

TẠP CHÍ

KHÍ TƯỢNG THỦY VĂN

Vietnam Journal of Hydro - Meteorology

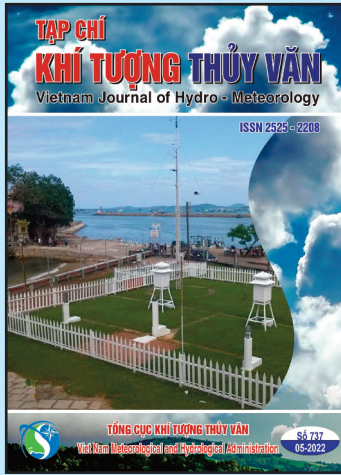
ISSN 2525 - 2208



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

Số 734

02-2022



Q. TÔNG BIÊN TẬP

TS. Đoàn Quang Trí

Trị sự và Phát hành

Đặng Quốc Khánh

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

Giấy phép xuất bản

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

Tòa soạn

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

Chế bản và In tại:

Công ty TNHH sản xuất và in bao bì Thiên Hà
ĐT: 0243.562.4399

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

Giá bán: 25.000 đồng

TẠP CHÍ KHÍ TƯỢNG THỦY VĂN

SỐ 737 - 5/2022

MỤC LỤC

Bài báo khoa học

- 1** **Đoàn Mạnh Duy, Nguyễn Minh Trường:** Dự báo lại đợt dông gây mưa đá ngày 24–25/01/2020 trên khu vực Đông Bắc Bộ bằng mô hình số
- 15** **Nguyễn Tiến Thành:** Phân tích và đánh giá diễn biến xói lở và bồi tụ ở khu vực tỉnh Quảng Nam bằng ảnh viễn thám và GIS
- 26** **Đào Anh Công, Nguyễn Văn Lượng, Lê Hữu Huấn, Phan Thị Như Xuyên, Ngô Sỹ Giai:** Tính toán và phân tích chỉ số bốc thoát hơi tiềm năng và chỉ số thỏa mãn nhu cầu nước của lúa và một số cây màu tại huyện Tĩnh Gia và Quan Hóa, tỉnh Thanh Hóa trong thời kỳ 1991–2020
- 40** **Nguyễn Thị Diễm Thúy, Đào Nguyên Khôi, Bùi Phi Phụng, Nguyễn Thị Bẩy:** Đánh giá ảnh hưởng của hoạt động nạo vét đến quá trình bồi lắng – xói lở tại khu vực sông Gò Gia, huyện Cần Giờ
- 53** **Ngô Huy Kiên, Phùng Ngọc Trường, Phạm Văn Toàn, Ngô Trần Quốc Khánh, Ngô Đức Thuận, Lê Anh Tú, Vi Trần Thùy:** Đa dạng sinh học và ảnh hưởng của Biến đổi khí hậu đến một số hệ sinh thái tại Công viên Địa chất Non nước Cao Bằng
- 63** **Nguyễn Thị Kim Phụng, Nguyễn Thị Trang Thanh:** Phát triển nông nghiệp công nghệ cao ở tỉnh Bình Phước
- 75** **Nguyễn Phương Anh, Nguyễn Bá Thủy, Phạm Khánh Ngọc, Sooyoul Kim:** Đánh giá bão trên Biển Đông và nước dâng do bão tại ven biển Bắc Bộ trong bối cảnh biến đổi khí hậu
- 88** **Nguyễn Thị Diễm Thúy, Nguyễn Thị Bẩy, Đào Nguyên Khôi:** Phân tích diễn biến hình thái đáy sông Gò Gia – huyện Cần Giờ dưới ảnh hưởng của nước biển dâng

Bài báo khoa học

Dự báo lại đợt dông gây mưa đá ngày 24–25/01/2020 trên khu vực Đông Bắc Bộ bằng mô hình số

Đoàn Mạnh Duy¹, Nguyễn Minh Trường^{1*}

¹ Khoa Khí tượng Thủy văn và Hải dương học, Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, Đại học Quốc gia Hà Nội; duydm99@gmail.com; truongnm@vnu.edu.vn

*Tác giả liên hệ: truongnm@vnu.edu.vn; Tel: +84–912075253

Ban Biên tập nhận bài: 2/3/2022; Ngày phản biện xong: 1/4/2022; Ngày đăng bài: 25/5/2022

Tóm tắt: Trong nghiên cứu này, mô hình WRF–ARW được sử dụng để dự báo lại đợt dông gây mưa đá dữ dội trên khu vực Đông Bắc Bộ từ ngày 24–25/01/2020. Kết quả cho thấy mô hình đã dự báo được hình thái qui mô lớn thuận lợi cho sự phát triển dông, đó là hội tụ mực thấp trong rãnh bị nén, front lạnh cùng với rãnh gió tây trên cao và dòng xiết. Hội tụ thông lượng ẩm từ phương nam là nguồn cung cấp năng lượng cho hoạt động của dông. Các chỉ số dông, bao gồm độ xoáy dòng thẳng (UH) và tổng lượng graupel trong cột khí quyển (CTG), cho thấy mô hình đã dự báo tốt thời điểm hình thành, vị trí và hướng di chuyển của các ổ dông. Về mặt độ lớn, chỉ số UH vượt ngưỡng nhưng chỉ số CTG không đạt ngưỡng dự báo dông gây mưa đá cường độ mạnh (tương ứng kích thước hạt đá trung bình trên 25 mm). Phân bố thẳng đứng của graupel gợi ý rằng các chỉ số dùng cho mô hình số dự báo dông gây mưa đá, được xác định cho vùng ngoại nhiệt đới vào mùa hè, có thể cần phải được điều chỉnh cho phù hợp với khu vực Việt Nam.

Từ khóa: Mưa đá; Chỉ số dông; Mô hình WRF–ARW.

1. Mở đầu

Mưa đá là giáng thủy dạng rắn, đường kính hạt từ 5 mm trở lên, thường đi kèm với dông lốc, xảy ra trong các cơn dông mạnh với diện cục bộ và thời gian xảy ra ngắn [1]. Mưa đá thường hình thành trong các ổ dông lớn với dòng thẳng mạnh, nguồn ẩm dồi dào, độ bất ổn định lớn và một số điều kiện ban đầu kích thích đối lưu [2]. Hạt đá có đường kính phổ biến khoảng 2–5 cm, đôi khi có thể đạt tới 15 cm, khối lượng lên tới 500 g mỗi viên. Mưa đá thường xuất hiện ở miền ôn đới và cận nhiệt đới, đôi khi có thể xảy ra ở miền nhiệt đới, tuy nhiên rất hiếm do mực băng kết thường quá cao ở khu vực nhiệt đới. Mưa đá gần như không xuất hiện ở vùng cực do mực thấp quá lạnh cũng như không đủ điều kiện phát triển cơn dông [3].

Dự báo mưa đá là một trong những bài toán thách thức nhất trong ngành khí tượng do tính chất cục bộ cả về không gian và thời gian của hiện tượng [4]. Các phương pháp dự báo đầu tiên được xây dựng dựa trên số liệu quan trắc, sử dụng thống kê tương quan giữa số liệu quan trắc và các trạng thái khí quyển để dự báo kích thước cực đại của mưa đá [5–6]. Dự báo mưa đá hạn cực ngắn (hạn dưới 3 giờ) sử dụng các công cụ như radar, vệ tinh để phát hiện các ổ dông, từ đó có thể cảnh báo hướng di chuyển, cường độ của các cơn dông. Radar khí tượng ngày càng được cải tiến, từ hệ thống radar đơn cực chỉ có thể phát hiện ổ dông cho tới hệ thống radar phân cực có thể phân biệt các trạng thái hạt và kích thước hạt đá, hiện đang được ứng dụng rộng rãi trong nghiệp vụ dự báo [7]. Nhược điểm lớn nhất là hạn dự báo ngắn dẫn tới khó khăn trong phòng chống thiệt hại do mưa đá gây ra.

Với sự phát triển của khoa học máy tính, các nhà khí tượng đã xây dựng nhiều mô hình số (NWP) nhằm dự báo mưa đá. Tuy nhiên do sự phức tạp của các quá trình vật lý, các mô hình dự báo mưa đá thường được xây dựng độc lập hoặc được tối giản hóa và tích hợp vào các mô hình lớn dưới dạng mô hình ít chiều, độc lập theo thời gian, với nhược điểm lớn là không mô phỏng hiển kích thước các hạt ngưng kết gây ra bởi các quá trình vi vật lý [8]. Gần đây, các loại mô hình số đối lưu hiển (*convection-allowing models – CAMs*) được xây dựng với đặc điểm độ phân giải thẳng đứng phù hợp cho các hiện tượng đối lưu ở cả khu vực vĩ độ trung bình lẫn khu vực nhiệt đới, đã đáp ứng được tốc độ tính toán và chất lượng sản phẩm, do đó được ứng dụng rộng rãi trong nghiệp vụ [9].

Mưa đá thường được xem là trường hợp đông kinh điển với cường độ lớn, tốc độ dòng thẳng rất mạnh, nguồn ẩm dồi dào. Trong bài toán dự báo đông, độ phân giải của mô hình phần lớn chưa thể đáp ứng việc mô phỏng các hiện tượng quy mô nhỏ như mưa đá, gió lốc... do đó người ta sử dụng phương pháp kết hợp chỉ số đông gây mưa đá (sau đây gọi tắt là chỉ số đông) với dự báo xác suất đông nguy hiểm (*surrogate severe probabilistic forecasts – SSPFs*) để cảnh báo đông. SSPFs sử dụng cho khu vực có độ xoáy dòng thẳng (sẽ nói đến dưới đây) cao giúp tăng độ tin cậy của dự báo hiện tượng thời tiết cực đoan, đặc biệt ở quy mô vừa [10].

Tổng lượng graupel trong cột khí quyển (*column integrated total graupel – CTG*), độ phản hồi radar giả lập bởi mô hình Z tại mực -10°C cũng đã được sử dụng như các chỉ số ước lượng khối lượng mưa đá tiềm năng trong mây, mặc dù khả năng dự báo chưa thực sự tốt và phụ thuộc lớn vào sơ đồ tham số hóa vi vật lý của mô hình [9]. Bên cạnh đó, một số công cụ như thuật toán Thompson, mô hình HAILCAST có thể ước lượng kích thước cực đại hạt đá, cũng là công cụ hữu hiệu để cảnh báo mưa đá.

Tại Việt Nam, mưa đá có thể xảy ra ở hầu hết các địa phương do phần lớn diện tích lãnh thổ có địa hình đồi núi, dễ kích thích dòng thẳng cưỡng bức. Ngoài ra, lãnh thổ nằm trong vùng giao tranh giữa các khối khí, điều kiện nhiệt đới với độ bất ổn định lớn cũng là nguyên nhân khiến mưa đá thường xuyên xuất hiện ở Việt Nam. Mặc dù vậy, nghiên cứu về mưa đá ở Việt Nam còn khá hạn chế về số lượng. Thống kê sơ bộ năm 2020, nhóm thiên tai đông lốc, mưa đá làm thiệt mạng 54 người, gây thiệt hại về nhà ở hơn 63.000 nhà, tổng thiệt hại lên tới hơn 1000 tỷ đồng [11]. Chính vì thế, mục tiêu của bài báo này là thử nghiệm dự báo lại đợt đông gây mưa đá trong ngày 24–25/01/2020 xảy ra trên khu vực Đông Bắc Bộ, sử dụng mô hình WRF–ARW (*Weather Research and Forecasting*).

2. Số liệu và phương pháp

2.1. Số liệu

Trong bài báo này, số liệu dự báo toàn cầu GFS của Trung tâm Dự báo Môi trường Hoa Kỳ (NCEP) với độ phân giải $0,5^{\circ} \times 0,5^{\circ}$ được sử dụng làm điều kiện ban đầu và điều kiện biên cho mô hình WRF–ARW để thử nghiệm dự báo lại cơn đông gây mưa đá nói trên. Số liệu mưa quan trắc tại trạm của Trung tâm Dự báo khí tượng thủy văn quốc gia được sử dụng để đánh giá lượng mưa dự báo. Ngoài ra, bản đồ synop của Cơ quan Khí tượng Thái Lan và số liệu tái phân tích ERA5 của Trung tâm Dự báo Thời tiết Hạn vừa Châu Âu cũng được dùng để hỗ trợ phân tích hình thế cũng như kết quả dự báo của mô hình.

2.2. Cấu hình mô hình WRF–ARW

Trong nghiên cứu này mô hình WRF–ARW được sử dụng với ba miền tính lồng nhau, tương tác 2 chiều. Miền tính 1 có độ phân giải 13,5 km, với 199×199 điểm lưới, tâm miền tính tại 15°N ; 105°E . Miền tính 2 có độ phân giải 4,5 km với 199×199 điểm lưới, bao phủ hoàn toàn khu vực Bắc Bộ và lân cận. Miền tính 3 có độ phân giải 1,5 km, gồm 249×151 điểm lưới đặt trên khu vực Đông Bắc Bộ. Để thấy rõ hơn, 3 miền tính này sẽ được chỉ ra lần

lượt trong Mục 3. Mô hình tính toán trên 35 mực thẳng đứng, chạy cho hạn dự báo 72 giờ, bắt đầu từ 19h ngày 23/01/2020, nghĩa là trước thời điểm xảy ra mưa đá khoảng 1 ngày. Các sơ đồ tham số hóa vật lý được trình bày trong Bảng 1, trong đó sơ đồ tham số hóa đối lưu chỉ được bật cho miền tính 1.

Bảng 1. Sơ đồ tham số hóa sử dụng trong nghiên cứu.

Sơ đồ	Tên/xuất xứ
Vi vật lý mây	Goddard GCE
Bức xạ sóng dài	RRTM
Bức xạ sóng ngắn	Dudhia
Lớp biên hành tinh	YSU
Sơ đồ đất	Sơ đồ khuếch tán nhiệt
Tham số hóa đối lưu	Kain-Fritsch

2.3. Đánh giá điều kiện khí quyển môi trường

Để đánh giá trường ẩm của môi trường xảy ra dông sử dụng mô hình số, người ta thường sử dụng biến *hội tụ thông lượng ẩm tích lũy theo chiều thẳng đứng (VIMFC)*, bởi khả năng dự báo của các mô hình số hiện nay là khá tốt so với thực tế. Từ phương trình cân bằng ẩm, VIMFC được tính từ *thông lượng ẩm tích lũy theo chiều thẳng đứng (VIMF)* [12]:

$$VIMF = \frac{1}{g} \int_{p_2}^{p_1} qV dp \tag{1}$$

$$VIMFC = -\text{div}(VIMF) = -\frac{1}{g} \int_{p_2}^{p_1} \left(\frac{\partial uq}{\partial x} + \frac{\partial vq}{\partial y} \right) dp \tag{2}$$

Trong đó p_1, p_2 là áp suất mực dưới và mực trên của lớp khí quyển cần tính toán (thường sử dụng với hai mực 1000 và 300 mb); q là độ ẩm riêng (kg kg^{-1}), V là vector vận tốc gió với u, v là thành phần vĩ hướng và kinh hướng (m s^{-1}). Đơn vị của VIMFC là $\text{kg m}^{-2} \text{s}^{-1}$. Ngoài ra, các biến như *năng lượng đối lưu tiềm năng CAPE*, *vận tốc dòng thẳng w*, ... cũng có thể được sử dụng để phân tích các chỉ số môi trường của các cơn dông.

2.4. Phương pháp dự báo mưa đá do dông

Bài báo sử dụng hai chỉ số dông, bao gồm *độ xoáy dòng thẳng UH* và *tổng lượng graupel trong cột khí quyển CTG*, để thử nghiệm dự báo mưa đá trước 24h. Độ xoáy dòng thẳng (*updraft helicity – UH*) được định nghĩa bởi [13]:

$$UH = \int_{z_0}^{z_1} \zeta w dz \tag{3}$$

Trong đó ζ (s^{-1}) là xoáy tương đối, w (m s^{-1}) là vận tốc thẳng đứng giữa hai mực z_0 và z_1 , thông thường tương ứng với 2 và 5 km. UH đã được sử dụng để nhận diện các vùng xoáy thẳng đứng mạnh từ kết quả của mô hình số [14]. UH cho thấy khả năng dự báo dông và các hiện tượng thời tiết cực đoan hạn 24h cũng như hạn cực ngắn đến 1h. Tuy nhiên, nó có những hạn chế về độ phân giải và khả năng dự báo dông cường độ trung bình [15]. Bên cạnh đó, SSPFs sử dụng cho khu vực có trị số UH cao giúp tăng độ tin cậy của dự báo hiện tượng thời tiết cực đoan, đặc biệt ở quy mô vừa [10].

Tổng lượng graupel trong cột khí quyển (*Column integrated total graupel – CTG*) dùng để đánh giá lượng đá tiềm năng trong ổ dông được tính theo công thức:

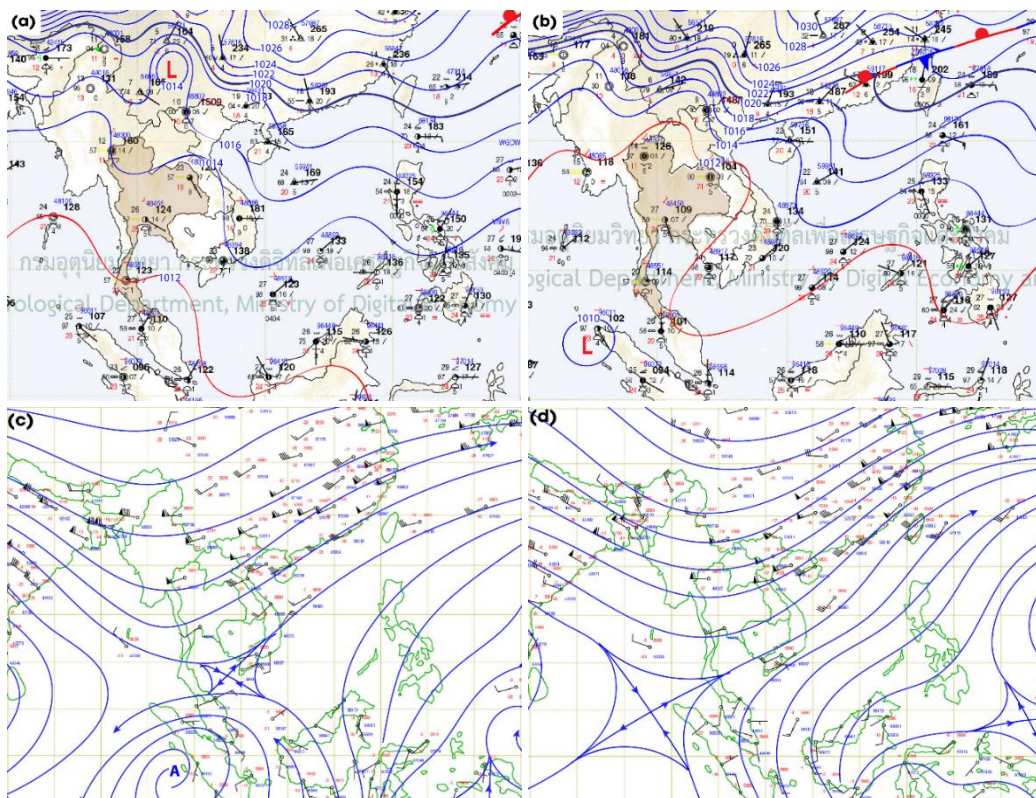
$$CTG = \int_{z_0}^{z_1} q_{\text{group}} \cdot \rho_{\text{air}} dz \quad (4)$$

Theo Labriola và ccs [9], $UH_{\text{max}} > 75 \text{ m}^2 \text{ s}^{-2}$, $CTG > 25 \text{ kg m}^{-2}$ là ngưỡng chỉ tiêu cảnh báo đồng cường độ mạnh (tương đương kích thước hạt đá cực đại THAIL > 25 mm); trường hợp đồng rất mạnh (kích thước hạt đá cực đại THAIL > 50 mm) tương ứng với ngưỡng cảnh báo $UH_{\text{max}} > 150 \text{ m}^2 \text{ s}^{-2}$ và $CTG > 50 \text{ kg m}^{-2}$. Các ngưỡng chỉ số này thường dùng cho các mô hình có độ phân giải một vài km, do đó chúng được thử nghiệm làm ngưỡng dự báo tham khảo cho trường hợp này.

3. Diễn biến đồng và kết quả thử nghiệm

3.1. Diễn biến đợt đồng gây mưa đá

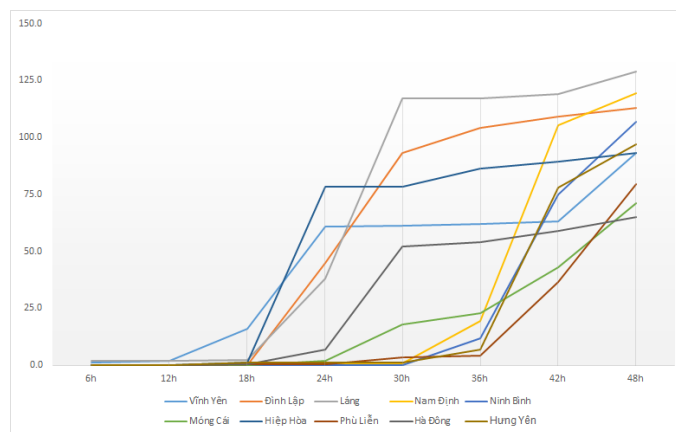
Ngày 24/01/2020, Bắc Bộ chịu ảnh hưởng của rãnh thấp bị nén có trục khoảng 23–25°N do khối không khí lạnh kèm front lạnh trên lục địa Trung Quốc đang lấn xuống phía nam (Hình 1a). Trên mực 850 mb và cao hơn, rãnh gió tây cường độ mạnh khời sâu tương đối nhanh, khu vực Bắc Bộ nằm trước rãnh nơi tốc độ gió đạt cực đại (Hình 1c). Sang ngày 25/01, khối không khí lạnh đã ảnh hưởng trực tiếp đến Việt Nam với các đường đẳng áp dạng sóng hội tụ trên Bắc Bộ (Hình 1b), trong khi rãnh gió tây di chuyển chậm tiếp tục khống chế khu vực (Hình 1d). Kết hợp với điều kiện nhiệt ẩm tương đối cao trước những ngày này, mưa dông mạnh kèm mưa đá, gió lốc xuất hiện từ chiều ngày 24/01 đến hết ngày 25/01 trên diện rộng 9 tỉnh vùng Đông Bắc Bộ. Lượng mưa đo được phổ biến từ 40–80 mm, có nơi trên 100 mm.



Hình 1. Bản đồ synop (a) mặt đất và (c) mực 850 mb lúc 07h ngày 24/01/2020. Hình (b) và (d) tương tự cho thời điểm 07h ngày 25/01.

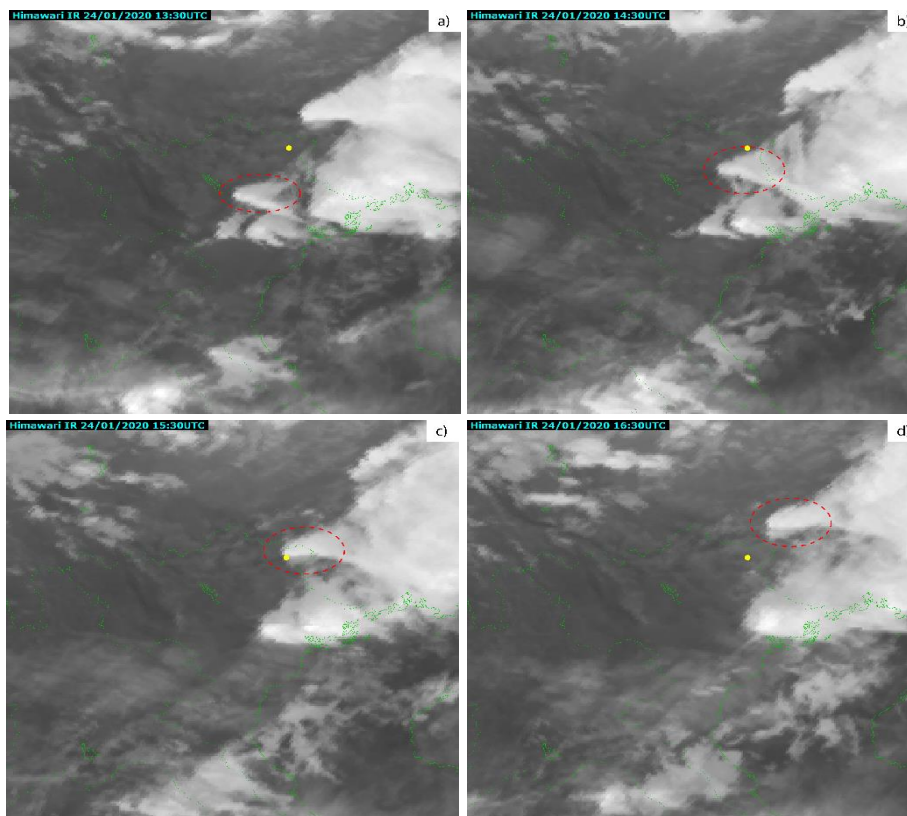
Sử dụng số liệu mưa quan trắc tại 10 trạm trên khu vực Đông Bắc Bộ, lượng mưa tích lũy 48h từ 19h ngày 23/01 tới 19h ngày 25/01 (Hình 2) cho thấy đợt mưa có thể chia làm hai đợt chính. Đợt thứ nhất bắt đầu từ chiều ngày 24/01, ghi nhận tại các trạm trung du và miền

núi phía bắc như Vĩnh Yên (Vĩnh Phúc), Đình Lập (Lạng Sơn), Hiệp Hòa (Bắc Giang), lượng mưa tích lũy trung bình khoảng 50 mm/12h. Một số trạm khu vực đồng bằng Bắc Bộ như Láng và Hà Đông (Hà Nội) ghi nhận mưa trễ hơn, xảy ra trong đêm 24/01 với cường độ mưa lớn. Đợt thứ hai bắt đầu từ trưa–chiều ngày 25/01, một số trạm khu vực đồng bằng Bắc Bộ ghi nhận lượng mưa tích lũy rất lớn trong 6h như Nam Định 86 mm, Hưng Yên 78 mm và Ninh Bình 63 mm. Cường độ mưa lớn như vậy xảy ra trên diện rộng trong Tháng 1 là không nhiều.



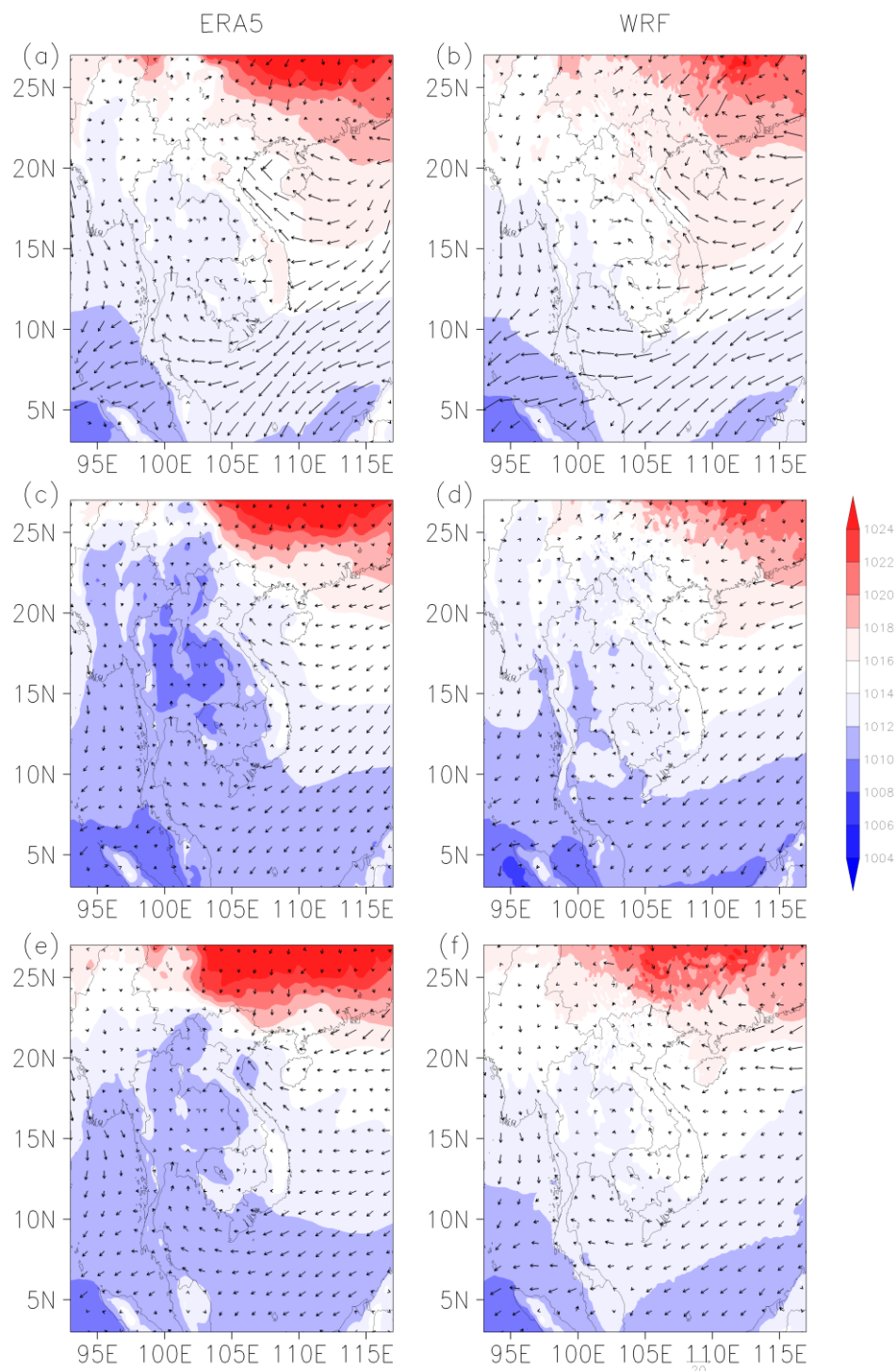
Hình 2. Lượng mưa quan trắc (mm) tại một số trạm từ 19h 23/01 tới 19h 25/01/2020.

Ảnh mây vệ tinh hồng ngoại cho thấy sự tồn tại của hai cụm ỏ mây dông chính trên khu vực Bắc Bộ trong ngày 24/01/2020 (Hình 3). Cụm thứ nhất là các ỏ mây dông hình thành trên khu vực tỉnh Hòa Bình, di chuyển theo hướng đông bắc qua các tỉnh Bắc Kạn, Cao Bằng và đi vào lãnh thổ Trung Quốc. Cụm mây dông thứ hai có qui mô ngang lớn hơn, hình thành ở phía nam của cụm thứ nhất, phát triển và di chuyển chậm hơn dọc các tỉnh duyên hải Bắc Bộ theo hướng đông đông bắc. Các ỏ dông hình thành trong vùng mây đối lưu phát triển theo chu kỳ khoảng 2–3 giờ, di chuyển chậm hoặc ít di chuyển, cấu trúc dông có ỏ đậm đặc với đỉnh mây đối lưu cho thấy cường độ đối lưu rất lớn trong ỏ dông.



Hình 3. Ảnh mây vệ tinh IR tại (a) 20h30, (b) 21h30, (c) 22h30 và (d) 23h30 24/01/2020. Đường oval nét đứt thể hiện vị trí ổ dông gây mưa đá, chấm vàng là Thành phố Cao Bằng. Nguồn: Trung tâm Dự báo Khí tượng Thủy văn Quốc gia.

Các báo cáo mưa đá được ghi nhận trong hai ngày 24 và 25/01 cho thấy mưa đá xuất hiện nhiều nhất trong đêm ngày 24/01. Mưa đá được ghi nhận tại 9 tỉnh Bắc Bộ và Thanh Hóa, đường kính hạt đá trung bình khoảng 1–3 cm, cá biệt có trường hợp lên tới hơn 5 cm. Đặc biệt trong đêm 24/01 tại Tp. Việt Trì (Phú Thọ), Tp. Cao Bằng (Cao Bằng), Bạch Thông (Bắc Kạn), ... đã ghi nhận mưa đá kèm dông lốc cường độ cao. Riêng tại Cao Bằng xảy ra hai đợt mưa đá vào lúc 19h30 và 22h15 ngày 24/01, kích thước hạt đá trong đợt thứ hai lên tới 3–4 cm [16]. Đợt thiên tai này gây thiệt hại lớn nhất tại ba tỉnh Cao Bằng, Bắc Kạn và Lạng Sơn, tổng thiệt hại về kinh tế ước tính 133 tỷ đồng [11].

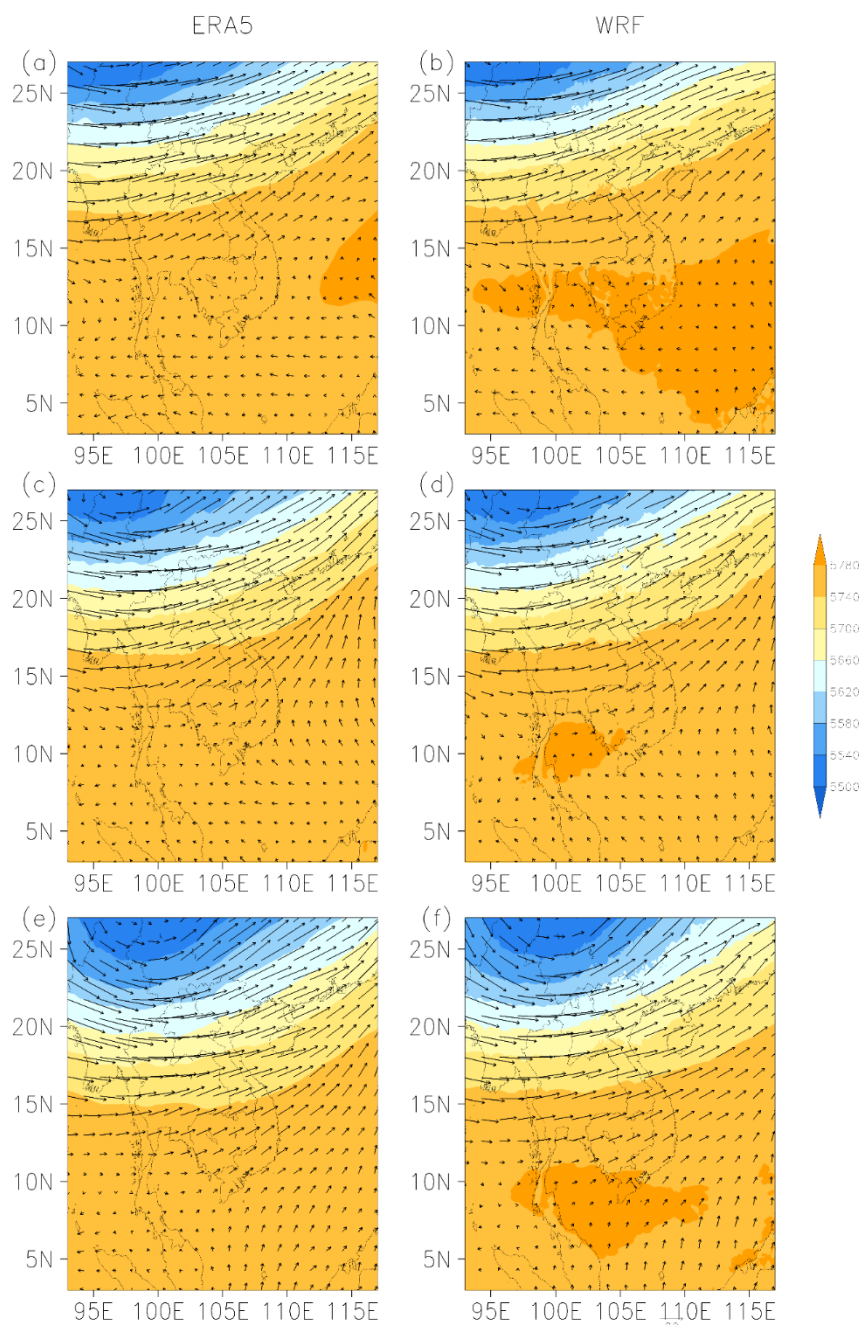


Hình 4. Trường khí áp bề mặt và gió 10 m từ số liệu tái phân tích ERA5 tại (a) 07h 24/01, (c) 19h 24/01 và (e) 07h 25/01/2020. Hình (b), (d) và (f) là tương tự với kết quả dự báo trên miền tính 1 của mô hình WRF-ARW.

3.2. Dự báo điều kiện môi trường của dông

Trong mục này, khả năng dự báo các trường quy mô lớn của mô hình WRF-ARW được đánh giá định tính sử dụng kết quả dự báo trên miền tính thứ nhất, so với số liệu tái phân tích (Hình 4). Nhìn chung, kết quả mô hình tương đồng rất tốt so với số liệu tái phân tích trong việc xác định các hình thế quy mô lớn trong đợt xâm nhập lạnh này. Đó là không khí lạnh

trên lục địa Á-Âu đang trên đường di chuyển xuống phía nam trên lục địa Trung Quốc, đẩy khu vực hội tụ gió mực thấp xuống Bắc Bộ trong chiều và tối 24/01 (Hình 4a–4d). Đồng thời, rãnh gió tây trên cao đang khơi sâu dần xuống phía nam, kết quả là Bắc Bộ nằm dưới vùng dòng xiết phía trước rãnh, với vận tốc trung bình từ 30–35 m s⁻¹ (Hình 5a–5d). Đến 7h sáng 25/01, không khí lạnh bắt đầu ảnh hưởng trực tiếp tới Bắc Bộ (Hình 4e, 4f), trong khi đó rãnh gió tây đạt trạng thái khơi sâu cực đại, bước sóng giảm trong thời gian rất ngắn (Hình 5e, 5f).

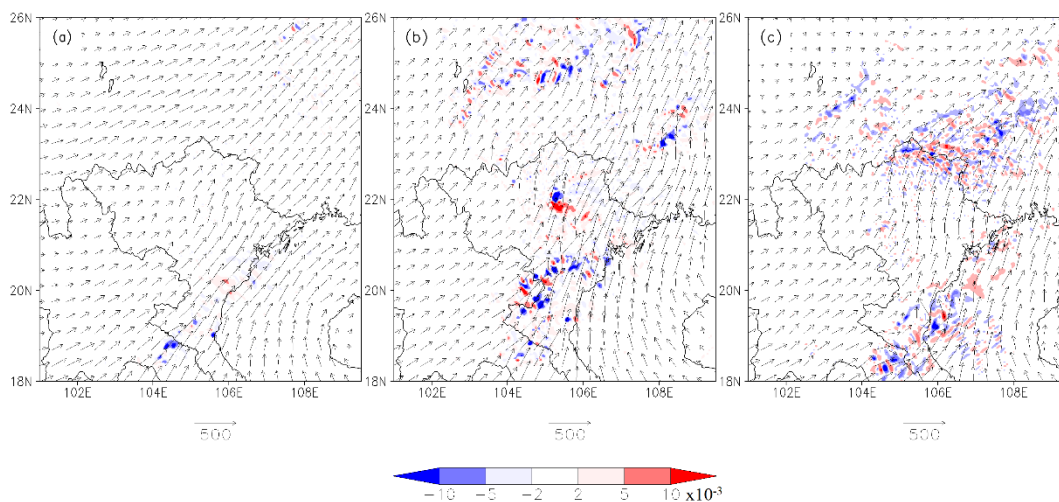


Hình 5. Độ cao địa thế vị và gió mực 500 mb từ số liệu tái phân tích ERA5 lúc (a) 07h 24/01, (c) 19h 24/01 và (e) 07h 25/01/2020. Hình (b), (d) và (f) là tương tự với kết quả dự báo trên miền tính 1 của mô hình WRF-ARW.

Có thể nói kết quả dự báo của mô hình là rất tốt, ngoại trừ trường gió bề mặt (khí áp) mạnh (yếu) hơn một chút so với số liệu tái phân tích trên lãnh thổ Trung Quốc. Hình thể độ cao địa thế vị và rãnh gió tây mực 500 mb được mô hình dự báo gần như tương đồng so với

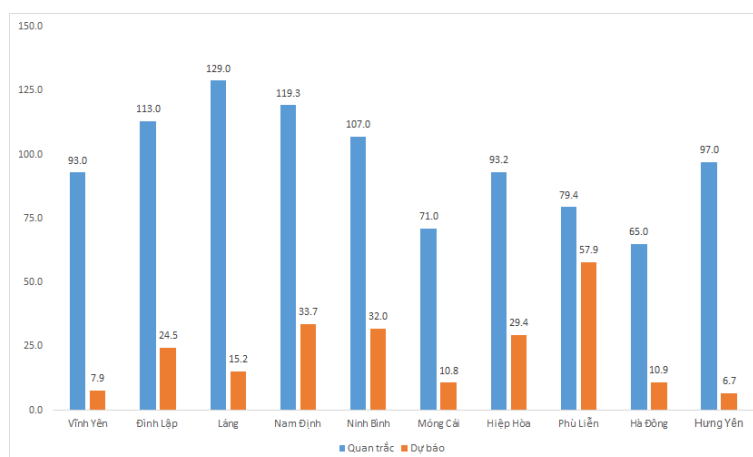
trường tái phân tích, ngoại trừ nam Biển Đông và vịnh Thái Lan mô hình cho kết quả dự báo độ cao địa thế vị thấp hơn một chút. Như vậy, tổ hợp điều kiện nâng mực thấp gồm hội tụ gió trong rãnh bị nén, vùng front lạnh mực thấp kết hợp với dòng xiết trước rãnh trên cao là môi trường thuận lợi cho sự phát triển dông cường độ mạnh, xảy ra trên diện rộng trên khu vực Đông Bắc Bộ như đã mô tả ở trên.

Đánh giá môi trường ẩm trên khu vực Bắc Bộ trong thời gian này có thể thấy dòng ẩm có xu thế di chuyển theo hướng đông bắc, với thông lượng ẩm lớn chủ yếu xuất hiện trên khu vực Đông Bắc Bộ với trị số VIMF đạt trên $400 \text{ kg m}^{-1} \text{ s}^{-1}$ (Hình 6). Như vậy có thể thấy rằng điều kiện cần cho đợt mưa dông này là sự xâm nhập xuống phía nam của khối không khí lạnh kèm front lạnh từ vĩ độ trung bình, còn điều kiện đủ là dòng ẩm từ vùng nhiệt đới sẽ cung cấp năng lượng cho hoạt động của đối lưu sâu. Hội tụ thông lượng ẩm cho thấy sự tồn tại dưới dạng các cấu trúc qui mô vừa, biến đổi nhanh theo thời gian, xuất hiện từ ngày 24/01 trên khu vực Đông Bắc Bộ và đạt cường độ rất mạnh trước và sau 19h ngày 24/01, với VIMFC có thể lên tới $10 \cdot 10^{-3} \text{ kg m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ trên khu vực tỉnh Thái Nguyên–Bắc Kạn (Hình 6b). Vùng hội tụ ẩm rất mạnh này được dự báo tiếp tục di chuyển theo hướng đông bắc trong đêm 24 và sáng 25/01, đi vào lãnh thổ Trung Quốc (Hình 6c). Có thể thấy mô hình WRF–ARW cho kết quả dự báo tâm cực đại của VIMFC rất đáng chú ý, cả về vị trí xuất hiện và hướng di chuyển trong trường hợp này, phù hợp với thực tế quan trắc từ ảnh vệ tinh.



Hình 6. Thông lượng ẩm tích lũy thẳng đứng (VIMF) tới mực 300 mb (vector) và VIMFC (tô màu) lúc (a) 07h 24/01, (b) 19h 24/01 và (c) 07h 25/01/2020 trên miền tính 2 của mô hình WRF–ARW.

Tiếp theo, so sánh lượng mưa quan trắc và dự báo tại trạm cho thấy mô hình có xu thế dự báo lượng mưa trên miền tính 2 thấp hơn đáng kể so với quan trắc (Hình 7). Số liệu quan trắc cho thấy lượng mưa cả đợt phân bố tương đối đều trên khu vực Đông Bắc Bộ, phổ biến trên 60 mm. Một số trạm ghi nhận lượng mưa rất lớn như Láng 129.0 mm, Nam Định 119.3 mm và Đình Lập 113.0 mm. Trong khi đó, mô hình đưa ra dự báo lượng mưa khá thấp, phổ biến dưới 40 mm. Mô hình có xu hướng cho lượng mưa lớn hơn trên khu vực các tỉnh ven biển Bắc Bộ như Phù Liễn 52.9 mm, Nam Định 33.7 mm và Ninh Bình 32.0 mm. Nhìn chung, mô hình có thể dự báo khả năng xuất hiện mưa lớn trên khu vực Đông Bắc Bộ, nhưng kết quả dự báo lượng mưa tại từng trạm cụ thể chưa thực sự tốt, ngay cả với miền tính 3 (kết quả không khác nhiều với miền tính 2 và không đưa ra ở đây).



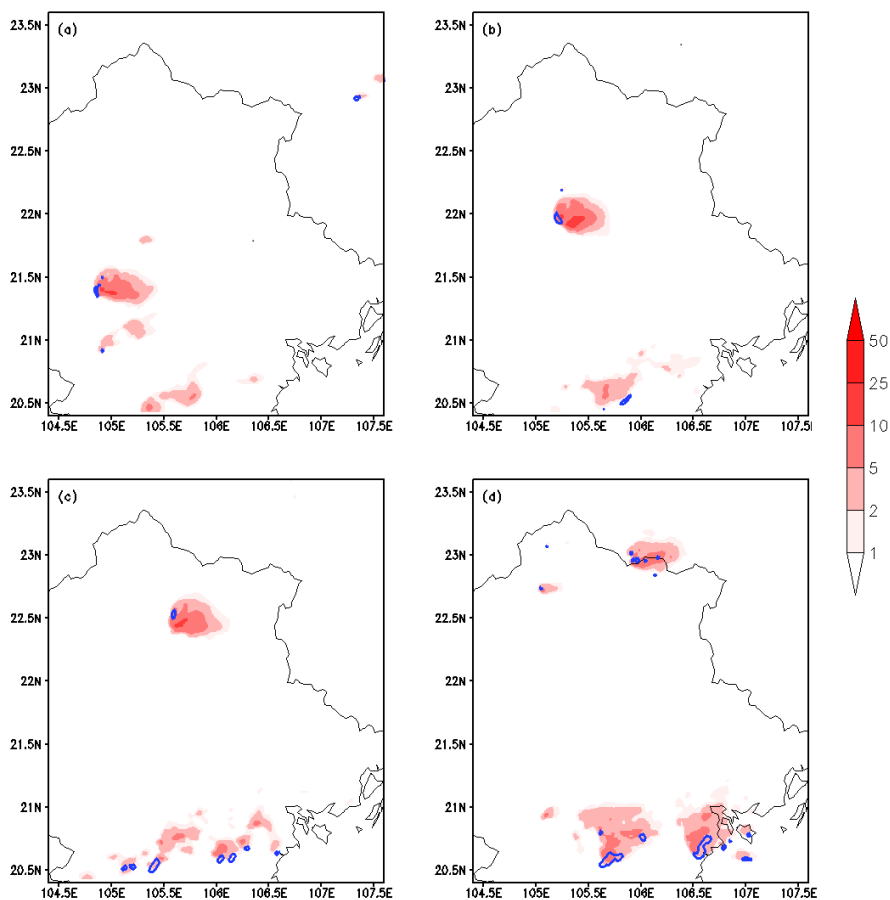
Hình 7. Lượng mưa tích lũy 48 giờ tại một số trạm từ 19h ngày 23/01 đến 19h ngày 25/01/2020 của số liệu quan trắc và mô hình dự báo trên miền tính 2.

3.3. Thử nghiệm dự báo dông và mưa đá

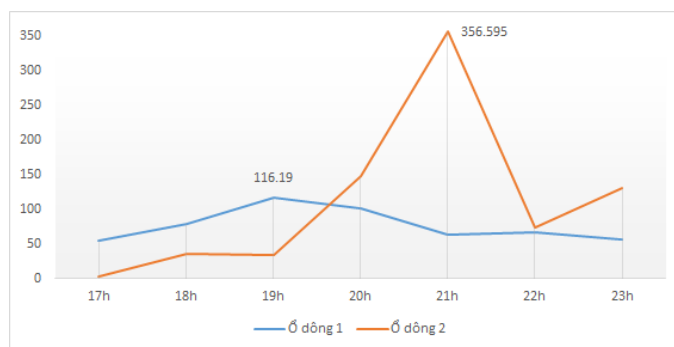
Để đánh giá bước đầu khả năng dự báo dông gây mưa đá của mô hình WRF-ARW, các chỉ số UH và CTG tại một số lát cắt thời gian được đưa ra trên Hình 8. Trong khoảng thời gian từ 18 đến 21 h ngày 24/01, hai chỉ số UH và CTG cho thấy có khả năng xuất hiện hai cụm “ổ dông” trên khu vực Đông Bắc Bộ. Ổ dông thứ nhất di chuyển theo hướng đông bắc, đi qua khu vực các tỉnh Hòa Bình, Thái Nguyên, Bắc Kạn và qua Cao Bằng sang Trung Quốc. Dễ thấy là vùng có chỉ số UH vượt ngưỡng $25 \text{ m}^2 \text{ s}^{-2}$ và CTG đạt ngưỡng $10\text{--}25 \text{ kg m}^{-2}$ tồn tại dưới dạng các trung tâm qui mô vừa γ . Cụm dông thứ hai phát triển và di chuyển chậm theo hướng đông đông bắc, dọc các tỉnh ven biển Đồng bằng Bắc Bộ. Nhóm ổ dông này có cấu trúc không gian rời rạc hơn, tồn tại nhiều tâm, với lượng đá tiềm năng trong mây thấp, chỉ số CTG chỉ đạt ngưỡng $5\text{--}10 \text{ kg m}^{-2}$. Trong khi đó, giá trị của CAPE được dự báo không quá lớn, phổ biến vào khoảng trên 500 J Kg^{-1} trên Bắc Bộ (kết quả không đưa ra), cho thấy điều kiện bất ổn định địa phương có thể đóng vai trò thứ yếu, còn sự phát triển mạnh mẽ của dông chủ yếu do yếu tố động lực gây ra.

Như đã thấy trên Hình 8, các khu vực có chỉ số dông tiềm năng tồn tại dưới dạng các cấu trúc qui mô vừa γ , tương đối khó quan sát trên mặt cắt ngang. Do đó, để đánh giá diễn biến cường độ theo thời gian, giá trị UH cực đại xung quanh các ổ dông được đưa ra trên Hình 9. Có thể thấy ổ dông thứ nhất có khả năng hình thành và phát triển sớm hơn (từ 17h) so với ổ dông thứ hai (sau 19h). Ổ dông thứ nhất có UH cực đại đạt ngưỡng $75 \text{ m}^2 \text{ s}^{-2}$ trong khoảng thời gian 17–18h, phát triển cực đại tại thời điểm 19h với giá trị đạt $116 \text{ m}^2 \text{ s}^{-2}$, sau đó giảm dần nhưng vẫn ở ngưỡng tương đối cao. Đây là khoảng thời gian trùng với thời gian ghi nhận hiện tượng mưa đá xảy ra trong thực tế trên khu vực các tỉnh Bắc Kạn-Cao Bằng và lân cận. Cụm dông thứ hai phát triển rất nhanh sau 19h, đạt trạng thái cực đại lúc 21h với giá trị UH cực đại lên tới $356 \text{ m}^2 \text{ s}^{-2}$ trong ổ dông phía tây. Sau thời điểm đạt trạng thái cực đại, các ổ dông đều giảm cả về quy mô ngang và giá trị UH, tương ứng với giai đoạn tan rã của cơn dông.

So sánh với ngưỡng dự báo ($UH_{\max} > 75 \text{ m}^2 \text{ s}^{-2}$ và $CTG > 25 \text{ kg m}^{-2}$) được đưa ra trong các nghiên cứu trước đây cho mưa đá cường độ mạnh với kích thước hạt đá cực đại $> 25 \text{ mm}$, hai ổ dông dự báo đều có giá trị UH vượt ngưỡng, nhưng chỉ số CTG chỉ đạt xấp xỉ 12 và 6 kg m^{-2} tương ứng cho ổ dông thứ nhất và thứ hai. Tuy nhiên, lưu ý là trong các nghiên cứu trước đây nơi các chỉ tiêu dự báo được đề xuất, dông gây mưa đá xảy ra ở vĩ độ trung bình trong mùa hè với CAPE lớn còn dông trong nghiên cứu này xảy ra trong mùa đông vùng nhiệt đới với CAPE nhỏ. Do đó có thể có sự khác biệt trong ngưỡng chỉ số được áp dụng, nhất là khi áp dụng cho sản phẩm mô hình số.



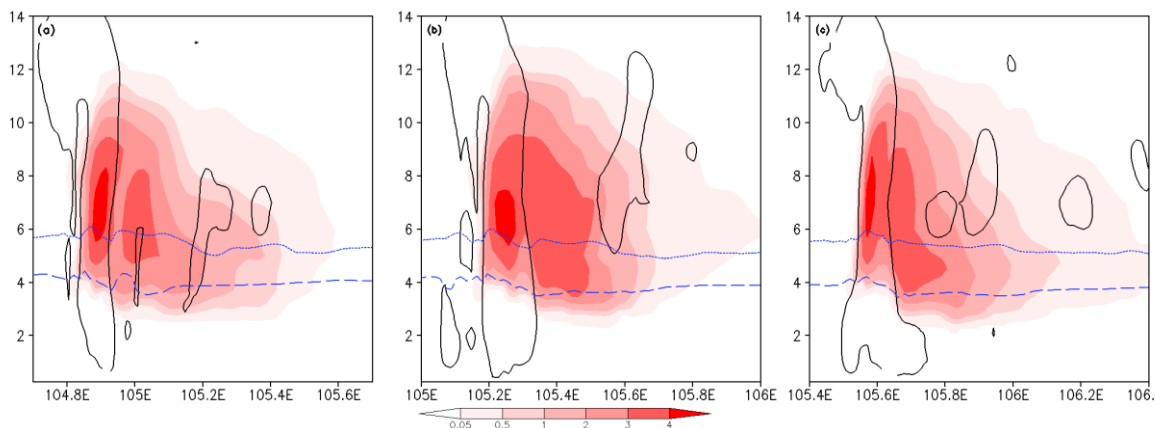
Hình 8. CTG (tô màu) và $UH > 25 \text{ m}^2 \text{ s}^{-2}$ (đường liền) tại thời điểm (a) 18h, (b) 19h, (c) 20h và (d) 21h ngày 24/01/2020 tính cho miền tính 3 của mô hình WRF-ARW.



Hình 9. Giá trị cực đại UH ($\text{m}^2 \text{ s}^{-2}$) trên hai khu vực ô đồng, tính cho miền tính 3 của mô hình WRF-ARW.

Tiếp theo, quan sát mặt cắt thẳng đứng vĩ hướng ngang qua ô đồng thứ nhất tại một số thời điểm phát triển cho thấy 1) phân bố graupel cho thấy cấu trúc điển hình của dông đơn ở cường độ rất mạnh, 2) graupel tồn tại chủ yếu trong lớp khí quyển 4–12 km với qui mô ngang có thể > 30 km, và 3) vùng có mật độ graupel cực đại nằm trong khu vực lõi dòng thẳng, ở phía trên đường đẳng nhiệt -10°C ở độ cao khoảng 6,5–7 km (Hình 10). Phân bố graupel như trên khác tương đối nhiều so với phân bố graupel trong các cơn dông gây mưa đá vùng ngoại nhiệt đới vào mùa hè [9]. Với phân bố nhiệt và graupel như vậy, chỉ số CTG được tích tích lũy trong lớp dưới 4 km sẽ không có ý nghĩa vì trong lớp khí quyển này hầu như không có

graupel. Thực tế này cho thấy trong tình huống dự báo, CTG cần được xem xét với ngưỡng phù hợp hơn và có thể xem xét đưa ra quyết định dự báo mưa đá trong trường hợp này, ít nhất là cho các khu vực ở đông thứ nhất di chuyển qua, đặc biệt trên các tỉnh Thái Nguyên, Bắc Kạn và Cao Bằng.



Hình 10. Mặt cắt thẳng đứng vĩ hướng qua ổ dông tại (a) 18h, (b) 19h và (c) 20h ngày 24/01/2020. Vùng màu thể hiện mật độ graupel (g m^{-3}), đường liền đen chỉ vùng có vận tốc thẳng đứng $w > 1 \text{ m s}^{-1}$, đường đứt xanh là đường đẳng nhiệt 0°C , đường chấm thể hiện đường đẳng nhiệt -10°C .

4. Kết luận

Mưa đá là một trong những hiện tượng thời tiết nguy hiểm qui mô vừa gây nhiều thiệt hại về người và tài sản ở Việt Nam, nhất là trong các tháng chuyển tiếp, khi có sự giao tranh của các khối khí. Đợt dông gây mưa đá cường độ mạnh trên diện rộng ở Đông Bắc Bộ trong các ngày 24–25/01/2020 xảy ra trong tháng chính đông, khi có sự dịch chuyển xuống phía nam của khối không khí lạnh kèm front lạnh, đồng thời khu vực Bắc Bộ nằm trước rãnh gió tây trên cao cùng dòng xiết đi kèm. Sử dụng số liệu dự báo toàn cầu GFS làm điều kiện biên và điều kiện ban đầu, mô hình WRF–ARW đã dự báo lại rất tốt hình thể thuận lợi cho sự phát triển dông gây mưa đá này khi so sánh với số liệu tái phân tích. Nếu nói sự xâm nhập lạnh xuống phía nam của không khí lạnh cùng với rãnh gió tây trên cao là điều kiện cần, thì dòng thông lượng âm từ miền nhiệt đới là điều kiện đủ cho sự phát triển của đối lưu sâu trong các ổ dông. Dưới góc độ khí tượng synop, hội tụ ẩm qui mô lớn hay được nhắc đến, nhưng với sản phẩm mô hình số thì các vùng hội tụ/phân kỳ ẩm tồn tại đan xen dưới dạng các cấu trúc qui mô vừa, ít nhất là trong các tình huống xâm nhập lạnh.

Về các hiện tượng thời tiết, mô hình có thể dự báo mưa lớn xảy ra ở Đông Bắc Bộ nói chung, nhưng so với số liệu quan trắc, lượng mưa dự báo của từng trạm chưa thực sự tốt. Tuy nhiên, với hai chỉ số dông UH và CTG mô hình lại cho kết quả dự báo rất đáng chú ý. Có thể nói rằng trong trường hợp nghiên cứu này, mô hình WRF–ARW đã dự báo thời điểm, vị trí xuất hiện và hướng di chuyển của các “ổ dông” rất sát so với thực tế khi so sánh với ảnh mây vệ tinh IR. Đây là kết quả rất khả quan đối với các dự báo hiện tượng thời tiết nguy hiểm qui mô vừa bằng mô hình số, và cũng là lý do mà các chỉ số dông ngày càng được sử dụng nhiều trong thực tiễn [9, 10, 13, 14, 15, 17]. Về mặt trị số, chỉ số UH vượt ngưỡng $75 \text{ m}^2 \text{ s}^{-2}$ ở cả hai cụm ổ dông nhưng CTG dưới ngưỡng 25 kg m^{-2} (hơn 11 và 5 kg m^{-2} tương ứng cho cụm ổ dông thứ nhất và thứ hai) cho mưa đá cường độ mạnh với đường kính trên 25 mm [9]. Về qui mô không gian ngang, vùng chỉ số UH và CTG cực đại tồn tại dưới dạng các cấu trúc qui mô vừa γ , nghĩa là từ vài đến vài chục km.

Mặt cắt thẳng đứng cho thấy mật độ graupel cực đại nằm phía trên đường đẳng nhiệt -10°C , ở độ cao trên 6,5 km. Trong lớp khí quyển dưới 4 km, mật độ graupel rất nhỏ, thậm chí không có. Hơn nữa, giá trị của CAPE trong nghiên cứu này không lớn, cho thấy cơ chế

gây dông kèm mưa đá ở Việt Nam trong mùa đông và chuyển tiếp khác với cơ chế gây dông kèm mưa đá ở vùng vĩ độ trung bình trong mùa hè. Tất cả những điều này cho thấy rằng các chỉ số dùng cho mô hình số dự báo dông gây mưa đá có thể cần phải được điều chỉnh cho phù hợp hơn, ví dụ điều chỉnh ngưỡng CTG cho khu vực Việt Nam. Ngoài ra, cũng cần có thêm các nghiên cứu thử nghiệm dự báo mưa đá bằng một số phương pháp khác như PSD, HAILCAST [18] hoặc kết hợp với học máy để dự báo tốt hơn các hiện tượng thời tiết nguy hiểm, cực đoan [8,15,17].

Đóng góp của tác giả: Xây dựng ý tưởng nghiên cứu: N.M.T.; Lựa chọn cấu hình miền tính: Đ.M.D., N.M. Trường; Chạy và xử lý số liệu mô hình: Đ.M.D.; Viết bản thảo bài báo: Đ.M.D.; Chỉnh sửa bài báo: N.M.T.

Lời cảm ơn: Số liệu dùng trong nghiên cứu này được cung cấp bởi Trung tâm Dự báo Môi trường Hoa Kỳ, Trung tâm Dự báo Thời tiết Hạn vừa Châu Âu, Trung tâm Dự báo Khí tượng Thủy văn Quốc gia, và Cơ quan Khí tượng Thái Lan.

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 bất kỳ nghiên cứu nào trước đây; không có sự tranh chấp lợi ích trong nhóm tác giả.

Tài liệu tham khảo

1. Knight, C.; Knight, N.; Brooks, H.E. Mesoscale meteorology: Hail and hailstorms. *Encycl. Atmos.Sci.* **2015**, 334–338.
2. Changnon, S.A.; Changnon, D.; Hilberg, S.D. Hailstorms across the nation: An atlas about hail and its damages. 2009. www.isws.illinois.edu.
3. Minh, T. C. Khí tượng synop phần nhiệt đới. **2003**, Nhà xuất bản Đại học Quốc gia Hà Nội.
4. Melcón, P.; Merino, A.; Sánchez, J. L.; López, L.; García–Ortega, E. Spatial patterns of thermodynamic conditions of hailstorms in southwestern France. *Atmos. Res.* **2017**, *189*, 111–126.
5. Fawbush, E.J.; Miller R. C. A method of forecasting hailstone size at the earth's surface. *Bull. Amer. Meteorol. Soc.* **1953**, *34*, 235–244.
6. Foster, D. S.; Ferdinand, C. B. A hail size forecasting technique. *Bull. Amer. Meteorol. Soc.* **1956**, *37*, 135–141.
7. Brandes, E.; Ryzhkov, A. Hail detection with polarimetric radar. Conference on Aviation, Range, and Aerospace Meteorology 2004.
8. Kálmán C. A new hail size forecasting technique by using numerical modeling of hailstorms: A case study in Hungary. *IDŐJÁRÁS* **2015**, *119*, 443–474.
9. Labriola, J.; Snook, N.; Xue, M.; Thomas, K.W. Forecasting the 8 May 2017 severe hailstorm in Denver, Colorado, at a convection–allowing resolution: Understanding rimed ice treatments in multimoment microphysics schemes and their effects on hail size forecasts. *Mon. Wea. Rev.* **2019**, *147*, 3045–3068.
10. Sobash, R.A.; Schwartz, C.S.; Romine, G.S.; Fossell, K.R.; Weisman, M.L. Severe weather prediction using storm surrogates from an ensemble forecasting system. *Wea. Forecasting* **2016**, *31*, 255–271.
11. Biểu tổng hợp thiệt hại do thiên tai 2020 (tính đến 17h/15/11/2020). Tổng cục phòng chống thiên tai. <https://phongchongthientai.mard.gov.vn/Pages/bieu-tong-hop-thiet-hai-do-thien-tai-2020-tinh-den-17h-15-11-2020.aspx>
12. Jeroen, Z.; Aarnout, D. Vertically integrated moisture flux convergence as a predictor of thunderstorms. *Atmos. Res.* **2007**, *83*, 435–445.
13. Kain, J.S.; Weiss, S.J.; Bright, D.R.; Baldwin, M.E.; Levit, J.J.; Carbin, G.W.; Schwartz, C.S.; Weisman, M.L.; Droegemeier, K.K.; Weber, D.B.; Thomas, K.W.

- Some practical considerations regarding horizontal resolution in the first generation of operational convection-allowing NWP. *Wea. Forecasting* **2008**, *23*, 931–952.
14. Sobash, R.A.; Kain, J.S.; Bright, D.R.; Dean, A.R.; Coniglio, M.C.; Weiss, S.J. Probabilistic forecast guidance for severe thunderstorms based on the identification of extreme phenomena in convection-allowing model forecasts. *Wea. Forecasting* **2011**, *26*, 714–728
 15. Flora, M.L.; Potvin, C. K.; Skinner, P.S.; Handler, S.; McGovern, A. Using machine learning to generate storm-scale probabilistic guidance of severe weather hazards in the warn-on-forecast system. *Mon. Wea. Rev.* **2021**, *149*, 1535–1557.
 16. Báo Tuổi Trẻ. <https://tuoitre.vn/mua-da-to-nhu-qua-trung-xe-hoi-vo-ca-kinh-ca-ngan-nha-dan-thung-mai-20200125101002276.htm>
 17. Kain, J.S.; Dembek, S.R.; Weiss, S.J.; Case, J.L.; Levit, J.J.; Sobash, R.A. Extracting unique information from high-resolution forecast models: Monitoring selected fields and phenomena every time step. *Wea. Forecasting* **2010**, *25*, 1536–1542.
 18. Jewell, R.; Brimelow, J. Evaluation of Alberta hail growth model using severe hail proximity soundings from the United States. *Wea. Forecasting* **2009**, *24*, 1592–1609.

Numerical reforecast of severe hailstorms in eastern North Vietnam in 24–25/01/2020

Doan Manh Duy¹, Nguyen Minh Truong^{1*}

¹Faculty of Meteorology Hydrology and Oceanography, VNU University of Science; duydm99@gmail.com; truongnm@vnu.edu.vn

Abstract: In this study, the WRF-ARW model was used to reforecast thunderstorm-induced severe hail in eastern North Vietnam in 24–25/01/2020. The results show that the model was able to reproduce the large-scale patterns favorable for the storm development, that is, low-level convergence in compressed trough, cold front, and associated upper-level trough and jet. Convergence of southerly vertically-integrated moisture fluxes helps to energize hailstorms. Computed hailstorm indexes, including Updraft Helicity (UH) and Column integrated Total Graupel (CTG), indicate that the model could well predict locations, timing, and propagation directions of hailstorms. In terms of magnitude, the UH index exceeds but CTG belows the threshold of severe hail (equivalent to maximum hail size > 25 mm in diameter). The vertical distribution of graupel suggests that indexes used in NWP to predict hailstorms, which were determined for those in the extratropics in summer, could be adjusted to be more suitable for hailstorms happening in Vietnam in winter or transition months.

Keywords: Severe hail; Hailstorm indexes; The WRF model.

Bài báo khoa học

Phân tích và đánh giá diễn biến xói lở và bồi tụ ở khu vực tỉnh Quảng Nam bằng ảnh viễn thám và GIS

Nguyễn Tiên Thành^{1*}

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

Ban Biên tập nhận bài: 6/3/2022; Ngày phản biện xong: 8/4/2022; Ngày đăng bài: 25/5/2022

Tóm tắt: Rút trích đường bờ dựa trên công nghệ viễn thám kết hợp GIS được đánh giá là một trong số các phương pháp tiếp cận xác định đường bờ biển khá đơn giản nhưng rất hiệu quả trên phạm vi rộng lớn. Bài báo sử dụng ảnh Landsat năm 2000–2021 để rút trích và phân tích diễn biến đường bờ tại khu vực tỉnh Quảng Nam. Kết quả cho thấy đường bờ tỉnh Quảng Nam xảy ra 2 quá trình xói lở và bồi tụ nhưng quá trình xói lở chiếm ưu thế hơn. Đặc biệt, khu vực Bắc Cửa Đại xói lở chiếm ưu thế hơn dao động khoảng 2,1–14,8 m/năm và mức độ giảm dần qua các năm, khu vực Nam Cửa Đại xói–bồi xảy ra xen kẽ qua từng giai đoạn và mức độ cũng giảm dần qua các năm, khu vực Duy Hải với Tam Tiến đường bờ tương đối ổn định nhưng xói lở vẫn chiếm ưu thế dao động khoảng 2,6–5,6 m/năm còn bồi tụ dao động khoảng 1,6–4,1 m/năm, ở khu vực Tam Tiến đến Tam hòa xói–bồi xảy ra xen kẽ với mức độ xói lở khoảng 1,6–7,4 m/năm, bồi tụ khoảng 1,4–5,3 m/năm. Nhìn chung, 4 giai đoạn ở cả 4 khu vực từ năm 2000–2021 đường bờ xói lở khoảng 2,4 m/năm, bồi tụ khoảng 2,3 m/năm và dần đạt trạng thái cân bằng. Kết quả nghiên cứu có thể đóng góp 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; Quảng Nam.

1. Mở đầu

Quảng Nam là tỉnh thuộc duyên hải Nam Trung Bộ, có 02 thành phố lớn là Hội An và Tam Kỳ thuộc dải ven biển, với đường bờ biển dài 80 km (phần trong lục địa) và nhiều cửa sông là nơi có tiềm năng lớn về phát triển du lịch, đóng vai trò quan trọng trong sự phát triển kinh tế–xã hội của địa phương và trong khu vực [1].

Trong những năm gần đây, do điều kiện thời tiết cực đoan, nắng hạn kéo dài vào mùa khô, mùa mưa chịu sự tác động của gió mùa Đông Bắc, áp thấp nhiệt đới và thường có gió bão, đã tác động mạnh đến vùng ven biển tỉnh Quảng Nam dẫn đến tình trạng xói lở diễn ra rất nghiêm trọng với cường độ ngày càng mạnh hơn, ảnh hưởng đến đời sống và tài sản của người dân vùng ven biển [1]. Do đó, quan trắc diễn biến sự thay đổi đường bờ khu vực Quảng Nam là cần thiết cho công tác quản lý bền vững đường bờ ở khu vực này.

Công nghệ theo dõi biến động đường bờ được áp dụng rộng rãi trên thế giới, hiện nay đã có rất nhiều nghiên cứu sử dụng dữ liệu viễn thám để phân loại nước đất từ ảnh vệ tinh đa thời gian kết hợp với thông tin địa lý (GIS), sau đó chồng xếp để nhận dạng và đánh giá biến động đường bờ. Cụ thể, [2] đã sử dụng ảnh Landsat kết hợp với GIS để nghiên cứu sự thay đổi đường bờ ở cửa sông Göksu từ năm 1984–2011. [3] đã rút trích đường bờ từ ảnh vệ tinh đa thời gian (7 ETM+) kết hợp với GIS để nghiên cứu sự thay đổi đường bờ biển Marina từ

năm 2009 đến năm 2019. [4] đã nghiên cứu và trình bày sự thay đổi đường bờ biển Yanbu từ năm 1965–2019 bằng ảnh vệ tinh Landsat và GIS.

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, [5] đã tính toán tốc độ và xu hướng thay đổi của bờ sông Hồng từ khu vực Sơn Tây đến Gia Lâm (Hà Nội) bằng ảnh viễn thám giai đoạn 2007–2016 kết hợp với hệ thống thông tin địa lý (GIS). [6] đã sử dụng các chỉ số nước như NDWI, MNDWI, AWEI từ ảnh viễn thám Landsat 8 để xác định ranh giới nước và đất trên vùng bờ biển Tây Việt Nam. [7] đã sử dụng ảnh viễn thám kết hợp với khảo sát đường bờ bằng DGPS–Promark2 kết quả cho thấy tốc độ xói mòn lớn hơn tốc độ bồi tụ ở khu vực Cửa Đại với nguyên nhân chính là do các công trình xây dựng và tác động của sóng. [8] đã sử dụng viễn thám kết hợp với mô hình Delft3D và Mike 11 để xác định nguyên nhân và chế độ xói lở và bồi tụ ở khu vực Cửa Đại, cho thấy quá trình xói–bồi xảy ra mùa Đông Bắc với nguyên nhân do tác động của sóng mùa gió Đông Bắc với độ cao sóng xấp xỉ 5 m với tần suất hơn 70%. [9] đã sử dụng Kỹ thuật Hệ thống Phân Tích Bờ biển Kỹ thuật số (DSAS) để tính toán thống kê tỉ lệ thay đổi bờ biển Quảng Nam từ 1990–2019, cho thấy bờ biển Quảng Nam xói lở và bồi tụ trong ba thập kỷ qua và xói lở nghiêm trọng nhất ở phía Bắc Cửa Đại, trong khi sự tiến triển đường bờ được ghi nhận ở khu vực phía Nam. [10] đã sử dụng mô hình Telemac kết hợp với modun thủy động lực học và sóng để nghiên cứu khu vực Cửa Đại, cho thấy xu hướng chính của dòng chảy và sóng hướng về phía Nam, dẫn đến xói lở đặc biệt vào mùa gió Đông Bắc và cũng bồi lắng ở vùng cửa sông.

Nhìn chung, phương pháp viễn thám cho thấy hiệu quả trong công việc giám sát và đánh giá biến động đường bờ trong phạm vi rộng lớn. Vì vậy bài báo này nhằm mục đích kết hợp ảnh Landsat với hệ thống thông tin địa lý (GIS), để giám sát biến động đường bờ tỉnh Quảng Nam phục vụ cho việc phân tích, đánh giá diễn biến xói lở và bồi tụ ở khu vực này trong giai đoạn từ năm 2000–2021.

2. Khu vực và phương pháp nghiên cứu

2.1. Khu vực nghiên cứu

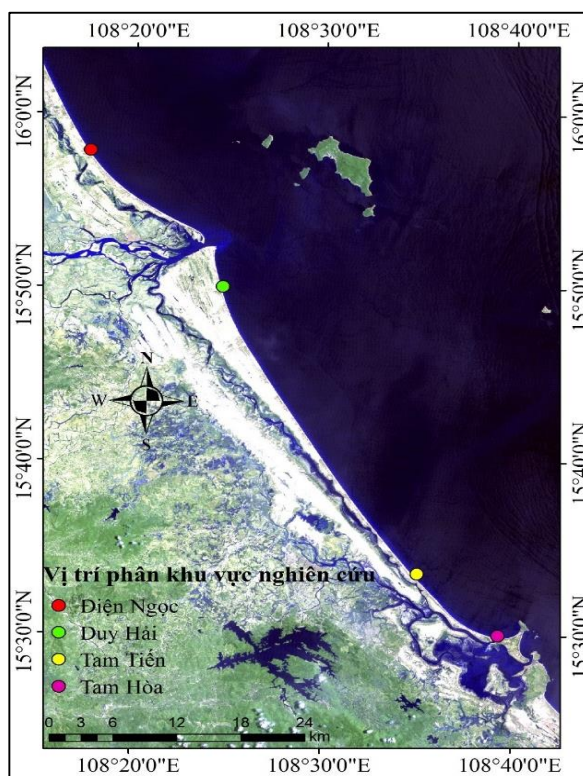
Quảng Nam nằm ở tọa độ địa lý 14°54’ đến 16°13’ vĩ độ Bắc và 107°3’ đến 108°45’ kinh độ Đông, có diện tích tự nhiên là 10.438 km và dân số là 1,46 triệu người [11] (Hình 1). [12] Vĩ độ tương đối thấp nên hằng năm nhận được lượng bức xạ phong phú, đồng thời gần biển nên chịu sự tác động của nhiều yếu tố thời tiết khí hậu khác nhau như mùa Đông Bắc và Tây Nam.



Hình 1. Vị trí địa lý tỉnh Quảng Nam [13].

Ngoài ra, hằng năm bão, áp thấp tác động đến Quảng Nam năm nhiều 2–3 đợt, năm ít thì 1 đợt. Tốc độ gió trung bình 1,8 m/s ở Tam Kỳ và 1,3 m/s ở Trà My. Tốc độ gió mạnh nhất từ tháng 5–11 ở Tam Kỳ và 2–3 ở Trà My. Bên cạnh đó, ảnh hưởng của mực nước biển dâng và tác động của biến đổi khí hậu đã và đang là mối đe dọa đối với sự tồn tại của phố cổ Hội An, Mỹ Sơn, các công trình phục vụ du lịch...

Biến động đường bờ tỉnh Quảng Nam những năm gần đây diễn ra ngày càng nghiêm trọng, để tính toán sự biến động đường bờ, ta chia khu vực nghiên cứu làm 4 khu vực nhỏ. Khu vực bờ biển từ xã Điện Ngọc đến Bắc Cửa Đại (TP. Hội An) (khu vực 1), khu vực Nam Cửa Đại đến Duy Hải (khu vực 2), khu vực Duy Hải đến Tam Tiến (khu vực 3) và khu vực Tam Tiến đến Tam Hòa (khu vực 4) (Hình 2), trong đó khu vực 1, 2 và 4 là 3 khu vực chịu ảnh hưởng trực tiếp bởi cửa sông còn khu vực 3 là khu vực không chịu tác ảnh hưởng trực tiếp của cửa sông.



Hình 2. Khu vực nghiên cứu.

2.2. Dữ liệu và quy trình thực hiện

2.2.1. Dữ liệu

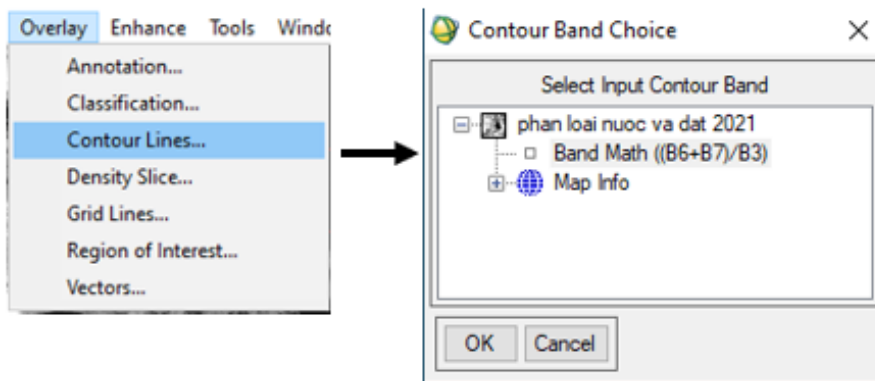
Dữ liệu viễn thám sử dụng trong nghiên cứu là Landsat 8, các ảnh đã được nắn chỉnh và theo hệ quy chiếu WGS–84 UTM, áp dụng cho múi 48. Chất lượng ảnh rất tốt và ít bị ảnh hưởng bởi mây, sương mù. Nguồn dữ liệu ảnh Landsat được thu thập từ trang web của Cơ quan địa chất Hoa Kỳ (USGS: <http://www.glovis.usgs.gov>) với độ phân giải là 30 m.

Bảng 1. Thu thập ảnh viễn thám

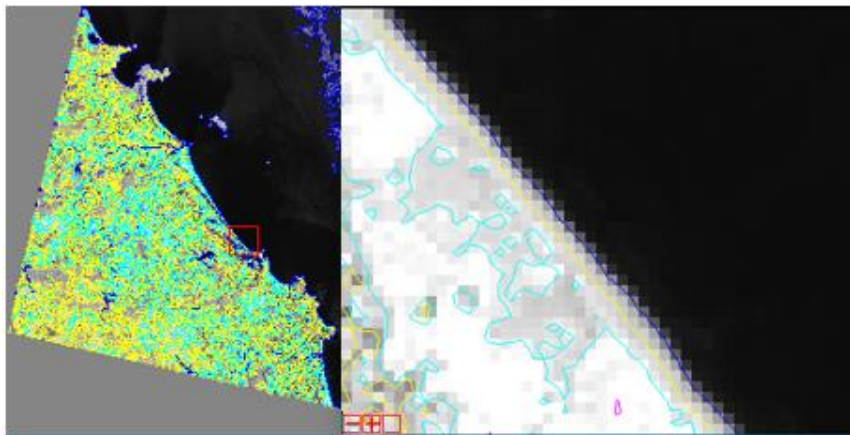
Khu vực	Ngày thu ảnh	Độ phân giải không gian	Ảnh Landsat
Quảng Nam	19/04/2000	30m	LC05
	16/07/2005	30m	LC05
	30/07/2010	30m	LC05
	13/08/2015	30m	LC08
	30/09/2021	30m	LC08

2.2.2. Quy trình thực hiện

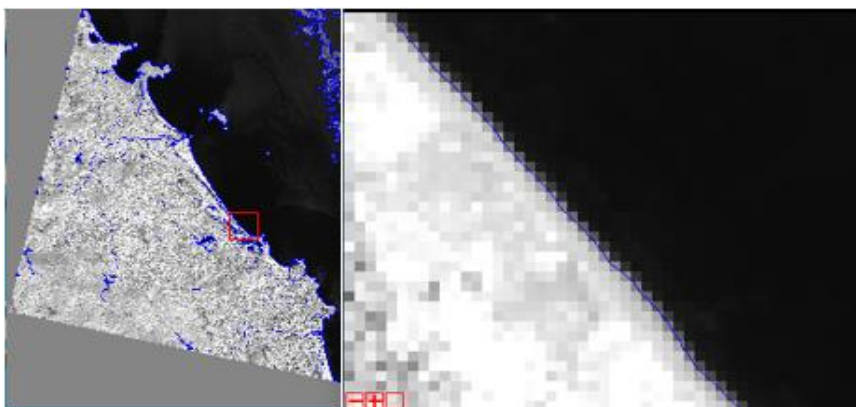
- Nghiên cứu sử dụng công cụ ENVI 4.7 để xử lý ảnh viễn thám qua các bước:
- Hiệu chỉnh hình học: nhằm loại bỏ những sai lệch xảy ra trong quá trình chụp ảnh và đưa ảnh về tọa độ chuẩn có thể tích hợp với các nguồn dữ liệu khác.
 - Chuyển đổi dạng số sang giá trị phản xạ phổ, để giảm sự khác biệt giá 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 bằng công cụ Contour Line (Hình 3–5) để làm nổi bật đường bờ trong ảnh tỷ số (Hình 6). Cụ thể, sau khi phân tách nước và đất sẽ sử dụng công cụ contour line để hiện thị tất cả các ngưỡng contour line (Hình 4), sau đó chọn ngưỡng contour line thích hợp để rút trích đường bờ và phân tích (Hình 5).



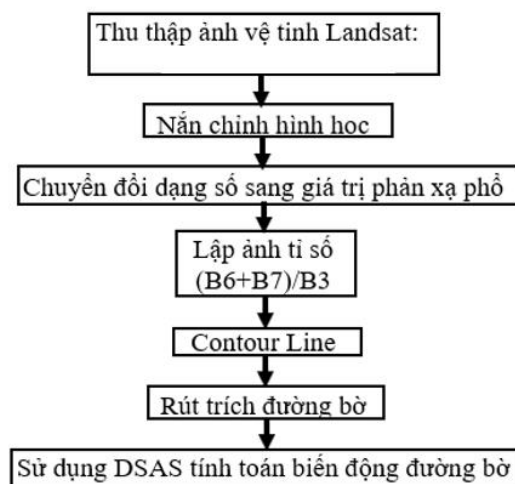
Hình 3. Chọn lệnh thực hiện Contour Line.



Hình 4. Trước khi chọn ngưỡng thích hợp.



Hình 5. Sau khi chọn ngưỡng thích hợp.



Hình 6. Quy trình thực hiện và dữ liệu ảnh viễn thám.

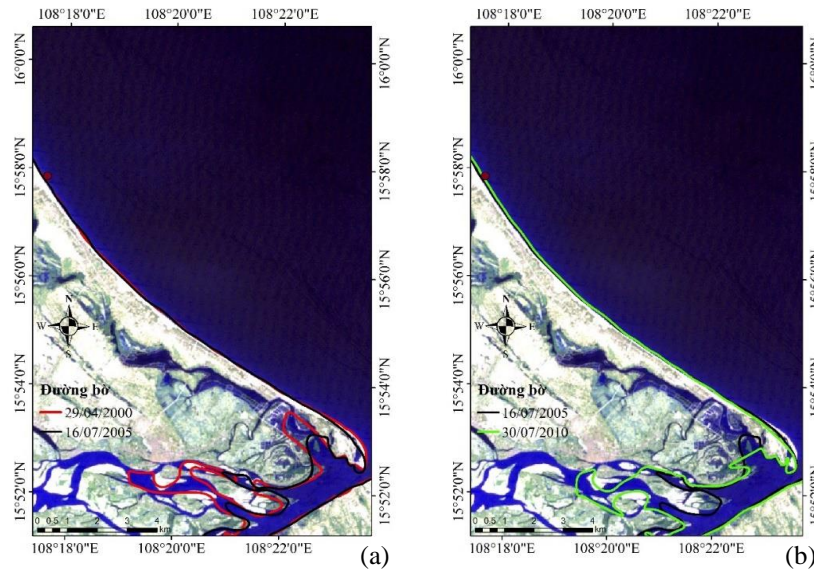
Sau khi rút trích đường bờ của các ảnh viễn thám ở khu vực Quảng Nam ta sẽ đánh giá được biến động đường bờ ở khu vực đó. Tuy nhiên đánh giá biến động đường bờ chỉ mang tính khách quan không định lượng một cách rõ ràng. Để có thể đánh giá sự biến động đường bờ một cách định lượng ta cần phải sử dụng 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 [14].

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 là nơi chứa các đường bờ đã được chọn ra từ viễn thám còn đường gốc 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 cắt qua các đường bờ từ đó ta có thể tính được khoảng cách từ các đường bờ đến đường gốc và đường gốc ở đây được chọn là một đường thẳng song song với các đường bờ. Từ đó tính toán được mức độ thay đổi đường bờ qua các năm.

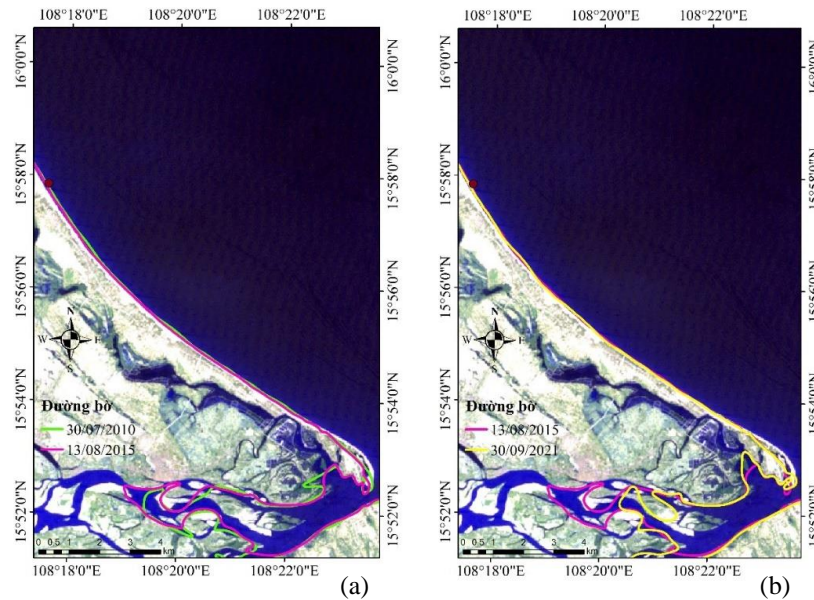
3. Kết quả và thảo luận

3.1. Biến động đường bờ khu vực 1

Khu vực 1 từ xã Điện Ngọc đến Bắc Cửa Đại trong các năm từ 2000 đến 2021 đường bờ xảy ra quá trình xói lở và bồi tụ, nhưng quá trình xói lở chiếm ưu thế hơn so với quá trình bồi tụ, với xói lở đạt khoảng 3,9 m/năm, bồi tụ đạt khoảng 1.0 m/năm và xói lở xảy ra chủ yếu ở khu vực phía Bắc Cửa Đại. Cụ thể, giai đoạn 2000–2005 xói lở đạt khoảng 7,8 m/năm, bồi tụ khoảng 4 m/năm, còn ở khu vực Bắc Cửa Đại thì xói lở mạnh đạt khoảng 14,8 m/năm (Hình 7), ở năm 2005–2010 xói lở khoảng 9,2 m/năm, bồi tụ khoảng 6.5 m/năm, khu vực Bắc Cửa Đại xói lở khoảng 13,8 m/năm (Hình 7), giai đoạn 2010–2015 xói lở khoảng 7,1 m/năm, bồi tụ khoảng 2,5 m/năm, ở khu vực Bắc Cửa Đại xói lở khoảng 4,6 m/năm (Hình 8) và ở giai đoạn 2015–2021 xói lở khoảng 3,6 m/năm, bồi tụ khoảng 2,9 m/năm, khu vực Bắc Cửa Đại xói lở 2,1 m/năm (Hình 8). Nhìn chung quá trình xói lở qua các giai đoạn giảm dần, còn bồi tụ thì lại đan xen tăng giảm. [15] đã cho thấy tốc độ xói lở ở khu vực từ xã Điện Ngọc–Bắc Cửa Đại xói lở khoảng 9.31 m/năm, xói lở mạnh nhất khoảng 18,6 m/năm giai đoạn 2005–2018, ngoài ra xu hướng xói lở còn có sự tuyến tính tăng qua các năm. [16] đã cho thấy tình trạng xói lở mạnh vào mùa gió Đông Bắc trong giai đoạn 2002–2017 đoạn bờ biển chạy dọc theo đường Âu Cơ từ Cửa Đại về phía Đà Nẵng khoảng gần 2 km bị xói lở mạnh, nhiều đoạn bị lún sâu vào đất liền có nơi lên tới 100 m.



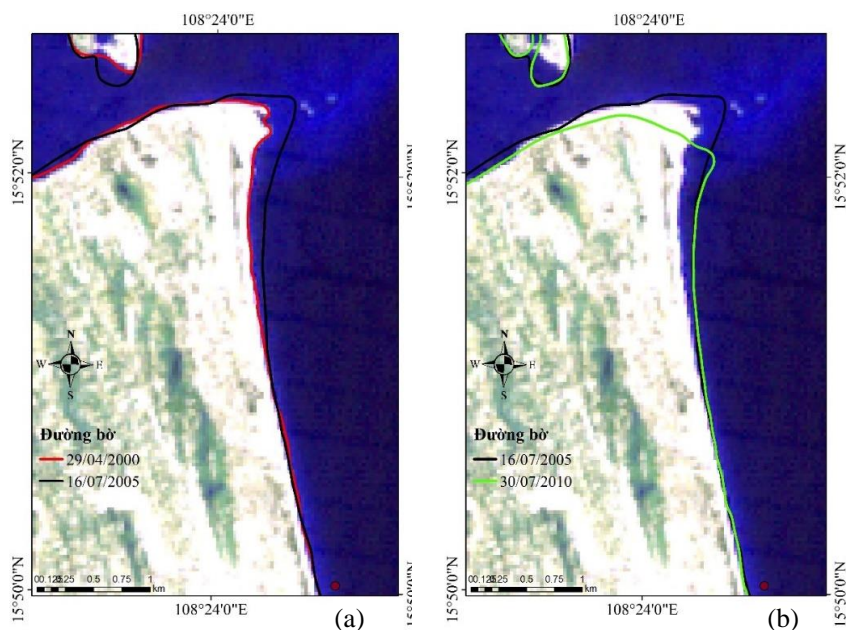
Hình 7. Biến động đường bờ khu vực 1 năm: (a) 2000–2005; (b) 2005–2010.



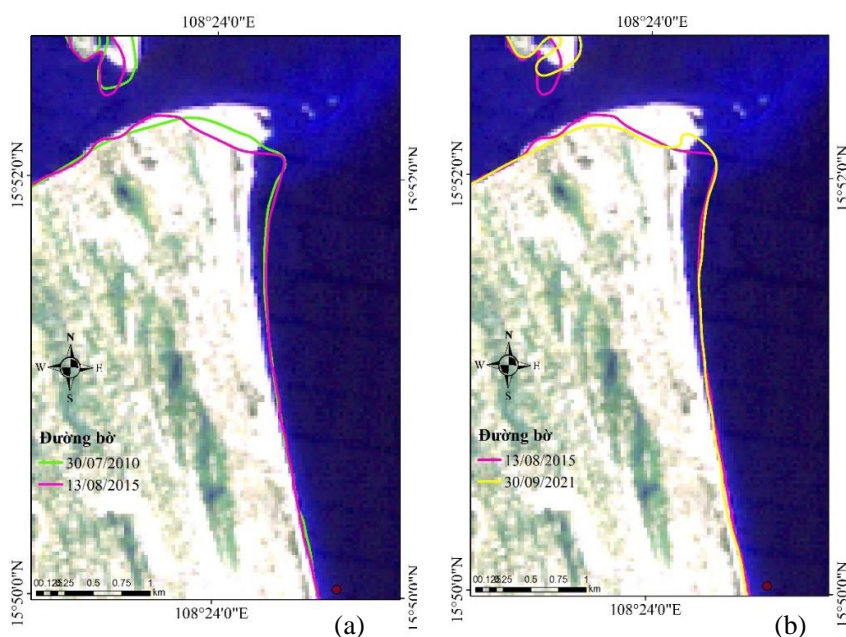
Hình 8. Biến động đường bờ khu vực 1 năm: (a) 2010–2015; (b) 2015–2021.

3.2. Biến động đường bờ khu vực 2

Ở khu vực 2 từ phía Nam Cửa Đại đến bãi biển Duy Hải quá trình xói lở và bồi tụ xảy ra xen kẽ nhau với mức độ tương đối đồng đều từ năm 2000–2021, xói lở đạt 5,9 m/năm còn bồi tụ đạt 6,2 m/năm. Cụ thể, giai đoạn 2000–2005 bồi tụ chiếm ưu thế khoảng 21 m/năm ở khu vực Nam Cửa Đại, xói lở khoảng 3 m/năm (Hình 9), giai đoạn 2005–2010 xói lở chiếm ưu thế khoảng 26 m/năm ở khu vực phía Nam Cửa Đại còn bồi tụ 2,8 m/năm (Hình 9). Ở giai đoạn 2010–2015 xói lở chiếm ưu thế khoảng 9,9 m/năm ở Nam Cửa Đại, bồi tụ 2,4 m/năm (Hình 10), giai đoạn 2015–2021 đường bờ có xu hướng ổn định hơn với xói lở đạt 4,2 m/năm và bồi tụ đạt 4,7 m/năm (Hình 10). Nhìn chung ở khu vực 2 quá trình xói lở và bồi tụ đều có xu hướng giảm dần và đường bờ dần ổn định hơn. [17] đã cho thấy đường bờ phía Nam Cửa Đại giai đoạn 1965–2003 liên tục được bồi tụ khoảng 12 m/năm. [18] cho thấy quá trình xói lở diễn ra với quy mô rộng hơn và khốc liệt hơn tại các khu vực xã Duy Hải, Tam Hải, Tam Quang.



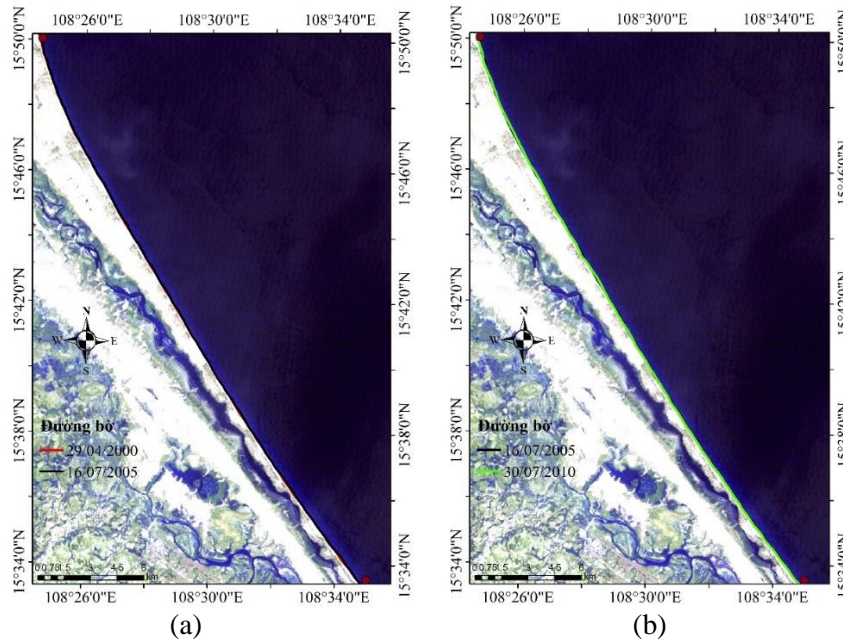
Hình 9. Biến động đường bờ khu vực 2 năm: (a) 2000–2005; (b) 2005–2010.



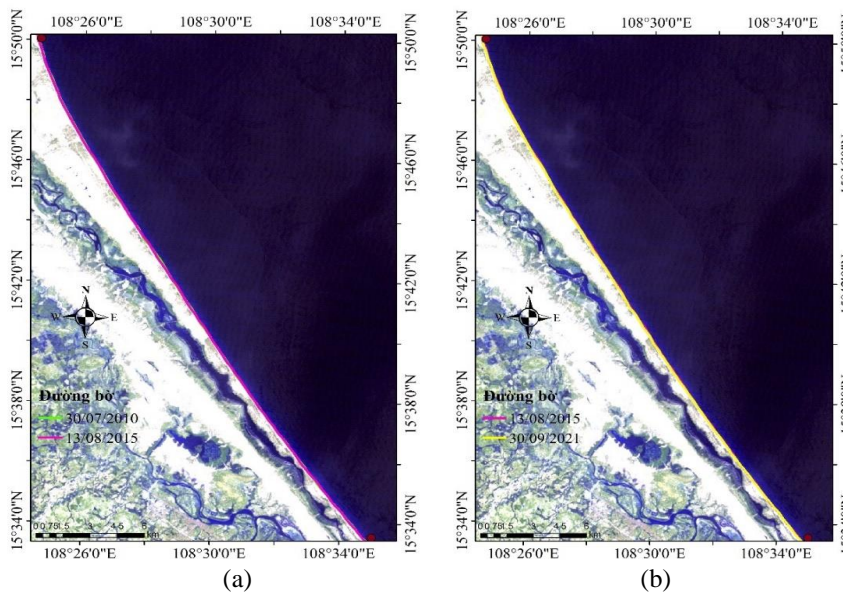
Hình 10. Biến động đường bờ khu vực 2 năm: (a) 2010–2015; (b) 2015–2021.

3.3. Biến động đường bờ khu vực 3

Từ Duy Hải đến bãi biển Tam Tiến ở khu vực 3 trong giai đoạn từ 2000–2021 quá trình xói lở và bồi tụ xảy xen kẽ nhau, tuy nhiên mức độ tương đối thấp và đường bờ có xu hướng ổn định hơn so với 2 khu vực trước đó, xói lở đạt 1,7 m/năm và bồi tụ đạt 1,1 m/năm. Cụ thể, giai đoạn 2000–2005 quá trình xói lở đạt 2,6 m/năm và bồi tụ đạt 4,1 m/năm (Hình 11), ở giai đoạn 2005–2010 xói lở đạt 5,6 m/năm và bồi tụ đạt 4,6 m/năm (Hình 11). Giai đoạn 2010–2015 xói lở đạt 4,1 m/năm còn bồi tụ đạt 3,9 m/năm (Hình 12), giai đoạn 2015–2021 xói lở đạt 4,3 m/năm, bồi tụ đạt 1,6 m/năm (Hình 12). [18] cho thấy đoạn bờ biển kéo dài từ xã Duy Hải đến xã Tam Tiến và bờ đông xã Tam Hải luôn có hiện tượng xói lở và bồi tụ diễn ra đan xen theo không gian và thời gian. Tuy nhiên, ở một số đoạn đã có công trình bảo vệ bờ nhưng vẫn bị sóng phá hoại trong thời gian có gió bão.



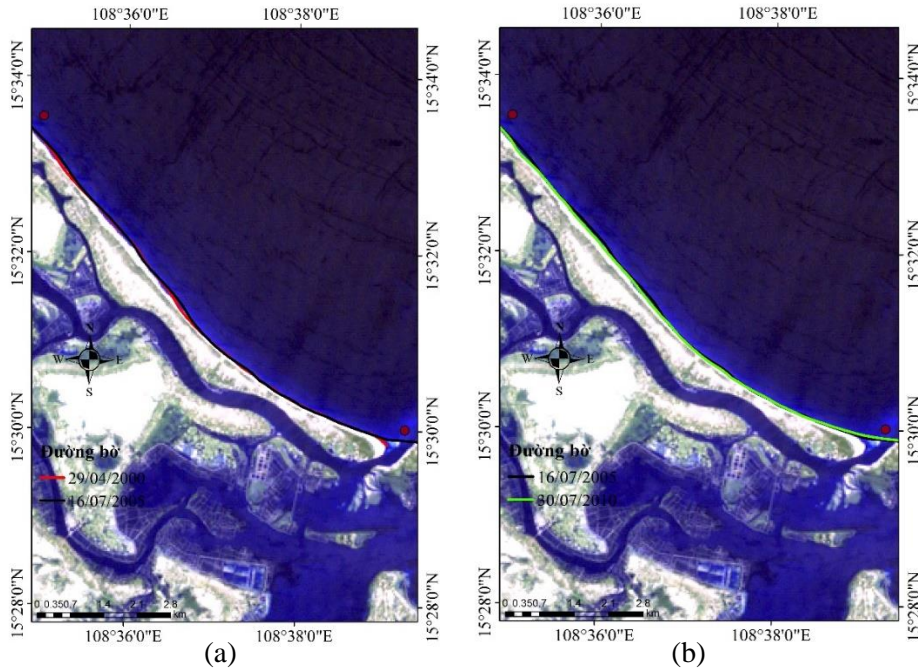
Hình 11. Biến động đường bờ khu vực 3 năm: (a) 2000–2005; (b) 2005–2010.



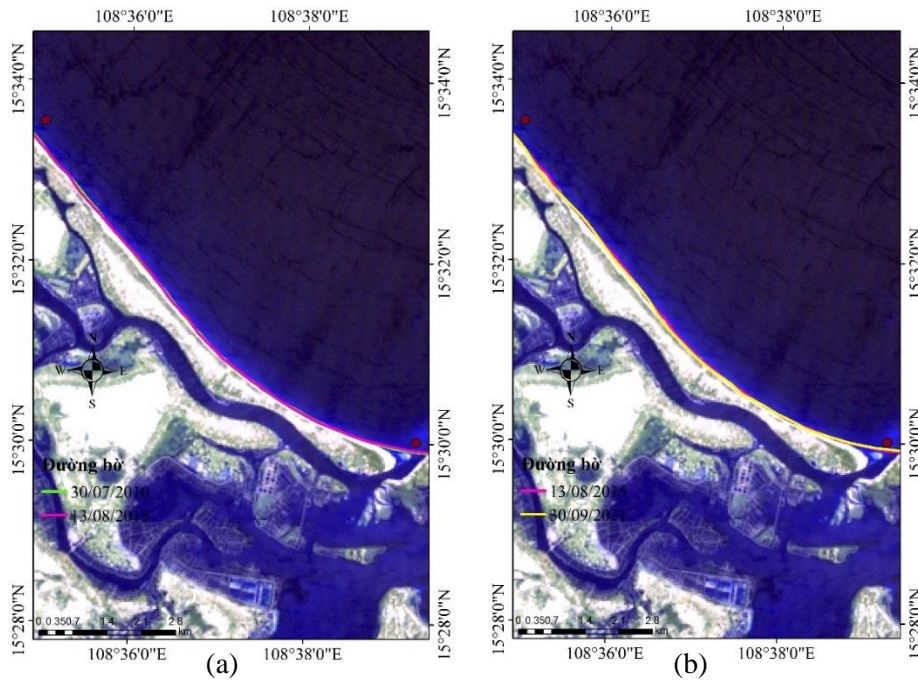
Hình 12. Biến động đường bờ khu vực 3 năm: (a) 2010–2015; (b) 2015–2021.

3.4. Biến động đường bờ khu vực 4

Ở khu vực 4 từ Tam Tiên đến Tam Hòa quá trình xói lở và bồi tụ xảy ra xen kẽ trong giai đoạn từ 2000–2021 với bồi tụ đạt 2,1 m/năm còn xói lở đạt 1,9 m/năm. Cụ thể, giai đoạn 2000–2005 bồi tụ chiếm ưu thế đạt khoảng 5,3 m/năm còn xói lở đạt 1,6 m/năm (Hình 13), giai đoạn 2005–2010 xói lở chiếm ưu thế đạt khoảng 7,4 m/năm, bồi tụ đạt 2,7 m/năm (Hình 13). Ở giai đoạn 2010–2015 xói lở và bồi tụ xảy ra tương đối đồng đều, xói lở đạt 2,5 m/năm còn bồi tụ 2,3 m/năm (Hình 14), giai đoạn 2015–2021 xói lở chiếm ưu thế hơn, xói lở đạt 4,8 m/năm còn bồi tụ đạt 1,4 m/năm. Nhìn chung ở khu vực 4 quá trình xói lở xảy ra tăng giảm qua các giai đoạn, còn quá trình bồi tụ có xu hướng giảm dần qua các giai đoạn và bồi tụ tập trung chủ yếu ở khu vực cửa sông Trường Giang. Tổng thể từ khu vực xã Điện Ngọc đến Tam Hòa ở 4 giai đoạn từ năm 2000–2021 xảy ra quá trình xói lở và bồi tụ, với xói lở đạt khoảng 2,4 m/năm còn quá trình bồi tụ đạt 2,3 m/năm và dần đạt trạng thái cân bằng.



Hình 13. Biến động đường bờ khu vực 4 năm: (a) 2000–2005; (b) 2005–2010.



Hình 14. Biến động đường bờ khu vực 3 năm 2010 – 2015 và 2015 – 2021.

4. Kết luận

Nhìn chung khu vực đường bờ biển tỉnh Quảng Nam đều xảy ra 2 quá trình xói lở và bồi tụ, tuy nhiên quá trình xói lở chiếm ưu thế hơn ở cả 4 khu vực. Đặc biệt, khu vực Bắc Cửa Đại bị xói lở nghiêm trọng nhưng mức độ cũng giảm dần qua các giai đoạn, còn ở khu vực Nam Cửa Đại xói lở và bồi tụ xen kẽ qua từng giai đoạn, khu vực Duy Hải đến Tam Tiến đường bờ tương đối ổn định hơn nhưng xói lở vẫn chiếm ưu thế còn ở khu vực Tam Hòa xói–bồi cũng xảy ra xen kẽ nhưng bồi tụ chiếm ưu thế hơn và tập trung chủ yếu ở khu vực gần cửa sông Trường Giang.

Từ các kết quả thu được, cần tiếp tục giám sát, nghiên cứu và đánh giá biến động đường bờ tỉnh Quảng Nam trong thời gian tới để kịp thời có những giải pháp phòng chống xói lở để hạn chế ảnh hưởng tới cơ sở hạ tầng và người dân sinh sống vùng ven biển.

Hạn chế và hướng phát triển:

- Ảnh vệ tinh có độ phân giải không gian ở mức trung bình do đó cần có ảnh có độ phân giải cao hơn để phân tích, cũng như tăng mức độ tin cậy cho kết quả.

- Cần khảo sát thêm số liệu thực đo đường bờ ở khu vực nghiên cứu để so sánh với kết quả ảnh viễn thám từ đó thêm độ tin cậy cho kết quả rút trích đường bờ từ ảnh viễn thám.

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.; Tính toán: N.T.T.; Phân tích kết quả: 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-HCM trong khuôn khổ Đề tài mã số T2021-03.

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 các nghiên cứu trước đây; không có sự tranh chấp lợi ích trong nhóm tác giả.

Tài liệu tham khảo

1. Bình, T.V.; Mậu, L.Đ. Sự biến đổi hình thái địa hình bãi biển và cán cân vật liệu tại dải ven biển Quảng Nam. *Tuyển tập Nghiên Cứu Biển* 2016, 22, 15–28.
2. Ciritci, D.; Türk, T. Automatic Detection of Shoreline Change by Geographical Information System (GIS) and Remote Sensing in the Göksu Delta, Turkey. *J. Indian Soc. Remote Sens.* 2019, 233–243.
3. Thangaperumal, S.; Cyril Magimai Antoz, A.; Shivaharan, R., Marina shoreline change detection using remote sensing and GIS. *Int. J. Civil Eng. Technol.* 2020, 85–96.
4. Abdoul Jelil, N. Monitoring long-term shoreline changes along Yanbu, Kingdom of Saudi Arabia using remote sensing and GIS techniques. *J. Taibah Univ. Sci.* 2020, 762–776.
5. Nhan, N.T.; Tung, N.X.; Anh, B.T.B.; Thanh, N.X. Application of remote sensing, gis and digital shoreline analysis system (dsas) to assess the changes of the red river bank in the area from Son Tay to Gia Lam (Hanoi). *J. Mar. Sci. Technol.* 2018, 267–277.
6. Tuan, T.A.; Nam, L.D.; Nguyet, N.T.A.; Hong, P.V.; Ngan, N.T.A.; Phuong, V.L. Interpretation of water indices for shoreline extraction from Landsat 8 oli data on the southwest coast of Vietnam. *J. Mar. Sci. Technol.* 2018, 339–249.
7. Mau, L.Đ.; Trung, P.B.; Binh, T.V. Erosion features along cua dai beach, Hoi An city, Quang Nam province, Viet Nam. *J. Mar. Sci. Technol.* 2018, 21–31.
8. Cham, D.D.; Minh, N.Q.; Lam, N.T.; Thanh, N.T. Identification of Erosion–Accretion Causes and Regimes Along the Quang Nam Coast, Vietnam. Proceedings of the 10th International Conference on Asian and Pacific Coasts (APAC 2019) Hanoi, Vietnam, September 25–28, 2019, 809–814.
9. Quang, D.N.; Ngan, V.H.; Tam, H.S.; Viet, N.T.; Tinh, N.X.; Tanaka, H. Long-Term Shoreline Evolution Using DSAS Technique: A Case Study of Quang Nam Province, Vietnam. *J. Mar. Sci. Eng.* 2021, 9(10), 1124.
10. Thông, N.; Duc, H.T.; Hung, P.Q.; Yen, T.H. Numerical study of sediment transport in Thu–Bon estuary and coastal areas of Hoi–An City. *IOP Conf. Series: Earth Environ. Sci.* 2022, 964, 1–11.
11. Cục Thống kê Quảng Nam, niên giám thống kê, 2015.
12. Trung tâm Khí tượng Thủy văn Quảng Nam. Báo cáo đặc điểm khí hậu thủy văn Quảng Nam giai đoạn 1980–2010, 2012.

13. https://quangnam.gov.vn/webcenter/portal/ubnd/pages_tin-tuc/chitiet?dDocName=PORTAL135230
14. 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.
15. Đông, N.H.; Thảo, Đ.T.P.; Hòa, D.T.T.; Hiền, T.T. Kết hợp sử dụng ảnh viễn thám Landsat và Sentinel–2 trong quá trình giám sát biến động bờ biển khu vực tỉnh Quảng Nam. *Tap chí Khoa học Tài nguyên và Môi trường* **2019**, 28, 16–26.
16. Mầu, L.Đ. Đặc điểm xói lở, bồi tụ tại dải ven biển Quảng Nam. NXB Khoa học tự nhiên và Công nghệ, 2014, tr. 296.
17. Mầu, L.Đ. Đặc điểm bên đổi đường bờ tại khu vực Cửa Đại (Hội An) từ năm 1965–2003. *Tuyển Tập Nghiên Cứu Biển* **2006**, XV, 38–48.
18. Bình, T.V.; Mầu, L.Đ.; Thái, V.V. Một số vấn đề địa mạo phục vụ quản lý môi trường bờ biển tỉnh Quảng Nam. *Tap chí Khoa học và Công nghệ Biển* **2019**, 79–91.

Analysis and assessment of erosion and deposition in Quang Nam province 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 based on remote sensing technology combined with GIS is evaluated as one of the approaches to defining coastlines quite simply but very effectively on a large scale. The article uses Landsat images from 2000 to 2021 to extract and analyze shoreline changes in Quang Nam province. The results show that the coastline of Quang Nam province has two processes of erosion and deposition, but the erosion process is more dominant. In particular, in the North Cua Dai area, erosion is more dominant, fluctuating from 2.1 to 14.8 m/year and decreasing over the years, while in the Southern Cua Dai area, erosion and deposition occurs alternately through stages and levels. The degree also decreases over the years, in Duy Hai and Tam Tien areas, the shoreline is relatively stable, but erosion still prevails, fluctuating around 2.6–5.6 m/year, while accretion fluctuates around 1.6–4.1 m/year. in the area of Tam Tien to Tam Hoa, erosion - deposition occurs alternately with the erosion rate of about 1.6–7.4 m/year, deposition of about 1.4–5.3 m/year. In general, in 4 stages in all 4 regions from 2000 to 2021, the shoreline erodes about 2.4 m/year, deposition is about 2.3 m/year and gradually reaches equilibrium. Research results can contribute useful information to local authorities to have solutions for planning and managing coastal areas.

Keywords: Shoreline extraction; GIS; Erosion; Deposition; Quang Nam.

Bài báo khoa học

Tính toán và phân tích chỉ số bốc thoát hơi tiềm năng và chỉ số thỏa mãn nhu cầu nước của lúa và một số cây màu tại huyện Tĩnh Gia và Quan Hóa, tỉnh Thanh Hóa trong thời kỳ 1991–2020

Đào Anh Công^{1*}, Nguyễn Văn Lượng¹, Lê Hữu Huân¹, Phan Thị Như Xuyên¹, Ngô Sỹ Giai²

¹ Đài Khí tượng Thủy văn khu vực Bắc Trung Bộ; daoanhcong.k55.hus@gmail.com; luongnvkttv@gmail.com, huanbtb@gmail.com, phannhuxuyen@gmail.com.

² Viện khoa học Khí tượng Thủy văn và biến đổi khí hậu; ngosygiai@gmail.com.

*Tác giả liên hệ: daoanhcong.k55.hus@gmail.com; Tel: +84–948946895

Ban Biên tập nhận bài: 12/3/2022; Ngày phản biện xong: 19/4/2022; Ngày đăng bài: 25/5/2022

Tóm tắt: Để góp phần giúp nâng cao chất lượng sản xuất nông nghiệp của tỉnh Thanh Hóa, nhóm tác giả đã tập trung vào nghiên cứu, phân tích chỉ số PET và chỉ số WRSI cho hai huyện Tĩnh Gia và Quan Hóa từ 1991–2000 cho 3 vụ lúa và vụ hè thu của 3 loại cây lương thực khác. Các kết quả cho thấy giá trị PET dịch chuyển theo chu kỳ: Tháng 12 và tháng 1 thấp nhất năm, tháng 3–5 giá trị tăng dần, giá trị đạt đỉnh vào tháng 6–7 sau đó giảm dần từ tháng 8–11. Giá trị của PET ở Quan Hóa cao hơn ở Tĩnh Gia. Giá trị WRSI của lúa đông xuân ở các huyện ở mức hạn nặng đến rất nặng; Với lúa hè thu, huyện Quan Hóa có chỉ số hạn nhẹ và không bị hạn, cao hơn so với Tĩnh Gia ở mức hạn trung bình và hạn nhẹ; Với cây lúa mùa, cả 2 huyện đều có độ thỏa mãn nhu cầu nước đạt mức hạn trung bình. Đối với cây ngô, cây lạc và cây đậu tương hè thu, Quan Hóa đạt mức thỏa mãn nhu cầu nước hạn trung bình, huyện Tĩnh Gia ở mức hạn nặng và hạn rất nặng. Trong từng vụ cây trồng, giá trị năng suất và WRSI có chiều hướng tỉ lệ thuận với nhau, tuy nhiên khi WRSI biến động khá nhiều theo từng năm thì năng suất cây trồng chỉ có biến động nhẹ.

Từ khóa: PET; WRSI; Bốc thoát hơi tiềm năng; Mức độ thỏa mãn nhu cầu nước; Năng suất cây trồng.

1. Mở đầu

Biến đổi khí hậu đang có những tác động tiêu cực đến mọi khía cạnh của kinh tế–xã hội nói chung và nông nghiệp nói riêng. Bên cạnh sự gia tăng về cường độ cũng như số lượng của các loại hình thiên tai như bão–áp thấp nhiệt đới (ATNĐ), mưa lớn, hạn hán, không khí lạnh, ... sự thay đổi về chế độ mưa và chế độ nhiệt cũng ảnh hưởng rất lớn đến sản xuất nông nghiệp ở khu vực Bắc Trung Bộ. Để ứng phó với những thay đổi không ngừng của khí hậu, cần sử dụng nguồn tài nguyên khí hậu một cách hợp lý, mà trong đó tài nguyên nước được coi là tài nguyên cần thiết nhất.

Chỉ số bốc thoát hơi tiềm năng (*Potential Evapotranspiration, PET*) và chỉ số thỏa mãn nhu cầu nước của cây trồng (*Water Requirement Satisfaction Index, WRSI*) được tính từ hai yếu tố cơ bản trong khí tượng là lượng mưa và nhiệt độ là thông tin quan trọng giúp xác định các thông tin nông nghiệp về quản lý nguồn nước phù hợp cho từng giai đoạn sinh trưởng của cây trồng, góp phần hỗ trợ người làm công tác sản xuất nông nghiệp lựa chọn loại cây và mùa vụ canh tác, chăm sóc phù hợp để mang lại hiệu quả, sản lượng cao. Năm 2018, Nguyễn Thị

Hoàng Anh, Mai Kim Liên [1] đã tính toán PET và lượng mưa, từ đó xác định được mùa sinh trưởng cây trồng và khả năng cung cấp nước cho các loại cây trồng tại huyện Quỳnh Hợp theo từng tháng trong năm, xây dựng đường quá trình mưa tích lũy, giúp dự báo chính xác mùa sinh trưởng của cây trồng và thời gian cung cấp nước tưới. Năm 2014, [2] sử dụng phương trình Penman–Monteith tính toán bốc thoát hơi nước cây trồng tham khảo ETo và phương pháp hệ số cây trồng đơn để xác định hệ số cây trồng Kc cho các giai đoạn sinh trưởng của cây Lạc. Năm 2018, [3] đã nghiên cứu và tính toán hệ số căng thẳng về nước và chỉ số thỏa mãn như cầu nước đối với cây lúa và ngô ở tỉnh An Giang. Các nghiên cứu trên hầu hết mang tính địa phương hoặc chỉ hướng đến một số loại cây đặc thù, chưa có sức bao phủ.

Tỉnh Thanh Hóa thuộc khu vực Bắc Trung Bộ là tỉnh có tốc độ phát triển vượt bậc những năm gần đây, trong đó tỷ trọng ngành nông nghiệp chiếm tỷ trọng không nhỏ trong cơ cấu kinh tế, để góp phần giúp nâng cao chất lượng sản xuất nông nghiệp của tỉnh, bài báo này tập trung vào nghiên cứu các phương pháp tính toán, phân tích PET và WRSI cho 3 vụ lúa đông xuân, lúa mùa và hè thu cùng với vụ hè thu của cây ngô, lạc và đậu tương cho tỉnh Thanh Hóa, giúp xác định được mức độ thỏa mãn nhu cầu nước trong từng giai đoạn sinh trưởng của cây trồng trong các vụ, từ đó giúp đưa ra được các phương án tưới tiêu hợp lý, quản lý nguồn tài nguyên nước một cách tối ưu và góp phần nâng cao năng suất và sản lượng cây trồng.

2. Phương pháp nghiên cứu

2.1. Khu vực nghiên cứu



Hình 1. Bản đồ huyện Quan Hóa và Tĩnh Gia.

Tĩnh Gia có diện tích tự nhiên: 455,61 km², dân số 307.304 (2019) là huyện cực nam của tỉnh Thanh Hoá, phía nam giáp tỉnh Nghệ An, phía đông giáp Biển Đông, phía bắc giáp huyện Quảng Xương, phía tây giáp huyện Nông Cống và huyện Như Thanh. Vừa có biển, vừa có núi rừng cùng nhiều danh thắng, huyện Tĩnh Gia có nhiều lợi thế phát triển kinh tế tương đối toàn diện, đặc biệt là phát triển du lịch, nông nghiệp, công nghiệp và thủy, hải sản.

Năm 2002, kinh tế huyện Tĩnh Gia đã có bước phát triển vượt bậc với tốc độ tăng trưởng GDP đạt 11%. Có được thành công ấy là do huyện Tĩnh Gia đã thực hiện thành công chủ trương chuyển đổi cơ cấu cây trồng, vật nuôi và nuôi trồng thủy sản. Theo đó, cơ cấu kinh tế

chuyển dịch tích cực, tỷ trọng nông–lâm–ngư nghiệp giảm từ 53,75% trước đây xuống còn 41,5%, tỷ trọng công nghiệp–xây dựng tăng từ 18,6% lên 24,5%. Các loại cây lương thực và công nghiệp tăng nhanh cả về diện tích lẫn năng suất. Trong đó, năng suất lúa năm 2002 đạt 40,5 tạ/ha. Đặc biệt, diện tích cây lạc–cây chủ lực trong sản xuất hàng hoá xuất khẩu–tăng rất nhanh do toàn huyện tập trung thực hiện chiến lược mở rộng diện tích lạc thu, thu đồng bằng phương pháp phủ nylon. Nhờ đó, diện tích cây lạc năm 2002 đạt 5.219 ha, tăng 71% so với năm 2000; năng suất bình quân năm 2000 đạt 21,3 tạ/ha, tăng 63% so với năng suất bình quân 3 năm (1997–1999).

Quan Hóa là huyện miền núi nằm ở phía tây tỉnh Thanh Hóa, thị trấn Quan Hóa cách thành phố Thanh Hóa 134 km theo hướng quốc lộ 15A và quốc lộ 217. Quan Hóa có diện tích tự nhiên 99.069,88 ha, chiếm 8,8% diện tích tự nhiên của tỉnh Thanh Hóa, là huyện có diện tích tự nhiên rộng thứ 2 của tỉnh Thanh Hóa (sau huyện Thường Xuân), có dân số 53.070 (2019).

Địa bàn Quan Hóa thuộc vùng núi cao, có địa giới hành chính như sau: Phía tây giáp huyện Mường Lát (tỉnh Thanh Hóa) và huyện Viêng Xay, tỉnh Hủa Phăn (nước Cộng hòa dân chủ nhân dân Lào). Phía bắc giáp huyện Vân Hồ (tỉnh Sơn La) và huyện Mai Châu (tỉnh Hòa Bình). Phía đông giáp huyện Bá Thước (tỉnh Thanh Hóa). Phía nam giáp huyện Quan Sơn (tỉnh Thanh Hóa).

Năm 2019, Quan Hóa có tổng giá trị sản xuất (theo giá hiện hành) ước đạt 2.391,0 tỷ đồng. Trong đó: Tỷ trọng cơ cấu kinh tế: Nông lâm nghiệp và thủy sản ước đạt 980,29 tỷ đồng, chiếm 41%; Công nghiệp–xây dựng ước đạt 702,94 tỷ đồng, chiếm 29,4%; Dịch vụ ước đạt 707,72 tỷ đồng, chiếm 29,6%; Tốc độ tăng giá trị sản xuất đạt 17,9%; Thu nhập bình quân đầu người đạt 27,83 triệu đồng, đạt 101,2% kế hoạch, tăng 2,73 triệu đồng so với cùng kỳ.

Tổng diện tích gieo trồng toàn huyện: 6.641 ha. Trong đó: diện tích vụ chiêm xuân: 4.529 ha; diện tích vụ thu: 2.112 ha; diện tích vụ Đông 413 ha. Tổng sản lượng lương thực có hạt ước đạt 22.013 tấn.

2.2. Chỉ số PET

Theo Rosenberg, PET (mm/ngày) là “Sự bốc hơi từ một bề mặt mở rộng của cây xanh ngăn che khuất hoàn toàn mặt đất, tạo ra lực cản ít hoặc không đáng kể đối với dòng chảy của nước, và luôn được cung cấp đầy đủ nước. Khả năng thoát hơi nước không thể vượt quá lượng nước bốc hơi tự do trong cùng điều kiện thời tiết” [13].

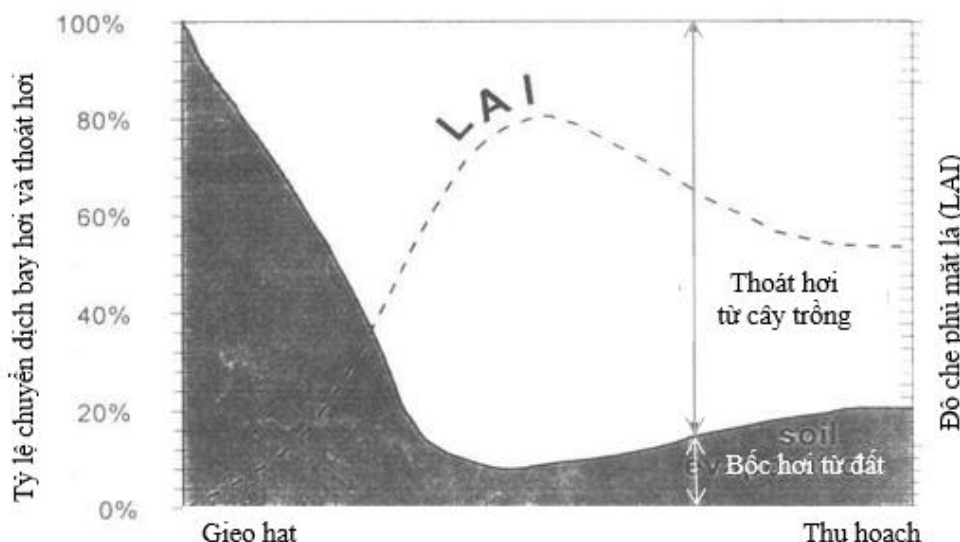
Theo một số định nghĩa khác thì PET là “Khả năng thoát hơi nước từ đất cộng với sự thoát hơi nước của thực vật. Tốc độ bay hơi phụ thuộc vào năng lượng bức xạ của mặt trời, gió, độ hút hơi của không khí và nhiệt độ”.

Theo định nghĩa của Tổ chức Nông Lương của Liên Hợp Quốc (*Food and Agriculture Organization of the United Nations, FAO*) thì PET là “Sự bay hơi (từ đất) và thoát hơi nước (từ cây trồng) xảy ra đồng thời và không có cách nào dễ dàng để phân biệt giữa hai quá trình. Ngoài lượng nước sẵn có trong lớp đất mặt, sự bay hơi từ đất trồng trọt chủ yếu được xác định bởi phần bức xạ mặt trời đến bề mặt đất. Tỷ lệ này giảm dần trong thời kỳ sinh trưởng khi cây trồng phát triển và tán cây che phủ ngày càng nhiều diện tích mặt đất. Khi cây trồng còn nhỏ, nước bị mất chủ yếu do bay hơi đất, nhưng một khi cây trồng phát triển tốt và che phủ hoàn toàn đất thì quá trình thoát hơi nước sẽ trở thành chính. Trong hình 1, sự phân chia thoát hơi nước thành thoát hơi nước và thoát hơi nước được vẽ tương ứng với diện tích lá trên một đơn vị bề mặt của đất bên dưới nó. Khi gieo hạt, gần 100% ET đến từ bay hơi nước, trong khi ở độ che phủ toàn vụ, hơn 90% ET đến từ thoát hơi nước” [8].

PET là chỉ số cơ bản trong khí tượng nông nghiệp, chỉ số PET có thể thay thế bằng chỉ số ETo (bốc thoát hơi tham chiếu). Có các phương pháp tính PET (ETo) như sau [4, 10–12]:

- Phương pháp Penman–Monteith [8][15]: ETo là hàm số phụ thuộc vào các thông số thời tiết tại chỗ và xung quanh khu vực khảo sát theo công thức 1 dưới đây:

$$ET_o = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T+273} u_2 (e_x - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34u_2)} \quad (1)$$



Hình 3. Tỷ lệ chuyển dịch giữa bay hơi và thoát hơi nước trong vòng đời cây trồng.

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

- Phương pháp Priestley–Taylor:

$$ET_o = \frac{1}{\lambda} \left(\frac{\Delta R_n - G}{\Delta + \gamma} \right) \quad (2)$$

Trong đó R_n là bức xạ mặt trời thực trên bề mặt cây trồng ($MJ/m^2/ngày$); G là mật độ dòng nhiệt trong đất ($MJ/m^2/ngày$); γ là hằng số psychrometric; Δ là độ dốc của áp suất hơi nước trên đường cong quan hệ nhiệt độ ($kPa/^{\circ}C$); α : Hệ số Priestley–Taylor; λ là nhiệt bốc hơi tiềm năng ($MJ\ kg^{-1}$).

- Phương pháp thornthwaite: [6]

$$PET = 16 \left(\frac{L}{12} \right) \left(\frac{N}{30} \right) \left(\frac{10T_d}{I} \right)^{\alpha} \quad (3)$$

Trong đó PET là lượng bốc thoát hơi tiềm năng; L là trung bình giờ ban ngày của tháng được tính (giờ); N là số ngày trong tháng được tính (ngày); T_d là nhiệt độ trung bình ngày của tháng ($^{\circ}C$).

$$\alpha = (6.75 * 10^{-7})I^3 - (7.71 * 10^{-5})I^2 + (1.792 * 10^{-2})I + 0.49239;$$

$$I = \sum_{i=1}^{12} \left(\frac{T_{mi}}{5} \right)^{1.514} \text{ với } T_m \text{ là nhiệt độ trung bình tháng.}$$

Trong bài báo này, chúng tôi sử dụng Phương pháp Hargreaves để tính chỉ số PET (ET_o – bốc thoát hơi tham chiếu):

Phương pháp Hargreaves

$$ET_o = 0.0023(T_{tb\text{tuần}} + 17.8) (T_{\max} - T_{\min})^{0.5} R_a \quad (4)$$

Trong đó T_{tb} tuần là nhiệt độ trung bình của tuần ($^{\circ}C$); T_{max} là nhiệt độ cao nhất trong tuần ($^{\circ}C$); T_{min} là nhiệt độ thấp nhất tuần ($^{\circ}C$); R_a là bức xạ trung bình ngày theo vĩ độ ($MJm^{-2}/ngày$).

Giá trị R_a được lấy từ bảng 1 dưới đây.

Bảng 1. Bức xạ trung bình ngày R_a ($MJm^{-2}/ngày$) theo vĩ độ.

Vĩ độ	Các tháng, Bắc bán cầu											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
24	24,6	28,8	33,5	37,6	39,7	40,3	39,9	38,3	34,9	30,2	25,5	23,3
22	25,7	29,7	34,1	37,8	39,5	40,0	39,6	38,4	35,4	31,0	26,6	24,5
20	26,8	30,6	34,7	37,9	39,3	39,5	39,3	38,3	35,8	31,8	27,7	25,9
18	27,9	31,5	35,2	38,0	39,0	39,1	38,9	38,2	36,1	32,5	28,7	26,8
16	28,9	32,3	35,7	38,1	38,7	38,0	38,5	38,1	36,4	33,2	29,6	27,9
14	29,9	33,1	36,1	38,1	38,4	38,1	38,1	38	36,7	33,9	30,6	28,9
13	30,4	33,5	36,3	38,1	38,2	37,9	37,9	37,9	36,8	34,2	31,1	29,5
12	30,9	33,8	36,5	38,0	38,0	37,6	37,6	37,8	36,9	34,5	31,5	30,0
10	31,9	34,5	36,9	37,9	37,6	37,0	37,1	37,5	37,1	35,1	32,4	31,0
8	32,8	35,2	37,2	37,8	37,1	36,3	36,5	37,2	37,2	35,6	33,3	32,0
6	33,7	35,8	37,4	37,6	36,6	35,7	35,9	36,9	37,3	36,1	34,1	32,9
4	34,6	36,4	37,6	37,4	36,0	35,0	35,3	36,5	37,3	36,6	34,9	33,9

2.3. Chỉ số WRSI

Theo FAO, WRSI là một chỉ số đánh giá năng suất cây trồng dựa trên sự sẵn có của nước cho cây trồng trong mùa sinh trưởng [9]. WRSI cho một mùa dựa trên tỷ lệ giữa nguồn cung cấp nước và nhu cầu của cây trồng trong một mùa sinh trưởng. Việc phân loại các cấp thỏa mãn nhu cầu nước và các mức độ được mùa được thể hiện ở bảng 2 [5].

Bảng 2. Phân loại các cấp hạn và mức độ được mùa theo chỉ số WRSI áp dụng ở Việt Nam.

Cấp độ	Chỉ số WRSI (%)	Phân loại mức độ thỏa mãn	Phân loại mức độ được mùa
1	100	Hoàn toàn thỏa mãn	Được mùa lớn
2	95 – 99	Không bị hạn	Được mùa
3	81 – 94	Hạn nhẹ	Trung bình
4	61 – 80	Hạn trung bình	Tạm được
5	51 – 60	Hạn nặng	Kém
6	<50	Hạn rất nặng	Mất mùa

Chỉ số WRSI được tính bằng tỷ lệ giữa lượng nước bốc hơi thực tế theo mùa (AET) với nhu cầu nước cây trồng theo mùa (WR) [6]:

$$WRSI = (AET/WR)*100 \tag{5}$$

WR được tính từ bốc thoát hơi tiềm năng (PET) hoặc bốc thoát hơi tham chiếu (ET_o) có sử dụng hệ số cây trồng (K_c) để điều chỉnh theo giai đoạn sinh trưởng của cây trồng: $WR = K_c * PET$.

AET được tính theo công thức: $AET_i = SW_{i-1} + PPT_i - SW_i$ với PPT là lượng mưa, SW là ẩm trong đất và i là thời điểm.[20]

Công thức này khá phức tạp vì đòi hỏi phải có số liệu ẩm trong đất, vốn rất khó để đo lường và ước tính.

Chỉ số WRSI cũng có thể tính theo công thức sau đây [16][17]:

$$WRSI = (\sum ET_a / \sum ET_c) * 100 \tag{6}$$

Trong đó ET_a là tổng lượng bốc thoát hơi của cây trồng trong điều kiện thực tế; ET_c là tổng lượng nhu cầu nước của cây trồng. [18]

a) Các bước tính lượng bốc hơi thực tế ET_a :

Tính lượng mưa hữu hiệu tuần i , Pe_{ffi} :

$$Pe_{ffi} = P_{totali} * 0.8 \tag{7}$$

Trong đó Pe_{ffi} là tổng lượng mưa hữu hiệu của tuần i ; P_{totali} là tổng lượng mưa tuần i .

Tính hệ số căng thẳng về nước (K_{skhi}) do khô hạn làm giảm tổng lượng bốc thoát hơi thực tế của cây trồng (ET_a) cho các tuần i theo công thức [19]:

$$K_{skhi} = Pe_{ffi} / ET_{oi} \tag{8}$$

Trong đó $Pe_{ffi} \geq ET_{oi}$, $Pe_{ffi} / ET_{oi} \geq 1.0$ thì $K_{skhi} = 1.0$; $Pe_{ffi} < ET_{oi}$, $Pe_{ffi} / ET_{oi} < 1.0$ thì $K_{skhi} = Pe_{ffi} / ET_{oi}$; $Pe_{ffi} = 0$, $Pe_{ffi} / ET_{oi} = 0$ thì $K_{skhi} = 0$.

Tính tổng lượng bốc thoát hơi thực tế cho cây trồng (ET_a) theo tuần i , cho các giai đoạn i , bao gồm 4 giai đoạn: đầu vụ; phát triển; giữa vụ; và cuối vụ theo công thức:

$$ET_{ai} = K_{skhi} * WR_i = K_{skhi} * K_{ci} * ET_{oi} \tag{9}$$

Trong đó hệ số K_c cho từng giai đoạn được tham khảo từ tài liệu tiêu chuẩn Việt Nam cho nông nghiệp TCVN 8641: 2011 [7]. Trong khuôn khổ báo cáo này, chúng tôi sử dụng hệ số K_c tham khảo từ bảng 3.

Bảng 3. Hệ số K_c bình quân của một số cây trồng tỉnh Bình Định.

Loại cây trồng	Kc ứng với các giai đoạn sinh trưởng				Trung bình vụ
	Giai đoạn đầu vụ	Giai đoạn phát triển	Giai đoạn giữa vụ	Giai đoạn cuối vụ	
Lúa đông xuân	0.98	1.19	1.27	1.02	1.11
Lúa hè thu	0.96	1.07	1.21	1.02	1.06
Lúa vụ mùa	0.93	1.00	1.17	1.08	1.05
Ngô hè thu	0.73	0.84	0.96	0.75	0.81
Lạc hè thu	0.69	0.82	0.94	0.75	0.80
Đậu tương hè thu	0.85	0.96	1.02	0.75	0.96
Ngô vụ mùa	0.74	0.81	0.97	0.80	0.83
Đậu tương vụ mùa	0.85	0.94	0.98	0.80	0.92

2.4. Số liệu sử dụng

Trong khuôn khổ báo cáo này, chúng tôi đã thu thập số liệu quan trắc trong khoảng thời gian từ 1991–2020 bao gồm số liệu nhiệt độ trung bình ngày, nhiệt độ tối cao ngày, nhiệt độ tối thấp ngày và lượng mưa ngày để tính toán các chỉ số PET và WRSI cho huyện Tĩnh Gia (trạm Tĩnh Gia 19°27’N–105°47’E) – đại diện cho khu vực đồng bằng ven biển và Quan Hóa (Trạm Hội Xuân 20°22’N–105°07’E) đại diện cho khu vực vùng núi của tỉnh Thanh Hóa. Số liệu năng suất các loại cây trồng được thu thập từ niên giám thống kê tỉnh Thanh Hóa từ năm 2005 đến năm 2019.

3. Kết quả và phân tích chỉ số PET và WRSI ở Tĩnh Gia và Quan Hóa

3.1. Kết quả phân tích chỉ số PET

Qua số liệu ở bảng 4, có thể thấy rằng PET ở cả 2 huyện Đồng bằng ven biển và vùng núi đạt giá trị cao nhất trong tháng 6 và tháng 7, giá trị thấp nhất đạt được vào tháng 12 và tháng 1. Giá trị PET dịch chuyển theo chu kỳ: Tháng 12 và tháng 1 thấp nhất năm, tháng 3–5 giá trị tăng dần, giá trị đạt đỉnh vào tháng 6–7 sau đó giảm dần từ tháng 8–11. Giá trị của PET ở các huyện vùng núi cũng cao hơn ở huyện đồng bằng ven biển từ 10–20%. Lượng mưa ở 2 huyện

được thể hiện ở bảng 5 cho thấy lượng mưa chủ yếu tập trung ở các tháng 5–10, từ tháng 11 có lượng mưa giảm nhanh và duy trì giá trị thấp đến tháng 4 năm sau, giá trị cao nhất đạt được vào tháng 9 và thấp nhất trong tháng 1–2.

Bảng 4. Kết quả tính PET cho các huyện Tĩnh Gia và Quan Hóa từ 1991–2020.

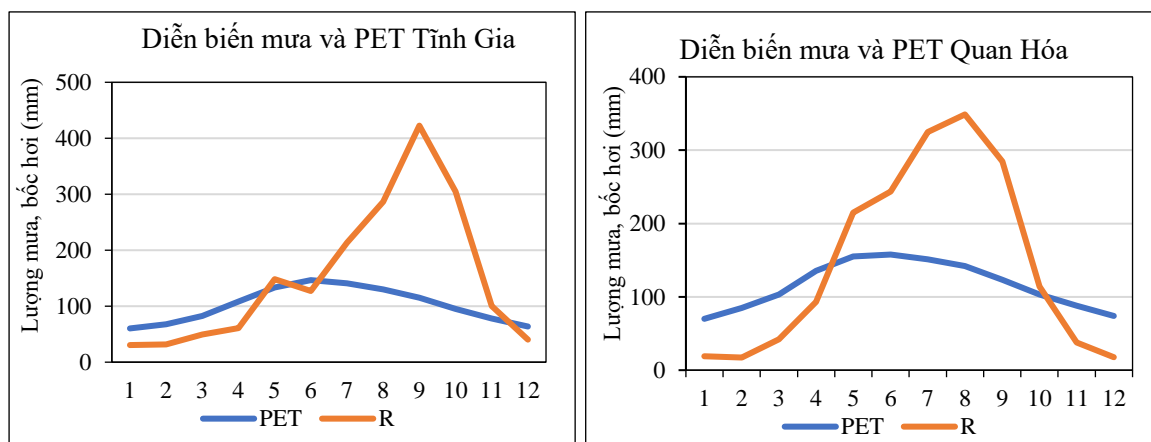
Giai đoạn/ Tháng	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Huyện Tĩnh Gia												
1991–1995	59,3	63,9	76,8	101,8	129,6	139,3	136,7	129,0	113,8	95,3	77,0	63,8
1996–2000	63,9	66,6	84,8	106,1	130,9	143,5	145,3	134,8	112,4	95,5	78,8	65,4
2001–2005	62,4	69,4	84,2	114,1	135,9	145,5	139,9	127,7	113,3	95,8	79,5	63,4
2006–2010	60,8	71,2	88,2	111,5	133,3	150,2	146,2	128,3	118,6	94,4	79,1	66,1
2011–2015	55,8	62,9	75,2	105,8	139,3	144,7	133,7	128,1	110,4	94,8	75,2	59,0
2016–2020	58,1	73,7	85,4	109,4	130,8	154,6	143,1	133,6	121,4	94,9	78,4	64,8
Huyện Quan Hóa												
1991–1995	67,9	84,5	104,1	133,6	155,7	152,4	150,0	143,3	129,4	109,1	89,2	77,0
1996–2000	75,6	83,1	105,5	132,5	148,8	154,7	154,8	146,4	127,0	108,8	90,7	75,3
2001–2005	74,3	84,3	96,2	144,2	157,1	157,0	148,7	140,6	126,1	110,7	89,2	73,8
2006–2010	70,5	88,3	107,9	135,4	151,9	157,4	150,1	137,0	129,4	100,6	89,8	72,7
2011–2015	64,3	80,7	98,7	134,8	161,6	157,2	148,2	142,1	121,8	107,6	84,6	69,5
2016–2020	67,4	87,5	107,4	131,6	154,7	168,6	154,2	143,0	106,0	81,4	84,2	75,2

Bảng 5. Lượng mưa trung bình ở các huyện đồng bằng ven biển từ 1991–2020.

Giai đoạn/ Tháng	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Huyện Tĩnh Gia												
1991–1995	38,8	38,6	42,8	51,6	173,2	170,8	222,1	268,0	393,3	173,7	63,8	43,9
1996–2000	26,4	31,5	61,0	95,3	139,8	107,7	106,6	255,1	388,1	316,2	156,4	21,9
2001–2005	17,8	37,2	38,1	43,1	185,1	115,3	258,7	270,0	501,9	230,8	40,6	62,3
2006–2010	35,9	27,9	41,1	65,8	137,6	75,6	195,0	373,3	315,2	417,2	67,0	39,4
2011–2015	13,8	25,8	53,9	52,9	88,5	245,1	173,8	261,6	538,6	279,2	134,4	29,2
2016–2020	49,3	28,3	61,1	57,1	165,2	49,7	323,8	291,1	397,8	411,1	140,2	45,6
Huyện Quan Hóa												
1991–1995	14,3	10,8	52,0	64,7	224,9	236,0	316,7	300,6	286,4	60,9	13,7	10,8
1996–2000	13,7	16,1	43,0	103,4	203,8	265,5	360,6	338,7	267,8	114,5	59,4	27,1
2001–2005	11,7	16,5	42,5	82,0	208,6	295,1	308,2	407,0	275,6	119,1	47,2	15,1
2006–2010	16,0	14,6	35,6	81,1	199,6	193,5	285,0	319,7	250,8	168,9	36,7	8,3
2011–2015	14,2	13,8	43,6	96,2	275,5	297,7	361,5	288,1	285,6	82,7	44,6	20,5
2016–2020	43,4	30,5	36,4	130,6	175,8	173,2	316,5	439,4	342,8	139,5	26,0	23,6

Từ hình 4 có thể thấy mùa sinh trưởng – được xác định là khoảng giao nhau của đường quá trình mưa và đường PET là từ đầu tháng 5–6 đến tháng 11. Thời điểm mùa hạn là từ

tháng 12 đến tháng 4. Ở Thanh Hóa và Nghệ An, thời điểm lượng mưa dồi dào nhất là tháng 9, trong khi ở Hà Tĩnh là tháng 10. Tuy nhiên nhận định này dựa theo giá trị bốc thoát hơi tham chiếu chứ không phải là lượng bốc thoát hơi thực tế. Để đánh giá chính xác hơn chất lượng sinh trưởng của cây trồng, cần đánh giá chỉ số thỏa mãn nhu cầu nước WRSI.



Hình 4. Diễn biến lượng mưa và PET ở Tỉnh Gia và Quan Hóa.

3.2. Kết quả và phân tích chỉ số thỏa mãn nhu cầu nước WRSI

3.2.1 Lúa vụ đông xuân

Bảng 6. WRSI trung bình vụ của cây lúa vụ đông xuân từ 1991–2020 (cấp độ màu như ở bảng 2).

Năm	Tỉnh Gia					Năm	Quan Hóa				
	GĐ đầu vụ	GĐ phát triển	GĐ giữa vụ	GĐ cuối vụ	TB Vụ		GĐ đầu vụ	GĐ phát triển	GĐ giữa vụ	GĐ cuối vụ	TB Vụ
1991–1995	53,5%	51,9%	49,1%	30,6%	46,3%	1991–1995	13,4%	43,6%	22,6%	42,1%	27,8%
1996–2000	41,1%	38,5%	51,3%	58,1%	47,2%	1996–2000	24,2%	13,8%	23,2%	55,2%	29,1%
2001–2005	43,2%	43,0%	38,2%	28,0%	38,1%	2001–2005	35,7%	25,1%	25,1%	33,5%	29,9%
2006–2010	31,3%	38,7%	51,3%	40,5%	40,5%	2006–2010	19,4%	17,0%	26,7%	40,7%	25,9%
2011–2015	59,5%	37,7%	52,3%	39,9%	47,4%	2011–2015	40,7%	22,5%	21,3%	50,9%	33,9%
2016–2020	48,4%	55,0%	48,6%	40,6%	48,2%	2016–2020	29,3%	32,4%	33,6%	55,0%	37,6%

Từ kết quả ở bảng 6, đối với cả 2 huyện vùng núi Quan Hóa và huyện đồng bằng ven biển Tỉnh Gia, ta có thể thấy trong vụ Đông Xuân (Tháng 11–4), mức độ thỏa mãn nhu cầu nước của cây lúa ở mức hạn rất nặng đến hạn nặng với WRSI chỉ ở mức 20–50% trong tất cả các giai đoạn sinh trưởng, tuy nhiên Tỉnh Gia có WRSI cao hơn Quan Hóa từ 10–20%. Điều này tương đối dễ hiểu vì vụ đông xuân là thời điểm có lượng mưa rất thấp trong năm đối với Quan Hóa (10–40 mm/tháng), trong khi Tỉnh Gia có lượng mưa cùng kỳ 30–60 mm/tháng.

3.2.2. Lúa vụ mùa

Có thể thấy từ bảng 7, đối với cây lúa vụ mùa (Tháng 6,7 đến đầu tháng 11), Quan Hóa có WRSI nằm trong khoảng 70–95% ở giai đoạn đầu vụ đến giữa vụ, đạt đến ngưỡng hạn nhẹ và không bị hạn, tuy nhiên giai đoạn cuối vụ lại có WRSI chỉ đạt 20–40% thể hiện mức hạn rất nặng. Ở huyện đồng bằng ven biển Tỉnh Gia, có thể thấy mức độ thỏa mãn nhu cầu nước ở mức thấp hơn với huyện vùng núi khi giá trị WRSI trong giai đoạn đầu vụ, phát triển và

cuối vụ chỉ đạt 40–70%, nằm ở mức hạn rất nặng đến hạn trung bình, giai đoạn giữa vụ có WRSI đạt ở mức 90–98%, nằm ở mức không bị hạn. Chỉ số WRSI trung bình trong vụ mùa đạt mức hạn trung bình ở tất cả các huyện bởi đây là mùa mưa của khu vực Bắc Trung Bộ và các huyện đều có lượng mưa trung bình tháng phổ biến 200–400 mm.

Bảng 7. WRSI trung bình vụ của cây lúa vụ mùa từ 1991–2020.

Năm	Tỉnh Gia					Năm	Quan Hóa				
	GĐ đầu vụ	GĐ phát triển	GĐ giữa vụ	GĐ cuối vụ	TB Vụ		GĐ đầu vụ	GĐ phát triển	GĐ giữa vụ	GĐ cuối vụ	TB Vụ
1991–1995	44.9%	70.0%	97.6%	58.5%	67.8%	1991–1995	72.2%	77.3%	81.4%	16.9%	62.0%
1996–2000	51.7%	50.0%	89.7%	45.3%	59.2%	1996–2000	64.0%	85.1%	96.5%	28.1%	68.4%
2001–2005	44.1%	71.7%	97.8%	51.5%	66.3%	2001–2005	79.7%	95.9%	81.0%	46.4%	75.8%
2006–2010	39.1%	69.2%	94.1%	42.8%	61.3%	2006–2010	75.1%	89.6%	84.9%	27.3%	69.2%
2011–2015	56.4%	81.8%	93.1%	62.5%	73.4%	2011–2015	82.7%	85.5%	85.1%	39.7%	73.2%
2016–2020	40.2%	86.9%	98.2%	68.2%	73.4%	2016–2020	67.2%	80.4%	86.3%	40.1%	68.5%

2.2.3. Lúa hè thu

Từ kết quả ở bảng 8, có thể thấy đối với vụ hè thu (tháng 4 đến tháng 7), ở Quan Hóa có chỉ số thỏa mãn nhu cầu nước ở mức hạn nhẹ trong giai đoạn đầu vụ và không bị hạn với WRSI nằm trong mức 80–90% trong giai đoạn phát triển đến cuối vụ. Chỉ số WRSI ở huyện đồng bằng ven biển Tỉnh Gia có giá trị đạt từ 40–60% ở giai đoạn đầu vụ và phát triển thể hiện mức hạn rất nặng đến nặng, giai đoạn giữa vụ và cuối vụ có WRSI lên đến 70–90%, phổ biến nằm ở mức hạn nhẹ và không bị hạn. Điều này cũng dễ hiểu khi lượng mưa ở Quan Hóa trong các tháng này phổ biến từ 200–350 mm/tháng, cao hơn hẳn so với huyện Tỉnh Gia (100–250 mm/tháng).

Bảng 8. WRSI trung bình vụ của cây lúa vụ hè thu từ 1991–2020.

Năm	Tỉnh Gia					Năm	Quan Hóa				
	GĐ đầu vụ	GĐ phát triển	GĐ giữa vụ	GĐ cuối vụ	TB Vụ		GĐ đầu vụ	GĐ phát triển	GĐ giữa vụ	GĐ cuối vụ	TB Vụ
1991–1995	59,7%	51,7%	85,8%	95,4%	73,2%	1991–1995	69,5%	82,1%	92,0%	81,2%	81,2%
1996–2000	54,9%	59,4%	69,1%	77,1%	65,1%	1996–2000	77,0%	73,6%	98,2%	82,5%	82,8%
2001–2005	63,6%	50,8%	89,0%	95,1%	74,6%	2001–2005	69,5%	88,9%	100,0%	75,8%	83,6%
2006–2010	59,3%	45,0%	85,0%	79,1%	67,1%	2006–2010	77,8%	84,5%	96,5%	77,0%	83,9%
2011–2015	34,6%	64,2%	92,2%	95,1%	71,5%	2011–2015	79,8%	93,2%	99,1%	83,0%	88,8%
2016–2020	47,5%	46,3%	96,5%	92,8%	70,8%	2016–2020	60,8%	77,4%	96,3%	77,9%	78,2%

3.2.4. Ngô hè thu

Từ bảng 9, mức thỏa mãn nhu cầu nước cho cây ngô hè thu đều ở mức hạn rất nặng đến hạn trung bình ở huyện Tĩnh Gia với WRSI phổ biến trong mức 40–60% ở tất cả các giai đoạn sinh trưởng. Trong khi đó, huyện Quan Hóa có WRSI ở ngưỡng 60–80% ở giai đoạn phát triển và cuối vụ, cho thấy mức độ thỏa mãn nhu cầu nước ở ngưỡng hạn trung bình đến hạn nhẹ, tuy nhiên giai đoạn đầu vụ của huyện này lại ở mức hạn rất nặng.

Bảng 9. WRSI trung bình vụ của cây ngô vụ hè thu từ 1991–2020.

Năm	Tĩnh Gia					Năm	Quan Hóa				
	Giai đoạn đầu vụ	Giai đoạn phát triển	Giai đoạn giữa vụ	Giai đoạn cuối vụ	TB Vụ		Giai đoạn đầu vụ	Giai đoạn phát triển	Giai đoạn giữa vụ	Giai đoạn cuối vụ	TB Vụ
1991–1995	37,4%	55,0%	47,9%	58,1%	49,6%	1991–1995	47,8%	72,7%	70,7%	67,4%	64,7%
1996–2000	41,1%	58,1%	44,8%	33,1%	44,2%	1996–2000	55,7%	71,7%	62,7%	65,6%	64,2%
2001–2005	48,7%	62,0%	35,4%	44,7%	47,7%	2001–2005	46,5%	76,8%	80,1%	69,0%	68,1%
2006–2010	37,5%	40,7%	48,4%	42,7%	42,3%	2006–2010	57,0%	64,2%	82,1%	65,2%	67,1%
2011–2015	25,9%	33,2%	60,3%	54,8%	43,6%	2011–2015	61,0%	74,0%	84,0%	69,7%	72,2%
2016–2020	29,5%	32,8%	56,6%	59,2%	43,1%	2016–2020	39,8%	66,0%	67,5%	53,0%	56,6%

3.2.5 Lạc hè thu

Từ kết quả ở bảng 10 dưới đây, có thể thấy mức thỏa mãn nhu cầu nước cho cây lạc hè thu ở Huyện Quan Hóa nằm trong ngưỡng hạn trung bình khi có giá trị WRSI đạt 55–75% ở các giai đoạn sinh trưởng, thể hiện mức hạn nặng đến hạn trung bình. Ở huyện Tĩnh Gia, chỉ số WRSI phổ biến chỉ đạt 25–60% cho thấy sự thỏa mãn nhu cầu nước nằm ở mức hạn rất nặng đến hạn nặng.

Bảng 10. WRSI trung bình vụ của cây lạc vụ hè thu từ 1991–2020.

Năm	Tĩnh Gia					Năm	Quan Hóa				
	Giai đoạn đầu vụ	Giai đoạn phát triển	Giai đoạn giữa vụ	Giai đoạn cuối vụ	TB Vụ		Giai đoạn đầu vụ	Giai đoạn phát triển	Giai đoạn giữa vụ	Giai đoạn cuối vụ	TB Vụ
1991–1995	50,4%	34,0%	53,6%	48,5%	46,6%	1991–1995	51,1%	65,3%	74,1%	55,1%	61,4%
1996–2000	39,2%	57,8%	34,9%	40,2%	43,0%	1996–2000	53,7%	58,6%	69,2%	63,5%	61,4%
2001–2005	44,9%	47,9%	26,7%	63,3%	45,7%	2001–2005	59,7%	77,3%	75,0%	74,9%	71,7%
2006–2010	50,6%	35,1%	48,6%	52,6%	46,7%	2006–2010	60,3%	57,0%	80,6%	74,3%	68,1%
2011–2015	23,5%	34,9%	68,7%	62,2%	47,3%	2011–2015	59,0%	70,0%	88,0%	67,9%	71,2%
2016–2020	38,4%	33,2%	44,0%	62,1%	44,4%	2016–2020	47,1%	54,1%	65,9%	62,5%	57,4%

3.2.5 Đậu tương hè thu

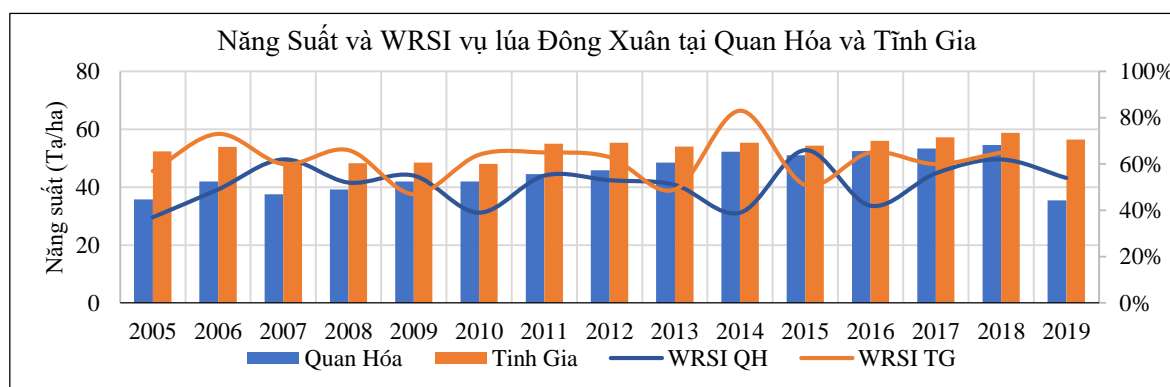
Kết quả ở bảng 11 cho thấy, WRSI cho cây đậu hè thu ở huyện Tĩnh Gia đạt từ 30–60%, cho thấy mức độ thỏa mãn nhu cầu nước trong cả 4 giai đoạn sinh trưởng nằm ở mức hạn nặng đến hạn rất nặng. Huyện trung du vùng núi Quan Hóa có chỉ số WRSI nằm trong khoảng 70–90%, thể hiện khả năng thỏa mãn nhu cầu nước đạt mức hạn trung bình đến hạn nhẹ trong cả chu kỳ sinh trưởng, với WRSI cao nhất ở giai đoạn phát triển và giữa vụ.

Bảng 11. WRSI trung bình vụ của cây đậu tương vụ hè thu từ 1991–2020.

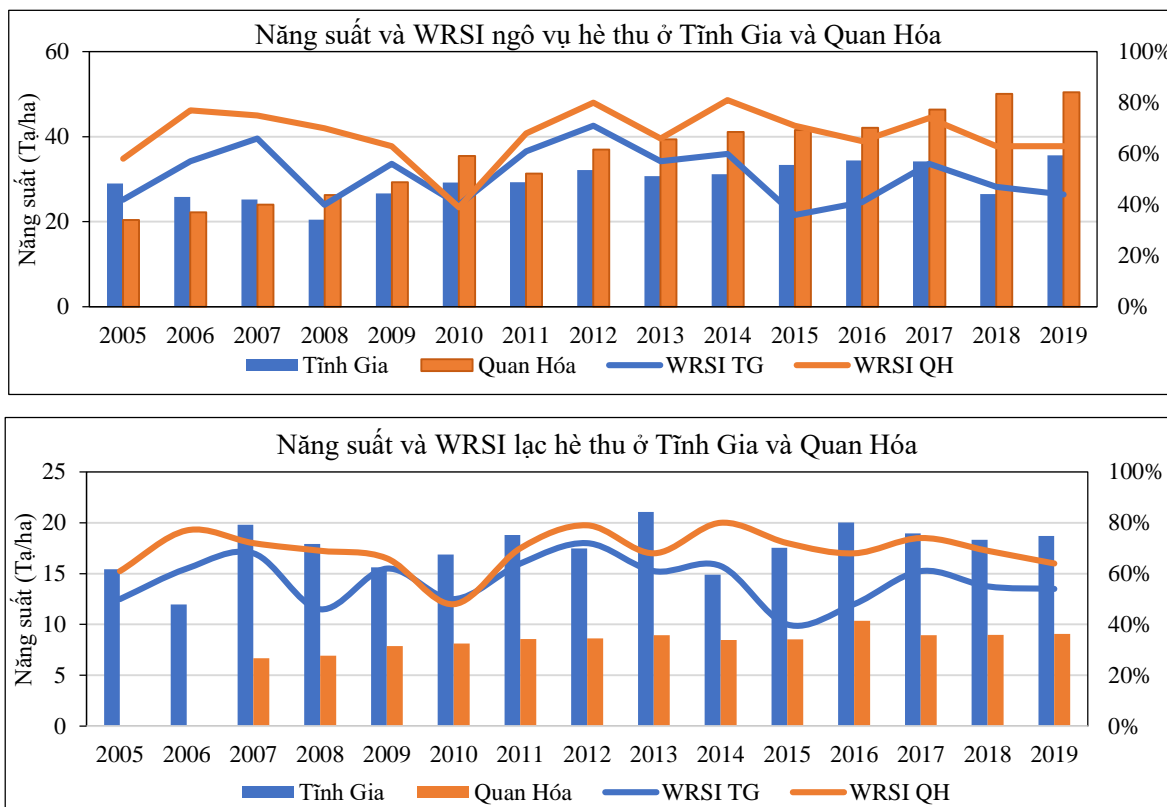
Năm	Tĩnh Gia					Năm	Quan Hóa				
	Giai đoạn đầu vụ	Giai đoạn phát triển	Giai đoạn giữa vụ	Giai đoạn cuối vụ	TB Vụ		Giai đoạn đầu vụ	Giai đoạn phát triển	Giai đoạn giữa vụ	Giai đoạn cuối vụ	TB Vụ
1991–1995	62,1%	39,8%	58,2%	48,5%	52,1%	1991–1995	62,9%	76,5%	80,4%	55,1%	68,7%
1996–2000	48,3%	67,7%	37,9%	40,2%	48,5%	1996–2000	66,1%	68,6%	75,0%	63,5%	68,1%
2001–2005	55,4%	56,1%	29,0%	63,3%	50,9%	2001–2005	73,6%	90,5%	80,2%	74,9%	79,8%
2006–2010	62,3%	41,1%	52,8%	52,6%	52,2%	2006–2010	74,3%	66,8%	87,1%	74,3%	75,6%
2011–2015	28,9%	40,8%	74,6%	62,2%	51,6%	2011–2015	72,7%	81,9%	94,5%	67,9%	79,3%
2016–2020	47,2%	38,8%	47,7%	62,1%	49,0%	2016–2020	58,0%	63,3%	71,5%	62,5%	63,8%

3.3. Tương quan giữa chỉ số WRSI và năng suất cây trồng

Từ hình 5, khi so sánh tương quan giữa năng suất lúa vụ đông xuân và chỉ số thỏa mãn nhu cầu nước tương ứng, ta có thể dễ dàng nhận thấy năng suất lúa tỷ lệ thuận với WRSI khi mà năng suất và WRSI ở đồng bằng ven biển luôn ở mức cao hơn so với ở vùng núi cho dù mức độ biến đổi trong các huyện có sự tương đồng nhau, tuy nhiên có 1 điều thú vị là khi năng suất hằng năm tương đối đồng đều và có sự thay đổi tương đối chậm, chỉ số WRSI lại biến động khá mạnh theo từng năm. Điều này cho thấy trong những năm hạn hán nặng (WRSI dưới 60%), ở cả 2 vùng đã thể hiện khả năng cung cấp nước thủy lợi cho cây lúa rất tốt khi đảm bảo được năng suất của cây lúa không bị giảm nhiều.



Hình 5. Năng Suất và WRSI vụ lúa đông xuân tại Quan Hóa và Tĩnh Gia.



Hình 6. Năng Suất và WRSI ngô và lạc vụ hè thu tại Quan Hóa và Tỉnh Gia.

Từ các kết quả ở hình 6, ta có thể thấy năng suất ngô vụ hè thu tỷ lệ thuận với WRSI trong hầu hết các năm khi huyện Quan Hóa có mức độ thỏa mãn nhu cầu nước và năng suất cao hơn đáng kể so với huyện Tĩnh Gia. Tuy nhiên khi đến với vụ lạc hè thu, bức tranh trái ngược được thể hiện khi Tĩnh Gia – huyện đồng bằng ven biển có năng suất lạc vụ hè thu cao hơn đáng kể so với huyện miền núi Quan Hóa.

4. Kết luận

Ở cả 2 huyện vùng núi và Đồng bằng ven biển, chỉ số PET đều đạt giá trị cao nhất trong tháng 6 và tháng 7, giá trị thấp nhất đạt được vào tháng 12 và tháng 1. Giá trị PET dịch chuyển theo chu kỳ: Tháng 12 và tháng 1 thấp nhất năm, tháng 3–5 giá trị tăng dần, giá trị đạt đỉnh vào tháng 6–7 sau đó giảm dần từ tháng 8–11. Giá trị của PET ở huyện vùng núi cũng cao hơn ở huyện đồng bằng ven biển từ 10–20%.

Trong vụ Đông Xuân (Tháng 11–4), mức độ thỏa mãn nhu cầu nước của cây lúa của cả 2 huyện ở mức hạn rất nặng đến hạn nặng với WRSI chỉ ở mức 20–50% trong tất cả các giai đoạn sinh trưởng, tuy nhiên Tĩnh Gia có WRSI cao hơn Quan Hóa từ 10–20%.

Đối với cây lúa vụ hè thu, ở Quan Hóa có chỉ số thỏa mãn nhu cầu nước ở mức hạn nhẹ trong giai đoạn đầu vụ và không bị hạn với WRSI nằm trong mức 80–90% trong giai đoạn phát triển đến cuối vụ. Chỉ số WRSI ở huyện đồng bằng ven biển Tĩnh Gia có giá trị đạt từ 40–60% ở giai đoạn đầu vụ và phát triển thể hiện mức hạn rất nặng đến nặng, giai đoạn giữa vụ và cuối vụ có WRSI lên đến 70–90%, phổ biến nằm ở mức hạn nhẹ và không bị hạn.

Đối với cây lúa vụ Mùa (Tháng 6,7 đến đầu tháng 11), Quan Hóa và Tĩnh Gia có WRSI nằm trong khoảng 70–95% ở giai đoạn đầu vụ đến giữa vụ, đạt đến ngưỡng hạn nhẹ và không bị hạn, tuy nhiên giai đoạn cuối vụ lại có WRSI thấp hơn đáng kể chỉ đạt mức hạn nặng và rất nặng.

Đối với cây ngô hè thu, cây lạc hè thu và đậu tương hè thu, với huyện Quan Hóa có chỉ số WRSI nằm trong khoảng 60–80% đạt mức thỏa mãn nhu cầu nước hạn trung bình, huyện

Tỉnh Gia có chỉ số WRSI chỉ đạt 40–60% cho thấy mức hạn nặng và hạn rất nặng trong tất cả các giai đoạn sinh trưởng trong năm.

Sản lượng các loại cây lương thực có chiều hướng tăng dần từ vụ mùa đến vụ hè thu và cao nhất là ở vụ đông xuân. Với đa số các loại cây lương thực, huyện Tĩnh Gia có năng suất và WRSI cao hơn huyện vùng đồi núi Quan Hóa, chỉ có cây ngô hè thu là ngược lại khi WRSI và năng suất của huyện vùng núi Quan Hóa cao hơn huyện đồng bằng Tĩnh Gia. Trong từng vụ cây trồng, giá trị năng suất và WRSI có chiều hướng tỉ lệ thuận với nhau, tuy nhiên khi WRSI biến động khá nhiều theo từng năm thì năng suất cây trồng chỉ có biến động nhẹ. Từ kết quả WRSI này có thể xác định được khu vực có khí hậu phù hợp với cây trồng, và từ mức thỏa mãn nhu cầu nước theo từng thời điểm sinh trưởng có thể giúp đưa ra phương án tưới tiêu phù hợp để góp phần nâng cao năng suất và sản lượng cây trồng.

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

Lời cảm ơn: Tập thể tác giả xin trân trọng cảm ơn Đề tài cấp bộ “Nghiên cứu tích hợp, lồng ghép các thông tin khí hậu và dự báo thời tiết hạn dài phục vụ phát triển nông nghiệp thông minh ở khu vực Bắc Trung Bộ”, mã số TNMT.2021.02.06 đã hỗ trợ về số liệu 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 được sao chép từ những nghiên cứu trước đây; không có sự tranh chấp lợi ích trong nhóm tác giả.

Tài liệu tham khảo

1. Anh, N.T.H; Liên, M.K. Sản xuất nông nghiệp thích ứng với biến đổi khí hậu vùng bắc trung bộ thông qua xác định lượng mưa, lượng bốc hơi tiềm năng (Pet). *Tap chí phát triển khoa học & công nghệ, chuyên san khoa học tự nhiên* **2018**, 2(6), 5–10.
2. Tuấn, N.H.; Cảnh, T.T. Nghiên cứu xu thế biến đổi và dự tính khí hậu trong tương lai cho tỉnh Ninh Thuận. *Tap chí Khí tượng Thủy văn* **2021**, 722, 23–37.
3. Phi, N.Q. Xác định nhu cầu nước tưới cho cây lạc bằng phương trình fao penman – monteith và phương pháp hệ số cây trồng đơn. *Khoa học Kỹ thuật Thủy lợi và Môi trường* **2014**, 46, 79–85.
4. Ngọc, T.T.H; Mark, H. So sánh các mô hình khác nhau cho ước tính bốc thoát hơi nước tham chiếu vùng phía nam Việt Nam. *Tap chí Khí tượng Thủy văn* **2017**, 683, 21–28.
5. Giai, N.S.; Nam, B.C.; Thơ, P.T.A. Phương pháp xác định lượng hệ số căng thẳng về nước và chỉ số thỏa mãn như cầu nước đối với cây lúa và ngô trong điều kiện khô hạn và mặn ở tỉnh An Giang, 2018.
6. Hà, N.T. Nghiên cứu dự báo năng suất ngô, đậu tương, lạc và xây dựng quy trình giám sát khí tượng nông nghiệp cho 4 cây trồng chính (lúa, ngô, lạc, đậu tương) bằng thông tin mặt đất ở Việt Nam. Báo cáo tổng kết đề tài nghiên cứu khoa học và công nghệ cấp bộ, Viện Khoa học Khí tượng Thủy văn và Môi trường, Hà Nội, 2008.
7. Tiêu Chuẩn Quốc Gia. Tiêu chuẩn Việt Nam cho nông nghiệp TCVN 8641: 2011, 2011.
8. Yates, D.; Strzepek K. Potential Evapotranspiration Methods and their Impact on the Assessment of River Basin Runoff Under Climate Change, 1994.
9. Gabriel, S. Crop Water Requirement Satisfaction Index (WRSI) Model Description, 2004.
10. Richard, G.A.; Luis, S.P.; Dirk, R.; Martin, S. Crop evapotranspiration – Guidelines for computing crop water requirements – FAO Irrigation and drainage paper 56, 1998.

11. Allen, R.G.; Pereira, L.S.; Raes, D.; Smith, M. Crop evapotranspiration – Guidelines for computing crop water requirements, 1998.
12. Gabriel, B.S.; James V. Evaluating the performance of a crop water balance model in estimating regional crop production, 2022.
13. Norman, J.R. Frequency of Potential Evapotranspiration Rates in Great Central Plains, 1972.
14. Cục thống kê tỉnh Thanh Hóa. Niên giám thống kê tỉnh Thanh Hóa, 2005–2019.
15. Smith, M.; Allen, R.; Pereira L. Revised FAO methodology for crop-water requirements, 1998.
16. Senay G. Crop Water Requirement Satisfaction Index (WRSI) Model Description, 2004.
17. McNally, A.; Husak, G.J.; Brown, M.; Carrol, M.; Funk, C.; Yatheendradas, S.; Arsenault, K.; Peters-Lidard, C.; Verdin, J.P. Calculating Crop Water Requirement Satisfaction in the West Africa Sahel with Remotely Sensed Soil Moisture. *J. Hydrometeorol.* **2015**, *6(1)*, 295–305.
18. Moeletsi, M.; Sue, W. Assessment of agricultural drought using a simple water balance model in the Free State Province of South Africa, 2011.
19. Elena T. et al. Agro-meteorological risks to maize production in Tanzania: Sensitivity of an adapted Water Requirements Satisfaction Index (WRSI) model to rainfall, 2018.
20. Water Requirement Satisfaction Index (WRSI). <https://earlywarning.usgs.gov/fews/product/128> (Updated 2021).

Calculation and Analysis of the Potential Evapotranspiration and the Water Requirement Satisfaction Index in Thanh Hoa Province in the Period of 1991–2020

Dao Anh Cong^{1*}, Nguyen Van Luong¹, Le Huu Huan¹, Phan Thi Nhu Xuyen¹, Ngo Sy Giai²

¹ North Central regional hydro–meteorology center; daoanhcong.k55.hus@gmail.com; luongnvkttv@gmail.com; huanbtb@gmail.com; phannhuxuyen@gmail.com.

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

Abstract: The authors focused on research and analysis of PET index and WRSI index for Tinh Gia and Quan Hoa districts from 1991–2000 for 3 rice crops and the summer–autumn crop of 3 other food crops. The results show that PET values move in a cycle: December and January are the lowest of the year, March – May the value increases, the value peaks in June – July, then decreases gradually from August to November. The value of PET is higher in Quan Hoa than in Tinh Gia. WRSI values of winter–spring rice crop in the districts range from severe to very severe drought; For summer–autumn rice crop, Quan Hoa district has mild drought index and no drought, higher than Tinh Gia in medium and mild drought; With the season rice crop, both districts have an average level of water demand satisfaction. For summer–autumn maize, peanut and soybean crops, while Quan Hoa meets the average drought demand, Tinh Gia district has severe drought and very severe drought. In each crop, yield value and WRSI tend to be proportional to each other, however, when WRSI fluctuates quite a lot from year to year, crop yield has only a slight variation.

Keywords: PET; WRSI; Potential evapotranspiration; Water requirement satisfaction index; Yield value.

Đánh giá ảnh hưởng của hoạt động nạo vét đến quá trình bồi lắng – xói lở tại khu vực sông Gò Gia, huyện Cần Giờ

Nguyễn Thị Diễm Thúy^{1*}, Đào Nguyên Khôi¹, Bùi Phi Phụng¹, Nguyễn Thị Bầy²

¹ Khoa Môi trường, Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, Đại học Quốc gia TP.HCM; nguyenthidiemthuyapag@gmail.com; dnkhoi@hcmus.edu.vn; phung.bui1211@gmail.com

² Khoa Kỹ thuật xây dựng, Trường Đại học Bách Khoa, Đại học Quốc gia TP.HCM; nguyentbay@gmail.com

* Tác giả liên hệ: nguyenthidiemthuyapag@gmail.com; Tel.: +84-968638978

Ban Biên tập nhận bài: 19/4/2022; Ngày phản biện xong: 28/4/2022; Ngày đăng bài: 25/5/2022

Tóm tắt: Nghiên cứu được thực hiện nhằm đánh giá ảnh hưởng của hoạt động nạo vét đến quá trình bồi xói đáy sông Gò Gia, huyện Cần Giờ. Bộ mô hình MIKE 21FM với hai mô-đun HD và MT được sử dụng để mô phỏng dòng chảy và quá trình bồi lắng-xói lở tại khu vực nghiên cứu. Kết quả hiệu chỉnh, kiểm định mực nước và lưu lượng có độ tin cậy cao, điều này được khẳng định thông qua các chỉ số NSE và R^2 đều đạt mức tốt đến rất tốt, với giá trị lớn hơn 0,83 ở cả 04 trạm thủy văn trong khu vực. Bên cạnh đó, sai số giữa nồng độ phù sa thực đo và mô phỏng đều nhỏ hơn 20% ở cả hai giai đoạn hiệu chỉnh và kiểm định. Các kết quả phân tích quá trình bồi lắng-xói lở theo hai kịch bản khi không nạo vét và khi có nạo vét cho thấy, các khu vực trong phạm vi ô nạo vét quá trình xói có xu hướng giảm và quá trình bồi có xu hướng tăng. Tại các khu vực phía trên hoặc dưới phạm vi nạo vét, có thể do vận tốc dòng chảy tăng, quá trình xói có xu hướng tăng sau khi nạo vét. Có thể thấy, quá trình nạo vét có xu hướng làm thay đổi vận tốc dòng chảy cũng như diễn biến lòng dẫn tại các khu vực xung quanh phạm vi nạo vét.

Từ khóa: Huyện Cần Giờ; MIKE 21FM; Nạo vét; Sông Gò Gia; Xói lở.

1. Mở đầu

Quá trình sạt lở hai bên bờ sông là hệ quả của sự tương tác giữa các yếu tố tự nhiên với hoạt động của con người và giữa các yếu tố tự nhiên với nhau, bao gồm đặc điểm thủy lực trên sông, kênh và tính chất vật lý của bờ. Tính đến thời điểm hiện nay, các nhà nghiên cứu đã nhận dạng được một số yếu tố là nguyên nhân làm bờ sông, kênh bị sạt lở bờ, cụ thể: Độ dốc kênh [1], cấp, loại, cũng như sự uốn khúc của sông [2-3], lưu lượng dòng chảy [4], vật liệu bờ [2], thảm thực vật [1, 5, 6], độ ẩm của đất [6], tần suất và cường độ mưa, chế độ thủy văn sông [6], sóng [7], xâm lấn của con người [8],... Tùy vào hình thái sông và đặc điểm của từng khu vực, quá trình sạt lở bờ sông chịu tác động bởi những yếu tố khác nhau với tốc độ sạt khác nhau. Ngoài ra, quá trình sạt nhanh hay chậm và mức độ sạt lở có thể khác nhau tùy theo tác động của con người.

Thành phố Hồ Chí Minh (TP.HCM) là vùng Đồng bằng châu thổ của lưu vực sông Đồng Nai, với mạng lưới sông dày đặc, điều này tạo điều kiện để phát triển kinh tế-xã hội tại khu vực. Bên cạnh những lợi ích, TP.HCM cũng chịu tác động bởi những rủi ro gây ra bởi sông ngòi, đặc biệt vấn đề sạt lở bờ sông gây ra thiệt hại về cơ sở hạ tầng, kinh tế, cũng như tính

mạng người dân sinh sống ven sông. Đặc biệt, khi sạt lở xảy ra tại các sông trên địa bàn huyện Cần Giò, bên cạnh những tác động về kinh tế-xã hội, tình trạng sạt lở còn ảnh hưởng đến tài nguyên đất, rừng tại rừng ngập mặn Cần Giò, đây là khu vực được UNESCO công nhận là khu dự trữ sinh quyển thế giới đầu tiên tại Việt Nam vào năm 2000.

Trong khuôn khổ dự án Xã hội hóa nạo vét khu neo đậu tránh trú bão trên sông Gò Gia thuộc huyện Cần Giò, đoạn từ tim sông Tắc Ông Cu cắt vuông góc sông Gò Gia về phía thượng lưu (Hình 1) theo hình thức kết hợp tận thu sản phẩm bù chi phí, không sử dụng ngân sách nhà nước được UBND TP.HCM đồng ý chủ trương triển khai theo văn bản số 1041/UBND-ĐT, dự án được triển khai thi công nạo vét từ tháng 09/2016 đến tháng 12/2016. Tuy nhiên trong quá trình thi công, khu vực có dấu hiệu sạt lở, xâm thực đất rừng phòng hộ. Do đó, nghiên cứu được thực hiện nhằm phân tích hiện trạng bồi lắng, xói lở và xem xét ảnh hưởng của việc nạo vét trên sông đến quá trình bồi-xói đáy tại khu vực sông Gò Gia.

Hiện nay, có nhiều phương pháp tiếp cận khác nhau để thực hiện phân tích chế độ dòng chảy, quá trình bồi lắng, xói lở trên các sông, bao gồm khảo sát, mô hình hóa, viễn thám,.. Trong đó, một trong những cách tiếp cận được ứng dụng phổ biến là mô hình hóa, một vài nghiên cứu điển hình như, Novico và Priohandono năm 2012 ứng dụng mô hình MIKE 21FM HD và MIKE 21FM MT để phân tích quá trình bồi và xói tại cửa sông Kapuas Murung, tỉnh Kalimantan [9]. Nghiên cứu Kulkarni năm 2013 MIKE 21 được dùng để mô phỏng xói lở tại bờ biển Ural của vịnh Baydara, Nga. Kết quả chỉ ra rằng, khu vực này có thể bị chi phối chặt chẽ bởi thủy triều [10]. Một nghiên cứu của Kimiaghalam và cộng sự năm 2014 cũng áp dụng phương pháp trên để xem xét xói mòn do dòng chảy ven bờ sông ở phía bắc Manitoba, Canada [11]. Hai nghiên cứu trong nước của nhóm tác giả Nga và cộng sự, và Thụy và cộng sự năm 2020 đã đánh giá diễn biến xói-bồi vùng ĐBSCL, đặc biệt một nghiên cứu điển hình tập trung giải thích nguyên nhân gây sạt lở cồn cù lao dài, tỉnh Vĩnh Long dựa vào mô hình MIKE 21FM. Kết quả cho thấy được tác động riêng lẻ và tổ hợp của 3 nguyên nhân: khai thác cát, lấn sông nuôi cá, và sự thay đổi chế độ thủy văn ở thượng nguồn, đến diễn biến sạt lở ở khu vực này [12-13]. Qua các nghiên cứu đã thực hiện cho thấy, mô hình MIKE 21FM được ứng dụng phổ biến trong các khu vực trong nước và thế giới, từ đó khẳng định, mô hình này có khả năng và độ tin cậy cao khi mô phỏng, tính toán các quá trình thủy, động lực và vận chuyển bùn cát, bồi-xói trên các sông. Hơn nữa, mô hình linh hoạt trong việc tính toán theo các kịch bản khác nhau, thuận lợi để thực hiện mục tiêu của nghiên cứu, do đó mô hình này được chọn làm công cụ chính trong nghiên cứu.

Nghiên cứu được thực hiện với mục tiêu chính là phân tích chế độ dòng chảy và sự thay đổi hình thái đáy sông dưới ảnh hưởng của hoạt động nạo vét tại khu vực sông Gò Gia, huyện Cần Giò, Tp. Hồ Chí Minh. Với hai mục tiêu chi tiết bao gồm: (1) đánh giá khả năng mô phỏng của mô hình MIKE 21 FM cho mô phỏng dòng chảy và hình thái đáy sông và (2) phân tích tác động của nạo vét đến chế độ thủy lực, sự thay đổi hình thái đáy sông Gò Gia.

2. Phương pháp nghiên cứu và số liệu thu thập

2.1. Giới thiệu khu vực nghiên cứu

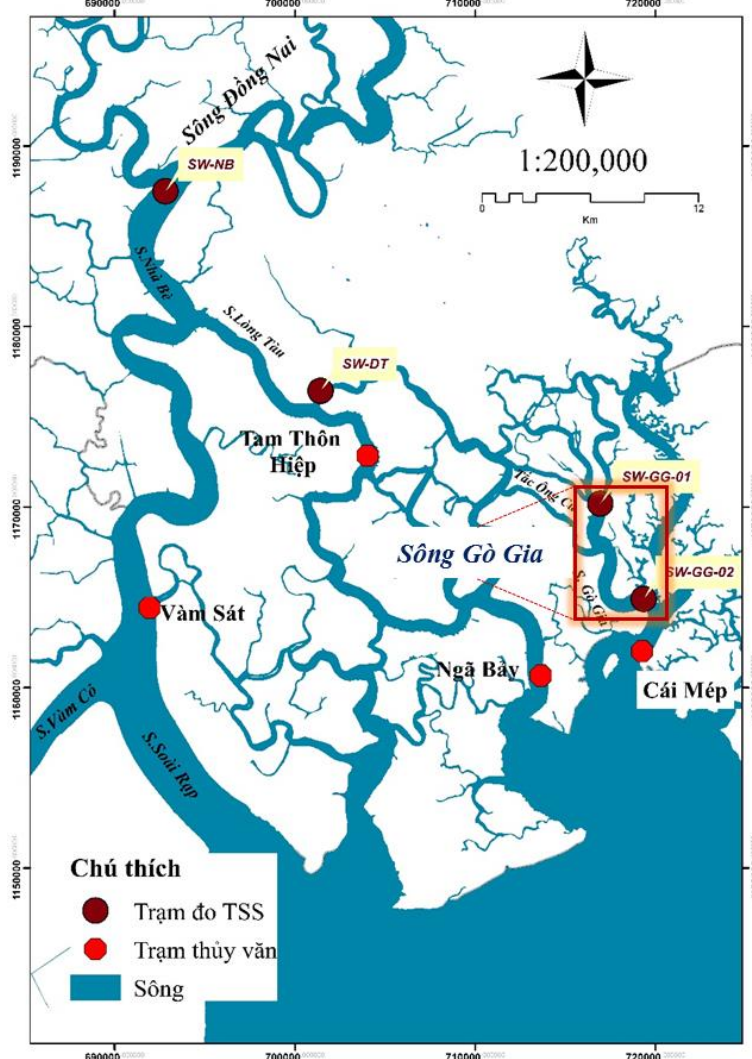
Huyện ven biển Cần Giò nằm ở phía Đông Nam của TP.HCM với hơn 20km bờ biển chạy dài theo hướng Tây Nam-Đông Bắc, có các cửa sông lớn của các con sông Lòng Tàu, Cái Mép, Gò Gia, Thị Vải, Soài Rạp, Đồng Tranh. Sông Gò Gia thuộc địa bàn xã Thạnh An, huyện Cần Giò, TP.HCM, đổ ra sông Cái Mép chảy qua tỉnh Đồng Nai và TP. HCM (Hình 1). Sông Gò Gia có vị trí thuận lợi cho giao thông thủy và xung quanh có nhiều kênh rạch và sông ngòi.

2.2. Phương pháp nghiên cứu

2.2.1. Giới thiệu và thiết lập mô hình

Bộ mô hình MIKE 21FM nằm trong gói MIKE, được phát triển bởi DHI (Viện thủy lực Đan Mạch), Nghiên cứu sử dụng mô-đun MIKE 21FM HD [14] để mô phỏng dòng chảy và

mô-đun MIKE 21FM MT [15] được dùng để mô phỏng quá trình lam truyền phù sa và thay đổi hình thái đáy tại khu vực sông Gò Gia thuộc địa bàn huyện Cần Giuộc.



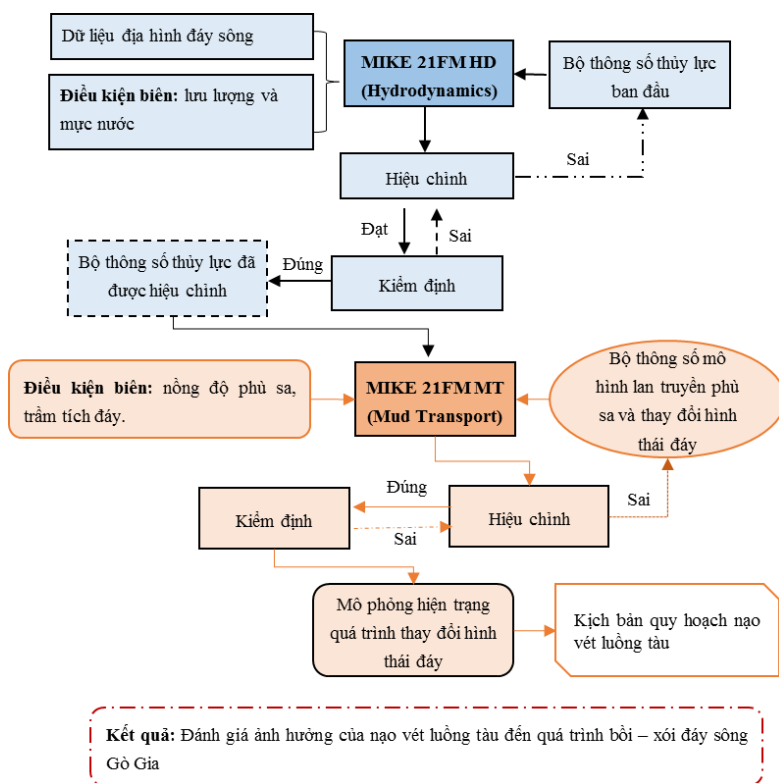
Hình 1. Khu vực sông Gò Gia, vị trí trạm đo thủy văn và phù sa.

Quy trình thiết lập mô hình được tiến hành thông qua các bước cơ bản như sau: (1) Chuẩn bị dữ liệu mô hình bao gồm dữ liệu lưu lượng, mực nước, phù sa, đặc điểm địa chất, địa hình đáy; (2) Xây dựng lưới tính, sau đó nội suy địa hình đáy sông; (3) Thiết lập mô-đun MIKE FM HD, hiệu chỉnh và kiểm định mực nước, lưu lượng; (4) Thiết lập mô-đun MIKE FM MT, hiệu chỉnh và kiểm định nồng độ phù sa; (5) Thiết lập các kịch bản nạo vét luồng tàu tại khu vực sông Gò Gia; (6) Đánh giá tác động của nạo vét đến quá trình bồi-xói tại khu vực. Quy trình chi tiết được trình bày trong Hình 2.

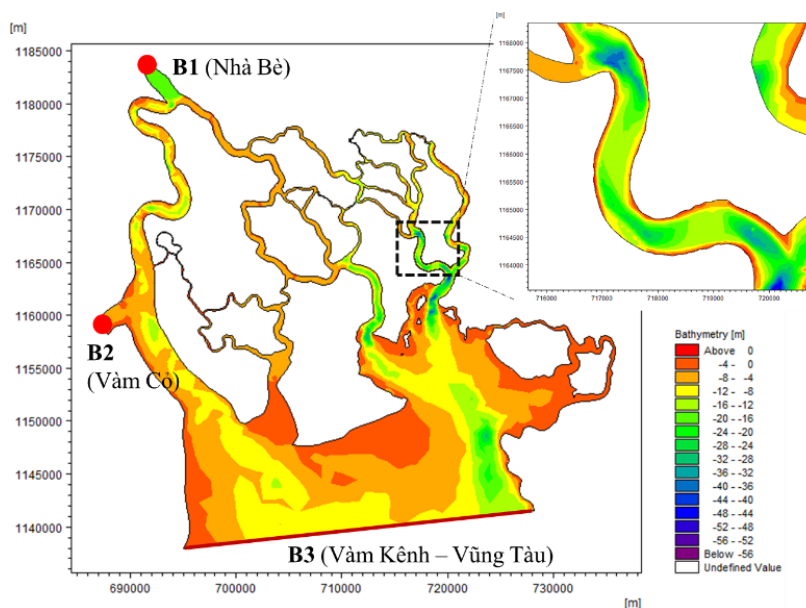
2.2.2. Dữ liệu đầu vào

Địa hình đáy sông tại khu vực được kế thừa từ các dự án, đề tài [16–17] hoàn thành giai đoạn trước năm 2016. Tại khu vực sông Gò Gia, địa hình đáy sông được đo vào tháng 03/2016, thu thập từ dự án [18].

Lưới tính trong khu vực được xây dựng là lưới tam giác phi cấu trúc gồm 11.391 nút, 17.205 phần tử, các phần tử tam giác có góc nhỏ nhất là 260, lưới tính được thiết lập chi tiết tại khu vực sông Gò Gia với khoảng cách giữa các nút khu vực bờ sông là 5 m và khu vực sông dao động trong khoảng từ 5 m đến 70 m. Địa hình đáy sau khi được thu thập kết hợp với lưới tính để nội suy địa hình, đây là dữ liệu đầu vào cho mô hình MIKE 21FM (Hình 3).



Hình 2. Sơ đồ cấu trúc nghiên cứu.



Hình 3. Địa hình đáy và vị trí các biên.

Bộ dữ liệu mực nước thực đo từng giờ vào năm 2016 tại bốn trạm Nhà Bè, Vàm Cỏ, Vũng Tàu, Vàm Kênh (Hình 3) được dùng làm biên tính, được thu thập từ Đài Khí tượng thủy văn khu vực Nam bộ, dữ liệu lưu lượng, mực nước theo giờ vào năm 2016 tại các trạm Tam Thôn Hiệp, Vàm Sát, Ngã Bảy, Cái Mép (Hình 1) được sử dụng để hiệu chỉnh, kiểm định mô hình MIKE 21FM HD, thu thập từ Chi cục Bảo vệ Môi trường. Dữ liệu nồng độ phù sa theo ngày tại và tháng 04 và tháng 10 năm 2016 tại các vị trí SW-NB, SW-LT, SW-GG-01 và SW-GG-02 (Hình 1) được sử dụng làm biên và hiệu chỉnh mô hình MIKE 21FM MT, bộ dữ liệu được thu thập từ Sở Tài nguyên và Môi trường tỉnh Đồng Nai. Dữ liệu về cấp phối hạt được thu thập từ [18] được thực hiện vào tháng 03/2015. Đặc điểm cấp phối hạt theo hai lớp tại khu vực được mô tả ở Bảng 1.

Bảng 1. Bảng thống kê cấp hạt phân bố theo lớp.

Lớp	Thành phần cỡ hạt								Tổng số
	Sỏi sạn	Cát					Bột	Sét	
		Rất to	To	Vừa	Nhỏ	Mịn			
Đường kính các hạt (mm) tính theo tỷ lệ %									
	>2	2-1	1-0,5	0,5-0,25	0,25-0,1	0,1-0,05	0,05-0,005	< 0,005	%
L1	0,8	2,1	4,9	27,0	36,0	16,4	7,2	6,0	100
L2	0,4	1,5	4,5	14,0	20,8	15,0	16,9	27,3	100

2.3. Đánh giá hiệu quả mô phỏng của mô hình

Kết quả mô phỏng được so sánh với dữ liệu quan trắc bằng đồ thị và phương pháp thống kê nhằm đánh giá khả năng mô phỏng của mô hình. Đối với nghiên cứu này, hệ số tương quan (R^2), hệ số hiệu quả Nash-Sutcliffe (NSE) là hai chỉ số chính đánh giá kết quả mô phỏng. Mô hình càng đạt hiệu quả cao khi giá trị của R^2 và NSE càng gần 1 [19], phân mức hiệu quả của mô phỏng cụ thể được thể hiện trong Bảng 2.

Bảng 2. Đánh giá hiệu quả mô phỏng.

Hiệu quả mô phỏng	R^2	NSE	PBIAS
Rất tốt	$0,85 < R^2 \leq 1,0$	$0,8 < NSE \leq 1,0$	$< \pm 10\%$
Tốt	$0,75 < R^2 \leq 0,85$	$0,7 < NSE \leq 0,8$	$\pm 15\% \rightarrow \pm 15\%$
Phù hợp	$0,60 < R^2 \leq 0,75$	$0,50 < NSE \leq 0,7$	$\pm 15\% \rightarrow \pm 20\%$
Không phù hợp	$R^2 \leq 0,60$	$NSE \leq 0,50$	$> \pm 20\%$

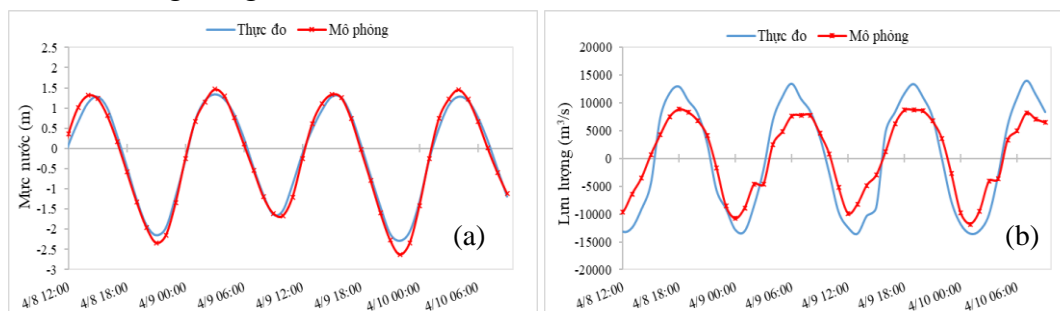
3. Kết quả và thảo luận

3.1. Hiệu chỉnh và kiểm định

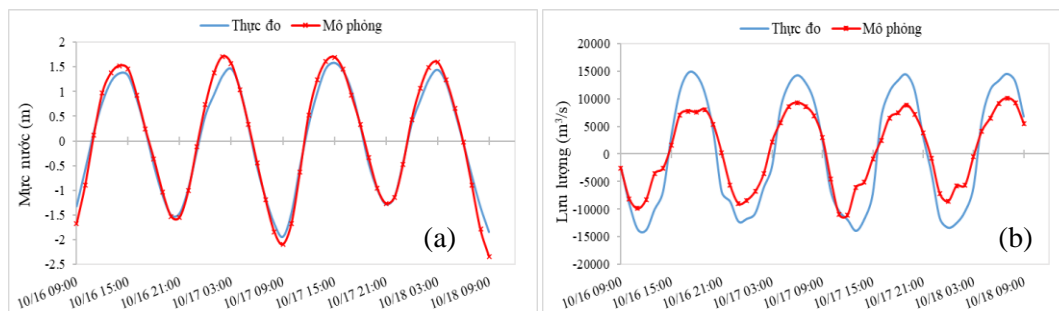
3.1.1. Mô-đun MIKE 21FM HD

Mô hình dòng chảy (MIKE 21FM HD) tại vùng nghiên cứu được hiệu chỉnh vào mùa khô, trong khoảng thời gian từ 9:00 giờ ngày 8/4/2016 đến 9:00 giờ ngày 10/4/2016 và kiểm định vào mùa mưa trong khoảng thời gian từ 9:00 giờ ngày 16/10/2016 đến 9:00 giờ ngày 18/10/2016. Hệ số Manning 'M là thông số hiệu chỉnh chính của mô hình, được lấy tuyến tính theo độ sâu địa hình với giá trị dao động trong khoảng $65-120 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$.

Hình 4 và Hình 5 thể hiện đồ thị tương quan giữa lưu lượng, mực nước quan trắc và mô phỏng trong giai đoạn hiệu chỉnh và kiểm định tại trạm đo Cái Mép. Có thể thấy, kết quả hiệu chỉnh, kiểm định lưu lượng và mực nước thể hiện sự tương quan tốt giữa giá trị quan trắc và mô phỏng, điều này được khẳng định thông qua các chỉ số NSE và R^2 đều đạt mức tốt đến rất tốt, với giá trị lớn hơn 0,83 ở tất cả các trạm đo trong cả giai đoạn hiệu chỉnh và kiểm định. Kết quả kiểm định lưu lượng, mực nước theo NSE và R^2 tại từng trạm quan trắc được mô tả cụ thể trong Bảng 3.



Hình 4. Hiệu chỉnh mực nước và lưu lượng tại trạm Cái Mép: (a) Mực nước; (b) Lưu lượng.



Hình 5. Kiểm định mực nước và lưu lượng tại trạm Cái Mép: (a) Mực nước; (b) Lưu lượng.

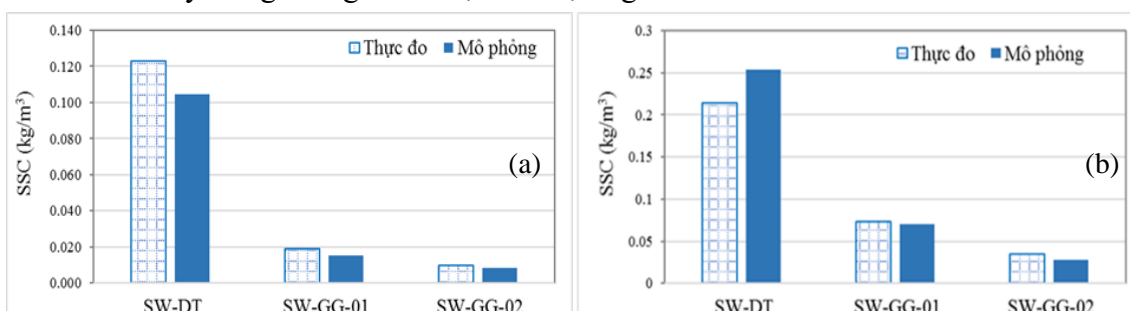
Bảng 3. Thống kê kết quả hiệu chỉnh, kiểm định theo các chỉ số R² và NSE.

Trạm đo	Hiệu chỉnh				Kiểm định			
	Lưu lượng		Mực nước		Lưu lượng		Mực nước	
	R ²	NSE	R ²	NSE	R ²	NSE	R ²	NSE
Vàm Sát	0,91	0,91	0,95	0,94	0,83	0,82	0,86	0,83
Ngã Bảy	0,93	0,88	0,99	0,96	0,85	0,80	0,98	0,95
Cái Mép	0,92	0,85	0,99	0,98	0,93	0,82	0,99	0,97
Tam Thôn Hiệp	0,82	0,80	0,91	0,88	0,90	0,84	0,96	0,96

3.1.2. Mô-đun MIKE 21FM MT

Mô hình vận chuyển bùn cát (MIKE 21FM MT) được hiệu chỉnh vào mùa khô tháng 04/2016 và kiểm định vào mùa mưa T10/2016. Kết quả hiệu chỉnh–kiểm định nồng độ phù sa theo ngày tại 03 vị trí SW–DT, SW–GG–01 và SW–GG–02 được thể hiện trong Hình 6.

Phần trăm sai số giữa nồng độ phù sa thực đo và mô phỏng tại 03 vị trí SW–DT, SW–GG–01 và SW–GG–02 lần lượt là -15,13%, -19,12% và -13,66% ở giai đoạn hiệu chỉnh và trong giai đoạn kiểm định sai số tại 03 vị trí lần lượt là 18,4%, -3,82% và -19,25% (dấu trừ thể hiện nồng độ thực đo thấp hơn giá trị mô phỏng và ngược lại). Sự chênh lệch nồng độ đo đạc và mô phỏng ở các điểm đo có thể do kế thừa sai số từ mô hình dòng chảy, tuy nhiên các kết quả vẫn nằm trong mức chấp nhận theo tiêu chuẩn đánh giá từ nhóm nghiên cứu của Moriasi năm 2015. Điều này chứng minh, bộ thông số của mô hình MIKE 21FM đạt được đảm bảo độ tin cậy để thực hiện mô phỏng dòng chảy, quá trình lan truyền bùn cát và thay đổi hình thái đáy trong thời gian dài tại khu vực nghiên cứu.



Hình 6. Hiệu chỉnh và kiểm định nồng độ phù sa: (a) Hiệu chỉnh; (b) Kiểm định.

3.2. Đánh giá ảnh hưởng của hoạt động nạo vét

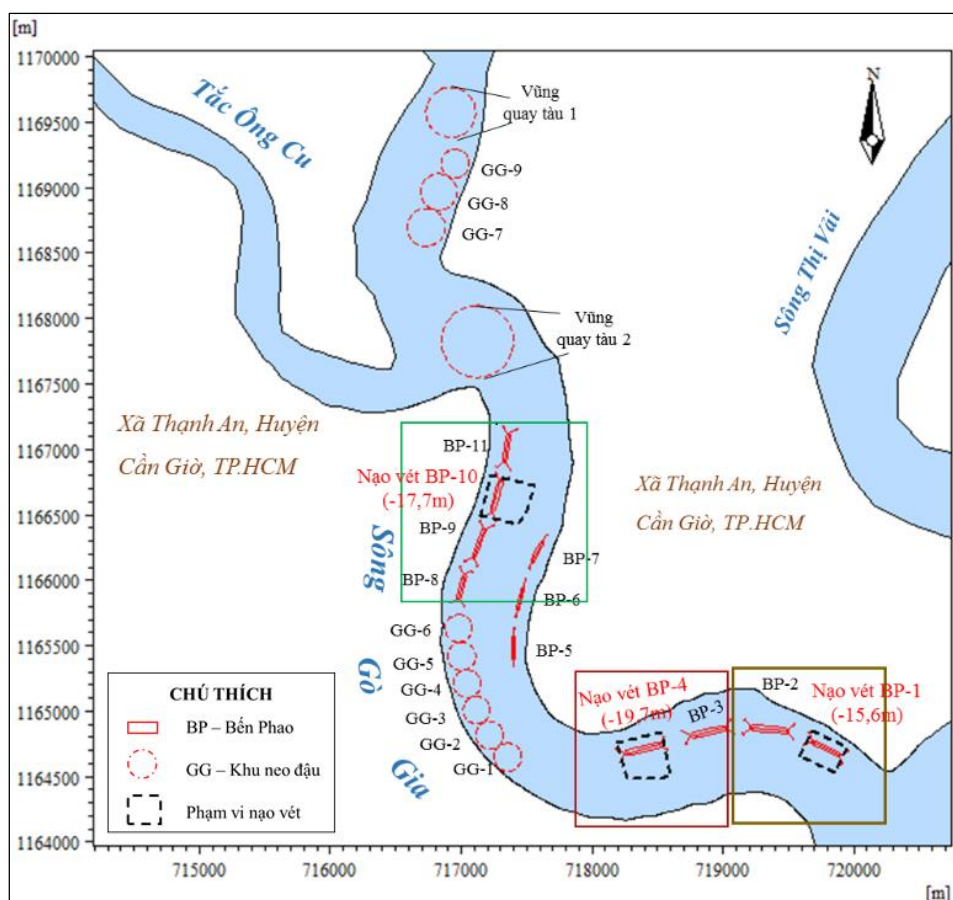
3.2.1. Xây dựng kịch bản nạo vét

Kịch bản nạo vét được xây dựng nhằm đánh giá tác động của hoạt động nạo vét các bến phao đến bồi, xói đáy sông Gò Gia. Nghiên cứu sẽ thực hiện mô phỏng các bến phao đã được

nạo vét vào năm 2016 để xem xét ảnh hưởng của việc nạo vét đến diễn biến lòng dẫn tại khu vực. Theo bản đồ “Vùng nước cảng biển Tp.HCM” năm 2016 của Cảng vụ hàng hải Tp.HCM, tính đến tháng 05/2016 có 03 bến phao đang khai thác tại sông Gò Gia là PB-1, BP-4 và BP-10. Theo đó, các bến phao được nạo vét với cao độ nạo vét lần lượt là -15,6 m, -19,7 m, và -17,7 m, toạ độ các điểm khống chế phạm vi nạo vét tại các bến phao này được tham khảo từ [18] vào năm 2016, vị trí các bến phao và phạm vi nạo vét từng bến phao được thể hiện trong Bảng 4 và Hình 7.

Bảng 4. Cao độ và khối lượng nạo vét tại các bến phao.

Bến phao	Cao độ nạo vét (m)	Khối lượng nạo vét (m ³)
BP-1	-15,6	414.517
BP-4	-19,7	557.837
BP-10	-17,7	520.107

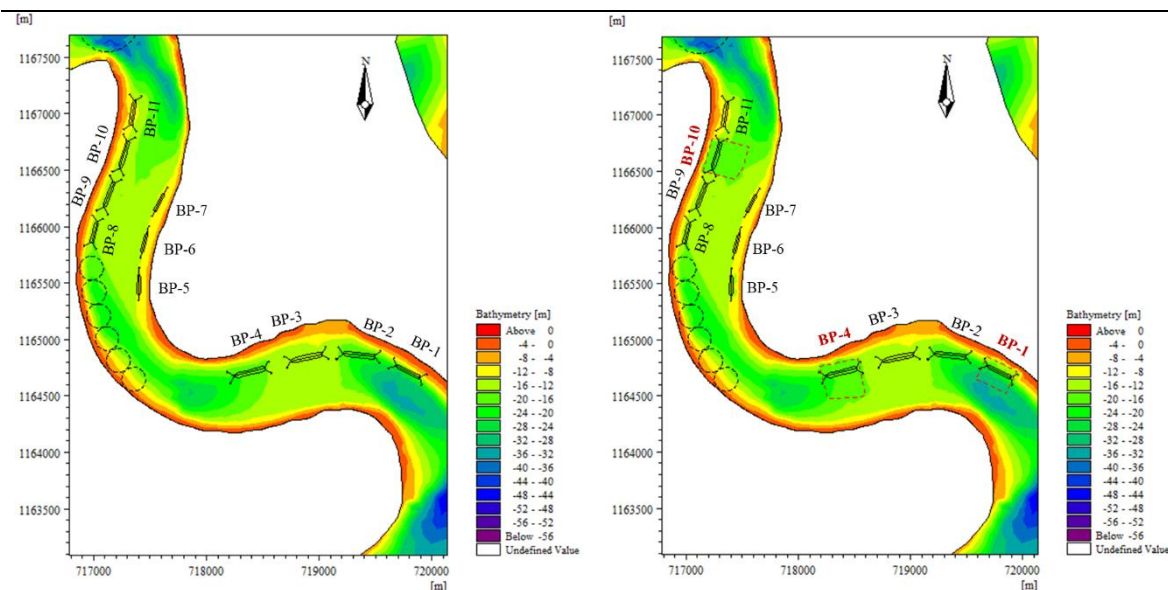


Hình 7. Vị trí và phạm vi ô nạo vét.

Nghiên cứu thiết lập hai kịch bản địa hình khi không nạo vét và địa hình sau khi nạo vét các bến phao PB-1, BP-4 và BP-10 với cao độ nạo vét như trong Bảng 2 trong cùng điều kiện thủy văn, phù sa, sau đó sẽ so sánh kết quả giữa hai kịch bản nhằm đánh giá ảnh hưởng của quá trình nạo vét vào năm 2016 đến quá trình bồi-xói đáy sông Gò Gia. Các kịch bản cụ thể được mô tả trong Bảng 5.

Bảng 5. Các kịch bản nạo vét.

Kịch bản hiện trạng	Kịch bản nạo vét
Điều kiện thủy văn: tháng 04/2016	
Địa hình đáy sông	



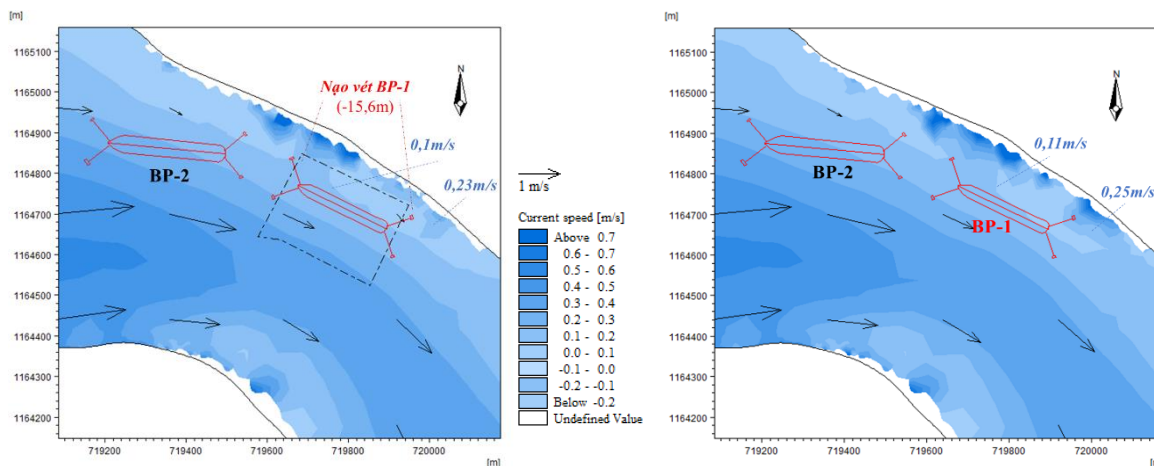
3.2.2. Đánh giá ảnh hưởng của hoạt động nạo vét

Để đánh giá chi tiết tác động của hoạt động nạo vét tại từng bến phao, nghiên cứu phân chia khu vực sông Gò Gia thành ba khu vực nhỏ để phân tích chi tiết, vị trí các khu vực được thể hiện trong Hình 7. Đối với kết quả bồi-xói, thang màu từ xanh đậm đến nhạt cho thấy mức độ bồi giảm dần, thang màu từ đỏ nhạt dần thể hiện mức độ xói giảm dần.

a) Bến phao BP-1

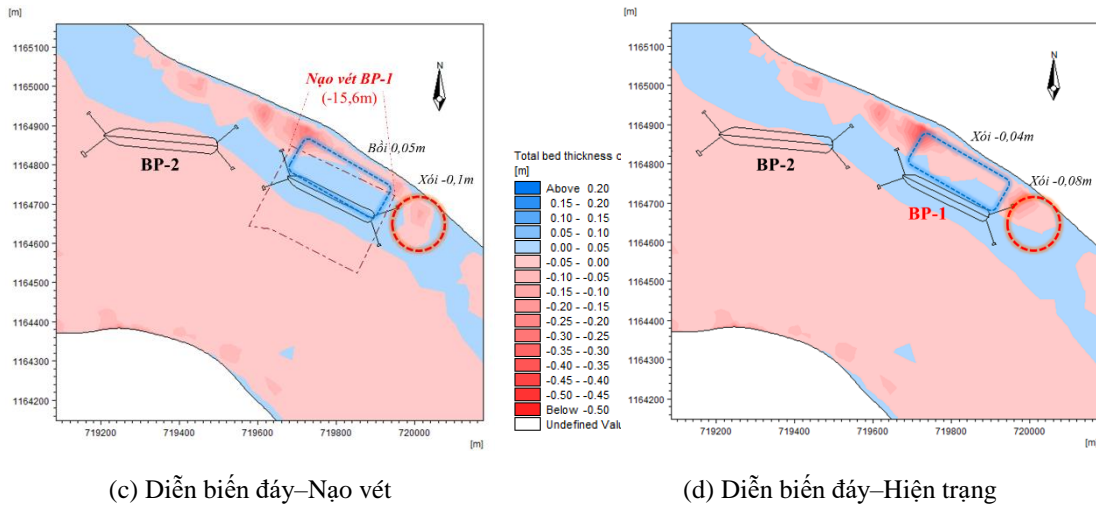
Bến phao BP-1 được nạo vét với cao độ $-15,6$ m với mục đích cho tàu có trọng tải đến 80.000 DWT làm khu neo đậu. Hình 8 thể hiện kết quả mô phỏng dòng chảy và diễn biến đáy trước và sau khi nạo vét bến phao BP-1 vào mùa khô.

Từ kết quả cho thấy, trong phạm vi ô nạo vét vận tốc dòng chảy giảm so với hiện trạng cả khi triều lên và triều xuống, cụ thể vận tốc dao động trong khoảng $0,11-0,23$ m/s vào năm 2016, tuy nhiên sau khi nạo vét vận tốc dòng chảy giảm còn khoảng từ $0,1-0,22$ m/s. Do vận tốc dòng chảy giảm nên trong phạm vi ô nạo vét sẽ giảm mức độ xói, đồng thời khu vực này sẽ có xu hướng bồi với mức độ khoảng $0,05$ m/tháng. Đối với khu vực phía sau ô nạo vét, vận tốc dòng chảy có sự thay đổi so với hiện trạng, sau khi nạo vét vận tốc dòng chảy có xu hướng tăng khi triều lên và giảm khi triều xuống. Sự thay đổi dòng chảy làm tăng phạm vi xói, nhưng mức độ xói tăng tương đối thấp, cụ thể sau khi nạo vét mức độ xói khoảng $0,1$ m tăng thêm $0,02$ m so với hiện trạng.



(a) Vận tốc-Nạo vét

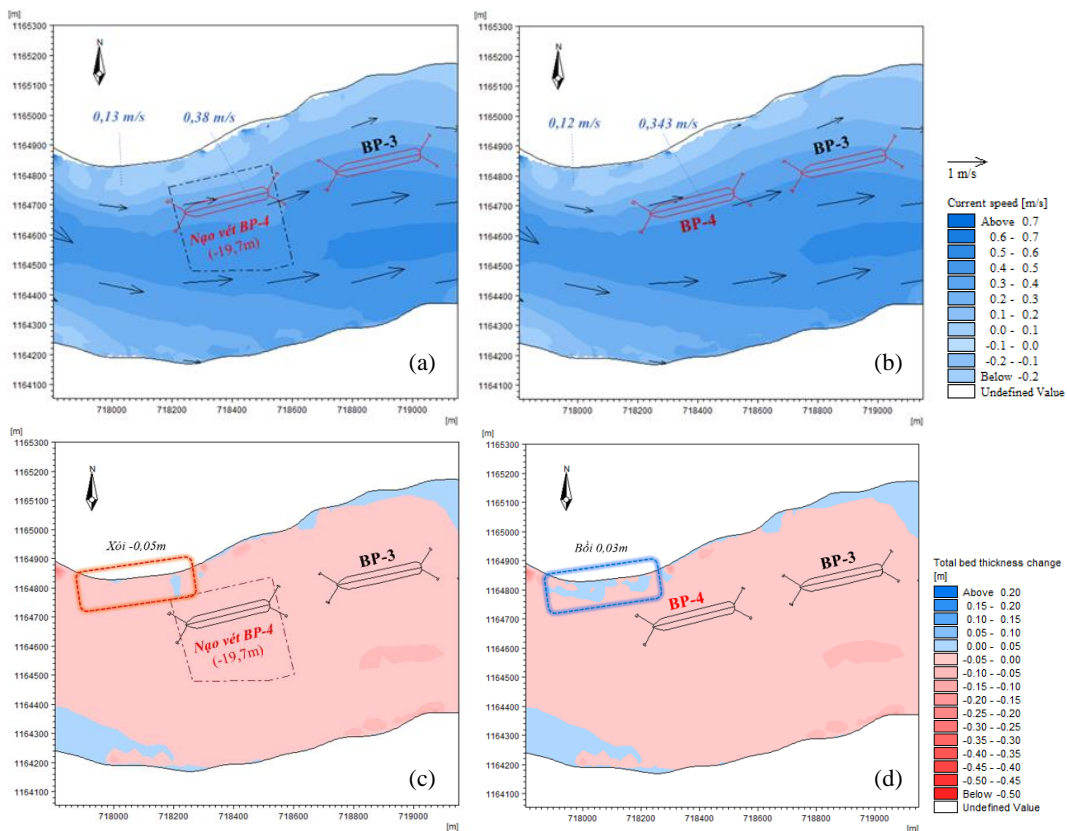
(b) Vận tốc-Hiện trạng



Hình 8. Dòng chảy và diễn biến đáy khi nạo vét BP1 và khi không nạo vét.

b) Bến phao BP-4

Bến phao BP-4 được nạo vét với cao độ -19,7 m với mục đích làm khu neo đậu tàu với trọng tải đến 150.000 DWT. Kết quả tính toán dòng chảy và diễn biến đáy trước và sau khi nạo vét bến phao BP-4 vào mùa khô và mùa mưa được trình bày lần lượt trong Hình 9. Các kết quả chỉ ra rằng, sau khi nạo vét với cao độ -19,7 m tại khu vực ven bờ phía trên BP-4 (ô màu đỏ) có khuynh hướng xói với mức độ khoảng -0,05 m, trong khi trước khi nạo vét khu vực này có khuynh hướng bồi với mức độ +0,03 m. Điều này có thể do, sau khi nạo vét dòng chảy tăng vận tốc khoảng 0,01m/s khi triều xuống và khoảng 0,11 m/s khi triều lên. Xét các khu vực khác xung quanh vị trí nạo vét tại bến phao BP-04 hầu như không có sự thay đổi về vận tốc dòng chảy cũng như diễn biến đáy so với giai đoạn trước khi nạo vét.

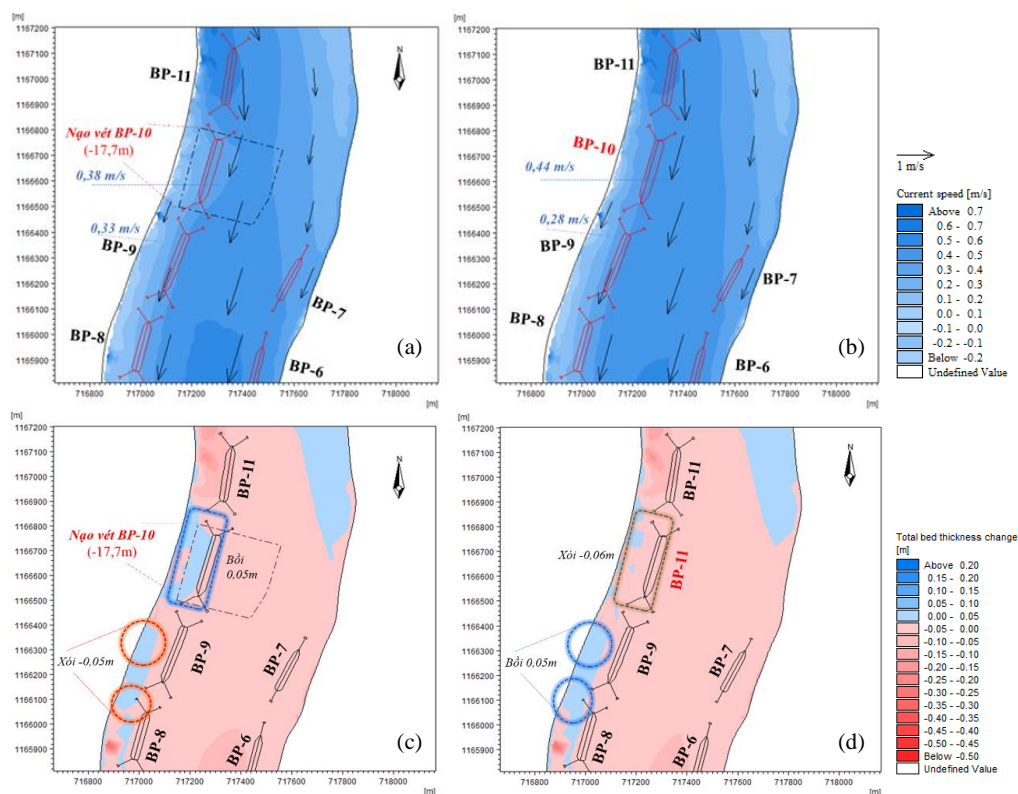


Hình 9. Dòng chảy và diễn biến đáy khi nạo vét BP-4 và khi không nạo vét: (a) Vận tốc-Nạo vét; (b) Vận tốc-Hiện trạng; (c) Diễn biến đáy-Nạo vét; (d) Diễn biến đáy-Hiện trạng.

c) Bến phao BP-10

Bến phao BP-10 được nạo vét với cao độ -17,7 m với mục đích làm khu neo đậu tàu với trọng tải đến 100.000 DWT. Các kết quả tính toán dòng chảy và diễn biến đáy trước và sau khi nạo vét bến phao BP-10 vào mùa khô và mùa mưa được thể hiện lần lượt trong Hình 10.

Vào mùa khô, vận tốc dòng chảy ngay tại bến phao BP-10 có xu hướng giảm sau khi nạo vét cụ thể, trước khi nạo vét dòng trong khu vực có vận tốc khoảng 0,55 m/s khi triều lên và triều xuống khoảng 0,44 m/s, sau khi nạo vét vận tốc giảm còn khoảng 0,39 m/s khi triều lên và 0,48 m/s khi triều xuống, do đó sau khi nạo vét tại khu vực có khuynh hướng chuyển từ xói sang bồi với mức độ bồi trong khoảng 0,05 m. Tuy nhiên, tại khu vực phía dưới phạm vi nạo vét ngay tại bến phao BP-9 và BP-8 có khuynh hướng xói nhiều hơn so với hiện trạng, cụ thể mức độ xói sẽ tăng khoảng 0,05 m nhưng phạm vi khu vực tăng mức độ xói không lớn.



Hình 10. Dòng chảy và diễn biến đáy khi nạo vét BP-10 và khi không nạo vét: (a) Vận tốc–Nạo vét; (b) Vận tốc–Hiện trạng; (c) Diễn biến đáy–Nạo vét; (d) Diễn biến đáy–Hiện trạng.

Qua các kết quả tính toán diễn biến đáy sau khi thực hiện nạo vét tại 04 bến phao BP-1, BP-4, BP-5 và BP-10 trên sông Gò Gia cho thấy, sự thay đổi độ sâu đáy sông sau quá trình nạo vét có xu hướng làm thay đổi chế độ thủy lực cũng như địa hình đáy sông tại các khu vực xung quanh phạm vi nạo vét. Nhìn chung, trong phạm vi ô nạo vét vận tốc dòng chảy có khuynh hướng giảm so với ban đầu, trong khi tại các khu vực phía trên hoặc phía dưới ô nạo vét vận tốc dòng chảy có khuynh hướng tăng so với ban đầu. Đối với quá trình diễn biến lòng dẫn, trong phạm vi ô nạo vét quá trình xói có xu hướng giảm và quá trình bồi có xu hướng tăng. Tại các khu vực phía trên hoặc dưới phạm vi nạo vét, có thể do vận tốc dòng chảy tăng sau khi nạo vét, đồng thời bùn cát tại các khu vực lân cận sẽ bù đắp vào khu vực đã khai thác dẫn đến quá trình xói có khả năng tăng tại các khu vực này. Song song đó, kết quả còn cho thấy, đối với các bến phao BP-1 với cao độ nạo vét lần lượt -15,6 m phạm vi các khu vực bị ảnh hưởng sẽ ít hơn so với khi nạo vét tại các bến phao BP-4 (-19,7 m) và BP-10 (-17,7 m). Do đó, cao độ nạo vét và vị trí khu vực nạo vét cũng có ảnh hưởng nhất định đến sự thay đổi lòng dẫn tại khu vực.

4. Kết luận

Nghiên cứu đã thực hiện hiệu chỉnh–kiểm định dòng chảy tại 04 trạm Cái Mép, Ngã Bảy, Tam Thôn Hiệp, Vàm sát và nồng độ phù sa tại 03 vị trí SW–DT, SW–GG–01 và SW–GG–02 vào mùa khô tháng 04/2016 và mùa mưa tháng 10/2016. Các kết quả đều đạt mức tốt, có độ tin cậy cao và bộ thông số mô hình vận chuyển bùn cát đạt được đảm bảo độ tin cậy để thực hiện mô phỏng các quá trình vận chuyển phù sa và thay đổi hình thái đáy tại khu vực sông Gò Gia trong năm 2016.

Nghiên cứu đã tiến hành thiết lập kịch bản nạo vét dựa vào các khu vực thực tế đã được nạo vét trên sông Gò Gia vào năm 2016, sau đó tiến hành mô phỏng theo các kịch bản đã xây dựng nhằm phân tích tác động của quá trình nạo vét đến sự thay đổi hình thái đáy sông Gò Gia. Kết quả chỉ ra rằng, xét trong trường hợp khai thác đúng quy hoạch về độ sâu và phạm vi khu vực nạo vét, hoạt động nạo vét tại các bến phao BP–1, BP–4 và BP–10 có ảnh hưởng cục bộ đến vận tốc dòng chảy và hình thái đáy sông tại khu vực xung quanh ô namjo vét. Cụ thể, ngay tại các khu vực nạo vét vận tốc dòng chảy giảm, khu vực sẽ có xu hướng bồi, tuy nhiên tại các khu vực ven bờ xung quanh ô nạo vét sẽ có xu hướng xói và vận tốc dòng chảy tăng.

Do số liệu đo đạc về cấu trúc lớp đáy và địa hình đáy của nhiều năm bị hạn chế nên kết quả nghiên cứu chỉ đánh giá xu hướng thay đổi về hình thái đáy. Trong những nghiên cứu tiếp theo, cần thu thập hoặc đo đạc thêm những số liệu này để phục vụ kiểm định lại kết quả tính toán. Bên cạnh đó, nghiên cứu có thể mở rộng bằng cách xem xét tác động của các yếu tố như sự thay đổi dòng chảy, nước biển dâng do ảnh hưởng của biến đổi khí hậu, cũng như quy hoạch các khu vực nạo vét trong tương lai đến diễn biến lòng dẫn tại khu vực sông Gò Gia.

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

Lời cảm ơn: Nghiên cứu này được thực hiện dưới sự tài trợ của Sở Khoa học và Công nghệ TP. HCM thông qua Hợp đồng thực hiện nhiệm vụ khoa học và công nghệ số 112/2020/HĐ–QKHCN ngày 15 tháng 12 năm 2020.

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. Ott, R.A. Factors affecting stream bank and river–bank stability, with an emphasis on vegetation influences. Region III Forest Resources & Practices Riparian Management Annotated Bibliography. 2000, 21–40.
2. Heede, B.H. Stream dynamics: an overview for land managers. USDA Forest Service, Rocky Mountain Forest and Range Experiment Station, General Technical Report RM–72. 1980.
3. Piégay, H.; Darby, S.E.; Mosselman, E.; Surian, N. A review of techniques available for delimiting the erodible river corridor: a sustainable approach to managing bank erosion. *River Res. Appl.* **2005**, *21*(7), 773–789.
4. Hooke, J.M. An analysis of the processes of river–bank erosion. *J. Hydrol.* **1979**, *42*(1–2), 39–62.
5. Habersack, H.; Piégay, H.; Rinaldi, M. Eds. Gravel Bed Rivers 6: From Process Understanding to River Restoration. Elsevier, 2011.
6. Rinaldi, M.; Casagli, N. Stability of streambanks formed in partially saturated soils and effects of negative pore water pressures: the Sieve River (Italy). *Geomorphology* **1999**, *26*, 253–277.

7. Bradbury, J.; Cullen, P.; Dixon, G.; Pemberton, M. Monitoring and management of streambank erosion and natural revegetation on the lower Gordon River, Tasmanian Wilderness World Heritage Area, Australia. *Environ. Manage.* **1995**, *19*, 259–272.
8. Gares, P.A., Sherman, D.J.; Nordstrom, K.F. Geomorphology and natural hazards. *Geomorphology Nat. Hazards* **1994**, 1–18.
9. Novico, F.; Priohandono, Y.A. Analysis of Erosion and Sedimentation Patterns Using Software of Mike 21 FM HD–MT in the Kapuas Murung River Mouth Central Kalimantan Province. *Bull. Mar. Geol.* **2012**, *27(1)*, 35–53.
10. Kulkarni, R. Numerical Modelling of Coastal Erosion using MIKE21. Master thesis, Norwegian University of Science and Technology, Trondheim, Norway, 2013.
11. Kimiaghalam, N.; Clark, S.; Ahmari, H.; Hunt, J. Wave – current induced erosion of cohesive riverbanks in northern Manitoba, Canada. *IAHS Publ.* **2014**, *367*, 134–140.
12. Nga, T.N.Q.; Khoi, D.N.; Thuy, N.T.D.; Nhan, D.T.; Kim, T.T.; Bay, N.T. Understanding the Flow and Sediment Dynamics in the Mekong River – A Case Study in the Vinh Long Province. Proceedings of the 10th International Conference on Asian and Pacific Coasts. Hanoi, Vietnam, 25–28/09/2019, 1453–1460.
13. Thuy, N.T.D.; Khoi, D.N.; Nhan, D.T.; Nga, T.N.Q.; Bay, N.T.; Phung, N.K. Modelling Accretion and Erosion Processes in the Bassac and Mekong Rivers of the Vietnamese Mekong Delta. Proceedings of the 10th International Conference on Asian and Pacific Coasts. Hanoi, Vietnam, 25–28/09/2019, 1431–1437.
14. DHI. MIKE 21 & MIKE 3 Flow model FM Hydrodynamic Scientific Documentation. 2014.
15. DHI. MIKE 21 & MIKE 3 Flow model FM – Mud transport module Scientific Documentation. 2014.
16. Bầy, N.T. Nghiên cứu đánh giá quá trình diễn biến đáy và thay đổi chế độ thủy văn do nạo vét sông Soài Rạp phục vụ công tác phát triển giao thông đường thủy. 2012.
17. Công ty Cổ phần Tư vấn Xây dựng Điện 2 (PECC 2). Dự án Trung tâm điện lực Tân Phước. 2016.
18. Công ty TNHH Đầu tư TM Dịch Vụ – XNK Hoàng Minh. Báo cáo Đánh Giá Tác Động Môi Trường của dự án xã hội hóa nạo vét khu neo đậu tránh bão trên sông Gò Gia theo hình thức tận thi bù chi phí, không sử dụng ngân sách Nhà nước. 2016.
19. Moriasi, D.N.; Gitau, M.W.; Pai, N.; Daggupati, P. Hydrologic and water quality Models performance measures and evaluation criteria. *Am. Soc. Agric. Biol. Eng.* **2015**, *58(6)*, 1763–1785.

Assessing the impact of dredging on the erosion and accretion processes in the Go Gia River, Can Gio

Nguyen Thi Diem Thuy^{1*}, Dao Nguyen Khoi¹, Bui Phi Phung¹, Nguyen Thi Bay²

¹ Faculty of Environment, University of Science, Vietnam National University Ho Chi Minh city; nguyenthidiemthuyapag@gmail.com; dnkhoi@hcmus.edu.vn; phung.bui1211@gmail.com

² Faculty of Civil Engineering, University of Technology, Vietnam National University Ho Chi Minh city; nguyentbay@gmail.com

Abstract: The main aim of this study was to evaluate the impact of dredging on the erosion and accretion processes in the Go Gia River in the Can Gio district. MIKE 21FM model with hydrodynamic and mud transport modules was applied to simulate the current and the change of bed thickness in the study area. The outcomes proved that the calibrated model has high reliability with values of Nash–Sutcliffe efficiency (NSE), coefficient of determination (R²) above 0,83 at the four monitoring stations, and the percent bias (PBIAS)

between the observed and MIKE 21FM simulated suspended solids concentrations was less than 20% for two-periods calibration and validation. In comparison between two scenarios of pre-dredging and post-dredging, the results illustrated that in the dredging regions, there was an upward trend in the erosion process and conversed in the accretion process. In the locations around the dredging areas, the erosion process tends to increase due to an increase in flow velocity. It is conspicuous that the dredging activities can change the flow velocity and the morphology evolution in the areas around the dredging areas.

Keywords: Can Gio district; MIKE 21FM model, dredging, Go Gia river, Erosion.

Bài báo khoa học

Đa dạng sinh học và ảnh hưởng của Biến đổi khí hậu đến một số hệ sinh thái tại Công viên Địa chất Non nước Cao Bằng

Ngô Huy Kiên^{1*}, Phùng Ngọc Trường², Phạm Văn Toán², Ngô Trần Quốc Khánh³, Ngô Đức Thuận⁴, Lê Anh Tú⁵, Vi Trần Thùy⁶

¹ Viện Quy hoạch và Thiết kế nông nghiệp, Bộ Nông nghiệp và Phát triển nông thôn; ngohuykien68@gmail.com.

² Trung tâm Nghiên cứu và Quy hoạch môi trường, Liên hiệp các Hội Khoa học và Kỹ thuật Việt Nam; ngoctruongrpe@gmail.com; quangtoan9622@gmail.com

³ Đại học Khoa học Tự nhiên, Đại học Quốc gia Hà Nội; khanh280900@gmail.com

⁴ Khoa Các khoa học liên ngành, Đại học Quốc gia Hà Nội; ducthuaniescc@gmail.com

⁵ Viện Khoa học Môi trường và Biến đổi khí hậu; anhtule309@gmail.com

⁶ Ban quản lý Công viên địa chất non nước Cao Bằng, Sở Văn hóa, Thể thao và Du lịch Cao Bằng; caobanggeopark@gmail.com

*Tác giả liên hệ: ngohuykien68@gmail.com; Tel.: +84–913503387

Ban Biên tập nhận bài: 13/3/2022; Ngày phản biện xong: 22/4/2022; Ngày đăng bài: 25/5/2022

Tóm tắt: Ngoài những giá trị địa chất nổi bật, CVĐC Non Nước Cao Bằng còn là khu vực có giá trị về đa dạng sinh học (ĐDSH) quan trọng tại khu vực Đông Bắc Bộ. Trong những thập kỷ gần đây, ảnh hưởng của biến đổi khí hậu (BĐKH) tới ĐDSH đã làm cho nhiều HST có tính đa dạng cao bị suy thoái trầm trọng hoặc hủy diệt, nhiều loài động, thực vật đã bị tuyệt chủng. Trong nghiên cứu này, phương pháp thu thập số liệu, tài liệu, khảo sát thực địa, chồng chập bản đồ được áp dụng để xác định vùng ảnh hưởng của BĐKH đến một số HST. Các yếu tố nhiệt độ, lượng mưa có xu thế tác động đến 5 HST bao gồm: HST rừng tự nhiên, HST rừng trồng, HST thủy vực, HST nông nghiệp và HST dân cư. Trong đó, yếu tố nhiệt độ và lượng mưa gây ra tác động lớn nhất đối với HST rừng tự nhiên và khu vực chịu ảnh hưởng lớn nhất là tại huyện Nguyên Bình.

Từ khóa: Hệ sinh thái; Công viên Địa chất; Cao Bằng; Biến đổi khí hậu.

1. Mở đầu

Ở Việt Nam, BĐKH đang ảnh hưởng ngày một sâu, rộng đến các HST. Vùng phân bố của nhiều loài cây, côn trùng, chim và cá chuyển dịch lên phía Bắc và lên các vùng có độ cao lớn, nhiều loài thực vật nở hoa sớm, nhiều loài chim đã bắt đầu thay đổi thời gian di cư, nhiều loài động vật bắt đầu mùa sinh sản sớm hơn, nhiều loài côn trùng đã xuất hiện với mật độ lớn hơn ở Bắc bán cầu và hệ thống rạn san hô bị chết tăng mạnh [1].

ĐDSH ở Việt Nam có ý nghĩa lớn, các HST với nguồn tài nguyên sinh vật phong phú đã mang lại những lợi ích trực tiếp cho con người và đóng góp cho nền kinh tế, đặc biệt là trong sản xuất nông, lâm nghiệp và thủy sản; là cơ sở đảm bảo an ninh lương thực quốc gia; duy trì nguồn gen tạo giống vật nuôi, cây trồng; cung cấp vật liệu cho xây dựng và các nguồn dược liệu, thực phẩm [2]... Ngoài ra, các HST còn đóng vai trò quan trọng trong điều tiết khí hậu và bảo vệ môi trường. Hiện nay các HST bị ảnh hưởng của BĐKH và theo thời gian sẽ không tránh khỏi sự biến mất của các loài sinh vật [3].

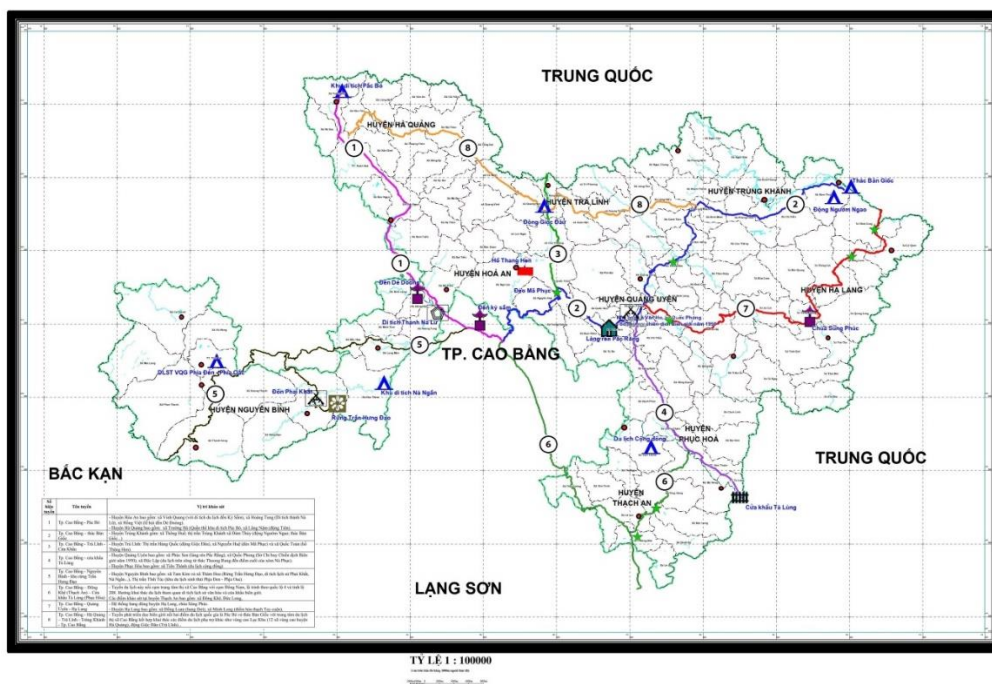
Các nghiên cứu ảnh hưởng của BĐKH đến các HST đã và đang được quan tâm nghiên cứu ở trên thế giới cũng như ở Việt Nam. Tuy nhiên, hầu hết các nghiên cứu thường tập trung

vào vấn đề nước biển dâng ảnh hưởng đến các HST ven biển. Các nghiên cứu về ảnh hưởng của BĐKH đến các thủy vực nước ngọt, đến các HST rừng, HST nông nghiệp còn hạn chế [4]. Nghiên cứu được thực hiện với mục tiêu cung cấp các dẫn liệu khoa học nhằm đánh giá về ĐDSH và ảnh hưởng của BĐKH đến một số HST ở CVĐC Non Nước Cao Bằng; bổ sung về đặc điểm điều kiện tự nhiên, KTXH, hiện trạng đa dạng các HST.

2. Phương pháp nghiên cứu

2.1. Khu vực nghiên cứu

Công viên địa chất Non Nước Cao Bằng có diện tích hơn 339.000 ha, bao gồm các huyện, Trùng Khánh, Hạ Lang, Quảng Hoà và một phần diện tích các huyện Hòa An, Nguyên Bình, Hà Quảng và Thạch An.



Hình 1. Sơ đồ vị trí, tuyến điều tra tại Công viên địa chất Non nước Cao Bằng.

2.2. Khảo sát thực địa và lấy mẫu

Phương pháp này được thực hiện bằng việc điều tra các tuyến khảo sát khác nhau và tiến hành theo lộ trình, nhằm lựa chọn các HST đại diện và thu thập bổ sung các số liệu, tài liệu thực tế tại khu vực nghiên cứu.

Khảo sát thực địa được tiến hành trong 2 đợt nhằm thu thập các dữ liệu thực tế phục vụ quá trình nghiên cứu. Bao gồm:

- Khảo sát thu thập dữ liệu, số liệu về địa hình, địa chất, thủy văn, khí hậu, các hiện tượng khí hậu cực đoan, sạt lở, đa dạng HST...
- Khảo sát các hoạt động KTXH.

2.3. Phương pháp đánh giá tác động của biến đổi khí hậu đến đa dạng và một số hệ sinh thái

Phương pháp đánh giá tác động của BĐKH tới ĐDSH ở Việt Nam được xây dựng bao gồm các bước sau đây:

- Bước 1: Xác định khu vực có tính đa dạng sinh học cao
 - + Xác định các HST nhạy cảm với các biểu hiện của BĐKH;
 - + Xác định các vùng dự kiến đánh giá ảnh hưởng của BĐKH, đặc điểm về HST, các loài đặc trưng, quý hiếm...;

+ Thu thập tài liệu, số liệu, thông tin về ĐDSH có liên quan;

+ Thành lập bản đồ phân bố các HST.

Bước 2: Thu thập thông tin về BĐKH và các bản đồ về BĐKH (xác định các yếu tố khí tượng có tác động chính đến ĐDSH): Nhiệt độ, lượng mưa, các hiện tượng thời tiết cực đoan,...

Bước 3: Thu thập và xử lý các thông tin về các yếu tố khác ảnh hưởng, tác động đến ĐDSH và một số HST.

Bước 4: Chồng chập bản đồ

+ Chồng chập các bản đồ và xử lý thông tin về BĐKH và ĐDSH để xác định vùng ĐDSH bị đe dọa/chịu tác động khắc nghiệt nhất do BĐKH.

+ Dựa vào hệ thống bản đồ, thông tin về các HST để xác định vùng có HST nhạy cảm nhất với tác động của BĐKH và các tác động từ bên ngoài.

Bước 5: Đánh giá sự ảnh hưởng của BĐKH đến các HST tại khu vực nghiên cứu.

Dựa vào ý kiến của các chuyên gia, kết hợp các thông số, kết quả chồng chập bản đồ BĐKH và HST, đặc trưng HST nhạy cảm để đánh giá sự thay đổi HST theo sự thay đổi/tác động của BĐKH. Cụ thể:

– HST rừng có chức năng điều hòa khí hậu và hấp thụ CO₂ trong quá trình quang hợp, góp phần làm giảm lượng KNK trong khí quyển sự thay đổi nhiệt độ và lượng mưa sẽ gây ra HST rừng sẽ suy giảm về chất lượng và trữ lượng

– Một số loài sẽ bị tuyệt chủng, một số loài được ghi trong Sách Đỏ của IUCN, nhất là các loài Rất nguy cấp và Nguy cấp mà chỉ còn sống sót ở một địa điểm nhất định.

– Các HST, các sinh cảnh cần thiết cho các loài di cư, hoặc các loài nguy cấp có phân bố hẹp, các loài đặc hữu sẽ bị biến mất hoặc thu hẹp.

– Các hệ sinh thái bị biến đổi và phân mảnh, một số khu bảo tồn có tầm quan trọng về kinh tế-xã hội, văn hóa và khoa học hoặc là đại diện, hay có tầm quan trọng về tiến hoá hay về các quá trình sinh học sẽ bị mất hoặc bị thu hẹp.

– Sự xâm nhập của các loài ngoại lai: do môi trường sống thay đổi tạo điều kiện cho các loài động thực vật ngoại lai xâm nhập, phát triển. Các hệ sinh thái thủy vực nước ngọt, các vùng ven biển là những nơi bị tác động nhiều nhất.

– BĐKH còn ảnh hưởng đến các thủy vực nội địa (sông, hồ, đầm lầy...) qua sự thay đổi nhiệt độ nước và mực nước làm thay đổi lớn tới thời tiết (chế độ mưa, bão, hạn hán, cháy rừng, El Nino...), tới lưu lượng, đặc biệt là tần suất và thời gian của những trận lũ và hạn hán lớn sẽ làm giảm sản lượng sinh học bao gồm cả các cây trồng nông, công và lâm nghiệp, và sự diệt vong của nhiều loài động thực vật bản địa, gây hậu quả nghiêm trọng cho nền kinh tế.

3. Kết quả và thảo luận

3.1. Hiện trạng đa dạng sinh học tại Công viên Địa chất Non nước Cao Bằng

3.1.1. Đa dạng về loài

Theo kết quả từ Bảng 1 cho thấy tại khu vực CVĐC Non Nước Cao Bằng có 3.309 loài sinh vật thuộc 1.796 chi/giống của 435 họ, 123 bộ. Trong đó nhóm thực vật bậc cao có số loài lớn nhất là 1.862 loài thuộc 855 chi, 212 họ và 65 bộ; nhóm lưỡng cư có số loài thấp nhất là 32 loài thuộc 19 giống, của 7 họ và 2 bộ.

3.1.2. Đa dạng về nguồn gen

Cây trồng có 24 nguồn gen đặc sản, gồm: 10 nguồn gen cây lương thực, thực phẩm, như: Lúa nếp hương Xuân Trường, lúa nếp Pì Pát, bí thơm Thạch An...; 9 nguồn gen cây ăn quả, như: quýt Trà Lĩnh, lê Đông Khê, hạt dẻ Trùng Khánh...; 2 nguồn gen cây lâm nghiệp là trúc sào, mác rạc; 3 nguồn gen cây lâu năm là: mác mật, chè đắng, chè Pha Đén [5].

Động vật nuôi có 10 giống bản địa, chất lượng: bò Mông, lợn đen Táp Ná, gà xương đen, ngựa Nước Hai, chó lùn Bảo Lạc...

Khu vực còn có 32 nguồn gen quý cần bảo tồn theo Quyết định số 80/2005/BNN của Bộ Nông nghiệp và Phát triển Nông thôn, như: Bạc Bát (qua lâu) (*Trichosanthes kirilowi*), qua lâu trứng (*Trichosanthes ovigera*), đậu nho nhe Cao Bằng (*Vigna umbellata*), hồng bì (*Trichosanthes rubriflos*), mướp đắng (*Momordica charantia*), mướp khía (*Luffa acutangula*), khâu mè (*Oryza sativa*)...

Bảng 1. Tổng hợp thành phần loài tại CVĐC Non Nước Cao Bằng.

TT	Nhóm	Số lượng				
		Bộ	Họ	Chi/Giống	Loài	Tỷ lệ % số loài
1	Thực vật trên cạn	65	212	855	1.862	56,27%
2	Động vật nổi	6	21	56	92	2,78%
3	Động vật đáy	5	22	60	134	4,05%
4	Côn trùng trên cạn	11	63	502	642	19,40%
5	Cá	7	18	59	83	2,51%
6	Lưỡng cư	2	7	19	32	0,97%
7	Bò sát	2	12	38	57	1,72%
8	Chim	16	51	140	302	9,13%
9	Thú	9	29	67	105	3,17%
	Tổng	123	435	1.796	3.309	100%

3.1.3. Đa dạng về hệ sinh thái

Từ kết quả điều tra khảo sát thực địa và thành lập bản đồ phân bố của 5 HST (Bảng 2, hình 2), tổng diện tích của 5 HST là 326.389ha. Trong đó, HST rừng tự nhiên chiếm diện tích lớn nhất là 222.808 ha (76,11%), tiếp đến là HST nông nghiệp với diện tích là 54.412 ha (chiếm 18,59%), HST rừng trồng có diện tích là 10.092 ha (chiếm 3,45%), HST khu dân cư có diện tích là 3.578 ha (chiếm 1,22%), ít nhất là HST thủy vực 1.839 ha (chiếm 0,63%).

Bảng 2. Diện tích một số HST tại khu vực CVĐC Non Nước Cao Bằng.

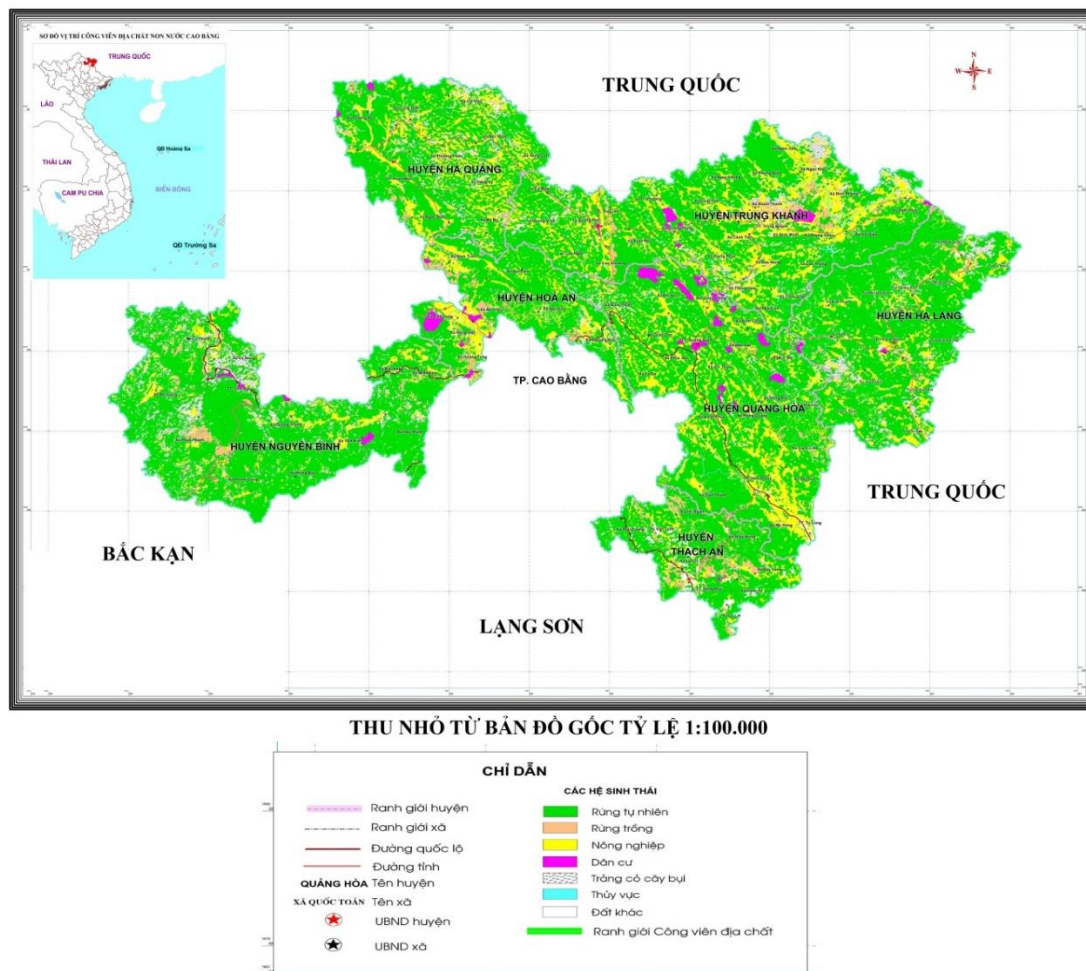
STT	Hệ sinh thái	Diện tích (ha)	Tỷ lệ (%)
1	HST rừng tự nhiên	222.808	76,11
2	HST rừng trồng	10.092	3,45
3	HST thủy vực	1.839	1,22
4	HST nông nghiệp	54.412	18,59
5	HST khu dân cư	3.578	0,63
	Tổng diện tích	326.389	100

3.2. Biểu hiện và kịch bản biến đổi khí hậu tại Công viên Địa chất Non Nước Cao Bằng

Trong thời kỳ 1961–2019, nhiệt độ trung bình năm tại khu vực CVĐC có xu thế tăng với tốc độ tăng từ 0,09–0,15°C /thập kỷ. Nhiệt độ có tốc độ tăng chậm nhất ở trạm Nguyên Bình (0,09°C/thập kỷ); và tăng nhanh hơn ở trạm Trùng Khánh (0,11°C/thập kỷ).

Trong thời kỳ 1961–2019, tổng lượng mưa năm tại các trạm trong khu vực CVĐC thể hiện xu thế biến đổi không rõ ràng. Tuy nhiên lượng mưa có xu thế tăng nhẹ tại trạm Nguyên Bình (0.43%/thập kỷ) và tăng mạnh hơn tại Trùng Khánh (1,42%/thập kỷ).

Theo kịch bản Biến đổi khí hậu tỉnh Cao Bằng được xây dựng năm 2016, kịch bản RCP4.5 được khuyến khích áp dụng đã dự đoán nhiệt độ trung bình năm tại CVĐC Non Nước Cao Bằng đều thể hiện xu thế tăng lên so với thời kỳ cơ sở 1986–2005. Trong đó vào đầu thế kỷ, nhiệt độ trung bình năm tăng phổ biến 0,6°C; Vào giữa thế kỷ, nhiệt độ tăng phổ biến 1,7–1,8°C; và đến cuối thế kỷ, nhiệt độ tăng 2,3–2,5°C. Lượng mưa trung bình năm ở CVĐC Non Nước Cao Bằng đều có xu thế tăng so với thời kỳ cơ sở. Vào đầu thế kỷ, mức tăng phổ biến 10–15%. Vào giữa thế kỷ, lượng mưa tăng phổ biến từ 15–20%. Đến cuối thế kỷ, mức tăng lượng mưa phổ biến 20–25% [6].



Hình 2. Bản đồ phân bố các HST tại CVĐC Cao Bằng.

3.3. Ảnh hưởng của biến đổi khí hậu đến một số hệ sinh thái tại Công viên Địa chất Non nước Cao Bằng

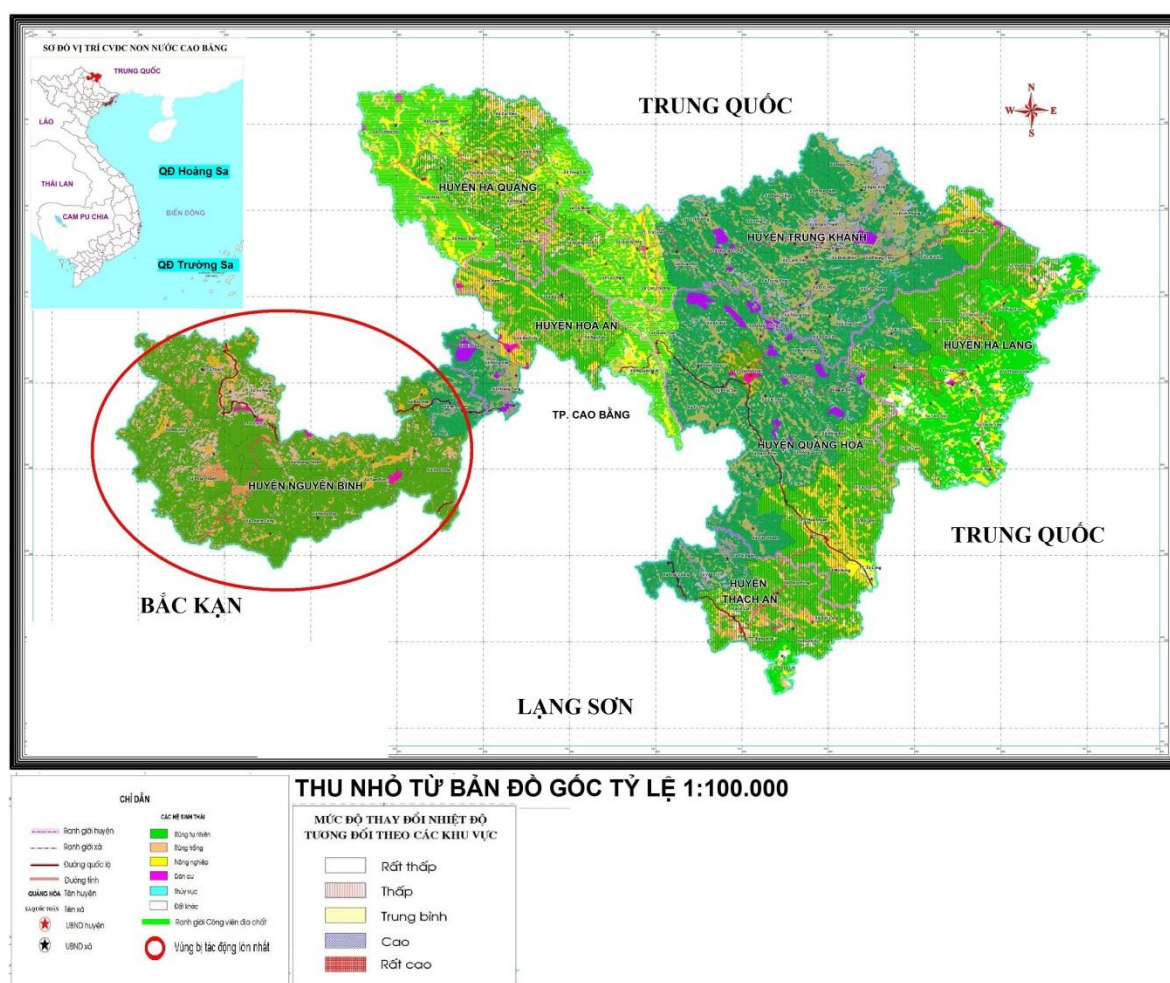
Mức độ ảnh hưởng do BĐKH đến các HST tại khu vực CVĐC Non Nước Cao Bằng theo kịch bản RCP4.5 là có khác nhau. Các HST bị tổn thương cao nhất là huyện Nguyên Bình, trung bình là các huyện Hòa An, Trùng Khánh, Quảng Hòa và Thạch An, thấp nhất là các huyện Hà Quảng và Hạ Lang.

Bảng 3. Diện tích ảnh hưởng của nhiệt độ đến các HST.

STT	Hệ sinh thái	Diện tích (ha)	Tỷ lệ (%)
1	HST rừng tự nhiên	41.061	82,02
2	HST rừng trồng	2.076	4,15
3	HST thủy vực	6.045	12,07

STT	Hệ sinh thái	Diện tích (ha)	Tỷ lệ (%)
4	HST nông nghiệp	556	1,11
5	HST khu dân cư	327	0,65
Tổng diện tích		54.129	100,00

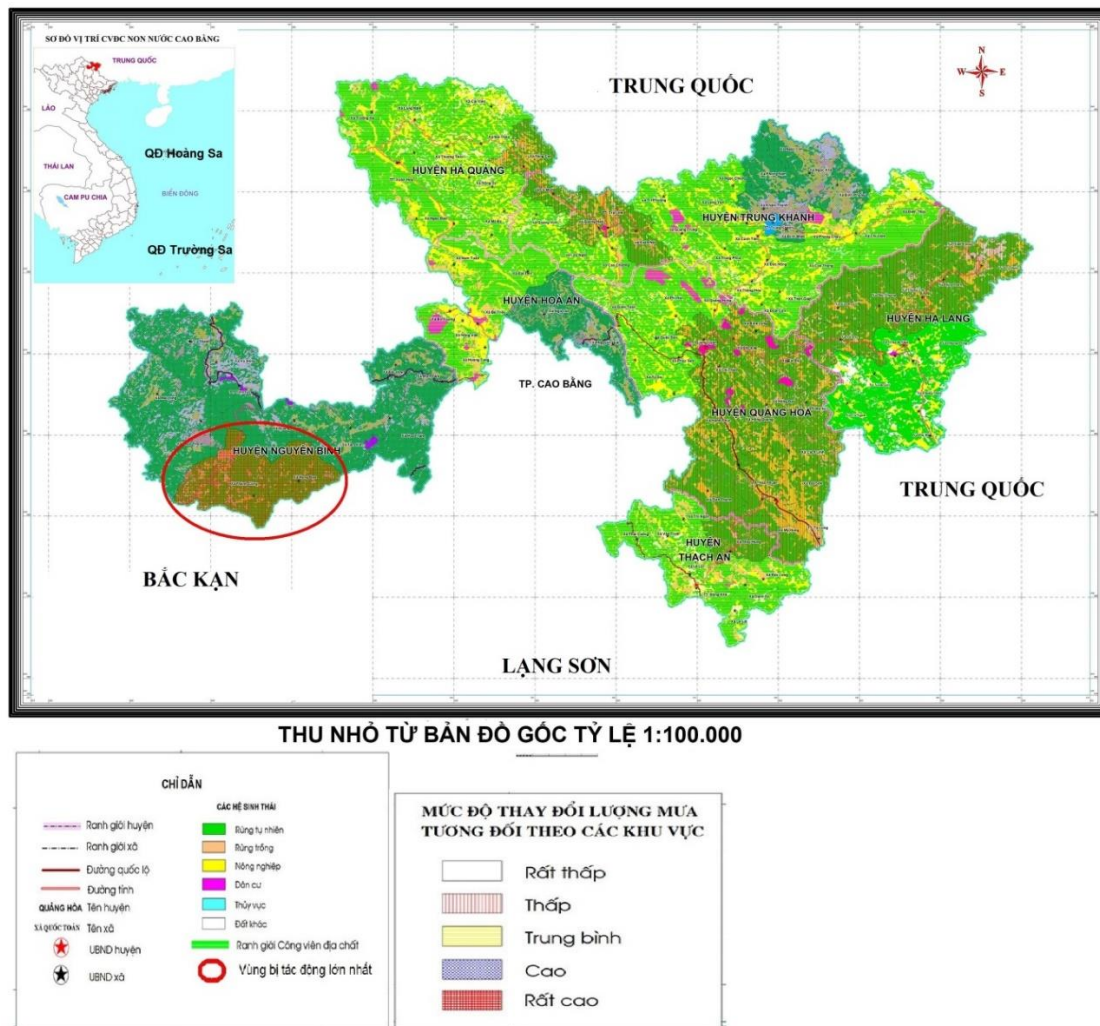
Nhiệt độ trung bình năm tại khu vực nghiên cứu theo kịch bản RCP4.5 ở các thời kỳ đều tăng phổ biến, cao nhất vào cuối thế kỷ nhiệt độ tăng từ 2,3 đến 2,5°C. Tổng diện tích có xu thế bị tác động của nhiệt độ đến khu vực nghiên cứu là 54.129 ha và HST tại khu vực chịu ảnh hưởng lớn nhất của nhiệt độ là HST rừng tự nhiên với 41.061 ha (chiếm 82,02%) (Bảng 3) và vùng chịu ảnh hưởng mạnh nhất của nhiệt độ là khu vực huyện Nguyên Bình bao gồm 15 xã và 2 thị trấn (Hình 3). Nhiệt độ tăng cao sẽ ảnh hưởng đến chỉ số tăng trưởng sinh khí của cây rừng tự nhiên có thể sẽ giảm đi và tăng nguy cơ tuyệt chủng của một số loài động, thực vật quan trọng, tăng nguy cơ cháy rừng, phát triển sâu bệnh, dịch bệnh phá hoại thực vật.



Hình 3. Bản đồ phân vùng ảnh hưởng của nhiệt độ đến các HST tại CVĐC Non nước Cao Bằng.

Lượng mưa trung bình năm của các thời kỳ theo kịch bản RCP4.5 tại khu vực đều tăng phổ biến, cao nhất vào cuối thế kỷ lượng mưa tăng phổ biến 20÷25%. HST tại khu vực chịu ảnh hưởng lớn nhất của lượng mưa vẫn là HST rừng tự nhiên với 10.317 ha (chiếm 81,65%) là HST bị tác động mạnh nhất do biến đổi của lượng mưa (Bảng 4) và vùng có xu thế bị tác động lớn nhất của lượng mưa thuộc khu vực 2 xã Thành Công, xã Hưng Đạo của huyện Nguyên Bình (Hình 4). Quá trình xói mòn rửa trôi theo nước do lượng mưa và cường độ mưa trong mùa mưa tăng lên, nhất là ở những vùng lớp phủ thực vật bị tàn phá cùng với các hiện tượng cực đoan bao gồm: bão, mưa lớn, lũ lụt, lũ quét, hạn hán sẽ làm thay đổi diện tích của

HST rừng tự nhiên, thay đổi thành phần loài, một số loài có nguy cơ tuyệt chủng. Đất bị xói lở làm mất nơi cư trú, sinh sống của nhiều loài động, thực vật trên cạn, ngoài ra hiện tượng xói lở gây mất dinh dưỡng đất làm giảm khả năng sinh trưởng của thực vật cũng là nguyên nhân gây suy thoái HST rừng tự nhiên. BĐKH sẽ làm thay đổi tổ thành, cấu trúc và diện tích của HST rừng tự nhiên, buộc các loài phải di cư và tìm cách thích ứng với điều kiện sống mới.



Hình 4. Bản đồ phân vùng chịu ảnh hưởng của lượng mưa đến các HST tại CVĐC Non nước Cao Bằng.

Bảng 4. Diện tích chịu ảnh hưởng của lượng mưa đến các HST.

STT	Hệ sinh thái	Diện tích (ha)	Tỷ lệ (%)
1	HST rừng tự nhiên	10.317	88,75
2	HST rừng trồng	459	3,95
3	HST thủy vực	691	5,94
4	HST nông nghiệp	98	0,84
5	HST khu dân cư	60	0,52
Tổng diện tích		11.625	100

3.3.1. Đối với HST rừng tự nhiên

HST rừng tự nhiên là nơi tập trung phần lớn các loài động thực vật và có diện tích lớn nhất trong CVĐC vậy nên HST rừng tự nhiên bị ảnh hưởng bởi nhiệt độ và lượng mưa là lớn nhất so với các HST theo kịch bản RCP4.5. Trong đó ảnh hưởng của nhiệt độ là 41.061ha (chiếm 82,02%), của lượng mưa là 10.317ha (chiếm 88,75%). Nhiệt độ tăng cao sẽ làm cho

chỉ số tăng trưởng sinh khí của thực vật có thể sẽ giảm đi và tăng nguy cơ biến mất của một số thực vật rừng quan trọng, tăng nguy cơ cháy rừng, phát triển sâu bệnh phá hoại thực vật.

Khi lượng mưa và cường độ mưa trong mùa mưa tăng lên sẽ dẫn đến quá trình xói mòn rửa trôi nhất là ở những vùng lớp phủ thực vật bị tàn phá cùng với các hiện tượng cực đoan bao gồm: bão, mưa lớn, lũ lụt, lũ quét, hạn hán sẽ làm thay đổi diện tích của HST rừng tự nhiên, thay đổi thành phần loài, một số loài có nguy cơ tuyệt chủng. Đất bị xói lở làm mất nơi cư trú, sinh sống của nhiều loài động, thực vật trên cạn, ngoài ra hiện tượng xói lở gây mất dinh dưỡng đất làm giảm khả năng sinh trưởng của thực vật cũng là nguyên nhân gây suy thoái HST rừng tự nhiên. BĐKH sẽ làm thay đổi tổ thành, cấu trúc và diện tích của HST rừng tự nhiên, dẫn đến các loài phải di cư đến nơi khác hoặc tìm cách thích ứng để tồn tại.

3.3.2. Đối với HST Thủy vực

HST thủy vực là HST chịu tác động cao của nhiệt độ và lượng mưa so với các HST ở khu vực nghiên cứu theo kịch bản RCP4.5. Trong đó ảnh hưởng của nhiệt độ là 6.045 ha (chiếm 12,07%), của lượng mưa là 691 ha (chiếm 5,94%) tại khu vực chịu ảnh hưởng. Nhiệt độ tăng cao cũng làm tăng nhiệt độ nước tăng, gây ra hiện tượng phân tầng nhiệt trong HST hồ/hồ chứa, ảnh hưởng đến các loài thủy sinh vật.

Lượng mưa tăng sẽ tăng cường dòng chảy của các sông/suối, cùng với các hiện tượng thời tiết cực đoan làm tăng tần suất và cường độ các trận lũ sẽ gây ra các hiện tượng trượt lở đất, dòng chảy mạnh cuốn theo các vật chất gây nên hiện tượng bồi lắng, giảm sức chứa của hồ. Lượng mưa lớn cũng làm thay đổi diện tích của HST thủy vực, thay đổi số lượng của các loài [7].

3.3.3. Đối với HST rừng trồng

Nhiệt độ cao sẽ làm cho chỉ số tăng trưởng sinh khí của cây có thể sẽ giảm đi và giảm khả năng sinh trưởng của cây mới trồng, sâu bệnh cũng sẽ phát triển gây hại đến hệ thống rừng trồng. Cây rừng trồng mới chưa có khả năng giữ đất như rừng lâu năm dẫn đến khi lượng mưa và cường độ mưa tăng dẫn đến xói mòn rửa trôi theo nước, ảnh hưởng cùng sẽ làm thay đổi diện tích của HST rừng trồng.

3.3.4. Đối với HST nông nghiệp

Là HST chịu tác động thấp của nhiệt độ và lượng mưa so với các HST ở khu vực nghiên cứu theo kịch bản RCP4.5. Trong đó ảnh hưởng của nhiệt độ là 556 ha (chiếm 1,11%), của lượng mưa là 98 ha (chiếm 0,84%) tại khu vực chịu ảnh hưởng. Khi nhiệt độ tăng lên 1°C thì ranh giới khí hậu tự nhiên sẽ dịch về phía vĩ độ cao hơn 100–200 km, theo đó điều kiện sử dụng đất cũng thay đổi. Như vậy, ranh giới cây trồng nhiệt đới sẽ tiến lên khu vực cao hơn, phạm vi phát triển cây trồng á nhiệt đới bị thu hẹp. Sản xuất nông nghiệp có sự thay đổi các vùng trồng chè, cây ăn quả đặc sản á nhiệt đới có thể còn rất ít hoặc không còn tại khu vực [8].

3.3.5. Đối với HST dân cư

Là HST chịu tác động rất thấp của nhiệt độ và lượng mưa so với các HST ở khu vực nghiên cứu theo kịch bản RCP4.5. Trong đó ảnh hưởng của nhiệt độ là 327 ha (chiếm 0,65%), của lượng mưa là 60ha (chiếm 0,52%) tại khu vực chịu ảnh hưởng.

Lượng mưa thay đổi cùng với các hiện tượng thời tiết cực đoan như mưa lớn, lũ, lũ quét, ngập lụt, sạt lở đất, sương muối, băng giá gây thiệt hại cho hoa màu, công trình hạ tầng của người dân. Trong điều kiện xảy ra lốc tố cục bộ, mưa bão lũ lớn tăng về tần suất và cường độ sẽ gây sạt lở núi, bờ sông sẽ làm cây cối nhà cửa sụp đổ, người, gia súc gia cầm bị cuốn trôi, ruộng đồng ngập. Sự thay đổi về nhiệt độ và lượng mưa cũng dẫn đến sự xuất hiện của một số loại hình dịch bệnh mới ảnh hưởng đến đời sống của người dân.

4. Kết luận

HST rừng tự nhiên là nơi tập trung phần lớn các loài động thực vật và có diện tích lớn nhất trong CVĐC vậy nên HST rừng tự nhiên bị ảnh hưởng bởi nhiệt độ và lượng mưa là lớn nhất so với các HST theo kịch bản RCP4.5. Trong đó ảnh hưởng của nhiệt độ là 41.061ha (chiếm 82,02%), của lượng mưa là 10.317ha (chiếm 88,75%). Nhiệt độ tăng cao sẽ làm cho chỉ số tăng trưởng sinh khí của cây rừng tự nhiên có thể sẽ giảm đi và tăng nguy cơ tuyệt chủng của một số loài động, thực vật quan trọng, tăng nguy cơ cháy rừng, phát triển sâu bệnh, dịch bệnh phá hoại thực vật.

Khi lượng mưa và cường độ mưa trong mùa mưa tăng lên sẽ dẫn đến quá trình xói mòn rửa trôi nhất là ở những vùng lớp phủ thực vật bị tàn phá cùng với các hiện tượng cực đoan bao gồm: bão, mưa lớn, lũ lụt, lũ quét, hạn hán sẽ làm thay đổi diện tích của HST rừng tự nhiên, thay đổi thành phần loài, một số loài có nguy cơ tuyệt chủng.

Là HST chịu tác động cao của nhiệt độ và lượng mưa so với các HST ở khu vực nghiên cứu theo kịch bản RCP4.5. Nhiệt độ tăng cao cũng làm tăng nhiệt độ nước tăng, gây ra hiện tượng phân tầng nhiệt trong HST hồ/hồ chứa, ảnh hưởng đến các loài thủy sinh vật.

Lượng mưa tăng sẽ tăng cường dòng chảy của các sông/suối, cùng với các hiện tượng thời tiết cực đoan làm tăng tần suất và cường độ các trận lũ sẽ gây ra các hiện tượng trượt lở đất, dòng chảy mạnh cuốn theo các vật chất gây nên hiện tượng bồi lắng, giảm sức chứa của hồ. Lượng mưa lớn cũng làm thay đổi diện tích của HST thủy vực, thay đổi số lượng của các loài.

Nhiệt độ cao sẽ làm cho chỉ số tăng trưởng sinh khí của cây có thể sẽ giảm đi và giảm khả năng sinh trưởng của cây mới trồng, sâu bệnh cũng sẽ phát triển gây hại đến hệ thống rừng trồng. Cây rừng trồng mới chưa có khả năng giữ đất như rừng lâu năm dẫn đến khi lượng mưa và cường độ mưa tăng dẫn đến xói mòn rửa trôi theo nước, ảnh hưởng cùng sẽ làm thay đổi diện tích của HST rừng trồng.

Đối với HST nông nghiệp là HST chịu tác động thấp của nhiệt độ và lượng mưa, BĐKH làm cho ranh giới cây trồng nhiệt đới sẽ tiến lên khu vực cao hơn, phạm vi phát triển cây trồng á nhiệt đới bị thu hẹp. Sản xuất nông nghiệp có sự thay đổi các vùng trồng chè, cây ăn quả đặc sản á nhiệt đới có thể còn rất ít hoặc không còn nữa tại khu vực.

Đối với HST dân cư, lượng mưa thay đổi cùng với các hiện tượng thời tiết cực đoan như mưa lớn, lũ, lũ quét, ngập lụt, sạt lở đất gây thiệt hại nhà ở, hoa màu, ách tắc giao thông, công trình hạ tầng của người dân. Sự thay đổi về nhiệt độ và lượng mưa cũng dẫn đến sự xuất hiện của một số loại hình dịch bệnh mới ảnh hưởng đến đời sống của người dân.

Nghiên cứu bước đầu đã đưa ra được những đánh giá định tính về ảnh hưởng của BĐKH đến một số hệ sinh thái quan trọng tại khu vực nghiên cứu. Trong tương lai để có thể lượng hóa và đánh giá cụ thể hơn cần thu thập chính xác các số liệu dữ liệu về đa dạng sinh học trong một khoảng thời gian tương đối dài để phù hợp với thay đổi về khí hậu.

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

Lời cảm ơn: Nghiên cứu này được thực hiện dưới sự tài trợ của đề tài “Nghiên cứu đề xuất giải pháp phát triển du lịch bền vững tỉnh Cao Bằng gắn với Công viên Địa chất Toàn cầu UNESCO Non nước Cao Bằng”, mã số ĐTĐL.CN-34/20 đã tạo điều kiện thuận lợi về khảo sát thực địa và thu thập số liệu 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. Trung tâm Nghiên cứu Tài nguyên và Môi trường. Biến đổi khí hậu và đa dạng sinh học. Nhà xuất bản Nông nghiệp, 2016.
2. Báo cáo hiện trạng Quốc gia về Đa dạng sinh học. Bộ Tài nguyên và Môi trường, 2011.
3. Võ Quý. Biến đổi khí hậu và đa dạng sinh học ở Việt Nam. Bản tin Đại học Quốc Gia Hà Nội 2009.
4. Đa dạng sinh học; Biến đổi khí hậu và Bảo tồn đa dạng sinh học trong bối cảnh biến đổi khí hậu tại Việt Nam. Cục Bảo tồn đa dạng sinh học phối hợp WWF Vietnam, 2014.
5. Quy hoạch bảo tồn đa dạng sinh học tỉnh Cao Bằng đến năm 2020, định hướng đến năm 2030. Sở Tài nguyên và Môi trường tỉnh Cao Bằng, 2015.
6. Đánh giá khí hậu – Kịch bản Biến đổi khí hậu tỉnh Cao Bằng. Sở Tài nguyên và Môi trường tỉnh Cao Bằng, 2017.
7. Hạnh, L.T.H; Tuấn, T.V. Ảnh hưởng BĐKH đến HST tự nhiên ở đồng bằng Sông Cửu Long. *Tap chí Khoa học Đại học Sư phạm Thành Phố HCM* 2014, 64, 155–162.
8. Nguyễn Thị Ngọc Mai. Đánh giá tác động của BĐKH đến HST nông nghiệp huyện Đà Bắc, tỉnh Hòa Bình và đề xuất các giải pháp ứng phó. Đề tài luận văn thạc sĩ, ĐHQGHN, 2016.

Biodiversity and the effects of climate change on some ecosystems in Non Nuoc Cao Bang Geopark

Ngo Huy Kien^{1*}, Phung Ngoc Truong², Pham Van Toan², Ngo Tran Quoc Khanh³, Ngo Duc Thuan⁴, Le Anh Tu⁵, Vi Tran Thuy⁶

¹ National Institute of Agricultural Planning and Projection, Ministry of Agriculture and Rural Development; ngohuykien68@gmail.com.

² Center for Research and Environmental Planning, Vietnam Union of Science and Technology Associations; ngoctruongrpe@gmail.com; quangtoan9622@gmail.com

³ VNU University of Science – Vietnam National University, Ha Noi; khanh280900@gmail.com

⁴ VNU – School of Interdisciplinary Studies; ducthuaniescc@gmail.com

⁵ Institute of Environmental Science and Climate Change; anhtule309@gmail.com

⁶ The management of Non nuoc Cao Bang UNESCO global geopark, Department of Culture, Sports and Tourism of Cao Bang province; caobangeopark@gmail.com

Abstract: In addition to its outstanding geological values, Non Nuoc Cao Bang Geopark is also an important biodiversity value area in the Northeast region. In recent decades, the impact of climate change on biodiversity has caused many ecosystems with high diversity to be severely degraded or destroyed, many animal and plant species have become extinct. In this study, the methods of data collection, documentation, field survey, map superposition are applied to determine the area of influence of climate change on some ecosystems. The factors of temperature and rainfall tend to affect 5 ecosystems, including natural forest ecosystem, planted forest ecosystem, aquatic ecosystem, agricultural ecosystem and residential ecosystem. In which, the factors of temperature and rainfall cause the greatest impact on the natural forest ecosystem and the most affected area is in Nguyen Binh district.

Keywords: Ecosystem; Geopark; Cao Bang; Climate change.

Bài báo khoa học

Phát triển nông nghiệp công nghệ cao ở tỉnh Bình Phước

Nguyễn Thị Kim Phụng¹, Nguyễn Thị Trang Thanh^{2*}

¹ Giáo viên Trường THPT Chuyên Quang Trung, tỉnh Bình Phước;
nguyenthikimphung.tc115.tct@gmail.com

² Khoa Địa lí, Trường Sư phạm, Trường Đại học Vinh; thanhntt@vinhuni.edu.vn

*Tác giả liên hệ: thanhntt@vinhuni.edu.vn; Tel: +84-989456628

Ban Biên tập nhận bài: 6/4/2022; Ngày phản biện xong: 3/5/2022; Ngày đăng bài: 25/5/2022

Tóm tắt: Nông nghiệp ứng dụng công nghệ cao là xu hướng phát triển nông nghiệp bền vững và thích ứng với biến đổi khí hậu. Là tỉnh nằm trong Đông Nam Bộ, Bình Phước có nhiều thế mạnh để phát triển nông nghiệp. Thông qua thu thập dữ liệu, khảo sát thực tế, điều tra các mô hình nông nghiệp công nghệ cao, tham vấn ý kiến chuyên gia,... nghiên cứu đã làm rõ thực trạng phát triển nông nghiệp công nghệ cao ở Bình Phước với các công nghệ chọn giống, sản xuất trong nhà kính, nhà màng, kỹ thuật tưới nước,... từ đó khuyến nghị các giải pháp phát triển nông nghiệp công nghệ cao, trong đó ưu tiên giải pháp thu hút vốn đầu tư, áp dụng tiến bộ khoa học công nghệ và đào tạo nguồn nhân lực,... Kết quả bài báo có thể cung cấp cơ sở khoa học để các nhà hoạch định chính sách đề xuất giải pháp phát triển nông nghiệp ứng dụng công nghệ cao ở tỉnh Bình Phước, góp phần phát triển nông nghiệp theo hướng bền vững.

Từ khóa: Phát triển nông nghiệp; Nông nghiệp công nghệ cao; Tỉnh Bình Phước.

1. Đặt vấn đề

Nông nghiệp ứng dụng công nghệ cao (gọi tắt là NNCNC) là nông nghiệp áp dụng tổng hợp các công nghệ mới phù hợp trong điều kiện không gian, thời gian cụ thể với tiềm lực cơ sở vật chất kỹ thuật tiên tiến để đạt năng suất tối ưu, chất lượng tốt nhất, đảm bảo an toàn thực phẩm, giá thành hạ; tăng tính cạnh tranh, có hiệu quả kinh tế cao, trên cơ sở đảm bảo môi trường sinh thái bền vững [1]. Vai trò quan trọng trong phát triển NNCNC đã được các nhà nghiên cứu trên thế giới đề cập đến như giảm chi phí trong sản xuất, hạ giá thành sản phẩm, tăng năng suất và nâng cao chất lượng nông sản; tạo ra các sản phẩm nông nghiệp an toàn, đáp ứng nhu cầu và sức khỏe người dân; tăng thu nhập cho người dân, tăng giá trị sử dụng đất, sử dụng hợp lý nguồn lực,... [2-5]. Trong giai đoạn hiện nay, nhu cầu về nông sản chất lượng cao của con người ngày càng tăng, trong khi đó khả năng mở rộng diện tích đất nông nghiệp không nhiều, ảnh hưởng tiêu cực của biến đổi khí hậu đến phát triển nông nghiệp. Vì vậy, ứng dụng công nghệ cao trong nông nghiệp như công nghệ sinh học, hoá học, công nghệ thông tin,... là cách tiếp cận chuyển đổi các hệ thống nông sản thực phẩm theo hướng xanh và thích ứng với biến đổi khí hậu. NNCNC cho phép sử dụng tốt hơn các nguồn tài nguyên thiên nhiên để duy trì chất lượng môi trường, tăng khả năng thích ứng với biến đổi khí hậu, giảm phát thải khí nhà kính,... [6-7].

Hiện nay, những công nghệ được áp dụng trong sản xuất nông nghiệp như công nghệ nhà kính, tưới nước nhỏ giọt, tưới phân bón, công nghệ sinh học, biến đổi gen, IoT (Internet of Things) với hệ thống giám sát từ xa kết hợp với Internet và truyền thông không dây,... Trong đó, IoT là một công nghệ có triển vọng cao đang cung cấp nhiều giải pháp sáng tạo để hiện đại hóa ngành nông nghiệp [8-11]; Phương pháp trồng thủy canh không cần đất, tích

hợp năng lượng mặt trời, sản xuất nước ngọt và thủy canh; công nghệ nuôi tảo thay thế thức ăn và bột cá đã tiết kiệm từ 60–70% so với chi phí bột cá trong nuôi trồng thủy sản [12]; sử dụng hệ thống viễn thám trong quản lý nước tưới ở châu Phi và vùng Cận Đông để tăng năng suất cây trồng, khắc phục tình trạng khan hiếm nước ở các khu vực này [13],... Ngày nay, mọi người đều thống nhất sự cần thiết của nông nghiệp bền vững, nhưng vẫn còn những ý kiến khác nhau về hướng đi đúng đắn, đặc biệt là giữa hai hướng nông nghiệp công nghệ cao và nông nghiệp học. Thực tế, nông nghiệp công nghệ cao cần phải tính đến các khía cạnh nông học để tránh thiệt hại về mặt sinh thái và xã hội. Về phần mình, nông học cần nhiều các ứng dụng công nghệ tiên tiến, bên cạnh kiến thức địa phương và nông dân. Như vậy, để phát triển nông nghiệp công nghệ cao cần kết hợp giữa các khía cạnh nông học với khoa học công nghệ hiện đại phù hợp với từng địa phương [2, 3, 7].

Ở Việt Nam, các nghiên cứu cũng chỉ rõ ứng dụng công nghệ cao trong sản xuất nông nghiệp là “giải pháp then chốt” đối với phát triển nông nghiệp hàng hoá ở nước ta. Trong bối cảnh kinh tế - xã hội đang có sự chuyển đổi mạnh mẽ, hướng đi tất yếu trong quá trình phát triển kinh tế là phát triển NNCNC; vai trò quan trọng của NNCNC đối với nước ta: khắc phục tính mùa vụ và sự phụ thuộc vào thiên nhiên của nền nông nghiệp nhiệt đới, tăng năng suất và chất lượng nông sản, nâng cao hiệu quả sử dụng đất,... [10–15]. Trên thực tế, tại nhiều tỉnh ở nước ta phát triển NNCNC cho hiệu quả rõ rệt: năng suất nông sản và sản phẩm nông nghiệp chất lượng cao tăng nhanh, đáp ứng nhu cầu trong nước và xuất khẩu, giảm thiểu tác động của thiên nhiên, góp phần bảo vệ môi trường,... [16–20]. Các địa phương như Thành phố Hồ Chí Minh, Lâm Đồng, Cần Thơ,... đã chú trọng ứng dụng công nghệ cao trong sản xuất nông nghiệp với các công nghệ về giống, nhà kính, công nghệ tưới; công nghệ thủy canh; công nghệ thông tin điều khiển tự động; công nghệ bảo quản sau thu hoạch,...; ở miền núi phía Bắc đã áp dụng công nghệ cao trong chọn giống và sản xuất chè, trồng rau trong nhà kính; ở Nghệ An, Sơn La,... áp dụng công nghệ hiện đại trong chăn nuôi bò sữa và sản xuất sữa như: chế biến thức ăn chăn nuôi, theo dõi sức khỏe, chất lượng sữa bằng hệ thống cảm biến;... [21–26]. Bước đầu, NNCNC đã đem lại hiệu quả rõ rệt. Với việc ứng dụng công nghệ cao, đặc biệt công nghệ IoT, năng suất nông nghiệp tăng từ 35–40%, chi phí giảm 35% ở các trang trại của tỉnh Lâm Đồng [22]. Tuy vậy, ở một số địa phương, phát triển NNCNC đang ở quy mô nhỏ, chưa có sự đầu tư đồng bộ, dẫn đến hiệu quả không cao; phát triển NNCNC chủ yếu tập trung ở các doanh nghiệp nông nghiệp, các trang trại, còn các hộ nông dân rất ít [21–26].

Như vậy, trong bối cảnh thế giới ngày nay với xu thế toàn cầu hóa và sự bùng nổ của công nghệ, việc phát triển CNC là tất yếu và là hướng đi cho phát triển nông nghiệp bền vững. Là tỉnh thuộc vùng Đông Nam Bộ, Bình Phước có nhiều tiềm năng để phát triển NNCNC. Tuy nhiên, sản xuất nông nghiệp ở Bình Phước chưa phát huy hết các thế mạnh của tỉnh, các khu NNCNC đã hình thành nhưng chưa phát triển mạnh,... Vì vậy, phân tích thực trạng ứng dụng phát triển NNCNC ở tỉnh Bình Phước, từ đó đề xuất giải pháp phát triển nông nghiệp công nghệ cao cho tỉnh Bình Phước, góp phần phát triển nông nghiệp bền vững ở nước ta.

2. Dữ liệu và phương pháp nghiên cứu

2.1. Giới thiệu về khu vực nghiên cứu

Với diện tích tự nhiên là 6.871,5 km² [27], tỉnh Bình Phước nằm trong Vùng kinh tế trọng điểm phía Nam và ở phía đông bắc vùng Đông Nam Bộ. Bình Phước giáp nước Campuchia ở phía bắc và tây bắc, với đường biên giới dài 260,4 km; phía tây giáp tỉnh Tây Ninh; phía đông giáp với tỉnh Lâm Đồng và Đắk Nông; phía nam và đông nam của Bình Phước giáp tỉnh Bình Dương và Đồng Nai. Vị trí địa lý tạo điều kiện thuận lợi cho Bình Phước giao lưu kinh tế, trao đổi hàng hóa, nông sản với các vùng trong nước và các nước trong khu vực theo hướng hội nhập liên vùng. Bình Phước có diện tích chiếm 28,9% diện tích tự nhiên

vùng Đông Nam Bộ và là tỉnh có diện tích tự nhiên lớn nhất vùng. Tài nguyên đất của Bình Phước đa dạng với 6 nhóm đất chính và 13 loại đất. Phần lớn đất ở đây có tầng dày trên 100 cm (chiếm 64,26% diện tích tự nhiên). Với nguồn tài nguyên đất đai rộng lớn, màu mỡ, địa hình tương đối bằng phẳng, tạo điều kiện thuận lợi để Bình Phước phát triển các cây công nghiệp lâu năm như: cao su, cà phê, ca cao, điều, tiêu và các loại cây ăn quả; hình thành các vùng sản xuất nông nghiệp tập trung quy mô lớn, tạo nguyên liệu cho công nghiệp chế biến và xuất khẩu [27]. Phần lớn diện tích đất của Bình Phước đã được khai thác cho phát triển nông nghiệp. Năm 2020, diện tích đất nông nghiệp của Tỉnh là 616.307 ha, chiếm 89,7 tổng diện tích đất tự nhiên, trong đó, đất trồng cây lâu năm chiếm tỉ trọng lớn nhất (63,1% đất tự nhiên và 70,4% đất nông nghiệp). Diện tích đất chưa sử dụng còn rất ít (73 ha). Vì vậy, khả năng mở rộng đất cho phát triển nông nghiệp không còn, nên xu hướng phát triển nông nghiệp của Bình Phước chủ yếu thâm canh trên diện tích đã có.

Bảng 1. Hiện trạng sử dụng đất của tỉnh Bình Phước năm 2020 [27].

Các loại đất	Diện tích (ha)	Cơ cấu (%)
Tổng số	687 355	100,0
1. Đất nông nghiệp	616 307	89,7
– Đất sản xuất nông nghiệp	442 277	64,3
+ Đất trồng cây hàng năm	8 465	1,2
+ Đất trồng cây lâu năm	433 812	63,1
– Đất lâm nghiệp có rừng	170 855	24,9
– Đất nuôi trồng thủy sản	1 067	0,2
– Đất nông nghiệp khác	2 108	0,3
2. Đất phi nông nghiệp	70 975	10,3
3. Đất chưa sử dụng	73	–

Bình Phước có khí hậu nhiệt đới gió mùa cận xích đạo với 2 mùa rõ rệt (mùa mưa và mùa khô). Nhiệt độ trung bình năm tương đối ổn định từ 25,7°C–26,3°C. Tổng nhiệt độ hàng năm từ 9.000–10.000°C. Tổng số giờ nắng dao động từ 2.400–2.500 giờ/năm. Lượng mưa trung bình hàng năm từ 2.045–2.325 mm, mưa chủ yếu từ tháng 5 đến tháng 11. Lượng mưa trong mùa mưa chiếm 85–90% tổng lượng mưa cả năm. Bình Phước ít chịu ảnh hưởng của thiên tai như bão, lũ.

Đặc điểm khí hậu tạo thuận lợi cho các loại cây trồng nhiệt đới sinh trưởng và phát triển, nhất các loại cây công nghiệp như điều, tiêu, cà phê, cao su, ca cao, quýt, chuối, nhãn, sầu riêng... và một số loại cây công nghiệp ngắn ngày. Khí hậu tương đối ổn định sẽ giảm bớt được chi phí trong việc đầu tư các trang thiết bị, hạ tầng phục vụ cho phát triển NNCNC, từ đó sẽ giảm được chi phí sản xuất và hạ giá thành sản phẩm. Bình Phước có nguồn nước khá dồi dào, với các sông lớn như sông Bé, sông Sài Gòn, sông Đồng Nai, sông Măng và nhiều hồ: hồ Suối Giai, Suối Lam (Đồng Phú), Cầu Trắng (Lộc Ninh), Suối Cam (Đồng Xoài)... Chất lượng nước ở các sông và hồ tương đối tốt, đáp ứng được nhu cầu sản xuất nông nghiệp.

Trong những năm qua, nông nghiệp ở tỉnh Bình Phước có tốc độ tăng trưởng cao, tạo ra nhiều sản phẩm hàng hoá, cung cấp nguyên liệu cho công nghiệp chế biến và mặt hàng xuất khẩu có giá trị như cao su, điều,... Tuy nhiên, nông nghiệp tỉnh Bình Phước vẫn phát triển theo chiều rộng, quy mô sản xuất còn nhỏ lẻ, nông nghiệp áp dụng công nghệ cao chưa được nhân rộng, liên kết trong sản xuất, chế biến và tiêu thụ nông sản chưa nhiều,... Vì vậy, phân tích thực trạng phát triển NNCNC ở tỉnh Bình Phước đề xuất các giải pháp phát triển nông nghiệp theo hướng ứng dụng công nghệ cao nhằm nâng cao hiệu quả sản xuất nông nghiệp có ý nghĩa thực tiễn, góp phần thúc đẩy kinh tế tỉnh Bình Phước phát triển theo hướng bền vững.

2.2. Thu thập dữ liệu nghiên cứu

Các số liệu thống kê, tư liệu về phát triển nông nghiệp tỉnh Bình Phước được nhóm tác giả thu thập, xử lý, phân tích từ các nguồn như: Niên giám thống kê của Cục Thống kê Bình Phước, các báo cáo, số liệu thống kê của Sở Nông nghiệp và Phát triển Nông thôn, Cục Thống kê, Ủy ban nhân dân (UBND) tỉnh Bình Phước,... Các thông tin, số liệu được thu thập gồm: diện tích đất, đất nông nghiệp; diện tích, sản lượng cây trồng, vật nuôi ở Bình Phước trong giai đoạn 2016–2020; báo cáo phát triển nông nghiệp tỉnh Bình Phước; các nghị quyết, chương trình phát triển kinh tế, nông nghiệp của tỉnh và của vùng Đông Nam Bộ,... Ngoài ra, các thông tin, số liệu nhóm tác giả thu thập qua khảo sát thực tế, điều tra các mô hình NNCNC, tham vấn ý kiến chuyên gia,...

2.3. Phương pháp nghiên cứu

2.3.1. Phương pháp thu thập số liệu, tài liệu

Số liệu, tư liệu trong nghiên cứu này được thu thập từ: Niên giám thống kê tỉnh Bình Phước, các báo cáo của Sở Nông nghiệp và Phát triển nông thôn tỉnh Bình Phước, Ban quản lý khu NNCNC tỉnh Bình Phước, Sở Kế hoạch và Đầu tư tỉnh Bình Phước,...

2.3.2. Phương pháp phân tích tổng hợp

Từ số liệu, tư liệu đã thu thập được, nhóm nghiên cứu đã xử lý, phân tích, tổng hợp để làm rõ thực trạng phát triển NNCNC ở tỉnh Bình Phước.

2.3.3. Phương pháp khảo sát thực địa

Nhóm nghiên cứu tiến hành thực địa, khảo sát các mô hình nông nghiệp công nghệ cao tại 11 huyện, thành phố, thị xã của tỉnh Bình Phước với nội dung về các công nghệ được áp dụng trong sản xuất nông nghiệp, trong đó chủ yếu khảo sát các mô hình trồng trọt – là lợi thế của tỉnh Bình Phước tại thành phố Đồng Xoài, huyện Phú Riềng, Hớn Quản,...

2.3.4. Phương pháp chuyên gia

Thông qua phỏng vấn các chuyên gia nông nghiệp, các nhà quản lý ở Sở Nông nghiệp và Phát triển nông thôn tỉnh Bình Phước, các phòng Nông nghiệp của các huyện, Ban quản lý Khu NNCNC,... nhóm nghiên cứu thu thập các thông tin về hiện trạng phát triển nông nghiệp, NNCNC và những định hướng, giải pháp phát triển NNCNC của tỉnh trong thời gian tới.

3. Kết quả nghiên cứu và thảo luận

3.1. Thực trạng phát triển nông nghiệp công nghệ cao ở tỉnh Bình Phước

3.1.1. Hình thành các khu nông nghiệp công nghệ cao

Để phát triển NNCNC, Tỉnh đã quy hoạch và hình thành 7 khu nông nghiệp ứng dụng công nghệ cao với tổng diện tích khoảng 2.374 ha, vốn đầu tư khoảng 4.877 tỷ đồng. Trong các khu NNCNC Hải Vương ở huyện Hớn Quản có diện tích lớn nhất, 650 ha và tổng vốn đầu tư là 2.500 tỷ đồng.

Bảng 2. Các khu nông nghiệp công nghệ cao ở Bình Phước năm 2020 [28–29].

STT	Tên khu	Địa điểm	Quy mô	
			Diện tích (ha)	Vốn đầu tư (tỷ đồng)
1	Khu NNCNC Đồng Xoài	Áp 8, xã Tiến Thành, thành phố Đồng Xoài	68	264

STT	Tên khu	Địa điểm	Quy mô	
			Diện tích (ha)	Vốn đầu tư (tỉ đồng)
2	Khu NNCNC Thanh Lễ	Xã Nha Bích, huyện Chơn Thành	260	1402
3	Khu NNCNC Đồng Phú	Xã Tân Tiến và Tân Lập, huyện Đồng Phú	496	259
4	Khu NNCNC Hải Vương	Xã Minh Đức, huyện Hớn Quản	650	2500
5	Khu NNCNC Chơn Thành	Xã Minh Thắng, Minh Lập, huyện Chơn Thành	300	179
6	Khu NNCNC Bình Long	Xã Đồng Nơ, Trà Thanh, huyện Hớn Quản và Bình Minh, thị xã Bình Long	350	163,5
7	Khu NNCNC Lộc Ninh	Xã Lộc Tấn, Lộc Thạnh huyện Lộc Ninh, xã Hưng Phước huyện Bù Đốp	250	110,2

Các Khu NNCNC ở tỉnh Bình Phước bước đầu đi vào hoạt động, thu hút được sự đầu tư của các doanh nghiệp trong trồng rau thủy canh, trồng dưa lưới, chăn nuôi lợn, gà,... mang lại hiệu quả kinh tế cao.

3.1.2. Ứng dụng tiến bộ khoa học trong sản xuất và chế biến nông sản

Các doanh nghiệp nông nghiệp, hợp tác xã, nông hộ,... đã ứng dụng công nghệ vào sản xuất nông nghiệp đáp ứng nhu cầu tiêu dùng và xuất khẩu. Các lĩnh vực nông nghiệp được ứng dụng công nghệ cao gồm sản xuất tiêu, điều, các loại rau, hoa, quả,... Điều và tiêu là hai cây trồng chủ lực của tỉnh. Các doanh nghiệp, công ty,... đã chuyển sang hướng sản xuất điều, tiêu theo quy trình tạo sản phẩm sạch đạt tiêu chuẩn VietGap để đáp ứng nhu cầu thị trường. Hiện nay có khoảng 167 ha hồ tiêu và 1379 ha điều được trồng theo quy trình không dùng thuốc diệt cỏ, thay thế cắt bằng máy; sử dụng thuốc bảo vệ thực vật đảm bảo an toàn, thời kỳ ra quả đến thu hoạch không sử dụng thuốc hóa học. Các vùng trồng tiêu đều áp dụng hệ thống tưới tiết kiệm nước.

Công nghệ trồng dưa lưới nhà màng tập trung ở các huyện Hớn Quản, thành phố Đồng Xoài và một số huyện khác nhưng diện tích không nhiều (Đồng Phú, Bình Long,...). Tổng diện tích dưa lưới toàn tỉnh là 14,4 ha. Hầu hết nhà màng trồng dưa lưới đều được thiết kế gồm: hệ thống khung thép chịu lực, hệ thống lưới và màng che ngăn cách với môi trường bên ngoài, phòng trừ tiếp xúc các nguồn sâu bệnh trung gian; hệ thống quạt làm mát và phun sương; nền được trải bạt hoặc nilon; hệ thống cung cấp dinh dưỡng tự động, kiểm tra hàm lượng dinh dưỡng cây trồng thường xuyên để cung cấp phân bón phù hợp với từng thời kỳ sinh trưởng của cây.

Diện tích trồng rau trong nhà lưới trên địa bàn tỉnh là 65,1 ha, trong đó 40 ha đã có chứng nhận VietGap. So với công nghệ trồng dưa lưới thì công nghệ trồng rau nhà lưới chịu ảnh hưởng của môi trường ngoài nhiều hơn. Hệ thống tưới nước bằng pet tưới phun sương. Nguồn dinh dưỡng được cung cấp thủ công thông qua bón vào đất hoặc phun trực tiếp lên lá. Đất được xử lý bằng vôi và cày bừa kỹ, không sử dụng thuốc hóa học, sử dụng thuốc bảo vệ thực vật có nguồn gốc sinh học. Các cây ăn quả như sầu riêng, bưởi, xoài,... cũng được áp dụng công nghệ cao nhằm nâng cao năng suất và chất lượng sản phẩm, trong đó Công ty TNHH Ngọc Trâm đã xây dựng trung tâm Công nghệ chọn giống bưởi da xanh và một số với hệ thống nhà màng, nhà lưới hiện đại; Phòng nghiên cứu, phòng nuôi cây mô đạt tiêu chuẩn, trung tâm đã và đang hoạt động.

Mô hình trồng chuối cây mô Cavendish ở huyện Hớn Quản đang được nhân rộng do mang lại hiệu quả cao. Tại các trang trại trồng chuối, công nghệ được áp dụng từ nhân giống, cấy mô, sử dụng hệ thống tưới nước nhỏ giọt, hệ thống bón phân tự động,... năng suất bình quân khoảng 90 tấn chuối/ha, thu nhập khoảng 150 triệu đồng/ha. Chuối chủ yếu được xuất khẩu sang các nước trong khu vực. Mô hình trồng bơ, hồ tiêu của Trang trại Thiên Nông ở huyện Bù Gia Mập đã cải tiến quy trình, áp dụng các công nghệ mới để giảm chi phí, tạo ra

các sản phẩm xanh, sạch và giảm thiểu ô nhiễm môi trường. Các công nghệ được sử dụng trong sản xuất của trang trại gồm hệ thống tưới tiêu tự động với công nghệ IoT thông qua hệ thống cảm biến; tự sản xuất ra phân hữu cơ, thuốc bảo vệ thực vật hữu cơ để sử dụng trong trồng trọt (phân hữu cơ được sản xuất từ phân bò, dê và đạm cá, thuốc bảo vệ thực vật được pha chế từ ớt, tỏi, vi sinh bản địa); phun thuốc bảo vệ thực vật bằng máy bay không người lái.

Về chăn nuôi, tỉnh Bình Phước có 299 trang trại nuôi lợn và gà (năm 2020). Với 56 trang trại chăn nuôi lợn có quy mô từ 1.000–12.000 con, đã sử dụng máng ăn bằng Silo, hệ thống nước uống tự động, hệ thống làm lạnh, tự điều chỉnh nhiệt độ. Chăn nuôi gia cầm với 36 trang trại quy mô đàn từ 16.000–400.000 con. Các trang trại này đã đầu tư hệ thống nước uống tự động, hệ thống làm lạnh, tự điều chỉnh nhiệt độ, đảm bảo chất lượng môi trường, giảm thiểu dịch bệnh trong chăn nuôi. Quy trình kỹ thuật được sử dụng chủ yếu là theo mô hình khép kín của CP. Các khâu kỹ thuật đã được tự động hóa bao gồm: Pha trộn thức ăn và cho ăn; hệ thống heo lạnh khử trùng nghiêm ngặt; chế độ cho ăn được tính toán kỹ; hệ thống xử lý phân và phế thải hiện đại.

Đối với chăn nuôi bò, năm 2019, Tập đoàn Hùng Nhơn và Công ty cổ phần T&T 159 Hòa Bình hợp tác đầu tư mô hình chăn nuôi bò thịt công nghệ cao. Doanh nghiệp kí hợp đồng với 10.000 hộ nông dân trên địa bàn tỉnh, hình thành vùng nuôi bò thịt dưới tán rừng quy mô nông hộ. Doanh nghiệp cung cấp giống, chuyển giao quy trình chăm sóc bò, thức ăn, thuốc bệnh và thu mua toàn bộ sản phẩm. Với công nghệ được áp dụng, sản phẩm thịt bò đáp ứng yêu cầu về an toàn vệ sinh thực phẩm, thân thiện với môi trường. Trong lĩnh vực chế biến và bảo quản nông sản: Tỉnh tập trung vào lĩnh vực chế biến hạt điều. Hiện nay, tỉnh có khoảng 435 cơ sở và doanh nghiệp chế biến và kinh doanh hạt điều. Phần lớn các doanh nghiệp đã đưa cơ giới hoá và tự động hoá vào phân cỡ hạt, tách nhân, bóc vỏ lụa, sấy khô và đóng gói. Một số doanh nghiệp đã tự động hoá khoảng 90% trong quá trình chế biến nhân điều, ứng dụng quy trình sản xuất theo tiêu chuẩn ISO, HACCP.

Ngoài ra, trong quá trình phát triển NNCNC, Tỉnh chú trọng phát triển các chương trình nghiên cứu và chuyển giao công nghệ trong sản xuất nông nghiệp tại các khu nông nghiệp công nghệ cao. Khu NNCNC đã tổ chức gieo ươm và nhân giống 05 giống điều địa phương đã được công nhận số lượng khoảng 10.000 cây để cung cấp cho các xã đúng thời vụ; bổ sung 05 giống điều địa phương đã được tuyển chọn vào bộ giống điều Quốc gia để thực hiện khảo nghiệm diện rộng trên phạm vi toàn quốc; xây dựng hệ thống thông tin dữ liệu bảo tồn và quản lý quỹ gen cây Điều với quy mô lưu trữ 100 cá thể điều ưu tú ở tỉnh Bình Phước để làm vật liệu di truyền, sử dụng trong tuyển chọn và lai tạo giống điều tại địa phương. Tỉnh triển khai thực hiện các chương trình khảo nghiệm, xây dựng quy trình đối với các giống rau, dưa lưới, hoa lan mới để chuyên giao sản xuất; hoàn thiện trang thiết bị cho phòng nuôi cấy mô tế bào thực vật để đưa vào vận hành.

Bên cạnh sản xuất nông sản, công đoạn chế biến và bảo quản nông sản đã và đang được áp dụng các công nghệ tiên tiến ở tỉnh Bình Phước. Ngành chế biến điều đã đầu tư công nghệ tương đối hiện đại so với các nước trên thế giới. Với công suất chế biến điều khoảng trên 500 nghìn tấn, các khâu trong chế biến điều đã được tự động hoá với các máy công nghệ cao như máy sấy, máy đo độ ẩm, máy dò kim loại, bắn màu, phân loại,... kết hợp với việc áp dụng các tiêu chuẩn về đảm bảo chất lượng và an toàn thực phẩm đáp ứng tiêu chuẩn Quốc tế. Vì vậy, sản lượng điều hạt xuất khẩu của Bình Phước ngày càng tăng và là tỉnh đứng đầu về xuất khẩu điều, góp phần đưa Việt Nam trở thành nước xuất khẩu điều nhiều nhất thế giới trong 16 năm qua.

3.1.3. Hình thành và phát triển các hình thức tổ chức lãnh thổ nông nghiệp ứng dụng công nghệ cao, các chuỗi giá trị nông sản

Các trang trại, doanh nghiệp nông nghiệp, hợp tác xã nông nghiệp,... đã đầu tư công nghệ, áp dụng các tiến bộ khoa học kỹ thuật trong sản xuất, chế biến và kinh doanh nông sản.

Trong năm 2016 và 2017, 4 doanh nghiệp nông nghiệp, hợp tác xã đã được thuê đất với tổng diện tích là 210 ha, để ứng dụng công nghệ cao vào sản xuất nông nghiệp, bao gồm:

Hợp tác xã Thương mại, dịch vụ nông nghiệp Nguyên Khang Garden tại xã Tân Thành, thành phố Đồng Xoài với diện tích 10 ha, chuyên trồng rau thủy canh, rau hữu cơ nhà màng và ứng dụng công nghệ cao trong trồng cây ăn quả.

Công ty cổ phần Đầu tư và phát triển Kỹ thuật nông nghiệp công nghệ cao tại xã Lộc Thịnh, huyện Lộc Ninh với diện tích 20 ha.

Hợp tác xã nông nghiệp Thành Phương tại xã Tân Tiến, huyện Đồng Phú, chuyên về sản xuất rau, củ, quả bằng công nghệ nhà màng.

Công ty Cổ phần Công nghệ cao Tâm Phát thuộc Ban Quản lý rừng phòng hộ Tà Thiết với tổng diện tích 170 ha, chuyên sản xuất rau, quả, hoa, thảo dược, cây thuốc nam quy trình công nghệ cao

Toàn tỉnh đã thành lập 107 hợp tác xã và 01 liên hiệp hợp tác xã, trong đó có 68 hợp tác xã chuyên về trồng rau, củ, cây ăn quả ứng dụng công nghệ cao; có 44 hợp tác xã được chứng nhận sản xuất nông nghiệp (gồm cả trồng trọt và chăn nuôi) theo quy trình VietGap. Các trang trại đã áp dụng giống mới, công nghệ tưới, quy trình canh tác tiên tiến,... để tăng năng suất, chất lượng nông sản trong sản xuất nông nghiệp.

Năm 2020 ở Bình Phước có 230 doanh nghiệp tham gia vào hoạt động kinh doanh nông sản với 28.230 lao động. Các doanh nghiệp vừa thu mua nông sản từ các nông hộ, hợp tác xã,... với quy mô lớn, tập trung, sau đó phân phối lại cho người tiêu dùng các nông sản chất lượng cao thông qua hệ thống siêu thị, cửa hàng như CoopMart, Bách hoá Xanh, cửa hàng hợp tác xã, các cơ sở chế biến lương thực thực phẩm,... Thông qua hợp đồng tiêu thụ nông sản với các đơn vị sản xuất nông nghiệp, các doanh nghiệp sẽ đưa ra các yêu cầu về chất lượng nông sản đối với các nhà sản xuất, định hướng người sản xuất thay đổi phương thức canh tác để đáp ứng yêu cầu của bên thu mua.

Nhằm tạo ra các nông sản chất lượng, các hình thức liên kết trong sản xuất, chế biến và tiêu thụ sản phẩm nông nghiệp ngày càng nhiều. Hiện nay, toàn tỉnh có khoảng 260 chuỗi giá trị nông sản, trong đó, phần lớn là các chuỗi liên kết trong lĩnh vực chăn nuôi. Đối với lĩnh vực trồng trọt, có khoảng 60 hợp tác xã, tổ hợp tác và các đơn vị sản xuất khác liên kết với Công ty Nesdpice trong sản xuất, chế biến và tiêu thụ hồ tiêu; 10 doanh nghiệp chế biến, xuất khẩu điều liên kết với 24 cơ sở sản xuất điều với diện tích 3.200 ha đạt chứng nhận hữu cơ Mỹ/EU; hơn 20 doanh nghiệp liên kết với khoảng 30 đơn vị (hợp tác xã, trang trại,...) trong sản xuất và tiêu thụ trái cây,... Việc phát triển các chuỗi giá trị nông sản sẽ giúp người nông dân ổn định đầu ra, đầu tư cho sản xuất đáp ứng yêu cầu của nhà chế biến và tiêu thụ, góp phần thúc đẩy nông nghiệp phát triển bền vững.

3.2. Đánh giá chung về phát triển NNCNC ở Bình Phước

3.2.1. Thành tựu

Với việc phát triển NNCNC, nông nghiệp của Bình Phước đã có sự chuyển dịch theo hướng sản xuất hàng hoá, năng suất và chất lượng nông sản ngày càng tăng, đáp ứng nhu cầu tiêu dùng trong nước và xuất khẩu. Mặc dù tỉ trọng ngành nông nghiệp trong cơ cấu kinh tế giảm từ 28% năm 2016 xuống 23,7% năm 2020, nhưng trị giá của ngành vẫn tăng lên không ngừng. Giá trị tăng thêm của nông nghiệp tăng từ 12,2 nghìn tỉ đồng năm 2016 lên 16,6 nghìn tỉ đồng (giá hiện hành). Tốc độ tăng trưởng của nông nghiệp Bình Phước trung bình 5,6%/năm trong giai đoạn 2016–2020, trong đó ba năm gần nhất (từ năm 2018 đến nay) tốc độ tăng trưởng của ngành luôn trên 7%/năm. Giá trị xuất khẩu của ngành nông nghiệp chiếm hơn 50% tổng giá trị xuất khẩu tỉnh Bình Phước [27]. Diện tích cây trồng có sự chuyển dịch theo hướng giảm tỉ trọng cây hàng năm, tăng tỉ trọng cây công nghiệp lâu năm và cây ăn quả. Diện tích trồng cao su và điều lớn nhất trong các loại cây trồng và đang có xu hướng tăng lên cả về diện tích, năng suất và sản lượng. Cây ăn quả phát triển nhanh với các cây trồng chính

là cam, quýt, nhãn, sầu riêng,... Trong giai đoạn 2016–2020, diện tích trồng sầu riêng tăng lên nhanh, tăng từ 935 ha lên 2.827 ha. Trong các cây lương thực, diện tích gieo trồng lúa, ngô và sắn có xu hướng giảm, trong đó diện tích cây sắn giảm nhanh nhất (giảm hơn 11 nghìn ha trong giai đoạn 2016–2020), do hiệu quả trồng sắn không cao nên chuyển đổi sang trồng khác. Phát triển cây công nghiệp lâu năm đã phát huy được các tiềm năng của tỉnh, cung cấp nguyên liệu ổn định cho công nghiệp chế biến phát triển, tạo nguồn hàng xuất khẩu, thu ngoại tệ cao.

Bảng 3. Diện tích và sản lượng các cây trồng chủ yếu ở Bình Phước năm 2016 và 2020 [27].

Nhóm cây	Cây trồng	Diện tích (ha)		Sản lượng (tấn)	
		Năm 2016	Năm 2020	Năm 2016	Năm 2020
Cây công nghiệp lâu năm	Cao su	234.850	246.659	308.985	379.617
	Điều	134.204	139.868	152.332	189.015
	Hồ tiêu	16.452	15.890	27.941	28.217
	Cà phê	15.081	14.616	29.796	27.411
Cây ăn quả	Sầu riêng	935	2.827	2.739	11.236
	Cam, quýt	1.829	1.774	4.230	11.888
	Nhãn	1.410	1.018	7.289	6.919
	Vải, chôm chôm	617	593	2.471	3.163
Cây lương thực, thực phẩm	Lúa	12.190	11.276	39.453	41.636
	Ngô	4.533	3.198	17.250	12.358
	Sắn	17.003	5.920	403.613	144.473
	Rau, đậu các loại	4.711	4.180	31.313	29.516

Về chăn nuôi, các vật nuôi chính của Tỉnh là lợn, bò, dê và gia cầm. Số lượng đàn và sản lượng thịt hơi xuất chuồng của các vật nuôi chính ở Bình Phước đều tăng nhằm đáp ứng nhu cầu nội tỉnh và các tỉnh khác. Số lượng đàn lợn, dê, gia cầm tăng nhanh nhất; đàn trâu có xu hướng giảm. Chăn nuôi bò ở Tỉnh chủ yếu là lấy thịt.

Bảng 4. Số lượng và sản lượng một số vật nuôi ở Bình Phước năm 2016 và 2020 [27].

Vật nuôi	Số lượng (nghìn con)		Sản lượng thịt hơi xuất chuồng (tấn)	
	Năm 2016	Năm 2020	Năm 2016	Năm 2020
Trâu	12,5	12,3	1.121	1.048
Bò	33,5	38,6	2.328	2.787
Lợn	321,7	848,4	45.132	118.627
Dê	79,3	152,0	–	–
Gia cầm	4.772,0	7.357,0	15.255	22.757

Nông nghiệp Bình Phước bước đầu sản xuất tập trung trên quy mô lớn, đã hình thành các mô hình liên kết sản xuất nông nghiệp theo quy trình canh tác hiện đại, an toàn nhằm tăng năng suất và chất lượng nông sản. Các công nghệ tiên tiến được đưa vào sản xuất như công nghệ tin học, công nghệ vật liệu mới, công nghệ sinh học, hoặc cơ khí hóa, tự động hoá trong sản xuất nông nghiệp.

Hiệu quả sản xuất nông nghiệp tăng lên rõ rệt nhờ ứng dụng công nghệ cao trong sản xuất, nhất là trong trồng cây công nghiệp lâu năm, sản xuất rau an toàn, dưa lưới, trái cây phục vụ xuất khẩu. Sản xuất nông nghiệp truyền thống đòi hỏi nhiều nhân lực nhưng hiệu suất lao động chưa cao. Với các mô hình NNCNC, mặc dù quy mô sản xuất lớn, nhưng số lượng lao động không nhiều do các công đoạn tưới tiêu, chăm sóc đều sử dụng máy móc. Có khoảng 50 ha nhà màng ứng dụng các công nghệ canh tác tiên tiến để trồng dưa lưới cho thu nhập khoảng 4–5 tỷ đồng/ha/năm; hệ thống rau thủy canh hồi lưu màng mỏng được áp dụng hiệu quả với lợi nhuận trung bình đạt 400–450 triệu/sào/năm.

Bảng 5. Sản lượng và doanh thu sản phẩm nông nghiệp ứng dụng công nghệ cao.

Loại cây	Diện tích (ha)	Giá (đồng/kg)	Sản lượng (kg/ha/năm)	Doanh thu (triệu đồng/ha/năm)	Chi phí (triệu đồng/ha)	Lợi nhuận (triệu đồng/ha)
Nấm linh chi	0,2	500.000	30.000	15.000	0,4	9.000
Bưởi da xanh	150	35.000	30.000	1.050	0,4	630
Sầu riêng	152	50.000	20.000	1.000	0,4	600
Dưa lưới nhà màng	10,4	35.000	120.000	4.200	0,4	2.520
Bơ sáp	60	30.000	60.000	1.800	0,4	1080
Nhãn	20	25.000	20.000	500	0,4	300
Rau	65,1	15.000	110.000	1.650	0,4	990

Bên cạnh hiệu quả về kinh tế, NNCNC ở tỉnh Bình Phước còn tác động tích cực về mặt xã hội như: tạo việc làm cho người lao động (như mô hình chăn nuôi bò thịt dưới tán rừng ứng dụng công nghệ cao đã tạo việc làm cho hơn 15.000 lao động), tăng thu nhập cho nông dân, thay đổi phương thức sản xuất, giảm thiểu rủi ro trong sản xuất nông nghiệp thông qua liên kết, bao tiêu sản phẩm giữa các doanh nghiệp, hợp tác xã với các nông hộ. Mặt khác, việc phát triển NNCNC góp phần nâng cao hiệu quả sử dụng đất, góp phần bảo vệ môi trường, phát triển kinh tế bền vững.

3.2.2. Hạn chế, tồn tại

Bên cạnh những thành tựu đạt được, trong quá trình phát triển NNCNC ở Bình Phước còn một số tồn tại, hạn chế như:

Mô hình NNCNC trong những năm qua được đầu tư và phát triển nhưng chưa nhiều, sản phẩm NNCNC chưa chiếm tỉ lệ cao trong tổng giá trị sản phẩm nông nghiệp của tỉnh. Các khu NNCNC mới thành lập, chưa thu hút được nhiều doanh nghiệp, nhà đầu tư vào sản xuất.

Các mô hình NNCNC cần nguồn vốn lớn, trong khi thị trường không ổn định, tính rủi ro cao nên chưa thu hút được vốn đầu tư vào sản xuất nông nghiệp. Các doanh nghiệp, hợp tác xã và nông hộ đều hạn chế về nguồn vốn và quỹ đất khi cần mở rộng diện tích và quy mô sản xuất. Việc hạn chế nguồn vốn đầu đã dẫn đến hàng loạt các khó khăn đi kèm như: Tốc độ tăng trưởng của nông nghiệp chưa cao; chuyển dịch cơ cấu cây trồng, vật nuôi còn chậm; có rất ít doanh nghiệp đầu tư vào NNCNC; việc xây dựng các mô hình NNCNC trên địa bàn tỉnh còn ít, chậm, quy mô nhỏ lẻ, sản xuất phân tán, chưa bền vững,...

Một số công nghệ được ứng dụng nhưng quy mô nhỏ, chưa có sự đồng bộ và liên kết giữa các công nghệ trong quy trình sản xuất, vì thế chưa phát huy được hết hiệu quả của công nghệ trong quá trình sản xuất nông nghiệp. Việc áp dụng kỹ thuật mới đối với các hợp tác xã nhiều thành viên, các nông hộ còn gặp nhiều khó khăn do hạn chế về năng lực, trình độ và kinh phí. Các thành viên trong một số hợp tác xã chưa thống nhất quy trình sản xuất, dẫn đến chất lượng nông sản không đồng đều,...

Các nông sản có thương hiệu chưa nhiều, công tác phát triển thị trường tiêu thụ còn gặp khó khăn. Tuy tỉnh đã hình thành một số chuỗi liên kết từ sản xuất đến chế biến và tiêu thụ sản phẩm nhưng số lượng các chuỗi giá trị nông sản còn ít và sự liên kết chưa chặt chẽ. Nhiều mặt hàng nông sản bị cạnh tranh ngược bởi các nông sản của các tỉnh khác và hàng ngoại nhập.

Phát triển NNCNC cần nguồn lao động có trình độ cao. Tuy nhiên, chất lượng lao động nông nghiệp của tỉnh thấp, thiếu lao động có trình độ cao, nên khó khăn trong việc tiếp cận và vận hành các công nghệ mới. Việc xây dựng thương hiệu, phát triển và mở rộng thị trường, cũng đòi hỏi người nông dân phải được đào tạo bài bản, chuyên nghiệp.

Sản xuất nông nghiệp công nghệ cao đòi hỏi chi phí lớn, các quy trình sản xuất chặt chẽ, đòi hỏi trình độ của người sản xuất, trong khi giá bán chưa tương xứng với chi phí bỏ ra. Mặt khác, người tiêu dùng chưa nhận thức đúng về các sản phẩm nông nghiệp, chưa có thói quen

sử dụng các sản phẩm NNCNC (phần lớn vì giá thành cao hơn), gây khó khăn cho đầu ra của các sản phẩm nông nghiệp chất lượng cao, đảm bảo an toàn thực phẩm.

3.3. Một số giải pháp phát triển NNCNC ở tỉnh Bình Phước

Các khu NNCNC là những hạt nhân để phát triển NNCNC ở Bình Phước. Vì vậy, cần đầu tư đồng bộ cơ sở hạ tầng trong các khu NNCNC, có các chính sách, biện pháp cụ thể để thu hút vốn đầu tư vào phát triển nông nghiệp trong các khu NNCNC; triển khai các chính sách vay vốn ưu đãi đối với các nông hộ, trang trại, doanh nghiệp nông nghiệp,... sản xuất nông nghiệp ứng dụng công nghệ cao.

Đẩy mạnh công tác chuyển giao ứng dụng khoa học công nghệ hiện đại, tiên tiến thân thiện với môi trường vào sản xuất nông nghiệp từ lai tạo giống mới đến các công nghệ sản, công nghệ sau thu hoạch, công nghệ quản trị sản xuất,...; đào tạo, tập huấn, hướng dẫn các kỹ thuật mới cho hợp tác xã, hộ nông dân.

Quy hoạch vùng sản xuất nông nghiệp ứng dụng công nghệ cao, thu hút đầu tư của các doanh nghiệp vào vùng này để tổ chức liên kết sản xuất theo chuỗi giá trị nông sản.

Thực hiện đồng bộ các giải pháp đào tạo nguồn nhân lực, vừa đào tạo vừa thu hút lực lượng lao động có chất lượng cao từ bên ngoài vào.

Kiểm soát chặt chẽ chất lượng nông sản theo các tiêu chuẩn quốc gia, quốc tế; cấp giấy chứng nhận cho các sản phẩm nông nghiệp đạt tiêu chuẩn; đẩy mạnh xây dựng thương hiệu, chỉ dẫn địa lý các sản phẩm nông nghiệp sạch của Bình Phước.

Thúc đẩy phát triển mô hình nông nghiệp sạch theo liên kết chuỗi giá trị khép kín từ sản xuất, chế biến đến tiêu thụ sản phẩm sạch kết hợp với du lịch nông nghiệp sinh thái.

Đẩy mạnh hoạt động kết nối, triển lãm, quảng bá sản phẩm NNCNC đến người tiêu dùng. Khuyến khích, hỗ trợ các đơn vị chủ động xúc tiến thương mại, quảng bá thương hiệu đối với nông sản sạch, sản phẩm chủ lực của tỉnh,... đến nhà phân phối lớn, hệ thống siêu thị, người tiêu dùng trong và ngoài nước.

4. Kết luận

Phát triển nông nghiệp công nghệ cao là xu hướng phát triển tất yếu của nông nghiệp bền vững nhằm ứng phó với tác động của biến đổi khí hậu. Nông nghiệp ở tỉnh Bình Phước đang phát triển theo hướng hiện đại, các công nghệ cao được áp dụng trong sản xuất nông nghiệp ngày càng nhiều với công nghệ về giống, trồng nhà màng, nhà kính,...; hình thành các khu NNCNC tạo hạt nhân cho phát triển nông nghiệp của Tỉnh; liên kết trong sản xuất, chế biến và tiêu thụ nông sản giữa các doanh nghiệp, hợp tác xã, nông hộ,... ngày càng được đẩy mạnh; hiệu quả của các mô hình NNCNC tăng từ 30–40% so với nông nghiệp truyền thống; nhiều sản phẩm nông nghiệp đã tạo được thương hiệu trên thị trường trong nước và quốc tế;... Tuy nhiên, kết quả nghiên cứu chưa làm rõ các công nghệ mới và khuyến nghị các công nghệ nên áp dụng vào sản xuất nông nghiệp phù hợp với điều kiện tự nhiên, kinh tế-xã hội ở tỉnh Bình Phước. Đây sẽ là hướng nghiên cứu tiếp theo nhằm kiến nghị những giải pháp cụ thể đồng bộ trong phát triển nông nghiệp công nghệ cao ở Bình Phước.

Đóng góp của tác giả: Ý tưởng nghiên cứu: N.T.K.P., N.T.T.T.; Lựa chọn phương pháp nghiên cứu: N.T.K.P.; thu thập tư liệu, phân tích và tổng hợp tư liệu, khảo sát thực tế và viết bản thảo bài báo: N.T.K.P., N.T.T.T.; Chỉnh sửa bài báo: N.T.T.T.

Lời 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. Phạm, S. Nông nghiệp ứng dụng công nghệ cao là yêu cầu tất yếu để hội nhập. Nxb Khoa học Kỹ thuật. 2014, tr. 10.

2. Annie, B.Z. Precision agriculture: The future of farming. Delve publisher, 2018.
3. Bonny, S. High-tech agriculture or agroecology for tomorrow's agriculture? *Hal. Open Sci.* **2017**, 28–34.
4. Ammann, K. Why farming with high tech methods should integrate elements of organic agriculture. *New Biotechnol.* **2009**, 25(6), 378–388.
5. Ikerd, J. Sustainable agriculture a positive alternative to industrial agriculture. University of Missouri. 1996, 1–8. Available at: <http://web.missouri.edu/~ikerdj/papers/Kshrtld.pdf>.
6. Gebbers, R.; Adamchuck, V.I. Precision agriculture and food security. *Science* **2010**, 327(5967), 828–831.
7. Karembu, M. Preparing youth for high-tech agriculture. Proceeding of American Association for the Advancement of Science 2015 Annual Meeting, 2014, 91–97.
8. Ji-chun, Z.; Jun-feng, Z.; Yu, F.; Jian-xin, G. The Study and Application of the IOT Technology in Agriculture. Proceeding of 3rd International Conference on Computer Science and Information Technology, **2010**, 462–465.
9. BISWAS, B.C. Fertigation in High Tech Agriculture: A Success Story of A Lady Farmer. *Fertiliser Marketing News* **2010**, 41(10), 4–8.
10. Muhammad, S.F.; Shamy, R.; Adnan, A.; Tariq, Umer.; Yousaf, B.Z. Role of IoT Technology in Agriculture: A Systematic Literature Review. *Electronics* **2020**, 1–41.
11. Klaus, A. Why farming with high tech methods should integrate elements of organic agriculture. *New Biotechnol.* **2009**, 25(6), 378–388.
12. Matthieu, D.C.; Anshu, Vats.; Alvaro, B. Agriculture 4.0: The future of farming technology. *World Government Summit* **2018**, 11–16.
13. FAO. Climate-Smart Agriculture case studies: Africa and the Near East – using remote sensing to monitor water productivity, 2021, 20–22.
14. Anh, N.T.N. The Role of Technology in High-tech Agricultural Development in the Context of Social, Ecological and Economic Transformation in Vietnam. *VNU J. Sci.: Policy Manage. Studies* **2020**, 8–18.
15. Chien, N.T.; Hanh, H.T.H. Solutions to develop high-tech agriculture in Vietnam at present. 10th NEU-KKU International conference: Socio-Economic and environmental issues in development, 2019, 170–180.
16. Tru, N.A.; Cuong, T. H.; Huyen, V.N. Development of high-tech agriculture in the context of industrialization and urbanization: The case of Vietnam. *VN J. Agric. Sci.* **2020**, 663–678.
17. Dũng, N.T. Ứng dụng công nghệ cao trong nông nghiệp, con đường phát triển bền vững tất yếu. *Tap chí Thông tin Đối ngoại* **2013**, 58, 28–30.
18. Loan, L.T.; Dương, P.B.; Thiêm, N.T. Thúc đẩy ứng dụng nông nghiệp công nghệ cao cho các hợp tác xã, lí luận và thực tiễn. *Tap chí Khoa học Nông nghiệp Việt Nam* **2021**, 19(8), 1115–1124.
19. Tài, N.Đ. Giải pháp phát triển nông nghiệp ứng dụng công nghệ cao. *Tap chí Tài chính* **2017**, 47–49.
20. Thủy, T.T.T. Thực trạng phát triển nông nghiệp công nghệ cao ở Việt Nam. *Tap chí Công thương* **2020**. <https://tapchicongthuong.vn/bai-viet/thuc-trang-phat-trien-nong-nghiep-cao-o-viet-nam-70642.htm>.
21. Chương, P. Chăn nuôi bò sữa vươn tầm thế giới. *Tap chí Kinh tế Việt Nam VnEconomy*, 2021. <https://vneconomy.vn/chan-nuoi-bo-sua-viet-nam-vuon-tam-the-gioi.htm>.
22. Tâm, L.B. Lâm Đồng tập trung phát triển nông nghiệp công nghệ cao. *Báo Điện tử Đảng Cộng sản Việt Nam*, 2021.

23. Đào, D.A. Nghiên cứu phát triển nông nghiệp công nghệ cao tại thành phố Cần Thơ. Luận văn Thạc sĩ Địa lí học. Trường Đại học Sư phạm Thành phố Hồ Chí Minh, 2012, 59–90.
24. Trang, T.T.T.; Đức, T.V.; Công, N.T. Thực trạng và giải pháp phát triển nông nghiệp công nghệ cao ở Thành phố Hồ Chí Minh. *Tap chí Khoa học Nông nghiệp Việt Nam* **2021**, 1555–1565.
25. Trang, T.T.T. Tiềm năng và định hướng phát triển nông nghiệp công nghệ cao ở Thành phố Hồ Chí Minh. Luận văn Thạc sĩ Địa lí học. Trường Đại học Sư phạm Thành phố Hồ Chí Minh, 2018, 63–97.
26. Doanh, Q.T. Bước đầu ứng dụng công nghệ cao trong xây dựng phát triển mô hình nông nghiệp tại miền núi phía Bắc. Kỷ yếu Hội thảo phát triển nông nghiệp công nghệ cao tại Việt Nam. *Tap chí Hoạt động Khoa học* **2007**, 54–62.
27. Niên giám thống kê tỉnh Bình Phước năm 2020. Cục thống kê tỉnh Bình Phước, 2020, 234–276.
28. Nghị quyết thành lập 05 khu nông nghiệp ứng dụng công nghệ cao trên địa bàn tỉnh Bình Phước. Nghị quyết số 24/NQ–HĐND ngày 16 tháng 12 năm 2019. Hội đồng nhân dân tỉnh Bình Phước, 2019.
29. Bổ sung thành lập 02 khu nông nghiệp ứng dụng công nghệ cao năm 2020. Nghị quyết số 20/NQ–HĐND ngày 13 tháng 7 năm 2020 của Chủ tịch HĐND tỉnh Bình Phước. Hội đồng nhân dân tỉnh Bình Phước, 2020.

High–tech Agriculture Development in Binh Phuoc province

Nguyen Thi Kim Phung¹, Nguyen Thi Trang Thanh^{2*}

¹ Master student of course 28, majoring in Geography, Vinh University; Teacher at Quang Trung High School, Binh Phuoc; nguyenthikimphung.tc115.tct@gmail.com

² Geograpy Department, College of Education, Vinh University; thanhntt@vinhuni.edu.vn

Abstract: High-tech agriculture is the trend of sustainable agricultural development and adaptation to climate change. As a province located in the Southeast, Binh Phuoc has many strengths for agricultural development. Through data collection, field survey, investigation of hi-tech agricultural models, consultation with experts, etc., the research has clarified the current situation of hi-tech agricultural development in Binh Phuoc with the breeding technology, production in greenhouses, greenhouses, watering techniques, etc., thereby recommending solutions to develop hi-tech agriculture, in which priority is to be given to solutions to attract investment capital, apply advanced of science and technology, and human resource training, etc. The results of the article can provide a scientific basis for policy makers to propose solutions to develop hi-tech agriculture in Binh Phuoc province, contribute to sustainable agricultural development.

Keywords: Agricultural development; High–tech agriculture; Binh Phuoc province.

Bài báo khoa học

Đánh giá bão trên Biển Đông và nước dâng do bão tại ven biển Bắc Bộ trong bối cảnh biến đổi khí hậu

Nguyễn Phương Anh¹, Nguyễn Bá Thủy^{1*}, Phạm Khánh Ngọc¹, Sooyoul Kim²

¹ Trung tâm Dự báo khí tượng thủy văn quốc gia; npanh2504@gmail.com;
thuybanguyen@gmail.com; ngocpkchibo@gmail.com

² Trường đại học Kumamoto, Nhật Bản; sooyoukim@kumamoto-u.ac.jp

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

Ban Biên tập nhận bài: 06/4/2022; Ngày phản biện xong: 11/5/2022; Ngày đăng: 25/6/2022

Tóm tắt: Trong nghiên cứu này, bão trên Biển Đông và nước dâng do bão tại ven biển Bắc Bộ được đánh giá trong giai đoạn khí hậu hiện tại (1951–2010) và khí hậu tương lai (2051–2110) để phục vụ xây dựng phương án ứng phó và quy hoạch. Trong đó, số liệu bão trong hai giai đoạn này được thu thập từ kết quả của mô hình MRI–CGCM3, thuộc dự án các mô hình khí hậu lần 5 (*CMIP5 – Coupled Model Intercomparison Project Phase 5*). Với giai đoạn 2051–2110, mô hình MRI–CGCM3 được áp dụng cho kịch bản phát thải cao nhất (RCP 8.5) để mô phỏng bão tương lai. Kết quả mô phỏng bão trên Biển Đông từ mô hình trong giai đoạn 1951–2010 được đánh giá với số liệu bão thực tế và đã cho thấy có sự tương đồng giữa 2 nguồn số liệu. Về xu thế biến đổi của bão trong khí hậu tương lai, bão mạnh có xu hướng dịch xuống phía Nam, tập trung nhiều tại ven biển Thanh Hóa–Hà Tĩnh và xuất hiện muộn hơn, số lượng bão yếu và trung bình có xu thế giảm, số lượng bão mạnh và rất mạnh có xu thế tăng so với giai đoạn khí hậu hiện tại. Khu vực có nước dâng do bão lớn dịch chuyển xuống phía Nam, ven biển các tỉnh Thanh Hóa–Hà Tĩnh là nơi sẽ có nước dâng bão lớn nhất với độ cao nước dâng lớn nhất có thể lên tới 4,0m.

Từ khóa: Bão; Nước dâng do bão; Biến đổi khí hậu; MRI–CGCM3.

1. Mở đầu

Bão là một thiên tai có nguồn gốc khí tượng thủy văn nguy hiểm mà hệ quả là hiện tượng ngập lụt, xói lở bờ biển và xâm nhập mặn do nước biển dâng cao kết hợp triều cường và sóng lớn, đặc biệt là trong bối cảnh biến đổi khí hậu, được nhận định sẽ có nhiều bão mạnh/siêu bão với diễn biến bất thường có thể ảnh hưởng tới đất liền Việt Nam.

Trên thế giới, lịch sử đã chứng kiến nhiều cơn bão gây nước biển dâng cao kèm theo sóng lớn làm ngập vùng ven bờ trên diện rộng như bão Katrina (8/2005) đổ bộ vào bang New Orleans, Hoa Kỳ, bão Nargis (5/2008) đổ bộ vào Myanmar, bão Haiyan (11/2013) đổ bộ vào Philipin [1]. Tại Việt Nam, lịch sử cũng đã ghi nhận nhiều cơn bão gây gió mạnh, nước biển dâng cao kèm theo sóng lớn làm tràn, vỡ đê, gây ngập lụt trên diện rộng. Trong đó, vùng biển ven biển Bắc Bộ (từ Quảng Ninh–Hà Tĩnh) là nơi đông dân cư và có nhiều khu vực kinh tế trọng điểm, đây cũng là nơi có nguy cơ cao nhất về bão và nước dâng do bão. Riêng giai đoạn từ năm 2005 đến nay tại khu vực này đã có một loạt cơn bão đổ bộ vào thời điểm triều cường với nước dâng bão cao từ 1–2m làm vỡ đê, gây ngập úng nghiêm trọng (Washi–2005 tại Hải Phòng; Damrey–2005 tại Nam Định; Kalmaegy–2014 tại Quảng Ninh, Doksuri–2017 tại Nghệ An–Hà Tĩnh [1]).

Chính vì sự tàn khốc của bão nên nghiên cứu về bão và nước dâng đã được thực hiện theo nhiều hướng tiếp cận khác nhau để phục vụ dự báo, cảnh báo, quy hoạch và thiết kế các công trình trên biển, ven biển. Với hướng nghiên cứu để phục vụ dự báo cảnh báo nước dâng do bão, gần đây đã có nhiều mô hình, công nghệ dự báo được xây dựng và phát triển cả ở trong và ngoài nước để nâng cao độ tin cậy và chi tiết của thông tin dự báo, ví dụ như một số nghiên cứu sử dụng mô hình tích hợp trong dự báo nước dâng do bão [2–5]. Gần đây, bão và nước dâng bão ở Việt Nam được tập trung theo hướng tính toán nguy cơ theo các kịch bản cho tương lai. Theo hướng nghiên cứu này có thể kể đến các công trình [6–7]. Nghiên cứu [8] đã tính toán, xây dựng một bộ số liệu cơ bản về thủy triều, nước dâng bão và mực nước tổng hợp do thủy triều và nước dâng bão dọc ven biển Việt Nam để phục vụ thiết kế đê biển. Trong đó, tập hợp bão phát sinh thống kê được xây dựng theo phương pháp Monte–Carlo dựa trên phân bố xác suất của các tham số bão đã xuất hiện trong quá khứ. Cũng theo hướng này, nghiên cứu [9] đã kết hợp nhiều phương pháp khác nhau như thống kê, mô hình số trị để tính toán và đánh giá biến động mực nước biển cực trị do ảnh hưởng của biến đổi khí hậu tại các khu vực ven biển biển và hải đảo Việt Nam. Nghiên cứu [10] đã sử dụng số liệu bão phát sinh thống kê trong 1000 năm để tính tần suất xuất hiện nước dâng do bão theo các chu kỳ lặp tại dải ven biển từ Quảng Bình đến Quảng Nam.

Nghiên cứu này sẽ tập trung đánh giá bão trên Biển Đông và nước dâng do bão tại ven biển Bắc Bộ trong tương lai (giai đoạn 2051–2110). Các kết quả tính toán, phân tích được đánh giá so với giai đoạn hiện tại (giai đoạn 1951–2010) để cho thấy xu thế biến về bão và nước dâng do bão tại khu vực nghiên cứu trong bối cảnh biến đổi khí hậu. Trong đó, số liệu bão dùng để phân tích và tính toán được thu thập từ kết quả của mô hình MRI–CGCM3, thuộc dự án các mô hình khí hậu lần 5 (CMIP5 – Coupled Model Intercomparison Project Phase 5) [11].

2. Số liệu và phương pháp nghiên cứu

2.1. Số liệu phục vụ nghiên cứu

2.1.1. Dữ liệu bão từ mô hình toàn cầu

Dữ liệu bão từ mô hình toàn cầu, bao gồm dữ liệu bão trong khí hậu hiện tại (giai đoạn 1951–2010) và khí hậu tương lai (giai đoạn 2051–2110) được thu thập để đánh giá, so sánh bão trên Biển Đông và nước dâng do bão tại ven biển vịnh Bắc Bộ trong hai giai đoạn này. Đây là số liệu bão mô phỏng thuộc dự án đối chứng các mô hình khí hậu lần 5 (CMIP5 – Coupled Model Intercomparison Project Phase 5). CMIP5 là dự án được xây dựng tiếp nối trên sự thành công của các pha CMIP trước đó. CMIP5 được thực hiện với tổ hợp hơn 50 mô hình toàn cầu ứng với hơn 20 nhóm mô hình khác nhau [11].

Dự án CMIP5 đã cung cấp bộ kịch bản khí nhà kính RCPs (Representative Concentration Pathways) gồm: RCP2.6 tương ứng với mức phát thải thấp nhất (2.6Wm⁻²), RCP4.5 mức phát thải trung bình thấp (4.5Wm⁻²), RCP6.0 mức phát thải trung bình cao (6.0Wm⁻²) và RCP8.5 mức phát thải cao nhất (8.5Wm⁻²) để dự đoán khí hậu trong tương lai vào cuối thế kỷ 21. Các mô hình hoàn lưu chung khí quyển (AGCM) sau khi ra đời đã trở thành công cụ chủ yếu trong nghiên cứu mô phỏng khí hậu. Do tầm quan trọng của đại dương đối với hệ thống khí hậu nên việc tích hợp mô hình hoàn lưu chung đại dương (OGCM) với mô hình hoàn lưu chung khí quyển (AGCM) để tạo thành hệ thống mô hình kết hợp đại dương khí quyển (AOGCM). Các mô hình AOGCM sau đó không ngừng được nghiên cứu và hoàn thiện thông qua việc tăng độ

phân giải không gian cũng như cải tiến các modul động lực học và các sơ đồ tham số hóa. Khả năng của các mô hình AOGCM trong mô phỏng các sự kiện cực trị đã được cải thiện đáng kể, đặc biệt là những đợt nắng nóng, đợt rét. Mô phỏng các xoáy thuận nhiệt đới cũng được cải thiện. Hiện tại đã có tổng số 8 mô hình CMIP5 AOGCM cho ra kết quả mô phỏng bão trong quá khứ và tương lai với kịch bản RCP 8.5. Chi tiết về các mô hình như trên bảng 1.

Bảng 1. Danh sách các mô hình AOGCM mô phỏng bão từ Dự án CMIP5.

TT	Tên mô hình	Độ phân giải (vĩ độ x kinh độ)	Tổ chức
1	ACCESS1.0	1.25 × 1.875	Cơ quan nghiên cứu Khoa học và Công nghệ/ Cục khí tượng, Úc
2	BCC-CSM1.1	2.8 × 2.8	Trung tâm Khí hậu Bắc Kinh – Cục khí tượng Trung Quốc
3	CNRM-CM5	1.4 × 1.4	Trung tâm Nghiên cứu khí tượng Thủy văn Quốc gia Pháp
4	GFDL-CM3	2 × 2.5	Phòng thí nghiệm Địa vật lý Động lực học chất lỏng NOAA
5	HadGEM2-ES	1.25 × 1.875	Trung tâm Nghiên cứu Khí tượng Thủy văn Hadley – Anh
6	INMCM4	1.5 × 2	Viện toán học số trị – Nga
7	MIROC5	1.4 × 1.4	Viện nghiên cứu đại dương và khí quyển đại học Tokyo – Nhật bản
8	MRI-CGCM3	1.125 × 1.125	Viện nghiên cứu khí tượng – Nhật Bản

Trong nghiên cứu này sử dụng mô hình MRI-CGCM3 vì có độ phân giải cao nhất trong 8 mô hình thích hợp cho khu vực nghiên cứu. Ngoài ra, đây là mô hình có độ tin cậy cao được phát triển bởi Viện nghiên cứu Khí tượng Nhật Bản và đã đóng góp vào Báo cáo đánh giá lần thứ năm của Ủy ban liên chính phủ về biến đổi khí hậu (CMIP5). Chi tiết về mô hình được trình bày [11]. Dữ liệu đầu ra của mô hình bao gồm 6 thông tin về bão/ATNĐ được trích xuất bằng phương pháp SimpleDM [12–14] gồm (1): thời gian (ngày, tháng, năm giờ quốc tế UTC) với bước thời gian 06 giờ (0 giờ, 6 giờ, 12 giờ, 18 giờ), (2) kinh độ tại tâm bão, (3) vĩ độ tại tâm bão, (4) khí áp thấp nhất tại tâm bão tính bằng (hPa), (5) bán kính nhỏ nhất của gió 50kt (6) vận tốc gió cực đại tính bằng m/s.

2.1.2. Số liệu bão thực tế

Thông tin về bão thực tế hoạt động trên Biển Đông trong giai đoạn 1951–2010 được thu thập để kiểm chứng kết quả mô phỏng bão của mô hình MRI-CGCM3 trong giai đoạn 1951–2010. Các tham số bão chính thu thập bao gồm quỹ đạo và khí áp tại tâm bão. Các tiêu chí để so sánh kết quả mô phỏng bão từ mô hình mô hình MRI-CGCM3 với dữ liệu thực tế bao gồm số lượng bão, quỹ đạo bão, tỷ lệ các cấp bão và phân bố bão theo tháng trong năm. Các kết quả phân tích dưới đây sẽ chủ yếu tập trung cho bão (cường độ cấp 8 trở lên theo cấp Bô Pho).

2.2. Phương pháp nghiên cứu

Trong nghiên cứu này, mô hình tích hợp thủy triều, sóng biển và nước dâng do bão (*SuWAT-Surge Wave and Tide*) được sử dụng để tính nước dâng do bão tại khu vực ven biển Bắc Bộ trong 2 giai đoạn, 1951–2010 và 2051–2110 để đánh giá xu thế nước dâng trong bối

cảnh biến đổi khí hậu. Trong đó, dữ liệu bão trong hai giai đoạn này là kết quả mô phỏng từ mô hình MRI-CGCM3. Mô hình SuWAT được xây dựng tại đại học Kyoto Nhật Bản, bao gồm 2 mô hình thành phần là mô hình thủy triều và nước dâng dựa trên hệ phương trình nước nông 2 chiều có tính đến nước dâng do ứng suất sóng và mô hình quen thuộc SWAN tính toán sóng. Chi tiết về cơ sở lý thuyết của mô hình cũng như kết quả đánh giá mô phỏng trong tính toán nước dâng do bão tại khu vực nghiên cứu đã được trình bày trong nghiên cứu [15].

Để mô phỏng nước dâng tại ven biển Bắc Bộ, mô hình SuWAT được thiết kế trên lưới vuông và lồng 2 lớp với thông tin về miền tính và độ phân giải của lưới tính như trên bảng 2. Trong đó, lưới tính Biển Đông (lưới D1) là miền tính lớn nhất được xây dựng với độ phân giải ngang 4 phút (khoảng 7400 m), bao phủ từ vĩ độ 6° – 22°N, kinh độ 103° – 120°E. Lưới lồng kế tiếp (lưới tính khu vực – D2) được thiết lập cho ven biển Bắc Bộ với cùng độ phân giải 1 phút (khoảng 1850m) trong phạm vi 16.0° – 22.5°N, 106.0° – 110.5°E.

Bảng 2. Miền tính và độ phân giải lưới tính ven biển Bắc Bộ.

Lưới	Miền tính	Số điểm tính theo kinh & vĩ tuyến	Độ phân giải ($\Delta x \times \Delta y$)
D1	103° – 120° E, 6–22° N	368 × 377	5000 × 5000
D2	105.0° – 108° E, 18.0° –22° N	300 × 300	1850 × 1850

3. Kết quả và thảo luận

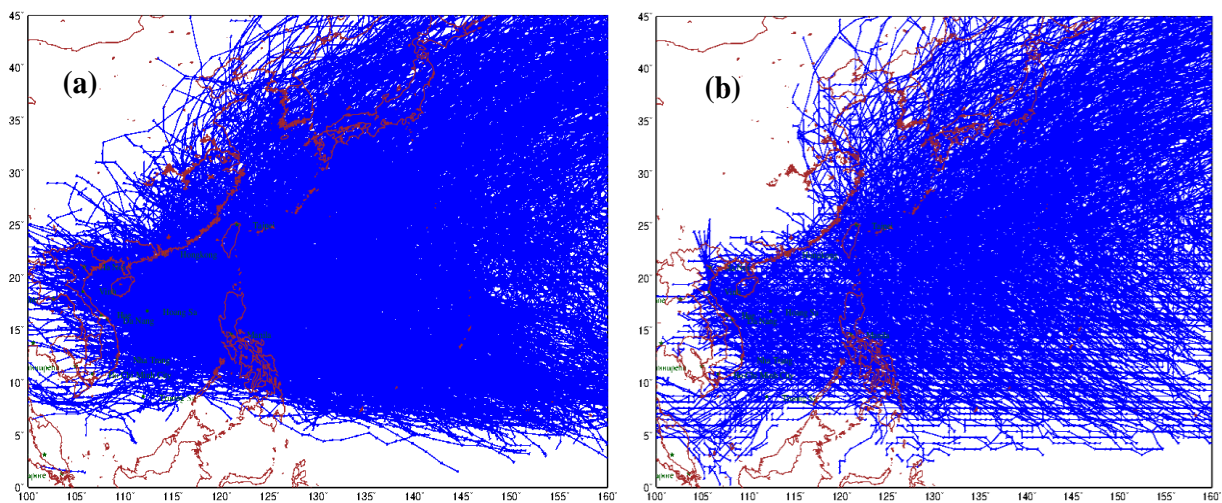
3.1. Bão trên Biển Đông dưới tác động của biến đổi khí hậu

3.1.1. Đánh giá dữ liệu bão từ kết quả mô hình toàn cầu trên Biển Đông

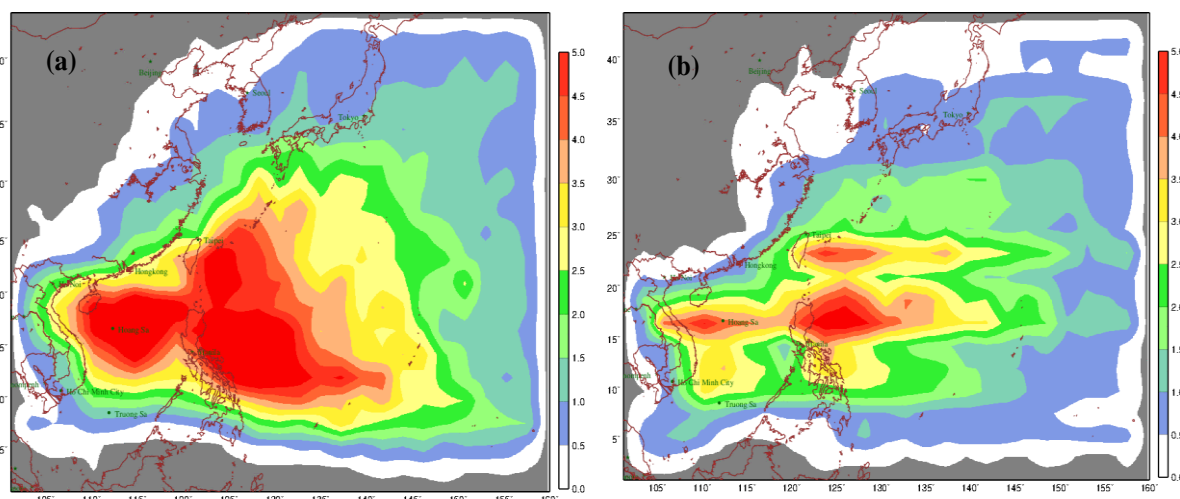
Để đánh giá dữ liệu bão mô phỏng từ mô hình toàn cầu trên Biển Đông, dữ liệu bão và áp thấp nhiệt đới cùng thời kỳ trong giai đoạn 1951–2010 được thu thập từ JMA, Nhật Bản. Trong đó, toàn bộ các cơn bão có tâm nằm trong kinh tuyến 120°E sẽ được tính. Về số lượng bão trên Biển Đông, kết quả phân tích cho thấy số lượng cơn bão của mô hình khá sát với số lượng bão thực tế với số cơn bão thực tế có 983 cơn, trong khi đó kết quả từ mô hình là 952 cơn. Phân bố theo không gian số lượng cơn bão đổ bộ vào khu vực Biển Đông cũng khá đồng nhất, thường hình thành chủ yếu ở khu vực từ 5°N – 30°N và hoạt động chủ yếu trong vùng 10°N – 40°N; 110°E –150°E với hai dạng quỹ đạo chính là: Di chuyển theo hướng Tây đến Tây Bắc và di chuyển theo hướng Đông Bắc (Hình 1). Kết quả tính mật độ bão xuất hiện theo các ô lưới trên Biển Đông tại hình 2 cũng cho thấy sự tương đồng, mặc dù kết quả phân tích từ 2 nguồn dữ liệu có sự khác biệt về độ phân giải không gian của xác định tọa độ bão (từ mô hình độ phân giải 1,125° x 1,125°, thưa hơn thực tế).

Thống kê tỷ lệ bão theo từng tháng từ số liệu của mô hình và thực tế trên hình 3 cho thấy cả hai nguồn đều có số lượng bão nhiều từ các tháng 7 đến tháng 12, các tháng còn lại ít hơn. Xét về cấp bão, kết quả phân tích trên bảng 3 cho thấy hai bộ số liệu cũng cho kết quả khá đồng nhất về tỷ lệ số lượng bão theo cấp, với bão từ cấp 8 đến cấp 11 tỷ lệ đều trên 80%, cấp 12 – 13 trên 10% và trên cấp 13 đều trên 2%. Chi tiết về tần suất cấp bão theo tháng trong năm trên hình 4a

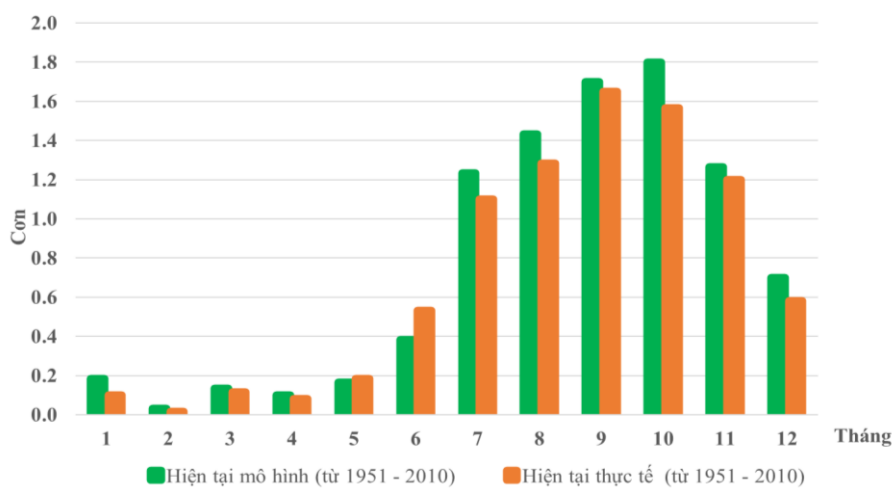
(bão thực tế) và hình 4b (bão từ mô hình) cũng cho thấy sự tương đồng giữa kết quả của mô hình với số liệu thực tế.



Hình 1. Quỹ đạo di chuyển của bão và áp thấp nhiệt đới thực tế (a) và mô hình (b) đổ bộ vào khu vực Biển Đông giai đoạn năm 1951–2010.



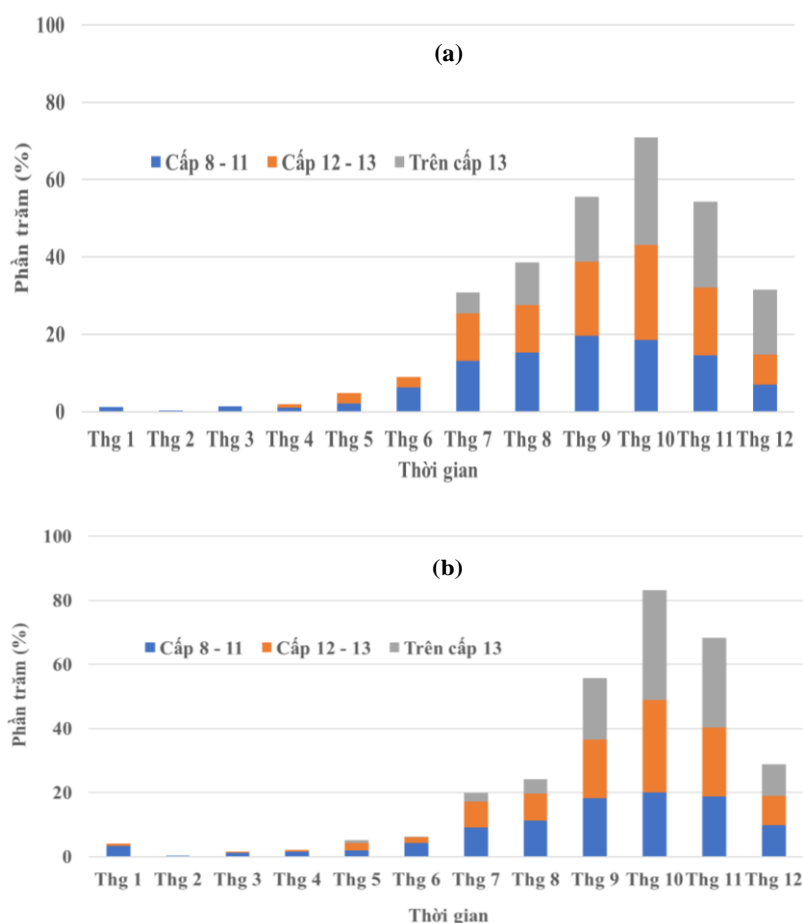
Hình 2. Phân bố tần suất số lượng cơn bão, áp thấp nhiệt đới thực tế (a) và mô hình (b) trên Biển Đông giai đoạn 1951–2010.



Hình 3. So sánh phân bố bão theo số liệu khí hậu mô hình hiện tại và số liệu theo thực tế.

Bảng 3. Tỷ lệ (%) số lượng bão hoạt động trên Biển Đông theo cấp bão từ số liệu thực tế và mô hình MRI-CGCM3 giai đoạn 1951–2010.

Cấp bão	Giai đoạn (1951 – 2010) (Thực tế)	Giai đoạn (1951 – 2010) (Mô hình)
Cấp 8 – 11 (17.2–32.6 m/s)	81	83
Cấp 12 – 13 (32.7–41.4 m/s)	17	13
Trên cấp 13 (Trên cấp 41.4 m/s)	2	4



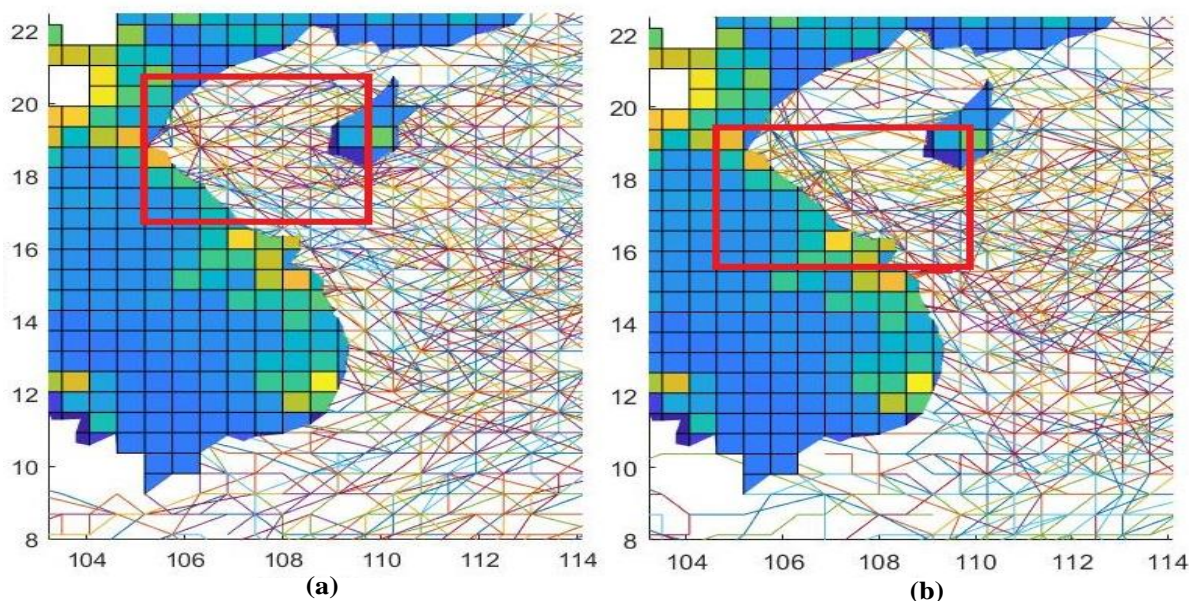
Hình 4. Tỷ lệ (%) số lượng bão theo cấp trong các tháng giai đoạn 1951–2010. (a) Số liệu thực tế, (b) số liệu mô hình.

Những phân tích ở trên có thể thấy rằng sản phẩm dự báo bão trong giai đoạn 1951–2010 từ mô hình MRI-CGCM3 tương đối sát với thực tế kể cả về số lượng bão, quỹ đạo và tần suất theo các cấp bão mặc dù độ phân giải của mô hình trong xác định vị trí tâm bão còn thô. Do vậy, kết quả dự tính bão từ mô hình MRI-CGCM3 sẽ được sử dụng để đánh giá bão và nước dâng do bão trong khí hậu hiện tại (giai đoạn 1951–2010) và khí hậu tương lai (2051–2010) ở nội dung tiếp theo.

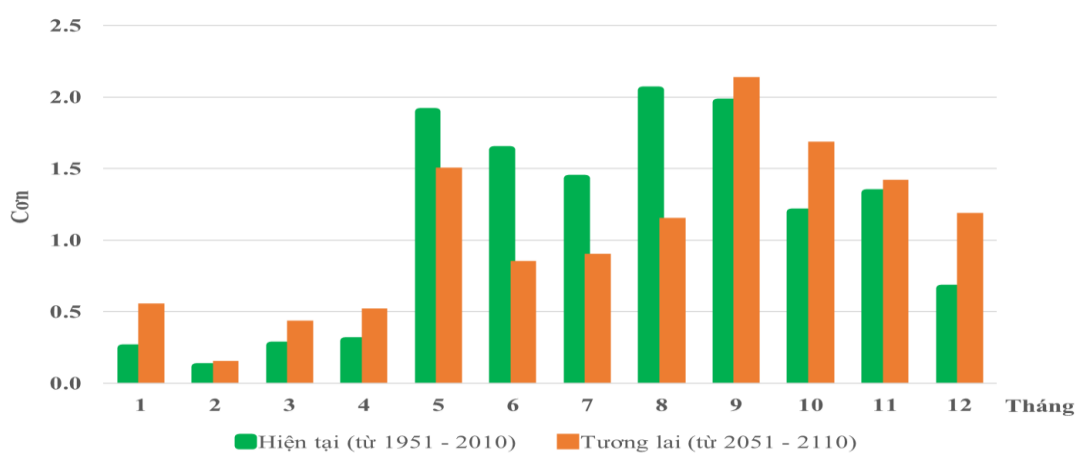
3.1.2. Đặc điểm bão trên Biển Đông ở khí hậu hiện tại và tương lai

Kết quả mô phỏng quỹ đạo bão từ mô hình trong khí hậu hiện tại (1951–2010) thể hiện trên hình 5a và khí hậu tương lai (2051–2110) trên hình 5b cho có sự khác biệt với bão trong giai đoạn 2051–2110 khu vực đổ bộ có xu hướng tập trung nhiều xuống phía Nam hơn bão so với

giai đoạn 1951–2010. Tại khu vực ven biển Vịnh Bắc Bộ có sự thay đổi về vị trí ảnh hưởng của các cơn bão khi khu vực ven biển ngoài khơi Thái Bình–Nam Định là nơi có mật độ bão nhiều nhất ở giai đoạn 1951–2010 và trong giai đoạn 2051–2110 mật độ bão cao có xu hướng dịch chuyển xuống phía Nam, khu vực ven biển Thanh Hóa–Nghệ An. Kết quả phân bố số lượng bão trên Biển Đông theo tháng giữa hai giai đoạn trên hình 6 cho thấy giai đoạn 2051–2110 số lượng bão có xu thế giảm trong các tháng đầu mùa bão (tháng 6,7,8) nhưng lại có xu thế tăng ở cuối mùa bão so với giai đoạn 1951–2010. Như vậy có thể thấy trong tương lai, thời gian hoạt động của bão có xu thế dịch chuyển muộn hơn, khoảng thời gian bão trong giai đoạn hiện tại hoạt động chủ yếu ở phía Nam.



Hình 5. Quỹ đạo bão trong giai đoạn 1951–2010 (a) và giai đoạn 2051–2110 (b). Sản phẩm từ mô hình MRI–CGCM3.



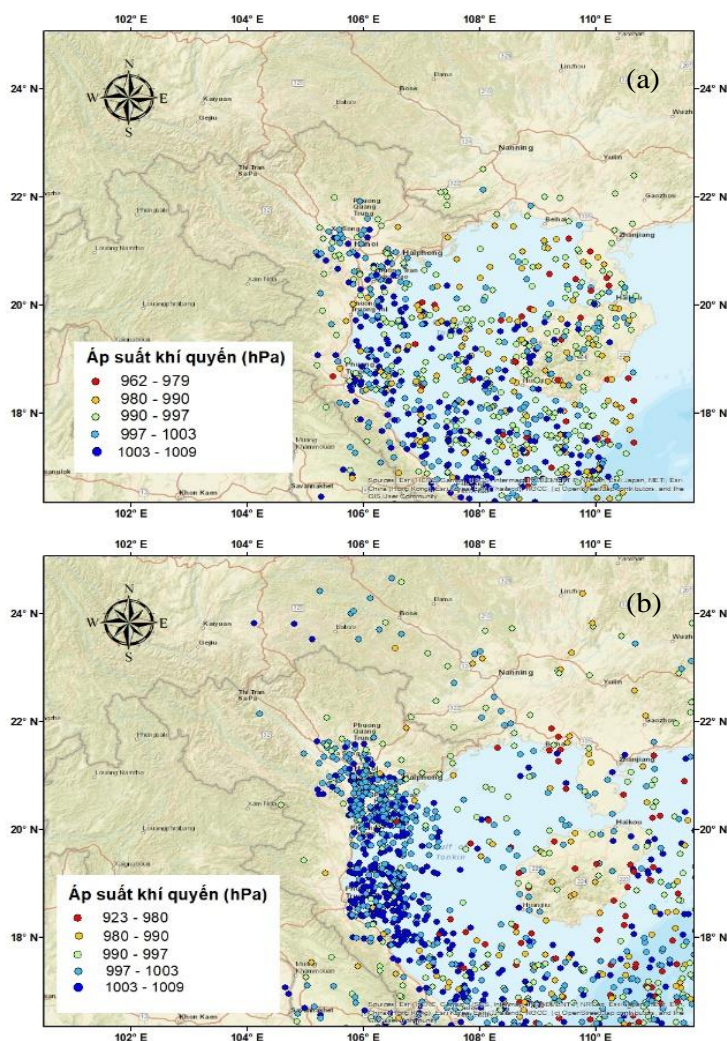
Hình 6. Phân bố theo tháng của bão ở khí hậu hiện tại (1951–2010) và tương lai (2051–2110). Sản phẩm từ mô hình MRI–CGCM3.

So sánh phân bố theo tỷ lệ % số lượng bão hoạt động trên Biển Đông theo các cấp bão thể hiện trên bảng 4 cho thấy so với giai đoạn 1951–2010, số lượng bão yếu và trung bình trong giai đoạn 2051–2010 có xu thế giảm trong khi số lượng bão mạnh đến rất mạnh có xu thế tăng rõ rệt, đặc biệt tập trung vào các tháng 9,10,11 trong năm.

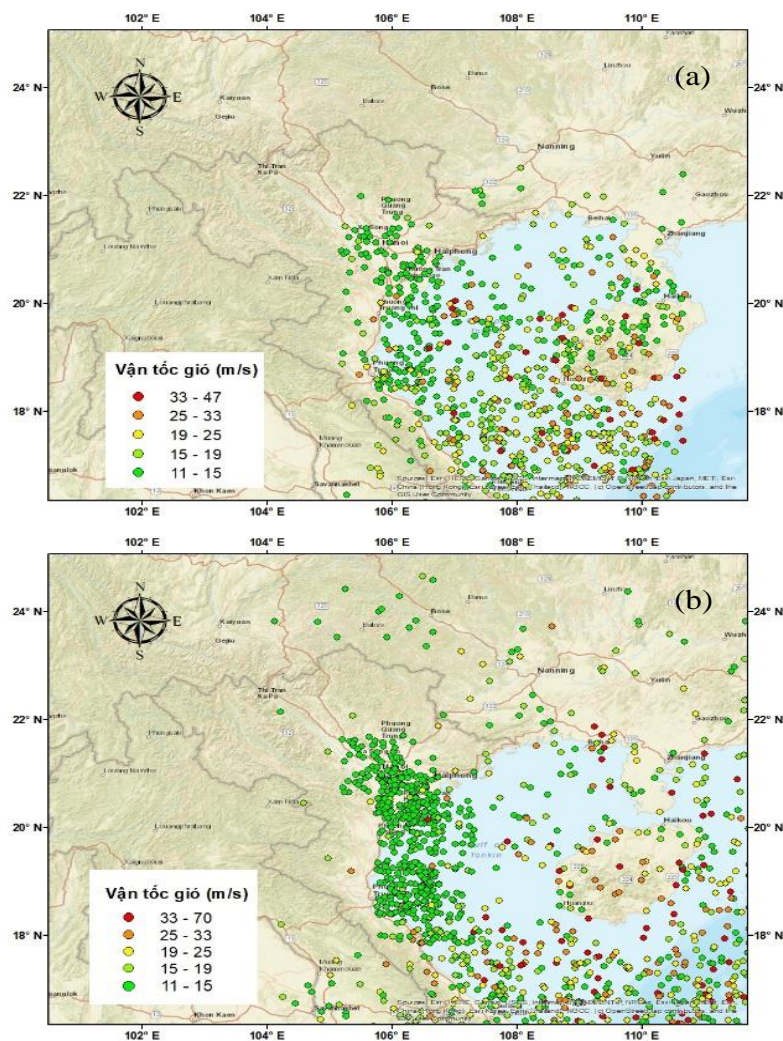
Bảng 4. Tỷ lệ (%) số lượng bão hoạt động trên Biển Đông theo cấp bão trong giai đoạn khí hậu hiện tại và tương lai. Kết quả từ mô hình MRI-CGCM3.

Cấp bão	Giai đoạn (1951 – 2010) (Mô hình)	Giai đoạn (2051 – 2110) (Mô hình)
Cấp 8 – 11 (17.2–32.6m/s)	83	82
Cấp 12 – 13 (32.7–41.4m/s)	13	11
Trên cấp 13 (Trên cấp 41.4m/s)	4	7

Phân bố không gian của khí áp tại tâm bão và vận tốc gió mạnh nhất trong bão giữa 2 giai đoạn thể hiện trên hình 7 (khí áp tâm bão) và hình 8 (vận tốc gió mạnh nhất trong bão). Kết quả cho thấy, so với giai đoạn hiện tại, giai đoạn 2051–2110 vùng bão mạnh có xu hướng dịch xuống phía Nam và tại đây cũng xuất hiện nhiều cơn bão có cường độ mạnh hơn. Trong số liệu mô phỏng khí hậu giai đoạn hiện tại, có trường hợp bão có khí áp tại tâm nhỏ nhất là 962 hPa, trên thực tế, trong giai đoạn này đã ghi nhận bão Harriet đổ bộ vào khu vực Quảng Trị tháng 7 năm 1971 với khí áp tâm bão thấp nhất 960hPa, tương đương với gió cấp 14 theo thang Bô Pho. Trong khi đó, số liệu bão tương lai có trường hợp khí áp tâm bão tới 920hPa, vận tốc gió lớn nhất trong bão 72 m/s, tương đương cấp 17 theo thang Bô pho.



Hình 7. Phân bố áp suất tâm bão trong giai đoạn 1951–2010 (a) và giai đoạn 2051–2110 (b). Sản phẩm từ mô hình MRI-CGCM3.

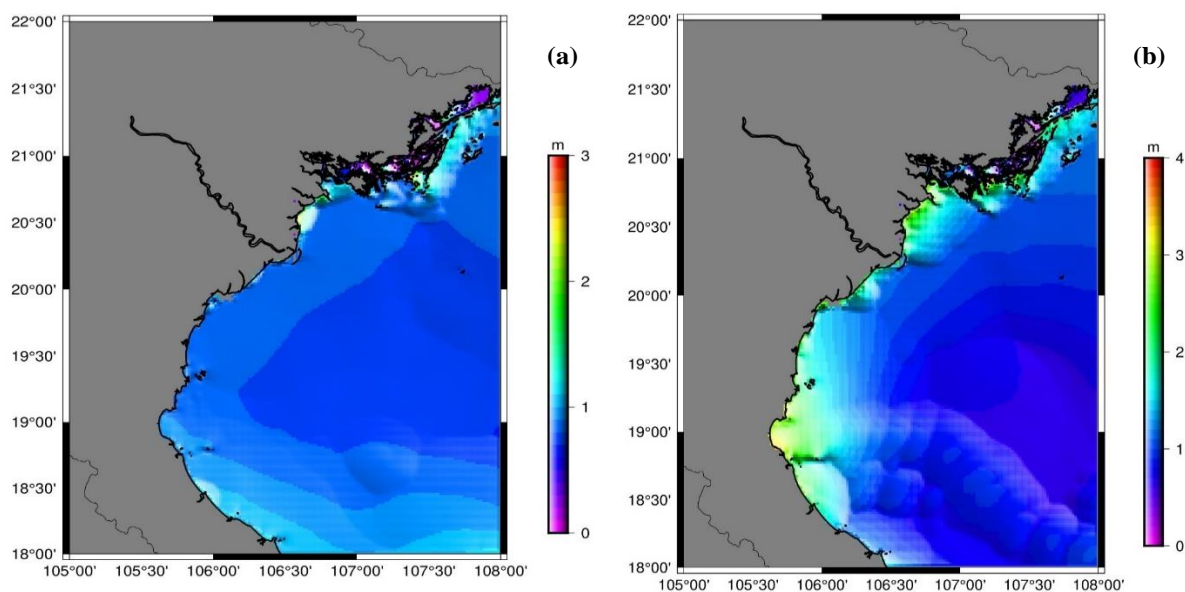


Hình 8. Phân bố vận tốc gió lớn nhất trong bão trong giai đoạn 1951–2010 (a) và giai đoạn 2051–2110 (b). Sản phẩm từ mô hình MRI–CGCM3.

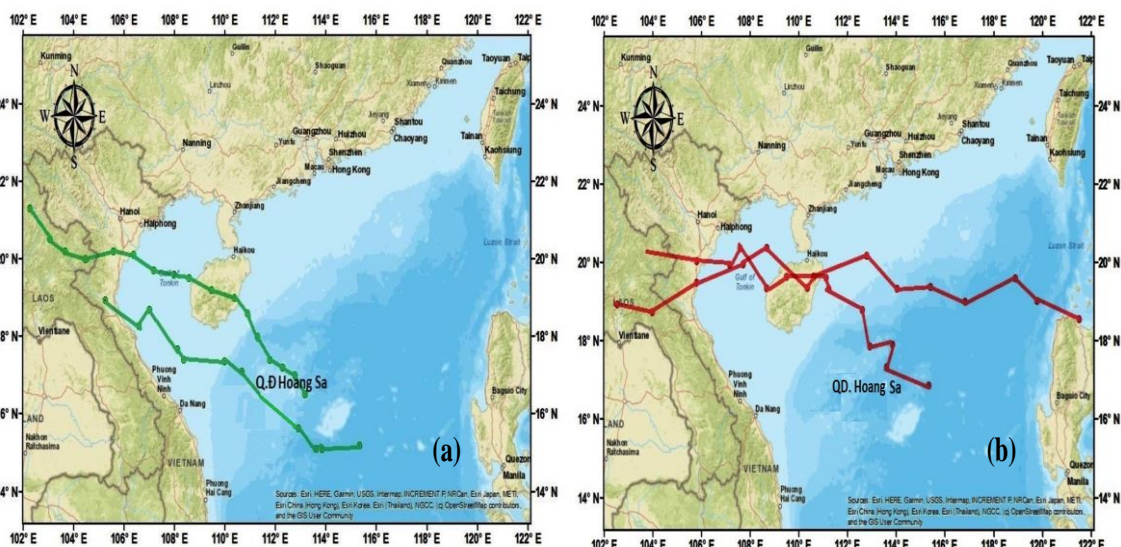
3.2. Nước dâng trên khu vực ven biển Vịnh Bắc Bộ ở khí hậu hiện tại và tương lai

Để có được bức tranh đầy đủ về nước dâng bão trong 2 giai đoạn 1951–2010 và 2051–2110, nghiên cứu này sử dụng mô hình SuWAT để tính nước dâng bão cho tất cả các cơn bão được mô phỏng từ mô hình MRI–CGCM3 đổ bộ vào khu vực trong 2 giai đoạn này. Trên hình 9 thể hiện phân bố nước dâng bão lớn nhất tại dải ven biển Vịnh Bắc Bộ trong giai đoạn 1951–2010 (hình 9a) và giai đoạn 2051–2110 (Hình 9b). Trong đó toàn bộ các cơn bão ảnh hưởng và gây nước dâng tại khu vực trong 2 giai đoạn này được tính toán. Tại hình 9a, có thể thấy trong giai đoạn này khu vực có nước dâng bão lớn tập trung ở phía bắc của Vịnh Bắc Bộ (Quảng Ninh–Nam Định) với độ lớn nước dâng lớn nhất lên tới gần 3,0 m. Trên thực tế, trong giai đoạn này số liệu quan trắc tại trạm Hòn Dấu đã ghi nhận nhiều cơn bão gây nước dâng hơn 1,0 m như bão Frankie (7/1996) là 1,2 m, bão Niki (8/1996) 1,3 m, bão Damrey (9/2005) là 1,3 m. Nhiều vị trí khác trong khu vực có thể ghi nhận nước dâng do bão tới gần 3,0m nhưng đã không ghi nhận được do không có trạm đo. Kết quả mô phỏng nước dâng bão lớn nhất giai đoạn 2051–2110 trên hình 9b cho thấy so với giai đoạn 1951–2010 nước dâng do bão lớn hơn tại hầu hết các vị trí trong khu vực và vùng nước dâng lớn nhất dịch xuống phía Nam (Nghệ An–Hà Tĩnh) với nước dâng lớn nhất tới gần 3,5 m. Khu vực ven biển Nghệ An–Hà Tĩnh trong giai đoạn 2051–2110 có nước dâng do bão lớn bởi trong giai đoạn này tập trung nhiều cơn bão mạnh đổ

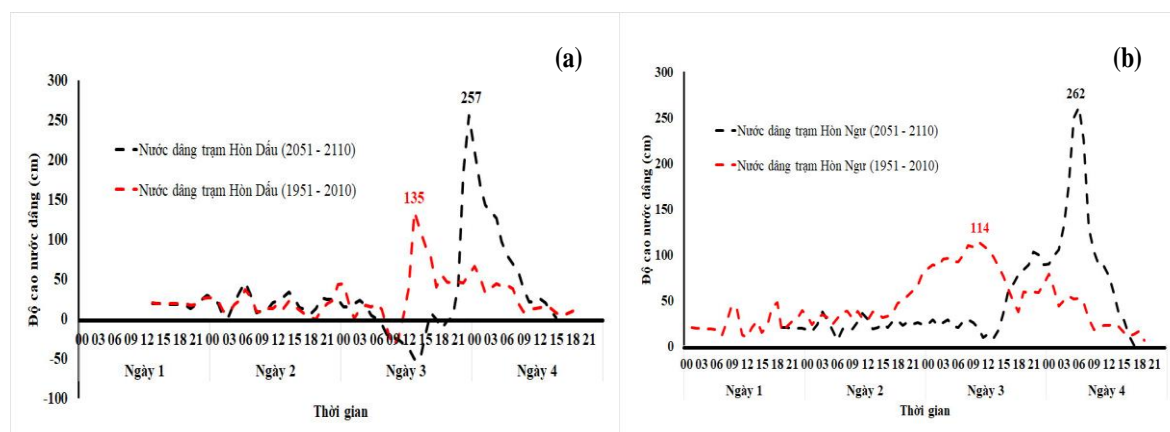
bộ vào khu vực, ngoài ra đây là vùng biển hõm, thuận lợi cho nước dâng cao hơn so với khu vực ven biển lân cận. Đối với nước dâng tại Hòn Dấu và Hòn Ngự, nghiên cứu đã lựa chọn mỗi trạm 02 cơn bão điển hình gây nước dâng lớn nhất tại mỗi trạm cho 2 giai đoạn. Quỹ đạo 02 cơn bão gây nước dâng lớn nhất tại Hòn Dấu Hòn Dấu và Hòn Ngự trong giai đoạn 1951–2010 và giai đoạn 2051–2110 thể hiện trên hình 10a (giai đoạn 1951–2010) và 10b (giai đoạn 2051–2010). Diễn biến nước dâng do bão tại Hòn Dấu và Hòn Ngự ứng với 02 cơn bão trong hai giai đoạn thể hiện trên hình 11a (trạm Hòn Dấu) và 11b (trạm Hòn Ngự). Có thể thấy rằng tại trạm Hòn Dấu, nước dâng lớn nhất giai đoạn 2051–2110 (257 cm) cao hơn giai đoạn 1951–2010 (135 m), tăng 122 cm. Trong khi đó tại trạm Hòn Ngự mức độ tăng của nước dâng giai đoạn 2051–2110 (262cm) cao hơn so với giai đoạn 1951–2010 (110 cm), tăng 152cm. Kết quả phân tích độ lớn nước dâng do bão trong 2 giai đoạn trên toàn bộ ven biển vịnh Bắc Bộ cũng như tại trạm Hòn Dấu và Hòn Ngự cho thấy giai đoạn 2051–2110 sẽ có nước dâng do bão cao hơn hẳn so với hiện tại do bởi với giai đoạn 2051–2110, mô hình MRI–CGCM3 sử dụng kịch bản phát thải cực đoan nhất (kịch bản RCP 8.5).



Hình 9. Phân bố nước dâng bão lớn nhất tại Vịnh Bắc Bộ trong giai đoạn 1951–2010 (a) và 2051–2110 (b). Số liệu bão từ kết quả của mô hình MRI–CGCM3.



Hình 10. Quỹ đạo 02 cơn bão gây nước dâng lớn nhất tại Hòn Dấu và Hòn Ngự giai đoạn 1951–2010 (a) và 2051–2110 (b). Số liệu bão từ kết quả của mô hình MRI–CGCM3.



Hình 11. Diễn biến dâng tại trạm Hòn Dấu (a) và Hòn Ngự (b) trong giai đoạn 1951 – 2010 và 2051 – 2110. Số liệu bão từ kết quả của mô hình MRI–CGCM3.

Nước dâng trong bão kèm sóng lớn là nguyên nhân chính gây ra thiệt hại nghiêm trọng đến đê biển và các công trình ven biển, đặc biệt nguy hiểm nếu xảy ra ở thời kỳ triều cường. Mặc dù trong nghiên cứu này chưa xét đến ảnh hưởng của thủy triều và sóng, tuy nhiên thông tin về nước dâng trong tương lai do biến đổi khí hậu đã phân tích ở trên sẽ góp phần xây dựng phương án ứng phó cũng như quy hoạch trong tương lai.

4. Kết luận và kiến nghị

4.1. Kết luận

Trong nghiên cứu này, số liệu bão từ mô hình mô hình kết hợp đại dương khí quyển MRI–CGCM3 đã được thu thập để phân tích các đặc trưng bão trên Biển Đông và hệ quả nước dâng do bão tại ven biển Vịnh Bắc Bộ ở giai đoạn khí hậu hiện tại (1951–2010) và khí hậu tương lai (2051–2010). Số liệu bão thực tế trong giai đoạn 1951–2010 được thu thập để đánh giá kết mô phỏng bão quả từ mô hình. Mô hình tích hợp SuWAT được ứng dụng để tính toán nước dâng do bão ở cả 2 giai đoạn. Những kết quả chính đạt được từ nghiên cứu này có thể tóm tắt như sau:

- Đã thu thập số liệu bão mô phỏng từ mô hình MRI–CGCM3 cho giai đoạn 1951–2010 và 2051–2110. So sánh kết quả mô phỏng bão trong giai đoạn 1951–2010 từ mô hình với số liệu thực tế cho thấy tương đồng cả về số lượng, quỹ đạo, phân bố số lượng và cường độ bão theo không gian và thời gian.

- Về xu thế biến đổi của bão, so với giai đoạn 1951–2010, trong giai đoạn 2051–2110 bão mạnh có xu hướng dịch xuống phía Nam và thường xuất hiện muộn hơn, từ tháng 8 đến tháng 12, cao điểm vào các tháng 9, 10. Số lượng bão yếu và trung bình có xu thế giảm trong khi đó số lượng bão mạnh đến rất mạnh có xu thế tăng (4% lên 7%).

- Trong giai đoạn ở khí hậu hiện tại, nước dâng bão lớn nhất ghi nhận được tập trung tại các tỉnh từ Quảng Ninh–Nam Định với nước dâng lớn nhất tới gần 3,0m. Trong khi đó ở giai đoạn khí hậu tương lai, vùng có nước dâng do bão lớn dịch chuyển xuống phía Nam, ven biển các tỉnh Thanh Hóa–Hà Tĩnh sẽ có nước dâng lớn nhất, độ cao nước dâng có thể cao tới 4,0m.

4.2. Kiến nghị

- Nghiên cứu nước dâng do bão tại ven biển Việt Nam cho khí hậu tương lai cần tiếp tục với các sản phẩm dự báo bão từ các mô hình kết hợp khí quyển đại dương khác của dự án CMIP5 AOGCM.

- Trong nghiên cứu này, chỉ tập trung đánh giá nước dâng do bão tại khu vực ven biển Vịnh Bắc Bộ. Các khu vực khác của dải ven biển Việt Nam cần được triển khai thực hiện ở các nghiên cứu tiếp theo.

- Hệ quả chính của nước dâng do bão là gây ngập lụt vùng ven biển, do vậy cần triển khai nghiên cứu, đánh giá nguy cơ ngập lụt vùng ven biển do nước dâng bão theo các kịch bản biến đổi khí hậu để phục vụ quy hoạch và ứng phó trong dài hạn.

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

Lời cảm ơn: Nghiên cứu này được thực hiện dưới sự tài trợ của đề tài nghiên cứu khoa học cấp quốc gia thuộc Chương trình 562 (Nghiên cứu xây dựng bộ mô hình và quy trình công nghệ dự báo ngập lụt vùng ven biển do nước dâng và sóng trong bão).

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. Thủy, N.B. Nghiên cứu lựa chọn mô hình dự báo nước dâng do bão vào dự báo nghiệp vụ tại Việt Nam. Đề tài nghiên cứu khoa học cấp Bộ Tài nguyên và Môi trường, 2017.
2. Chiến, Đ.Đ.; Thủy, N.B.; Sáo, N.T.; Thái, T.H.; Kim, S. Nghiên cứu tương tác sóng và nước dâng do bão bằng mô hình số trị. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* **2014**, *647*, 19–24.
3. Thủy, N.N. Nghiên cứu cơ chế gây nước dâng sau khi bão đổ bộ tại ven biển Bắc Bộ. *Tạp chí Khoa học và Công nghệ Biển* **2017**, *17(4B)*, 208–216.
4. Thuy, N.B.; Kim, S.; Dang, V.H.; Cuong, H.D.; Wettre, C.; Hole, L.R. Assessment of Storm Surge along the coast of Central Vietnam. *J. Coastal Res.* **2017**, *33*, 518–530.
5. Thuy, N.B.; Kim, S.; Anh, T.N.; Cuong, N.K.; Thuc, P.T.; Hole, L.H. The influence of moving speeds, wind speeds, and sea level pressures on after–runner storm surges in the Gulf of Tonkin, Vietnam. *Ocean Eng.* **2020**, *212*, 107613.
6. Thông, B.X.; Lai, N.V. Phương pháp xác định mực nước dâng cực đại có thể xảy ra do bão tại khu vực công trình đê biển. *Tạp chí Kỹ thuật Thủy lợi và Môi trường* **2008**, *23*, 48–57.
7. Mạnh, Đ.V. và cs. Tính toán cao độ mực nước biển phục vụ thiết kế công trình ven biển. Nxb Khoa học tự nhiên và Công nghệ, Hà Nội, 2014.
8. Mạnh, Đ.V. và cs. Nghiên cứu đề cập nhật, chi tiết hóa bộ số liệu cơ bản về triều, nước dâng dọc bờ biển từ Quảng Ninh đến Quảng Nam phục vụ tính toán thiết kế, củng cố nâng cấp đê biển. Báo cáo tổng kết đề tài, Viện Cơ học, Hà Nội, 2008.
9. Ưu, Đ.V. và cs. Đánh giá biến động mực nước biển cực trị do ảnh hưởng của biến đổi khí hậu phục vụ chiến lược kinh tế biển. Báo cáo tổng kết đề tài KC–09.23/06–10, Đại học QGHN, Hà Nội, 2010.
10. Chiến, Đ.Đ. Nghiên cứu đánh giá nước dâng do bão tại ven biển từ Quảng Trị đến Quảng Nam. Luận án Tiến sĩ khoa học, Trường Đại học khoa học tự nhiên, Đại học quốc gia Hà Nội, 2016.
11. Shimura, T.; Mori, N.; Mase, H. Future projections of extreme ocean wave climates and the relation to tropical cyclones–Ensemble experiments of MRI–AGCM3.2H. *J. Clim.* **2015**, *28*, 9838–9856.
12. Yasuda, T.; Nakajo, S.; Kim, S.; Mase, H.; Mori, N.; Horsburgh, K. Evaluation of future storm surge risk in East Asia based on state–of–the–art climate change projection. *Coastal Eng.* **2014**, *83*, 65–71. doi:10.1016/j.coastaleng.2013.10.003.
13. Shimura, T.; Mori, N. (2016). Projection of tropical cyclone–generated extreme wave climate based on CMIP5 multi–model ensemble in the Western North Pacific. *Clim. Dyn.* **2017**, *49*, 1449–1462. doi:10.1007/s00382-016-3390-2.

14. Yasuda, T.; Mase, H.; Mori, N. Projection of future typhoons landing on Japan based on a stochastic typhoon model utilizing AGCM projection. *Hydrol. Res. Lett.* **2010**, 4, 65–69. <http://dx.doi.org/10.3178/HRL.4.65>.
15. Kim, S.Y.; Yasuda, T.; Mase, H. Numerical analysis of effects of tidal variations on storm surges and waves. *Appl. Ocean Res.* **2010**, 28, 311–322.

Assessment of storms in Bien Dong (the East Sea) and storm surge in the North Coast of Viet Nam affecting by climate change

Nguyen Phuong Anh¹, Nguyen Ba Thuy^{1*}, Pham Khanh Ngoc¹, Sooyoul Kim²

¹ National Center for Hydro–Meteorological Forecasting;
npanh2504@gmail.com, thuybanguyen@gmail.com, ngocpkchibo@gmail.com

² Kumamoto University, Japan; sooyoukim@kumamoto-u.ac.jp

Abstract: In this study, storms in the Bien Dong Sea (the East Sea) and storm surge in the North coast of Viet Nam are assessed in the present climate (1951–2010) and future climate (2051–2110). Storm data in the two periods are collected from the results of the MRI–CGCM3 model, Coupled Model Intercomparison Project Phase 5 (CMIP5). For the period 2051–2110, the MRI–CGCM3 model simulated future storms with the highest emission scenario (RCP 8.5). There are similarities when comparing storm simulation data from the model with actual storm data in the period 1951–2010 in the East Sea. In the future climate, while the number of weak and moderate storms tends to decrease, the number of strong and very strong storms tends to increase compared to the current climate period. In addition, strong storms tend to shift to the south. At the same time, the area where the max storm surge occurs also tends to move to the south and along the coast of Thanh Hoa–Ha Tinh provinces is the places where will have the largest storm surge which possible up to 4.0 m. The results of the study will serve as a basis for developing a plan to respond to storms and storm surge in the future.

Keywords: Storm; Storm surge; Climate change; MRI–CGCM3.

Bài báo khoa học

Phân tích diễn biến hình thái đáy sông Gò Gia – huyện Cần Giờ dưới ảnh hưởng của nước biển dâng

Nguyễn Thị Diễm Thúy^{1*}, Nguyễn Thị Bảy², Đào Nguyên Khôi¹

¹ Khoa Môi trường, Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, Đại học Quốc gia TP.HCM; nguyenthidiemthuyapag@gmail.com; dnkhoi@hcmus.edu.vn

² Khoa Kỹ thuật xây dựng, Trường Đại học Bách Khoa, Đại học Quốc gia TP.HCM; nguyentbay@gmail.com

*Tác giả liên hệ: nguyenthidiemthuyapag@gmail.com; Tel.: +84–968638978

Ban Biên tập nhận bài: 12/4/2022; Ngày phản biện xong: 20/5/2022; Ngày đăng: 25/5/2022

Tóm tắt: Nghiên cứu sử dụng bộ mô hình MIKE 21FM với hai mô-đun thủy động lực học HD và vận chuyển bùn cát MT để thực hiện đánh giá diễn biến hình thái đáy sông Gò Gia trên địa bàn huyện Cần Giờ dưới ảnh hưởng của các kịch bản nước biển dâng trong tương lai. Mô hình được hiệu chỉnh và kiểm định với bộ dữ liệu mực nước, lưu lượng và phù sa thực đo tại hai vị trí trên sông Gò Gia vào năm 2021. Nghiên cứu cũng đã tiến hành đánh giá xu thế bồi-xói đáy giai đoạn hiện trạng năm 2021 và phân tích ảnh hưởng của nước biển dâng theo các kịch bản phát thải trung bình RCP4.5 vào các năm 2030, 2040 và 2050 đến diễn biến đáy sông Gò Gia. Kết quả phân tích tại cho thấy, khi mực nước biển tăng từ 12 cm đến 23 cm, lòng dẫn trên sông có xu hướng tăng mức độ xói trong khoảng từ 0,01–1,3 m/năm và giảm mức độ bồi trong khoảng 0,1–1,1 m/năm. Những kết quả đạt được trong nghiên cứu này có ích cho quá trình đánh giá và nhận dạng những nguyên nhân gây xói lở tại khu vực nghiên cứu.

Từ khóa: Diễn biến đáy sông; Huyện Cần Giờ; Mô hình MIKE 21FM; Nước biển dâng; Sông Gò Gia.

1. Mở đầu

Sông Gò Gia thuộc địa bàn xã Thạnh An, huyện Cần Giờ, thành phố Hồ Chí Minh (TP.HCM), đổ ra sông Cái Mép chảy qua tỉnh Đồng Nai và TP. HCM. Sông Gò Gia nằm ở vị trí địa lý giao thông thuận lợi và xung quanh có nhiều kênh rạch và sông ngòi, cùng với địa hình lòng sông sâu, bằng phẳng và độ rộng sông lớn [1]. Do đó, đây là nơi rất thuận lợi để tàu có trọng tải lớn ra vào. Với những thuận lợi về vị trí và đặc điểm địa hình nên hiện nay sông Gò Gia là một trong những khu vực tiềm năng để xây dựng bến cảng tại huyện Cần Giờ. Tuy nhiên, do sông Gò Gia nằm trong khu vực rừng ngập mặn Cần Giờ nên việc quy hoạch, phát triển phải phù hợp với các quy định bảo tồn vùng dự trữ sinh quyển quốc gia, đặc biệt đối với vấn đề sạt lở bờ sông. Vào năm 2016, hai dự án xã hội hóa nạo vét khu neo đậu tránh trú bão trên sông Gò Gia thuộc huyện Cần Giờ, theo hình thức tận thu bù chi phí, không sử dụng ngân sách nhà nước được triển khai thi công. Cũng trong năm 2016, khu vực sông Gò Gia có dấu hiệu sạt lở, xâm thực đất rừng phòng hộ Cần Giờ do đó các dự án trong khu vực phải dừng thi công để tiến hành đánh giá nguyên nhân sạt lở. Chính vì vậy, sông Gò Gia được chọn là khu vực nghiên cứu.

Theo báo cáo của IPCC năm 2013, Việt Nam là một trong những quốc gia sẽ bị ảnh hưởng nhiều nhất của biến đổi khí hậu (BĐKH) và nước biển dâng (NBD) [2]. Sông Gò Gia

nằm trong hệ thống sông khu vực Cần Giờ chịu ảnh hưởng của chế độ bán nhật triều không đều ở biên Đông, cùng với tình hình BĐKH–NBD đang diễn ra phức tạp như hiện nay nên việc hiểu được tác động của mực nước biển dâng đến diễn biến lòng dẫn sông Gò Gia là cần thiết, phục vụ việc xác định nguyên nhân gây sạt lở tại khu vực.

Để đánh giá bồi xói trên sông, cửa sông có nhiều mô hình có thể mô phỏng diễn biến xói lở, bồi tụ, nhưng một trong số những mô hình toán áp dụng nhiều và có độ tin cậy cao sử dụng trong hầu hết các nghiên cứu những năm qua cho vùng sông, cửa sông ven biển là mô hình MIKE 21FM. Bộ mô hình MIKE 21FM đã được ứng dụng hiệu quả trong việc mô phỏng chế độ thủy lực, cũng như quá trình lan truyền phù sa, bồi-xói tại nhiều khu vực trên thế giới [3–5] và tại Việt Nam [6–9]. Điều này chứng minh việc lựa chọn mô hình này để mô phỏng dòng chảy, quá trình vận chuyển bùn cát, thay đổi hình thái đáy tại sông Gò Gia có tính khả thi và kết quả nghiên cứu có độ tin cậy cao. Ngoài ra, việc sử dụng mô hình toán còn thuận tiện trong việc mô phỏng theo các kịch bản tính toán khác nhau bằng cách thay đổi các dữ liệu đầu vào để tạo ra các kết quả đầu ra khác nhau, điều này thuận lợi cho việc xem xét ảnh hưởng của các kịch bản NBD đến diễn biến lòng dẫn tại khu vực nghiên cứu.

Mục tiêu chính của nghiên cứu là đánh giá ảnh hưởng của mực nước biển dâng đến quá trình diễn biến đáy sông Gò Gia thuộc huyện Cần Giờ, TP.HCM. Với hai mục tiêu cụ thể là đánh giá kết quả mô phỏng diễn biến đáy sông giai đoạn hiện trạng vào năm 2021 và đánh giá ảnh hưởng của mực nước biển dâng đến diễn biến đáy sông Gò Gia bằng cách so sánh kết quả mô phỏng diễn biến đáy giai đoạn hiện trạng so với kết quả mô phỏng theo kịch bản BĐKH của Bộ Tài nguyên và Môi trường năm 2020 vào các năm 2030, 2040 và 2050 [10].

2. Phương pháp nghiên cứu

2.1. Giới thiệu khu vực nghiên cứu

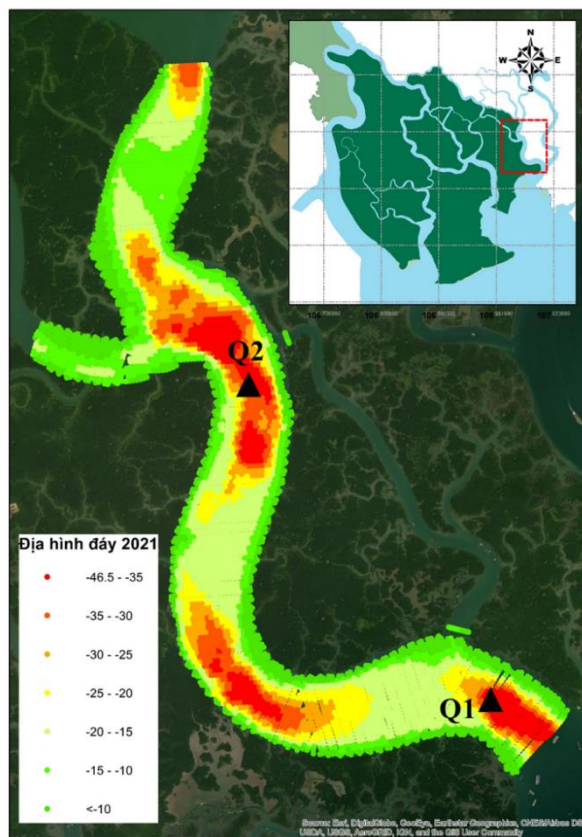
Sông Gò Gia thuộc địa phận xã Thạnh An, huyện Cần Giờ chịu ảnh hưởng của chế độ bán nhật triều không đều. Sông Gò Gia là một con sông lớn với địa hình lòng sông sâu và bằng phẳng. Luồng tàu từ bên ngoài mũi Nghinh Phong đến ngã ba sông Gò Gia–Thị Vải–Cái Mép là luồng rất sâu có thể phục vụ cho tàu có trọng tải 30.000 tấn đi lại không phụ thuộc vào thủy triều. Trường hợp tận dụng thủy triều thì tàu có trọng tải 50.000–80.000 tấn và nếu có nạo vét thêm thì tàu có trọng tải 100.000 tấn có thể ra vào khu vực Gò Gia–Thị Vải [1]. Do đó, đây là một trong những khu vực tiềm năng để xây dựng bến cảng tại huyện Cần Giờ (Hình 1).

2.2. Giới thiệu mô hình MIKE 21FM

MIKE 21, được phát triển bởi Viện Thủy lực Đan Mạch (DHI), Đan Mạch, là một hệ thống mô hình toàn diện áp dụng cho việc mô phỏng các quá trình thủy động lực học trong sông, ven biển và cửa sông. Trong nghiên cứu này, mô hình MIKE 21FM với các mô-đun thủy động lực (HD) và vận chuyển cát bùn (MT) được sử dụng kết hợp để mô phỏng sự thay đổi hình thái đáy sông Gò Gia.

Mô-đun HD mô phỏng sự thay đổi của lưu lượng và mực nước bằng cách giải phương trình nước nông 2D về khối lượng và bảo toàn động lượng (được gọi là hệ phương trình Saint–Venant) bằng cách sử dụng phương pháp số thể tích hữu hạn và lưới phi cấu trúc. Ngoài ra, mô-đun truyền tải–khuyếch tán (AD) để mô phỏng sự vận chuyển của bùn cát lơ lửng. Cuối cùng, mô-đun MT mô tả xói lở, vận chuyển và lắng đọng bùn hoặc hỗn hợp cát/bùn dưới tác động của dòng chảy. Kết quả của mô-đun HD và AD đóng vai trò là đầu vào cho mô-đun MT.

Cơ sở lý thuyết của các mô-đun HD và MT được thể hiện chi tiết trong Hướng dẫn sử dụng mô hình MIKE 21FM năm 2014 [11–12].



Hình 1. Khu vực sông Gò Gia, địa hình đáy sông và vị trí hai trạm đo Q1, Q2.

2.3. Dữ liệu đầu vào và thiết lập mô hình

➤ Dữ liệu đầu vào

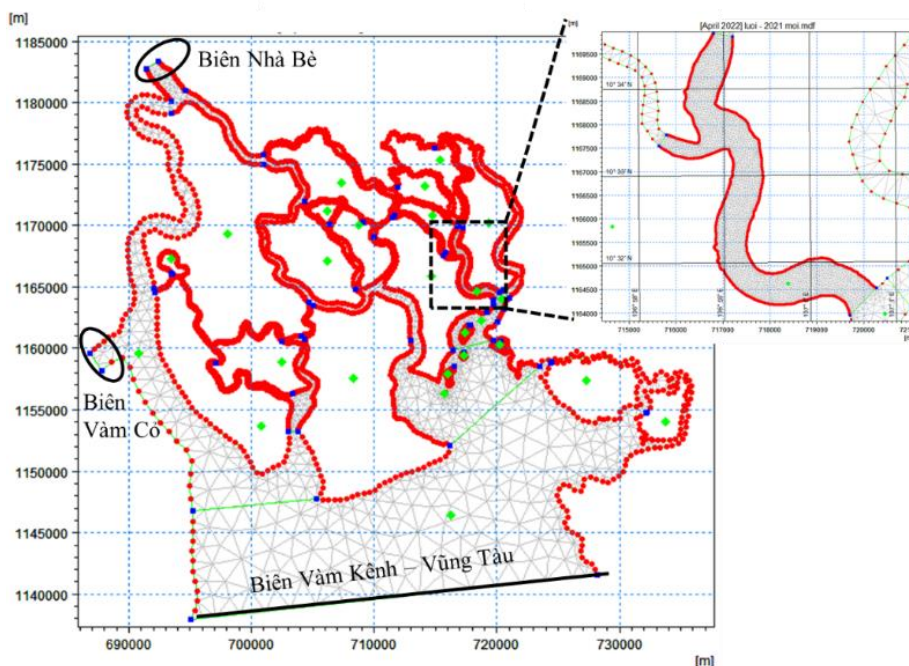
Dữ liệu địa hình đáy sông Gò Gia được đo đạc từ đề tài “Đánh giá thực trạng, nguyên nhân sạt lở bờ sông Gò Gia trên địa bàn huyện Cần Giò và đề xuất các giải pháp nhằm ngăn ngừa” vào năm 2021, địa hình đáy sông Gò Gia có độ sâu từ $-46,32$ m đến $-2,03$ m (Hình 1). Bên cạnh đó, địa hình đáy các sông khác trong khu vực huyện Cần Giò được kế thừa từ các đề tài, dự án [13–14] cập nhật đến năm 2016. Dữ liệu địa hình đáy sông sau khi thu thập kết hợp với lưới tính phi cấu trúc được tạo từ đường bờ năm 2021 để nội suy địa hình, đây là dữ liệu đầu vào quan trọng cho mô hình MIKE 21FM (Hình 2).

Vùng tính bao gồm 03 biên lờng là dữ liệu mực nước theo giờ vào năm 2021 tại các trạm thủy văn Nhà Bè, Vàm Cỏ, Vũng Tàu, Vàm Kênh được thu thập từ Đài Khí tượng Thủy văn khu vực Nam bộ, vị trí các biên tính được thể hiện trong Hình 2. Bên cạnh đó, dữ liệu mực nước, lưu lượng nước và nồng độ phù sa thực đo theo giờ tại hai vị trí Q1 và Q2 trên sông Gò Gia được sử dụng để hiệu chỉnh mô hình dòng chảy, dữ liệu này được đo đạc trong khuôn khổ đề tài “Đánh giá thực trạng, nguyên nhân sạt lở bờ sông Gò Gia trên địa bàn huyện Cần Giò và đề xuất các giải pháp nhằm ngăn ngừa” của nhóm nghiên cứu.

Các dữ liệu về địa chất và trầm tích đáy được thập từ Báo cáo đánh giá tác động môi trường dự án [15], theo tài liệu khảo sát vào tháng 05/2015, trong phạm vi diện tích và tới độ sâu khảo sát 8,0 m tính từ cao độ miệng lỗ khoan làm 02 lớp đất nền như sau:

- + Lớp 1: Cát hạt mịn đến trung pha bụi sét màu xám đen, kết cấu rời đến chặt vừa.
- + Lớp 2: Sét pha cát hạt mịn màu xám đen, nâu vàng, trạng thái dẻo mềm đến dẻo cứng.

Các cấp hạt tính toán cho mô hình gồm 3 cấp hạt với đường kính trung bình các cấp hạt là 0,063 mm, 0,1 mm và 0,25 mm.



Hình 2. Lưới tính và vị trí các biên.

➤ Thiết lập mô hình

Trong mô-đun thủy lực, hệ số Manning (M) được xem là tham số chính để hiệu chỉnh mô hình. Trong nghiên cứu này, hệ số Manning được tính tương quan theo độ sâu địa hình với giá trị trong khoảng 65–120 m^{1/3}/s. Đối với mô phỏng quá trình lan truyền bùn cát, bồi xói, một số nghiên cứu [16–18] đã dùng các thông số để hiệu chỉnh bao gồm hệ số khuếch tán, vận tốc lắng, ứng suất tới hạn bồi, ứng suất tới hạn xói và vận tốc xói. Do đó, nghiên cứu sử dụng các thông số này để hiệu chỉnh quá trình lan truyền phù sa và thay đổi hình thái đáy sông Gò Gia. Bộ thông số mô hình MIKE 21FM đã hiệu chỉnh được thể hiện trong Bảng 1.

Bảng 1. Bộ thông số mô hình sau khi hiệu chỉnh.

Thông số	Ký hiệu	Đơn vị	Giá Trị	
Hệ số Manning	M	m ^{1/3} /s	65–120	
Độ dày lớp đáy		m	Lớp 1	0,2
			Lớp 2	5
			Cấp hạt 1	0,004
Vận tốc lắng	W _s	m/s	Cấp hạt 2	0,009
			Cấp hạt 3	0,038
			Cấp hạt 1	0,07
Ứng suất tới hạn bồi	τ _{ce}	N/m ²	Cấp hạt 2	0,08
			Cấp hạt 3	0,09
			Lớp 1	0,35
Ứng suất tới hạn xói	τ _{cd}	N/m ²	Lớp 2	0,60
			Lớp 1	1×10 ⁻⁵
Tốc độ xói	E ₀	Kg/m ² /s	Lớp 2	5×10 ⁻⁵

2.4. Đánh giá hiệu quả mô phỏng của mô hình

Độ tin cậy của kết quả hiệu chỉnh, kiểm định mô hình được đánh giá thông qua hai chỉ số là hệ số tương quan (R^2), hệ số hiệu quả Nash–Sutcliffe (NSE). Tiêu chí đánh giá hiệu quả mô hình được tham khảo dựa trên kết quả nghiên cứu [19], cụ thể chỉ số NSE và R^2 giữa giá trị thực đo và mô phỏng lớn hơn 0,85 cho thấy mô hình có khả năng mô phỏng rất tốt, giá trị lớn hơn 0,75 thể hiện mức độ mô phỏng tốt và giá trị lớn hơn 0,6 thể hiện mức độ phù hợp.

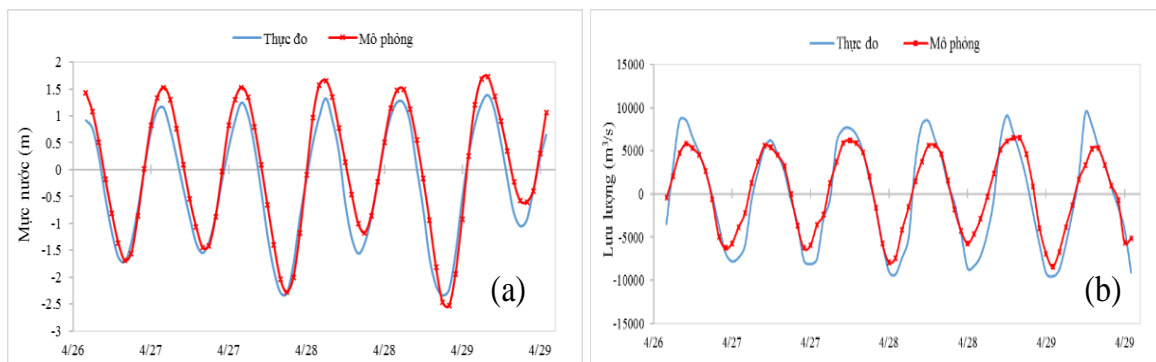
2.5. Kích bản nước biển dâng

Kịch bản nước biển dâng (NBD) do BĐKH với kịch bản phát thải trung bình RCP4.5 được sử dụng trong nghiên cứu để đánh giá ảnh hưởng của NBD đến quá trình bồi xói tại khu vực nghiên cứu. Kích bản NBD trong nghiên cứu này được tham khảo từ Kích bản Biển đổi khí hậu và Nước biển dâng cho Việt Nam năm 2020 [10] tại khu vực từ Mũi Kê Gà đến Mũi Cà Mau trong 03 giai đoạn gần nhất là 2030, 2040 và 2050. Theo đó, mực NBD trong ba năm 2030, 2040 và 2050 lần lượt là 12 cm, 17 cm và 23 cm.

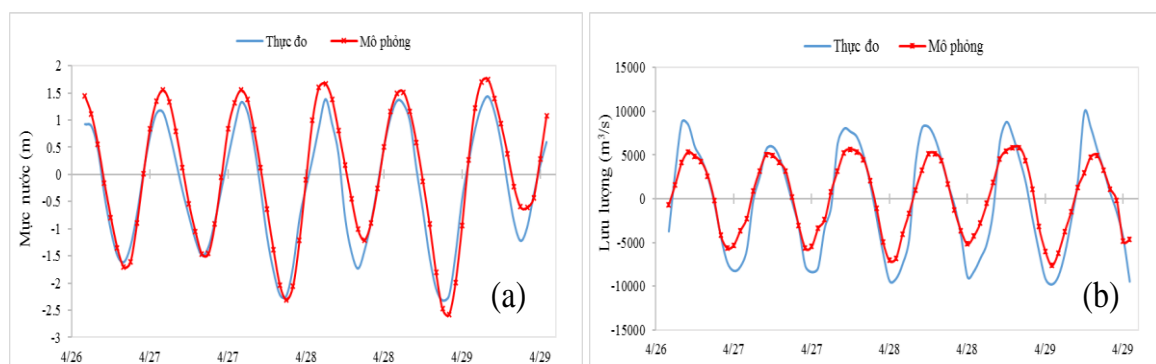
3. Kết quả và thảo luận

3.1. Hiệu quả mô phỏng mô hình MIKE 21FM

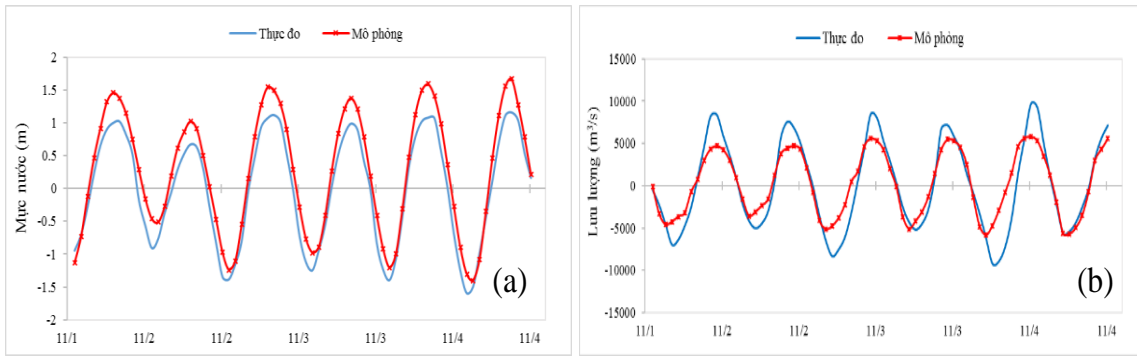
Trước khi mô phỏng dòng chảy, mô hình được hiệu chỉnh tại hai trạm đo Q1, Q2 trong 03 ngày từ 14h ngày 26/04 đến 13h ngày 29/04/2021 và kiểm định từ 13h 01/11 đến 17h 04/11/2021. Hiệu quả mô phỏng được đánh giá bằng đồ thị tương quan giữa lưu lượng, mực nước đo đạc, mô phỏng (Hình 3 đến Hình 6) và hai chỉ số thống kê là NSE và R^2 (Bảng 2). Có thể thấy, các chỉ số NSE và R^2 giữa giá trị lưu lượng, mực nước quan trắc và mô phỏng đều đạt mức tốt đến rất tốt, với giá trị lớn hơn 0,7 ở cả hai vị trí Q1, Q2. Điều này chứng minh mô hình MIKE 21FM có thể mô phỏng tốt dòng chảy tại sông Gò Gia.



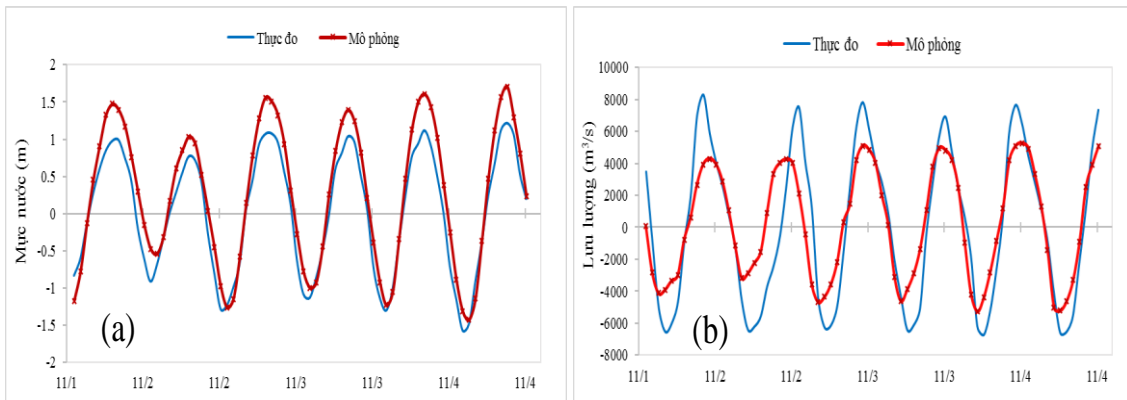
Hình 3. Hiệu chỉnh dòng chảy tại trạm đo Q1: (a) Mực nước; (b) Lưu lượng.



Hình 4. Hiệu chỉnh dòng chảy tại trạm đo Q2: (a) Mực nước; (b) Lưu lượng.

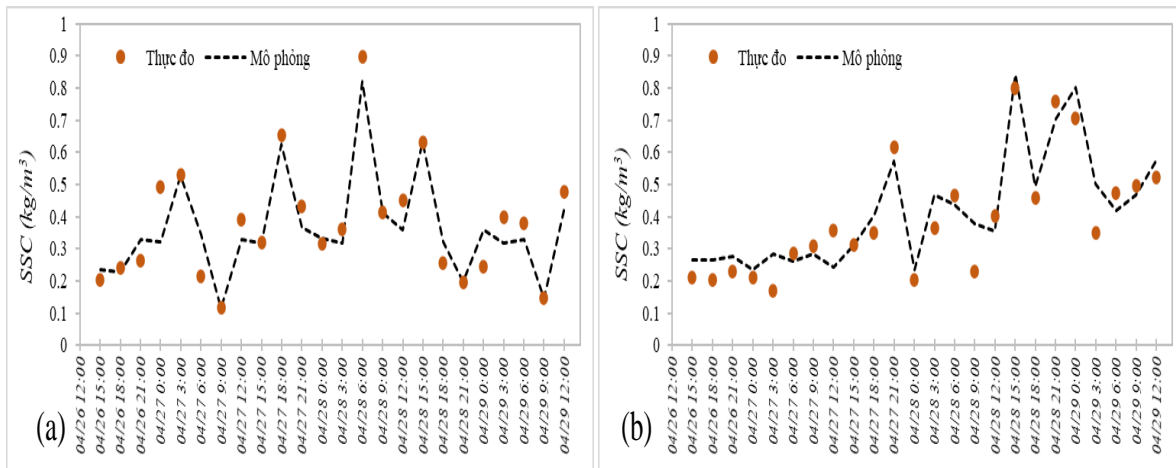


Hình 5. Kiểm định dòng chảy tại trạm đo Q1: (a) Mức nước; (b) Lưu lượng.

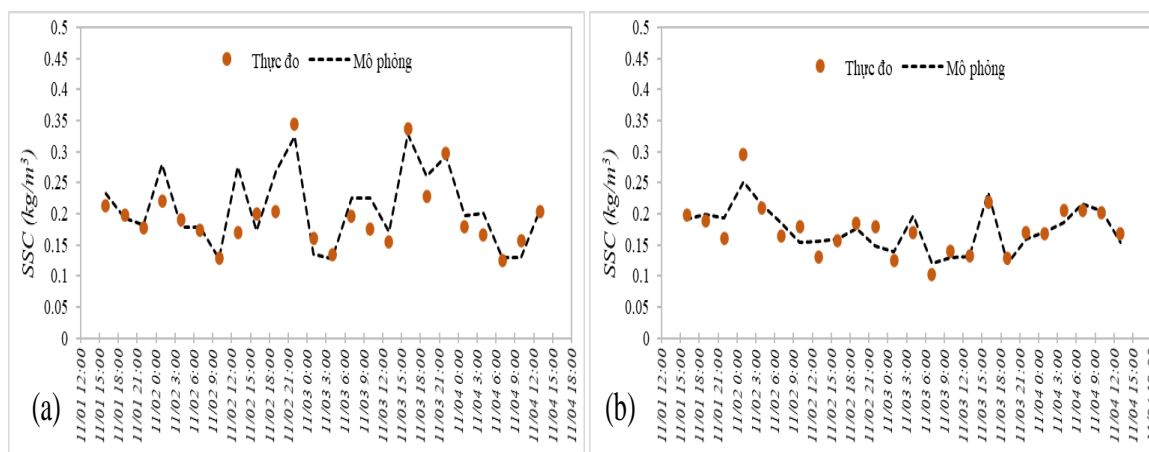


Hình 6. Kiểm định dòng chảy tại trạm đo Q2: (a) Mức nước; (b) Lưu lượng.

Bộ thông số thủy lực đạt được sau khi thực hiện hiệu chỉnh được sử dụng để mô phỏng lan truyền phù sa, Hình 7 và Hình 8 thể hiện kết quả hiệu chỉnh và kiểm định nồng độ phù sa tại hai vị trí Q1 và Q2. Từ đồ thị cho thấy, tuy một số thời điểm nồng độ phù sa phỏng có sự chênh lệch so với giá trị quan trắc, điều này có thể do mô-đun MT kế thừa sai số từ mô hình dòng chảy, nhưng nhìn chung nồng độ phù sa mô phỏng tại hai trạm có xu hướng tương quan tương tốt với giá trị thực đo. Ngoài ra, hiệu quả mô phỏng còn được thể hiện thông qua hai chỉ số NSE và R^2 đều đạt mức phù hợp đến tốt với giá trị hai chỉ số đều lớn hơn 0,62 ở cả hai trạm đo (Bảng 2). Các kết quả trên cho thấy, bộ thông số của mô-đun MIKE 21FM MT đạt được đủ độ tin cậy để mô phỏng quá trình lan truyền bùn cát và thay đổi hình thái đáy trong thời gian dài tại khu vực nghiên cứu.



Hình 7. Hiệu chỉnh phù sa tại hai trạm đo Q1 và Q2: (a) Q1; (b) Q2.



Hình 8. Kiểm định phù sa tại hai trạm đo Q1 và Q2: (a) Q1; (b) Q2.

Bảng 2. Kết quả hiệu chỉnh, kiểm định dòng chảy.

Trạm đo	Hiệu chỉnh						Kiểm định					
	Lưu lượng		Mực nước		Phù sa		Lưu lượng		Mực nước		Phù sa	
	R ²	NSE	R ²	NSE	R ²	NSE	R ²	NSE	R ²	NSE	R ²	NSE
Q1	0,92	0,86	0,96	0,89	0,86	0,87	0,92	0,82	0,98	0,86	0,74	0,62
Q2	0,93	0,82	0,94	0,87	0,86	0,84	0,72	0,75	0,97	0,84	0,72	0,71

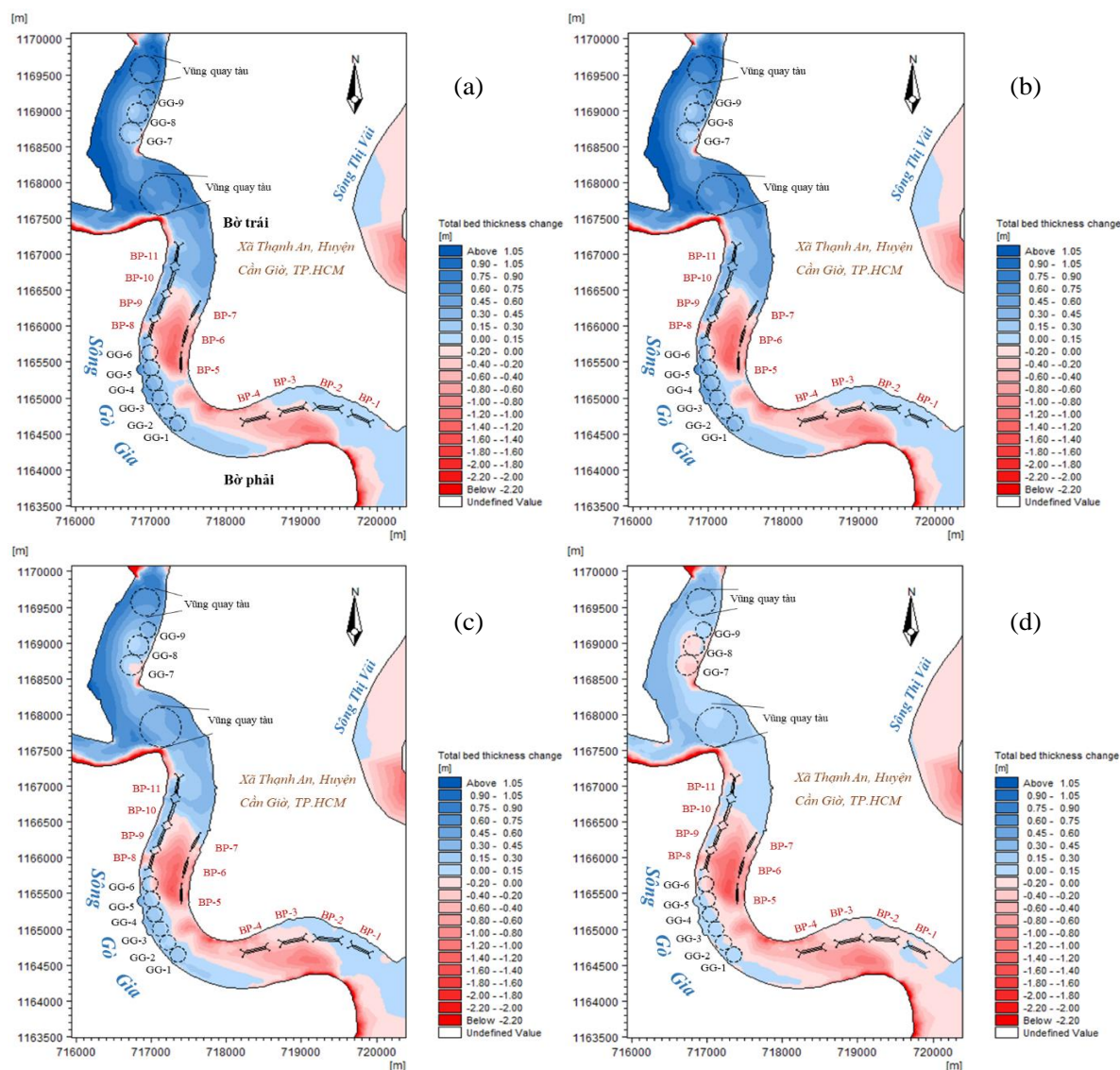
3.2. Đánh giá kết quả mô phỏng hiện trạng bồi-xói tại sông Gò Gia

Hình 9a thể hiện kết quả mô phỏng diễn biến đáy sông sau một năm mô phỏng vào năm 2021. Quá trình bồi được thể hiện bằng thang màu xanh và thang màu đỏ thể hiện quá trình xói. Một số khu vực có xu hướng bồi như khu vực bờ phải sông, đối diện các khu neo đậu GG-7, GG-8, GG-9 xảy ra quá trình bồi với mức độ bồi trong khoảng 1,6 m/năm. Khu vực ven bờ các bến phao BP-01, BP-02 và BP-03 cũng có xu hướng bồi với mức độ bồi trong khoảng 0,4 m. Tại khu vực ngã ba Tác Ông Cu-sông Gò Gia có mức độ xói cao trong khoảng 4,6 m/năm, Khu vực ngã ba sông Gò Gia-Thị Vải có mức độ xói trong khoảng 2,2 m/năm. Khu vực ven bờ các bến phao từ BP-5 đến BP-11 có xu thế xói với mức độ trong khoảng -0,7 m đến 1,93 m/năm. Nhìn chung, trên sông Gò Gia quá trình bồi xói xảy ra xen kẽ và tại các vị trí ngã ba sông có xu thế xói cao.

3.3. Đánh giá diễn biến đáy sông dưới ảnh hưởng của NBD

Với giả thiết các điều kiện khác là dữ liệu vào năm 2021, chỉ thay đổi về điều kiện dâng cao mực nước (mực nước dâng lần lượt là 12 cm, 17 cm và 23 cm vào các năm 2030, 2040 và 2050), các kết quả tính toán mô phỏng cho thấy mực nước biển dâng do BĐKH có tác động nhất định đến sự thay đổi địa hình đáy ở khu vực nghiên cứu. Kết quả mô phỏng diễn biến đáy sông theo các kịch bản được thể hiện lần lượt trong hình 9b, hình 9c và hình 9d.

Tại khu vực bờ phải sông, đối diện các khu neo đậu GG-7, GG-8, GG-9, mức độ bồi tại khu vực này có xu thế giảm, cụ thể năm 2021 mức độ bồi tại khu vực này khoảng 1,6m đến năm 2030 khi mực nước dâng lên thêm 12cm thì mức độ bồi giảm còn 1,5m và đến năm 2050 mức độ bồi tại khu vực này còn khoảng 0,5m/năm. Tại khu vực này, khi mực nước tăng vận tốc dòng chảy chỉ chênh lệch khoảng 0,1m/s, tuy nhiên nồng độ phù sa tại khu vực này giảm khá nhiều so với hiện trạng năm 2021. Cụ thể, vào năm 2021 nồng độ phù sa trong khu vực này dao động trong khoảng 0,4 kg/m³ đến 0,93 kg/m³, đến năm 2050 nồng độ trong khu vực này trong khoảng 0,28 kg/m³ đến 0,45 kg/m³.



Hình 9. Diễn biến đáy sông sau 1 năm mô phỏng vào năm 2021 và các kịch bản nước biển dâng: (a) Năm 2021; (b) RCP4.5–2030; (c) RCP4.5–2040; (d) RCP4.5–2050.

Các khu vực ngã ba sông, khu vực ven bờ các bến phao BP-4 đến BP-11 có xu thế gia tăng phạm vi khu vực bị xói và tăng mức độ xói trong khoảng 0,1m đến 0,7 m/năm tùy từng khu vực. Tại khu vực ven bờ bến phao BP-1, BP-2 và BP-3 có xu thế bồi vào năm 2021 và 2030 với mức độ bồi lần lượt khoảng 0,4m và 0,17m, đến năm 2040 khi mực nước biển dâng thêm 17 cm tại khu vực ven bờ bến phao BP-3 bị xói nhẹ với mức độ khoảng 0,2 m và khi mực nước dâng thêm 23 cm vào năm 2050 thì khu vực ven bờ cả ba bến phao đều xuất hiện xói. Các kết quả mô phỏng diễn biến sạt lở, bồi lắng tại một số khu vực trên sông Gò Gia dưới ảnh hưởng của NBD được thống kê trong Bảng 3.

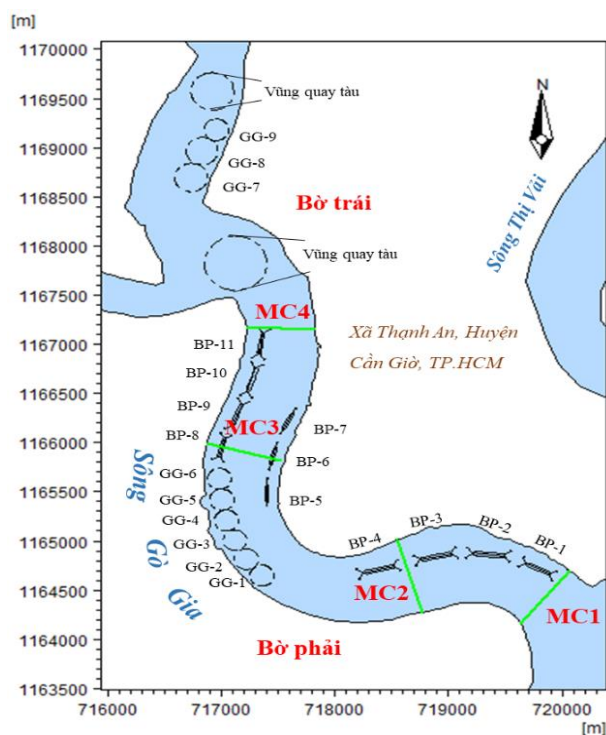
Bảng 3. Mức độ bồi – xói theo các kịch bản nước biển dâng trong tương lai (Đơn vị: m/năm (+Bồi; – Xói)).

Khu vực	2021	RCP4.5–2030	RCP4.5–2040	RCP4.5–2050
Khu vực bờ phải sông, đối diện các khu neo đậu GG-7, GG-8, GG-9	+1,6	+1,5	+1,17	+0,5
Khu vực ngã ba Tắc Ông Cu và sông Gò Gia	-3,3	-3,6	-3,9	-4,6
Khu vực ven bờ các bến phao BP-10 và BP-11	-1,4	-1,8	-2,01	-2,16

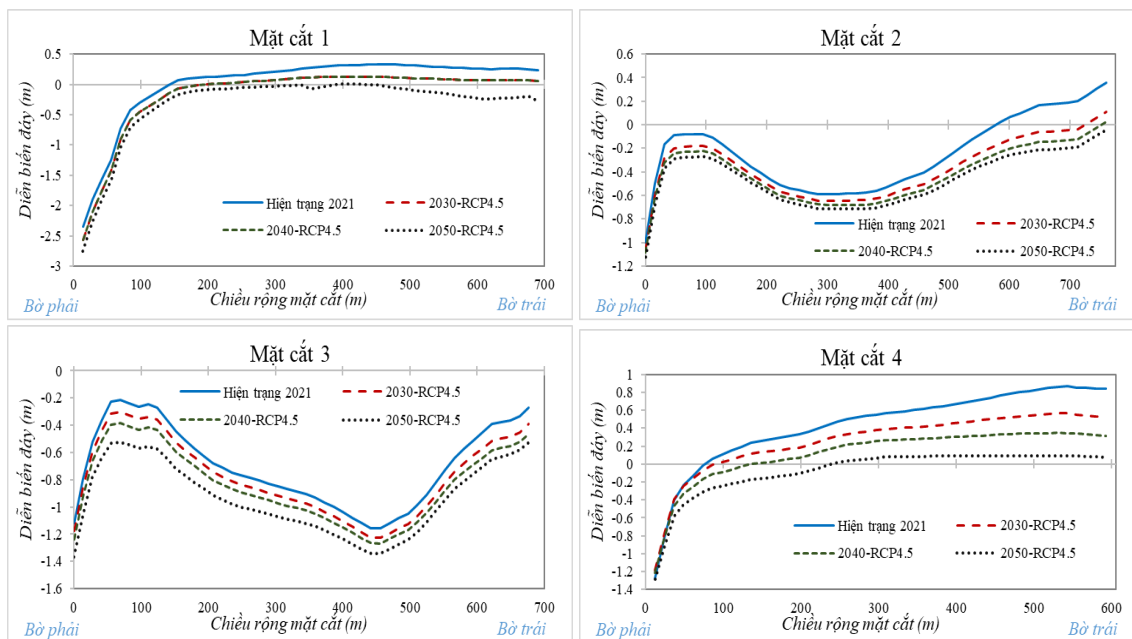
Khu vực	2021	RCP4.5–2030	RCP4.5–2040	RCP4.5–2050
Khu vực ven bờ các bến phao BP–08 và BP–09	–1,28	–1,43	–1,5	–1,6
Khu vực ngã ba sông Gò Gia và sông Thị Vải	–2,2	–2,58	–2,9	–3
Tại bến phao BP–01, BP–02 và BP–03	+0,4	+0,17	–0,2	–0,32
Tại bến phao BP–04	–0,7	–1,02	–1,2	–1,29
Ven bờ bến phao BP–05, BP–06, và BP–07	–1,93	–1,94	–1,96	–1,97

Để đánh giá rõ hơn ảnh hưởng của NBD đến diễn biến đáy sông và hai bên bờ sông, nghiên cứu sẽ tiến hành trích xuất và so sánh diễn biến đáy tại 04 mặt cắt ngang đại diện, là các vị trí có nhiều sự thay đổi về diễn biến đáy khi NBD so với hiện trạng. Cụ thể, mặt cắt MC1 nằm phía hạ lưu sông Gò Gia, phía dưới bến phao BP–1, mặt cắt MC2 nằm giữa bến phao BP–3 và BP–4, mặt cắt MC3 đi qua các bến phao BP–6 và BP–8, mặt cắt MC4 nằm phía trên BP–11 (Hình 10).

Tại mặt cắt MC1 (Hình 11a), khi mực nước biển dâng làm giảm mức độ bồi tụ tại khu vực giữa sông và phía bờ phải sông tại khu vực bến phao BP–1 có xu hướng chuyển từ bồi sang xói nhẹ với mức độ xói khoảng 0,2 m. Tại mặt cắt MC2 (Hình 11b), mức độ xói có xu hướng tăng từ phía bờ trái đến vị trí cách bờ trái khoảng 600 m với mức tăng trong khoảng 0,11 m đến 0,25 m. Khu vực phía bờ phải có xu hướng chuyển từ bồi sang xói ở cả hai mùa khi mực nước biển dâng qua các năm. Tại mặt cắt MC3 nằm trên hai bến phao BP–6 và BP–8 (Hình 11c), trên toàn bộ mặt cắt này có xu hướng xói ở cả hai mùa. Khi mực nước biển dâng, mức độ xói trên mặt cắt vào mùa mưa tăng nhiều hơn so với mùa khô, cụ thể khi mực nước tăng thêm 23cm vào năm 2050 mức độ xói vào mùa mưa tăng đạt khoảng từ 0,5 m đến 1,37 m. Tại mặt cắt MC4 phía trên bến phao BP–11 (Hình 11d), phía bờ trái có xu hướng xói vào năm 2021 ở cả hai mùa, và khi mực nước biển tăng mức độ xói tại khu vực ven bờ trái không có nhiều thay đổi so với hiện trạng. Từ khu vực cách bờ trái khoảng 100m đến bờ phải quá trình bồi chiếm ưu thế, tuy nhiên mức độ bồi có xu hướng giảm đáng kể dưới ảnh hưởng của NBD.



Hình 10. Vị trí trích xuất mặt cắt.



Hình 11. Diễn biến đáy tại 04 mặt cắt theo các kịch bản NBD.

Kết quả từ Hình 11 cho thấy, khi mực nước biển dâng mức độ bồi có xu hướng giảm và tăng mức độ xói tại cả 04 mặt cắt. Điều này có thể do sông Gò Gia thuộc huyện Cần Giờ nên chịu ảnh hưởng mạnh mẽ từ chế độ bán nhật triều không đều biển Đông, vì vậy khi NBD do BĐKH làm mực nước và vận tốc dòng chảy khi triều lên tăng làm tăng mức độ xói, đồng thời lượng phù sa trong sông sẽ bị đẩy lên phía trên nhiều hơn, lượng phù sa trong sông lúc này giảm dẫn đến quá trình bồi tụ có xu hướng giảm.

Đối chiếu kết quả đạt được với một số nghiên cứu tương tự khác như kết quả phân tích từ phương pháp bán thực nghiệm [21] cho thấy, địa hình đáy tại khu vực biển Wadden và Ameland–Eierland vẫn duy trì mức độ ổn định dưới ảnh hưởng của NBD. Nhưng một nghiên cứu khác tại khu vực biển Wadden ở Hà Lan sử dụng mô hình Delft3D cho thấy khi mực nước biển dâng cao có thể gây bồi lắng tại các bãi bồi phía trong cửa sông và gây xói tại các bãi bồi phía ngoài của sông [22]. Ngược lại, kết quả dự báo vào hai mùa cạn và lũ bằng mô hình Delft3D tại khu vực ven bờ sông MêKong chỉ ra các bãi bồi vùng phía ngoài các cửa sông của khu vực ven bờ châu thổ sông Mê Kông có xu hướng tăng tốc độ bồi dưới tác động của NBD [23]. Có thể thấy, ảnh hưởng của NBD đến sự thay đổi địa hình đáy sông, ven biển không có quy luật nhất định mà sự ảnh hưởng này sẽ khác nhau tùy vào đặc điểm địa hình, chế độ dòng chảy, quá trình vận chuyển bùn cát ở từng khu vực và cách tiếp cận nghiên cứu.

4. Kết luận

Nghiên cứu đã thực hiện đánh giá quá trình bồi-xói giai đoạn hiện trạng năm 2021 và đánh giá ảnh hưởng của NBD do BĐKH theo các kịch bản RCP4.5 vào các năm 2030, 2040 và 2050 đến diễn biến lòng dẫn tại khu vực sông Gò Gia. Kết quả phân tích tại 04 mặt cắt trên sông cho thấy, khi mực nước biển tăng lòng dẫn trên sông có xu hướng tăng mức độ xói và giảm mức độ bồi và diễn biến lòng dẫn vào mùa khô ít bị thay đổi hơn so với mùa khô. Càng vào sâu trong đất liền, hiện tượng xói càng gia tăng.

Nghiên cứu này chỉ thực hiện phân tích ảnh hưởng của NBD do biến đổi khí hậu đến diễn biến đáy sông Gò Gia mà chưa xem xét kết hợp các yếu tố khác như thay đổi dòng chảy, chế độ sóng, gió và các yếu tố nhân sinh. Tuy nhiên, việc chỉ phân tích từng yếu tố có ích trong

việc hiểu được tác động riêng lẻ của yếu tố NBD đến diễn biến đáy sông Gò Gia. Trong giai đoạn kế tiếp sẽ tiến hành phân tích, đánh giá tổng hợp các nguyên nhân dẫn đến quá trình bồi lắng-xói lở tại khu vực sông Gò Gia.

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

Lời cảm ơn: Nghiên cứu này được thực hiện dưới sự tài trợ của Sở Khoa học và Công nghệ TP.HCM thông qua Hợp đồng thực hiện nhiệm vụ khoa học và công nghệ số 112/2020/HĐ-QKHCN ngày 15 tháng 12 năm 2020.

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. Hoàng, T.T.; Phùng, N.K. Phân tích đặc điểm khí tượng-thủy-hải văn và môi trường phục vụ quy hoạch xã Thạnh An, huyện Cần Giờ năm 2020. *Tap chí khí tượng thủy văn* **2014**, 642, 6–11.
2. IPCC. The physical science basis: Contributing of working group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, UK. 2013.
3. Novico, F.; Priohandono, Y.A. Analysis of Erosion and Sedimentation Patterns Using Software of Mike 21 FM HD–MT in the Kapuas Murung River Mouth Central Kalimantan Province. *Bull. Mar. Geol.* **2012**, 27(1), 35–53.
4. Kimiaghalam, N.; Clark, S.; Ahmari, H.; Hunt, J. Wave – current induced erosion of cohesive riverbanks in northern Manitoba, Canada. *IAHS Publ.* **2014**, 367, 134–140.
5. Pradhan, S.; Samal, R.N.; Choudhury, S.B.; Mohanty, P.K. Hydrodynamic and cohesive sediment transport modeling in Chilika lagoon. *ISPRS Ann. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.* **2018**, IV–5, 141–149.
6. Mai, N.T.P.; Thành, L.T. Đề xuất giải pháp bảo vệ bờ cửa sông ven biển cửa sông Cái Lớn – tỉnh Kiên Giang. Tuyển tập Hội nghị Khoa học thường niên năm 2015. 2015, 351–354.
7. Sáo, N.T.; Khá, Đ.Đ.; Anh, T.N. Phân tích nguyên nhân bồi lấp luồng tại cửa biển Tam Quan – Bình Định. *Tap chí Khoa học Đại học Quốc Gia Hà Nội: Khoa học Tự nhiên và Công nghệ* **2014**, 30(4), 65–70.
8. Nga T.N.Q.; Khoi D.N.; Thuy N.T.D.; Nhan D.T.; Kim T.T.; Bay N.T. Understanding the Flow and Sediment Dynamics in the Mekong River – A Case Study in the Vinh Long Province. Proceedings of the 10th International Conference on Asian and Pacific Coasts (APAC 2019), September 25–28, Hanoi, Vietnam, 2019, 1453–1460.
9. Thuy N.T.D.; Khoi D.N.; Nhan D.T.; Nga T.N.Q.; Bay N.T.; Phung N.K. Modelling Accretion and Erosion Processes in the Bassac and Mekong Rivers of the Vietnamese Mekong Delta. Proceedings of the 10th International Conference on Asian and Pacific Coasts (APAC 2019), September 25–28, Hanoi, Vietnam, 2019, 1431–1437.

10. Bộ Tài nguyên và Môi trường. Kịch bản Biến đổi Khí hậu. NXB Tài nguyên – Môi trường và bản đồ Việt Nam, 2020, 83–93.
11. DHI. MIKE 21 & MIKE 3 Flow model FM Hydrodynamic Scientific Documentation. 2014.
12. DHI. MIKE 21 & MIKE 3 Flow model FM – Mud transport module Scientific Documentation. 2014.
13. Nguyễn Thị Bẩy. Nghiên cứu đánh giá quá trình diễn biến đáy và thay đổi chế độ thủy văn do nạo vét sông Soài Rạp phục vụ công tác phát triển giao thông đường thủy. 2012.
14. Công ty Cổ phần Tư vấn Xây dựng Điện 2 (PECC 2). Dự án “Trung tâm điện lực Tân Phước”. 2016.
15. Công ty TNHH Đầu tư TM Dịch Vụ – XNK Hoàng Minh. Báo cáo Đánh Giá Tác Động Môi Trường của dự án xã hội hóa nạo vét khu neo đậu tránh bão trên sông Gò Gia theo hình thức tận thi bù chi phí, không sử dụng ngân sách Nhà nước. 2016.
16. Krone, R.B. Flume Studies of the Transport of Sediment in Estuarial Shoaling Processes. Technical Report, Hydraulic Engineering Laboratory, University of California, Berkeley California, 1962.
17. Mehta, A.J.; Hayter, E.J.; Parker, W.R.; Krone, R.B.; Teeter, M. Cohesive sediment transport: Part I. Process de–scription. *J. Hydraul. Eng.* **1989**, 115, 1076–1093.
18. Teeter, A.M. Vertical transport in fine–grained suspension and newly deposited sediment, *Estuarine Cohesive Sediment Dynamics*. Springer–Verlag, Berlin, 1986, 170–191.
19. Moriasi, D.N.; Gitau, M.W.; Pai, N.; Daggupati, P. Hydrologic and water quality Models performance measures and evaluation criteria. *Am. Soc. Agric. Biol. Eng.* **2015**, 58(6), 1763–1785.
20. Loon, V.A.T. Water Flow and Tidal Influence Mangrove Delta System Can Gio, Vietnam. Thesis Hydrology, Wageningen Agricultural University, The Netherlands, 2005.
21. Van Goor, M.A.; Zitman, T.J.; Wang, Z.B.; Stive, M.J.F. Impact of sealevel rise on the morphological equilibrium state of tidal inlets. *Mar. Geol.* **2003**, 202(3), 211–227.
22. Dissanayake, D.M.P.K.; Ranasinghe, R.W.M.R.J.B.; Roelvink, J.A. The morphological response of large tidal inlet/basin systems to relative sea level rise. *Clim. Change* **2012**, 113(2), 253–276.
23. Vĩnh, V.D.; Lân, T.Đ.; Tú, T.A.; Anh, N.T.K. Mô phỏng ảnh hưởng của mực nước biển dâng đến biến động địa hình đáy vùng ven bờ cửa sông Mê Kông. *Tap chí Khoa học và Công nghệ Biển* **2015**, 15(2), 139–149.

Analysing the morphological changes of the Go Gia River, Can Gio district under the impact of sea-level rise

Nguyen Thi Diem Thuy^{1*}, Nguyen Thi Bay², Dao Nguyen Khoi¹

¹ Faculty of Environment, University of Science, Vietnam National University Ho Chi Minh City; nguyenthidiemthuyapag@gmail.com; dnkhai@hcmus.edu.vn;

² Faculty of Civil Engineering, University of Technology, Vietnam National University Ho Chi Minh City; nguyentbay@gmail.com

Abstract: This study applies the MIKE 21FM model with hydrodynamic (HD) and mud transport (MT) modules to assess the morphological changes of the Go Gia River in the Can Gio district under the impact of sea-level rise. The model is calibrated and validated with the hourly data of water level, discharge, and suspended sediment concentrations that were observed at two locations on the Go Gia River in 2021. After that, the study evaluates the process of accretion and erosion in the present status and assesses the effects of sea-level rise under the RCP4.5 scenario for the years 2030, 2040, and 2050 on changes in bottom morphology. The results illustrate that, if the sea level increases from 12 cm to 23 cm, the riverbed topography will increase the rate of erosion in the range of 0.01–1.3 meters per year and the rate of accretion will decline a minimum of 0.1 and maximum of 1.1 meters per year. The results obtained in this research are a reference to identify the causes of erosion in the study area.

Keywords: Can Gio district; Morphological changes; MIKE 21FM model; Go Gia River; Sea-level rise.

Table of content

- 1** Duy, D.M.; Truong, N.M. Numerical reforecast of severe hailstorms in eastern North Vietnam in 24–25/01/2020. *VN J. Hydrometeorol.* **2022**, *737*, 1–14.
- 15** Thanh, N.T. Analysis and assessment of erosion and deposition in Quang Nam Province by remote sensing and GIS. *VN J. Hydrometeorol.* **2022**, *737*, 15–25.
- 26** Cong, D.A.; Luong, N.V.; Huan, L.H.; Xuyen, P.T.N.; Giai, N.S. Calculation and Analysis of the Potential Evapotranspiration and the Water Requirement Satisfaction Index in Thanh Hoa Province in the Period of 1991–2020. *VN J. Hydrometeorol.* **2022**, *737*, 26–39.
- 40** Thuy, N.D.; Khoi, D.N.; Phung, B.P.; Bay, N.T. Assessing the impact of dredging on the erosion and accretion processes in the Go Gia River, Can Gio. *VN J. Hydrometeorol.* **2022**, *737*, 40–52.
- 53** Kien, N.H.; Truong, P.N.; Toan, P.V.; Khanh, N.T.Q.; Thuan, N.D.; Tu, L.A.; Thuy, V.T. Biodiversity and the effects of climate change on some ecosystems in Non Nuoc Cao Bang Geopark. *VN J. Hydrometeorol.* **2022**, *737*, 53–62.
- 63** Phung, N.T.; Thanh, N.T.T. High-tech agriculture development in Binh Phuoc Province. *VN J. Hydrometeorol.* **2022**, *737*, 63–74.
- 75** Anh, N.P.; Thuy, N.B.; Ngoc, P.K.; Kim, S. Assessment of storms in Bien Dong (the East Sea) and storm surge in the North Coast of Viet Nam affecting by climate change. *VN J. Hydrometeorol.* **2022**, *737*, 75–87.
- 88** Thuy, N.T.D.; Bay, N.T.; Khoi, D.N. Analysing the morphological changes of the Go Gia River, Can Gio District under the impact of sea-level rise. *VN J. Hydrometeorol.* **2022**, *737*, 88–100.