau và với các cấp chính quyền để cùng hành động chuẩn bị, ứng phó với thiên tai và thực hiện các hành động phục hồi trong tương lai.

Nghiên cứu vẫn tồn tại một số hạn chế như quy mô mẫu nghiên cứu chưa lớn do đó các nghiên cứu tiếp theo có thể mở rộng đối với quy mô mẫu và không gian nghiên cứu.

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

Lời cảm ơn: Tập thể tác giả xin trân trọng cảm ơn Đề tài KH-CN cấp quốc gia “Nghiên cứu đề xuất mô hình đô thị ven biển có khả năng thích ứng với biến đổi khí hậu”, mã số BDKH.32/11-15 đã hỗ trợ về số liệu, bộ chỉ số và phương pháp luận để thực hiện bài báo này.

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

Tài liệu tham khảo

1. UNDP 2009. Báo cáo phát triển con người. Trang online: <http://hdr.undp.org>
2. USAID. Adapting to Coastal Climate Change: A Guidebook for Development Planners, US Agency for International Development 2009, 148 trang [https://www.crc.uri.edu/download/Coastal Adaptation Guide.pdf](https://www.crc.uri.edu/download/Coastal_Adaptation_Guide.pdf)
3. Adger, W.N. Katharine Vincent, Uncertainty in adaptive capacity. *C.R. Geosci.* **2005**, 337, 399–410.
4. Defiesta, G.; Rapera, C.L. Measuring Adaptive Capacity of Farmers to Climate Change and Variability: Application of a Composite Index to an Agricultural Community in the Philippines. *J. Environ. Sci. Manage.* **2014**, 17, 48–62.
5. Nhuan, M.T.; Tue, N.T.; Hue, N.T.H.; Quy, T.D.; Lieu, T.M. An indicator-based approach to quantifying the adaptive capacity of urban households: The case of Da Nang city, Central Vietnam. *Urban Clim.* **2016**, 15, 60–69.
6. Thathsarani, U.S.; Gunaratne, L.H.P. Constructing and index to measure the Adaptive capacity to climate change in SriLanka. *Procedia Eng.* **2018**, 212, 278–285.
7. Sietchiping, R. Applying an index of adaptive capacity to climate change in north-western Victoria, Australia. *Applied GIS* **2006**, 2, 16.1–16.28.
8. Văn, C.T.; Son, N.T.; Anh, T.N.; Tuấn, N.C. Xây dựng bộ chỉ số tổn thương do lũ sử dụng phân tích hệ thống– thử nghiệm cho một vài xã của tỉnh Quảng Nam tại đồng bằng sông Thu Bồn. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* **2014**, 643, 10–18.
9. Nelson, R.; Kokic, P.; Crimp, S.; Martin, P.; Meinke, H.; Howden, S.M.; de Voil, P.; Nidumolu, U. The vulnerability of Australian rural communities to climate variability and change: Part II–Integrating impacts with adaptive capacity. *Environ. Sci. Policy* **2010**, 13, 18–27.
10. Abson, D.J.; Dougill, A.J.; Stringer, L.C. Using Principal Component Analysis for information-rich socio-ecological vulnerability mapping in Southern Africa. *Appl. Geogr.* **2012**, 35, 515–524. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2012.08.004>.
11. Trang web chính thức của DaNang Authority. Cơ sở hạ tầng Đà Nẵng (truy cập ngày 20 tháng 1 năm 2020) https://www.danang.gov.vn/web/vi/detail?id=26033&_c=16407111, 2019
12. Báo cáo thường niên Kinh tế – Xã hội của Đà Nẵng. Nhà xuất bản thống kê. Hà Nội, 2018.
13. Tổng cục Thống kê Đà Nẵng. Nhà xuất bản thống kê, Đà Nẵng, 2019.
14. Phong, N.B.; Nhuan, M.T.; Chien, D.D. Identifying the Role of determinants and indicators affecting climate change adaptative capacity in DaNang city, VietNam. *VNU J. Sci. Earth Environ. Sci.* **2020**, 36, 70–80.
15. Hair, J.F.; Black, W.C.; Babin, B.J.; Anderson, R.E.; Tatham, R.L. Multivariate data analysis. 6th edition. Pearson Prentice Hall, 2006.
16. Kline, R.B. Principles and practice of structural equation modeling. 3rd edition, The Guilford Press New York, London, 2005.

Assessing the relationship of climate change adaptative capacity indicators to adaptative capacity for near-poor households in Danang City

Nguyen Bui Phong^{1*}, Mai Trong Nhuan²

¹Institute of Meteorology, Hydrology and Climate Change, 62/23 Nguyen Chi Thanh, Dong Da, Hanoi, Vietnam; phongnb37hut@gmail.com

²Hanoi University of Natural Sciences, 334 Nguyen Trai, Thanh Xuan, Hanoi, Vietnam; nhuanmt@vnu.edu.vn

Abstract: This paper aimed to evaluate the relationship of the climate change adaptive capacity (adaptive capacity) indicators to adaptive capacity of the near-poor households in Danang city. The study used the affirmative factor analysis (EFA), exploratory factor analysis (CFA), the SEM structural model and the adaptive index set of Danang city to evaluate this relationship. The indices include 17 indicators of the financial, natural, human, and infrastructure components. The results show that adaptive capacity of near-poor households is strongly correlated with financial component and human component. Thus, in order to improve the adaptive capacity of near-poor households, it is necessary to increase awareness, skills to respond to climate change, promote diversified livelihood activities and improve household incomes.

Keywords: Adaptive capacity; Climate change; DaNang; CFA; EFA; SEM.

Bài báo khoa học

Ứng dụng mô hình đa chỉ tiêu nhằm đánh giá nguy cơ lũ quét trong bối cảnh biến đổi khí hậu toàn cầu. Trường hợp nghiên cứu cụ thể: miền núi Tây Bắc–Việt Nam

Dương Thị Lợi¹, Đặng Phương Lan¹

¹ Khoa Địa lý, Đại học Sư phạm Hà Nội; duongloi1710@gmail.com; landp@hnue.edu.vn

* Tác giả liên hệ: duongloi1710@gmail.com; Tel.: 0357120145

Ban Biên tập nhận bài: 06/11/2020; Ngày phản biện xong: 19/12/2020; Ngày đăng bài: 25/1/2021

Tóm tắt: Lũ quét là một dạng thiên tai điển hình tại vùng núi Tây Bắc của Việt Nam, tuy nhiên việc dự báo gặp nhiều khó khăn do tính chất phức tạp của nó và tác động của biến đổi khí hậu toàn cầu. Mục đích của nghiên cứu này nhằm xác định những khu vực có nguy cơ lũ quét cao dựa vào đặc điểm thực tế của khu vực nghiên cứu bằng mô hình đa chỉ tiêu. Độ dốc, hiện trạng sử dụng đất, thành phần cơ giới đất và lượng mưa là các tiêu chí được lựa chọn và đánh trọng số tương ứng với mức độ ảnh hưởng của nó đến tiềm năng lũ quét tại khu vực nghiên cứu. Phương pháp phân tích thứ bậc AHP là phương pháp phân tích đa chỉ tiêu được dùng để xác định mối tương quan so sánh giữa các tiêu chí, từ đó xây dựng bản đồ phân vùng nguy cơ lũ quét. Theo đó, khu vực nghiên cứu được phân thành năm cấp: khu vực có nguy cơ rất thấp, khu vực có nguy cơ thấp, khu vực có nguy cơ trung bình, khu vực có nguy cơ cao và khu vực có nguy cơ rất cao. Kết quả nghiên cứu đã chỉ ra rằng, lũ quét có nguy cơ hình thành cao và rất cao ở phía bắc và đông bắc của khu vực nghiên cứu chiếm trên 15 % diện tích lãnh thổ, trong đó phân bố chính ở tỉnh Lai Châu và phía đông bắc tỉnh Sơn La. Kết quả nghiên cứu là tài liệu đáng tin cậy cho công tác phòng chống thiên tai và quản lý tài nguyên môi trường vùng Tây Bắc.

Từ khóa: Lũ quét; Mô hình quyết định đa chỉ tiêu; Miền núi Tây Bắc; AHP.

1. Mở đầu

Lũ quét là một trong những loại thảm họa thiên nhiên phổ biến nhất ở Việt Nam. Nó được coi như “kẻ giết người số một” liên quan tới thời tiết [1]. Số lượng các sự kiện lũ quét đã tăng đáng kể trong vài thập kỷ qua và gây ra nhiều tác động tiêu cực đến kinh tế, xã hội và môi trường. Lũ quét thường xảy ra ở vùng núi Việt Nam trong mùa mưa. Thiệt hại do lũ quét hàng năm ước tính khoảng từ 25 tỷ đến 200 tỷ đồng. Đặc biệt, theo báo cáo của Việt Nam tại cuộc họp cấp cao Asean lần thứ 10 diễn ra tại Tokyo của Nhật Bản năm 2012 đã thống kê rằng: chỉ trong thời gian từ năm 2000 đến năm 2009 đã xảy ra khoảng 96 trận lũ quét gây thiệt hại lớn với hơn 880 người mất tích và trên 1500 người thương, cuốn trôi và làm ngập hàng nghìn căn nhà và hoa màu [2]. Hầu như năm nào cũng có hàng chục trận lũ quét xảy ra ở miền núi của Việt Nam. Lũ quét thường xuất hiện bất ngờ, mực nước dâng cao với tốc độ lớn kèm theo trượt lở đất, sức tàn phá lớn, diễn ra trong thời gian ngắn nên rất khó dự đoán [3]. Số lượng các trận lũ quét với cường độ lớn tại khu vực Tây Bắc có xu hướng tăng trong những năm gần đây. Theo thống kê từ Văn Phòng Thường trực Ban chỉ đạo Trung ương về Phòng chống thiên tai, chỉ tính riêng đợt lũ xảy ra từ ngày 1–6/8/2017 tại khu vực Tây Bắc đã gây thiệt hại nặng nề. Cụ thể, có tới 25 người thiệt mạng rải rác các tỉnh, 15 người mất tích, 25

người bị thương; nhiều nhà cửa và hoa màu bị cuốn trôi, các công trình công cộng bị phá hủy nghiêm trọng. Tổng thiệt hại vật chất ước tính trên 940 tỷ đồng.

Cùng với sự phát triển của khoa học công nghệ, những hiểu biết và nghiên cứu sâu về lũ quét đã tăng lên nhanh chóng trong những năm gần đây, nhưng hầu hết các nghiên cứu tập trung vào việc mô tả quá trình lũ quét dựa trên số liệu đo đạc được từ các trạm khí tượng và thủy văn [4–6]. Một số nghiên cứu đã áp dụng mô hình thủy lực trong nghiên cứu lũ quét điển hình như mô hình MIKE FLOOD, HEC–RAS, WMS [7–9], theo đó các số liệu đo đạc trực tiếp từ các trạm khí tượng thủy văn được đưa vào các mô hình nhằm tái hiện hiện trạng lũ quét, đồng thời đưa ra các kịch bản lũ quét nhằm dự báo và phòng tránh nguy cơ lũ quét tại các khu vực nghiên cứu. Việc áp dụng các mô hình thủy lực đem lại tính trực quan cao, tuy nhiên phương pháp này đòi hỏi một hệ thống cơ sở dữ liệu chi tiết từ các trạm đo để làm nhân tố đầu vào, mang tính mô phỏng, nên rất khó áp dụng tại khu vực miền núi Việt Nam, nơi mà có địa hình hiểm trở, cơ sở hạ tầng yếu kém và thiếu hụt nghiêm trọng các trạm cảnh báo thiên tai.

Trong nghiên cứu ngày, sự tích hợp giữa giữa công cụ GIS và mô hình quyết định đa chỉ tiêu (*Multiple Criteria Decision Making – MCDM*) được áp dụng để xác định những khu vực nhạy cảm với lũ quét. Mô hình này đã được ứng dụng ở nhiều quốc gia trên thế giới và đã đem lại hiệu quả cao với hơn 7.000 kết quả nghiên cứu được tìm thấy trên website của sciencedirect [10–12]. Ở Việt Nam, số lượng các nghiên cứu áp dụng phương pháp này chưa nhiều. Thống kê từ Science Direct chỉ ra rằng có 83 kết quả được tìm kiếm có áp dụng MCDM từ năm 1995 đến 2019 đến từ Việt Nam. Hầu hết các nghiên cứu ở Việt Nam, phương pháp này chủ yếu được sử dụng để đánh giá thích nghi sinh thái cây trồng hoặc phục vụ cho xây dựng và quy hoạch đô thị. Những nghiên cứu liên quan tới MCDM phục vụ cho thiên tai có rất ít, tuy nhiên cũng có một số công trình mang lại hiệu quả cao [13–15]. Trong số phương pháp phân tích đa chỉ tiêu, tiến trình phân tích thứ bậc (*Analytic Hierarchy Process- AHP*) kết hợp với chỉ số lũ quét tiềm năng (*Flash Flood Potential Index - FFPI*) được sử dụng khá phổ biến để đánh giá nguy cơ lũ quét tại khu vực miền núi của Việt Nam [13–17, 22–23]. Theo đó ngoài bốn yếu tố chính là độ dốc, hiện trạng sử dụng đất, loại đất và lớp phủ thực vật như chỉ số FFPI gốc của Smith [18], một số yếu tố mới được đưa thêm vào để phù hợp với thực trạng địa bàn nghiên cứu tại Việt Nam như thành phần cơ giới đất, mật độ sông suối [22], chỉ số ẩm ướt địa hình, mật độ các điểm trượt lở, tổng lượng mưa cực đại năm [16], độ tàn che [17], xã hội [13]. AHP được sử dụng khá hiệu quả để đánh giá trọng số tương quan giữa các yếu tố, nhằm xác định các yếu tố có ảnh hưởng lớn tới tiềm năng lũ quét tại địa bàn nghiên cứu. Mọi tương quan này phụ thuộc vào tình hình thực tế tại địa bàn nghiên cứu, trong một số trường hợp độ dốc và lượng mưa được đánh giá là yếu tố có ảnh hưởng lớn nhất tới nguy cơ lũ quét [13, 16], độ dốc, hiện trạng sử dụng đất [22], hoặc chúng có thể được đánh giá tương đương nhau [17]. Theo đó, các đặc điểm trước sự kiện của khu vực nghiên cứu như yếu tố độ dốc, yếu tố thuộc về khí hậu, hiện trạng sử dụng đất, mật độ lớp phủ thực vật... sẽ được lựa chọn là các thông số đầu vào vào trong mô hình để đánh giá. Do đây là các yếu tố tự nhiên sẵn có và tương đối ổn định, do vậy việc đánh giá sẽ có tính chính xác cao và đáng tin cậy. Hơn nữa, tại khu vực miền núi của Việt Nam, địa hình hiểm trở và thiếu hụt nghiêm trọng hệ thống cảnh báo thiên tai sớm, nên những nghiên cứu mang tính dự báo là hết sức cần thiết cho việc phòng chống thiên tai tại địa phương. Các trọng số tương ứng với các tiêu chí được đưa ra dựa vào vai trò thúc đẩy của nó đối với sự hình thành lũ quét tại khu vực nghiên cứu. Mục đích của nghiên cứu này nhằm đánh giá tiềm năng và nguy cơ lũ quét tại khu vực miền núi Tây Bắc của Việt Nam bằng cách xây dựng các chỉ tiêu đánh giá dựa vào đặc điểm khu vực nghiên cứu. Từ đó đề xuất các giải pháp nhằm phòng tránh và giảm thiểu thiệt hại do lũ quét gây ra tại khu vực miền núi Việt Nam.

2. Phương pháp nghiên cứu

2.1. Khu vực nghiên cứu

Tây Bắc là một khu vực nổi bật trên bản đồ địa hình Việt Nam, bao gồm 4 tỉnh Điện Biên, Lai Châu, Sơn La và Hòa Bình. Đây là khu vực được coi là vùng núi cao độ sộ bậc nhất của đất nước, kéo dài từ vĩ độ 19°05' B đến 22°58' B. Phạm vi của vùng được giới hạn từ hữu ngạn sông Hồng, giáp với Trung Quốc ở phía Bắc có đường biên giới dài 310 km. Phía Nam ngăn cách với Bắc Trung Bộ bởi thung lũng sông Cả. Phía đông giáp tiểu vùng Đông Bắc (thuộc vùng Trung du và miền núi Bắc Bộ), phía đông nam giáp đồng bằng Bắc Bộ và khu vực đồng bằng Thanh-Nghệ-Tĩnh. Phía Tây giáp Lào với đường biên giới dài 560 km (Hình 1). Vị trí địa lý tạo nhiều cơ hội để các tỉnh thuộc khu vực Tây Bắc có thể giao lưu hợp tác phát triển kinh tế-văn hóa-xã hội với các tỉnh, các vùng kinh tế phát triển lân cận, hoặc với các quốc gia giáp ranh thông qua cửa khẩu, là cầu nối hàng hóa quan trọng giữa nước ta với các tỉnh phía tây nam Trung Quốc và thượng Lào. Tuy nhiên do địa hình chủ yếu là núi cao hiểm trở, giao thông đi lại bất tiện lại thường xuyên chịu ảnh hưởng rất lớn bởi thiên tai, trong đó nổi bật là ảnh hưởng của lũ quét nên việc phát triển kinh tế và nâng cao chất lượng cuộc sống còn gặp nhiều khó khăn [19].



Hình 1. Vị trí và phạm vi khu vực nghiên cứu.

2.2. Dữ liệu nghiên cứu

Việc lựa chọn các nhân tố đóng vai trò quan trọng trong phân tích quyết định đa chi tiêu. Trong nghiên cứu này, các tiêu chí được lựa chọn dựa trên cơ sở ảnh hưởng của nó đến nguy cơ lũ quét trong khu vực nghiên cứu. Các yếu tố được cân nhắc bao gồm độ dốc, thành phần cơ giới đất, hiện trạng sử dụng đất và lượng mưa. Chi tiết được mô tả như trong bảng 1.

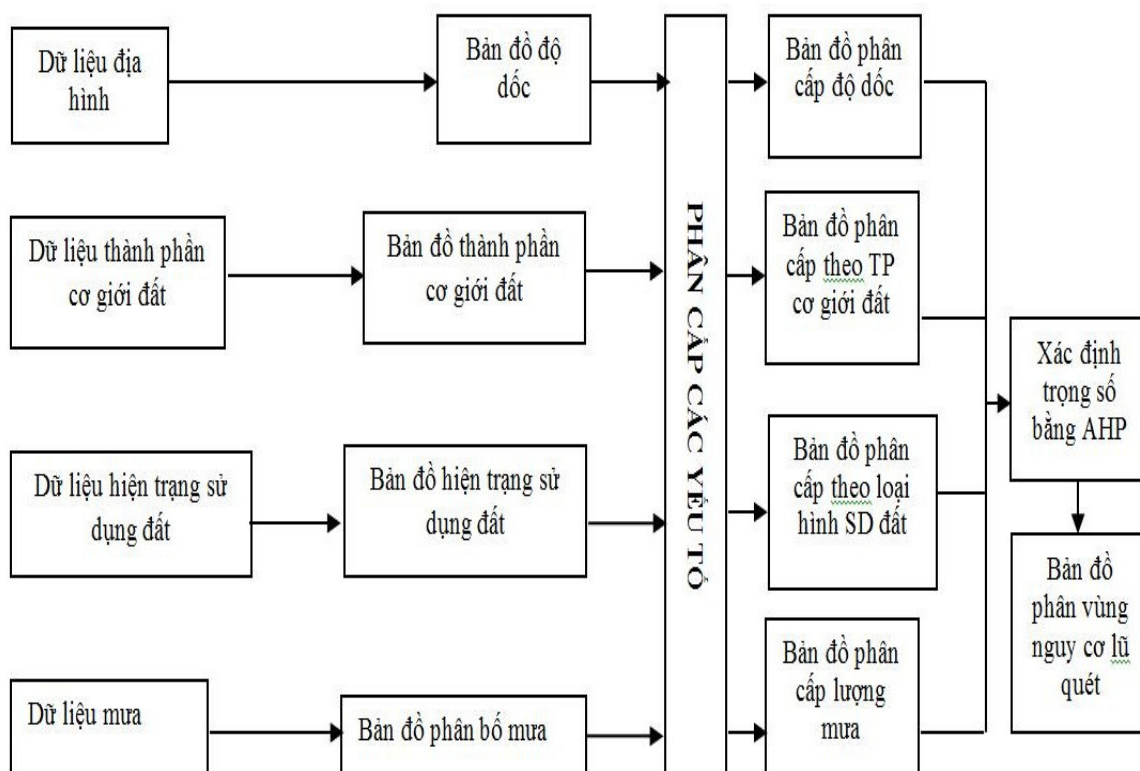
Bảng 1. Dữ liệu nghiên cứu.

STT	Loại dữ liệu	Tỉ lệ	Nguồn
1	Dữ liệu hành chính các tỉnh thuộc vùng Tây Bắc	1: 1 000 000	Nhà xuất bản Tài nguyên – môi trường và bản đồ Việt Nam

STT	Loại dữ liệu	Tỉ lệ	Nguồn
2	Dữ liệu DEM (Digital Elevation Model)	Mô hình số độ cao, độ phân giải 30m	Website: https://earthexplorer.usgs.gov/
3	Dữ liệu lượng mưa trung bình năm	1: 1 000 000	Sở Tài nguyên – môi trường các tỉnh Tây Bắc
4	Dữ liệu thành phần cơ giới đất	1: 1 000 000	Sở Tài nguyên – môi trường các tỉnh Tây Bắc
5	Dữ liệu hiện trạng sử dụng đất	1: 1 000 000	Sở Tài nguyên – môi trường các tỉnh Tây Bắc

2.3. Phương pháp nghiên cứu

Quá trình ra quyết định thường bao gồm 5 giai đoạn chính: Xác định vấn đề, thiết lập các tiêu chí và tạo ra lựa chọn thay thế, lựa chọn tiêu chí, đánh giá tiêu chuẩn, lựa chọn phương pháp đa tiêu chí phù hợp và cuối cùng là xếp các giải pháp thay thế. Các bước thực hiện được tóm tắt như hình 2.



Hình 2. Quy trình thực hiện.

2.3.1. Xây dựng các tiêu chí đánh giá

a) Phân cấp độ dốc

Độ dốc địa hình, các kiểu hình thái sườn là những yếu tố quyết định, hướng dòng chảy và thời gian tập trung nước [20] điều này gây ảnh hưởng trực tiếp đến nguy cơ hình thành lũ quét. Các nghiên cứu đã chỉ ra rằng, tốc độ dòng chảy sẽ trở nên nhanh hơn với độ dốc tăng 3% và đạt tốc độ lớn nhất nếu độ dốc trên 30% [20–22]. Theo đó, với độ dốc lớn trên 30% sẽ được gán giá trị 10 và các giá trị giảm dần tương ứng với từng cấp độ dốc. Phân cấp độ dốc được thực hiện như bảng 2.

Bảng 2. Phân cấp độ dốc.

Độ dốc (%)	Phân cấp ảnh hưởng của độ dốc	Độ dốc (%)	Phân cấp ảnh hưởng của độ dốc
Từ 3 đến 6	1	Từ 18 đến 21	6
Từ 6 đến 9	2	Từ 21 đến 24	7
Từ 9 đến 12	3	Từ 24 đến 27	8
Từ 12 đến 15	4	Từ 27 đến 30	9
Từ 15 đến 18	5	Trên 30	10

b) Phân cấp thành phần cơ giới đất

Dữ liệu đất được sử dụng để xây dựng bản đồ phân cấp thành phần cơ giới đất. Cơ sở để phân chia các cấp dựa trên mức độ bờ rời của đất và được quyết định bởi tỉ lệ thành phần của các hạt sét, cát và limon. Sự sắp xếp và kích thước của các hạt trọng đất sẽ ảnh hưởng trực tiếp đến khả năng giữ nước và thấm nước từ đó ảnh hưởng đến tốc độ dòng chảy và lượng nước bị giữ lại trong đất càng lớn thì khả năng hình thành dòng chảy bề mặt càng giảm [3]. Trong nghiên cứu này, dựa vào đặc điểm thực tế của thành phần cơ giới đất và các nghiên cứu khác [22–24] các giá trị được gán như bảng 3. Theo đó, 13 loại đất điển hình trong khu vực nghiên cứu được phân chia thành các nhóm đất cơ bản, khu vực núi đá và đất xói mòn là khu vực có nguy cơ lũ quét cao nhất, tiếp đến là khu vực có thành phần sét chiếm tỉ lệ cao, khu vực có thành phần cát kết nguy cơ lũ quét thấp.

Bảng 3. Phân cấp thành phần cơ giới đất.

STT	Loại đất	Nhóm đất	Phân cấp thành phần cơ giới đất
1	Đất đá bột điển hình	Đất đá bột (cát kết đến thịt nhẹ)	2
2	Đất glây chua	Đất glây chua (Thịt pha sét)	7
3	Đất mùn Alit trên núi	Đất mùn Alit trên núi (Thịt pha sét)	8
4	Đất nâu đỏ	Nhóm đất đỏ (Sét pha thịt)	9
5	Đất nâu vàng		
6	Đất phù sa	Nhóm đất phù sa (Cát pha đến thịt nhẹ)	4
7	Đất phù sa chua		
8	Đất phù sa glây		
9	Đất xám feralit	Nhóm đất xám (Sét đến thịt pha sét)	6
10	Đất xám mùn trên núi		
11	Đất xói mòn mạnh trơ sỏi đá	Núi đá và đất xói mòn	10
12	Núi đá		
13	Sông hồ	Sông hồ	1

c) Phân cấp hiện trạng sử dụng đất

Hiện trạng sử dụng đất không những làm thay đổi đặc tính vật lý của đất mà còn thay đổi cả hiện trạng lớp phủ, địa hình mặt đất. Dưới tác động của con người cùng các hoạt động sản xuất bề mặt lớp phủ thay đổi, theo đó tại những nơi có mật độ thực vật cao thì nguy cơ lũ quét thấp và ngược lại những nơi mật độ lớp phủ thực vật thấp như đất ở đô thị, khu vực đất trống thì nguy cơ xảy ra lũ cao. Việc sử dụng bản đồ hiện trạng sử dụng đất không chỉ giúp xác định

hiện trạng lớp phủ mà còn thấy được tác động của yếu tố con người lên việc hình thành lũ quét. Từ đó có những giải pháp phù hợp nhằm hạn chế tối đa những tác động tiêu cực của con người trong việc thúc đẩy nguy cơ lũ quét tại khu vực nghiên cứu. Bản đồ hiện trạng sử dụng đất tỉ lệ 1: 1000 000 năm 2015 do Sở tài nguyên môi trường cung cấp được sử dụng để xác định hiện trạng bề mặt, theo đó khu vực Tây Bắc gồm có 9 loại cơ bản: đất trồng cây công nghiệp lâu năm, đất trồng cây hằng năm, đất rừng tự nhiên, đất rừng trồng, đất trồng lúa, đất đồng cỏ và cây bụi, đất ở, sông hồ và núi đá. Dựa vào khả năng thấm hút nước bề mặt tương ứng với từng loại [22–24], các giá trị được gán tương ứng như bảng 4.

Bảng 4. Phân cấp hiện trạng sử dụng đất.

TT	Loại đất	Phân cấp hiện trạng sử dụng đất
1	Đất trồng cây công nghiệp lâu năm	5
2	Đất trồng cây hằng năm	6
3	Đất rừng tự nhiên	2
4	Đất rừng trồng	3
5	Đất trồng lúa	4
6	Đất đồng cỏ và cây bụi	8
7	Đất ở	9
8	Sông hồ	1
9	Núi đá	10

d) Phân cấp lượng mưa

Lũ quét xảy ra ở những nơi có lượng mưa với cường độ lớn, tập trung kết hợp với địa hình dốc. Bên cạnh đó, lũ quét thường xuất hiện ở địa bàn hẹp, trong khi dự báo khí tượng thủy văn là trên quy mô lớn. Rađa quét gặp đồi núi trập trùng, trong điều kiện thời tiết mưa lũ gặp nhiều khó khăn, chỉ có thể dự báo trước khi lũ xảy ra một thời gian rất ngắn nên không có nhiều ý nghĩa. Động lực trực tiếp gây ra lũ quét là mưa, do đó việc nghiên cứu phương pháp tính toán mưa khả năng tạo lũ quét là rất cần thiết, nhằm dự báo khu vực có nguy cơ lũ quét cao. Khi cảnh báo lũ quét cần xem xét dữ liệu lượng mưa một ngày lớn nhất. Từ nguồn dữ liệu lượng mưa một ngày lớn nhất được đo tại các trạm, với sự trợ giúp của công cụ GIS, thuật toán nội suy địa lý được thực hiện để tạo ra bản đồ đẳng trị mưa một ngày lớn nhất. Dựa trên kết quả có được, tác giả tiến hành phân cấp nguy cơ tạo ra lũ quét trên địa bàn nghiên cứu. Theo đó lượng mưa một ngày lớn nhất của khu vực Tây Bắc dao động từ 100–200 mm và được phân chia đều thành 10 cấp (bảng 5), trong đó khu vực có lịch sử một ngày lớn nhất trên 180 mm được gán giá trị 10, tương đương với mức nguy cơ cao nhất và ngược lại, những khu vực mà lượng mưa ngày lớn nhất dưới 100 mm được gán trị bằng 1, tương ứng với khu vực ít có nguy cơ xảy ra lũ quét do mưa nhất.

Bảng 5. Phân cấp lượng mưa.

Lượng mưa (mm)	Phân cấp lượng mưa
< 100	1
100 – 110	2
110 – 120	3
120 – 130	4
130 – 140	5
140 – 150	6
150 – 160	7

Lượng mưa (mm)	Phân cấp lượng mưa
160 – 170	8
170 – 180	9
> 180	10

2.3.2. Xác định khu vực nguy cơ lũ quét

MCDM (*Multi Criteria Decision Making – Ra quyết định đa tiêu chí*) nhằm mục đích chọn ra thứ tốt nhất từ một bộ các lựa chọn thay thế trên cơ sở của việc đánh giá nhiều tiêu chí. Bản đồ phân vùng nguy cơ lũ quét được xác định dựa trên kết quả chồng xếp các bản đồ thành phần trong môi trường GIS. AHP (*Analytical Hierarchy Process*) là một phương pháp tính toán trọng số áp dụng cho các bài toán ra quyết định đa tiêu chuẩn được lựa chọn để xây dựng bản đồ kết quả. Phương pháp này cung cấp một thứ tự sắp xếp của những quyết định và nhờ vào nó mà ta tìm được một quyết định cuối cùng hợp lý nhất. AHP được phát triển bởi Thomas L. Saaty [25] và đã được mở rộng và bổ sung cho đến nay. Hệ số của ma trận được tính từ điểm của việc so sánh cặp của các thành phần, các giá trị chỉ số và các loại chỉ tiêu thông qua các ý kiến chuyên gia (Bảng 6). Sau đó, các trọng số liên quan đến các thành phần của ma trận được xử lý bằng cách sử dụng thuật toán AHP.

Bảng 6. Bảng xếp hạng các mức độ so sánh cặp trong thuật toán AHP.

Mức quan trọng	Giá trị số	Giải thích
Quan trọng như nhau	1	Hai hoạt động có đóng góp ngang nhau
Quan trọng như nhau cho đến vừa phải	2	Kinh nghiệm và sự phán quyết có sự ưu tiên vừa phải cho một hoạt động
Quan trọng vừa phải	3	Kinh nghiệm và sự phán quyết có sự ưu tiên mạnh cho một hoạt động
Quan trọng vừa phải đến hơi quan trọng hơn	4	Một hoạt động rất quan trọng
Hơi quan trọng hơn	5	Được ưu tiên ở mức cao nhất có thể
Hơi quan trọng hơn đến rất quan trọng	6	
Rất quan trọng	7	
Rất quan trọng đến vô cùng quan trọng	8	
Vô cùng quan trọng	9	

Tóm tắt các bước giải bài toán AHP:

Bước 1: Xác định các yếu tố liên quan và thiết lập thứ bậc quan trọng

Bước 2: Phân hạng và so sánh các yếu tố. Thiết lập ma trận so sánh cặp của sự đóng góp hay tác động của yếu tố lên tiêu chuẩn của mức thứ bậc phía trên của nó. Một nửa của ma trận so sánh là số nghịch đảo của nửa kia. Yếu tố bên tay trái của ma trận sẽ được so sánh với yếu tố ở hàng trên cùng của ma trận.

Bước 3: Tính giá trị trọng số.

Bước 4: Kiểm tra tính nhất quán của các cặp so sánh cặp.

Dựa vào các bước tính toán AHP kết hợp với ý kiến từ 20 chuyên gia thuộc các lĩnh vực liên quan, ma trận so sánh được thành lập. Theo đó, độ dốc được xác định là yếu tố có mức ảnh hưởng lớn nhất tới nguy cơ lũ quét tại khu vực Tây Bắc, thứ hai là yếu tố lượng mưa, tiếp đó là hiện trạng sử dụng đất. Thành phần cơ giới đất được xem là yếu tố ít ảnh hưởng nhất tới nguy cơ lũ quét. Theo lẽ thông thường, mưa được coi là yếu tố quan trọng để hình thành lũ quét, nhưng trên thực tế, việc mưa kết hợp với các yếu tố khác (địa hình, kết cấu đất...) để tạo ra dòng chảy lũ quét quan trọng hơn. Bên cạnh đó, nhiều nơi mưa rất lớn, nhưng lại không có lũ quét, nếu không có yếu tố bổ sung với nó. Hiện trạng sử dụng đất đóng vai trò quan trọng trong việc thúc đẩy hoặc làm giảm nhẹ ảnh hưởng của lũ quét trong địa bàn nghiên cứu. Tại những khu vực có lớp phủ thực vật dày đặc, phương thức canh tác khoa học sẽ hạn chế phần

nào những tác động tiêu cực của lũ quét. Ngược lại tại những khu vực lớp phủ thực vật bị tàn phá, bề mặt đất trở sỏi đá, cùng với lối canh tác du canh du cư phổ biến ở đồng bào miền núi Tây Bắc như hiện nay sẽ khiến cho nguy cơ lũ quét tăng lên. Mỗi quan hệ so sánh giữa các yếu tố được mô tả trong bảng 7. Trong bước tiếp theo, giá trị ma trận được chuẩn hóa (bảng 8) và xác định mức độ nhất quán, hợp lý của các cặp so sánh. Phương pháp AHP đo sự nhất quán thông qua tỉ số nhất quán (CR), giá trị tỉ số nhất quán tốt nhất là nhỏ hơn 1, nếu lớn hơn cần thực hiện lại (công thức 1, 2). Theo đó trong trường hợp này, tỉ số nhất quán CR = 0,04. Trọng số của các yếu tố độ dốc, lượng mưa, hiện trạng sử dụng đất và thành phần cơ giới đất trong nghiên cứu này lần lượt là 0,56, 0,26, 0,12 và 0,06.

Bảng 7. Bảng so sánh giữa các yếu tố.

	Độ dốc	LM	HTSDD	TPCGĐ	Tổng
Độ dốc	1,00	3,00	5,00	7,00	16,00
LM	0,33	1,00	3,00	5,00	9,33
HTSDD	0,2	0,33	1,00	3,00	4,53
TPCGĐ	0,14	0,20	0,33	1,00	1,68
Total	2	5	9	16	

Bảng 8. Ma trận chuẩn hóa.

	Độ dốc	LM	HTSDD	TPCGĐ	Tổng	Trung bình
Độ dốc	0,60	0,66	0,54	0,44	2,23	0,56
LM	0,20	0,22	0,32	0,31	1,05	0,26
HTSDD	0,12	0,07	0,11	0,19	0,49	0,12
TPCGĐ	0,09	0,04	0,04	0,06	0,23	0,06

Trong đó HTSDD là hiện trạng sử dụng đất; TPCGĐ là thành phần cơ giới đất; LM là lượng mưa.

Ma trận về ý kiến của các chuyên gia có thể được xác định bằng tỉ số nhất quán (*Consistency ratio*–CR):

$$CR = CI / RI \tag{1}$$

Trong đó CI là chỉ số nhất quán (Consistency Index); RI là chỉ số ngẫu nhiên (Random Index). RI được xác định từ bảng cho sẵn (Bảng 9).

$$CI = (\lambda_{max} - n) / (n-1) \tag{2}$$

Trong đó λ_{max} là giá trị riêng của ma trận so sánh; n là số nhân tố.

Bảng 9. Chỉ số ngẫu nhiên ứng với số nhân tố (RI) [20].

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
RI	0,00	0,00	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49	1,51	1,48	1,56	1,57	1,59

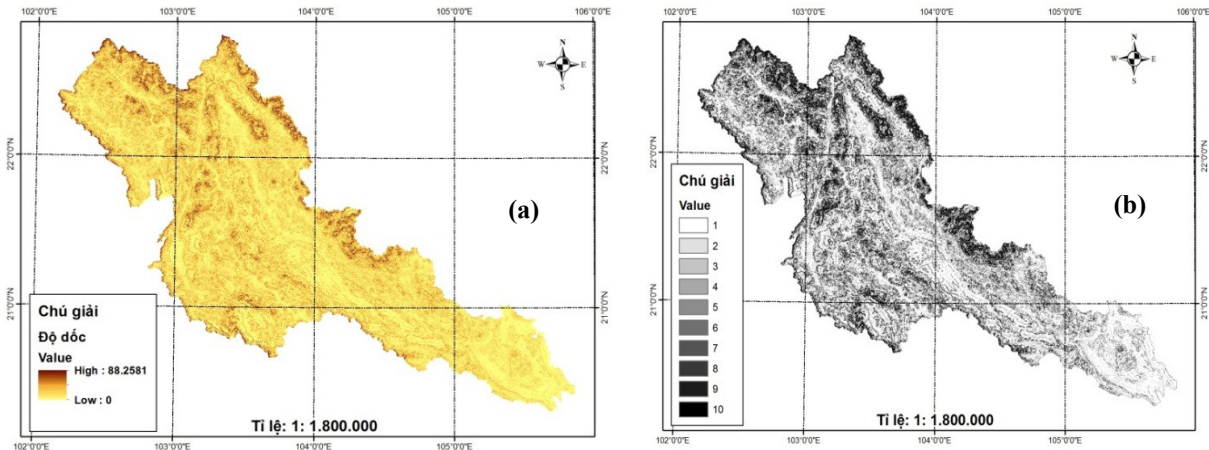
3. Kết quả và thảo luận

3.1. Xây dựng các bản đồ thành phần

3.1.1. Bản đồ phân cấp độ dốc

Dựa vào kết quả nội suy từ dữ liệu DEM khu vực Tây Bắc, ta thấy địa hình cao nhất ở phía phía Bắc và phía Đông Bắc của vùng, độ cao giảm dần về phía trung tâm và phía Nam,

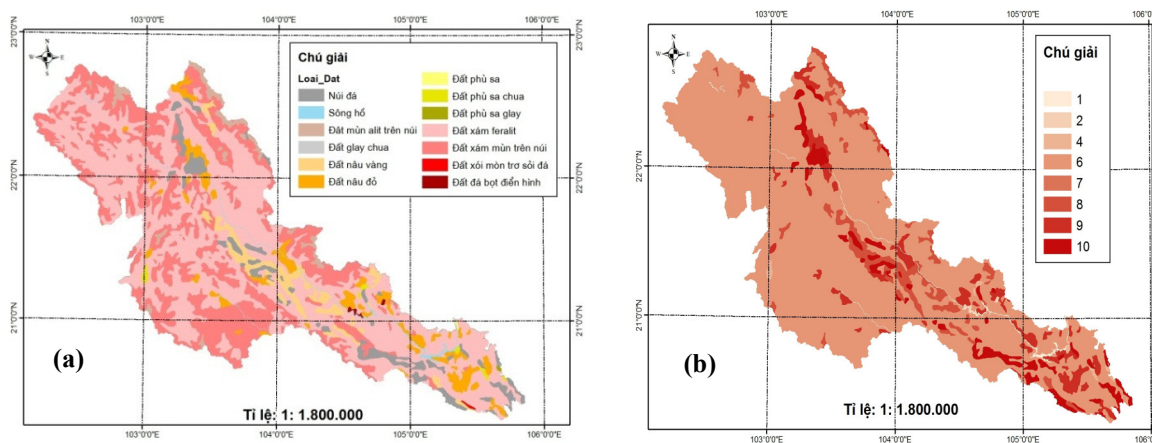
hình thành nên những khu vực có độ dốc lớn, tạo điều kiện dòng chảy tập trung nhanh, dẫn đến nguy cơ xảy ra lũ quét là khá cao (Hình 3).



Hình 3. (a) Bản đồ độ dốc, (b) Bản đồ phân cấp độ dốc.

3.1.2. Bản đồ phân cấp thành phần cơ giới

Đất có nhiều sét, sẽ cực kì dính và dẻo khi gặp nước. Với điều kiện mưa bình thường để duy trì sự sống, đặc điểm đất này thích hợp cho việc giữ nước để cung cấp đủ nước cho cây, ít bị rửa trôi hơn các loại đất khác. Tuy nhiên, đây vừa là thuận lợi vừa là hạn chế khi xảy ra mưa lớn, do đất sét rất chặt, hạt nhỏ nên rất khó thấm và thoát nước. Do đó đất rất dễ bị úng khi mưa và nứt nẻ khi khô hạn. Trên cơ sở thực tế và qua phân tích bản đồ cho thấy, khu vực Tây Bắc có đặc điểm tài nguyên đất điển hình cho thổ nhưỡng của miền núi. Diện tích đất xám feralit và đất xám mùn trên núi rất cao, chiếm khoảng 80% diện tích đất của vùng. Những loại đất này có thành phần cơ giới từ sét đến thịt pha sét (Hình 4a). Trên cơ sở ứng dụng công nghệ GIS và thiết lập các giá trị như phần phương pháp đã đề cập, ta có bản đồ phân cấp thành phần cơ giới đất như hình 4b.

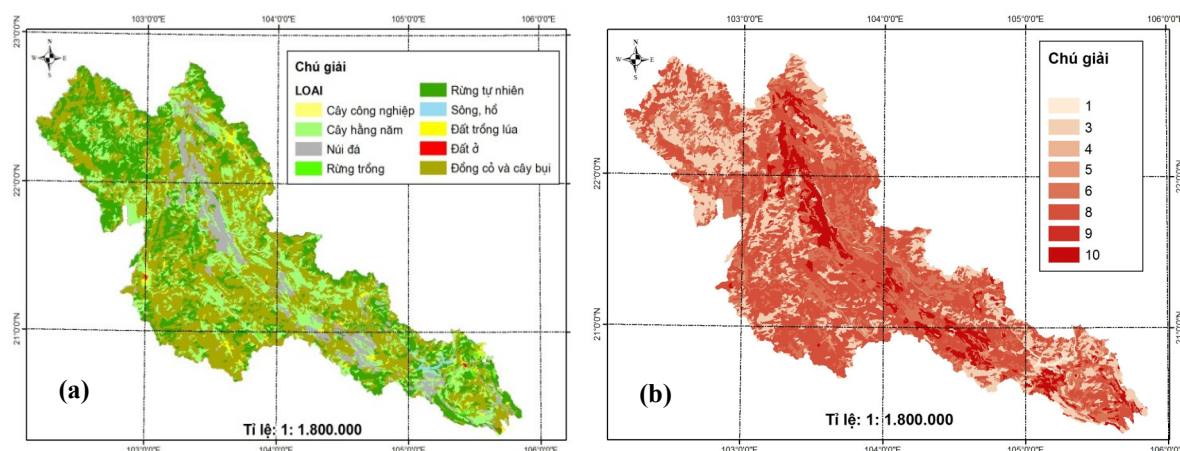


Hình 4. (a) Bản đồ loại đất, (b) Bản đồ phân cấp thành phần cơ giới đất.

3.1.3. Bản đồ phân cấp hiện trạng sử dụng đất

Diện tích đất trồng cây công nghiệp hàng năm, đồng cỏ và cây bụi vẫn chiếm diện tích lớn trong khu vực lên đến 70%. Đây không phải một điểm mạnh cho việc phòng chống nguy cơ do lũ quét. Trong khi đó, diện tích rừng tự nhiên chỉ 870621,1 ha (chiếm 23,5%), khá thấp so với một khu vực chủ yếu là đồi núi như Tây Bắc (Hình 5a). Do vậy, việc tích cực phủ xanh bề mặt đất bằng rừng và che phủ những vùng đất trống đồi trọc là rất cần thiết nhằm giảm

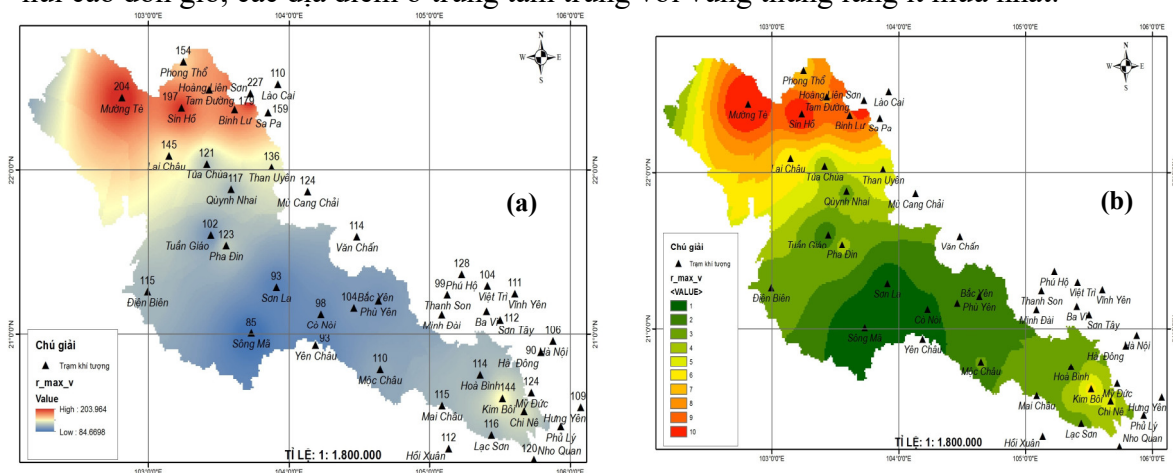
thiểu nguy cơ lũ quét tại khu vực này. Kết quả phân cấp bản đồ hiện trạng sử dụng đất được thể hiện như hình 5b. Theo đó, khu vực núi đá bờ rời, địa hình dốc với lớp phủ bị tàn phá là nơi có nguy cơ xảy ra lũ quét cao nhất được gán giá trị 10, khu vực rừng tự nhiên có nguy cơ thấp nhất được giá trị 1.



Hình 5. (a) Bản đồ hiện trạng sử dụng đất, (b) Bản đồ phân cấp hiện trạng sử dụng đất.

3.1.4. Bản đồ phân cấp mưa

Tây Bắc nằm trong vùng khí hậu nhiệt đới ẩm gió mùa, lượng mưa trong năm được gây ra bởi nhiều nguyên nhân như mưa đối lưu, mưa do bão và áp thấp nhiệt đới. Các cơn mưa này có đặc điểm, mưa lớn, kích thước hạt lớn và mưa trong nhiều giờ. Kết hợp với địa hình dốc của Tây Bắc, rất dễ xảy ra các trận lũ quét không mong muốn. Việc dự báo là hết sức khó khăn vì đây là một khu vực rộng, lại chủ yếu là đồi núi, do đó việc nghiên cứu phương pháp tính toán mưa, khả năng tạo ra lũ quét là rất cần thiết. Theo kết quả thu thập được từ chuỗi dữ liệu tại các trạm đo, lượng mưa một ngày lớn nhất dao động từ 84,6 mm đến 203,9 mm. Từ bản đồ có thể thấy lượng mưa một ngày lớn nhất phân bố theo hướng cao ở phía bắc (Trạm Mường Tè: 204 mm, Trạm Sơn H: 194 mm) và giảm dần về phía trung phía nam (Trạm Hòa Bình: 114 mm, Trạm Mai Châu: 105mm), thấp nhất khu vực trung tâm (Trạm Sơn La: 93 mm, Trạm Sông Mã: 85 mm) (Hình 6a). Bản đồ phân cấp lượng mưa được xây dựng dựa trên kết quả nội suy từ bản đồ lượng mưa một ngày lớn nhất và được mô tả như hình 6b. Dữ liệu mưa một ngày lớn nhất được triết xuất từ chuỗi dữ liệu đo đạc từ năm 1975 đến 2005. Theo đó, nguy cơ xảy ra lũ quét do tác động của mưa được phân thành 10 cấp. Khu vực phía bắc thuộc tỉnh Lai Châu được xác định có nguy cơ cao nhất, đây đồng thời là những địa điểm núi cao đón gió, các địa điểm ở trung tâm trùng với vùng thung lũng ít mưa nhất.



Hình 6. (a) Bản đồ nội suy mưa một ngày lớn nhất, (b) Bản đồ phân cấp lượng mưa.

3.1.5. Bản đồ phân vùng nguy cơ lũ quét

Dựa vào kết quả từ các bản đồ các yếu tố thành phần và giá trị trọng số được xác định ở trên, bản đồ phân vùng nguy cơ lũ quét được thành lập (Công thức 1). Các lớp dữ liệu raster sẽ được chồng xếp bằng công cụ GIS. Theo đó, miền giá trị kết quả sẽ phân bố từ 0 đến 10 và bản đồ phân vùng nguy cơ lũ quét được phân chia đều theo phương pháp trung bình cộng thành năm cấp tương ứng với các giá trị dưới 2, từ 2 đến 4, từ 4 đến 6, từ 6 đến 8 và từ 8 đến 10 (Bảng 10), gồm có: khu vực có nguy cơ rất cao, khu vực có nguy cơ cao, khu vực có nguy cơ trung bình, khu vực có nguy cơ thấp, khu vực có nguy cơ rất thấp.

$$A = \frac{0.56 (X1) + 0.26 (X2) + 0.12 (X3) + 0.06 (X4)}{n} \quad (1)$$

Trong đó A là nguy cơ lũ quét; X₁ là độ dốc; X₂ là lượng mưa, X₃ là hiện trạng sử dụng đất, X₄ là thành phần cơ giới đất; n là tổng giá trị của trọng số (trong trường hợp này n = 1).

Bảng 10. Phân cấp nguy cơ xuất hiện lũ quét.

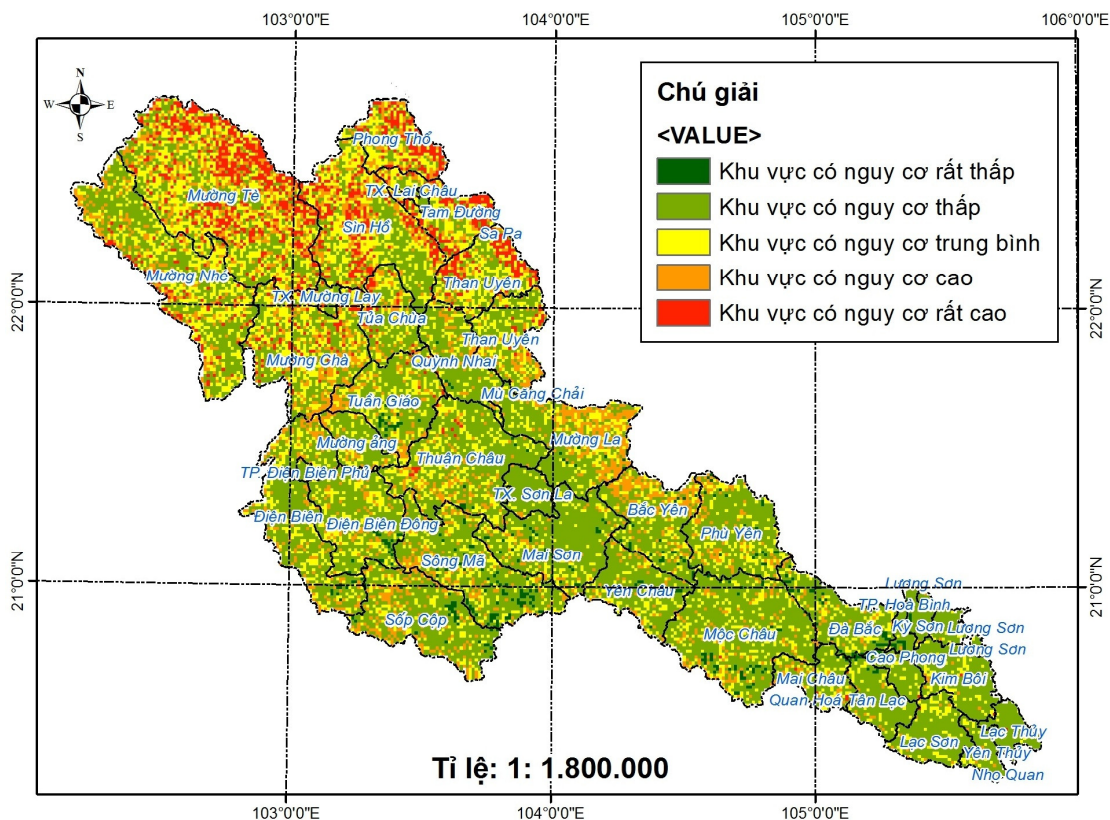
Giá trị	Nguy cơ xuất hiện
Dưới 2	Khu vực có nguy cơ rất thấp
Từ 2 đến 4	Khu vực có nguy cơ thấp
Từ 4 đến 6	Khu vực có nguy cơ trung bình
Từ 6 đến 8	Khu vực có nguy cơ cao
Từ 8 đến 10	Khu vực có nguy cơ rất cao

Kết quả nghiên cứu chỉ ra rằng, hầu hết các địa phương trong khu vực Tây Bắc đều nằm trong diện có nguy cơ lũ quét ở mức thấp và trung bình. Trong đó, khu vực có nguy cơ lũ quét thấp chiếm 54.6%, nguy cơ trung bình chiếm 24.4%. Chỉ có một phần diện tích khá nhỏ trên 60 nghìn ha thuộc khu vực có nguy cơ lũ quét rất thấp được phân bố phía nam huyện Sông Mã, Sốp Cộp, Mộc Châu (Sơn La), một phần diện tích huyện Lương Sơn, Kỳ Sơn, Thành phố Hà Bình (Hòa Bình) (Bảng 11).

Trên toàn khu vực nghiên cứu, có thể thấy lũ quét có nguy cơ hình thành rất cao ở phía bắc và đông bắc, tương ứng với khu vực có địa hình có cao, độ dốc lớn, trong đó phân bố chính ở tỉnh Lai Châu và phía đông bắc tỉnh Sơn La. Một số huyện có nguy cơ lũ quét rất cao như Phong Thổ, Mường Tè, Sìn Hồ, Tam Đường (tỉnh Lai Châu); rải rác ở một số nơi thuộc huyện Mường La (tỉnh Sơn La). Càng về phía nam và tây nam của vùng Tây Bắc, nguy cơ lũ quét ngày càng giảm. Các khu vực có nguy cơ lũ quét thấp hơn nằm rải rác như khu vực tiếp giáp giữa huyện Mường Tè và Mường Nhé, thành phố Điện Biên và một số huyện thuộc tỉnh Hòa Bình (Kì Sơn, Lương Sơn, Cao Phong, Đà Bắc) (Hình 7).

Bảng 11. Phân cấp nguy cơ lũ quét khu vực Tây Bắc.

	Diện tích (ha)	Tỉ lệ (%)
Khu vực có nguy cơ rất thấp	60224,5	1,7
Khu vực có nguy cơ thấp	1989529,6	54,6
Khu vực có nguy cơ trung bình	891209,7	24,4
Khu vực có nguy cơ cao	477837,7	13,1
Khu vực có nguy cơ rất cao	227043,6	6,2



Hình 7. Bản đồ phân vùng nguy cơ lũ quét khu vực Tây Bắc.

Kết quả dự báo khả năng lũ quét xảy ra tại tỉnh thuộc vùng Tây Bắc là tương đối phù hợp với kết quả điều tra về lũ quét như sau:

Tại Lai Châu, ngày 25/6/2018, theo thông tin từ Văn phòng Ban chỉ huy phòng chống thiên tai và tìm kiếm cứu nạn tỉnh Lai Châu, lũ quét đã cướp đi sinh mạng của 11 người dân, 11 người khác mất tích cùng nhiều người bị thương. Trong số các nạn nhân mất tích xã Noong Hèo (huyện Sơn Hòa) có 5 người bị lũ cuốn, 1 người ở xã Mường Thít (huyện Than Uyên), 1 người ở xã Sơn Bình (huyện Tam Đường) và 1 người ở xã Hua Bum (huyện Nậm Nhùn). Ngày 23/9/2020, lũ quét do mưa lớn tiếp tục xảy ra ở các huyện thuộc tỉnh Lai Châu. Lượng mưa phổ biến từ 20 - 60mm/24h, có nơi trên 80mm/24h. Đặc biệt nguy cơ lũ quét, sạt lở đất rất cao tại các huyện: Mường Tè, Sơn Hòa, Tam Đường; nguy cơ lũ quét, sạt lở đất cao tại các huyện: Than Uyên, Tân Uyên, Nậm Nhùn, Phong Thổ và TP. Lai Châu. Theo thống kê, những khu vực này cũng đã từng xảy ra lũ quét đặc biệt nghiêm trọng trong những năm 1990, 1998, 2000. Từ năm 2010 đến nay, hầu như năm nào cũng xảy ra tình trạng lũ quét gây ra thiệt hại rất nghiêm trọng về người và tài sản, đồng thời tổn thương đến môi trường.

Tại cầu Nậm Pay, xã Mùn Chung (Tuần Giáo, Điện Biên) vào ngày 28/8/2018, mưa lớn từ đêm 27/8 đã gây ra lũ quét cao khoảng 2-3 m, chảy tràn qua đường tỉnh 129 khiến các phương tiện không thể lưu thông được. Gần đây nhất, ngày 17/8/2020, lũ quét xảy ra ở xã Nậm Nhừ (Nậm Pồ, Điện Biên). Lũ quét cũng xảy ra ở Sơn La và gây thiệt hại lớn trong những năm 1991, 2015, 2017, tập trung chủ yếu ở các xã thuộc huyện Mường La.

4. Kết luận

Việc lựa chọn các nhân tố và đánh giá trọng số cho các yếu tố đóng vai trò quan trọng trong nghiên cứu. Việc thay đổi vai trò của chúng sẽ ảnh hưởng đáng kể đến kết quả nghiên cứu, do đó cần cần nhắc các yếu tố này một cách cẩn thận. Việc đánh giá các trọng số cần dựa trên tình hình thực tế của khu vực nghiên cứu cũng như ý kiến từ các chuyên gia nhằm đảm bảo độ chính xác của kết quả nghiên cứu.

Mặc dù lũ quét là một hiện tượng từ tự nhiên, nhưng nó lại bị tác động bởi các yếu tố con người. Việc khai thác sản xuất, xây dựng các công trình, đốt nương làm rẫy của các đồng bào dân tộc nơi đây có ảnh hưởng không nhỏ đến việc làm tăng nguy cơ lũ quét. Do đó việc nâng cao trình độ dân trí, hạn chế các tác động tiêu cực đến môi trường và lớp phủ rừng là giải pháp rất quan trọng đối với khu vực Tây Bắc nhằm giảm thiểu ảnh hưởng do lũ quét gây ra.

Theo đó, các khu vực có nguy cơ lũ quét cao trong khu vực nghiên cứu trùng khớp là những nơi có độ dốc địa hình lớn. Chẳng hạn khu vực, tỉnh Lai Châu, phía đông và đông bắc là dãy Hoàng Liên Sơn cao và đồ sộ, phía bắc là các dãy núi cao ven biên giới Việt Trung. Hơn nữa, với địa hình cao, các khu vực núi này có vai trò như bức chắn địa hình, gây mưa cho khu vực Tây Bắc. Trên hết, khu vực Lai Châu và đông bắc Sơn La, nằm giáp ranh nên thường xảy ra mưa lớn, kết hợp với độ dốc địa hình, sinh ra lũ quét. Ngược lại, các khu vực khác ngoài việc phân bố ở các khu vực đồi núi có độ dốc thấp hơn, thì lượng mưa cung cấp cũng không quá lớn. Đặc biệt là khu vực trung tâm của tiểu vùng Tây Bắc, bao gồm một số khu vực thuộc địa phận các huyện của tỉnh Sơn La và Điện Biên. Càng xuống phía nam, tức vùng hạ lưu sông Đà, khu vực tỉnh Hòa Bình có nguy cơ xảy ra lũ quét thấp nhất, do đây có độ dốc không quá lớn, lượng mưa trung bình, thảm thực vật lại phân bố đa dạng. Cụ thể, đây là khu vực phát triển nhiều mô hình vườn – rừng trong khu vực, khi kết hợp phát triển trồng cây ăn quả với trồng rừng. Kết quả từ mô hình đa chỉ tiêu phù hợp với tình hình thực tế của khu vực nghiên cứu.

Tuy nhiên nghiên cứu còn tồn tại một vài hạn chế do sự thiếu hụt về cơ sở dữ liệu. Cụ thể, dữ liệu lượng mưa một ngày lớn nhất mới chỉ thu thập được trong khoảng thời gian 30 năm (1975 đến 2005), khoảng thời gian này là chưa đủ thuyết phục để kết luận tính quy luật của một hiện tượng có tính ổn định như khí hậu. Đặc biệt, sự biến đổi khí hậu và những diễn biến thất thường xảy ra khá rõ nét trong những thập niên gần đây. Bên cạnh đó, việc dùng lại ở các đối chiếu so sánh kết quả nghiên cứu với các thông tin thu thập từ các bài báo tản mác cũng phần nào làm ảnh hưởng đến mức độ đáng tin cậy của kết quả. Việc cần có những công trình nghiên cứu chuyên sâu làm đối chiếu so sánh là rất cần thiết. Những hạn chế này sẽ được nhóm tác giả tiếp tục hoàn thiện trong những nghiên cứu tiếp theo.

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

Lời cảm ơn: Bài báo là kết quả của Đề tài NCKH cấp Trường được tài bởi Trường Đại học Sư phạm Hà Nội. Mã số: SPHN19–08.

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. Jeffrey, Z.; Kevin, D. The Flash floods potential index at WFO Des Moines, Iowa, Project at National Weather Service, National Oceanic and Atmospheric Administration, 2013. <http://204.227.127.200/images/dmx/hydro/FFPI'WriteUp.pdf>.
2. Vietnam country report. The 10th ASEAN & Japan highlevel official meeting on Caring Societies, National framework and practices for socially vulnerable groups in case where natural disaster hit country, Tokyo, Japan, 2012.
3. <https://www.mhlw.go.jp/bunya/kokusaigyomu/asean/2012/dl/Vietnam'CountryReport.pdf>.

4. Nektarios, N.K.; George, P.K. Flood management and a GIS modeling method to assess flood-hazard areas – a case study. *Hydrol. Sci. J.* **2011**, *56*, 212–225.
5. Tawatchai, T.F.K. Flood-hazard assessment and riskbased zoning of a tropical Floodplain: Case study of the Yom River, Thailand. *Hydrol. Sci. J.* **2010**, *55*, 145–161.
6. Karatzas, N.N. Flood management and a GIS modeling method to assess flood-hazard areas – a case study. *Hydrol. Sci. J.* **2011**, *56*, 212–225.
7. Evangelia, G.; Chrisoula, R.; Kleomenis, K.; Christos, C. A gis-based flash flood runoff model using high-resolution DEM and meteorological data. *Eur. Assoc. Remote Sens.* **2013**, *12*, 33–43.
8. Jasper, K.; Gurtz, J.; Lang, H. Advanced Flood forecasting in Alpine watersheds by coupling meteorological observations and forecasts with a distributed hydrological model. *J. Hydrol.* **2002**, *267*, 253–254.
9. Trương, V.A.; Hoàng, T.S. Phân vùng hiểm họa lũ lụt do mưa lớn trên lục địa kết hợp với mực nước biển dâng lưu vực sông Vu Gia, Thu Bồn. *Tap chí Khí tượng Thủy văn* **2019**, *705*, 1–10.
10. Đỗ, T.D.; Trần, H.T. Đánh giá tác động của ngập lụt đến sử dụng đất nông nghiệp ở các huyện ven biển của tỉnh Nghệ An trong bối cảnh biến đổi khí hậu. *Tap chí Khí tượng Thủy văn* **2017**, *674*, 1–7.
11. Tincu, R.; Lazar, G.; Lazar, I. Modified flash flood potential index in order to estimate areas with predisposition to water accumulation. *Open Geosci.* **2018**, *10*, 593–606.
12. Wang, Y.; Hong, H.; Chen, W.; Li, S.; Pamučar, D.; Gigović, L.; Drobniak, S.; Bui, D.T.; Duan, H. A hybrid GIS multi-criteria decision-making method for flood susceptibility mapping at Shangyou, China. *Remote Sens.* **2019**, *11*, 1–34.
13. Romulus, C.; Dieu, T.B. Identification of areas prone to flash-flood phenomena using multiple-criteria decision-making, bivariate statistics, machine learning and their ensembles. *Sci. Total Environ.* **2020**, *712*, 1–12.
14. Lê, H.T.; Nguyễn, T.H.; Nguyễn, D.L.; Nguyễn, K.L. Phân vùng nguy cơ lũ lụt tại lưu vực sông Vu Gia, tỉnh Quảng Nam bằng ứng dụng công nghệ GIS và thuật toán AHP. *Tap chí Khoa học ĐHQGHN, Các Khoa học Trái đất và Môi trường* **2013**, *3*, 64–72.
15. Trần, T.P.; Phan, T.M.; Nguyễn, B.N. Sử dụng phân tích đa tiêu chí để cảnh báo nguy cơ lũ lụt tại huyện Quảng Điền, tỉnh Thừa Thiên Huế, *Tap chí khoa học và công nghệ nông nghiệp* **2020**, *4*, 1721–1733.
16. Lê, N.N.; Nguyễn, N.T.; Lã, T.H. Tích hợp GIS và viễn thám xác định nguy cơ lũ quét lưu vực sông Năng, tỉnh Bắc Kạn. *Tap chí Khí tượng Thủy văn* **2015**, *5*, 19–26.
17. Lại, T.A.; Nguyễn, N.T.; Phạm, X.C; Lê, N.N; Vũ, D.C. Xây dựng hệ thống cảnh báo sớm lũ quét ở vùng núi, thử nghiệm tại huyện Thuận Châu, Sơn La. *Tap chí Khoa học Công nghệ Việt Nam* **2018**, *60*, 28–35.
18. Kiều, V.H.; Vũ, H.N. Ứng dụng Viễn thám và GIS xây dựng bản đồ tiềm năng lũ quét tỉnh Lai Châu. *Hội thảo khoa học “Khoa học Địa lý trong sự nghiệp giáo dục*

đào tạo và phát triển kinh tế-xã hội của đất nước. NXB Đại học Sư phạm, 2006, 478 – 488.

19. Smith, G. Flash flood potential: Determining the hydrologic response of FFPI basins to heavy rain by analyzing their physiographic characteristics. https://www.cbrfc.noaa.gov/papers/ffp_wpap.pdf.
20. Đặng, D.L. Địa lí tự nhiên Việt Nam 2 (Phần khu vực). NXB Đại học Sư phạm, Hà Nội, 2015.
21. Greenhill, N.B.; Peverill, K.I.; Douglas, L.A. Surface runoff losses from sloping fertilised perennial pasture in Victoria, Australia; New Zealand. *J. Agric. Res.* **1983**, *26*, 227–231.
22. Fox, D.M.; Bryan, R.B.; Price, A.G. The influence of slope angle on infiltration rate for interrill conditions. *Geoderma*. **1997**, *80*, 181–194.
23. Thinh, N.V.; Hoan, K.V.; Thanh, D.V. Ứng dụng ArcGIS trong nghiên cứu và giảng dạy địa lý. NXB Đại học Sư phạm, Hà Nội, 2016.
24. Loi, D.T.; Thanh, D.V.; Huong, L.V. Detection of flash-flood potential areas using watershed characteristics: Application of Cau river watershed in Vietnam. *J. Earth Sys. Sci.* **2020**, *129*, 1–16.
25. Pei, J.S.; Yi, Y.; Jing, Z.; Jing, A.W.; Yi, G.; Guo, Y.Q. The effect of land use/cover change on surface runoff in Shenzhen Region, China. *Catena* **2007**, *69*, 31–35.
26. Saaty, R.W. The analytic hierarchy process – what it is and how it is used. *Math. Model.* **1987**, *9*, 161–176.

Application of Multi Criteria Decision Model to assess flash flood risk in the context of global climate change. A case study: Northwest mountainous region–Vietnam

Duong Thi Loi^{1*}, Dang Phuong Lan¹

¹ Faculty of Geography, Hanoi National University of Education; duongloi1710@gmail.com; landp@hnue.edu.vn

Abstract: Flash flood is a typical natural disaster in the Northwest mountainous region of Vietnam, however forecasting is difficult due to its complexity and the impacts of global climate change. The purpose of this study is to identify areas at high risk of flash floods based on the actual characteristics of the study area using a multi criteria decision model. Slope, land use, soil texture, and rainfall are selected and weighted criteria corresponding to its impact on flash flood potential in the study area. The AHP (Analytic Hierarchy Process) method is a multi-criteria analysis method used to determine the comparative correlation between the criteria, thereby building the flash flood risk zoning map. Accordingly, the study area is classified into five levels: very low risk area, low risk area, medium risk area, high risk area, and very high risk area. The research results have shown that flash floods have a very high risk of forming in the north and northeast of the study area with above 15 % of the total area, of which the main distribution is in Lai Chau and northeast of Son La province. The research results are reliable documents for natural disaster prevention and environmental resource management in the Northwest.

Keywords: Flash flood; Multi Criteria Decision Model; Northwest mountainous region; AHP.

Bài báo khoa học

Nghiên cứu xây dựng phương án dự báo lũ Tiểu mãn dựa vào hình thể thời tiết gây lũ khu vực Trung Trung Bộ

Phạm Văn Chiến¹, Đỗ Thị Phương Linh^{1*}, Nguyễn Thế Long¹, Nguyễn Minh Tuấn¹, Nguyễn Văn Khánh¹

¹ Đài Khí tượng Thủy văn khu vực Trung Trung Bộ; pvchien@gmail.com; phuonglinhdo5@gmail.com; thelongol@gmail.com; tuanm18db@gmail.com; nvkhanhktv@gmail.com;

* Tác giả liên hệ: phuonglinhdo5@gmail.com; Tel: +84-978760850

Ban Biên tập nhận bài: 06/11/2020; Ngày phản biện xong: 23/12/2020; Ngày đăng bài: 25/1/2021

Tóm tắt: Bài báo này là kết quả nghiên cứu xây dựng phương án dự báo lũ Tiểu mãn dựa vào phân loại các hình thể thời tiết gây lũ và phân tích quan hệ mưa lũ, bộ số liệu đưa vào xây dựng phương án từ năm 1978 đến 2019 cho kết quả khá tốt. Kết quả xây dựng phương án sẽ hỗ trợ cho các dự báo viên trong quá trình tác nghiệp dự báo khả năng xuất hiện lũ Tiểu mãn khu vực Trung Trung Bộ và đáp ứng yêu cầu ngày càng cao của xã hội. Đây là một phương án hiệu quả phục vụ tốt cho công tác dự báo nghiệp vụ trong tương lai.

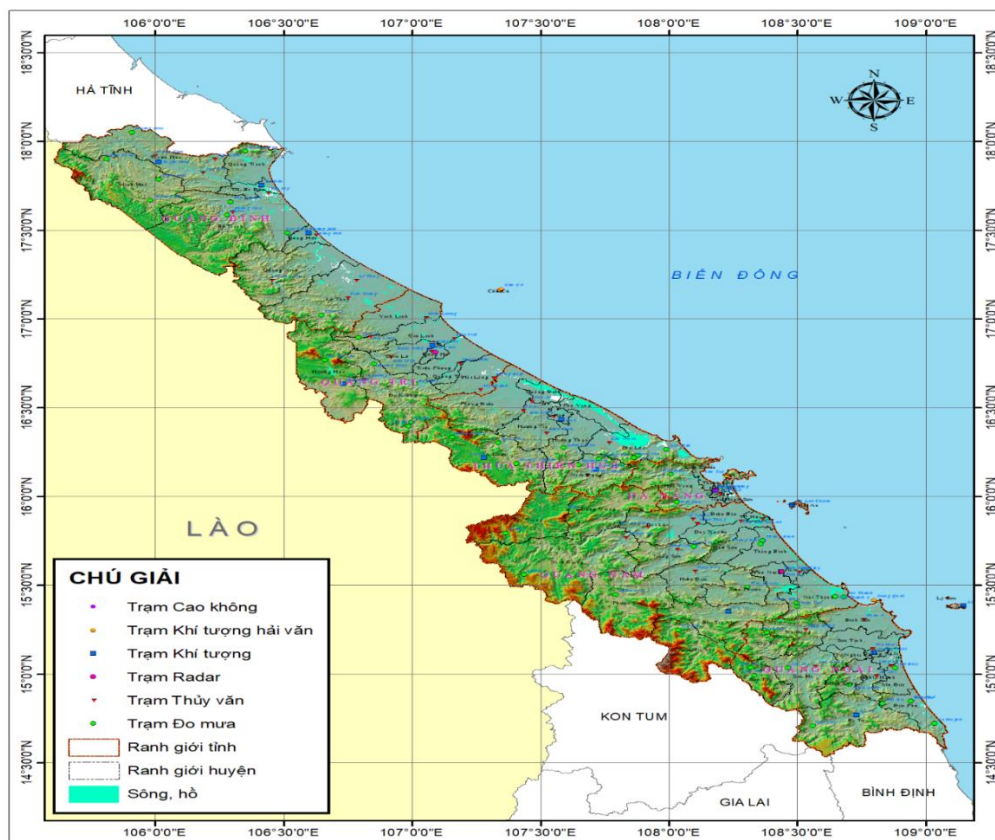
Từ khóa: Lũ Tiểu mãn; Hình thể thời tiết; Công nghệ dự báo.

1. Mở đầu

Nước ta nằm trong vùng khí hậu nhiệt đới gió mùa với các loại thiên tai rất đa dạng. Trong khoảng hơn 20 năm trở lại đây, những hiện tượng thời tiết cực đoan như hạn hán, ngập lụt, sạt lở đất, bão lũ diễn ra ngày càng phức tạp đã làm trên 13.000 người thiệt mạng, bị thương và thiệt hại rất lớn về tài sản và cơ sở hạ tầng [1]. Trong đó lũ lụt là một trong những hiện tượng thời tiết cực đoan gây thiệt hại lớn về người và tài sản, như trận lũ năm 1999 trên các sông từ Quảng Trị đến Quảng Ngãi gây thiệt hại nặng nề, nhất là các tỉnh Thừa Thiên Huế, Quảng Nam, Quảng Trị và thành phố Đà Nẵng, riêng tại tỉnh Thừa Thiên Huế, đã có 372 người chết và thiệt hại hơn 1.780 tỷ đồng. Trận lũ tháng 10 năm 2007 là trận lũ lịch sử trong vòng 45 năm qua ở khu vực Bắc Trung Bộ đã gây vỡ đê trên Sông Bưởi ở Thanh Hóa, lũ quét ở Nậm Giải huyện Quế Phong, Nghệ An..., làm 88 người chết, 8 người mất tích, thiệt hại khoảng 3.215 tỷ đồng [2].

Do các tác hại to lớn do lũ lụt gây ra nên các nghiên cứu trong lĩnh vực này đã được Nhà nước ta quan tâm và phát triển mạnh. Các nghiên cứu tập trung vào phân tích đánh giá đặc điểm, diễn biến lũ, ngập lụt; dự báo lũ, xây dựng bản đồ nguy cơ ngập lụt; nghiên cứu xây dựng các công cụ, hệ thống hỗ trợ khả năng nhận định diễn biến lũ lụt trong cộng đồng, các hệ thống cảnh báo sớm về nguy cơ xảy ra lũ, lũ quét; nghiên cứu xây dựng hành lang thoát lũ.

Lưu vực Sông Gianh, sông Kiến Giang, sông Thạch Hãn, sông Trà Khúc và sông Vệ, nằm trong tọa độ địa lý từ 14⁰47'9" đến 17⁰43' vĩ độ Bắc và 105⁰50' đến 108⁰50'36" kinh độ Đông, vào thời kỳ tiết Tiểu mãn thường hay xảy ra các đợt mưa lũ gây thiệt hại nghiêm trọng về sản xuất nông nghiệp, tài sản, ảnh hưởng trực tiếp đến đời sống người dân [3], do đó xây dựng các phương án dự báo, cảnh báo mưa lũ Tiểu mãn là hết sức cần thiết trong công tác phòng chống, giảm nhẹ thiệt hại do lũ lụt gây ra.



Hình 1. Bản đồ khu vực Trung Trung Bộ.

Các hình thể thời tiết gây mưa lũ Tiểu mãn ở khu vực này rất đa dạng. Qua thống kê, phân tích các đợt mưa lũ Tiểu mãn giai đoạn từ 1978–2019, trên các lưu vực khác nhau có khi cùng một hình thể thời tiết nhưng lũ lại khác nhau, tùy thuộc vào vị trí và địa hình, đặc điểm sông suối. Có đợt mưa lũ gây ra chỉ do một hình thể thời tiết đơn thuần, có những đợt gây lũ do sự kết hợp của các hình thể thời tiết gây nên. Do đó mục tiêu của nghiên cứu là xây dựng được phương án dự báo khả năng xuất hiện lũ Tiểu mãn trên Sông Gianh, sông Kiến Giang, sông Thạch Hãn, sông Trà Khúc, Sông Vệ dựa vào hình thể thời tiết gây lũ.

2. Cơ sở số liệu và phương pháp nghiên cứu

2.1. Cơ sở số liệu

Để phục vụ cho công tác nghiên cứu, nhóm nghiên cứu tiến hành thu thập số liệu mưa, mực nước của các đợt mưa lũ Tiểu mãn của tất cả các trạm khí tượng thủy văn trên khu vực nghiên cứu từ năm 1978 đến năm 2019 bao gồm:

- Lưu vực Sông Gianh: 02 trạm khí tượng (trạm Tuyên Hóa, Ba Đồn); 2 trạm thủy văn (trạm Đồng Tâm, Mai Hóa); 01 trạm đo mưa (trạm Minh Hóa).

- Lưu vực sông Kiến Giang: 01 trạm khí tượng (trạm Đồng Hới), 02 trạm thủy văn (Kiến Giang và Lệ Thủy), 01 trạm đo mưa (trạm Trường Sơn).

- Lưu vực sông Thạch Hãn: 2 trạm khí tượng (Đông Hà, Khe Sanh), 2 trạm thủy văn (Đông Hà, Thạch Hãn).

- Lưu vực sông Trà Khúc: 1 trạm khí tượng (Quảng Ngãi), 2 trạm thủy văn (Trà Khúc, Sơn Giang), 2 trạm đo mưa (Sơn Hà, Giá Vực).

- Lưu vực sông Vệ: 01 trạm khí tượng (Ba Tơ), 1 trạm thủy văn (An Chí), 01 trạm đo mưa (Minh Long).

2.2. Phương pháp nghiên cứu

Dựa vào chuỗi số liệu thống kê các đợt mưa lũ Tiểu mãn từ năm 1978 đến năm 2019 của 20 trạm khí tượng thủy văn trên khu vực nghiên cứu, phân tích bản đồ Synop về hình thể thời tiết xác định được các hình thể gây mưa lũ chính gồm có: Bão hoặc áp thấp nhiệt đới (ATNĐ); bão hoặc ATNĐ kết hợp với một hình thể thời tiết khác; hội tụ gió tây trên cao; hội tụ gió tây trên cao kết hợp với không khí lạnh tăng cường (KKLTC); hội tụ gió tây trên cao kết hợp với rìa nam rãnh áp thấp; rìa nam rãnh áp thấp kết hợp với KKLTC; KKLTC đơn thuần; các loại hình thể thời tiết khác (hoạt động của ảnh thấp có trục tây bắc–đông nam, phía nam rãnh qua Bắc Bộ bị nén và đẩy xuống phía nam,...). Qua số liệu thu thập, thấy rằng các hình thể gây mưa lũ Tiểu mãn với tần suất lớn trên các sông chủ yếu có liên quan đến Hội tụ gió tây, ngoài ra trên lưu vực sông Thạch Hãn còn do bão, lưu vực Sông Vệ do rìa nam rãnh thấp kết hợp với KKLTC.

Bảng 1. Các hình thể chính gây mưa, lũ trên sông Gianh (Trạm Đồng Tâm).

Loại	Hình thể thời tiết	Số trận lũ	Tần suất (%)
A	Bão hoặc ATNĐ	5	13
B	Bão hoặc ATNĐ kết hợp một hình thể khác	3	8
C	Hội tụ gió Tây trên cao	4	10
D	Hội tụ gió Tây trên cao kết hợp với KKLTC	5	13
E	Hội tụ gió Tây trên cao kết hợp với rìa nam rãnh thấp	14	35
F	Rìa nam rãnh thấp kết hợp với KKLTC	2	5
M	Không khí lạnh tăng cường	2	5
G	Các loại hình thể thời tiết khác	5	13
Tổng		40	100

Bảng 2. Các hình thể chính gây mưa, lũ trên sông Kiến Giang (Trạm Kiến Giang).

Loại	Hình thể thời tiết	Số trận lũ	Tần suất (%)
A	Bão hoặc ATNĐ	6	12
B	Bão hoặc ATNĐ kết hợp với một hình thể khác	3	6
C	Hội tụ gió Tây	5	10
D	Hội tụ gió Tây trên cao kết hợp với KKLTC	11	22
E	Hội tụ gió Tây trên cao kết hợp với rìa nam rãnh áp thấp	14	27
M	Không khí lạnh tăng cường	3	6
G	Các loại hình thể thời tiết khác	9	18
Tổng		51	100

Bảng 3. Các hình thể chính gây mưa, lũ trên sông Thạch Hãn (Trạm Thạch Hãn).

Loại	Hình thể thời tiết	Số trận lũ	Tần suất (%)
A	Bão hoặc ATNĐ	6	50
B	Bão hoặc ATNĐ kết hợp với một hình thể khác	2	17
F	Rìa nam rãnh áp thấp kết hợp với KKLTC	1	8
M	Không khí lạnh tăng cường	2	17
G	Các loại hình thể thời tiết khác	1	8
Tổng hợp		12	100

Bảng 4. Các hình thể chính gây mưa, lũ trên sông Trà Khúc (Trạm Trà Khúc).

Loại	Hình thể thời tiết	Số lần lũ	Tần suất (%)
A	Bão hoặc ATNĐ	8	20
B	Bão hoặc ATNĐ kết hợp với một hình thể thời tiết khác	3	7
C	Hội tụ gió Tây trên cao	3	7
D	Hội tụ gió Tây trên cao kết hợp với KKLTC	5	12
E	Hội tụ gió Tây trên cao kết hợp rìa nam rãnh áp thấp	15	37
F	Rìa nam rãnh áp thấp kết hợp với KKLTC	2	5
G	Các hình thể thời tiết khác	5	12
Tổng		41	100

Bảng 5. Các hình thể chính gây mưa, lũ trên sông Vệ (Trạm An Chí).

Loại	Hình thể thời tiết	Số trận lũ	Tần suất (%)
A	Bão hoặc ATNĐ	6	20
B	Bão hoặc ATNĐ kết hợp với một hình thể khác	4	13
C	Hội tụ gió Tây trên cao	1	3
D	Hội tụ gió Tây trên cao kết hợp với KKLTC	3	10
E	Hội tụ gió Tây trên cao kết hợp với rìa nam rãnh áp thấp	5	17
F	Rìa nam rãnh thấp kết hợp với KKLTC	7	23
G	Các loại hình thể thời tiết khác	4	13
Tổng		30	100

Sự hình thành lũ là sự kết hợp của nhiều yếu tố trên lưu vực như mưa, tổn thất, độ lớn và hình dạng lưu vực, địa hình, mật độ mạng lưới sông [5, 6, 7].....Mà mỗi loại hình thể lại gây ra đặc điểm mưa khác nhau trên lưu vực, có khi cùng một loại hình thể tác động lại gây ra mưa khác nhau trên các lưu vực khác nhau, hoặc nhiều khi chịu tác động của hai hình thể thời tiết giống nhau nhưng hình thể này tác động trước hình thể kia tác động sau cũng gây nên lượng mưa khác nhau.

Trên cơ sở xác định được các hình thể gây mưa lũ và số liệu thống kê tổng lượng mưa [8], số ngày mưa của những trận lũ trên các lưu vực xây dựng quan hệ mưa lũ như sau:

$$H_{max} = f(H_c, \sum X_{tblv}, N) \tag{1}$$

Trong đó H_{max} là mực nước đỉnh lũ; H_c là mực nước chân lũ; $\sum X_{tblv}$ là tổng lượng mưa TBLV; N là số ngày mưa lớn trên lưu vực.

Mỗi nhân tố trên đều ảnh hưởng lớn đến yếu tố dự báo. Kết quả tính toán cho thấy, tương quan trên đáp ứng được yêu cầu về độ tin cậy, có thể làm công cụ trong dự báo, cảnh báo lũ.

3. Kết quả và thảo luận

Dựa trên số liệu thống kê đặc trưng mưa lũ từ năm 1978–2019 cho 5 lưu vực: Sông Gianh, Kiến Giang, Thạch Hãn, Trà Khúc và Sông Vệ, xây dựng phương án dự báo lũ dựa vào các dạng hình thể thời tiết chính. Tuy nhiên trên một số lưu vực số trận lũ gây ra bởi cùng một hình thể không nhiều, khi xây dựng riêng kết quả có độ tin cậy không cao, do đó ta xây dựng một số phương án gộp một vài hình thể thời tiết lại, phương án nào cho kết quả tốt nhất sẽ được lựa chọn.

Bảng 6. Kết quả đánh giá phương án dự báo tại Đồng Tâm.

Hình thể thời tiết	Hệ số tương quan	Mức đảm bảo P%	η	σ'/σ	Xếp loại
Ảnh hưởng của 1 loại hình thể thời tiết	0,85	77	0,85	0,27	Đạt
Sự kết hợp của hai hình thể thời tiết gây lũ trở lên	0,80	96	0,80	0,36	Đạt

Bảng 7. Kết quả đánh giá phương án dự báo tại Kiến Giang.

Hình thể thời tiết	Hệ số tương quan	Mức đảm bảo P%	η	σ'/σ	Xếp loại
Bão hoặc ATNĐ, Bão hoặc ATNĐ kết hợp 1 hình thể thời tiết khác	0,88	89	0,94	0,12	Tốt
Hội tụ gió tây, Hội tụ gió tây kết hợp KKLTC, Hội tụ gió tây kết hợp rìa nam rãnh áp thấp	0,76	77	0,75	0,44	Dùng Tạm
Các hình thể thời tiết khác, không khí lạnh	0,75	80	0,75	0,44	Dùng tạm

Bảng 8. Kết quả đánh giá phương án dự báo tại Thạch Hãn.

Hình thể thời tiết	Hệ số tương quan	Mức đảm bảo P%	η	σ'/σ	Xếp loại
Tất cả các hình thể	0,77	62	0,78	0,39	Dùng tạm

Bảng 9. Kết quả đánh giá phương án dự báo tại Trà Khúc.

Hình thể thời tiết	Hệ số tương quan	Mức đảm bảo P%	η	σ'/σ	Xếp loại
Ảnh hưởng của 1 loại hình thể thời tiết	0,88	75	0,88	0,23	Đạt
Sự kết hợp của hai hình thể thời tiết gây lũ trở lên	0,90	91	0,90	0,18	Tốt

Bảng 10. Kết quả đánh giá phương án dự báo tại An Chi.

Hình thể thời tiết	Hệ số tương quan	Mức đảm bảo P%	η	σ'/σ	Xếp loại
Bão hoặc ATNĐ, Bão hoặc ATNĐ kết hợp 1 hình thể thời tiết khác	0,86	78	0,94	0,13	Đạt
Hội tụ gió tây, Hội tụ gió tây trên cao kết hợp KKL, Hội tụ gió tây trên cao kết hợp rìa nam rãnh thấp, rìa nam rãnh áp thấp bị nén kết hợp KKLTC, các hình thể thời tiết khác	0,80	94	0,94	0,11	Tốt

Bảng 11. Đánh giá chất lượng dự báo trị số tại Đồng Tâm và Kiến Giang.

Đồng Tâm				Kiến Giang					
Ảnh hưởng của 1 loại hình thể thời tiết		Sự kết hợp của hai hình thể thời tiết gây lũ trở lên		Bão hoặc ATNĐ, Bão hoặc ATNĐ kết hợp 1 hình thể thời tiết khác		Hội tụ gió tây, Hội tụ gió tây kết hợp KKLTC, Hội tụ gió tây kết hợp rìa nam rãnh áp thấp		Các hình thể thời tiết khác, không khí lạnh	
Xếp loại	P%	Xếp loại	P%	Xếp loại	P%	Xếp loại	P%	Xếp loại	P%
Tốt	18	Tốt	50	Tốt	22	Tốt	26	Tốt	30
Khá	27	Khá	21	Khá	11	Khá	22	Khá	20
Đạt	27	Đạt	25	Đạt	56	Đạt	30	Đạt	30
Kém	13	Kém	4	Kém	11	Kém	19	Kém	10
Quá kém	9	Quá kém	0	Quá kém	0	Quá kém	4	Quá kém	10

Bảng 12. Đánh giá chất lượng dự báo trị số tại Thạch Hãn và Trà Khúc.

Thạch Hãn		Trà Khúc				An Chi			
Tất cả các hình thể		Ảnh hưởng của 1 loại hình thể thời tiết		Sự kết hợp của hai hình thể thời tiết gây lũ trở lên		Bão hoặc ATNĐ, Bão hoặc ATNĐ kết hợp 1 hình thể thời tiết khác		Hội tụ gió tây, Hội tụ gió tây trên cao kết hợp KKL, Hội tụ gió tây trên cao kết hợp rìa nam rãnh thấp, rìa nam rãnh áp thấp bị nén kết hợp KKLTC, các hình thể thời tiết khác	
Xếp loại	P%	Xếp loại	P%	Xếp loại	P%	Xếp loại	P%	Xếp loại	P%
Tốt	15	Tốt	27	Tốt	45	Tốt	22	Tốt	33

Khá	8	Khá	27	Khá	21	Khá	33	Khá	22
Đạt	39	Đạt	21	Đạt	24	Đạt	22	Đạt	39
Kém	38	Kém	25	Kém	7	Kém	0	Kém	0
Quá kém	0	Quá kém	0	Quá kém	3	Quá kém	22	Quá kém	6

Kết quả xây dựng phương án dự báo đỉnh lũ Tiểu mãn theo các dạng hình thể thời tiết điển hình trên lưu vực Sông Gianh, Kiến Giang, Thạch Hãn, Trà Khúc, Sông Vệ thấy tương quan giữa các yếu tố khá chặt chẽ (hệ số tương quan xây dựng phương án dao động từ 0,75–0,90).

Kết quả đánh giá phương án trên lưu vực Sông Gianh, Thạch Hãn, Trà Khúc cho thấy, tất cả các phương án đều có thể sử dụng trong nghiệp vụ dự báo, nhất là trong trường hợp mưa tập trung trong thời gian ngắn từ 1–2 ngày đối với lưu vực Sông Gianh và Kiến Giang, 2–3 ngày đối với lưu vực sông Trà Khúc, Sông Vệ. Tuy nhiên, một số trận lũ có tổng lượng mưa lớn nhưng đỉnh lũ lại không cao. Nguyên nhân là do mưa không liên tục, kéo dài nhiều ngày và cường độ mưa không đều, gây nên lũ kép có 2 hoặc nhiều đỉnh liên tiếp nên thường rất khó dự báo; một nguyên nhân nữa có thể đề cập đến là vị trí đặt trạm đo mưa không đủ đại diện cho mưa trên khu vực đó.

Phương án Hội tụ gió tây, Hội tụ gió tây kết hợp với KKL, Hội tụ gió tây kết hợp rìa nam rãnh thấp và phương án các hình thể thời tiết khác, không khí lạnh cho lưu vực sông Kiến Giang cho chỉ số η không cao, nguyên nhân dẫn đến kết quả tính toán như vậy là do điểm đặt trạm đo mưa trên thượng nguồn rất thưa, lượng mưa lưu vực không đủ đại diện cho toàn bộ lưu vực. Phương án dự báo trên lưu vực sông Thạch Hãn cũng có thể dùng tạm trong nghiệp vụ dự báo, chỉ số $\eta = 0,78$ và mức đảm bảo đạt 62%. Nguyên nhân mức đảm bảo chỉ đạt 62% là do khi tách ra thành nhiều phương án theo hình thể thời tiết thì số lượng các đợt mưa lũ quá ít, không đủ phản ánh đúng về mưa lũ trên lưu vực, tuy nhiên khi gộp các hình thể thời tiết lại với nhau, mỗi loại hình thể thời tiết lại có đặc điểm mưa, lũ khác nhau, dẫn đến chất lượng phương án chỉ ở mức dùng tạm.

Qua thống kê số liệu mưa lũ Tiểu mãn trong vòng 41 năm (1978–2019) cho thấy với mỗi loại hình thể thời tiết khi tác động đến lưu vực sông sẽ gây ra lượng mưa khác nhau, ngay trong cùng 1 nhóm hình thể tác động cũng có thể gây ra lượng mưa khác nhau tùy thuộc vào hình thể nào tác động trước, hình thể nào tác động sau. Mỗi hình thể tác động cũng gây ra phân bố lượng mưa khác nhau cho các trạm trên lưu vực theo không gian. Từ kết quả xây dựng phương án dự báo, cảnh báo lũ Tiểu mãn cho 05 lưu vực sông cho thấy, mỗi lưu vực khi kết hợp các hình thể giống nhau lại cho ra kết quả có chất lượng dự báo khác nhau.

4. Kết luận

Nghiên cứu đã xây dựng được phương án dự báo lũ Tiểu mãn dựa vào hình thể thời tiết gây mưa lũ Tiểu mãn, nâng cao hiệu quả dự báo lũ Tiểu mãn tại địa phương, góp phần làm giảm nhẹ các thiệt hại do thiên tai gây ra và góp phần phát triển bền vững kinh tế xã hội, đảm bảo an ninh quốc phòng. Tuy nhiên để nâng cao chất lượng của phương án thì trên một số lưu vực sông cần phải bố trí thêm các trạm đo mưa, đặc biệt khu vực phía thượng lưu các sông.

Đóng góp của tác giả: Xây dựng ý tưởng nghiên cứu: D.T.P.L., N.T.L., P.V.C.; Lựa chọn phương pháp nghiên cứu: P.V.C., D.T.P.L.; Xử lý số liệu: N.V.K., N.M.T.; Xây dựng phương án: D.T.P.L., N.T.L., P.V.C., N.M.T., N.V.K.; Viết bản thảo bài báo: D.T.P.L., N.T.L., P.V.C.; Chính sửa bài báo: N.V.K., N.M.T., D.T.P.L.

Lời cảm ơn: Nghiên cứu này được thực hiện trong đề tài cấp cơ sở “Nghiên cứu đánh giá khả năng xuất hiện lũ Tiểu mãn các sông khu vực Trung Trung Bộ”, mã số CS.2020.05.07.

Bên cạnh đó, tập thể tác giả trân trọng cảm ơn sự giúp đỡ của các anh chị em trong Đài Khí tượng Thủy văn khu vực Trung Trung Bộ, đặc biệt lãnh đạo đơn vị trong quá trình nghiên cứu.

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. Cát, V.M. Đánh giá rủi ro thiên tai do lũ lụt lưu vực sông Dinh. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* **2020**, 717, 1–10.
2. Hòa, T.Q. Nghiên cứu xây dựng công nghệ nhận dạng lũ sông Hồng phục vụ điều hành hồ Hòa Bình. Báo cáo tổng kết Đề tài cấp Bộ, 1992.
3. Sơn, N.T. Đặc điểm lũ tiểu mãn sông ngòi Bắc–Trung Bộ và các biện pháp phòng chống. Báo cáo tổng kết Đề tài cấp Bộ, 1993.
4. Sơn, N.H. Đánh giá vai trò của các hình thể thời tiết gây mưa lũ ở lưu vực sông Hương, tỉnh Thừa Thiên Huế–giai đoạn 1976–2013. *Tạp chí khoa học ĐHSP TPHCM* **2014**, 61, 34–43.
5. Giáo trình Dự báo Thủy văn, nhà xuất bản Đại học Quốc gia Hà Nội, 2003.
6. Giáo trình dự báo thủy văn, Đại học tài nguyên và môi trường Hà Nội, 2003.
7. Giáo trình Thủy văn Công Trình, Đại học Thủy lợi, 2008.
8. Long, V.Đ. Nghiên cứu xây dựng công nghệ cảnh báo, dự báo lũ và cảnh báo ngập lụt cho các sông chính ở Quảng Bình, Quảng Trị. Báo cáo tổng kết Đề tài cấp bộ, 2014.

Xiaoman flood forecasting based on weather system caused flood in mid–central region

Pham Van Chien¹, Do Thi Phuong Linh^{1*}, Nguyen The Long¹, Nguyen Minh Tuan¹, Nguyen Van Khanh¹

¹ Mid–central regional Hydro–meteorological center; pvchien@gmail.com; phuonglinhdo5@gmail.com; thelongol@gmail.com; tuanm18db@gmail.com; nvkhanhktv@gmail.com

Abstract: This article is the result of research and development of Xiaoman flood forecasting plan based on weather systems causing floods in the Mid–central Region, the set of data included in the plan development from 1978 to 2019 gave a good result. The result of the plan development will support the forecasters in forecasting the possibility of appearing Xiaoman flood in the Mid–central region and meet the increasing demands of society. This is an effective flood forecasting in operational conditions in the future.

Keywords: Xiaoman flood; Weather system; Forecasting technology.

Đánh giá sơ bộ tiềm năng năng lượng thủy triều tại khu vực biển Cần Giờ–Tp. Hồ Chí Minh

Đinh Ngọc Huy^{1*}, Nguyễn Quốc Trinh²

¹ Trường Đại học Tài nguyên và Môi trường Tp.HCM; huyspb@gmail.com;

² Trung tâm Dự báo khí tượng thủy văn quốc gia; maitrinhvinh@gmail.com

* Tác giả liên hệ: huyspb@gmail.com; Tel.: +84–942702208

Ban Biên tập nhận bài: 25/10/2020 Ngày phản biện xong: 28/12/2020 Ngày đăng bài: 25/1/2021

Tóm tắt: Do nhu cầu sử dụng điện càng ngày càng gia tăng, nhiệt điện và thủy điện đang dần thể hiện sự hạn chế, nên vấn đề phát triển năng lượng tái tạo bắt đầu được chú trọng hơn trước đây. Trong bài báo này, chúng tôi lựa chọn vùng biển Cần Giờ của Thành phố Hồ Chí Minh (Tp.HCM) để đánh giá tiềm năng năng lượng thủy triều, do lợi thế gần vùng kinh tế lớn của cả nước và độ lớn thủy triều khoảng 3–4 m phù hợp phát triển điện triều. Bài báo này trình bày phương pháp nghiên cứu và đánh giá về tiềm năng điện triều bằng 2 phương án là đập thủy triều và năng lượng dòng triều. Các kết quả tính toán ban đầu xác định đối với các phương án khai thác điện bằng đập thủy triều công suất lớn nhất khoảng 224 MWh và tổng điện năng khoảng xấp xỉ 1,14 tỷ kWh/năm. Và đối với năng lượng dòng triều tại các vị trí cửa sông Soài Rạp, Đòng Tranh, vịnh Gành Rái có tổng công suất khoảng 4,98–8,19 MW/m² với vận tốc dòng triều trung bình và khoảng 125–292 MW/m² với vận tốc dòng triều cực đại. Kết quả nghiên cứu có thể phục vụ làm tài liệu tham khảo, làm tiền đề cho các nghiên cứu chi tiết cụ thể cho các công tác đánh giá chuyên sâu hơn tiềm năng năng lượng tái tạo trong tương lai trên vùng biển Tp.HCM nói riêng và các vùng biển khác nói chung.

Từ khóa: Thủy triều; Trạm điện thủy triều; Năng lượng tái tạo; Năng lượng dòng triều; Điện triều; Cần Giờ.

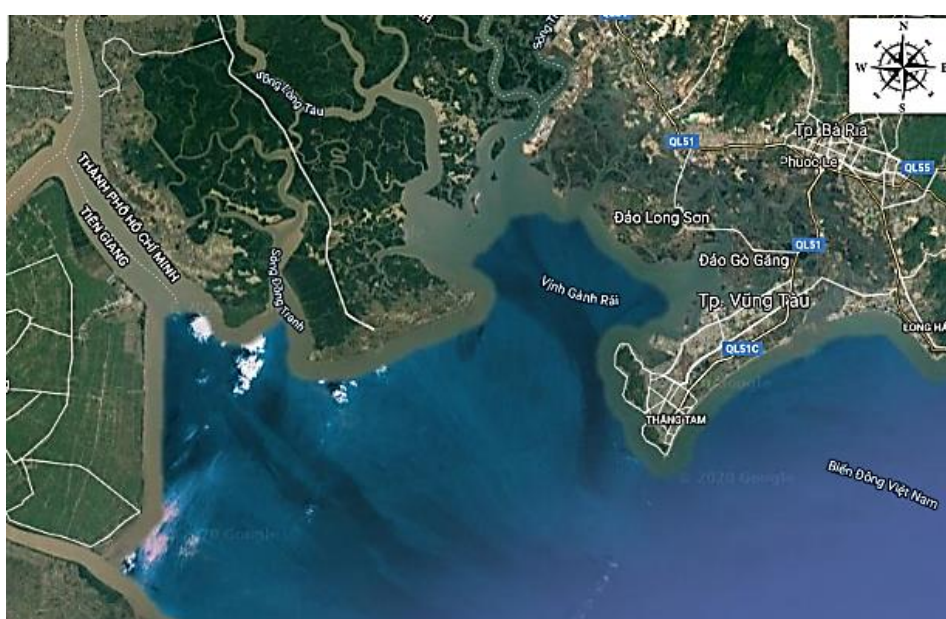
1. Đặt vấn đề

Trong điều kiện kinh tế nước ta đang phát triển mạnh, nhu cầu sử dụng tiêu thụ điện cũng gia tăng. Hiện nay, Chính phủ ban hành Chương trình hành động của Chính phủ thực hiện Nghị quyết số 55–NQ/TW ngày 11/2/2020 của Bộ Chính trị về định hướng Chiến lược phát triển năng lượng quốc gia của Việt Nam đến năm 2030, tầm nhìn đến năm 2045. Trong nghị quyết này cũng thể hiện rõ vai trò và sự cần thiết của các loại năng lượng tái tạo, trong đó có năng lượng thủy triều. Nguồn năng lượng thủy triều ở nước ta vẫn ở dạng tiềm năng sơ khai chưa có nhiều nghiên cứu. Mặc dù, nhiều quốc gia ven biển trên thế giới đã nghiên cứu, thiết kế và xây dựng thành công các trạm điện sử dụng năng lượng từ thủy triều hay gọi là trạm điện thủy triều (TĐTT) như Pháp (TĐTT La Rance), Nga (TĐTT Kislogubsk), Anh (dự án TĐTT Swansea), Canada (TĐTT Annapolis), Hàn Quốc (TĐTT hồ Sihwa, TĐTT Jindo Uldolmok), Scotland (dự án TĐTT MeyGen), Bắc Ireland (TĐTT SeaGen), Ấn Độ (TĐTT Gujarat), Trung Quốc (TĐTT Jiangxia) ... đã chứng tỏ hiệu quả về kinh tế và góp phần vào giải quyết các vấn đề an ninh năng lượng quốc gia [1].

Đối với Việt Nam, quốc gia có lợi thế với đường bờ biển dài trên 3260 km với độ lớn thủy triều trung bình có thể lên đến trên 3–4 m thì tiềm năng khai thác năng lượng thủy triều là rất khả thi. Bước đầu đã có những nghiên cứu, đánh giá sơ bộ về tiềm năng điện thủy triều,

tiêu biểu như những tính toán về năng lượng thủy triều ở Biển Đông [2], kể đến là đánh giá sơ bộ về tiềm năng năng lượng thủy triều tại các cửa sông vùng biển Đông Nam Bộ (2011). Một số đề tài khoa học cũng có nghiên đề cập đến tiềm năng năng lượng biển Việt Nam như đề tài KC.09/2006–2010 do Nguyễn Mạnh Hùng làm chủ nhiệm, các đề tài khác của Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam và Viện Năng lượng Việt Nam, ... Kết quả các nghiên cứu này đều chỉ ra rằng khu vực Vũng Tàu–Cần Giờ có tiềm năng khai thác năng lượng thủy triều rất đáng kể [2,3].

Trong nghiên cứu này, nhóm tác giả lựa chọn khu vực nghiên cứu vùng biển Cần Giờ và lân cận (Hình 1) sử dụng các phương pháp phân tích và mô hình toán để mô phỏng quá trình thủy động lực, kết quả thu được sau đó sẽ làm số liệu đầu vào phục vụ tính toán với 02 phương án khai thác điện bằng đập thủy triều (ĐTT) và năng lượng dòng triều (NLDT) tại các vịnh và cửa sông ở khu vực này. Phương án ĐTT được sử dụng rộng rãi trong các dự án khai thác điện thủy triều tại các vùng cửa sông, cửa vịnh đã và đang được một số quốc gia trên thế giới áp dụng hiệu quả. Phương án NLDT được ứng dụng cho những vị trí khu vực có dòng chảy triều lớn và ổn định.



Hình 1. Vị trí khu vực biển Cần Giờ–Tp.HCM [4].

2. Phương pháp nghiên cứu và thu thập tài liệu

2.1. Khu vực nghiên cứu

Vùng biển Cần Giờ là vùng biển nằm phía Đông Nam thuộc Tp.HCM (Tp. HCM), cách trung tâm thành phố khoảng 50 km tính theo đường chim bay, là khu dự trữ sinh quyển thế giới, là lá phổi xanh cho Tp. HCM (Hình 1). Chiều dài bờ biển Cần Giờ khoảng 13 km tính từ mũi Đống Tranh đến mũi Cần Giờ. Phía Đông Bắc của biển Cần Giờ là vịnh Gành Rái (từ Long Sơn đến mũi Cần Giờ), còn phía Tây Nam là vịnh Đống Tranh (sông Soài Rạp đến mũi Đống Hòa), vì vậy vùng biển ở đây được địa hình xung quanh che chắn và có bãi triều khá rộng lớn [5].

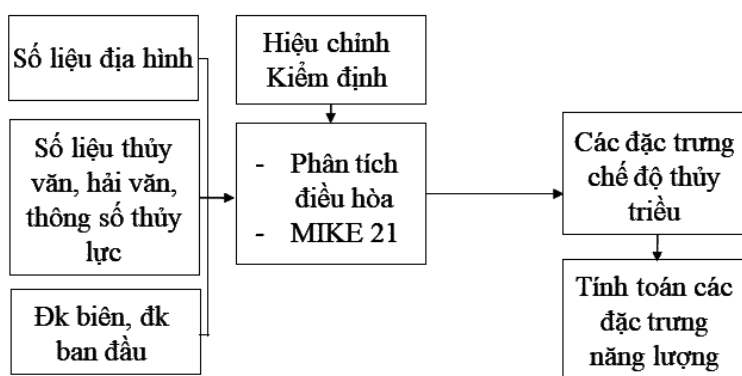
Huyện Cần Giờ nằm ở hạ lưu các con sông lớn như: Soài Rạp, Lòng Tàu, Thị Vải, Đống Tranh, sông Dinh, là nơi có quá trình tương tác động lực sông–biển xảy ra mạnh mẽ. Địa hình đáy khu vực biển Cần Giờ biến đổi khá phức tạp từ vịnh Gành Rái–bờ biển Cần Giờ–vịnh Đống Tranh với độ sâu từ vài mét cho đến khoảng 30m. Còn phía trong ở các con sông lớn như Soài Rạp, Lòng Tàu, Thị Vải–do thuộc hệ thống giao thông thủy huyết mạch của trung tâm kinh tế Tp.HCM và thường xuyên được nạo vét luồng hàng hải nên có độ sâu lớn nhất

vào khoảng từ 30–60 m. Chế độ thủy triều ở vùng biển này thuộc loại bán nhật triều không đều với biên độ trung bình khá lớn có thể lên tới 4 m, trong ngày có hai lần nước lên và hai lần nước xuống, chính vì vậy khu vực này được đánh giá là có tiềm năng khai thác năng lượng thủy triều [5].

2.2. Phương pháp nghiên cứu

Tiềm năng năng lượng thủy triều ở các khu vực ven biển được tính toán dựa trên sự trao đổi khối lượng nước vùng biển đó với đại dương trong một chu kỳ triều. Đối với nghiên cứu này, các phương án được đưa ra tính toán theo phương pháp đập thủy triều (ĐTT) và NLDT, chính vì thế cần phải xác định các yếu tố chính là: kích thước thủy vực phía trong đập triều; độ lớn triều và tốc độ dòng triều [6].

Nghiên cứu đã lựa chọn sử dụng phương pháp phân tích điều hòa và mô hình MIKE 21 FM làm mô hình truyền triều để tính toán dự báo thủy triều tại khu vực nghiên cứu, đồng thời ứng dụng lý thuyết kinh điển tính toán năng lượng thủy triều để đánh giá được tiềm năng có thể khai thác được ở đây.



Hình 2. Quy trình thực hiện tính toán.

2.3. Cơ sở lý thuyết

2.3.1. Phương pháp phân tích điều hòa thủy triều

Công thức để tính toán thủy triều theo phương pháp phân tích điều hoà được viết dưới dạng sau [7]:

$$A_t = A_0 + \sum_{i=1}^n f_i H_i \cos(q_i t + (V_0 + u)_i - g_i) \quad (1)$$

Trong đó A_t là độ cao mực nước tại thời điểm t ; A_0 là độ cao mực nước trung bình; f_i là hệ số suy giảm biên độ; H_i là biên độ phân triều; q_i là tốc độ góc phân triều; $(V_0 + u)_i$ là hệ số biến đổi pha của phân triều; g_i là góc vị của phân triều; n là số phân triều.

Từ công thức (1) thì ta biến đổi cho thuận tiện để phân tích điều hoà bằng phương pháp bình phương tối thiểu. Nhóm các đại lượng biến thiên theo thời gian và không theo thời gian ký hiệu như sau:

$$\begin{aligned} a_i &= f_i \cos[q_i t + (V_0 + u)_i] \\ b_i &= f_i \sin[q_i t + (V_0 + u)_i] \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} X_i &= H_i \cos(g_i) \\ Y_i &= H_i \sin(g_i) \end{aligned}$$

kết hợp công thức (1) và (2) ta có công thức sau đây:

$$A_t = A_0 + \sum_i^n [(a_i)_t X_i + (b_i)_t Y_i] \quad (3)$$

Nhiệm vụ là giải hệ phương trình (3) với số ẩn là n bằng tổng các số đo gián đoạn của mực nước A_t trong thời kỳ quan trắc. Từ đó phải tìm các ẩn là A_0, X_i, Y_i sau đó xác định các hằng số điều hoà của các phân triều như sau:

$$H_i = \sqrt{X_i^2 + Y_i^2}$$

$$g_i = \arctg\left(\frac{Y_i}{X_i}\right) \tag{4}$$

Việc giải hệ phương trình tuyệt tính (4) để tìm A_0, X_i, Y_i bằng phương pháp bình phương tối thiểu và kết hợp với thuật toán Gauss.

2.3.2. Mô hình MIKE21

Dựa trên lý thuyết hệ phương trình thủy động lực phi tuyến, Viện Thủy lực Đan Mạch (DHI) đã phát triển bộ mô hình MIKE, trong đó có mô hình mô phỏng lan truyền sóng triều được sử dụng trong nghiên cứu như MIKE 21. Hệ phương trình sử dụng cho bài toán không gian hai chiều, gồm phương trình liên tục và 2 phương trình động lượng [8,9]:

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} - fv = -g \frac{\partial \xi}{\partial x} - C_b \frac{u}{d} (u^2 + v^2)^{1/2} + K \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + fu = -g \frac{\partial \xi}{\partial y} - C_b \frac{v}{d} (u^2 + v^2)^{1/2} + K \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) \tag{5}$$

$$\frac{\partial \xi}{\partial t} + u \frac{\partial d}{\partial x} + v \frac{\partial d}{\partial y} = 0$$

Trong đó u, v là các thành phần dòng triều trung bình theo phương thẳng đứng theo các trục x và y tương ứng; ξ là độ dâng mực nước trình bình; f là tham số Coriolis; r là hệ số ma sát; h là độ sâu biển; d là độ cao cột nước ($d = h + \xi$); C_b là hệ số ma sát đáy; K là hệ số nhớt rối theo phương ngang.

2.3.3. Phương pháp tính toán công suất điện thủy triều sử dụng đập chắn

Khi đó yếu tố chính để thể hiện công suất lắp đặt là diện tích thủy vực phía trong ĐTT và giá trị mực triều, dòng và áp lực có thể thu được từ tính toán sau khi điều chỉnh hay cân đối năng lượng thủy triều [2,6].

Công sinh ra do thủy triều trong 1 chu kỳ triều lên xuống so với bề mặt tĩnh:

$$P = \frac{A}{2} AS.10,05.10^6 \tag{6}$$

Trong đó P là công sinh ra (kJ); A là mực triều (m); S là diện tích thủy vực phía trong đập triều (km^2).

Công suất trung bình ngày (kW) bằng công sinh ra do thủy triều trong một ngày chia cho số giây trong ngày:

$$N_p = \frac{3,87.A^2.S.10,05.10^6}{2.24.3600} = 225A_{tb}^2.S \tag{7}$$

Giá trị này dùng để xác định dự trữ theo năm của tiềm năng điện bể TĐTT (kWh) cho khu vực có thủy triều là bán nhật không đều (với D : tỷ số Vander-Stock):

$$E_m = 1,97.0,5.10^6 A_{tb}^2.S \left(1 + \frac{4-D}{D} \right) \tag{8}$$

Điện năng kỹ thuật (E_{kt}) của năm có thể sử dụng vào phát điện năng của bể TĐTT là:

$$E_{kt} = 0,4E_m \tag{9}$$

Trong đó E_m là tổng điện năng tiềm năng. Công suất thiết kế kỹ thuật (Nkt) của các TĐTT được tính bằng công thức:

$$N_{kt} = 250.A_{tb}^2 S \quad (10)$$

Tỷ lệ công suất thiết kế trên 1 km (Nkm) đề nghị của ĐTT của các phương án được tính bằng công thức như sau:

$$N_{km} = N_{kt}/L \quad (11)$$

Trong đó L là chiều dài đề nghị của ĐTT.

2.3.4. Phương pháp tính năng lượng dòng triều

Sử dụng mô hình MIKE21 trình bày ở phần trên để tính toán dòng triều cho các vị trí đã chọn trước. Sau khi có vận tốc dòng triều, tiến hành tính mật độ năng lượng của dòng chảy cho một đơn vị diện tích tuabin vuông góc với hướng của dòng chảy theo công thức (3):

$$P_{mc} = 0.5\rho V^3 \quad (12)$$

Trong đó V là tốc độ dòng chảy trung bình.

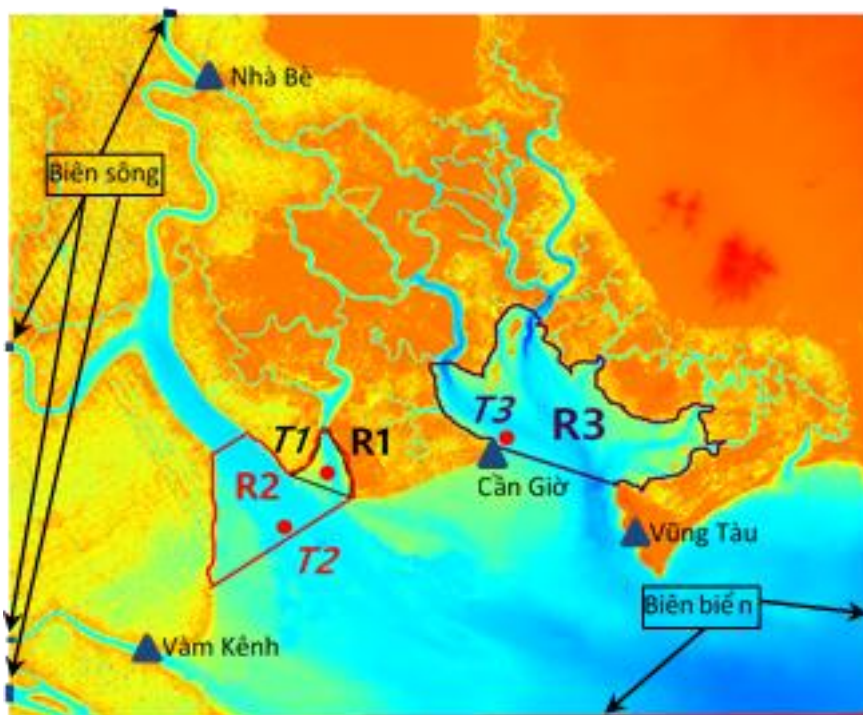
Sử dụng công thức nêu trên đã tính phân bố NLDT cho các tháng đặc trưng cho các mùa khác nhau trong năm (tháng 4 và 10). Giá trị của năng lượng dòng chảy (công suất) tính bằng W/m^2 .

2.4. Cơ sở dữ liệu và thiết lập mô hình

Số liệu sử dụng cho nghiên cứu này được thu thập từ những nguồn cung cấp dữ liệu chính xác, uy tín, hợp pháp, đảm bảo độ tin cậy và chính xác cao, bao gồm:

- Số liệu quan trắc đo đạc trong khu vực biển Tp.HCM từ các đề tài dự án qua các thời kỳ giai đoạn khác nhau;
- Số liệu mực nước đo đạc quan trắc tại trạm Vũng Tàu, Nhà Bè, Phú An, Hóa An, v.v...;
- Số liệu địa hình Hải quân Việt Nam, tỷ lệ 1/100.000; số liệu từ hệ thống dữ liệu đo đạc quốc tế GEBCO, ALOS, GMRT và SRTM; số liệu khảo sát địa hình từ đề tài, dự án trong khu vực nghiên cứu và lân cận.

Miền tính giới hạn trong khu vực ($10^{\circ}08'42''N-10^{\circ}43'22''N$; $106^{\circ}38'42''E-107^{\circ}13'42''E$), hệ thống lưới vuông $60\text{ m} \times 60\text{ m}$ và toàn bộ miền tính được chia làm 1050×1040 điểm tính với 06 biên lõng, trong đó có 04 biên sông và 02 biên biển (Hình 3). Điều kiện biên là sử dụng bộ công cụ dự tính thủy triều của mô hình MIKE để thiết lập biên mực nước cho mô phỏng. Do là bài toán truyền triều nên nhóm nghiên cứu không đưa số liệu gió vào mô hình, các điều kiện ban đầu được thiết lập bằng "0". Chiều dài đề biên và diện tích bề TĐTT được tính tương đối từ Google Earth, sơ đồ minh họa các vị trí đặt TĐTT và vị trí tính toán NLDT được thể hiện trên Hình 3.



Hình 3. Vùng nghiên cứu với các vị trí phương án tính toán: Vị trí tính toán TĐTT: R1 (cửa sông Đồng Tranh); R2 (vịnh Đồng Tranh); R3 (vịnh Gành Rái); Vị trí tính toán NLDT: T1, T2, T3 tương ứng tại 3 khu vực có phương án TĐTT.

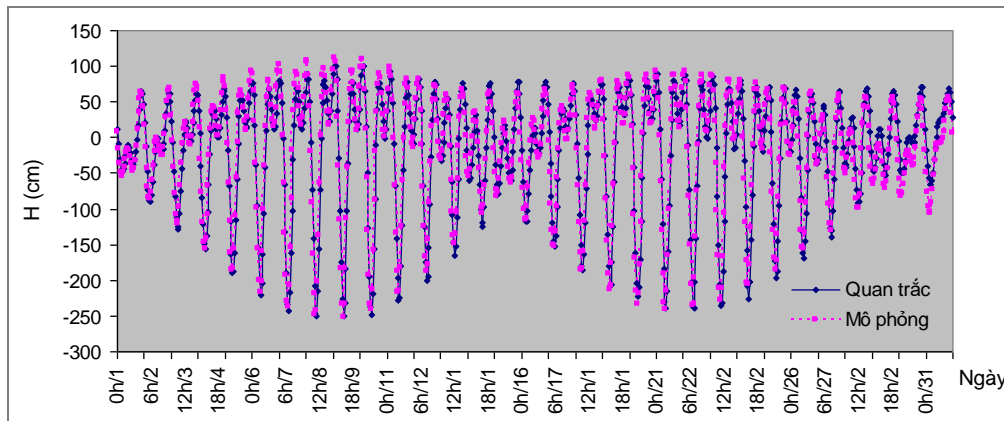
3. Kết quả và thảo luận

3.1 Hiệu chỉnh và kiểm định

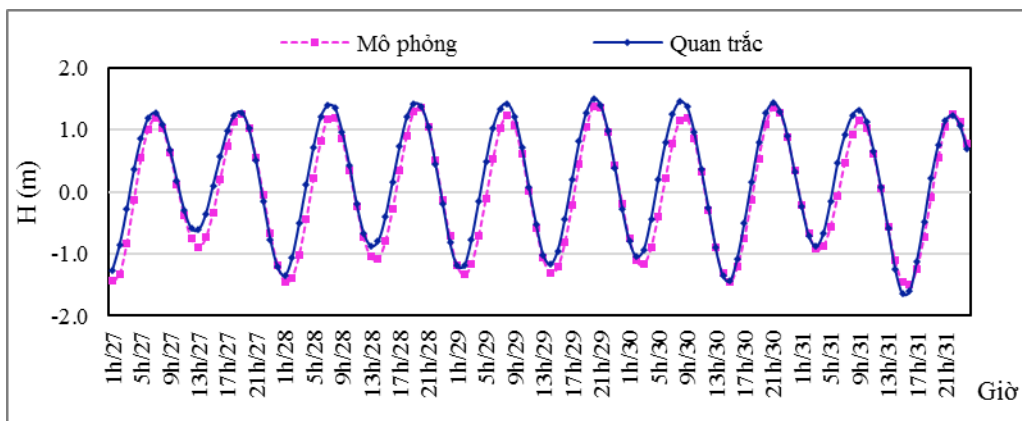
Số liệu thu thập được xử lý chỉnh biên loại bỏ các sai số và số hóa, phục vụ phân tích điều hòa thủy triều, đồng thời cũng được sử dụng để đánh giá, hiệu chỉnh kết quả mô hình tính. Bằng việc phân tích điều hoà chuỗi mực nước, các hệ số biên độ và pha ban đầu của 08 sóng triều chính được xác định bằng phương pháp bình phương tối thiểu và được thể hiện trong Bảng 1 [9].

Bảng 1. Kết quả phân tích hằng số điều hòa các trạm.

TT	Tên sóng	Vàm Kênh		Nhà Bè		Phú An		Vũng Tàu		Cần Giờ	
		H(cm)	Pha(độ)	H(cm)	Pha(độ)	H(cm)	Pha(độ)	H(cm)	Pha(độ)	H(cm)	Pha(độ)
1	A0	-4,60		0,82		7,74		262,53		276,00	
2	M2	75,47	53,41	73,99	67,37	67,99	76,77	74,60	38,54	85,95	46,37
3	S2	28,73	98,72	24,56	115,76	21,69	142,50	29,62	80,47	35,23	89,64
4	N2	14,28	32,24	12,98	47,07	11,08	49,75	15,14	16,82	17,19	46,37
5	K2	10,05	90,18	8,70	114,87	7,43	143,01	9,15	86,33	9,60	89,64
6	K1	55,73	316,01	54,35	324,08	50,82	340,34	59,35	312,16	58,51	317,68
7	O1	40,49	278,60	38,64	282,31	35,25	274,57	44,12	269,72	43,58	264,35
8	P1	16,90	319,63	14,11	330,48	12,53	345,98	18,57	310,31	19,50	317,68
9	Q1	6,93	257,81	5,98	265,75	5,04	253,80	8,35	250,57	8,72	264,35



Hình 4. Mức nước mô phỏng và thực đo tháng 1/2007, trạm Vũng Tàu.



Hình 5. Mức nước mô phỏng và thực đo tháng 3/2017, trạm Vũng Tàu.

Bảng 1 cho thấy thể hiện về kết quả phân tích điều hòa từ các trạm hải văn, thủy văn và nghiệm triều thu nhận được giá trị mực nước trung bình (A_0) của trạm theo mốc trạm quy ước và hằng số điều hòa của 08 phân triều chính. Giá trị A_0 lớn vượt trội của trạm hải văn Vũng Tàu và trạm Cần Giờ là do mốc của 02 trạm này theo hải đồ và các trạm khác theo lục đồ (mốc “0” quốc gia). Trong đó, trạm thủy văn Phú An và trạm thủy văn Nhà Bè là trực tiếp trên khu vực thuộc Tp.HCM và các trạm còn lại là ảnh hưởng trực tiếp khu vực nghiên cứu.

Nghiên cứu đã sử dụng kết quả phân tích hằng số điều hòa để tiến hành hiệu chỉnh kiểm định cho mực nước triều tại các trạm Vũng Tàu, Nhà Bè, Vàm Kênh và Cần Giờ. Hình ảnh biến trình thủy triều của trạm Vũng Tàu được so sánh giữa thực đo và mô phỏng theo giờ giai đoạn hiệu chỉnh (tháng 1/2007) (Hình 4) và giai đoạn kiểm định (tháng 3/2017) (Hình 5) là phù hợp cả về pha và biên độ. Kết quả mô phỏng có độ tin cậy cao với hệ số tương quan R^2 đều lớn hơn 0,90 trong cả hai giai đoạn hiệu chỉnh và kiểm định, điều này cho thấy rằng kết quả mô phỏng là rất tốt (Bảng 2).

Bảng 2. Kết quả hiệu chỉnh và kiểm định thủy lực trạm Vũng Tàu và một số trạm khác.

TT	Trạm	Vũng Tàu		Nhà Bè		Vàm Kênh		Cần Giờ	
	Thông số	Hiệu chỉnh	Kiểm định	Hiệu chỉnh	Kiểm định	Hiệu chỉnh	Kiểm định	Hiệu chỉnh	Kiểm định
1	Tương quan (R^2)	0,970	0,955	0,946	0,936	0,951	0,937	0,974	0,971
2	Sai số (cm)	12,5	17,5	18,5	19,1	17,8	19,0	11,5	12,0

Do ảnh hưởng của mực nước dâng do gió nên sai số này là chấp nhận được, hệ số xác định cho thấy các hằng số điều hòa tìm được có độ chính xác cao, đủ tin cậy để sử dụng tính toán dự báo triều tiếp theo cho các kịch bản và phương án tính toán điện thủy triều [10].

3.2 Thời gian và vị trí tính toán

Sau các bước hiệu chỉnh và kiểm cho kết quả phù hợp, nghiên cứu có được bộ thông số để tính toán các kịch bản cho năm 2020. Các kết quả tính toán mô phỏng này sẽ được sử dụng để làm dữ liệu đầu vào tính toán vào cho các phương án tiềm năng điện thủy triều (thường gọi là điện triều) theo cơ sở lý thuyết đã trình bày ở mục 3. Các phương án tính toán theo ĐTT và NLDT như Hình 3.

Phương án 1: Cửa sông Đồng Tranh

Vị trí phương án 1 là cửa sông Đồng Tranh đổ ra vịnh Đồng Tranh, tiếp giáp với cửa sông Soài Rạp. Phương án TĐTT này có diện tích thủy vực phía trong đập triều dự tính là 13,91 km² với chiều dài tương đối của đập triều là 5 km.

Phương án 2: Vịnh Đồng Tranh

Vị trí phương án 2 là vịnh Đồng Tranh, hạ lưu của sông Soài Rạp và sông Đồng Tranh đổ ra biển Đông. Phương án TĐTT này có diện tích thủy vực phía trong đập triều dự tính là 86,25 km² với chiều dài tương đối của đập triều là 13,27 km.

Phương án 3: Vịnh Gành Rái

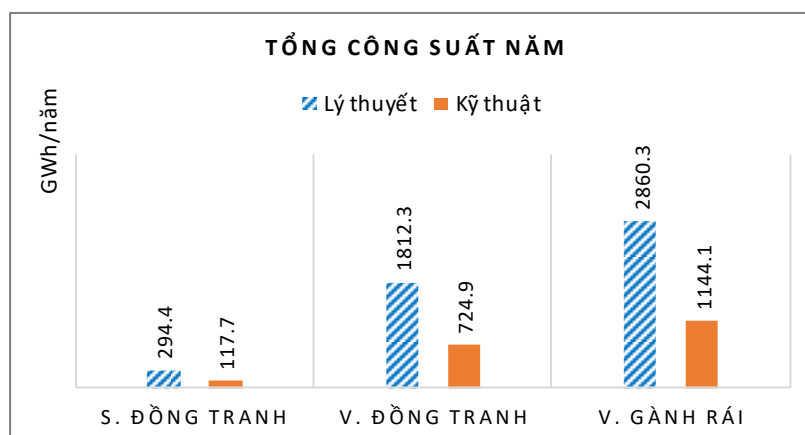
Vị trí phương án 3 là vịnh Gành Rái, là vịnh có độ sâu khá lớn, là nơi đổ ra biển Đông của các con sông lớn như Ngã Bảy (Lòng Tàu), Thị Vải và sông Dinh. Phương án TĐTT này có diện tích thủy vực phía trong đập triều dự tính là 140,41 km² với chiều dài tương đối của đập triều là 9,69 km.

3.3 Kết quả và thảo luận

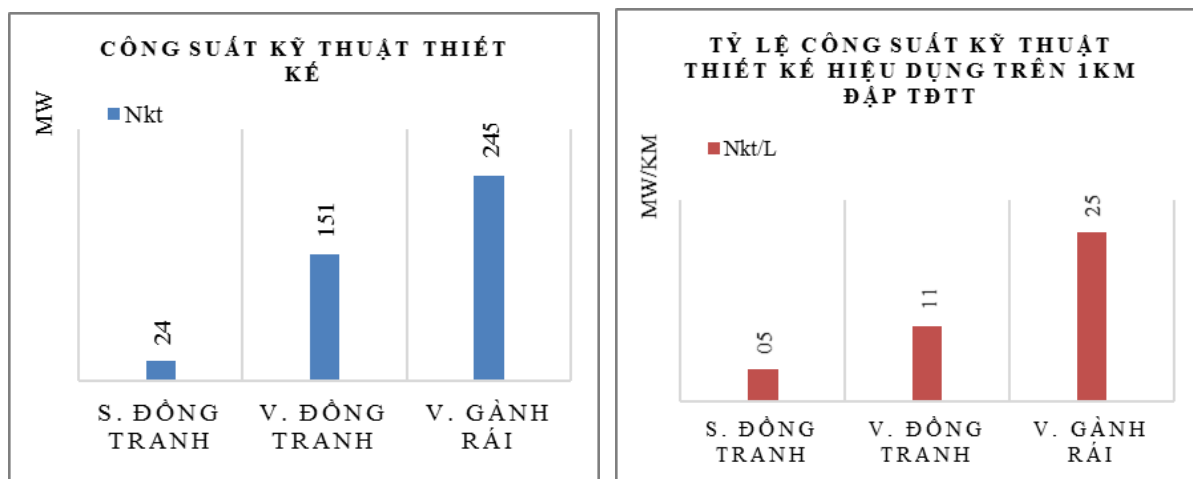
Theo kết quả phân tích điều hòa 8 sóng triều tại các khu vực nghiên cứu, ta tính được giá trị D-tỷ số Vander-Stock thể hiện giá trị tính chất thủy triều cho 03 phương án (Bảng 3).

Bảng 3. Kết quả tính toán các tham số TĐTT tại khu vực biển Cần Giờ-Tp.HCM.

Vị trí	A _{tb} cm	D	S km ²	L km	E _{tn} (GWh/năm)	E _{kt} (GWh/năm)	N _{kt} (MW)	N _{kt/L} (MW/km)
R1	264,1	1,30	13,91	5	294,4	117,7	24,3	4,9
R2	265,5	1,31	86,25	13,27	1812,3	724,9	150,9	11,4
R3	266,2	1,35	140,41	9,69	2860,3	1144,1	244,8	25,3



Hình 6. Tổng công suất năm lý thuyết và kỹ thuật tại 03 vị trí phương án TĐTT.



Hình 7. Công suất kỹ thuật và tỷ lệ hiệu dụng trên 1km chiều dài đập ngăn bể tại 03 vị trí ĐTT.

Theo kết quả tính toán được thể hiện trên Bảng 3 và Hình 6, ta thấy được tổng công suất lý thuyết và thiết kế của 03 vị trí có phương án đặt ĐTT. Để thấy rằng phương án 3 tại vịnh Gành Rái có tiềm năng cao nhất. Công suất trung bình tại đây là 244.8 MWh, tổng công suất kỹ thuật (giả định tối đa đạt 40% công suất lý thuyết) vào khoảng 1144 GWh (1,14 tỷ kWh). Lý do ở đây ngoài mức triều trung bình có giá trị cao nhất thì do phương án tại vịnh Gành Rái được đưa ra với diện tích thủy vực phía trong ĐTT lớn nhất.

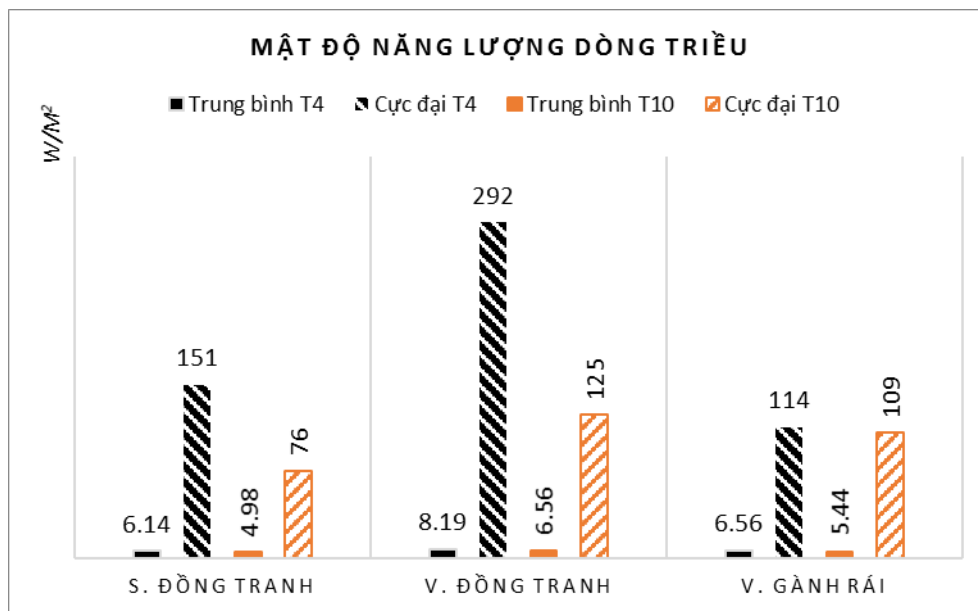
Phương án thấp nhất là tại cửa sông Đồng Tranh với công suất trung bình chỉ 24MWh và tổng công suất kỹ thuật là 118 GWh. Lý do là phương án này có diện tích thủy vực rất nhỏ, tuy nhiên tiềm năng phát điện thủy triều là có. Đối với phương án 2 tại vịnh Đồng Tranh, công suất trung bình và tổng công suất kỹ thuật nhỏ hơn so với tại vịnh Gành Rái (151 MWh và 725 GWh) do diện tích thủy vực nhỏ. Tuy nhiên chiều dài đập ngăn của ĐTT ở đây lại dài nhất (13,27 km) trong số 3 phương án. Để thấy rằng nếu so sánh tỷ lệ công suất hiệu dụng thiết kế trên 1km đập ngăn của ĐTT thì tại vịnh Gành Rái với giá trị 25 MW/km đạt hiệu quả kinh tế cao nhất (Hình 7).

Bảng 4. Kết quả tính toán NLDT tại khu vực biển Cần Giờ–Tp.HCM với vận tốc trung bình và vận tốc cực đại.

Thời gian	Vị trí	V _{tb} cm/s	V _{max} cm/s	P _{mc} (W/m ²)	
Tháng 4	R1	22,91	66,67	6,14	151,15
	R2	25,22	83,04	8,19	292,30
	R3	23,42	60,68	6,56	114,02
Tháng 10	R1	21,37	52,95	4,98	75,8
	R2	23,43	62,53	6,56	124,8
	R3	22,01	59,8	5,44	109,2

Nghiên cứu cũng đã mô phỏng tính toán vận tốc dòng triều trung bình và cực đại vào thời gian 2 mùa (mùa khô–tháng 4 và mùa mưa–tháng 10) và mật độ NLDT tương ứng tại 03 vị trí đã lựa chọn (Bảng 4 và Hình 8). Do trong khuôn khổ bài báo này nhóm nghiên cứu chỉ đánh giá tiềm năng NLDT nên không tính toán đến dòng dư trong mô hình.

Tại vị trí cửa sông Đồng Tranh và vịnh Gành Rái có giá trị mật độ năng lượng (công suất) gần tương ứng nhau do lựa chọn tính toán dòng triều ở vịnh Gành Rái là vị trí gần bờ, lần lượt đạt 6,14 MW/m² và 6,56 MW/m² (tháng 4); 4,98 MW/m² và 5,44 MW/m² (tháng 10). Tiềm năng nhất là tại vị trí vịnh Đồng Tranh (cửa sông Soài Rạp) với giá trị mật độ năng lượng đạt 8,19 MW/m² (tháng 4) và 6,56 MW/m² (tháng 10).



Hình 8. Mật độ NLDT trung bình và cực đại tại 03 vị trí ĐTT.

Kết quả cũng tương tự đối với trường hợp tính toán cho vận tốc dòng triều cực đại, khu vực vịnh Đồng Tranh (cửa sông Soài Rạp) cho công suất cao nhất lần lượt là 292 MW/m² (tháng 4) và 125 MW/m² (tháng 10). Điều này cho thấy năng lượng từ dòng triều tại khu vực biển Cần Giờ rất có tiềm năng khai thác.

4. Kết luận

Bài báo này đã tiến hành nghiên cứu và đánh giá tiềm năng về năng lượng thủy triều ở vùng biển Cần Giờ và lân cận. Các kết quả tính toán phân tích và mô phỏng được trình bày:

- Sử dụng từ các số liệu mực nước quan trắc để phân tích để làm cơ sở so sánh đánh giá. Độ lớn thủy triều tại các trạm dao động khoảng từ 2,5 m đến trên 4,0 m;
- Mô hình MIKE được sử dụng rộng rãi và phổ biến ở trong nước và thế giới. Các kết quả so sánh giữa mô hình và quan trắc là đảm bảo với độ chính xác cao phổ biến trên 90%.

Các kết quả tính toán ban đầu xác định đối với các phương án ĐTT công suất lớn nhất khoảng 224 MWh và tổng điện năng khoảng xấp xỉ 1,14 tỷ kWh/năm. Và đối với NLDT tại các vị trí cửa sông Soài Rạp, Đồng Tranh, vịnh Gành Rái có tổng công suất khoảng 4,98–8,19 MW/m² với vận tốc dòng triều trung bình và khoảng 125–292 MW/m² với vận tốc dòng triều cực đại.

Vấn đề gặp phải ở đây là tại các vị trí lựa chọn để tính toán tiềm năng điện triều có vịnh Gành Rái và vịnh Đồng Tranh (cửa sông Soài Rạp) đều là tuyến hàng hải huyết mạch của cụm kinh tế Tp.HCM và Đông Nam Bộ.

Đối với khu vực vịnh Đồng Tranh, nếu xây dựng theo phương án ĐTT tại đây thì phương án 1 cửa sông Đồng Tranh sẽ ít gây ảnh hưởng tới tuyến hàng hải sông Soài Rạp nhất. Tuy phương án này có công suất phát điện thấp nhất nhưng có thể lại là phương án được xem xét là khả thi nhất. ĐTT khi được xây dựng ở đây có ưu điểm không tạo ra khí thải nhà kính, tăng cường giao thông, cải thiện thủy lợi, v.v... tuy nhiên sẽ có ảnh hưởng lớn đến quá trình lắng đọng trầm tích, đến hệ sinh thái bãi triều và rừng ngập mặn tại khu vực Vàm Sát. Vì vậy, phương án NLDT tại khu vực này là phù hợp hơn phương án ĐTT với ưu điểm là lựa chọn vị trí đặt các tuabin tiện lợi hơn so với xây dựng đập ngăn, tránh được ảnh hưởng tới luồng hàng hải và hệ sinh thái bãi triều, rừng ngập mặn.

Đối với khu vực vịnh Gành Rái, phương án ĐTT tại đây có tiềm năng rất lớn, tuy nhiên nó cũng sẽ gây ảnh hưởng tới hai tuyến hàng hải sông Thị Vải và sông Lòng Tàu. Để khắc phục vấn đề nêu trên, chúng ta có thể xem xét đề xuất phương án xây dựng ĐTT tại khu vực đảo Long Sơn–đảo Gò Găng (Bà Rịa–Vũng Tàu). ĐTT ở đây tuy có diện tích thủy vực phía trong đập nhỏ hơn đồng nghĩa với công suất tiềm năng điện triều giảm xuống, nhưng sẽ tránh được ảnh hưởng tới giao thông thủy và khu vực rừng ngập mặn của khu dự trữ sinh quyển Cần Giờ. Ngoài ra phương án NLDT tại khu vực này cũng sẽ có tiềm năng lớn để phát triển với các điều kiện thuận lợi như: dòng triều mạnh, vịnh Gành Rái là khu vực rộng lớn và có ưu điểm trong việc lựa chọn vị trí phù hợp đặt các tuabin. Năng lượng thủy triều được đánh giá là nguồn năng lượng vĩnh cửu và thân thiện với môi trường nên trong tương lai sẽ cần những đánh giá chuyên sâu hơn về bài toán hiệu quả kinh tế-xã hội khi xây dựng trạm điện thủy triều nơi đây.

Kết quả đạt được từ nghiên cứu này có thể phục vụ làm tài liệu tham khảo, làm tiền đề cho các nghiên cứu chi tiết cụ thể cho các công tác đánh giá chuyên sâu hơn tiềm năng năng lượng tái tạo trong tương lai trên vùng biển Tp.HCM nói riêng và các vùng biển khác nói chung.

Lời cảm ơn: Nghiên cứu được thực hiện bằng nguồn kinh phí hỗ trợ từ Chương trình Vườn ươm Sáng tạo Khoa học và Công nghệ Trẻ, được quản lý bởi Trung tâm Phát triển Khoa học và Công nghệ Trẻ–Thành Đoàn Tp.HCM và Sở Khoa học và Công nghệ Tp.HCM, theo hợp đồng số “21/2019/HĐ–KHCN–VU”.

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. Online: <https://www.power-technology.com/features/featuretidal-giants-the-worlds-five-biggest-tidal-power-plants-4211218/>.
2. Toán, D.V. Năng lượng thủy triều biển Đông. *Tap chí Khoa học và Công nghệ biển* 2015, 1, 1–12.
3. Hùng, N.M. và cs. Điều tra đánh giá tiềm năng các dạng Năng lượng biển chủ yếu và đề xuất các giải pháp khai thác. Đề tài KC.09/2006–2010, 2010.
4. Online: <https://www.google.com/earth/>
5. Hoạch, P.V. Nghiên cứu tương tác động lực học biển sông ven biển Cần giờ phục vụ xây dựng cơ sở hạ tầng cho du lịch sinh thái Tp.HCM. *Viện Khí tượng Thủy văn Hải văn & Môi trường, Tp.HCM*, 2004.
6. Berstien, L.B. và cs. Trạm điện thủy triều. *NXB Viện thiết kế thủy lợi, Moskva*, 1994, tr. 596 (tiếng Nga).
7. Huấn, P.V. Tính toán trong hải dương học. *NXB ĐH Quốc gia Hà Nội*, 2003.
8. Bay, N.T.; Phung, N.K. Study on the tendency of accretion and erosion in the Can Gio coastal zone. *J. Marine Sci. Technol.* 2007, 7. <https://doi.org/10.15625/1859-3097/7/4/6354>.
9. User manual MIKE 21, 2007.
10. Bảng thủy triều 2005, 2006, 2007. Tập II. Trung tâm khí tượng thủy văn quốc gia.

Preliminary assessment of tidal energy potential in the Can Gio coastal area, Ho Chi Minh city

Dinh Ngoc Huy^{1*}, Nguyen Quoc Trinh²

¹ Ho Chi Minh City University of Natural Resources and Environment; huyspb@gmail.com;

² National Centre for Hydro–Meteorological Forecasting; maitrinhvinh@gmail.com

Abstract: Due to the increasing demand for electricity, thermal and hydroelectricity is showing increasing limitation. So the issue of renewable energy is starting to be more focused than before. In this article, we choose the Can Gio zone of Ho Chi Minh City to assess the tidal energy potential, due to the advantage of proximity to the large economic region of the country and the magnitude of the tides about 3–4 m, suitable for tidal power development. This paper presents research methodology and evaluation of tidal power potential by 2 alternatives: tidal basin power and tidal current energy. The initial calculation results determined that the largest capacity tidal basin power plan is about 224 MWh and the total power is approximately 1.14 billion kWh/year. And for tidal current energy at the estuaries of Soai Rap, Dong Tranh, Ganh Rai and Soai Rap estuaries, there are about 4.98–8.19 MW/m² and total capacity of about 125–292 MW/m² with maximum tidal current velocity. The results of the research can serve as a reference, as a premise for detailed studies for more in–depth assessment of the renewable energy potential in the Can Gio zone of HCMC said own and other waters in general in the future.

Keywords: Tide; Renewable energy; Tidal energy; Tidal basin power; Tidal current energy; Can Gio zone.

Bài báo khoa học

Phân tích và đánh giá quá trình xói lở và bồi tụ ở khu vực Cà Mau bằng ảnh viễn thám và GIS

Nguyễn Tiến Thành¹

¹Khoa Vật lý–Vật lý Kỹ thuật, Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, ĐHQG–HCM;
ntthanh@hcmus.edu.vn

* Tác giả liên hệ: ntthanh@hcmus.edu.vn; Tel.: +84–345095349

Tóm tắt: Rút trích dữ liệu đường bờ bằng việc sử dụng công nghệ viễn thám và GIS là việc cần thiết để đánh giá sự thay đổi đường bờ một cách nhanh chóng và kịp thời. Cà Mau là khu vực có 3 mặt giáp biển nên ở đây luôn xảy ra quá trình xói lở và bồi tụ diễn ra một cách mạnh mẽ. Nghiên cứu đã sử dụng ảnh viễn thám và GIS để thành lập bản đồ biến động đường bờ ở khu vực Cà Mau. Kết quả cho thấy, đường bờ ở khu vực Cà Mau diễn biến khá phức tạp. Cụ thể, khu vực phía Đông Cà Mau từ Đầm Dơi tới Ngọc Hiển hầu hết chỉ xảy ra quá trình xói lở từ 1989–2017, tuy nhiên ở khu vực gần mũi Cà Mau thì lại xảy ra quá trình bồi tụ, còn ở khu vực phía Tây Cà Mau từ mũi Cà Mau đến Huyện U Minh thì quá trình bồi tụ lại chiếm ưu thế trong giai đoạn 1989–2015 nhưng ở giai đoạn từ 2015–2017 thì quá trình xói lở. Đây là một trong những thông tin hữu ích cho các cơ quan chức năng của địa phương để có những giải pháp quy hoạch và quản lý vùng ven bờ.

Từ khóa: Rút trích đường bờ; GIS; Xói lở; bồi tụ; Cà Mau.

1. Mở đầu

Cà Mau là tỉnh duy nhất của nước ta có 3 mặt giáp biển với chiều dài bờ biển 254 km là nơi có rừng ngập mặn phân bố, phát triển mạnh. Ngoài ra Cà Mau còn là nơi nằm giữa 2 luồng hải lưu của biển Đông và của vịnh Rạch Giá nên ở đây có hiện tượng xói lở và bồi tụ diễn ra rất phức tạp [1]. Do đó, quan trắc diễn biến sự thay đổi đường bờ khu vực Cà Mau là cần thiết cho công tác quản lý bền vững đường bờ ở khu vực này.

Trên thế giới đã có rất nhiều nghiên cứu sử dụng dữ liệu ảnh viễn thám để phân loại nước đất từ ảnh vệ tinh đa thời gian, sau đó chồng xếp để nhận dạng và đánh giá biến động đường bờ [2]. Cụ thể, [3] đã thành lập bản đồ hiện trạng rừng ngập mặn ở Nam Á và xác định sự thay đổi độ che phủ rừng ngập mặn (tăng và giảm) từ năm 2000 đến năm 2012 bằng dữ liệu vệ tinh Landsat. [4] đã thực hiện phân loại và lập bản đồ thực vật rừng ngập mặn cũng như tỷ lệ xói mòn và bồi tụ dọc theo bờ biển Bhitarkanika, bờ biển phía Đông của Ấn Độ bằng cách sử dụng dữ liệu vệ tinh Landsat 7 và 8 từ năm 1989 đến năm 2013. [5] đã sử dụng ảnh Landsat từ bốn thời đại 1976 (*Landsat MSS*) 1989 (*Landsat TM*) 2000 (*Landsat ETM+*) và 2015 (*Landsat L8 OLI*) để định lượng chính xác mức độ và mật độ rừng ngập mặn thay đổi/biến thiên trong khu vực nghiên cứu.

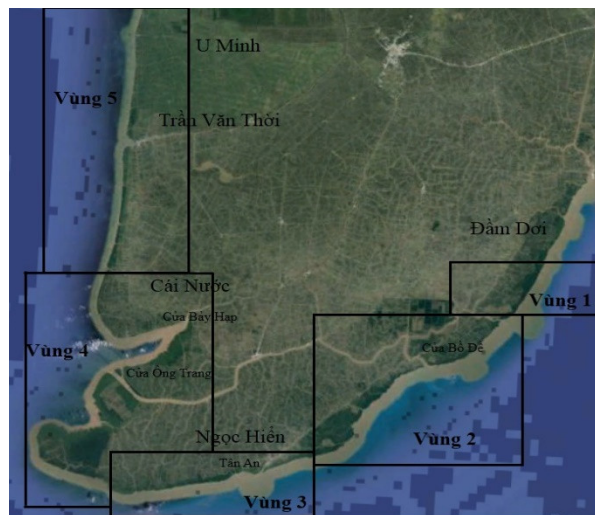
Bên cạnh đó, đã có rất nhiều nghiên cứu về biến động đường bờ được thực hiện ở Việt Nam trong những năm gần đây. Cụ thể, [6] đã sử dụng viễn thám kết hợp hệ thống phân tích đường bờ kỹ thuật số (*Digital Shoreline Analysis System–DSAS*), để nghiên cứu sự thay đổi rừng ngập mặn ở vùng Giao Thủy của tỉnh Nam Định. [7] đã ứng dụng viễn thám kết hợp với GIS để nghiên cứu biến động đường bờ tại Kiên Giang và sử dụng mô hình để dự báo xu thế diễn biến đường bờ tại Rạch Giá (Kiên Giang). [8] đã sử dụng các hình ảnh trên không (1953), Landsat (1979, 1988 và 2000) và SPOT (1992, 1995, 2004, 2008, 2009 và 2011) và hệ thống phân tích bờ biển (*Digital Shoreline Analysis System–DSAS*) để định lượng tỷ lệ

thay đổi bờ biển ngập mặn trong thời gian 58 năm. [9] đã thu thập các bản đồ hiện trạng rừng, bản đồ diễn biến đường bờ biển và điều tra ngoại nghiệp ở khu vực rừng phòng hộ ven biển tỉnh Bạc Liêu. Nhìn chung, phương pháp viễn thám cho thấy hiệu quả trong công việc giám sát biến động đường bờ. Mục tiêu của nghiên cứu này là đánh giá mức độ biến động đường bờ ở khu vực tỉnh Cà Mau bằng ảnh Landsat và kết hợp với ArcGIS để tính toán được tốc độ xói lở bờ khu vực Cà Mau.

2. Phương pháp nghiên cứu

2.1. Khu vực nghiên cứu

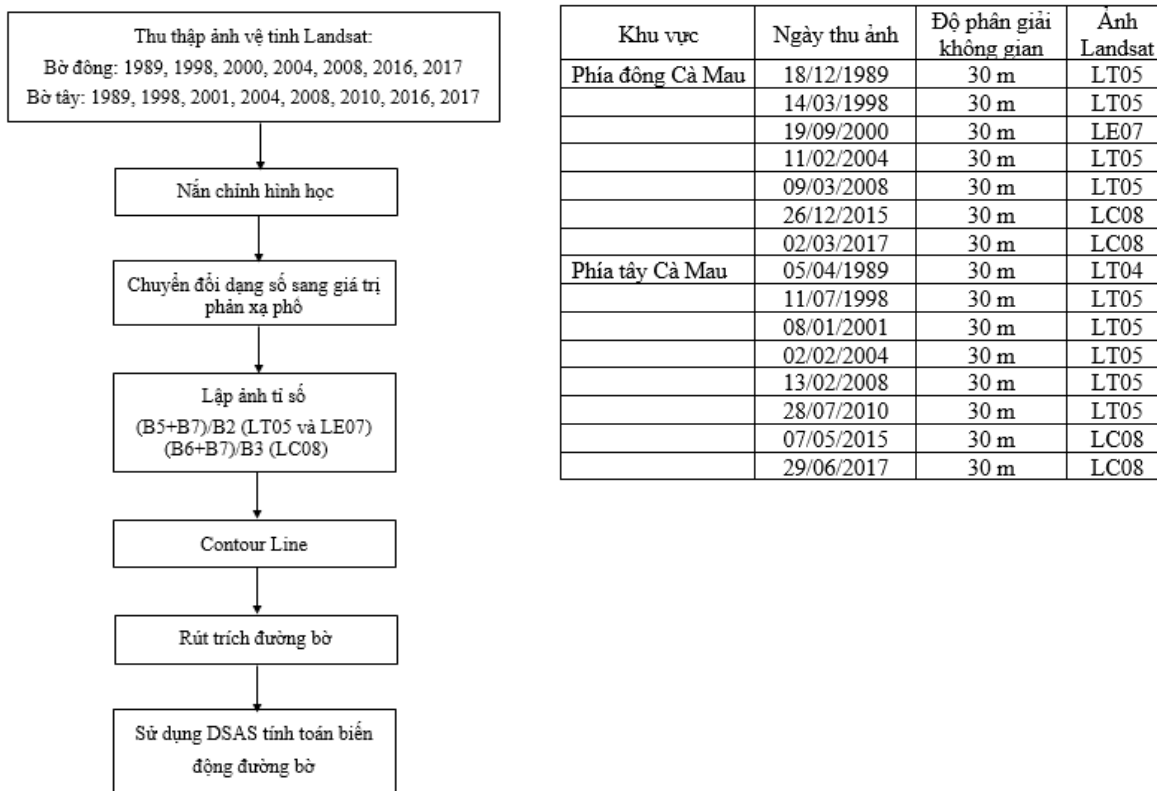
Dựa vào tình trạng biến động đường bờ ở khu vực biển Đông và Tây Cà Mau từ năm 1989 đến 2017 được chia làm 5 vùng nhỏ từ phải sang trái và được đánh dấu từ 1 đến 5 của Hình 1. Vùng 1 từ Đầm Dơi đến xã Nguyễn Huệ (Cà Mau) cách cửa Bồ Đề 8 km. Vùng 2 là khu vực cửa Bồ Đề. Vùng 3 là đoạn bờ từ xã Tân An cách cửa Bồ Đề 16 km đến đông mũi Cà Mau. Vùng 4 là phần mũi Cà Mau và hai cửa sông: Ông Trang, Bảy Hạp. Vùng 5 là đoạn bờ từ huyện Cái Nước đến huyện U Minh.



Hình 1. Phân vùng khu vực Cà Mau.

2.2. Quy trình thực hiện

Dữ liệu ảnh vệ tinh Landsat thu thập được: ở phía đông của khu vực Cà Mau vào năm 1989, 1998, 2000, 2004, 2008, 2015, ở phía tây Cà Mau vào năm 1989, 1998, 2001, 2004, 2008, 2010, 2015, 2017 (trên website EarthExplore của Cơ quan Địa chất Hoa Kỳ (USGS): <http://www.glovis.usgs.gov>). Nghiên cứu sử dụng công cụ ENVI 4.7 để xử lý ảnh viễn thám qua các bước: Hiệu chỉnh hình học, nhằm loại bỏ những sai lệch xảy ra trong quá trình chụp ảnh và đưa ảnh về tọa độ chuẩn có thể tích hợp với các nguồn dữ liệu khác. Chuyển đổi dạng số sang giá trị phản xạ phổ, để giảm sự khác biệt giá trị phản xạ phổ của đối tượng ở các loại sensor khác nhau và giảm sự khác biệt giữa các ảnh khác nhau. Xử dụng công cụ Band Math để tạo ra ảnh có các chỉ số tách biệt giữa đất và nước và cuối cùng là rút trích đường bờ.



Hình 2. Quy trình thực hiện và dữ liệu ảnh viễn thám.

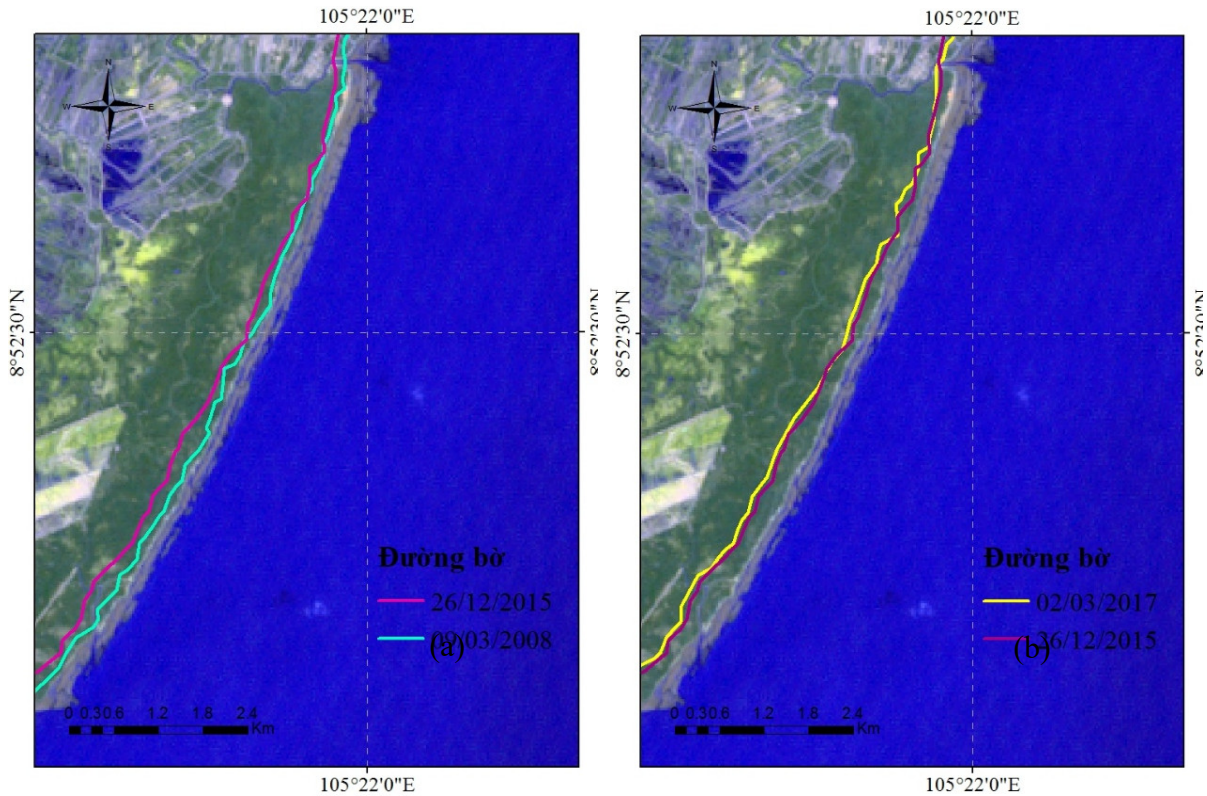
2.3. Sử dụng DSAS trong ArcGIS để tính toán biến động đường bờ

Sau khi rút trích đường bờ của các ảnh viễn thám ở khu vực biển đông và biển tây Cà Mau ta sẽ đánh giá được biến động đường bờ ở khu vực đó. Tuy nhiên đánh giá biến động đường bờ chỉ mang tính khách quan không định lượng một cách rõ ràng. Để có thể đánh giá sự biến động đường bờ một cách định lượng ta cần phải sử dụng công cụ DSAS (*Digital Shoreline Analysis System*–Hệ thống phân tích đường bờ kỹ thuật số) giúp cho người sử dụng có thể tính toán được mức độ thay đổi đường bờ theo thời gian dựa vào vị trí phức tạp của đường bờ [10]. Để vận hành được công cụ DSAS này đầu tiên phải tạo ra 2 thuộc tính là đường bờ (*Shorelines*) và đường gốc (*Baseline*) trong đó đường bờ (*Shorelines*) là nơi chứa các đường bờ đã được chọn ra từ viễn thám còn đường gốc (*Baseline*) là đường được tạo ra do người sử dụng thiết lập với mục đích là tạo ra các đường trực giao (*Transect*) từ đường gốc (*Baseline*) cắt qua các đường bờ (*Shorelines*) từ đó ta có thể tính được khoảng cách từ các đường bờ (*Shorelines*) đến đường gốc (*Baseline*) và đường (*Baseline*) ở đây được chọn là một đường thẳng song song với các đường (*Shorelines*). Từ đó tính toán được mức độ thay đổi đường bờ qua các năm.

3. Kết quả và thảo luận

3.1. Biến động đường bờ vùng 1

Vùng 1 là đoạn bờ từ Đầm Dơi đến xã Nguyễn Huệ trong các năm từ 2008 đến 2015 đường bờ lại có xu hướng xói lở, trung bình xói lở đạt khoảng 16 m/năm, còn ở giai đoạn 2015 đến 2017 cũng xảy ra quá trình xói lở nhưng mức độ thấp hơn khoảng 8 m/năm (Hình 3).



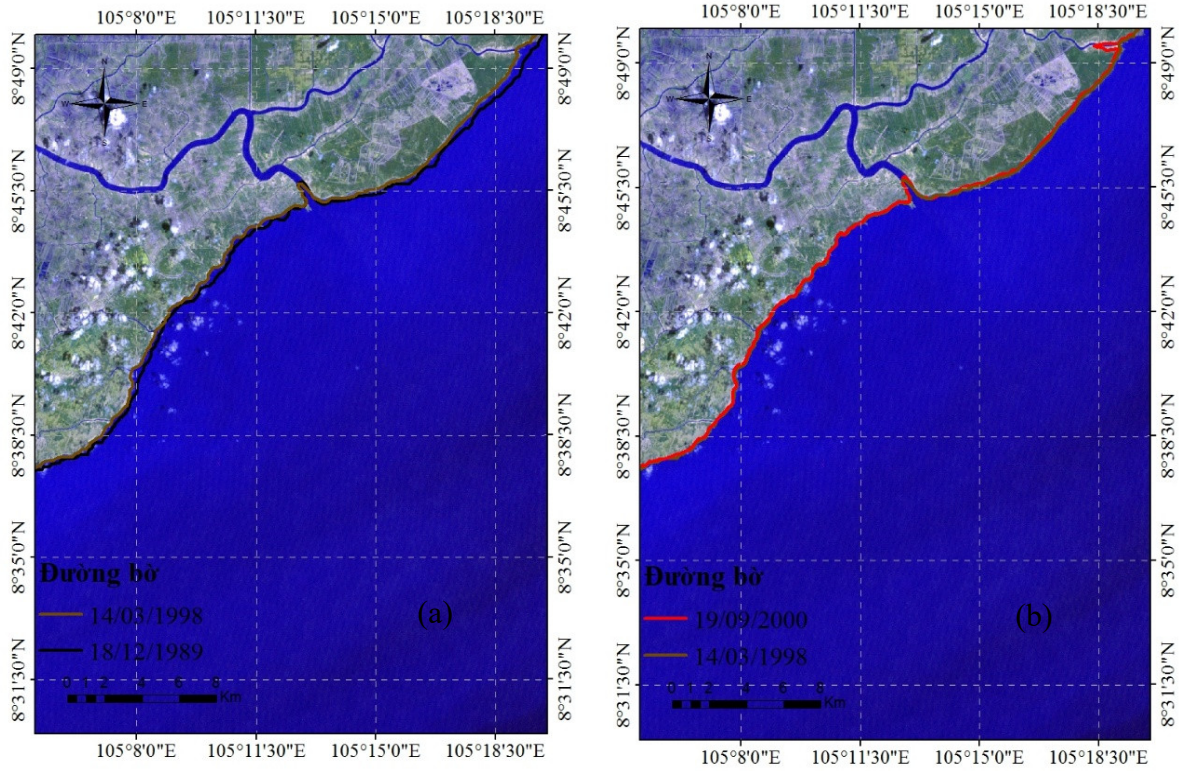
Hình 3. Biến động đường bờ vùng 1: (a) 2008–2015, (b) 2015–2017.

3.2. Biến động đường bờ vùng 2

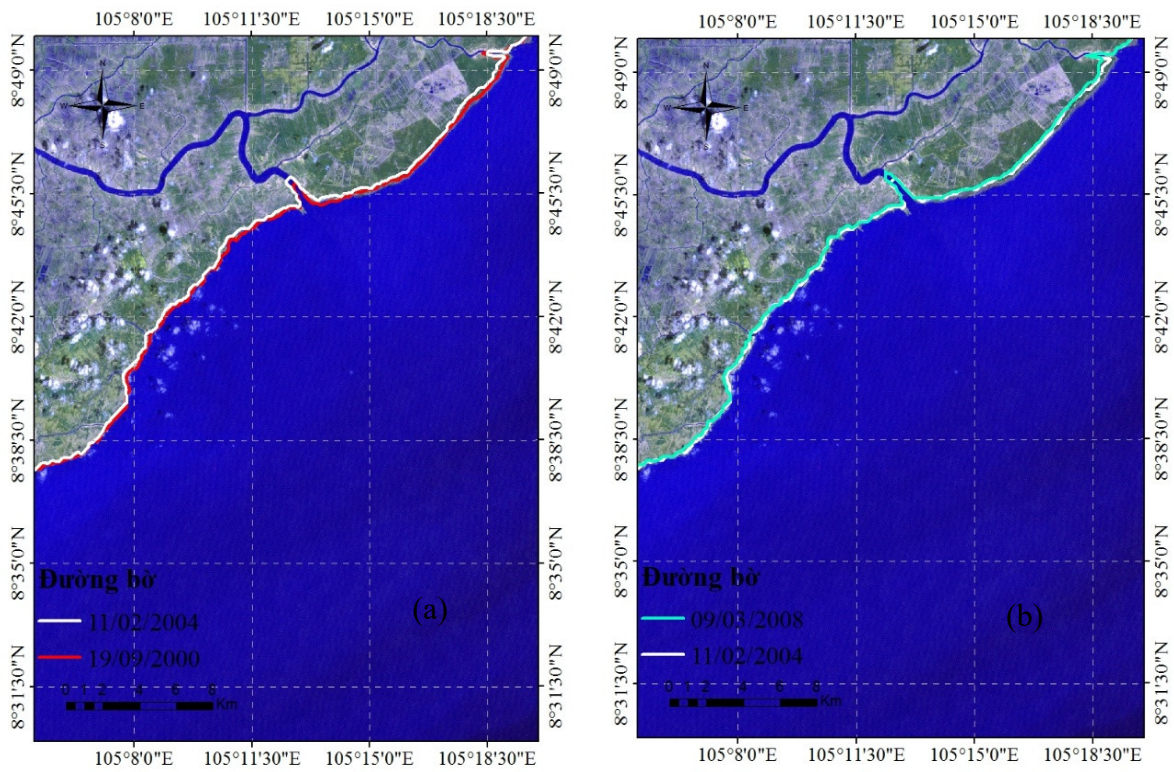
Vùng 2 nằm trong khu vực cửa Bồ Đề qua các năm từ 1989, 1998, 2000, 2004, 2008, 2015, 2017 cũng tương tự như vùng 1 là quá trình xói lở chiếm ưu thế, tuy nhiên mức độ xói lở lớn hơn. Cụ thể, ở vùng 2 năm 1989 đến 1998 (Hình 4a) quá trình xói lở chiếm ưu thế, trung bình đạt khoảng 25 m/năm, từ năm 1998 đến 2000 (Hình 4b), hầu hết cũng chỉ có quá trình xói lở xảy ra, trung bình xói lở đạt khoảng 30 m/năm lớn hơn nhiều so với khu vực 1.

Từ năm 2000 đến 2004 (Hình 5a) ta thấy xói lở cũng chiếm ưu trong giai đoạn này, trung bình đạt 32 m/năm, từ năm 2004 đến 2008 (Hình 5b) nhìn chung đường bờ có xu hướng ổn định và ít thay đổi hơn so với các giai đoạn 1989 đến 1998, 1998 đến 2000 và 2000 đến 2004, trung bình xói lở đạt khoảng 16 m/năm.

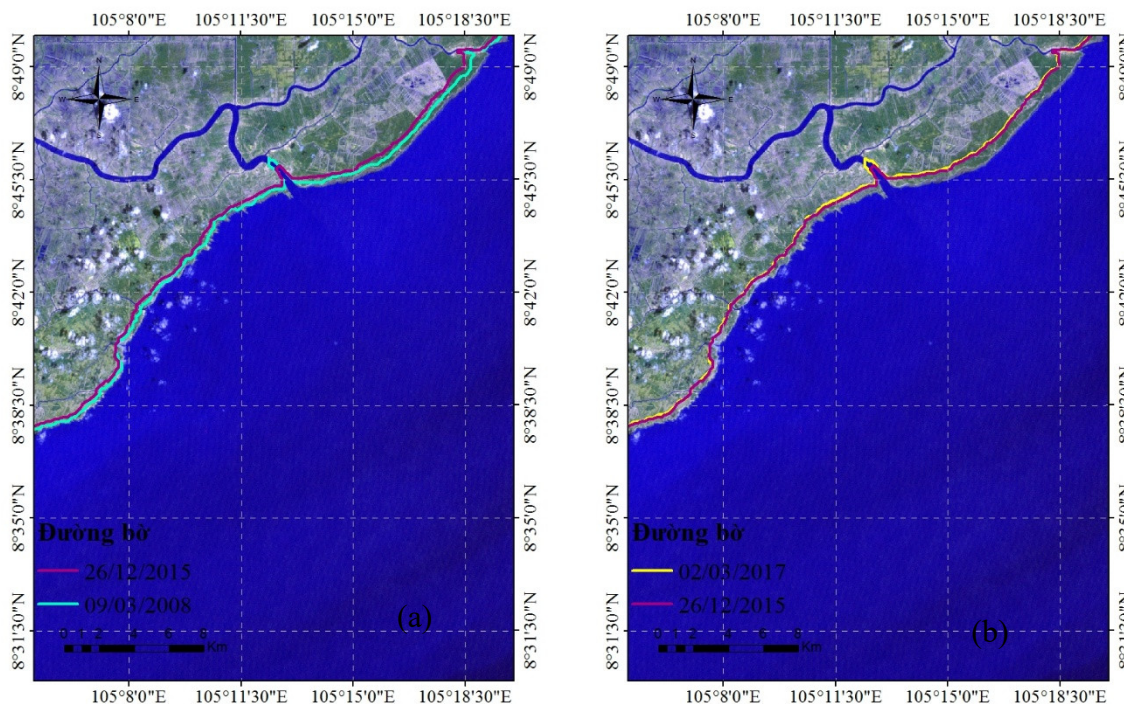
Từ năm 2008 đến 2015 (Hình 6a) quá trình xói lở cũng chiếm ưu thế và mức độ lớn hơn so với giai đoạn 2004 đến 2008, trung bình đạt khoảng 30 m/năm và từ giai đoạn 2015 đến 2017 (Hình 6b) quá trình xói lở cũng chiếm ưu thế, nhưng mức độ xói lở thấp hơn giai đoạn 2008 đến 2015, trung bình xói lở đạt khoảng 20 m/năm.



Hình 4. Biến động đường bờ vùng 2: (a) 1989–1998; (b) 1998–2000.



Hình 5. Biến động đường bờ vùng 2: (a) 2000–2004; (b) 2004–2008.



Hình 6. Biến động đường bờ vùng 2: (a) 2008–2015; (b) 2015–2017.

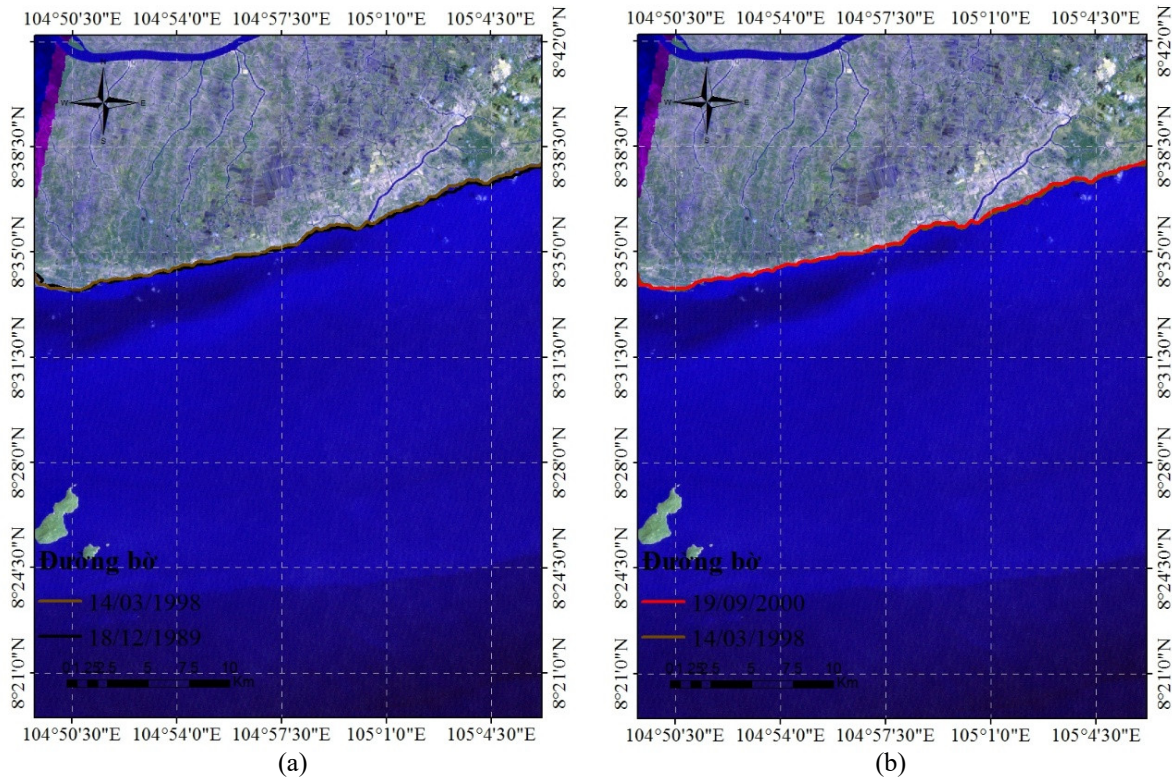
3.3. Biến động đường bờ vùng 3

Vùng 3 là đoạn bờ từ xã Tân An cách cửa Bồ Đề 16 km đến đông mũi Cà Mau qua các năm từ 1989, 1998, 2000, 2004, 2008, 2015, 2017 cũng tương tự như vùng 1 và 2 là quá trình xói lở chiếm ưu thế và mức độ xói lở thấp hơn so với vùng 2.

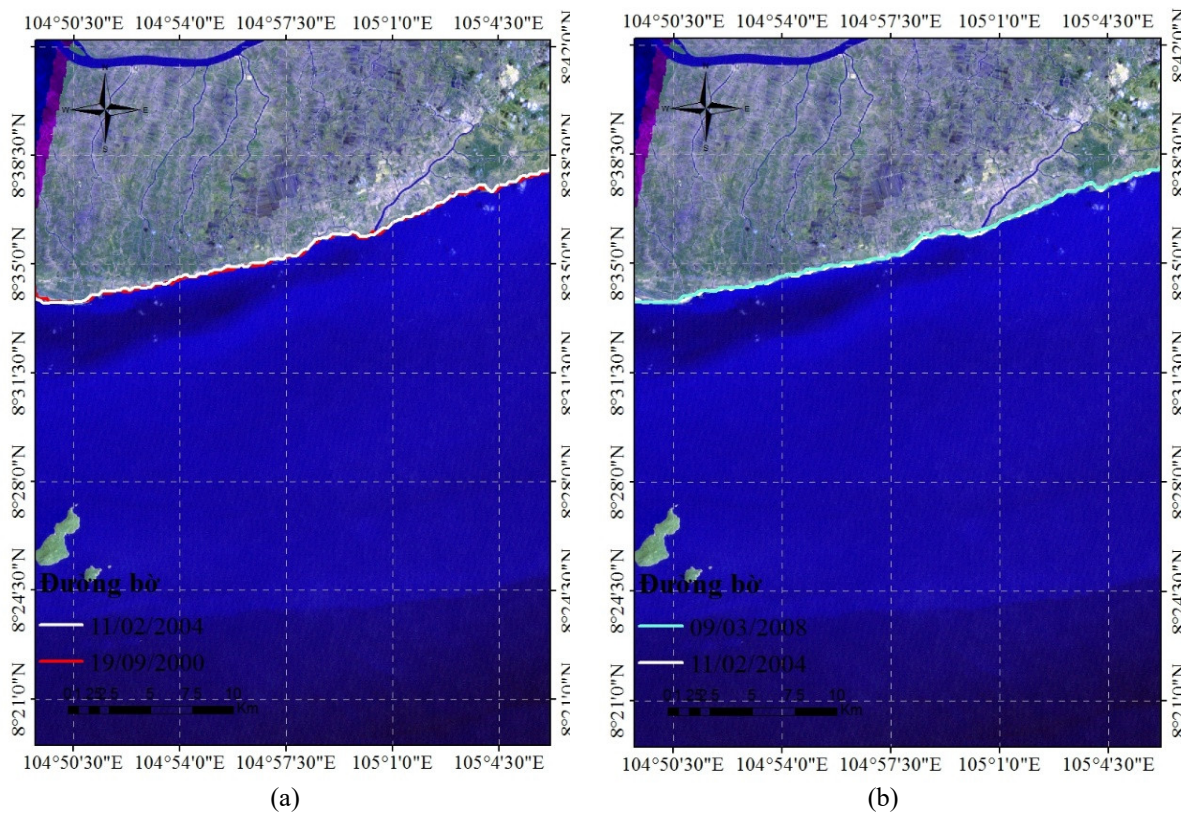
Cụ thể, giai đoạn từ 1989 đến 1998 (Hình 7a) ta thấy hầu hết xảy ra quá trình xói lở, trung bình đạt 16 m/năm, tuy nhiên ở khu vực phía mũi Cà Mau lại có xu hướng bồi tụ trung bình khoảng 14 m/năm. Giai đoạn từ 1998 đến 2000 (Hình 7b) cũng xảy ra quá trình xói lở, nhưng mức độ lớn hơn giai đoạn 1989 đến 1998 đạt khoảng 20 m/năm và cũng có xu hướng bồi tụ ở khu vực phía mũi Cà Mau, trung bình đạt khoảng 14 m/năm.

Giai đoạn 2000 đến 2004 (Hình 8a) nhìn chung ta cũng thấy quá trình xói lở chiếm ưu thế, tuy nhiên mức độ lại thấp hơn so với 2 giai đoạn trước đó là 1989 đến 1998 và 1998 đến 2000, trung bình xói lở đạt khoảng 10 m/năm, tuy nhiên ở khu vực phía mũi Cà Mau quá trình bồi tụ lại xảy ra nhiều hơn, trung bình đạt khoảng 22 m/năm. Ở giai đoạn 2004 đến 2008 (Hình 8b) đường bờ có xu hướng ổn định hơn so với các giai đoạn trước, mức độ xói lở trung bình đạt 7 m/năm, còn ở khu vực phía mũi Cà Mau bồi tụ xảy ra rất mạnh khoảng 38 m/năm.

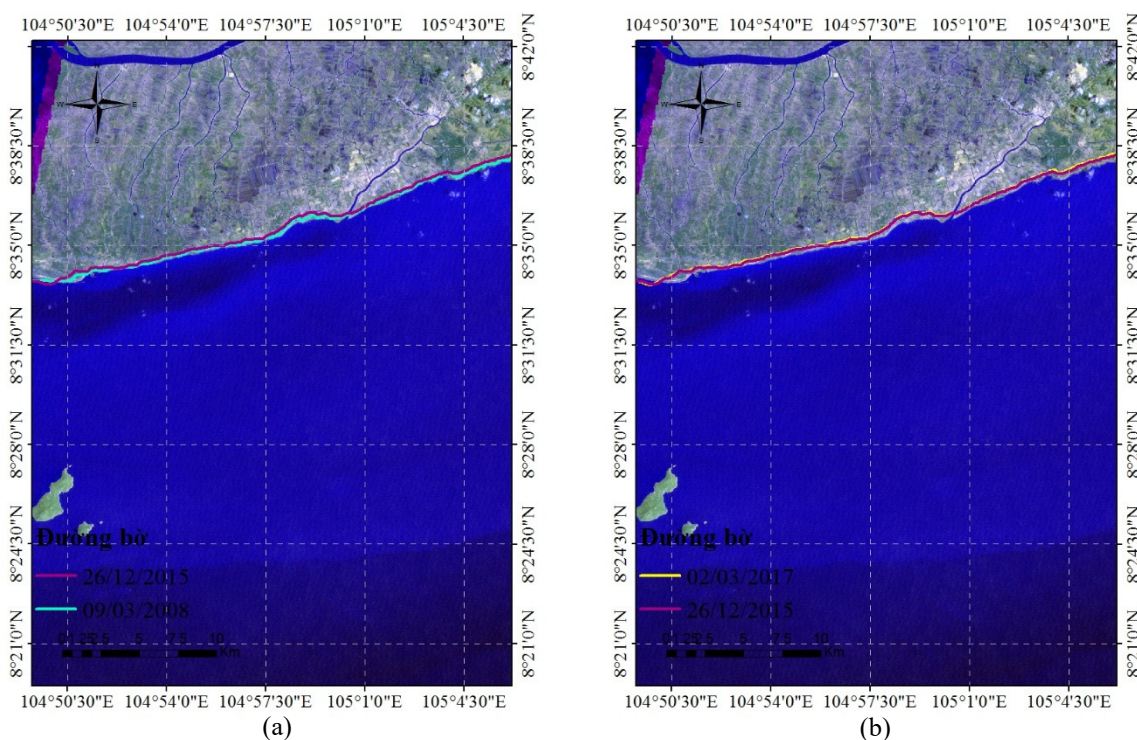
Giai đoạn 2008 đến 2015 (Hình 9a) quá trình xói lở cũng chiếm ưu thế hơn và có xu hướng tăng lên so với giai đoạn 2004 đến 2008, trung bình xói lở đạt khoảng 14 m/năm, còn ở khu vực phía mũi Cà Mau, quá trình bồi tụ có xu hướng giảm đi so với giai đoạn 2004 đến 2008 đạt khoảng 14 m/năm. Còn ở giai đoạn 2015 đến 2017 cũng tương tự như các giai đoạn trên là quá trình xói lở cũng chiếm ưu thế đạt khoảng 16 m/năm, tuy nhiên ở khu vực phía mũi Cà Mau quá trình bồi tụ giảm rất nhiều chỉ còn khoảng 4 m/năm.



Hình 7. Biến động đường bờ vùng 3: (a) 1989–1998; (b) 1998–2000.



Hình 8. Biến động đường bờ vùng 3: (a) 2000–2004; (b) 2004–2008.



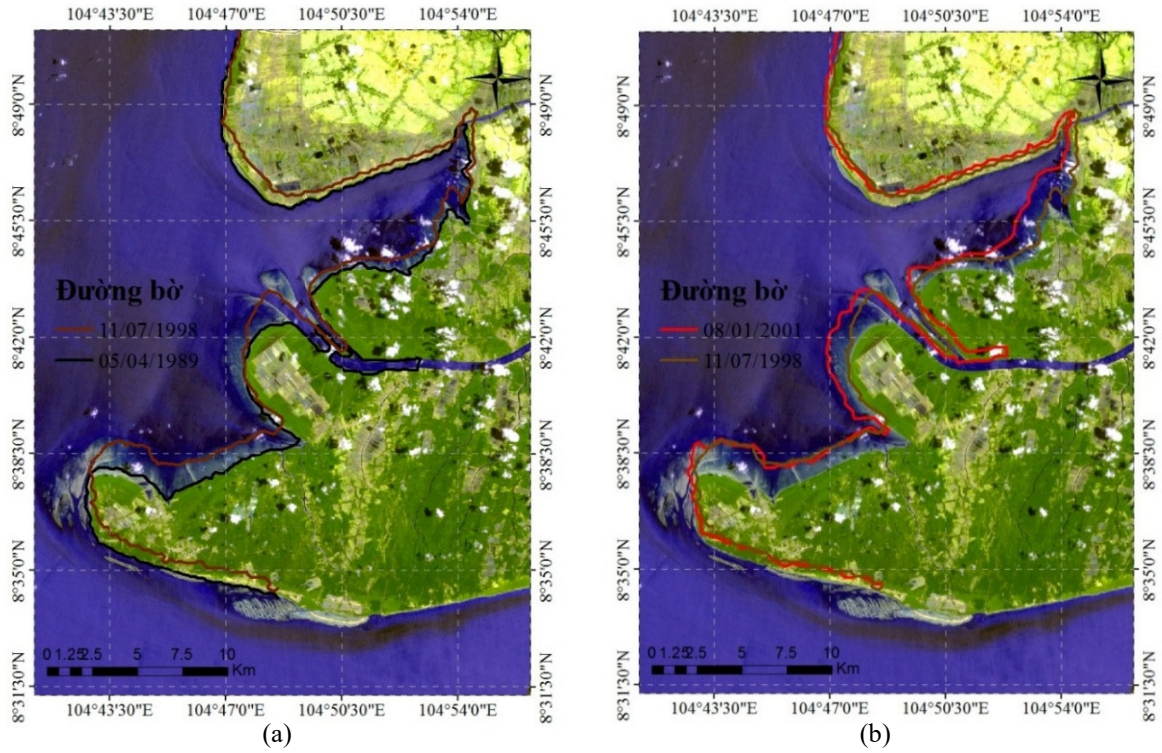
Hình 9. Biến động đường bờ vùng 3: (a) 2008–2015; (b) 2015–2017.

3.4. Biến động đường bờ vùng 4

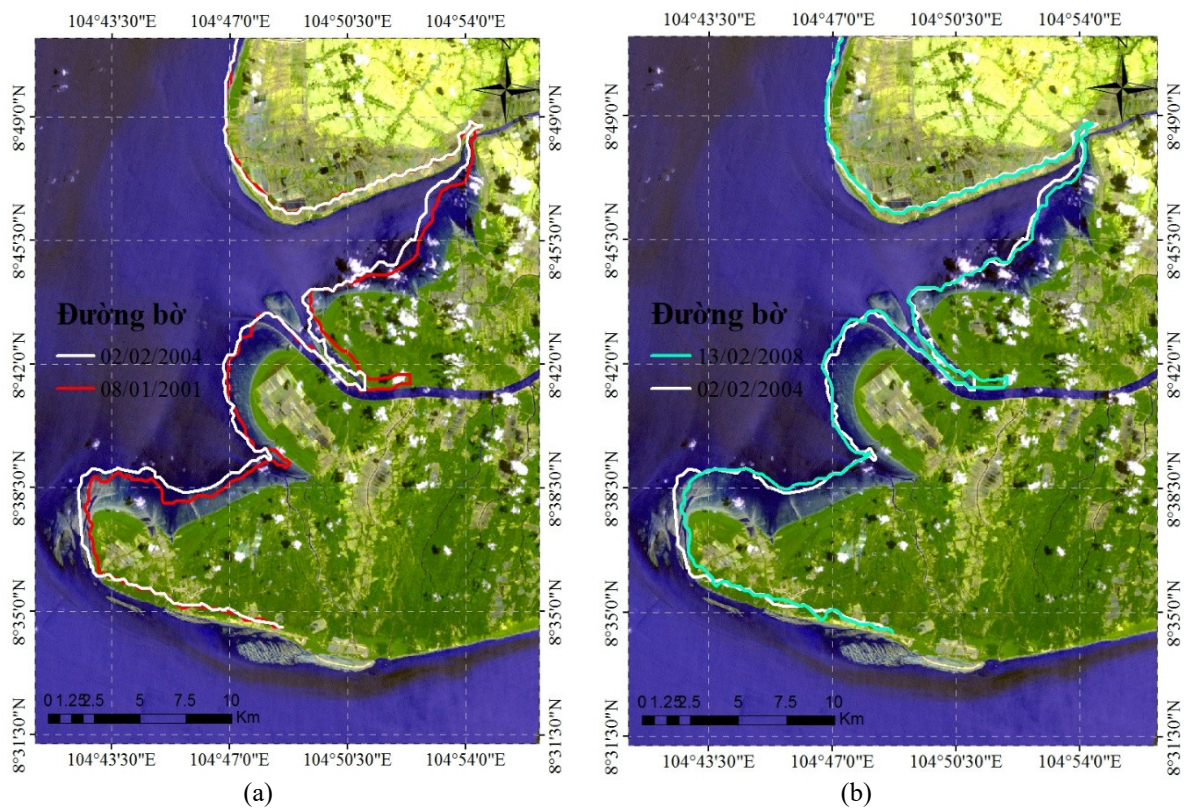
Vùng 4 là đoạn bờ biển Tây Cà Mau có 2 cửa sông lớn là Ông Trang và Bảy Hạp, được biểu diễn ở Hình 10, 11, 12 và 13 qua các năm từ 1989–2017. Từ năm 1989–2015 từ mũi Cà Mau đến cửa Bảy Hạp được bồi tụ liên tục với cường độ khá mạnh, tuy nhiên ở khu vực mũi đông Cà mau thì lại có xu hướng xói lở. Ngoài ra quá trình bồi tụ mạnh tập trung chủ yếu ở 2 khu vực cửa sông lớn là Ông Trang và Bảy Hạp hơn phía ngoài bờ biển. Cụ thể, ta chia là 2 khu vực là phía mũi đông Cà Mau và phía tây Cà Mau.

Ở phía mũi đông Cà Mau, trong giai đoạn từ năm 1989–1998 xảy ra quá trình xói lở, với mức độ đạt khoảng 65 m/năm (Hình 10a). Giai đoạn từ 1998–2004 thì lại có xu thế bồi, với mức độ trung bình đạt 40 m/năm (Hình 10b và 11a). Giai đoạn 2004–2010 thì quá trình xói lở lại chiếm ưu thế trung bình khoảng 60m/năm (Hình 11b và 12a). Giai đoạn 2010–2015 thì lại có xu hướng ngược lại so với giai đoạn 2004–2010 là quá trình bồi tụ chiếm ưu thế đạt trung bình khoảng 30 m/năm (Hình 12b), tuy nhiên ở giai đoạn 2015–2017 thì lại xảy ra quá trình xói lở trung bình khoảng 24 m/năm (Hình 13).

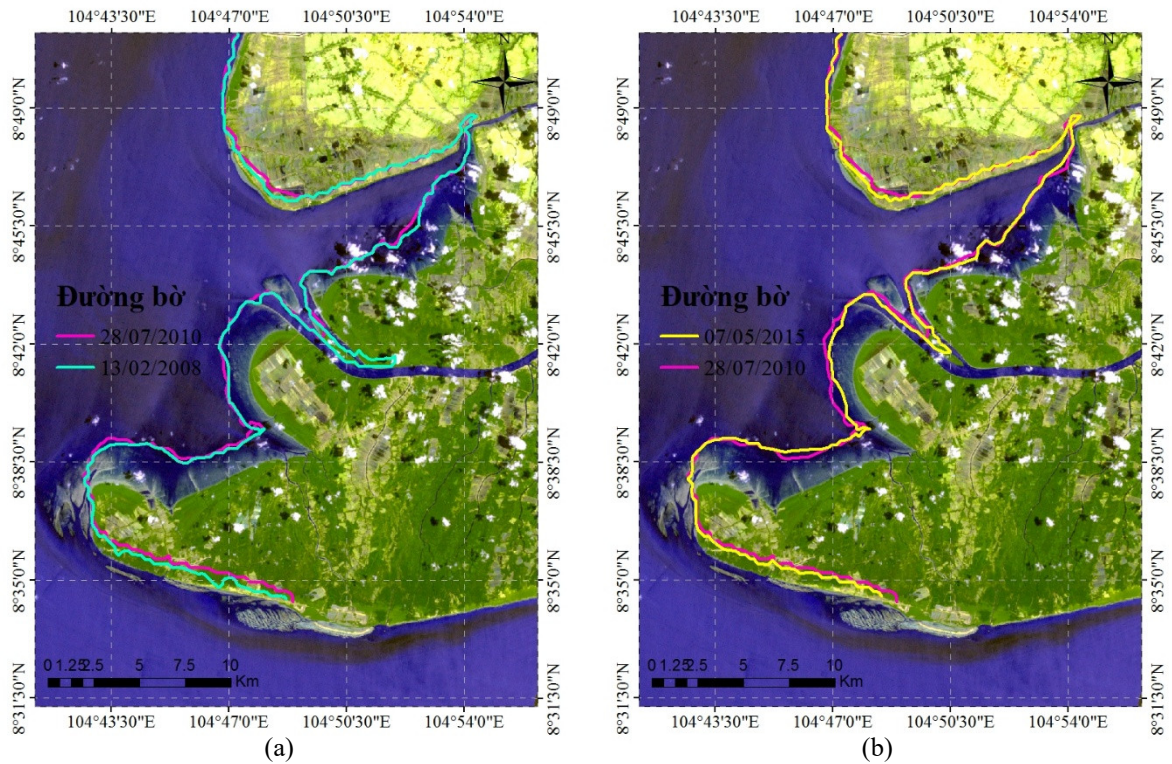
Ở khu vực phía tây Cà Mau, hầu hết các giai đoạn từ năm 1989–2015 đều xảy ra quá trình bồi tụ và mạnh nhất ở giai đoạn 1998–2004, tuy nhiên ở giai đoạn năm 2015–2017 thì quá trình xói lở lại chiếm ưu thế hơn. Cụ thể, giai đoạn năm 1989–1998 quá trình bồi tụ đạt khoảng trung bình 27 m/năm (Hình 10a), giai đoạn 1998–2004 bồi tụ đạt trung bình khoảng 86 m/năm (Hình 10b và 11a), ở các giai đoạn 2004–2010 (Hình 11b và 12a), 2010–2015 (Hình 12b) thì lại xảy ra quá trình xói lở và bồi tụ, tuy nhiên quá trình bồi tụ vẫn chiếm ưu thế hơn đạt trung bình khoảng 3 m/năm, tuy nhiên ở giai đoạn 2015–2017 thì quá trình xói lở lại chiếm ưu thế hơn đạt trung bình khoảng 10 m/năm.



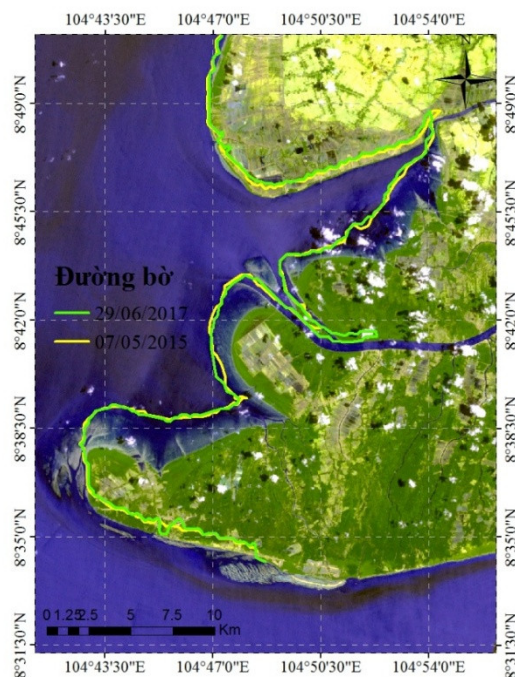
Hình 10. Biến động đường bờ vùng 4: (a) 1989–1998; (b) 1998–2001.



Hình 11. Biến động đường bờ vùng 4: (a) 2001–2004; (b) 2004–2008.



Hình 12. Biến động đường bờ vùng 4 (a) 2008–2010; (b) 2010–2015.

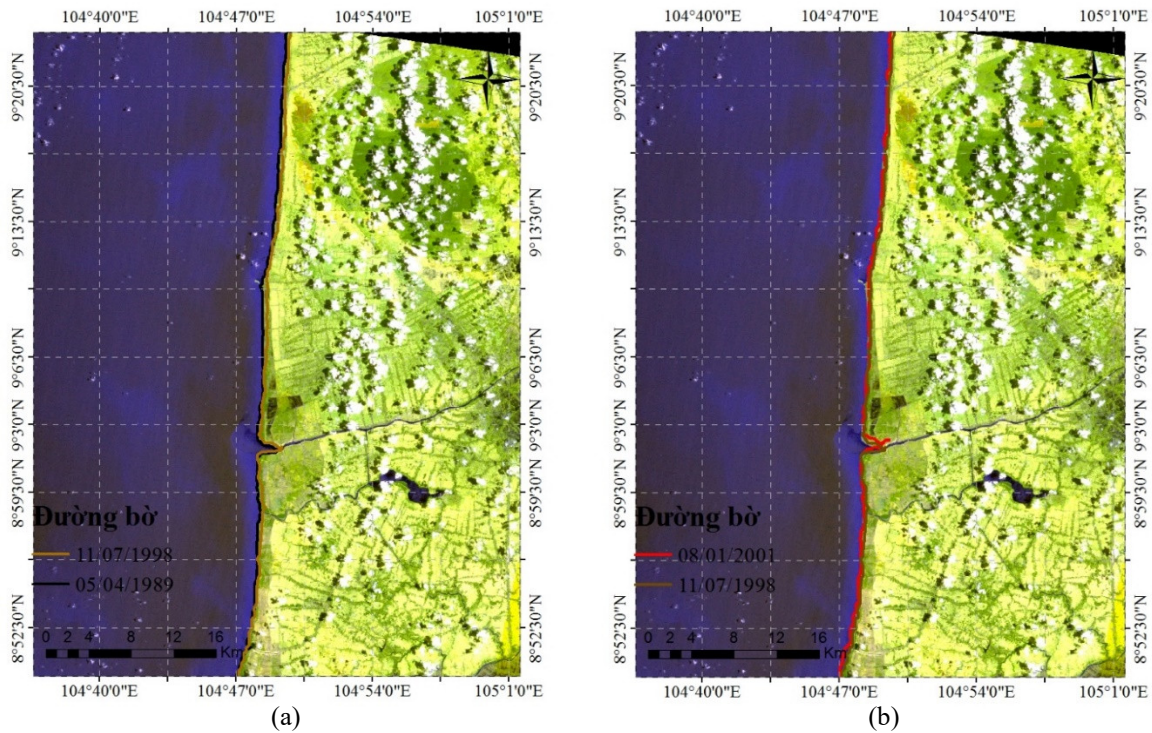


Hình 13. Biến động đường bờ vùng 4: 2015–2017.

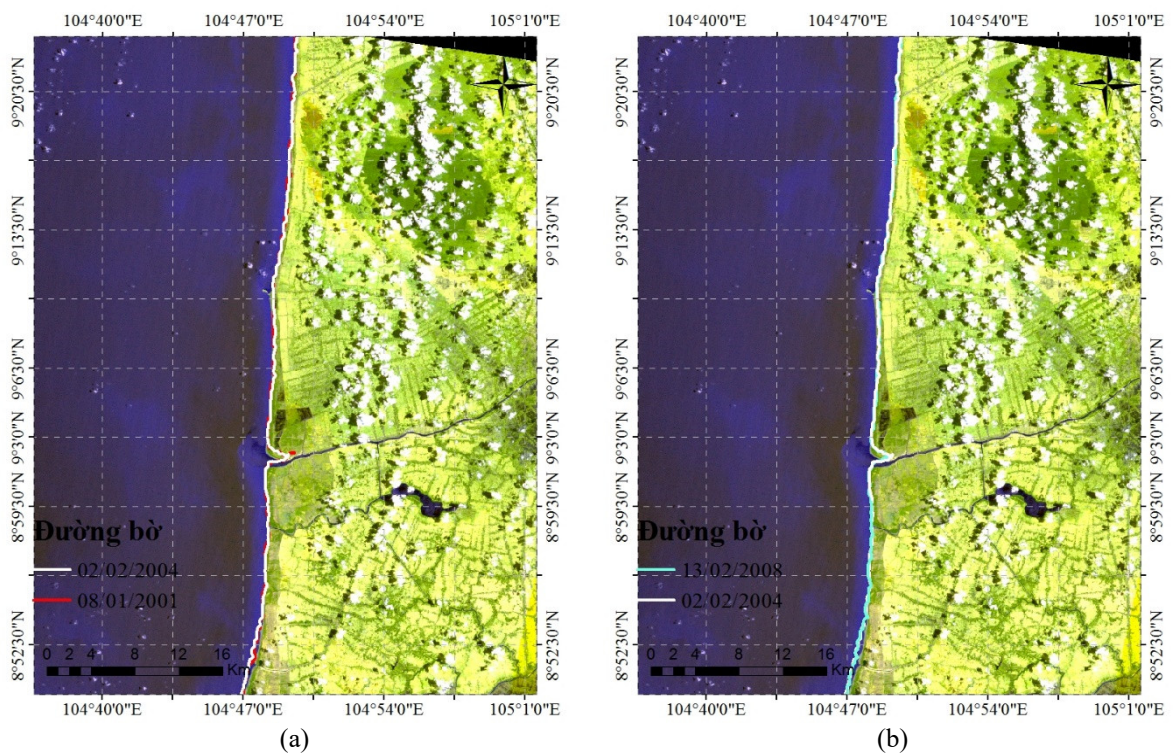
3.5. Biến động đường bờ vùng 5

Vùng 5 là đoạn bờ biển từ huyện Cái Nước đến huyện U Minh. Đường bờ ở khu vực này ít thay đổi hơn so với 4 khu vực trước. Nhìn chung ta thấy quá trình xói lở và bồi tụ xảy ra xen kẽ nhau qua từng giai đoạn. Cụ thể, giai đoạn 1989–1998 hầu hết chỉ xảy ra quá trình xói lở đạt trung bình khoảng 25 m/năm, còn ở khu vực cửa sông Ông Đốc thì lại có xu hướng một

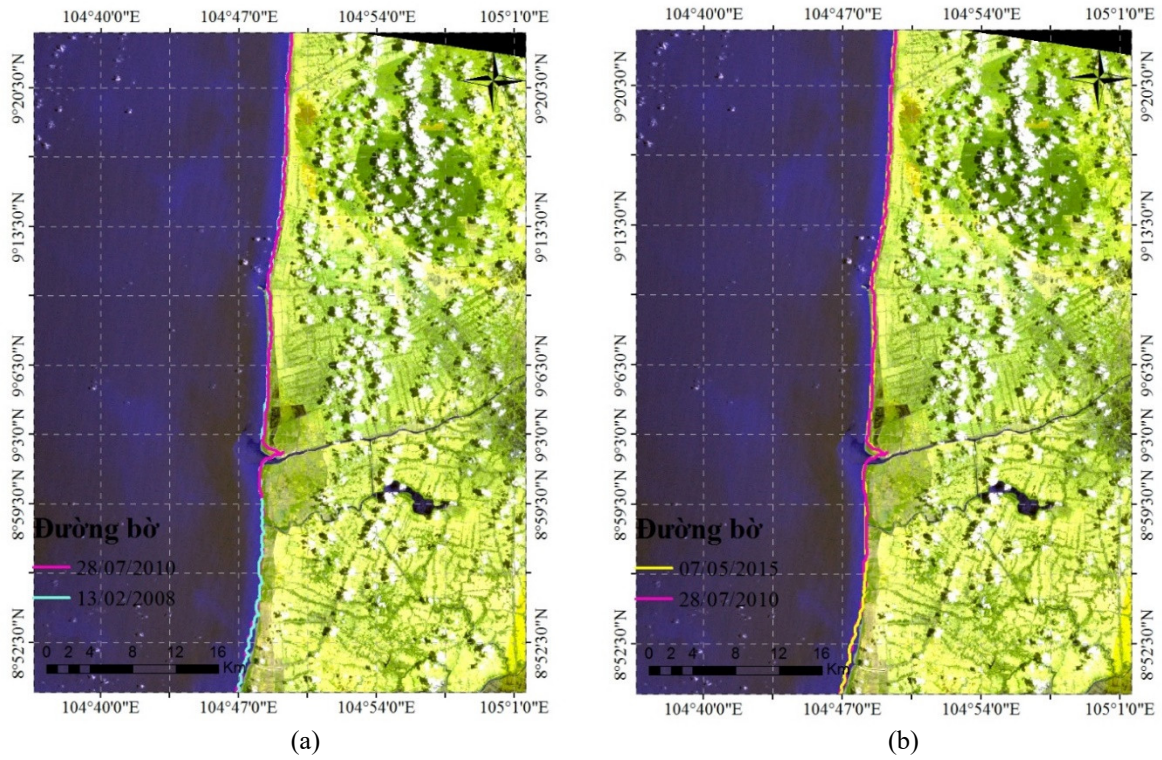
bên xói lở và một bên bồi tụ (Hình 14a). Giai đoạn 1998–2001 quá trình bồi tụ lại chiếm ưu thế, đạt trung bình khoảng 45 m/năm (Hình 14b). Giai đoạn 2001–2004 (Hình 15a), 2004–2008 (Hình 15b), 2008–2010 (Hình 16a), 2010–2015 (Hình 16b), quá trình xói lở và bồi tụ xảy ra xen kẽ nhau qua từng giai đoạn, nhưng mức độ không đáng kể dao động trung bình khoảng 2–8 m/năm. Ở giai đoạn 2015–2017 thì hầu hết chỉ có quá trình xói lở xảy ra, với mức độ đạt trung bình khoảng 38 m/năm (Hình 17).



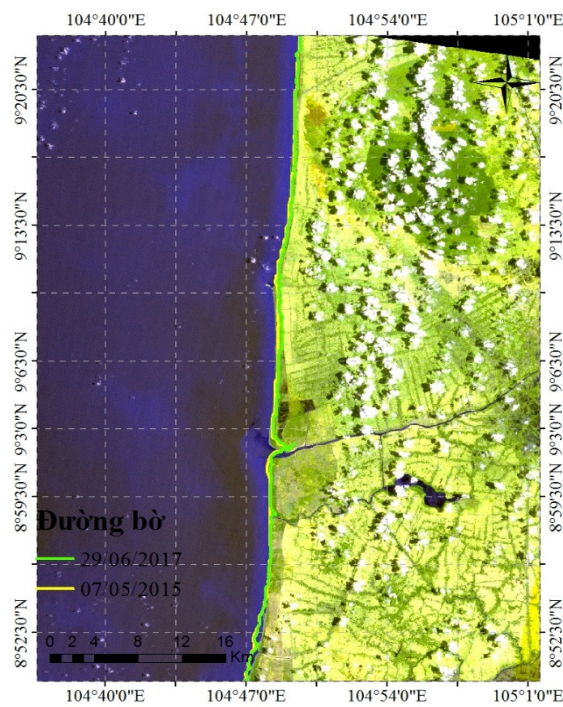
Hình 14. Biến động đường bờ vùng 5: (a) 1989–1998; (b) 1998–2001.



Hình 15. Biến động đường bờ vùng 5: (a) 2001–2004; (b) 2004–2008.



Hình 16. Biến động đường bờ vùng 5: (a) 2008–2010; (b) 2010–2015.



Hình 17. Biến động đường bờ vùng 5: 2015–2017.

4. Kết luận

Khu vực Đông Cà Mau, hầu hết chỉ có quá trình xói lở xảy ra từ năm 1989–2017, tuy nhiên ở khu vực phía gần mũi Cà Mau thì lại xảy ra quá trình bồi tụ, nhưng mức độ giảm dần qua các năm. Khu vực 2 bị xói lở nhiều nhất với tốc độ trung bình từ 1989–2017 đạt khoảng 31 m/năm và xói lở thấp nhất là ở khu vực 1, trung bình đạt khoảng 14 m/năm. Ngoài ra, khu

vực ở phía mũi Đông Cà Mau quá trình xói lở và bồi tụ xảy ra xen kẽ nhau qua các giai đoạn, nhưng xói lở vẫn chiếm ưu thế hơn. Đặc biệt, ta còn thấy quá trình xói lở ở khu vực này vẫn tiếp tục trong tương lai.

Khu vực phía Tây Cà Mau, nhìn chung quá trình bồi tụ chiếm ưu thế hơn so với quá trình xói lở trong giai đoạn 1989–2015, tuy nhiên ở những năm trở lại đây 2015–2017 thì quá trình xói lở lại chiếm ưu thế hơn. Ở khu vực 4 trung bình bồi tụ trong giai đoạn từ 1989–2015 là khoảng 33 m/năm, ở giai đoạn 2015–2017 trung bình xói lở đạt khoảng 10 m/năm. Ở khu vực 5, giai đoạn 1989–1998 hầu như chỉ có quá trình xói lở xảy ra trung bình đạt 24 m/năm, tuy nhiên ở giai đoạn từ năm 1998–2015 thì quá trình xói lở và bồi tụ lại xảy ra xen kẽ nhau với mức độ tương đối thấp, ở giai đoạn 2015–2017 quá trình xói lở lại xảy ra khá mạnh mẽ, trung bình đạt khoảng 38 m/năm. Đặc biệt, ở khu vực 4 quá trình bồi tụ còn tiếp diễn trong tương lai, còn ở khu vực 5 thì lại có xu hướng xói lở và bồi tụ qua từng giai đoạn.

[11] đã xây dựng được bản đồ đường bờ năm 1995, 2000, 2005, 2010 bằng ảnh viễn thám, Kết quả, cho thấy quá trình xói lở xảy ra ở biển Đông tỉnh Cà Mau và Bạc Liêu và quá trình bồi tụ xảy ra ở vùng biển Tây Cà Mau. [12] chỉ ra ở phía Đông Cà Mau là khu vực chủ yếu xảy ra quá trình xói lở với tốc độ lớn nhất là 33–66 m/năm, còn ở phía bờ Tây tại mũi Cà Mau và vùng bờ biển tiếp giáp vịnh Thái Lan xảy ra hiện tượng bồi tụ với tốc độ bồi tụ lớn nhất tại Đất Mũi và cửa Bảy Hạp là 40–89 m/năm qua các năm 1979, 1989, 1997, 2012 bằng ảnh vệ tinh.

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

Lời cảm ơn: Nghiên cứu được tài trợ bởi Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, ĐHQG–H CM trong khuôn khổ Đề tài mã số T2019–11.

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

Tài liệu tham khảo

1. Lập, N.V.; Oanh, T.T.K. Đặc điểm trầm tích bãi triều và thay đổi đường bờ biển khu vực ven biển tỉnh Cà Mau, châu thổ sông Cửu Long. *Tap chí các Khoa học về Trái Đất* **2011**, 1–9.
2. Thu, H.T.; Khôi, Đ.N.; Lợi, P.T.; Hồng, N.V. Phân tích biến động đường bờ sông khu vực Thành phố Hồ Chí Minh giai đoạn 1989–2015. *Tap chí phát triển Khoa học & Công nghệ: Chuyên san Khoa học Trái đất & Môi trường* **2018**, 80–88.
3. Giri, C.; Long, J.; Abbas, S.; Mani Murali, R.; Qamer, F.M.; Pengra, B.; Thau, D. Distribution and dynamics of mangrove forests of South Asia. *J. Environ. Manage.* **2014**, 1–11.
4. Barik, K.K.; Mitra, D.; Annadurai, R.; Tripathy, J.K.; Nanda, S., Geospatial analysis of coastal environment: A case study on Bhitarkanika Mangroves, East coast of India. *Indian J. Geo-Marine Sci.* **2016**, 45, 492–498.
5. Islam, M.M. Tracing mangrove forest dynamics of Bangladesh using historical Landsat data. Master Thesis, Physical Geography and Ecosystem Analysis, 2017.
6. Thinh, N.A.; Hens, L. A digital shoreline analysis system (DSAS) applied on mangrove shoreline changes along the Giao Thuy Coastal area (Nam Dinh, Vietnam) during 2005 – 2014. *VN J. Earth Sci.* **2017**, 39, 87–96.
7. Hạo, L.V., Nghiên cứu biến động và xu thế diễn biến đường bờ tỉnh Kiên Giang sử dụng tư liệu viễn thám và mô hình. Luận văn thạc sĩ khoa học Trường Đại học Khoa học Tự nhiên Tp. Hồ Chí Minh, 2016.

8. Vân, T.T.; Ánh, T.T.X.; Hồng, P.N.; Farid, D.G.; Nico, K. Application of remote sensing and GIS for detection of long-term mangrove shoreline changes in Mui Ca Mau, Vietnam. *Biogeosci.* **2014**, 11, 3781–3795.
9. Đạt, K.T.; Quang, L.T.; Vương, N.B.; Toại, P.M. Thực trạng và giải pháp phát triển bền vững rừng phòng hộ ven biển tỉnh Bạc Liêu. *Tạp chí Khoa Học Lâm Nghiệp* **2017**, 140–151.
10. Thieler, E.R.; Martine, D.; Ergul, A. The digital shoreline analysis system (DSAS) Version 4.0. – An arcGIS extension for calculating shoreline change, USGS, Open – File Report 2008–1278, 2009.
11. Diễm, P.K.; Minh, V.Q.; Điệp, N.T.H.; Đen, Đ.V. Đánh giá tình hình sạt lở, bồi tụ khu vực ven biển tỉnh Cà Mau và Bạc Liêu từ 1995 – 2010 sử dụng viễn thám và công nghệ GIS. *Tạp chí Khoa học Trường Đại học Cần Thơ* **2013**, 35–43.
12. Phong, D.H.; Thục, T.; Hà, L.P.; Anh, N.N. Phân tích biến động đường bờ khu vực Cà Mau bằng ảnh Landsat. Hội thảo khoa học Quốc gia về Khí tượng Thủy văn, Môi trường và Biến đổi khí hậu lần thứ XVI, **2013**, 270–275.

Analysis and evaluation of erosion and deposition processes in Ca Mau by remote sensing and GIS

Nguyen Tien Thanh¹

¹ Faculty of Physics and Engineering Physics, VNUHCM–University of Science; ntthanh@hcmus.edu.vn

Abstract: Shoreline extraction using remote sensing and GIS technology is essential to assess shoreline changes quickly and promptly. Ca Mau is an area with 3 sides bordering the sea, so there is always an erosion and deposition process that occurs strongly. The study used remote sensing and GIS images to map shoreline changes in the Ca Mau area. The results showed that the shoreline in the Ca Mau area was quite complicated. Specifically, in the area in the East of Ca Mau from Dam Doi to Ngoc Hien, most of the erosion process occurred from 1989–2017, However, the deposition process occurs at the tip of Ca Mau. In the western of Ca Mau from Ca Mau cape to U Minh district, the deposition process prevailed in the period 1989–2015 but in the period from 2015–2017, the process of erosion. This is one of useful information for local authorities to have solutions for coastal area planning and management.

Keywords: Shoreline extraction; GIS; Erosion; Deposition; Ca Mau.

Đánh giá sự phân bố nồng độ bụi PM_{2.5} tại khu vực TP. HCM bằng công nghệ viễn thám—một số kết quả ban đầu

Trần Quang Trà¹, Nguyễn Phúc Hiếu², Đào Nguyên Khôi^{1,*}

¹ Khoa Môi Trường, Trường ĐH Khoa Học Tự Nhiên – ĐHQG Tp.HCM;
tqtra@hcmus.edu.vn ; dnkhoi@hcmus.edu.vn

² Công ty TNHH ERM Việt Nam; phuchieu50@gmail.com

* Tác giả liên hệ: dnkhoi@hcmus.edu.vn; Tel.: +84–989370987

Tóm tắt: Trong thời gian gần đây, ô nhiễm bụi mịn (PM_{2.5}) đã trở thành một trong những vấn đề môi trường đáng quan tâm nhất tại các khu đô thị ở các nước đang phát triển, trong đó có Việt Nam. Thành phố Hồ Chí Minh được biết đến là một trung tâm kinh tế lớn của Việt Nam, chiếm khoảng 23% GDP của cả nước (2019), đã chịu ảnh hưởng rất lớn của ô nhiễm không khí do sự phát triển công nghiệp và phát thải từ hoạt động giao thông. Mục tiêu của nghiên cứu này là ước tính sự phân bố không gian nồng độ bụi PM_{2.5} trên địa bàn thành phố tại một số thời điểm trong giai đoạn 2015–2020 bằng việc sử dụng dữ liệu LANDSAT 8 OLI/TIRS. Trong nghiên cứu này, giá trị phản xạ khí quyển từ ảnh vệ tinh và dữ liệu quan trắc bụi PM_{2.5} từ mặt đất được sử dụng để thiết lập mô hình tương quan hồi quy để tính toán nồng độ bụi PM_{2.5} cho khu vực nghiên cứu. Mô hình đã cho ra kết quả tốt trong việc tính toán nồng độ bụi PM_{2.5} với $R^2 > 0,79$ và sai số RMSE = 2,3745 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Trên cơ sở đó, nồng độ bụi PM_{2.5} được thiết lập để đánh giá đặc điểm phân bố của chúng và nhận diện các khu vực có mức độ ô nhiễm cao tại các thời điểm ghi nhận được. Kết quả này sẽ cung cấp thông tin hữu ích cho các nhà quản lý chất lượng không khí tại địa phương.

Từ khóa: PM_{2.5}; Ô nhiễm không khí; LANDSAT 8; Thành phố Hồ Chí Minh; Viễn thám.

1. Mở đầu

Ô nhiễm bụi mịn PM_{2.5} đã và đang trở thành một vấn đề lớn tại các khu đô thị [1–3]. Thuật ngữ PM_{2.5} có thể được hiểu là một hỗn hợp các hạt rắn và các giọt chất lỏng lơ lửng, có đường kính khí động học nhỏ hơn 2,5 μm [4]. Chúng gây ảnh hưởng nghiêm trọng đến sức khỏe con người, đặc biệt với các bệnh liên quan đến đường hô hấp và tim mạch, thậm chí gây tử vong [5, 6]. Thành phố Hồ Chí Minh (Tp. HCM) là khu vực đi đầu cả nước về tốc độ đô thị hóa với mật độ dân số cao [7], lượng phương tiện tham gia giao thông dày đặc cũng như số lượng lớn các khu công nghiệp [8] dẫn đến sự suy giảm chất lượng không khí xung quanh, trong đó đáng kể là bụi PM_{2.5}. Do đó, quan trắc và thành lập bản đồ phân bố bụi PM_{2.5} là nhiệm vụ cấp thiết nhằm phục vụ công tác kiểm soát ô nhiễm bụi PM_{2.5}.

Giám sát nồng độ bụi PM_{2.5} dựa vào dữ liệu quan trắc cho kết quả chính xác cao, tuy nhiên phương pháp này còn hạn chế về mặt không gian do bị giới hạn bởi số lượng các điểm quan trắc. Các nghiên cứu gần đây đã cho thấy tính hữu dụng của dữ liệu ảnh vệ tinh trong việc thành lập bản đồ phân vùng và giám sát ô nhiễm không khí [9–14]. Liên quan đến bụi PM_{2.5}, nghiên cứu [10] ứng dụng viễn thám để xác định hàm lượng bụi PM_{2.5} ở Trung Quốc dựa trên tương quan với đặc điểm độ dày quang học sol khí (AOD–Aerosol Optical Depth) và kết quả cho thấy mức độ tương quan khá tốt ở dữ liệu tháng và năm. Một nghiên cứu tương tự [11] cũng cho thấy mối tương quan giữa hàm lượng bụi PM_{2.5} và AOD và tìm thấy được sự ảnh hưởng của điều kiện khí tượng và mùa mối quan hệ giữa nồng độ bụi PM_{2.5} và tán xạ ngược bề mặt. Bên cạnh nghiên cứu về mối quan hệ giữa bụi PM_{2.5} và AOD, nghiên

cứ [12] xác định mối quan hệ giữa bụi PM_{2.5} và phản xạ khí quyển từ các kênh ảnh của ảnh vệ tinh Landsat 8 OLI và TIRS. Kết quả cho thấy bụi PM_{2.5} có mối tương quan với các kênh ảnh 1, 2 và 5, và thành lập được bản đồ phân bố bụi PM_{2.5} cho thành phố Delhi (Ấn Độ).

Việc sử dụng công nghệ viễn thám kết hợp dữ liệu từ mặt đất để nghiên cứu về bụi cũng thu hút được sự chú ý của các nhà khoa học trong nước trong những năm gần đây. Nghiên cứu [13] sử dụng ảnh LANDSAT/ETM+ dựa trên tương quan-hồi quy giữa giá trị AOT tính toán trên ảnh và số đo mặt đất từ trạm quan trắc để mô phỏng phân bố bụi PM₁₀ khu vực nội thành Tp. HCM; [14] phân tích tương quan giữa AOD từ ảnh vệ tinh MODIS và hàm lượng bụi PM_{2.5} từ mô hình GEOS-Chem (hàm lượng bụi PM_{2.5} được xác định bằng tổng SO₄, NIT (sulfur nitrate vô cơ), NH₄, OCP (Carbon hữu cơ), SOA (sol khí hữu cơ thứ cấp), SALA (sol khí chứa muối biển)) để giám sát thay đổi hàm lượng bụi PM_{2.5} ở miền Bắc Việt Nam. Nhìn chung, các nghiên cứu trên đã cho thấy viễn thám tỏ ra là một công cụ hiệu quả trong việc giám sát bụi PM_{2.5} theo phân bố không gian và thời gian, trong đó ảnh vệ tinh LANDSAT 8 là nguồn dữ liệu ảnh miễn phí mới và có độ phân giải không gian phù hợp.

Nhìn chung, các nghiên cứu đề cập ở trên cho thấy được thế mạnh của viễn thám trong đánh giá và thành lập bản đồ phân bố nồng độ bụi mịn. Riêng với khu vực Tp. HCM, vẫn chưa có nghiên cứu về ứng dụng viễn thám để tính toán nồng độ bụi PM_{2.5}, các nghiên cứu thực hiện chỉ tập trung vào bụi PM₁₀ [13]. Mục tiêu của nghiên cứu này là xác định mối tương quan giữa phản xạ khí quyển từ ảnh vệ tinh LANDSAT 8 và nồng độ bụi PM_{2.5} từ các trạm quan trắc, từ đó thiết lập bản đồ phân bố nồng độ bụi PM_{2.5} khu vực Tp. HCM vào một số thời kỳ. Kết quả nghiên cứu được mong chờ sẽ đánh giá được mức độ ô nhiễm ở khu vực nghiên cứu, phục vụ cho công tác quản lý và kiểm soát ô nhiễm không khí tại thành phố Hồ Chí Minh.

2. Khu vực nghiên cứu

Thành phố Hồ Chí Minh nằm trong vùng nhiệt đới gió mùa cận xích đạo với nhiệt độ cao đều trong năm và có hai mùa mưa-khô rõ rệt tác động làm chi phối môi trường cảnh quan sâu sắc. Khu vực nghiên cứu tập trung chủ yếu vào các quận/ huyện nội thành như **Error! Reference source not found.** Theo tài liệu quan trắc tại các quận/ huyện nội thành nhiều năm cho thấy lượng bức xạ dồi dào, trung bình khoảng 140 Kcal/cm²/năm. Số giờ nắng trung bình/tháng 160–270 giờ. Nhiệt độ không khí trung bình 27°C. Lượng mưa cao, bình quân 1949 mm/năm [15]. Về gió, Tp. HCM chịu ảnh hưởng bởi hai hướng gió chính và chủ yếu là gió mùa Tây-Tây Nam (từ tháng 6 đến tháng 10, tốc độ trung bình 3,6 m/s) và Bắc-Đông Bắc (từ tháng 11 đến tháng 2, tốc độ trung bình 2,4 m/s).

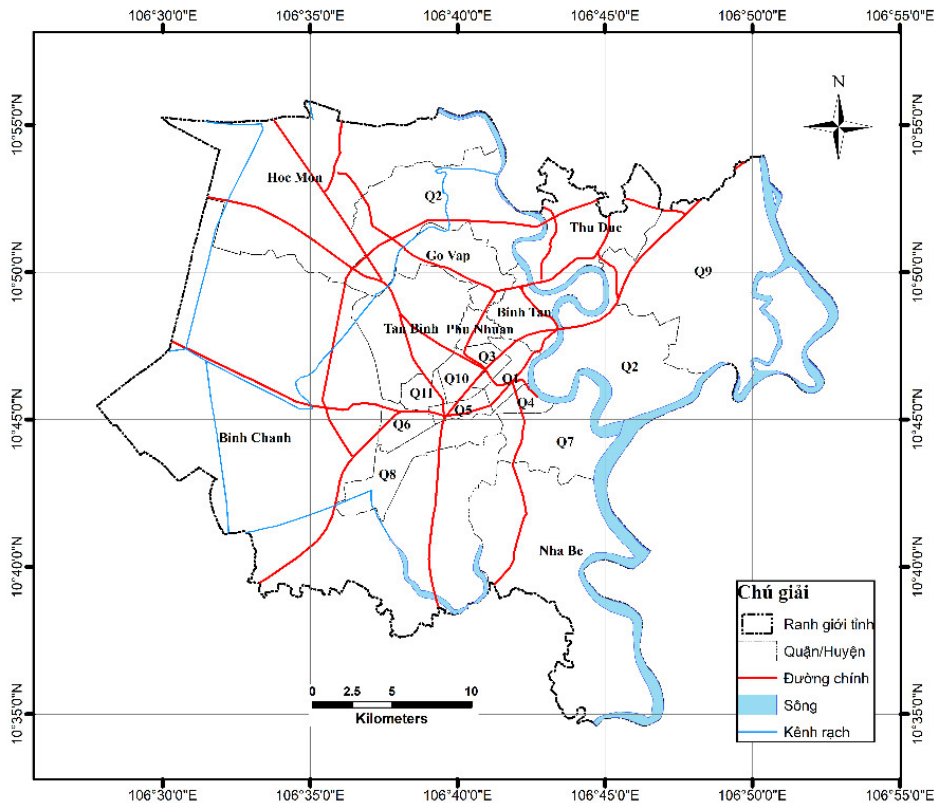
Đặc điểm giao thông đô thị của Tp. HCM chủ yếu tập trung vào đường bộ với tổng chiều dài đường bộ trong Thành phố là 3670 km và đây cũng là phương thức chủ đạo giải quyết nhu cầu giao thông vận tải đô thị. Theo thống kê của Sở Giao thông Vận tải Tp. HCM năm 2019, Tp. HCM đang quản lý khoảng 8,05 triệu phương tiện giao thông (gồm gần 755.500 ô tô và gần 7,3 triệu xe mô tô) và một số lượng rất lớn các phương tiện mang biển số các tỉnh hoạt động trên địa bàn [16]. Vào giờ cao điểm tại các trục đường chính đều có số phương tiện lưu thông rất lớn.

3. Dữ liệu và phương pháp nghiên cứu

3.1. Dữ liệu

Nghiên cứu sử dụng ảnh vệ tinh đa thời gian Landsat 8 OLI/TIRS được thu thập từ Cục Khảo sát Địa chất Hoa Kỳ (USGS) (www.glovis.usgs.gov) trong giai đoạn từ năm 2015 đến năm 2020 (Bảng 1) [17]. Tiêu chí lựa chọn ảnh là chọn các ảnh trong thời gian mùa khô và ảnh có chất lượng tốt (ảnh không bị sọc và không có lỗi cảm biến). Các ảnh chọn lựa có thời

gian chụp vào khoảng 9–10 giờ sáng. Ảnh vệ tinh sử dụng bộ cảm OLI/TIRS; vị trí cột/dòng là 125/52 với độ phân giải không gian 30m x 30m, hệ tọa độ UTM–48N.



Hình 1. Khu vực nghiên cứu–nội thành Tp. HCM.

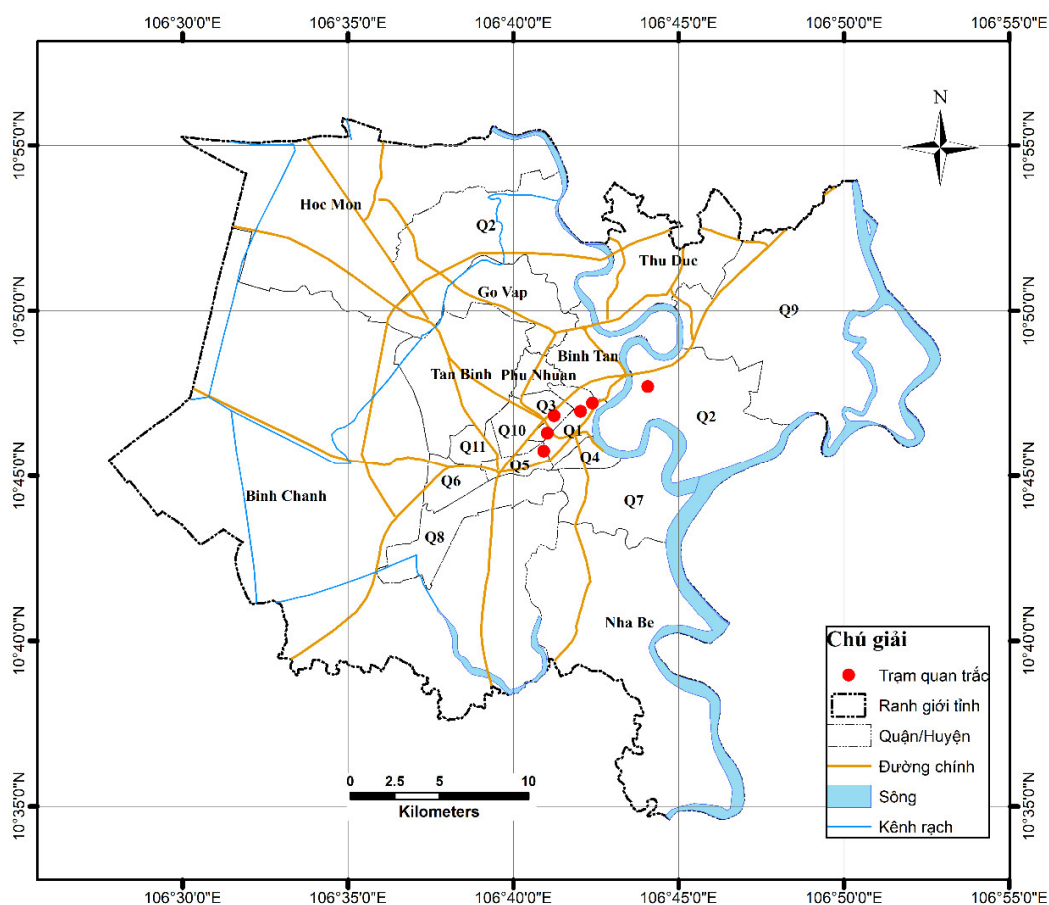
Bảng 1. Dữ liệu ảnh vệ tinh dùng trong nghiên cứu.

STT	Thời gian	STT	Thời gian
1	24/01/2015	10	18/03/2017
2	09/02/2015	11	12/10/2017
3	13/03/2015	12	31/12/2017
4	29/3/2015	13	31/10/2018
5	11/01/2016	14	02/12/2018
6	28/02/2016	15	19/01/2019
7	29/01/2017	16	07/02/2020
8	14/02/2017	17	23/02/2020
9	01/03/2017	18	26/03/2020

Bên cạnh đó, dữ liệu bụi PM_{2.5} quan trắc được thu thập từ các trạm quan trắc tự động tại Trường Đại học Khoa học Tự nhiên (ĐHQG–HCM) và tại Lãnh sự quán Hoa Kỳ. Ngoài ra, nghiên cứu sử dụng thêm một số điểm quan trắc tại Sở Khoa học Công nghệ, Cư xá Đô Thành, Thảo Cầm viên, và Thủ Thiêm giai đoạn 2017–2019. Mẫu bụi tại các điểm quan trắc này được thu trên bộ lọc thạch anh (được tiền xử lý) bằng cách sử dụng bộ lấy mẫu IMPACT, với tốc độ lấy mẫu $v = 10L/phút$. Mẫu khí sẽ đi qua 2 tấm lọc (37 mm và 47 mm): mẫu khí được hút qua impactor để phân tách kích thước hạt (2,5 μm), sau đó mẫu khí được đưa liên tục qua tấm lọc thứ 2 để thu lượng bụi mịn có kích thước $\leq 2,5 \mu m$. Thê tích khí được ghi lại bằng đồng hồ đo khí khô. Khối lượng PM_{2.5} được cân bằng cân vi lượng với độ nhạy 10⁻⁶g [18]. Dữ liệu quan trắc được trình bày trong Bảng 2. Vị trí các điểm quan trắc được thể hiện trong Hình 2.

Bảng 2. Dữ liệu bụi quan trắc dùng trong nghiên cứu [18].

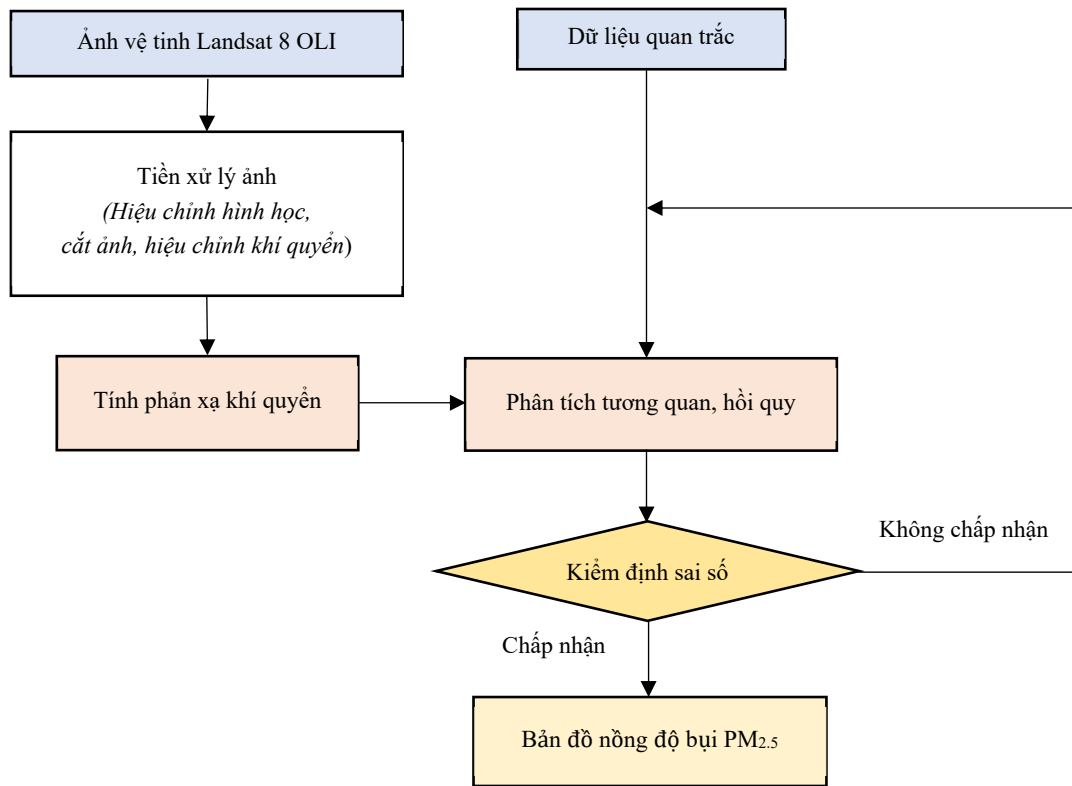
Ngày	Vị trí	Nồng độ bụi PM _{2.5} (µg/m ³) (TB ngày)
29/1/2017	Trường Khoa học Tự nhiên	51,630
29/1/2017	Lãnh sự quán Hoa Kỳ	46,650
01/3/2017	Trường Khoa học Tự nhiên	37,710
01/3/2017	Sở Khoa học công nghệ	39,170
01/3/2017	Cư xá Đô Thành	36,040
01/3/2017	Lãnh sự quán Hoa Kỳ	37,710
18/3/2017	Trường Khoa học Tự nhiên	38,650
12/10/2017	Thảo cầm viên	36,040
12/10/2017	Sở Khoa học công nghệ	35,970
12/10/2017	Lãnh sự quán Hoa Kỳ	33,475
31/12/2017	Thảo cầm viên	49,030
31/12/2017	Thủ Thiêm	43,760
31/10/2018	Trường Khoa học Tự nhiên	35,400
19/1/2019	Trường Khoa học Tự nhiên	44,943
19/1/2019	Lãnh sự quán Hoa Kỳ	39,150



Hình 2. Vị trí các điểm quan trắc bụi.

2.2.2. Phương pháp nghiên cứu

Quá trình nghiên cứu được thực hiện theo trình tự của sơ đồ mô tả trên Hình 2, bao gồm các bước sau:



Hình 3. Sơ đồ khối các bước thực hiện nghiên cứu.

– Hiệu chỉnh hình học và cắt ảnh

Trước quá trình phân tích, giải đoán, ảnh vệ tinh cần được nắn chỉnh hình học để hạn chế sai số vị trí và chênh lệch địa hình, sao cho hình ảnh gần với bản đồ địa hình ở phép chiếu trực giao nhất. Kết quả giải đoán phụ thuộc rất nhiều vào độ chính xác của ảnh. Khu vực nghiên cứu nằm trên một tấm ảnh có cột/hàng là 125/052, sau khi tải tiến hành nắn chỉnh hình học và cắt theo ranh giới khu vực nghiên cứu.

– Hiệu chỉnh khí quyển

Để loại bỏ những ảnh hưởng của khí quyển đến chất lượng ảnh cần chuyển đổi giá trị số của ảnh sang giá trị bức xạ tại đầu thu (tại đỉnh của khí quyển), sau đó chuyển bức xạ đầu thu về bức xạ mặt đất và hiệu chỉnh khí quyển. Chuyển đổi giá trị số sang giá trị bức xạ phổ tại đỉnh khí quyển theo công thức được cung cấp bởi USGS [17]:

$$L_{\lambda} = M_L \cdot Q_{cal} + A_L$$

Trong đó L_{λ} giá trị bức xạ phổ; M_L , A_L tương ứng với hệ số chuyển đổi, được cung cấp trong tệp metadata; Q_{cal} là giá trị số của kênh ảnh.

Chuyển đổi giá trị số sang giá trị phản xạ phổ tại đỉnh khí quyển theo công thức được cung cấp bởi USGS:

$$\rho_{\lambda} = \frac{MP \cdot Q_{cal} + AP}{\cos \theta_{SZ}} \quad (1)$$

Trong đó ρ_{λ} là giá trị phản xạ phổ tại đỉnh khí quyển; M_P , A_P là các hệ số thay đổi tỷ lệ phản xạ của kênh ảnh được cung cấp từ tệp metadata; θ_{SZ} là góc thiên đỉnh cực bộ ($\theta_{SZ} = 90^{\circ} - \theta_{SE}$); θ_{SE} là góc tới mặt trời.

Giá trị phản xạ tại bề mặt đất cần được hiệu chỉnh để loại trừ đi các yếu tố sai số do các aerosol gây ra bởi quá trình tán xạ, hấp thụ. Phản xạ mặt đất (ρ) được tính theo công thức sau:

$$\rho = \frac{\pi \times (L_\lambda - L_P) \times d^2}{T_V \times [(ESUN_\lambda \times \cos\theta_{SZ} \times T_Z) + E_{down}]} \quad (2)$$

Trong đó L_P là bức xạ đường truyền; T_V là hàm truyền bức xạ qua khí quyển từ bề mặt trái đất về đầu thu; T là hàm truyền bức xạ qua khí quyển từ mặt trời về bề mặt Trái Đất; E_{down} là bức xạ phổ đi tới mặt phẳng địa hình của đối tượng; $ESUN_\lambda$ là bức xạ phổ mặt trời ở mặt phẳng địa hình vuông góc với tia sáng mặt trời; d là khoảng cách từ trái đất đến mặt trời.

Để hiệu chỉnh khí quyển, nghiên cứu này sử dụng phương pháp trừ đối tượng tối (*DOS-Dark Object Subtraction*) [19]. Đối với ảnh Landsat 8:

$$L_P = L_{min} - 0,01 \times \frac{T_V \times [(ESUN_\lambda \times \cos\theta_{SZ} \times T_Z) + E_{down}]}{\pi \times d^2} \quad (3)$$

Trong đó L_{min} là giá trị bức xạ phổ bé nhất của kênh ảnh (lấy từ tệp metadata).

Với phương pháp DOS phụ thuộc vào việc xác định các thông số T_V , T_Z và E_{down} mà chia ra các phương pháp khác nhau, có độ chính xác khác nhau. Nghiên cứu này sử dụng phương pháp DOS1, trong đó các thông số: $T_V = 1$; $T_Z = 1$; $E_{down} = 0$ [19]. Như vậy, bức xạ đường truyền được tính theo công thức:

$$L_P = L_{min} - 0,01 \times \frac{ESUN_\lambda \times \cos\theta_{SZ}}{\pi \times d^2} \quad (4)$$

Từ đó, phản xạ mặt đất được tính theo công thức sau:

$$\rho = \frac{\pi \times (L_\lambda - L_P) \times d^2}{ESUN_\lambda \times \cos\theta_{SZ}} \quad (5)$$

– *Tính toán giá trị phản xạ khí quyển:*

Giá trị phản xạ đỉnh khí quyển bằng tổng bức xạ mặt đất và phản xạ khí quyển, do đó giá trị phản xạ khí quyển được tính theo công thức [12]:

$$R_{atm} = R_s - R_r \quad (6)$$

Trong đó R_{atm} là phản xạ khí quyển; R_s là phản xạ ghi nhận bởi vệ tinh; R_r là phản xạ từ bề mặt.

– *Phân tích hồi quy-tương quan:*

Nghiên cứu tìm mối tương quan giữa giá trị phản xạ khí quyển và nồng độ bụi $PM_{2.5}$ trong không khí dựa trên hệ số tương quan Pearson và ước lượng nồng độ bụi theo phương trình hồi quy [16]:

$$PM_{2.5} = a_0 + a_1 R_1 + a_2 R_2 + a_3 R_3 + \dots \quad (7)$$

Trong đó R_i là phản xạ khí quyển tương ứng với kênh ảnh khác nhau; a_i là hệ số xác định từ thực nghiệm.

– *Tính toán sai số:*

Sai số được tính toán giữa giá trị bụi ước tính từ phương trình và giá trị bụi thực đo:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum (P \text{ ước tính} - P \text{ thực đo})^2}{N}} \quad (8)$$

Trong đó P ước tính là giá trị bụi ước tính từ phương trình; P thực đo là giá trị bụi quan trắc; N là số mẫu.

Hệ số hiệu quả mô hình Nash-Sutcliffe Efficiency:

$$NSE = 1 - \left(\frac{\sum_{i=1}^n (P \text{ thực đo} - P \text{ ước tính})^2}{\sum_{i=1}^n (P \text{ thực đo} - P \text{ trung bình})^2} \right) \quad (9)$$

Ngoài ra, nghiên cứu cũng xem xét: mức xác suất ý nghĩa (Sig.F), giá trị này phải nhỏ hơn 0,05 thì mô hình có ý nghĩa; R^2 hiệu chỉnh; sai số chuẩn ước lượng.

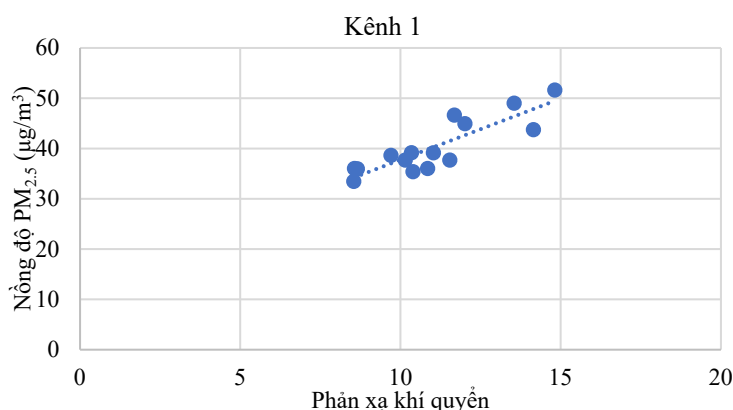
3. Kết quả và thảo luận

3.1. Mối tương quan giữa bụi PM_{2.5} và hệ số phản xạ khí quyển

Tán xạ khí quyển khi năng lượng Mặt Trời đi qua diễn ra trong dải phổ nhìn thấy đến cận hồng ngoại [13], do đó các kênh ảnh 1, 2, 3, 4 và 5 trong dải phổ này sẽ được sử dụng để tìm ra mối quan hệ với các hạt bụi lơ lửng. Trước khi tiến hành xây dựng phương trình hồi quy, nghiên cứu kiểm tra sự tương quan giữa hệ số phản xạ khí quyển của từng kênh ảnh với nồng độ bụi PM_{2.5} quan trắc. Hệ số tương quan Pearson giữa hệ số phản xạ khí quyển và nồng độ bụi tại mặt đất được thể hiện trong Bảng 3.

Bảng 3. Hệ số tương quan Pearson giữa hệ số phản xạ khí quyển và nồng độ bụi.

Kênh	Kênh 1	Kênh 2	Kênh 3	Kênh 4	Kênh 5
Nồng độ bụi	0,865	0,863	0,856	0,815	0,661



Hình 4. Đồ thị tương quan giữa nồng độ bụi PM_{2.5} và giá trị phản xạ khí quyển kênh 1.

Như vậy, hệ số phản xạ khí quyển của các kênh và nồng độ bụi quan trắc có sự tương quan khá tốt với nhau. Dựa vào mối quan hệ giữa nồng độ bụi với hệ số phản xạ khí quyển của các kênh ảnh 1–5, kết quả phương trình hồi quy và giá trị hệ số xác định bội R² và sai số RMSE được trình bày trên Bảng 3. Kết quả cho thấy các phương trình đều có giá trị sai số RMSE nằm trong khoảng cho phép và mức ý nghĩa xác suất phù hợp.

Bảng 4. Kết quả hồi quy giữa hệ số phản xạ khí quyển và nồng độ bụi tại mặt đất.

STT		Kênh 1	Kênh 2	Kênh 3	Kênh 4	Kênh 5	NSE	RMSE (µg/m ³)
1	PM _{2.5} =	13,436	+ 2,4329R ₁				0,7478	2,6655
2	PM _{2.5} =	15,640	+ 2,3295R ₂				0,7451	2,6801
3	PM _{2.5} =	15,940		+ 2,6762R ₃			0,7319	2,7484
4	PM _{2.5} =	17,439			+ 3,0987R ₄		0,6641	3,0766
5	PM _{2.5} =	16,365				+ 4,1141R ₅	0,4373	3,9819
6	PM _{2.5} =	13,2664	+ 2,6277R ₁	- 0,1871R ₂			0,7479	2,6655
7	PM _{2.5} =	13,3276	+ 2,5648R ₁		- 0,1480R ₃		0,7479	2,6653
8	PM _{2.5} =	11,7159	+ 4,4579R ₁		- 2,7971R ₄		0,7709	2,5410
9	PM _{2.5} =	11,7696	+ 2,2091R ₁			+ 0,7105R ₅	0,7546	2,6298
10	PM _{2.5} =	15,6570	+ 3,0258R ₂	- 0,8116R ₃			0,7458	2,6762
11	PM _{2.5} =	15,5774	+ 5,2458R ₂		- 4,1752R ₄		0,7830	2,4725
12	PM _{2.5} =	12,9128	+ 2,0466R ₂			+ 0,9824R ₅	0,7590	2,6058

STT		Kênh 1	Kênh 2	Kênh 3	Kênh 4	Kênh 5	NSE	RMSE ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	
13	$\text{PM}_{2.5} =$	15,7403		+ 7,5471R ₃	- 5,9820R ₄		0,7821	2,4778	
14	$\text{PM}_{2.5} =$	12,4026		+ 2,2865R ₃		+ 1,2163R ₅	0,7546	2,6294	
15	$\text{PM}_{2.5} =$	12,1114			+ 2,4811R ₄	+ 1,6969R ₅	0,7121	2,8482	
16	$\text{PM}_{2.5} =$	13,3839	+ 2,5016R ₁	+ 0,0859R ₂	- 0,1775R ₃		0,7479	2,6653	
17	$\text{PM}_{2.5} =$	16,9756	-1,5522R ₁	+ 6,9210R ₂		- 4,4454R ₄	0,7838	2,4679	
18	$\text{PM}_{2.5} =$	16,0894	- 5,9924R ₁	+ 7,5537R ₂			+ 1,7881R ₅	0,7641	2,5781
19	$\text{PM}_{2.5} =$	13,5310	+ 2,1777R ₁		+ 4,9418R ₃	- 5,7274R ₄	0,7935	2,4120	
20	$\text{PM}_{2.5} =$	12,0640	+ 1,1003R ₁		+ 1,1611R ₃		+ 0,9474R ₅	0,7565	2,6196
21	$\text{PM}_{2.5} =$	11,8524	+ 4,5626R ₁			- 2,9041R ₄	- 0,0863R ₅	0,7709	2,5406
22	$\text{PM}_{2.5} =$	15,4658		+ 2,9520R ₂	+ 4,1121R ₃	- 5 9423R ₄		0,7953	2,4015
23	$\text{PM}_{2.5} =$	12,8563		+ 1,8442R ₂	+ 0,2297R ₃		+ 1,0010R ₅	0,7591	2,6055
24	$\text{PM}_{2.5} =$	14,6351		+ 4,8799R ₂		- 3,7922R ₄	+ 0,3415R ₅	0,7844	2,4648
25	$\text{PM}_{2.5} =$	13,7063			+ 6,7071R ₃	- 5,2290R ₄	+ 0,7081R ₅	0,7890	2,4383
26	$\text{PM}_{2.5} =$	15,5114	- 0,0503R ₁	+ 3,0111R ₂	+ 4,1035R ₃	- 5,9474R ₄		0,7953	2,4014
27	$\text{PM}_{2.5} =$	16,5098	- 6,5163R ₁	+ 8,5456R ₂	- 0,5791R ₃		+ 1,8115R ₅	0,7644	2,5764
28	$\text{PM}_{2.5} =$	18,6659	- 7,4214R ₁	+ 11,8592R ₂		- 4,0050R ₄	+ 1,3034R ₅	0,7921	2,4202
29	$\text{PM}_{2.5} =$	13,2150	+ 1,8338R ₁		+ 5,0786R ₃	- 5,5214R ₄	+ 0,2314R ₅	0,7940	2,4094
30	$\text{PM}_{2.5} =$	14,3986		+ 2,5013R ₂	+ 4,1785R ₃	- 5,5378R ₄	+ 0,3861R ₅	0,7971	2,3912
31	$\text{PM}_{2.5} =$	17,0283	- 4,7685R ₁	+ 7,3865R ₂	+ 3,4744R ₃	- 5,3804R ₄	+ 0,9966R ₅	0,7999	2,3745

Trong đó phương trình số 31 cho kết quả hệ số hiệu quả mô hình $\text{NSE} = 0,7999$ (lớn hơn 0,75) lớn nhất, cho thấy hiệu quả mô hình tốt. Nghiên cứu cũng xem xét các thông số của mô hình phương trình (31) trong Bảng 5.

Bảng 5. Bảng thống kê hồi quy.

R	R ²	R ² hiệu chỉnh	Sai số chuẩn
0,894376262	0,799908898	0,688747174	3,065422667

Độ biến động của mô hình phương trình (31) được thể hiện trong Bảng 6.

Bảng 6. Bảng ANOVA.

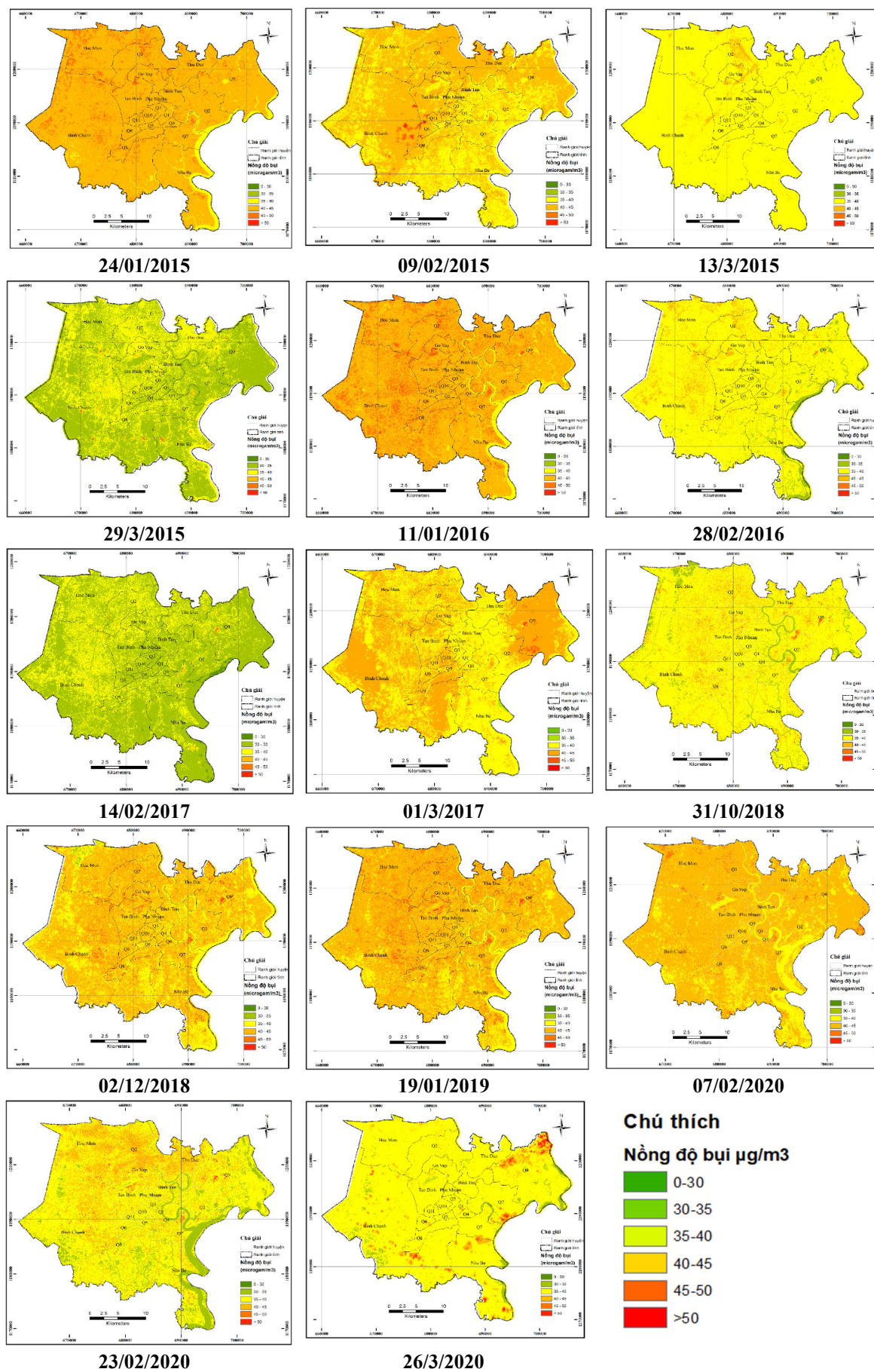
	df	SS	MS	F	Significance F
Hồi quy	5	338,0928526	67,61857	7,1959023	0,005676898
Dư	9	84,57134517	9,396816		
Tổng	14	422,6641977			

Trên cơ sở đó, phương trình (31) được sử dụng để thành lập bản đồ phân bố bụi $\text{PM}_{2.5}$ cho khu vực nội thành của Tp. HCM. Phương trình này được viết như sau:

$$\text{PM}_{2.5} = 17,0283 - 4,7685R_1 + 7,3865R_2 + 3,4744R_3 - 5,3804R_4 + 0,9966R_5$$

3.2. Đánh giá nồng độ bụi $\text{PM}_{2.5}$ khu vực nghiên cứu tại một số thời điểm giai đoạn 2015–2020

Nồng độ bụi $\text{PM}_{2.5}$ trên khu vực nội thành TP. HCM tại một số thời điểm giai đoạn 2015–2020 được thể hiện trên Hình 3.



Hình 5. Bản đồ phân bố nồng độ PM_{2.5} tại một số thời điểm giai đoạn 2015–2020.

Qua các thời điểm khác nhau, kết quả cho thấy bụi PM_{2.5} không phân bố điểm mà phân bố theo diện rộng. Đồng thời, kết quả bụi được ghi nhận trong khoảng thời gian từ 9 đến 10 giờ sáng và nồng độ bụi trung bình nằm ở mức cao (phần lớn tại các thời điểm ghi nhận, nồng độ bụi đều trên 30 µg/m³). Thành phố Hồ Chí Minh hiện có trên 8 triệu phương tiện giao thông (2019) với mật độ lớn, là một nguồn tạo ra lượng lớn bụi PM_{2.5}. Đồng thời, do khối lượng rất nhỏ nên bụi chịu ảnh hưởng bởi gió, do đó nó phân bố ở diện rộng trên toàn khu vực. Điều này cũng được thể hiện trong nghiên cứu [21] cho địa bàn thành phố Hồ Chí Minh, được giải thích do hoạt động giao thông trên các tuyến đường chính, đặc biệt vào giờ cao điểm và mật độ các cơ sở hạ tầng lớn. [22] nghiên cứu tại thành phố Hà Nội cũng cho kết quả cao trong khoảng từ 6 đến 10 giờ với sự đóng góp từ nguồn cục bộ.

Bản đồ phân bố bụi vào ngày 31/10/2018 cho thấy lượng bụi vào thời điểm này nằm ở mức thấp, có thể giải thích do vừa kết thúc mùa mưa nên một phần lớn bụi theo nước mưa lắng đọng xuống bề mặt đất, hàm lượng bụi tập trung ở mức 38 µg/m³. Các thời điểm ghi nhận được vào tháng 1 ở các năm đều cho thấy nồng độ bụi ở mức cao: kết quả ngày 24/01/2015, nồng độ bụi PM_{2.5} cao trên toàn khu vực nghiên cứu, từ trên 40 µg/m³ lên đến gần 50 µg/m³, trong đó phổ biến nhất nằm trong khoảng 42–43 µg/m³. Điều này được thể hiện tương tự trong kết quả ngày 11/01/2016 và ngày 19/01/2019. Trong khi đó, một số thời điểm ghi nhận vào cuối tháng 3, nồng độ bụi PM_{2.5} nằm ở mức thấp hơn: ngày 29/03/2015 (nồng độ bụi nằm dưới mức 30 µg/m³) và 26/03/2020 (nồng độ bụi vào khoảng 35 µg/m³).

Tại các thời điểm ghi nhận được, nồng độ bụi có sự phân bố khác nhau giữa các khu vực trên địa bàn thành phố. Các khu vực thường xuyên ghi nhận kết quả nồng độ bụi cao hơn các khu vực khác bao gồm: khu vực Bình Chánh, Hóc Môn, khu vực giáp Củ Chi (phía Bắc), còn khu vực phía Nam–giáp với Cần Giờ, có nồng độ thấp hơn.

4. Kết luận

Nghiên cứu đã thực hiện xây dựng bản đồ phân bố bụi PM_{2.5} trên địa bàn Tp. HCM tại một số thời điểm từ năm 2015–2020. Kết quả cho thấy, hệ số phản xạ khí quyển từ ảnh vệ tinh tương quan tốt với giá trị bụi đo từ quá trình quan trắc, có 4 trong số 5 cặp biến có hệ số tương quan trên 0.8. Trên cơ sở đó, nghiên cứu đã xây dựng phương trình hồi quy để ước tính lượng bụi với phương trình tốt nhất là phương trình 5 biến với hệ số R² = 0,7999 và giá trị sai số RMSE = 2,3745 µg/m³. Từ dữ liệu không gian, nghiên cứu đã chỉ ra bụi PM_{2.5} phân bố theo diện rộng, trong đó nồng độ bụi ghi nhận được tại các thời điểm phần lớn đều nằm ở mức cao, đặc biệt tại các thời điểm rơi vào tháng 1. Khu vực phía Bắc và Tây Bắc thường xuyên ghi nhận được ô nhiễm bụi PM_{2.5} cao, trong khi khu vực phía Nam và Đông Nam ít ô nhiễm hơn.

Các từ viết tắt

AOD	Aerosol Optical Depth (Độ dày quang học sol khí)
AOT	Aerosol Optical Thickness (Độ dày quang học sol khí)
DOS	Dark Object Subtraction (Trừ đối tượng tối)
PM	Particular matter
STT	Số thứ tự
Tp. HCM	Thành phố Hồ Chí Minh

Đóng góp của tác giả: T.Q.T., N.P.H., Đ.N.K. đóng góp trong việc thiết kế nghiên cứu và viết bản thảo. T.Q.T. đóng góp trong việc thu thập dữ liệu, tính toán và phân tích kết quả.

Lời cảm ơn: Nghiên cứu được tài trợ bởi Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, ĐHQG–HCM thông qua đề tài có mã số T2019–31. Bên cạnh đó, nhóm tác giả gửi lời cảm ơn đến nhóm nghiên cứu của PGS.TS. Tô Thị Hiền công tác tại Trường ĐH KHTN, ĐHQG–HCM đã cung cấp số liệu bụi PM_{2.5} thực đo để thực hiện nghiên cứu này.

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

Tài liệu tham khảo

1. Salahuddin, M.M.; Ash'aari, Z.H. Application of Remote Sensing Instruments in Air Quality Monitoring in Malaysia. *Pertanika J. Scholarly Res. Rev.* **2017**, *3*, 93–112.
2. Li, Z.; Zhang, Y.; Shao, J.; Li, B.; Hong, J.; Liu, D.; Li, D.; Wei, P.; Li, W.; Li, L.; Zhang, F.; Guo, J.; Deng, Q.; Wang, B.; Cui, C.; Zhang, W.; Wang, Z.; Lv, Y.; Xu, H.; Chen, X.; Li, L.; Qie, L. Remote sensing of atmospheric particulate mass of dry PM_{2.5} near the ground: Method validation using ground-based measurements. *Remote Sens. Environ.* **2016**, *173*, 59–68.
3. Sreekanth, V.; Mahesh, B.; Niranjan, K. Satellite remote sensing of fine particulate air pollutants over Indian mega cities. *Adv. Space Res.* **2017**, *60*, 2268–2276.
4. Trang thông tin điện tử Cục bảo vệ Môi sinh Hoa Kỳ. (<https://www.epa.gov/pm-pollution/particulate-matter-pm-basics>)
5. Pope, III C.A.; Burnett, R.T.; Thun, M.J.; et al. Lung cancer, cardiopulmonary mortality, and long-term exposure to fine particulate air pollution. *J. Am. Med. Assoc.* **2002**, *287*, 1132–1141.
6. Pope III, C.A.; Dockery, D.W. Health effects of fine particulate air pollution: lines that connect. *J. Air Waste Manage. Assoc.* **2006**, *56*, 709–742.
7. Cổng thông tin điện tử Văn phòng Ủy ban nhân dân thành phố: <https://vpub.hochiminhcity.gov.vn/portal/KenhTin/Gioi-thieu-ve-thanh-pho.aspx>
8. Trang thông tin điện tử Diễn đàn hợp tác đầu tư (<http://diendanhoctacdautu.com/>)
9. Nguyen, T.T.N.; Bui, H.Q.; Pham, H.V.; Luu, H.V.; Man, C.D.; Pham, H.N.; Le, H.T.; Nguyen, T.T. Particular matter concentration mapping from MODIS satellite data: a Vietnamese case study. *Environ. Res. Lett.* **2015**, *10*, 095016.
10. Changqing, L.; Ying, L.; Zibing, Y.; Alexis, K.H.L.; Chengcai, L.; Jimmy, C.H.F. Using satellite remote sensing data to estimate the high-resolution distribution of ground-level PM_{2.5}. *Remote Sens. Environ.* **2015**, *156*, 117–128.
11. Siwei, L.; Everette, J.; Qilong, M.; Bangsheng, Y.; Ricardo, S.; Megan, K.P. Remote sensing of PM_{2.5} during cloudy and nighttime periods using ceilometer backscatter. *Atmos. Meas. Tech.* **2017**, *10*, 2093–2104.
12. Somvanshi, S.S.; Vashisht, A.; Chandra, U.; Kaushik, G. Delhi Air Pollution Modeling Using Remote Sensing Technique. *Handbook of Environmental Materials Management* **2019**, 1–27.
13. Vân, T.T.; Khánh, N.P.; Bảo, H.D.X. Viễn thám độ dày quang học mô phỏng phân bố bụi PM₁₀ khu vực nội thành thành phố Hồ Chí Minh. *Tap chí Khoa học ĐHQGHN: Các Khoa học Trái đất và Môi trường* **2014**, *30*, 52–62.
14. Hùng, T.Đ.; Phong, D.H.; Tùng, H.T.; Anh, N.N.; Hà, L.P.; Hằng, N.T.M.; Phụng, N.N.K.; Đông, N.H. Ứng dụng công nghệ GIS và vệ tinh giám sát thay đổi hàm lượng bụi PM_{2.5} ở miền Bắc Việt Nam (2000–2005–2010). Hội thảo Khoa học Quốc gia về khí tượng, Thủy văn, Môi trường và biến đổi khí hậu **2017**, 476–482.
15. Cổng thông tin điện tử Chính phủ thành phố Hồ Chí Minh (ngày 09/11/2011): <http://tphcm.chinhphu.vn/dieu-kien-tu-nhien>
16. Trang Sài Gòn giải phóng điện tử (ngày 09/11/2020): <https://www.sggp.org.vn/luong-phuong-tien-giao-thong-giam-60-trong-thoi-gian-cach-ly-xa-hoi-656021.html>
17. Trang web Cục khảo sát Địa chất Hoa Kỳ (2015–2020): <https://www.usgs.gov/core-science-systems/nli/landsat/using-usgs-landsat-level-1-data-product>

18. Hien, T.T.; Chi, N.D.T.; Nguyen, N.T.; Vinh, L.X.; Takenaka, N.; Huy, D.H. Current Status of Fine Particulate Matter (PM_{2.5}) in Vietnam's Most Populous City, Ho Chi Minh City. *Aerosol Air Qual. Res.* **2019**, *19*, 2239–2251.
19. Chavez, P.S. Image-based atmospheric corrections–revisited and improved. *Photogramm. Eng. Remote Sens.* **1996**, *62*, 1025–1035.
20. Nadzri, O.; Mohd, Z.M.J.; Lim, H.S. Estimating Particulate Matter Concentration over Arid Region Using Satellite Remote Sensing: A Case Study in Makkah, Saudi Arabia. *Mod. Appl. Sci.* **2010**, *4*, 131–142.
21. Vân, T.T.; Bảo, V.Q. Satellite data supporting to monitor air quality from PM_{2.5} indicator. Kỷ yếu Hội nghị: Nghiên cứu cơ bản trong “Khoa học Trái đất và Môi trường”, **2019**, 567–570.
22. Hai, C.D.; Oanh, N.T.K. Effects of local, regional meteorology and emission sources on mass and compositions of particulate matter in Hanoi. *Atmos. Environ.* **2013**, *78*, 105–112.
23. Huy, D.H.; Chí, N.Đ.T.; Phú, N.L.S.; Hiền, T.T. Bụi PM_{2.5} ở Thành phố Hồ Chí Minh: Phân tích hiện trạng và quy luật biến đổi theo thời gian dựa trên số liệu đo liên tục 2013–2017. *Tap chí phát triển Khoa học & Công nghệ: Khoa học tự nhiên* **2018**, *2*, 130–137.

Evaluating the distribution of PM_{2.5} in Ho Chi Minh City using remote sensing technology—some initial results

Tran Quang Tra¹, Nguyen Phuc Hieu², Dao Nguyen Khoi^{1,*}

¹ Faculty of Environment, University of Science, VNU–HCM; tqtra@hcmus.edu.vn; dnkhoi@hcmus.edu.vn

² ERM Company, Ho Chi Minh City; phuchieu50@gmail.com

Abstract: Recently, air pollution from fine particulate matter (PM_{2.5}) becomes one of the biggest environmental problems in urban areas of developing countries, including Vietnam. Ho Chi Minh City, the economic center of Vietnam accounting for 23% of the country's GDP (2019), has suffered from poor air quality due to recent growth in the industrial sector and vehicle emissions. The objective of this study was to assess the spatial distribution of PM_{2.5} concentration in Ho Chi Minh City in the period 2015–2020 using LANDSAT 8 OLI/TIRS data. In this study, atmosphere reflection value derived from satellite images and in-situ measured PM_{2.5} data were used to set a regression and correlation models to compute the PM_{2.5} concentration for the study area. The models showed a good performance in calculating PM_{2.5} concentration with $R^2 > 0.79$ and $RMSE = 2.3745 \mu\text{g}/\text{m}^3$. On this basis, the spatial distribution of PM_{2.5} concentration was established to evaluate its distribution characteristic and identify the areas with high air pollution. The results will provide useful information for policymakers in local air quality management.

Keywords: PM_{2.5}; Air pollution; Landsat 8; Ho Chi Minh City; Remote sensing.

Table of content

- 1** Ha, B.M.; Thuy, N.B.; Chien, D.D. Some first results of using an ensemble approach for the wave prediction in Vietnam *VN J. Hydrometeorol.* **2021**, *721*, 1–10.
- 11** Thao, N.T.P.; Vinh, P. Q.; Ha, N.T.T.;Linh, N.T. Monitoring the eutrophication level of Lake Hoan Kiem based on the estimated Chlorophyll-a concentration from Sentinel-2A imagery.*VN J. Hydrometeorol.* **2021**, *721*, 11–20.
- 21** Phong, N.B.; Nhuan, M.T. Assessing the relationship of climate change adaptative capacity indicators to adaptative capacity for near-poor households in Danang City. *VN J. Hydrometeorol.* **2021**, *721*, 21–30.
- 31** Loi, D.T.; Lan, D.P. Application of Multi Criteria Decision Model to assess flash flood risk in the context of global climate change. A case study: Northwest mountainous region-Vietnam. *VN J. Hydrometeorol.* **2021**, *721*, 31–45.
- 46** Chien, P.V.; Linh, D.T.P.; Long, N.T.; Tuan, N.M.; Khanh, N.V. Xiaoman flood forecasting based on weather system caused flood in mid-central region. *VN J. Hydrometeorol.* **2021**, *721*, 46–53.
- 54** Huy D.N.; Trinh, N.Q. Preliminary assessment of tidal energy potential in the Can Gio coastal area, Ho Chi Minh city. *VN J. Hydrometeorol.* **2021**, *721*, 54–65.
- 66** Thanh, N.T. Analysis and evaluation of erosion and deposition processes in Ca Mau by remote sensing and GIS. *VN J. Hydrometeorol.* **2021**, *721*, 66–79.
- 80** Tra, T.Q.; Hieu, N.P.; Khoi, D.N. Evaluating the distribution of PM_{2.5} in Ho Chi Minh City using remote sensing technology-some initial results. *VN J. Hydrometeorol.* **2021**, *721*, 80–91.