

TẠP CHÍ KHÍ TƯỢNG THỦY VĂN

Journal of Hydro - Meteorology

ISSN 2525 - 2208



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

Số 767
11-2024



Q. TỔNG BIÊN TẬP
PGS. TS. Đoàn Quang Trí

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

Giấy phép xuất bản

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

Tòa soạn

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

Chế bản và In tại:

Công ty Cổ Phần In và Thương Mại Hà Thành Thăng Long
ĐT: 0243.2022639

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

Giá bán: 40.000 đồng

TẠP CHÍ KHÍ TƯỢNG THỦY VĂN
SỐ 767 - 11/2024

MỤC LỤC

Bài báo khoa học

- 1** **Lều Huy Nam, Hoàng Ngọc Hà:** Khả năng thích ứng của hệ tọa độ quốc gia VN-2000 với khung quy chiếu quốc tế ITRF dựa trên bài toán xác định bộ tham số tính chuyển tọa độ
- 10** **Nguyễn Đức Toàn:** Tác động của biến đổi khí hậu đến an ninh phi truyền thống
- 20** **Dương Hồng Sơn, Trần Thùy Nhung, Trần Anh Phương, Nguyễn Anh Đức:** Xây dựng hệ thống hỗ trợ ra quyết định WRI-CosMaDSS phục vụ quản lý tổng hợp vùng bờ: Ứng dụng cho vùng bờ biển Đồng bằng sông Cửu Long
- 32** **Văn Hữu Huệ:** Giải pháp công trình phòng chống xói lở bờ biển Vĩnh Châu, tỉnh Sóc Trăng
- 45** **Nguyễn Đức Toàn, Trần Quang Trung, Nguyễn Thị Vân Anh:** Nghiên cứu, ứng dụng mô hình phân loại chất thải rắn sinh hoạt tại trường học và hộ gia đình phường Vĩnh Trại, thành phố Lạng Sơn
- 56** **Võ Văn Hòa, Dư Đức Tiến, Đặng Đình Quân, Mai Khánh Hưng:** Nghiên cứu ảnh hưởng của số thành phần tổ hợp đến kết quả dự báo quỹ đạo bão trên Biển Đông
- 66** **Trần Thị Anh Thư, Nguyễn Thành Hưng:** Ảnh hưởng của than sinh học từ vỏ trấu kết hợp với rom rạ trong việc giảm tích lũy đồng ở cây cải thìa
- 79** **Phùng Thái Dương:** Ước lượng hàm lượng thủy ngân trong môi trường nước mặt khu vực Đồng bằng sông Cửu Long

Bài báo khoa học

Khả năng thích ứng của hệ tọa độ quốc gia VN-2000 với khung quy chiếu quốc tế ITRF dựa trên bài toán xác định bộ tham số tính chuyển tọa độ

Lều Huy Nam^{1*}, Hoàng Ngọc Hà²

¹ Công ty TNHH MTV Trắc địa Bản đồ/Cục Bản đồ; nam.leuhuy@gmail.com

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

*Tác giả liên hệ: nam.leuhuy@gmail.com; Tel: +84-977991639

Ban biên tập nhận bài: 20/4/2024; Ngày phản biện xong: 27/5/2024; Ngày đăng bài: 25/11/2024

Tóm tắt: Hệ quy chiếu và hệ tọa độ đóng vai trò quan trọng trong hoạt động đảm bảo an ninh - quốc phòng cũng như nhiệm vụ phát triển kinh tế và nghiên cứu khoa học của mỗi quốc gia. Sau hơn 20 năm đưa vào sử dụng, hệ tọa độ quốc gia VN-2000 gặp một số hạn chế trong việc xử lý dữ liệu thời gian thực cũng như quản lý không gian 3D trên nền tảng số khu vực biển đảo và các vùng lân cận. Đồng thời, ellipsoid WGS-84 đã nâng cấp qua nhiều phiên bản nhưng dữ liệu lại không được công bố rộng rãi như dữ liệu do IGS quản lý (hệ tọa độ VN-2000 được thành lập dựa trên cơ sở định vị ellipsoid WGS84 phù hợp với lãnh thổ Việt Nam theo nguyên tắc tổng $\xi^2 = \min$). Vì vậy, giải pháp nghiên cứu các dịch vụ do tổ chức IGS cung cấp để phát triển các mạng lưới GNSS bằng phương pháp xử lý tính toán bình sai kết nối thông qua tham số chuyển đổi tọa độ của mô hình Bursa - Wolf được cho là phù hợp. Nghiên cứu sử dụng dữ liệu do Cục Bản đồ/BTTM cung cấp và phân tích mối quan hệ giữa các thành phần trong bộ tham số tính chuyển dựa trên bài toán bình sai xử lý kết nối trạm CORS, nghiên cứu đã tính toán và so sánh bộ tham số tính chuyển mới so với bộ tham số tính chuyển đã được công bố từ những nghiên cứu trước đó, góp phần bổ sung cơ sở khoa học ứng dụng trạm CORS trong việc nâng cấp hệ tọa độ quốc gia VN-2000 tại Việt Nam.

Từ khóa: ITRF; VN-2000; Tính chuyển tọa độ; 07 tham số; 14 tham số.

1. Đặt vấn đề

Việc lựa chọn ellipsoid quy chiếu WGS-84 thay thế cho ellipsoid quy chiếu Krasovski trong việc xây dựng hệ tọa độ VN-2000 tại thời điểm năm 2000 với lý do quan trọng nhất đó là áp dụng công nghệ định vị vệ tinh, đảm bảo kết nối số liệu trong nước với quốc tế nhằm mục tiêu phát triển lâu dài [1, 2]. Từ những quan điểm đó, sau hơn 20 năm đưa vào sử dụng, hệ tọa độ VN-2000 đã giúp thống nhất số liệu trên toàn lãnh thổ Việt Nam, giúp nâng cao khả năng ứng dụng GNSS vào đo cao hình học, xây dựng bản đồ địa chính cũng như xây dựng mô hình Geoid trên phạm vi cả nước. Tuy nhiên tới thời điểm hiện tại hệ tọa độ VN-2000 được coi là hệ “tĩnh”, hệ quy chiếu WGS-84 đã nâng cấp qua nhiều phiên bản nhưng dữ liệu đo lại không được công bố rộng rãi như dữ liệu do IGS quản lý khiến cho việc tính toán cập nhật hệ tọa độ quốc gia VN-2000 gặp nhiều khó khăn [3, 4]. Vì vậy, việc sử dụng hệ quy chiếu ITRF để nâng cấp hệ tọa độ VN-2000 được cho là phù hợp và thuận lợi hơn so với việc tiếp tục sử dụng các phiên bản của hệ tọa độ WGS-84 để tính toán nâng cấp [5].

Tổ chức IGS được thành lập vào năm 1994 với mục tiêu ban đầu là cung cấp dữ liệu GNSS chính xác để hỗ trợ các nghiên cứu khoa học và các ứng dụng cần độ chính xác cao. Ngày nay, với sự phát triển vượt bậc về khoa học công nghệ GNSS CORS (*Continuously* *Tap chí Khí tượng Thủy văn* **2024**, 767, 1-9; doi:10.36335/VNJHM.2024(767).1-9 <http://tapchikttv.vn/>

Operating Reference Stations), các quốc gia là thành viên của các tổ chức IGS như Mỹ, Canada, Australia, Anh, Đức, Pháp,... đã sử dụng các trạm CORS để xác định 03 góc Euler cũng như để xác định sự chuyển dịch mảng kiến tạo phục vụ thiết lập khung quy chiếu trái đất ITRF/ETRS89. Về ưu điểm, ITRF cung cấp một hệ thống tọa độ đồng nhất toàn cầu và được cập nhật thường xuyên với độ chính xác cao, nhờ vào việc tích hợp dữ liệu từ nhiều nguồn đo khác nhau, bao gồm GNSS, VLBI (*Very Long Baseline Interferometry*), SLR (*Satellite Laser Ranging*) và DORIS (*Doppler Orbitography and Radiopositioning Integrated by Satellite*) [6, 7].

Đối với các quốc gia có Hệ quy chiếu hệ tọa độ không tương thích với ITRF/ETRS89 mà chỉ được xác định mối liên kết thông qua 07 tham số chuyển đổi tọa độ của mô hình Bursa - Wolf, khi xây dựng được hệ thống trạm CORS mà chưa tham gia xử lý chung cùng hệ thống mạng lưới IGS để xây dựng khung quy chiếu ITRF/ETRS89 thì có thể sử dụng các dịch vụ do tổ chức IGS cung cấp để phát triển các mạng lưới GNSS tại quốc gia đó với độ chính xác cao và đồng nhất bằng phương pháp xử lý tính toán bình sai kết nối là giải pháp phù hợp [3, 16]. Tuy nhiên, các mảng kiến tạo của lớp vỏ trái đất là “động” và dịch chuyển theo thời gian [8, 9], đồng nghĩa với việc tâm trái đất luôn trong trạng thái dịch chuyển vì vậy việc tính toán xử lý tọa độ trên bề mặt trái đất cần quan tâm đến vận tốc và tọa độ của các trạm đo tại một thời điểm cụ thể cho mỗi lần tính toán xây dựng khung tham chiếu [10, 11].

Cục Đo đạc Bản đồ và thông tin địa lý Việt Nam đã sử dụng 164 điểm GPS/TC được đo đạc trong giai đoạn 2009-2010 làm số liệu tính toán bộ tham số chuyển đổi từ hệ quy chiếu quốc tế ITRF về hệ quy chiếu tọa độ quốc gia VN-2000 trong nhiệm vụ xây dựng hệ quy chiếu hệ tọa độ không gian quốc gia khởi đầu VN-2000 3D [3].

Nghiên cứu [12] xác định bộ tham số tính chuyển dựa trên 10 điểm GNSS thuộc dự án nghiên cứu về địa động học khu vực Châu Á - Thái Bình Dương từ năm 2013 đến 2016 (đo theo chu kỳ hàng năm với 7 ngày liên tục) và 11 điểm thuộc lưới GNSS biên (đo trong 7 ngày năm 2016), tuy nhiên mỗi mạng lưới lại sử dụng các khung tham chiếu khác nhau do tính toán tại các thời điểm khác nhau. Bài toán tính chuyển tọa độ giữa VN-2000 và ITRF bao gồm nhiều bước tính toán như: xác định phiên bản ITRF sử dụng, thời điểm bộ tham số gốc được cấp, thời điểm xác định giá trị tọa độ, tính tọa độ ở các khung quy chiếu khác nhau về một thời điểm quy ước, tính tọa độ và vận tốc ở các khung quy chiếu khác nhau về cùng một khung quy chiếu quy ước,....

Năm 2019, hệ thống mạng lưới 65 trạm định vị vệ tinh GNSS CORS (VNGEONET) do Bộ Tài nguyên và Môi trường quản lý đã chính thức đi vào hoạt động. Trong giai đoạn tiếp theo, mạng lưới VNGEONET sẽ triển khai kế hoạch kết nối 02 trạm CORS vào mạng lưới IGS nhằm mục đích thuận lợi cho việc tính toán bình sai kết nối cũng như xây dựng hệ tọa độ không gian 3D [13–15].

Nghiên cứu [17] đã trình bày giải pháp xử lý tính toán 17 điểm thuộc hệ thống VNGEONET bằng phần mềm Gamit/Blobk nhằm mục đích đánh giá sự chuyển dịch của các bề mặt trái đất trên lãnh thổ Việt Nam theo chuỗi thời gian từ ngày 26/8/2019 đến 18/3/2022. Bài báo cũng đã kết luận việc sử dụng chuỗi thời gian đo liên tục và dài hơn có thể cải thiện độ chính xác xác định từng thành phần chuyển dịch.

Các nghiên cứu trên tập chung vào tính toán và phân tích dữ liệu GNSS phục vụ kết nối giữa khung quy chiếu quốc tế ITRF và hệ tọa độ VN-2000, tuy nhiên vấn đề tìm hiểu và áp dụng các phương pháp phân tích xây dựng mô hình dự báo về các chuyển dịch cũng như loại trừ sai số ngẫu nhiên chưa được thực nghiệm, vì vậy bài báo sẽ thực nghiệm tính toán và phân tích các thành phần trong bộ tham số tính chuyển.

2. Dữ liệu và phương pháp nghiên cứu

2.1. Dữ liệu thực nghiệm

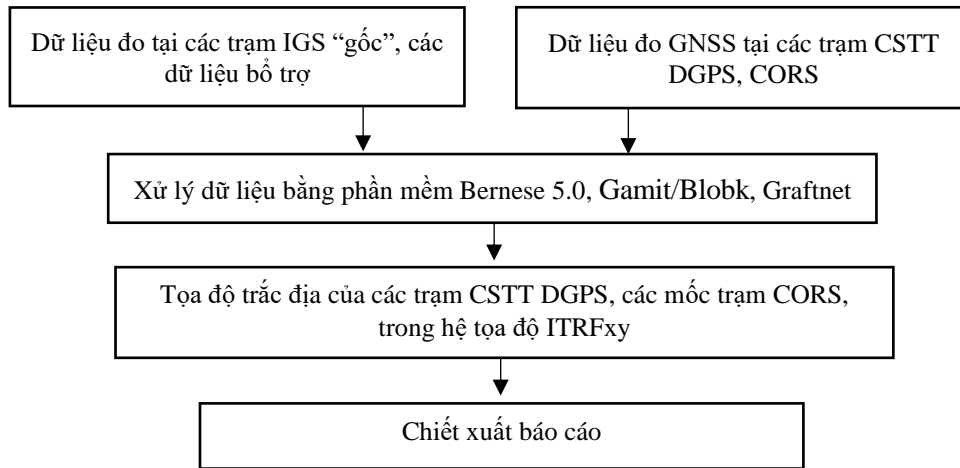
Sử dụng 14 điểm trạm CORS do Cục Bản đồ/BTTM quản lý làm dữ liệu phục vụ xây dựng tính toán bộ tham số tính chuyển. Công tác xử lý tính toán được thực hiện trong Hệ tọa

độ quốc tế ITRF2014 với ellipsoid tham chiếu WGS-84 và thời điểm tham chiếu 12h00 từ ngày 30/4/2017 (Giờ GMT) tới ngày 7/5/2017 (chu kỳ 1). Dữ liệu đầu vào bao gồm:

- Dữ liệu đo liên tục trong 01 tuần (từ 30/04 đến 07/05/2017) tại: 01 trạm XLTT, 06 mốc đặt tại 06 trạm CSTT DGPS và 7 trạm CORS.

- Dữ liệu đo tại các trạm IGS: IISC, SGOC, JOG2, NTUS-01, CUSV, PIMO, HKSL, JFNG, LHAZ.

- Các dữ liệu bổ trợ theo yêu cầu của phần mềm Bernese 5.0 do Dịch vụ quốc tế về Định vị vệ tinh IGS và Trung tâm xác định quỹ đạo Châu Âu (CODE - *Centre for Orbit Determination in Europe*) cung cấp: Lịch vệ tinh chính xác, tham số định hướng Trái đất, mô hình tầng điện ly toàn cầu, hiệu thế mã P1C1 (DCB - *Differential code biases*); tọa độ và vận tốc dịch chuyển của các điểm IGS [18–25].



Hình 1. Sơ đồ quy trình tính toán dữ liệu trên hệ tọa độ ITRF và VN-2000.

Dữ liệu sẽ được chuẩn hóa theo định dạng của phần mềm tương ứng và xử lý trị đo code và trị đo phân sai đơn. Sau khi hoàn thành bước tiền xử lý, tiến hành xử lý dữ liệu phân sai bậc 2 và tạo các file hệ phương trình chuẩn cho từng ngày đo. Khi kết quả các vòng lặp đảm bảo tiêu chí độ chính xác theo yêu cầu, tiến hành ghép nối dữ liệu từng ngày đo và giải hệ phương trình chuẩn xác định tọa độ của các trạm đo.

2.2. Giải pháp thực tiễn tính chuyển giữa ITRF và VN-2000

Việc tính chuyển các kết quả đo GNSS trong khung quy chiếu ITRF_{yy} về Hệ tọa độ VN-2000 có thể sử dụng các mô hình tính chuyển khác nhau. Theo Bursa-Wolf:

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} T_x \\ T_y \\ T_z \end{bmatrix} + (1 + s)R_Z(\omega_Z)R_Y(\omega_Y)R_X(\omega_X) \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$\text{Trong đó: } R_X(\omega_X) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \omega_X & \sin \omega_X \\ 0 & -\sin \omega_X & \cos \omega_X \end{bmatrix}; R_Y(\omega_Y) = \begin{bmatrix} \cos \omega_Y & 0 & -\sin \omega_Y \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin \omega_Y & 0 & \cos \omega_Y \end{bmatrix}$$

$$R_Z(\omega_Z) = \begin{bmatrix} \cos \omega_Z & \sin \omega_Z & 0 \\ -\sin \omega_Z & \cos \omega_Z & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Tuy nhiên, khi xác định tham số tính chuyển giữa tọa độ mạng lưới GNSS ITRF về hệ tọa độ VN-2000 ta cần tính đến vận tốc chuyển dịch mảng kiến tạo. Vì vậy công thức tính chuyển 7 tham số theo Bursa-Wolf (1) sẽ không còn phù hợp mà phải chuyển đổi thành 14 tham số (2):

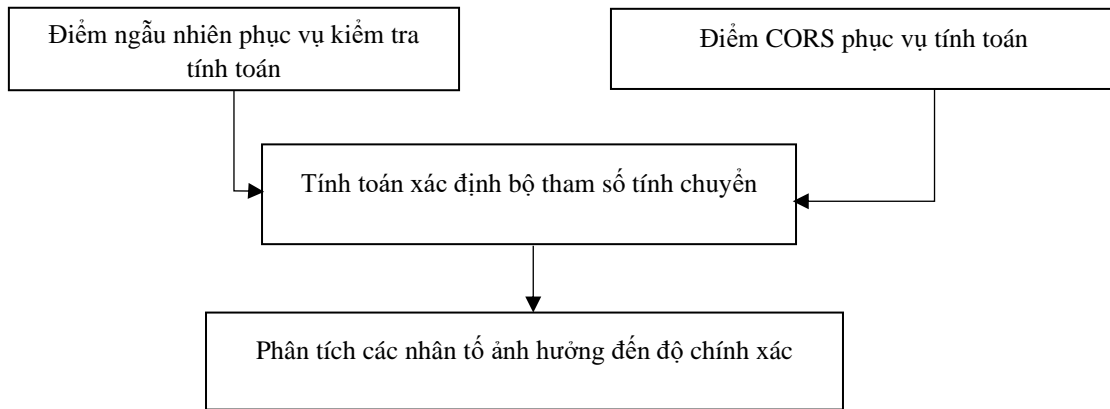
$$\begin{bmatrix} x(t) \\ y(t) \\ z(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} T_x(t) \\ T_y(t) \\ T_z(t) \end{bmatrix} + (1 + s(t))R_Z(\omega_Z(t))R_Y(\omega_Y(t))R_X(\omega_X(t)) \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} \quad (2)$$

Trong đó:
$$\begin{bmatrix} T_x(t) \\ T_y(t) \\ T_z(t) \\ s(t) \\ \omega_x(t) \\ \omega_y(t) \\ \omega_z(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} T_x(t_0) + (t - t_0)\dot{T}_x \\ T_y(t_0) + (t - t_0)\dot{T}_y \\ T_z(t_0) + (t - t_0)\dot{T}_z \\ s(t_0) + (t - t_0)\dot{s} \\ \omega_x(t_0) + (t - t_0)\dot{\omega}_x \\ \omega_y(t_0) + (t - t_0)\dot{\omega}_y \\ \omega_z(t_0) + (t - t_0)\dot{\omega}_z \end{bmatrix}$$
 và

$$R_{ZYX}(t) = \begin{bmatrix} \cos \omega_Y \cos \omega_Z & \cos \omega_Z \sin \omega_X \sin \omega_Y + \cos \omega_X \sin \omega_Z & -\cos \omega_X \cos \omega_Z \sin \omega_Y + \sin \omega_X \sin \omega_Z \\ -\cos \omega_Y \sin \omega_Z & \cos \omega_X \cos \omega_Z - \sin \omega_X \sin \omega_Y \sin \omega_Z & \cos \omega_Z \sin \omega_X + \cos \omega_X \sin \omega_Y \sin \omega_Z \\ \sin \omega_Y & -\cos \omega_Y \sin \omega_X & \cos \omega_X \cos \omega_Y \end{bmatrix}$$

3. Kết quả và thảo luận

Dựa trên kết quả tính toán tại mục 2.1, áp dụng công thức (1) và (2) tính toán giá trị 7 tham số và 14 tham số tính chuyển theo nguyên lý số bình phương nhỏ nhất. Đồng thời sử dụng nền tảng ngôn ngữ Python để xây dựng công cụ tính toán thử nghiệm bộ tham số với tiêu chí cơ bản đó là tạo các dữ liệu mẫu phục vụ tính toán và phân tích các yếu tố thành phần chính ảnh hưởng tới kết quả tính toán bộ tham số. Đây là tiền đề cơ sở để phân tích đánh giá xây dựng mô hình dự báo và phương pháp kiểm soát độ chính xác của bộ tham số tính chuyển theo thời gian. Sơ đồ đánh giá như sau:



Hình 2. Quy trình thử nghiệm bộ tham số tính chuyển.

3.1. Xác định tham số tính chuyển dựa trên điểm ngẫu nhiên

Sử dụng giải pháp xây dựng dữ liệu giả lập nhằm đánh giá và kiểm soát các nguồn sai số khi xây dựng bộ tham số tính chuyển. Đây cũng là giải pháp kiểm chứng độ chính xác cũng như nâng cao trị tin cậy trong các nhiệm vụ không có đầy đủ các dữ liệu phục vụ phân tích thống kê.

Bộ giá trị tham chiếu thuật toán như sau:

$$\Delta X = 191,90441429 \text{ (m)}, \Delta Y = 39,30318279 \text{ (m)}, \Delta Z = 111,45032835 \text{ (m)}$$

$$\omega X = 0,00928836 \text{ (")}, \omega Y = -0,01975479 \text{ (")}, \omega Z = 0,00427372 \text{ (")}$$

$$d = 1,000000252906278 \text{ (ppm)}$$

Bảng 2. Giá trị bộ tham số tính toán dựa trên số lượng điểm ngẫu nhiên.

| TT | Số điểm | Độ nhiễu | ΔX (m) | ΔY (m) | ΔZ (m) | ωX (") | ωY (") | ωZ (") | d (ppm) |
|----|---------|----------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------|
| 1 | 5 | 0,5 | 194,02502 | 37,77227 | 110,69173 | 1,52083 | -0,04731 | 0,21206 | -1,01224 |
| 2 | | 1 | 196,14562 | 36,24137 | 109,93312 | 2,04165 | -0,08453 | 0,36450 | -1,68063 |
| 3 | | 1,5 | 198,26622 | 34,71046 | 109,17452 | 2,56248 | -0,11087 | 0,47236 | -2,15359 |
| 4 | | 2 | 198,26622 | 34,71046 | 109,17452 | 2,56248 | -0,11087 | 0,47236 | -2,15359 |
| 5 | | 0,5 | 193,05139 | 39,19390 | 111,96194 | 0,52032 | 0,17661 | 0,26323 | -0,63932 |
| 6 | 7 | 1 | 194,19835 | 39,08461 | 112,47355 | 0,04065 | 0,49818 | 0,80708 | -1,87624 |
| 7 | | 1,5 | 195,34533 | 38,97532 | 112,98516 | -0,43903 | 1,36971 | 2,28102 | -5,22851 |
| 8 | | 2 | 195,34533 | 38,97532 | 112,98516 | -0,43903 | 1,36971 | 2,28102 | -5,22851 |

| TT | Số điểm | Độ nhiều | ΔX (m) | ΔY (m) | ΔZ (m) | ωX (") | ωY (") | ωZ (") | d (ppm) |
|----|---------|----------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------|
| 9 | | 0,5 | 191,72408 | 38,81427 | 111,16899 | 1,31103 | 0,01301 | -0,10158 | -0,08930 |
| 10 | 14 | 1 | 191,54374 | 38,32537 | 110,88766 | 1,62206 | 0,01586 | -0,16399 | -0,16067 |
| 11 | | 1,5 | 191,36341 | 37,83646 | 110,60632 | 1,93310 | 0,01810 | -0,21316 | -0,21691 |
| 12 | | 2 | 191,36341 | 37,83646 | 110,60632 | 1,93310 | 0,01810 | -0,21316 | -0,21691 |
| 13 | | 0,5 | 191,93257 | 39,26048 | 112,11891 | 0,60467 | 0,31942 | -0,06364 | -0,05130 |
| 14 | 20 | 1 | 191,93257 | 39,26048 | 112,11891 | 0,60467 | 0,31942 | -0,06364 | -0,05130 |
| 15 | | 1,5 | 191,96072 | 39,21777 | 112,78750 | 0,20935 | 0,83231 | -0,13622 | -0,14321 |
| 16 | | 2 | 191,98887 | 39,17506 | 113,45608 | -0,18598 | 1,84338 | -0,27929 | -0,32439 |

Kết quả tại bảng 2 cho thấy số lượng điểm đo rất quan trọng trong việc nâng cao độ chính xác cũng như trị tin cậy của dữ liệu tính toán. Tuy nhiên, thời điểm hiện tại việc xây dựng và vận hành điểm CORS đáp ứng theo tiêu chí yêu cầu của tổ chức IGS [20–22] (khu vực địa chất ổn định, đồng bộ thiết bị thu và antena chất lượng cao, kết nối và bảo mật dữ liệu, ...) còn nhiều hạn chế, chính vì vậy việc nâng cao độ chính xác tọa độ tính toán và duy trì số lượng điểm ở mức tối thiểu của các điểm trạm CORS đóng vai trò là khung lưới tọa độ quốc gia là nhiệm vụ tối ưu nhất.

$$f_{\text{chính xác}} + f_{\text{độ tin cậy}} + f_{\text{chỉ phí}}^{-1} = \max$$

Phương pháp kiểm tra đánh giá này sẽ hỗ trợ việc đánh giá xác định tiêu chí xây dựng hệ tọa độ dựa trên độ chính xác tọa độ điểm CORS đã có. Đồng thời việc tính toán xác định các sai số tiêu chuẩn hoặc các mô hình nội suy hồi quy tuyến tính giúp phát hiện và loại bỏ được những điểm sai số thô, giúp đảm bảo độ chính xác theo mục đích của từng nhiệm vụ đặc thù.

3.2. Xác định tham số khi sử dụng điểm trạm CORS

Sử dụng điểm trạm CORS để tính toán xây dựng bộ tham số tính chuyển nhằm mục đích so sánh với các kết quả nghiên cứu đã được công bố tại Việt Nam. Độ lệch chuẩn của trọng số đơn vị $S_0 = 1,06184752$ m.

Bảng 3. Giá trị bộ tham số tính toán từ điểm trạm CORS.

| TT | Tham số | Giá trị | Đơn vị |
|----|-----------------|-----------------|--------|
| 1 | ΔX | 200,430146 | m |
| 2 | ΔY | 37,619010 | m |
| 3 | ΔZ | 118,817630 | m |
| 4 | ωX | 0,248591160175 | ["] |
| 5 | ωY | 0,109019952415 | ["] |
| 6 | ωZ | -0,229255646386 | ["] |
| 7 | Hệ số biến dạng | 0,143193561250 | [ppm] |

So sánh với kết quả của Viện Khoa học Đo đạc bản đồ năm 2017 và 7 tham số VN-2000 công bố năm 2000 được trình bày trong bảng 4.

Bảng 4. Giá trị tham số so sánh.

| TT | Tham số | Giá trị công bố năm 2000 | Giá trị do Viện Khoa học Đo đạc Bản đồ tính toán năm 2017 | Đơn vị |
|----|-----------------|--------------------------|---|--------|
| 1 | ΔX | 191,90441429 | 204,511083 | m |
| 2 | ΔY | 39,30318279 | 42,192468 | m |
| 3 | ΔZ | 111,45032835 | 111,417880 | m |
| 4 | ωX | -0,00928836 | -0,011168229 | ["] |
| 5 | ωY | 0,01975479 | 0,085600577 | ["] |
| 6 | ωZ | 0,00427372 | 0,400462723 | ["] |
| 7 | Hệ số biến dạng | 1,000000252906278 | 0,00000 | [ppm] |

Kết quả tính toán so sánh giữa bảng 3 và bảng 4 cho thấy sai số dịch chuyển lớn của hệ tọa độ VN-2000, khi sử dụng hệ thống tọa độ điểm gốc địa chính cơ sở hoặc các điểm lưới GNSS xây dựng tính toán theo 7 tham số tính chuyển do Bộ Tài nguyên và Môi trường cung

cấp sẽ không còn phù hợp để tính toán kết nối dữ liệu chuyển đổi với hệ tọa độ quốc tế tính đến thời điểm hiện tại [3, 10, 11].

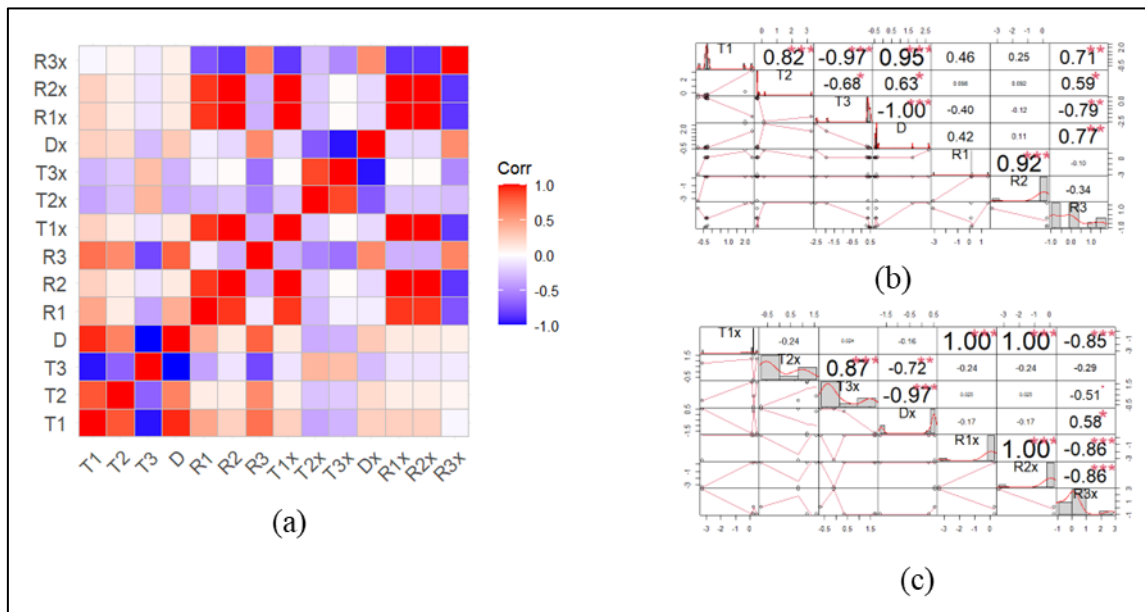
3.3. Xác định các tham số tính chuyển giữa tọa độ mạng lưới GNSS quốc tế (hệ quy chiếu ITRS) với Hệ quy chiếu VN-2000 có tính đến vận tốc chuyển dịch kiến tạo của các điểm trạm CORS

Bảng 5 là kết quả tính toán dữ liệu trên 2 chu kỳ từ năm 2017 đến 2019, tính toán 7 tham số tính chuyển tọa độ và 7 tham số vận tốc dịch chuyển tương ứng (giữa các khung quy chiếu ITRF có sự tính toán cập nhật và dịch chuyển theo từng thời điểm). Khi so sánh với [12] nhận thấy độ chính xác trạm tọa độ điểm trạm CORS cũng như phương pháp tính toán tốc độ dịch chuyển tham số dựa trên chuỗi thời gian thu nhận dữ liệu là rất quan trọng [16, 17]. Trong bài báo này tác giả sẽ tập trung phân tích vào sự ảnh hưởng của các thành phần chính trong bộ tham số tính chuyển. Sử dụng phương pháp phân tích dữ liệu thành phần chính PCA (Principal Component Analysis) để xác định mối quan hệ tuyến tính của kết quả tính toán trong bảng 5.

Bảng 5. Kết quả tính toán 14 tham số tính chuyển từ VN-2000 sang ITRF.

| Khung ITRFx | Khung ITRFy | T1 (mm) | T2 (mm) | T3 (mm) | D (10 - 9) | R1 (mas) | R2 (mas) | R3 (mas) | Thời điểm |
|-------------|-------------|-----------|-----------|-----------|--------------|------------|-----------|-----------|-----------|
| | | T1'(mm/n) | T2'(mm/n) | T3'(mm/n) | D' (10- 9/n) | R1' (mm/n) | R2'(mm/n) | R3'(mm/n) | |
| VN2000 | ITRF2014 | -213,5654 | -50,6880 | -115,2550 | -6,3900 | -6,9808 | 20,1801 | 37,4656 | 2017 |
| | | 0,0790 | 0,0360 | -0,0188 | -0,1600 | 0,8500 | -1,3300 | 3,5200 | |
| VN2000 | ITRF2008 | -213,5670 | -50,6899 | -115,2574 | -6,3900 | -6,9808 | 20,1801 | 37,4656 | 2017 |
| | | 0,0790 | 0,0360 | -0,0189 | -0,1600 | 0,8500 | -1,3300 | 3,5200 | |
| VN2000 | ITRF2005 | -213,5695 | -50,6890 | -115,2527 | -7,3600 | -6,9808 | 20,1801 | 37,4656 | 2017 |
| | | 0,0793 | 0,0360 | -0,0189 | -0,1600 | 0,8500 | -1,3300 | 3,5200 | |
| VN2000 | ITRF2000 | -213,5666 | -50,6897 | -115,2199 | -8,9600 | -6,9808 | 20,1801 | 37,4656 | 2017 |
| | | 0,0791 | 0,0361 | -0,0207 | -0,0800 | 0,8500 | -1,3300 | 3,5200 | |

Thuật toán PCA về ý nghĩa là bài toán giảm chiều dữ liệu, mục đích tìm một hệ số không gian mới và tối đa hóa phương sai dữ liệu của không gian mới đó. Sau đó lựa chọn ra n chiều có phương sai lớn nhất giúp thuận lợi cho việc đánh giá phân tích tương quan của dữ liệu.



Hình 3. Mối quan hệ tương quan giữa 14 tham số tính chuyển.

Dựa vào ma trận hệ số tương quan trong hình 3a Màu đỏ (giá trị 1) là thể hiện sự tương quan mạnh giá trị các tham số tỉ lệ thuận với nhau. Màu xanh (-1) là thể hiện giá trị các tham

số tỉ lệ nghịch với nhau, màu trắng giá trị bằng 0 là các tham số không có mối quan hệ tuyến tính với nhau. Đồng thời dựa vào giá trị hệ số tương quan tại hình 3b, 3c ta có thể kết luận: hệ số biến dạng tỷ lệ (tương ứng d) có mối quan hệ tương quan chặt chẽ với sự chuyển dịch của các trục tọa độ X, Y, và không có sự ảnh hưởng nhiều tới sự thay đổi của trục Z. Chính vì vậy, khi tính chuyển và cập nhật dữ liệu tọa độ cũng như bản đồ số, cần quan tâm đến yếu tố chuyển dịch ngang của địa hình, đồng thời cần đánh giá và kiểm soát chất lượng mô hình số độ cao áp dụng trong tính toán dữ liệu nhằm kiểm soát nguồn sai số do sử dụng các mô hình khác nhau trong tính toán cập nhật dữ liệu [16].

4. Kết luận

Việc xây dựng Hệ quy chiếu hệ tọa độ mới là bài toán phức tạp và cần nhiều thời gian trong việc nâng cấp đồng bộ về cơ sở hạ tầng cũng như các giải pháp thực nghiệm tính toán tối ưu, vì vậy trong giai đoạn hiện nay giải pháp nâng cấp hệ tọa độ quốc gia VN-2000 dựa trên bài toán xác định bộ tham số tính chuyển là phù hợp nhất. Bài báo đã so sánh đánh giá được sự thay đổi của số lượng điểm tham gia tính xây dựng bộ tham số tính chuyển cũng như sai số vị trí điểm ảnh hưởng đến bộ tham số. Đây là tiền đề để đánh giá phân tích xây dựng bộ tham số tính chuyển dựa trên các hàm dự báo của mô hình tính chuyển theo phương pháp hồi quy tuyến tính. Đồng thời có thể kiểm soát và loại trừ các sai số thô trong công tác tính toán bình sai.

Trong trường hợp đánh giá về tốc độ chuyển dịch của mảng kiến tạo, dữ liệu sử dụng cần phải được đo liên tục theo chuỗi thời gian tính theo tháng và năm. Đồng thời mật độ điểm trạm CORS sẽ phải tăng lên nhằm đảm bảo tính đồng nhất tại các khu vực có chuyển tiếp địa hình lớn. Vì vậy, ta có thể cân nhắc sử dụng bổ sung ứng dụng ảnh viễn thám InSAR và LiDAR trong việc hỗ trợ quan trắc chi tiết biến dạng lớp vỏ bề mặt trái đất. Khi đó, dữ liệu tọa độ của ảnh viễn thám sẽ được tính toán dựa trên tọa độ của các trạm CORS.

Vì vậy, cơ sở lý thuyết và thực nghiệm này có ý nghĩa thực tiễn trong nghiên cứu hợp tác quốc tế cũng như các dự án nghiên cứu địa động học, quản lý tài nguyên thiên nhiên và các ứng dụng liên quan đến mạng lưới GNSS CORS tại Việt Nam.

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

Lời cảm ơn: Được sự hướng dẫn và chỉ bảo của GS. TSKH Hoàng Ngọc Hà, tác giả đã lên ý tưởng và tiến hành nghiên cứu thực nghiệm nội dung tích chuyên và đánh giá khả năng thích ứng của hệ tọa độ VN-2000 với khung quy chiếu quốc tế ITRF.

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. Báo cáo khoa học: Xây dựng hệ quy chiếu và hệ thống điểm tọa độ quốc gia. Tổng cục Địa chính, 2000.
2. Giang, T.B. Giới thiệu hệ quy chiếu và hệ tọa độ quốc gia Việt Nam. Cục Đo đạc và bản đồ Việt Nam, 2003.
3. Thạch, L.T. Nghiên cứu phương pháp xây dựng và phát triển hệ quy chiếu tọa độ không gian quốc gia. Luận án tiến sĩ kỹ thuật, Viện khoa học đo đạc và bản đồ, 2018.
4. Department of Defense World Geodetic System 1984. Its definition and relationships with local geodetic systems. National Geospatial-Intelligence Agency (NGA) standardization document, 2014.
5. Nam, L.H.; Hà, H.N.; Sơn, N.C. Cơ sở lý thuyết nâng cấp hệ quy chiếu hệ tọa độ quốc gia VN-2000 thích ứng với khung quy chiếu quốc tế ITRF. *Tạp chí Khoa học đo đạc và Bản đồ* **2024**, 60, 100–108.

6. Ferland, R.; Piraszewski, M. The IGS combined station coordinates, earth rotation parameters and apparent geocenter. *J. Geod.* **2009**, 83, 385–392.
7. Altamimi, Z.; Métivier, L.; Rebischung, P.; Rouby, H.; Collilieux, X. ITRF2014 plate motion model. *Geophys. J. Int.* **2017**, 209, 1906–1012.
8. Hải, V.Q. Xử lý số liệu hỗn hợp GPS/GLONASS phục vụ nghiên cứu địa động lực hiện đại. Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam, 2014.
9. Hải, V.Q.; Cường, T.Q.; Thuận, N.V. Về chuyển dịch vỏ Trái đất dọc đới đứt gãy sông Hồng từ số liệu GNSS. *Tạp chí các khoa học về trái đất* **2016**, 38(1), 14–21.
10. Tinh, B.Y. Development and research of a method for improving the accuracy of the geodetic coordinate base of the Socialist Republic of Vietnam. PhD in Technical Sciences, 2005.
11. Dong, N.V. Development and research of methods to improve the accuracy of coordinate determinations in the Socialist Republic of Vietnam. PhD in Technical Sciences, 2011.
12. Hoa, P.T.; Quang, N.V.; Huynh, P.T.; Thu, T.T.H.; Khánh, Đ.V.; Thảo, N.T.P.; Hương, P.T.H.; Bình, N.V. Xây dựng phần mềm phục vụ tính chuyển tọa độ giữa hệ quy chiếu VN2000 với khung quy chiếu trái đất quốc tế (ITRF). *Tạp chí Khoa học Kỹ thuật Mỏ - Địa chất* **2019**, 60, 100–108.
13. Dự án “Hoàn chỉnh Hệ quy chiếu và Hệ tọa độ quốc gia Việt Nam”. Cục Đo đạc và Bản đồ Việt Nam - Bộ Tài nguyên và Môi trường, 2012.
14. Hà, H.N. Bình sai hỗn hợp lưới mặt đất và GNSS phục vụ phát triển hệ thống tọa độ ở Việt Nam. Hội nghị khoa học quốc gia về công nghệ địa không gian trong khoa học trái đất và môi trường, 2021.
15. Thắm, B.T.H. Nghiên cứu cơ sở lý thuyết cho việc hiện đại hóa lưới không chế trắc địa quốc gia ở Việt Nam bằng hệ thống vệ tinh dẫn đường toàn cầu GNSS. Luận án tiến sĩ kỹ thuật, Trường Đại học Mỏ Địa chất, 2014.
16. Hà, H.N.; Nam, L.H. Nghiên cứu thuật toán bình sai hỗn hợp lưới mặt bằng và GNSS có điểm trạm CORS. *Tạp chí Khoa học đo đạc và Bản đồ* **2021**, 48, 23–28.
17. Trọng, N.G.; Nghĩa, N.V.; Khải, P.C.; Thành, N.H.; Hà, L.L.; Dũng, V.T.; Quân, N.V.; Quang, P.Q. Xác định chuyển dịch trên phạm vi lãnh thổ Việt Nam dựa vào dữ liệu của các trạm CORS thuộc mạng lưới VNGEONET. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* **2022**, 739, 59–66.
18. Soler, T.; Snay, R.A.; Foote, R.H.; Cline, M.W. Maintaining accurate coordinates for the National CORS network, FIG, 2003.
19. Wiley, B. International Committee on GNSS. National Geospatial-Intelligence Agency (USA), 2009.
20. Altamimi, Z.; Rebischung, P.; Métivier, L.; Collilieux, X. ITRF2014: A new release of the International Terrestrial Reference Frame modeling nonlinear station motions. *J. Geophys. Res. Solid Earth* **2016**, 121, 6109–6131.
21. Moreaux, G.; Stepanek, P.; Capdeville, H.; Lemoine, F.G.; Otten, M. The DORIS contribution to ITRF2020. Technical Report, 2022.
22. Nothnagel, A.; Artz, T.; Behrend, D.; Malkin, Z. International VLBI service for geodesy and astrometry. *J. Geodesy* **2017**, 91, 711–721.
23. Abbondanza, C.; Chin, T.M.; Gross, R.S.; Heflin, M.B.; Parker, J.W.; Soja, B.S.; van Dam, T.; Wu, X. ITRF2014, the JPL Kalman filter and smoother realization of the International Terrestrial Reference System. *J. Geophys. Res. Solid Earth* **2017**, 122(10), 8474–8510.
24. Qiong, W.; Guodong, Y. Geoid refinement of Songyuan irrigation area based on EGM2008 and GPS. Scientific research project of Jilin University, 2011.
25. Khameneh, M.A.A. Optimal design in geodetic GNSS-based networks. Doctoral Thesis in Geodesy, KTH Royal Institute of Technology, 2017.

Evaluating the adaptability of the VN-2000 national coordinate system with the international reference frame ITRF based on determining transformation parameters

Leu Huy Nam^{1*}, Hoang Ngoc Ha²

¹ Survey and Aerial Mapping One Member Limited Liability Company;
nam.leuhuy@gmail.com

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

Abstract: The coordinate reference system plays an important role in the economic development and scientific research of each country. After more than 20 years of development, the VN-2000 national coordinate system has some disadvantages in real-time data processing as well as 3D space management. At the same time, the WGS-84 ellipsoid has been upgraded through many versions, but the data is not as widely published as the data managed by IGS. Therefore, the solution to research the services provided by the IGS organization to develop GNSS networks by processing connection calculations through parameter transformation of the Bursa - Wolf model is appropriate. The article uses data provided by the Defense Mapping Agency and analyzes the relationship between the components in the parameter transformation set, contributing to supplementing the scientific basis for CORS station application in upgrading the national coordinate system in Vietnam.

Keywords: ITRF; VN-2000; Transformation parameter; 07 parameters; 14 parameters.

Bài báo khoa học

Tác động của biến đổi khí hậu đến an ninh phi truyền thống

Nguyễn Đức Toàn^{1*}

¹ Cục Biển và Hải đảo Việt Nam; toantnmt@gmail.com

*Tác giả liên hệ: toantnmt@gmail.com; Tel.: +84-979716466

Ban Biên tập nhận bài: 21/4/2024; Ngày phản biện xong: 27/5/2024; Ngày đăng bài: 25/11/2024

Tóm tắt: Biến đổi khí hậu (BĐKH) là một trong những đe dọa nghiêm trọng đến an ninh phi truyền thống (ANPTT). BĐKH có các tác động đến nhiều chiều cạnh khác nhau của ANPTT. Nghiên cứu này đã tổng hợp và xử lý các số liệu, tài liệu về tác động của BĐKH đến một số chiều cạnh của ANPTT. Trên cơ sở đó đã phân tích các nguy cơ, thách thức và đe dọa của BĐKH đến một số chiều cạnh chính của an ninh phi truyền thống gồm: An ninh khí hậu, an ninh lương thực, an ninh năng lượng và an ninh nguồn nước. Các kết quả phân tích cho thấy thực hiện các giải pháp ứng phó BĐKH để đảm bảo ANPTT chính là bảo vệ an ninh quốc gia, an toàn của đất nước, xã hội, cộng đồng, doanh nghiệp và con người và phát triển bền vững (PTBV).

Từ khóa: An ninh phi truyền thống; Biến đổi khí hậu; Phát triển bền vững.

1. Mở đầu

Hiện nay, thế giới luôn đứng trước bối cảnh phức tạp đe dọa về quân sự, an ninh truyền thống và các yếu tố mới đe dọa đến ANPTT và PTBV [1–3]. ANPTT được hiểu là việc bảo đảm an toàn, không có hiểm nguy cho cá nhân con người, quốc gia, dân tộc và toàn nhân loại trước các mối đe dọa có nguồn gốc phi quân sự như BĐKH, ô nhiễm môi trường, khan hiếm nguồn lực, dịch bệnh, khủng hoảng tài chính, an ninh mạng, tội phạm nguy hiểm xuyên biên giới, chủ nghĩa khủng bố [4]. Trong đó, BĐKH là một trong những nguyên nhân đe dọa đến an ninh toàn cầu và sự tồn tại của văn minh nhân loại trong tương lai, là nguy cơ tiềm ẩn đe dọa sự ổn định và phát triển các quốc gia. Các lĩnh vực có mức độ rủi ro cao trước BĐKH là nông nghiệp và an ninh lương thực, các hệ sinh thái tự nhiên, đa dạng sinh học, tài nguyên nước, sức khỏe cộng đồng, nơi cư trú và hạ tầng kỹ thuật do đây là những ngành, lĩnh vực có mức độ phơi bày và độ nhạy cao với thiên tai và các hiện tượng khí hậu cực đoan [5]. Vì vậy, nghiên cứu tác động của BĐKH đến ANPTT sẽ cung cấp các cơ sở lý luận và thực tiễn để thực hiện các giải pháp quản trị an ninh phi truyền thống, góp phần thực hiện các giải pháp thúc đẩy PTBV, an toàn, bảo vệ an ninh quốc gia trong bối cảnh biến đổi toàn cầu.

Mục tiêu của nghiên cứu này là phân tích các tác động của BĐKH đến một số vấn đề của ANPTT gồm: An ninh khí hậu, an ninh lương thực, an ninh năng lượng, an ninh nguồn nước. Các kết quả của bài báo sẽ góp phần cung cấp cơ sở khoa học và thực tiễn để thực hiện tăng cường an ninh quốc gia, PTBV, thịnh vượng và an toàn của đất nước, xã hội, cộng đồng, doanh nghiệp và con người.

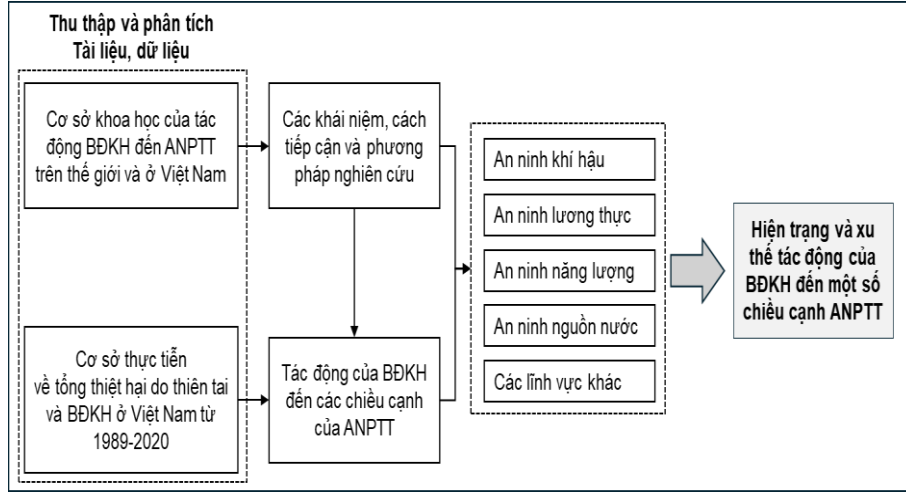
2. Phương pháp nghiên cứu

2.1. Tài liệu, số liệu sử dụng

Bài báo đã tiến hành thu thập các tài liệu về chủ đề an ninh khí hậu, an ninh lương thực, an ninh năng lượng, an ninh nguồn nước đã công bố trên thế giới và ở Việt Nam. Trên cơ sở

phân tích các tài liệu, một số khái niệm liên quan đến ANPTT đã được phân tích và vận dụng phù hợp với điều kiện của Việt Nam (Hình 1).

Các số liệu về tổng thiệt hại kinh tế, số người chết, thiệt hại về diện tích lúa và cơ sở hạ tầng trong giai đoạn từ 1989-2020 do các loại hình thiên tai gây ra được thu thập từ cơ sở dữ liệu của Tổng Cục phòng chống thiên tai.



Hình 1. Sơ đồ mô tả cách tiếp cận và phương pháp nghiên cứu.

2.2. Phương pháp xử lý số liệu

Các số liệu về thiệt hại do các loại hình thiên tai trong giai đoạn 1989-2020 được rà soát, kiểm tra và xử lý để phân tích xu thế tác động theo thời gian. Kết quả phân tích dữ liệu được sử dụng để đánh giá tác động của BĐKH đến an ninh khí hậu, an ninh lương thực, an ninh năng lượng tại Việt Nam.

3. Kết quả và thảo luận

3.1. Tác động của biến đổi khí hậu đến an ninh khí hậu

Cho đến nay, trên thế giới cũng như tại Việt Nam, chưa có một khái niệm chính thức và hoàn chỉnh về an ninh khí hậu. Khái niệm về an ninh khí hậu trong nghiên cứu này được đề xuất dựa trên tham khảo một số chính sách của Việt Nam và các nội dung trong Luật An ninh khí hậu của Hoa Kỳ [6, 7]. An ninh khí hậu là việc bảo đảm không có tác động lớn hoặc không có mối đe dọa lớn của BĐKH đến sự ổn định và an toàn về chính trị, xã hội, môi trường, sinh thái, con người, phát triển kinh tế trong nước và quốc tế. BĐKH gia tăng cực đoan và thiên tai liên quan đến khí hậu, thủy văn. Trong đó, hơn 90% thiên tai nghiêm trọng như sóng nhiệt, hạn hán, bão, lũ lụt, lũ bùn đá, sạt lở đất, xói lở bờ biển,... đều có liên quan đến khí hậu, thủy văn [8]. Các thiên tai này gây nhiều tác động tiêu cực, nguy hiểm và đe dọa đến ANPTT như sau:

(i) Làm suy giảm chất lượng và số lượng tài nguyên nước (đến năm 2030, khoảng 1/3 dân số thế giới thiếu nước sinh hoạt, nhất là ở các khu vực như Bắc Phi, Nam Phi, Trung Đông, Trung Quốc và cả Mỹ; đến năm 2040, nhu cầu nước ngọt trên toàn cầu sẽ vượt quá khả năng cung cấp của Trái Đất) [8].

(ii) Làm giảm diện tích đất ở, đất trồng cho nông nghiệp do bị ngập lụt, nước biển dâng,... Trên thế giới, khi nước biển dâng cao thêm 1m thì có thể gây ngập 5,3% diện tích đất, trong đó 7,2% diện tích nông nghiệp và 28,9% diện tích đất rừng, tác động đến 10,8% dân cư, 10,2% GDP, 10,9% diện tích đô thị [9].

(iii) Giảm sản lượng, chất lượng lương thực, thực phẩm, phá hủy, làm hư hỏng cơ sở hạ tầng, gián đoạn cung cấp các dịch vụ cho sinh tồn,... [10].

Vì thế, BĐKH gây ra nhiều hậu quả ngày càng nghiêm trọng:

- Đe dọa an ninh lương thực (làm giảm năng suất, chất lượng, sản lượng, phá hủy hạ tầng chế biến, lưu trữ, vận chuyển, phân phối lương thực, giảm khả năng tiếp cận lương thực).

- Làm suy giảm an ninh nguồn nước (làm giảm chất lượng, trữ lượng tài nguyên nước, phá hủy cơ sở hạ tầng xử lý, sản xuất, vận chuyển, phân phối, cấp, sử dụng nước, làm gián đoạn việc cấp nước, giảm khả năng tiếp cận và sử dụng nước).

- Đe dọa an ninh năng lượng của các quốc gia và toàn cầu, làm thay đổi vị trí địa chính trị khu vực, toàn cầu thông qua thay đổi sử dụng các loại năng lượng.

- Gây tổn thất kinh tế, cơ sở hạ tầng kỹ thuật, cơ sở hạ tầng xã hội,...: Đại dương ấm lên có thể làm giảm sản lượng đánh bắt thủy sản, ảnh hưởng đến sinh kế của 650 - 800 triệu người dân phụ thuộc vào đánh bắt thủy sản. Trong giai đoạn 1998 - 2017, kinh tế thế giới bị thiệt hại trực tiếp do thiên tai là 3 nghìn tỷ USD. Thiên tai hàng năm gây thiệt hại cho kinh tế thế giới khoảng 520 triệu USD [8]. Chi phí hàng năm cho thích ứng BĐKH ở các nước đang phát triển khoảng 70 tỷ USD (hiện nay), dự báo tăng lên đến 140-300 tỷ USD (năm 2030) và 280-500 tỷ USD (năm 2050) [11]. Do tác động của BĐKH, các nước Đông Nam Á sẽ tổn thất khoảng 8-13% GDP mỗi năm [10].

- Làm suy giảm chất lượng, quy mô nhiều hệ sinh thái tự nhiên như rừng ngập mặn, san hô, cỏ biển, đất ngập nước, các hệ sinh thái rừng trên cạn,...

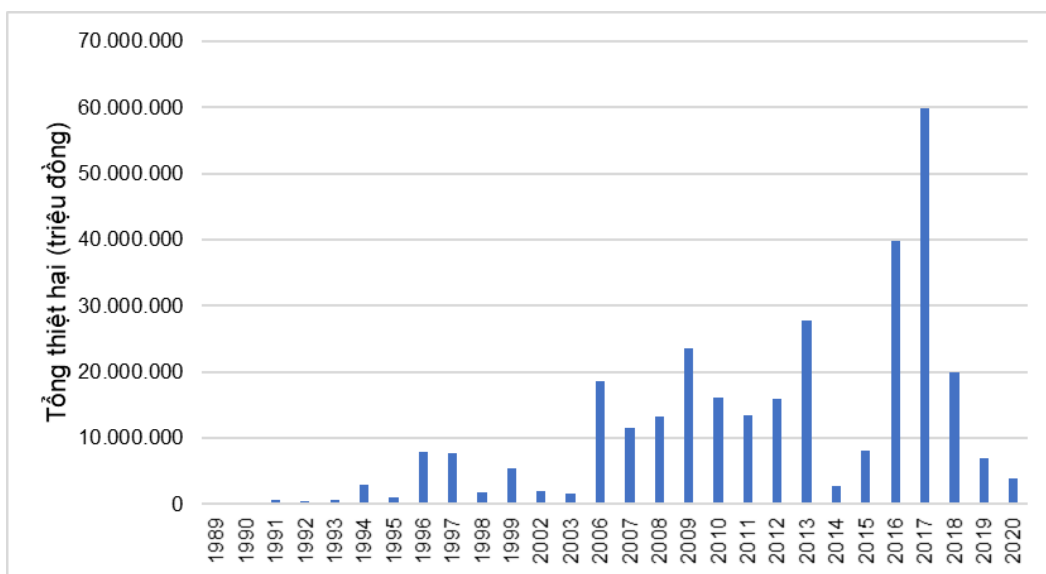
- Suy giảm chất lượng môi trường sống: (i) gia tăng sóng nhiệt: Theo kịch bản khí hậu RCP 8.5, số lượng người sống ở những khu vực có khả năng xảy ra với xác suất khác 0 các đợt nắng nóng vượt ngưỡng chịu đựng tăng từ 0 (hiện nay) lên từ 250-360 triệu người vào năm 2030 và 700 triệu đến 1,2 tỷ người vào năm 2050, nếu không có các giải pháp thích ứng [10]; (ii) Ô nhiễm bụi, khí thải giao thông và các ngành sản xuất (năng lượng, xây dựng,...), gây suy thoái các hệ sinh thái tự nhiên - xã hội.

- Gia tăng xung đột xã hội, vũ trang, đe dọa an ninh quốc gia: Các cực đoan khí hậu và thiên tai liên quan BĐKH có thể hủy hoại tài sản, tàn phá cây trồng, buộc nhiều người rời bỏ nơi sinh sống, di cư ồ ạt dẫn đến đấu tranh sinh tồn, làm gia tăng nguy cơ xung đột. Tác động kép của BĐKH và xung đột làm gián đoạn sản xuất và cung cấp lương thực, nước và các nhu yếu phẩm khác, làm gia tăng bệnh tật, suy dinh dưỡng, làm suy yếu các dịch vụ chăm sóc sức khỏe và dịch vụ công cũng như làm suy kiệt tài nguyên (nhất là nước), hủy hoại môi trường sống, gia tăng bất ổn chính trị, khủng hoảng kinh tế và có thể dẫn đến xung đột vũ trang. Dân số tăng cao, diện tích đất ở, nguồn nước sạch và lương thực suy giảm do BĐKH, nhu cầu cơ bản không được đáp ứng dẫn đến xung đột nội bộ và chiến tranh giữa các nước. Trong 20 quốc gia dễ bị tổn thương nhất do BĐKH, có 12 quốc gia đang phải trải qua xung đột như: Xô-ma-li (xung đột và hạn hán khắc nghiệt kéo dài), Yemen và Iraq (thiếu nước, hệ thống kinh tế, chăm sóc sức khỏe, cung cấp lương thực, thể chế đang bị suy yếu, xung đột kéo dài), Mali, Áp-ga-nít-xtăng, Công-gô, Xu-đăng, Ni-gê-ria, Ke-nia,... Hạn hán nghiêm trọng, thiếu nước liên quan BĐKH là một trong những yếu tố làm gia tăng sự khốc liệt của nội chiến ở Syria. Vào các giai đoạn có nhiệt độ trung bình tăng, số lượng các cuộc chiến cũng tăng theo. BĐKH có thể sẽ tạo ra những khu vực xung đột mới như ở vùng Bắc Cực - nơi có khoảng ¼ trữ lượng dầu mỏ, khí đốt của thế giới. Nhiệt độ tăng sẽ có khả năng tạo thuận lợi tăng tàu bè qua lại ở vùng Bắc Cực, tạo ra “chuyển dịch lớn” trong dòng chảy thương mại giữa châu Á và châu Âu, giảm nhiều số tàu bè đi lại trên kênh Suez. Nguy cơ chiến tranh sẽ tăng lên 54% trong khoảng thời gian từ nay tới năm 2030. BĐKH, thiên tai có thể gây ra các sự cố mất điện, thiếu nước, phá hủy cơ sở hạ tầng kỹ thuật, giảm sức chiến đấu của quân đội, đe dọa nghiêm trọng an ninh quốc gia. Rủi ro khí hậu làm gia tăng mức độ mong manh, dễ vỡ của các quốc gia. Rủi ro khí hậu có thể dẫn đến sự đảo ngược phát triển và phá vỡ hệ thống chính trị- xã hội, đặc biệt ở các nước mong manh, dễ vỡ và bị ảnh hưởng bởi xung đột [12]. Tính mong manh, dễ vỡ quốc gia là “mức độ mà các mối quan hệ nhà nước-xã hội không tạo ra kết quả cần thiết và hợp pháp, là mức độ không đảm bảo thực hiện các chức năng của nhà nước và cung cấp hàng hóa và dịch vụ công” [13]. Quốc gia mong manh, dễ vỡ gặp rất nhiều khó khăn trong ứng phó với BĐKH, thiên tai, xung đột. Những

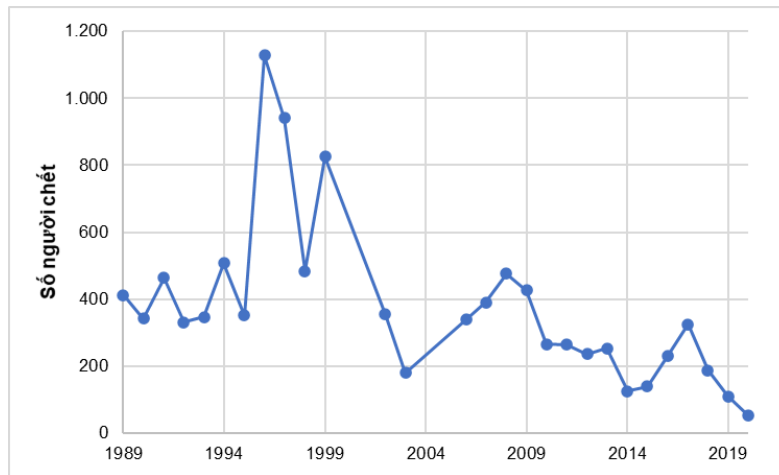
quốc gia ở vùng rủi ro, tổn thương cao do BĐKH, thiên tai có mức độ mong manh, dễ vỡ cao như Cộng hoà Trung Phi, Mali, Somalia, Xu - Đãng, Zim-ba-ê, Iraq, Yemen, Áp-ga-nít-xtăng,... Phần lớn dân số của các quốc gia mong manh, dễ vỡ đối mặt với rủi ro khí hậu. Trên 41,4 triệu người ở Ni-gê-ria ở vùng có mức độ phơi bày trước hiểm hoạ khí hậu cao và 4,5 triệu người ở vùng có mức độ phơi bày trước hiểm hoạ khí hậu rất cao. Con số tương ứng của Pa-ki-stăng là 6,5 và 1,7 triệu người [13]. Như vậy BĐKH ảnh hưởng nghiêm trọng đến an ninh quốc gia.

- Đe dọa an ninh con người: BĐKH cường hoá các thiên tai, cực đoan khí hậu làm chết và bị thương nhiều người, gia tăng bệnh tật, giảm sức khoẻ, phá huỷ tài sản, sinh kế,... Do BĐKH, nhiệt độ tăng, mùa đông ấm hơn tạo điều kiện phát triển mạnh của côn trùng, virus gây bệnh, làm bùng phát các dịch bệnh như Zika, sốt sông Nile, bệnh Lyme và nhiều bệnh khác. Thiên tai liên quan đến khí hậu và các thiên tai khác đã cướp đi sinh mạng của 1,3 triệu người [14]. Bão, lũ lụt, hạn hán, cháy rừng năm 2018 ảnh hưởng tới hơn 39 triệu người. Năm 2020 có lẽ là một trong những năm ấm nhất được ghi nhận, hơn 50 triệu mọi người trên toàn cầu là bị ảnh hưởng trực tiếp bởi lũ lụt, hạn hán, hoặc bão và các cực đoan khí hậu khác [11]. Hiện nay, thiên tai hàng năm khiến 26 triệu người rơi vào tình trạng đói nghèo [8]. Khoảng 2/3 số đô thị có dân số trên 5 triệu người tập trung ở vùng ven biển bị ảnh hưởng bởi nước biển dâng, khoảng 500 triệu người sống trong vùng bị đất bị xói mòn [8]. Nếu không có giải pháp hiệu quả, nhiều khu vực của các thành phố New York, Thượng Hải, Abu Dhabi, Osaka, Rio de Janeiro bị ngập dưới nước, làm hàng triệu người phải di cư. Sự ấm lên của đại dương làm giảm sản lượng đánh bắt cá, ảnh hưởng đến sinh kế của 650 triệu - 800 triệu người sống dựa vào nghề này. Số giờ làm việc ngoài trời bị giảm từ 10% (hiện nay) đến 15-20% (vào 2050) do nhiệt độ và độ ẩm quá cao [10].

Thiên tai ở Việt Nam từ 2006-2019 gây tổn thất rất lớn về kinh tế Việt Nam. Theo số liệu của Tổng cục Phòng chống thiên tai, từ năm 1989-2020 các loại hình thiên tai (lốc, lũ quét, bão, áp thấp nhiệt đới, lũ lụt, gió mùa đông bắc, sạt lở đất, rét, hạn hán,...) đã gây thiệt hại khoảng 314.712.131 triệu đồng. Trong đó, giá trị thiệt hại bằng tiền có xu thế tăng nhanh trong những năm từ 2013-2017 (Hình 2). Các loại hình thiên tai liên quan với khí hậu như lốc, lũ quét, bão, áp thấp nhiệt đới, lũ lụt, gió mùa đông bắc, sạt lở đất, rét, hạn hán,... đã gây ra các thiệt hại lớn về người ở Việt Nam. Trong giai đoạn 1989-2020, ước tính có 10.494 người chết do các loại hình thiên tai gây ra [15]. Trong số các loại hình thiên tai, bão, lũ lụt, lốc và lũ quét là các thiên tai gây ra thiệt hại về người lớn nhất (Hình 3). Tuy nhiên, trong những năm gần đây tổng thiệt hại về kinh tế và về người có xu thế giảm do khả năng ứng phó của chính quyền và người dân đã được tăng lên đáng kể.



Hình 2. Tổng thiệt hại do các loại hình thiên tai trên toàn quốc giai đoạn 1989-2020 [15].



Hình 3. Thống kê số người chết do các loại hình thiên tai giai đoạn 1989-2020 [15].

3.2. Tác động của biến đổi khí hậu đến an ninh lương thực

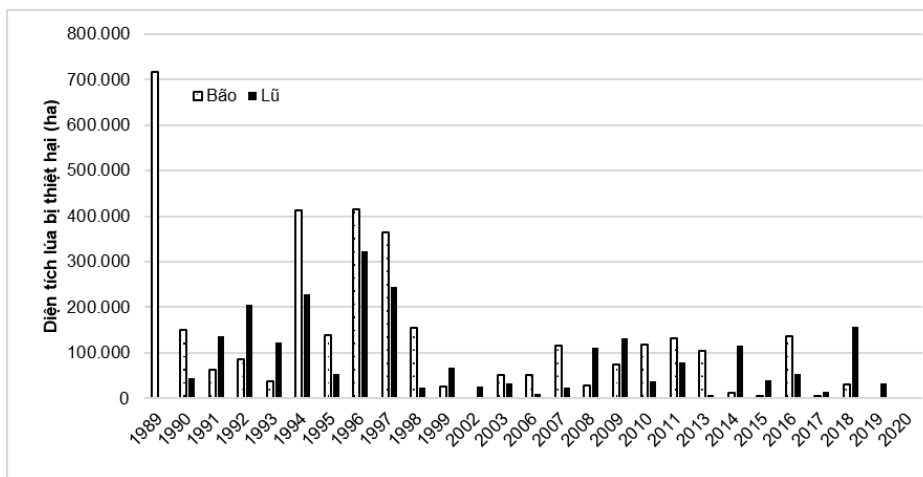
Hệ thống lương thực (bao gồm sản xuất, vận chuyển, chế biến, đóng gói, bảo quản, bán lẻ, tiêu thụ, thất thoát và lãng phí) cung cấp lương thực, thực phẩm cho phần lớn dân số thế giới, duy trì sinh kế của hơn 1 tỷ người. Kể từ năm 1961, nguồn cung cấp lương thực đầu người đã tăng hơn 30%, kéo theo tăng khoảng 800% lượng phân đạm sử dụng, tăng sử dụng tài nguyên nước gấp đôi. Nhưng hiện nay vẫn còn khoảng 821 triệu người bị suy dinh dưỡng, 151 triệu trẻ em dưới 5 tuổi bị thấp còi, 613 triệu phụ nữ và trẻ em gái từ 15 đến 49 tuổi bị thiếu sắt và 2 tỷ người lớn bị thừa cân hoặc béo phì [16].

BĐKH trên toàn cầu và khu vực có xu hướng ngày càng bất lợi như nước biển dâng, nhiệt độ tăng cao, bão lũ, hạn hán,... tác động xấu đến nguồn nước, tài nguyên đất, hệ sinh thái, cây trồng, vật nuôi, quá trình sản xuất, thu hoạch, chế biến, vận chuyển, phân phối sản phẩm nông nghiệp, đe dọa ngày càng nghiêm trọng đến an ninh lương thực. BĐKH mất sinh kế và thu nhập ở nông thôn, mất hệ sinh thái trên cạn và nước nội địa, hệ sinh thái biển và ven biển, và sinh kế, mất an toàn thực phẩm và phá vỡ hệ thống thực phẩm [16].

Các yếu tố phi khí hậu (tăng trưởng dân số và gia tăng thu nhập, nhu cầu về truy xuất nguồn gốc thực phẩm) và BĐKH (tăng nhiệt độ, thay đổi lượng mưa, các cực đoan khí hậu và thiên tai liên quan) tác động mạnh đến hệ thống lương thực và bốn trụ cột của an ninh lương thực (tính sẵn có, khả năng tiếp cận, sử dụng và tính ổn định). BĐKH ảnh hưởng tiêu cực tới năng suất một số cây trồng (ngô, lúa mì) ở nhiều vùng có vĩ độ thấp, vùng Địa Trung Hải (bị tác động bởi nhiệt độ tăng và khô hạn), ở các vùng đất khô hạn của Châu Phi, và các vùng núi cao của Châu Á và Nam Mỹ. Đến năm 2050, năng suất của 4 nhóm (ngũ cốc thô, hạt có dầu, lúa mì và gạo) giảm 17% [16]. BĐKH làm giảm năng suất, sức khỏe vật nuôi và sản lượng thức ăn gia súc, thức ăn chăn nuôi. Hạn hán nghiêm trọng làm giảm từ 20-60% số lượng vật nuôi ở các nước châu Phi cận Sahara. BĐKH ở Nam Phi làm giảm 10-25% sản lượng sữa. Nhiệt độ tăng và lượng mưa giảm làm giảm 60% sản lượng sản xuất thức ăn xanh cho gia súc trong mùa hè năm 2003 ở Pháp [16]. Rừng là nơi hỗ trợ sinh kế liên quan của khoảng 1,6 tỷ người nhưng đang bị tác động lớn từ BĐKH: thay đổi đến quy mô, chất lượng, khả năng cung cấp nhiều loại hàng hóa và dịch vụ môi trường của rừng, sự thay đổi của các loài động thực vật rừng, giảm năng suất và tăng cây chết do hạn hán và gia tăng nhiệt độ, gia tăng xói mòn do gió và nước, tăng thiệt hại do bão và lở đất, tuyết lở, tăng tần suất cháy rừng, bùng phát sâu bệnh, ngập lụt và thiệt hại do lũ lụt, xâm nhập mặn và nước dâng cao, và thiệt hại do bão ven biển. Những điều này làm giảm khả năng đóng góp của rừng vào khả năng phục hồi của các hệ thống nông nghiệp (điều hoà nước và nhiệt độ ở cấp độ cảnh quan và cung cấp môi trường sống cho các loài quan trọng như các loài thụ phấn...). BĐKH làm giảm 40% khả năng đánh bắt cá ở biển, đại dương vùng nhiệt đới, nhưng có thể làm tăng 30-70% khả năng này ở vùng vĩ độ cao [16, 17]. Trong giai đoạn 1981-2010, BĐKH đã làm giảm

năng suất trung bình toàn cầu của ngô, lúa mì và đậu tương lần lượt là 4,1%, 1,8% và 4,5%. Gia tăng nồng độ khí CO₂ tăng sẽ làm giảm chất lượng dinh dưỡng: lúa mì được trồng trong điều kiện không khí có nồng độ khí CO₂ từ 546-586 ppm sẽ giảm 5,9-12,7% protein, 3,7-6,5% kẽm và 5,2-7,5% sắt [16, 17]. BĐKH làm gia tăng dịch bệnh đối với vật nuôi và sâu bệnh, làm tăng tính rủi ro của hệ thống lương thực và an ninh lương thực. Nhiệt độ tăng làm giảm năng suất, chất lượng nhưng gia tăng thất thoát và chất thải sản xuất trái cây và rau quả, đặc biệt là ở vùng nhiệt đới và bán nhiệt đới. BĐKH tăng cường phát triển nhiều loại nấm mốc, làm giảm chất lượng, tăng độ độc thực phẩm. Giá ngũ cốc tăng 1-29% vào năm 2050 do BĐKH (kịch bản RCP 6.0), tác động đến người tiêu dùng trên toàn cầu, đặc biệt là đối với nhóm người có thu nhập thấp (1-183 triệu người có nguy cơ bị đói) [18]. Mặt khác, hệ thống lương thực làm gia tăng nóng lên toàn cầu thông qua gia tăng phát thải khí nhà kính. Trong giai đoạn 2007-2016, hệ thống lương thực tạo ra khoảng 21-37% tổng lượng phát thải khí nhà kính, trong đó 9-14% (142±42 Tg CH₄/năm và 8,0±2,5 Tg N₂O/năm) từ các hoạt động trồng trọt và chăn nuôi, 5-14% (khoảng 4,9±2,5 Gt CO₂/năm) từ việc sử dụng đất và thay đổi mục đích sử dụng, 5-10% là từ các hoạt động của chuỗi cung ứng [18].

Thiệt hại đối với nông nghiệp, lương thực ở Việt Nam từ 1989-2020 do các thiên tai, đặc biệt là thiên tai liên quan BĐKH là rất lớn... Các loại hình thiên tai gây tác động nhiều mặt đến các nông nghiệp bao gồm: gây ngập úng lúa, hoa màu, cây công nghiệp, gây chết gia súc, gia cầm, sạt đê, mương, trôi cầu cống,... Trung bình mỗi năm có hàng trăm nghìn ha lúa bị thiệt hại do các loại hình thiên tai. Trong đó, lũ lụt và bão hàng năm gây thiệt hại là rất lớn (Hình 4).



Hình 4. Diện tích lúa bị thiệt hại do thiên tai giai đoạn 1989-2020 [15].

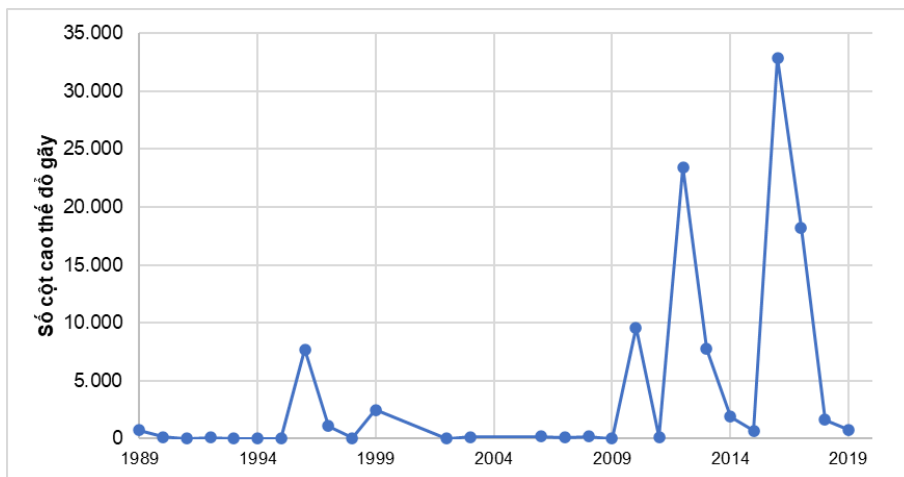
Như vậy, BĐKH ảnh hưởng mạnh đến khả năng sẵn có, tiếp cận, sử dụng và tính ổn định, bền vững của hệ thống lương thực, của an ninh lương thực. An ninh lương thực trong bối cảnh BĐKH là đảm bảo ổn định và bền vững nguồn cung, khả năng tiếp cận, sử dụng nguồn lương thực của mọi người với mức chi phí có thể chi trả được để đáp ứng nhu cầu về năng lượng và dinh dưỡng của con người trong mọi điều kiện BĐKH. An ninh lương thực và giảm phát thải khí nhà kính đi kèm cần được đảm bảo không chỉ ở qui mô quốc gia, toàn cầu mà phải ở cả cấp hộ gia đình để PTBV [19].

3.3. Tác động của biến đổi khí hậu đến an ninh năng lượng

An ninh năng lượng trong bối cảnh BĐKH là đảm bảo cung cấp hay tiếp cận năng lượng đầy đủ, ổn định, có chất lượng cao với giá cả hợp lý cho phát triển kinh tế - xã hội nhanh và bền vững, bảo đảm quốc phòng, an ninh, nâng cao đời sống của nhân dân, góp phần bảo vệ môi trường, sinh thái trong điều kiện BĐKH [20]. BĐKH cũng gây ra những ảnh hưởng rất lớn đến an ninh năng lượng, làm gia tăng hơn mức độ phụ thuộc năng lượng. BĐKH làm gia tăng sử dụng năng lượng, nhưng lại gây ra các tác động phá hủy, làm giảm tính bền vững, an

toàn của hệ thống sản xuất (ví dụ nước biển dâng, sóng biển, bão và nước dâng do bão, lũ lụt, lũ bùn đá, sạt lở đất, xói lở bờ sông, bờ biển, cháy rừng...), ảnh hưởng nghiêm trọng đến các nhà máy điện ven biển, ven sông,...), lưu trữ, truyền tải, phân phối, sử dụng năng lượng. Sự mất ổn định của những nguồn cung năng lượng nhất là nguồn cung năng lượng sơ cấp do ảnh hưởng của BĐKH sẽ tác động lớn đến việc đảm bảo an ninh năng lượng quốc gia và toàn cầu. BĐKH làm thay đổi việc sản xuất, tiêu thụ các nguồn năng lượng theo xu hướng chuyển dịch từ năng nước hóa thạch sang phát triển năng lượng tái tạo (mặt trời, gió, thủy điện, địa nhiệt, ...). Sự chuyển dịch này sẽ: (i) giảm quyền lực của các nước đang kiểm soát và xuất khẩu nhiên liệu hoá thạch; (ii) tăng quyền lực của các nước có công nghệ xanh sản xuất năng lượng tái tạo; (iii) giảm mức độ quan trọng và tranh giành vị trí chiến lược của các khu vực trên thế giới liên quan tới sản xuất và vận chuyển nhiên liệu hoá thạch, trong đó có tuyến đường chiến lược quân sự vận chuyển dầu mỏ [14].

Hệ thống truyền tải điện ở Việt Nam bị tác động nặng nề do thiên tai liên quan BĐKH. Các thiệt hại rất do thiên tai gây ra làm cột điện cao thế, hạ thế bị đổ gãy; các công trình thủy điện nhỏ bị hư hại, dây điện bị đứt, trạm biến áp bị hỏng, công tơ bị hỏng, gây gián đoạn đường truyền tải điện. Theo ước tính có khoảng 109.762 cột điện cao thế đã bị đổ, gãy do các loại hình thiên tai trong giai đoạn 1989-2020 (Hình 5). Các loại hình thiên tai gây tổn thất cao nhất là bão, lốc và lũ lụt.



Hình 5. Số cột điện cao thế đổ gãy trong giai đoạn 1989-2020 [15].

3.4. Tác động của biến đổi khí hậu đến an ninh nguồn nước

An ninh nguồn nước trong bối cảnh BĐKH là đảm bảo trữ lượng, số lượng, khả năng tiếp cận bền vững nguồn nước có chất lượng với giá cả hợp lý để duy trì sinh kế, phúc lợi của con người và phát triển kinh tế - xã hội nhanh và bền vững, bảo đảm quốc phòng, an ninh, nâng cao đời sống của nhân dân, góp phần bảo vệ môi, trường sinh thái trong điều kiện BĐKH [21]. BĐKH đe dọa nghiêm trọng đến an ninh nguồn nước thông qua các yếu tố sau [17]:

- Thay đổi chu trình thủy văn quy mô lớn, tăng lượng hơi nước trong khí quyển.
- Thay đổi mô hình, cường độ và cực đoạn mưa: tăng tần suất của các hiện tượng mưa lớn (hoặc tỷ lệ tổng lượng mưa từ các trận mưa lớn, kéo dài làm tăng lũ lụt do mưa) ở hầu hết các khu vực; lượng mưa tăng lên ở các vùng vĩ độ cao và các vùng của vùng nhiệt đới, và giảm ở một số vùng cận nhiệt đới và vĩ độ trung bình thấp hơn.
- Làm giảm tuyết phủ và băng tan trên diện rộng; nguồn cung cấp nước được lưu trữ trong các sông băng và lớp phủ tuyết được dự báo sẽ giảm.
- Làm tăng lưu lượng dòng chảy trung bình hàng năm của sông và lượng nước sẵn có được dự báo (vào giữa thế kỷ 21) ở vĩ độ cao và ở một số khu vực nhiệt đới ẩm ướt, và làm giảm mạnh nguồn nước ở một số vùng khô hạn ở vĩ độ trung bình và ở các vùng nhiệt đới khô hạn.

- Làm tăng hơn gấp đôi diện tích đất thuộc loại rất khô trên toàn cầu, so với những năm 1970. Tỷ lệ diện tích đất khô hạn cực độ được dự báo sẽ tăng lên, đặc biệt là ở các vùng cận nhiệt đới, vĩ độ thấp và trung bình [17].

- Làm suy giảm chất lượng nước: Nhiệt độ nước tăng cao, các cực đoan khí hậu (lũ lụt và hạn hán,...), làm trầm trọng thêm ô nhiễm nước bởi: tăng độ đục, nhiễm mặn nước mặt, nước ngầm (bởi mực nước biển dâng, nhất là vùng ven biển), phú dưỡng, ô nhiễm nhiệt, ô nhiễm bởi carbon hữu cơ hòa tan, mầm bệnh, thuốc trừ sâu,...

- Làm suy thoái hệ sinh thái đất ngập nước, có vai trò quan trọng đặc biệt với an ninh nguồn nước.

- Làm giảm độ tin cậy và làm tăng chi phí sản xuất, cấp, sử dụng nước, nhất là vùng khô hạn, bán khô hạn.

- Làm tăng gấp đôi diện tích khu vực bị thiếu nước trên phạm vi toàn cầu vào những năm 2050 [17].

Các nguồn nước ngọt dễ bị tổn thương và có khả năng bị tác động mạnh bởi BĐKH, gây ra những hậu quả trên diện rộng đối với xã hội và hệ sinh thái của con người, ảnh hưởng đến sự sẵn có, ổn định, khả năng tiếp cận và sử dụng lương thực, đặc biệt là ở các vùng nhiệt đới khô hạn và bán khô hạn cũng như các siêu vùng châu Á và châu Phi [17]. BĐKH phá hủy, gây hư hỏng hệ thống sản xuất, cung cấp nước (do bão, lũ, trượt lở đất,...), làm giảm tính sẵn có của nước. BĐKH làm tăng nhu cầu sử dụng nước (đặc biệt trong sản xuất nông nghiệp, năng lượng, sinh hoạt) nhất là vào mùa khô, mùa hè, gia tăng áp lực lên hệ thống sản xuất, cung cấp nước.

Vấn đề an ninh nguồn nước trên toàn cầu đang đứng trước nhiều thách thức, đe dọa. Trong lịch sử đã từng xảy ra nhiều cuộc xung đột, chiến tranh giữa các quốc gia do mâu thuẫn trong chia sẻ và kiểm soát nguồn nước. Có thể thấy rằng khủng hoảng tài nguyên nước, ô nhiễm, cạn kiệt nguồn nước đang là vấn đề nóng của thế giới hiện nay, mang tính toàn cầu và đe dọa tới sự tồn vong và phát triển của loài người.

Nguồn nước mặt của Việt Nam phụ thuộc vào các dòng chảy xuyên biên giới. Hằng năm khoảng 63% tổng lượng nước mặt được các sông xuyên biên giới vận chuyển vào nước ta. Nguồn nước nội sinh trong lãnh thổ Việt Nam chỉ đạt khoảng 4.200 m³/người/năm, thấp so với trung bình của Đông Nam Á là 4.900 m³/người/năm [22]. Do vậy, sự khan hiếm, thiếu hụt nguồn nước do phụ thuộc vào các con sông xuyên biên giới, nhất là sông Mê Công và sông Hồng, ô nhiễm các lưu vực sông, cạn kiệt các nguồn nước ngầm là thách thức rất lớn đối với an ninh nguồn nước ở nước ta. Một trong những nguyên nhân gây nên tình trạng khan hiếm nguồn nước ngọt, xâm nhập mặn, sạt lở bờ sông nhất ở phía hạ nguồn, châu thổ nhất là về mùa khô là sử dụng không bền vững nguồn nước ở thượng nguồn các con sông.

4. Kết luận

1) BĐKH đe dọa nghiêm trọng đến ANPTT và PTBV của các quốc gia. BĐKH có các tác động mạnh mẽ đến các chiều cạnh khác nhau của ANPTT gồm: an ninh khí hậu, an ninh lương thực, an ninh năng lượng và an ninh nguồn nước. BĐKH đe dọa đến việc đảm bảo ANPTT và việc thực hiện các mục tiêu PTBV.

2) Tác động BĐKH đến ANPTT ở Việt Nam ngày càng nghiêm trọng, gây tổn thất đến toàn bộ hệ thống kinh tế - xã hội của Việt Nam bao gồm các thiệt hại về người, sản xuất nông nghiệp, sản xuất năng lượng, thiếu hụt nguồn nước và cơ sở hạ tầng,... Tổng thiệt hại do các loại hình thiên tai liên quan đến khí hậu có xu thế ngày càng tăng.

3) Các nguy cơ, thách thức, mối đe dọa ANPTT liên quan BĐKH ngày càng bất lợi đối với phát triển kinh tế - xã hội, quốc phòng, an ninh quốc gia, an toàn và bền vững của doanh nghiệp, cộng đồng, cuộc sống con người, đồng thời cũng là sự thách thức to lớn đối với sự PTBV, an toàn của người dân ở các quốc gia. Vì vậy, ANPTT liên quan BĐKH có vai trò ngày càng quan trọng đối với bảo vệ an ninh quốc gia, PTBV, thịnh vượng và an toàn của đất nước, xã hội, cộng đồng, doanh nghiệp và con người.

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

Lời cảm ơn: Tác giả xin trân trọng cảm ơn cán bộ của Cục Biển và Hải đảo Việt Nam đã tham gia thu thập số liệu sử dụng trong bài báo.

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 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. Nghị quyết Đại hội đại biểu toàn quốc lần thứ XII Đảng Cộng sản Việt Nam 2016. Đảng Cộng sản Việt Nam, 2016.
2. Huân, Đ.M. An ninh phi truyền thống: Quan niệm và đặc điểm chủ yếu. *Tap chí Mặt trận*, 2017. Trục tuyến: <http://tapchimattran.vn/nghien-cuu/an-ninh-phi-truyen-thong-quan-niem-va-dac-diem-chu-yeu-10490.html>.
3. Hường, N.V.; Phi, H.Đ. Cần quản trị tốt an ninh phi truyền thống để ổn định và phát triển bền vững. Viện nghiên cứu phát triển Phương Đông, 2020. Trục tuyến: <https://ordi.vn/can-quan-tri-tot-an-ninh-phi-truyen-thong-de-on-dinh-va-phat-trien-ben-vung.html>.
4. Caballero-Anthony, M. An introduction to non-traditional security studies: A transnational approach. Sage Publication, Nanyang Technological University, Singapore, 2015.
5. Cường, T.T. Biến đổi khí hậu đang trở thành thách thức an ninh, 2021. Trục tuyến: <http://www.dcc.gov.vn/tin-tuc/3708/Bien-doi-khi-hau-dang-tro-thanh-thach-thuc-an-ninh.html>.
6. America's Climate Security Act 2007. Committee on Environment and Public works United States senate, 2007.
7. Report Climate security. Ministry of the Environment of Japan, 2007, pp. 56. Available online: <https://www.env.go.jp/en/earth/cc/CS.pdf>.
8. The Climate Crisis - A Race We Can Win, United Nations - Shaping our future together, 2020. Available online: <https://www.un.org/en/un75/climate-crisis-race-we-can-win>.
9. Ngọc, L. Biến đổi khí hậu và hệ lụy về mặt an ninh-quốc phòng, VOV, 2019. Trục tuyến: <https://vov.vn/quan-su-quoc-phong/phan-tich/bien-doi-khi-hau-va-he-luy-ve-mat-an-ninh-quoc-phong-994647.vov>.
10. Climate risk and response: Physical hazards and socioeconomic impacts. McKinsey Global Institute, 2020. Available online: <https://www.mckinsey.com/~media/mckinsey/business%20functions/sustainability/our%20insights/climate%20risk%20and%20response%20physical%20hazards%20and%20socioeconomic%20impacts/mgi-climate-risk-and-response-full-report-vf.pdf>.
11. Adaptation Gap Report 2020. United Nations Environment Programme, 2021. Available online: <https://www.unep.org/resources/adaptation-gap-report-2020>.
12. Climate Change and Conflict. International committee of the Red Cross ICRC, 2020. Climate. Available online: <https://www.icrc.org/en/what-we-do/climate-change-conflict>.
13. Policy summary: the nexus of fragility and climate risk, USAID, 2019. Available online: https://pdf.usaid.gov/pdf_docs/PA00TKRR.pdf.
14. Sustainable development goal 13: Take urgent action to combat climate change and its impacts, United nations - Department of Economic and Social Affairs, 2019. Available online: <https://sdgs.un.org/goals/goal13>.

15. Số liệu thông kê thiệt hại từ năm 1989-2020. Tổng Cục phòng chống thiên tai, 2021. Trục tuyến: <http://phongchongthientai.mard.gov.vn/Pages/Thong-ke-thiet-hai.aspx>.
16. FAO. Climate change and food security: risk and response. Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2015. Available online: <http://www.fao.org/3/i5188e/i5188e.pdf>.
17. Jiménez Cisneros, B.E.; Oki, T.; Arnell, N.W.; Benito, G.; Cogley, J.G.; Döll, P.; Jiang, T.; Mwakalila, S.S. Freshwater resources. Climate Change 2014: Impacts, adaptation, and vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 2014, pp. 229–269.
18. Mbow, C.; Rosenzweig, C.; Barioni, L.G.; Benton, T.G.; Herrero, M.; Krishnapillai, M.; Liwenga, E.; Pradhan, P.; Rivera-Ferre, M.G.; Sapkota, T.; Tubiello, F.N.; Xu, Y. Food Security. Climate Change and Land: an IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems, 2019. Available online: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/4/2021/02/08_Chapter-5_3.pdf.
19. Global Food Security Act of 2016, US, 2016.
20. Edenhofer, O.; Pichs-Madruga, R.; Sokona, Y.; Farahani, E.; Kadner, S.; Seyboth, K.; Adler, A.; Baum, I.; Brunner, S.; Eickemeier, P.; Kriemann, B.; Savolainen, J.; Schlömer, S.; Stechow, C.V.; Zwickel, T.; Minx, J.C. Climate change 2014: Mitigation of climate change, contribution of working group III to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change, Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 2014, pp. 1454.
21. Western Water Security Act of 2020, US, 2016.
22. Thắng, N.C.; Minh, H.G. Những thách thức về an ninh nguồn nước ở Việt Nam. Báo Quân đội Nhân dân, 2021. Trục tuyến: <https://www.qdnd.vn/kinh-te/cac-van-de/bai-2-nhung-thach-thuc-ve-an-ninh-nguon-nuoc-o-viet-nam-654651>.

Impacts of climate change to non-traditional security

Nguyen Duc Toan^{1*}

¹ The Vietnam Agency of Seas and Islands; toantnmt@gmail.com

Abstract: Climate change is one of the greatest threats to non-traditional security. Climate change causes the impact on many different dimensions of non-traditional security. The present study has synthesized and processed data and documents related to impacts of climate change to some dimensions of non-traditional security. Based on that this study analyzed the risks, challenges, and threats of climate change to several key dimensions of non-traditional security, including climate security, food security, energy security, and water security. Results demonstrated that implementation of climate change response to ensure non-traditional security is protection of national security, safety of communities, businesses and citizens and sustainable development.

Keywords: Non-traditional security; Climate change; Sustainable development.

Bài báo khoa học

Xây dựng hệ thống hỗ trợ ra quyết định WRI-CosMaDSS phục vụ quản lý tổng hợp vùng bờ: Ứng dụng cho vùng bờ biển Đồng bằng sông Cửu Long

Dương Hồng Sơn¹, Trần Thùy Nhung^{1*}, Trần Anh Phương¹, Nguyễn Anh Đức¹

¹ Viện khoa học Tài nguyên nước, Bộ Tài nguyên và Môi Trường;
dhson.monre@gmail.com; tranthuyhung1990@gmail.com;
phuongtran.monre@gmail.com; nganhdudc@yahoo.com

*Tác giả liên hệ: tranthuyhung1990@gmail.com; Tel.: +84-353320191

Ban Biên tập nhận bài: 25/4/2024; Ngày phản biện xong: 29/5/2024; Ngày đăng bài: 25/11/2024

Tóm tắt: Trong những năm gần đây, hệ thống hỗ trợ ra quyết định (DSS) quản lý vùng bờ đã trở thành một công cụ hỗ trợ đắc lực các nhà quản lý trong công tác quản lý, bảo vệ và phát triển vùng bờ. Bài báo này trình bày kết quả nghiên cứu xây dựng hệ thống hỗ trợ ra quyết định quản lý vùng bờ WRI-CosMaDSS trên nền tảng GIS được phát triển bởi Viện Khoa học tài nguyên nước sử dụng ngôn ngữ Javascript. Hệ thống được thiết kế với hai nhóm chức năng chính bao gồm nhóm chức năng quản lý và nhóm chức năng hiển thị và phân tích. Chức năng quản lý hỗ trợ người dùng xây dựng cây dữ liệu, quản lý, biên tập, thêm/bớt các dữ liệu. Chức năng hiển thị và phân tích cho phép hiển thị, phân tích, đánh giá, hỗ trợ ra quyết định. Hệ thống cho phép quản lý, tiếp nhận tất cả các loại dữ liệu không gian và phi không gian để phục vụ cho quá trình phân tích dữ liệu, hỗ trợ ra quyết định. So với các hệ thống DSS hiện hành, WRI-CosMaDSS có tính linh hoạt và nhờ vậy người dùng có thể xây dựng hệ thống DSS phù hợp với mục đích yêu cầu của mình. Để minh họa, nghiên cứu đã xây dựng hệ thống DSS cho vùng bờ biển Đồng bằng sông Cửu Long. Trong hệ thống này, biến động đường bờ và xâm nhập mặn theo kịch bản hiện trạng và tương lai có thể phân tích, đánh giá, giúp nhà quản lý biết được các tác động của thượng nguồn đến vùng bờ biển ĐBSCL để có giải pháp phù hợp.

Từ khóa: Hệ thống hỗ trợ ra quyết định; Đồng bằng sông Cửu Long; Vùng bờ biển; Javascript; WRI-CosMaDSS.

1. Mở đầu

Vùng bờ biển Đồng bằng sông Cửu Long (ĐBSCL) nằm ở vị trí rất nhạy cảm với các tác động của chế độ sóng và dòng chảy biển Đông và biển Tây cũng như sông Mê Công [1-4]. Trong những năm gần đây, vùng bờ biển ĐBSCL đang phải đối mặt với các thách thức to lớn liên quan đến gia tăng xâm nhập mặn, xói lở, sụt lún đất và nước biển dâng, ảnh hưởng đến cơ sở hạ tầng và sinh kế của người dân trong vùng [5-7]. Trước tình trạng này, việc xác định các giải pháp ứng phó, giảm thiểu phù hợp cho ĐBSCL là rất cần thiết. Một trong những khó khăn nhất trong công tác quản lý vùng bờ biển là thiếu một công cụ phân tích, so sánh định lượng, đánh giá nhanh các rủi ro đối với khu vực ven biển do các tác động khách quan và chủ quan, từ đó xác định các giải pháp quản lý phù hợp. Trong thời gian gần đây, nhiều hệ thống hỗ trợ ra quyết định (DSS) trong lĩnh vực tài nguyên môi trường đã được xây dựng, hỗ trợ đắc lực các nhà quản lý trong công tác quản lý tài nguyên thiên nhiên, phòng, chống thiên tai, bảo vệ môi trường [8-11]. Trong quản lý vùng bờ, hệ DSS cung cấp công cụ dự

báo biến động của vùng bờ do sự thay đổi của các điều kiện khí tượng, thủy văn và hải văn cũng như đánh giá tác động tiềm năng của các giải pháp bảo vệ, phục hồi, và phát triển vùng bờ một cách hiệu quả [10,11]. Với các ưu điểm này, DSS được coi là giải pháp phi công trình hữu ích và hiệu quả nhất hiện nay. Do đó, việc xây dựng một hệ thống DSS để giải quyết các thách thức trong quản lý vùng bờ ĐBSCL là một nhiệm vụ hết sức cấp bách hiện nay.

Việc sử dụng hệ thống DSS dựa trên GIS trong quản lý vùng bờ đã phát triển nhanh chóng trong thập kỷ qua, giúp tích hợp các yếu tố không gian vào quá trình ra quyết định [12–14]. Tại Hà Lan, quốc gia phần lớn nằm dưới mực nước biển, DSS giúp lập kế hoạch và thực hiện các biện pháp bảo vệ đê biển một cách hiệu quả. Hai hệ thống thường được sử dụng ở Hà Lan là hệ thống HydroNET và hệ thống DelftFEWS [11]. HydroNET là một hệ thống hỗ trợ quyết định dự đoán các điều kiện thời tiết cực đoan, cho phép đưa ra các quyết định dựa trên các dữ liệu, báo cáo, tin báo từ hệ thống. Delft-FEWS là khung hệ thống cảnh báo và dự báo sớm lũ lụt, hỗ trợ quy hoạch. Hệ thống cho phép người dùng tích hợp nhiều mô hình khác nhau phục vụ cho công tác đánh giá, hỗ trợ ra quyết định [11]. Tại Hoa Kỳ, hệ thống hỗ trợ quyết định PRISM-2, được phát triển để đánh giá tình trạng xâm nhập mặn do biến đổi khí hậu dọc theo bờ biển Nam Carolina ở phía đông nam Hoa Kỳ. Hệ thống này tích hợp đầu ra của các mô hình hoàn lưu toàn cầu, mô hình lưu vực và mô hình xâm nhập mặn với cơ sở dữ liệu thời gian thực để mô phỏng và hiển thị kết quả trực tuyến [15]. Hệ thống hỗ trợ quyết định không gian nguồn mở được phát triển trong Dự án THESEUS cho phép người dùng thực hiện đánh giá rủi ro ven biển tổng hợp, phân tích tác động của các sự kết hợp khác nhau giữa các phương án giảm thiểu dựa trên kỹ thuật, xã hội, kinh tế và sinh thái, tương ứng các kịch bản ngắn hạn (những năm 2020), trung hạn (những năm 2050) và dài hạn (những năm 2080), có tính đến các tác động tự nhiên và con người chẳng hạn như biến đổi khí hậu, sụt lún, dân số và tăng trưởng kinh tế [16]. Hệ thống hỗ trợ quyết định quản lý tổng hợp đới bờ vùng bờ biển Indonesia bằng cách tích hợp song song mô hình số. Hệ thống cho phép sau khi thực hiện, kết quả mô phỏng của một kịch bản có thể hiển thị trực tiếp trên hệ thống, thể hiện cả tác động tích cực và bất lợi [17]. Tại Việt Nam, hệ thống hỗ trợ ra quyết định trong quản lý đới bờ đang nhận được nhiều quan tâm. Hệ thống như DSS DELTA của CIEM kết hợp các mô phỏng chế độ thủy văn trong tương lai của Lưu vực sông Mê Công cho ĐBSCL được triển khai dưới dạng WebGis. Hệ thống hỗ trợ ra quyết định Sạt lở VNDSS của Bộ Nông nghiệp và Phát triển Nông thôn trực tuyến trên WebGis để theo dõi tình trạng xói lở bờ sông, bờ biển ở Việt Nam. Hệ thống DSS CPMD của GIZ cung cấp công cụ hỗ trợ ra quyết định kỹ thuật cho các biện pháp bảo vệ bờ biển đã được triển khai để quản lý và bảo vệ vùng bờ biển [10]. Khung hỗ trợ quyết định của Ủy ban sông Mê Công (*Mekong DSF*) – đã được phát triển trong khuôn khổ Chương trình sử dụng nước của Ủy ban sông Mê Công (MRC) trong giai đoạn 2002 đến 2007. Mục tiêu là để mô tả những thay đổi trong dòng chảy sông và đánh giá các tác động về sinh kế, xã hội và kinh tế có thể xảy ra do phát triển cơ sở hạ tầng - chủ yếu là thủy lợi và thủy điện và các biến đổi khí hậu trong lưu vực. Các hệ thống này đã và đang hỗ trợ rất hiệu quả cho các nhà quản lý trong quá trình điều hành, ra quyết định của mình [18].

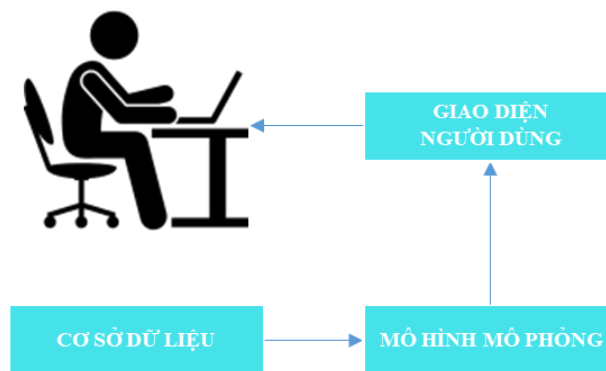
Các hệ thống hỗ trợ ra quyết định được xây dựng và phát triển cho vùng bờ biển ĐBSCL trong thời gian vừa qua đã cung cấp nhiều thông tin hữu ích về hiện trạng sạt lở bờ biển vùng ĐBSCL cũng như giới thiệu các giải pháp bảo vệ đường bờ hữu ích. Tuy nhiên, đối tượng chính của các hệ thống này chủ yếu là các điểm sạt lở. Các hệ thống này chủ yếu vẫn làm nhiệm vụ của một hệ thống quản lý và hiển thị dữ liệu trực tuyến hơn là một hệ thống DSS. Khả năng tương tác giữa người dùng với hệ thống còn tương đối hạn chế. Người dùng cũng không thể tự mình đánh giá, so sánh, xem xét các tác động của các giải pháp khác nhau lên vùng bờ trên hệ thống này. Bài báo này giới thiệu hệ thống hỗ trợ ra quyết định WRI-CosMaDSS được phát triển bởi Viện Khoa học tài nguyên nước trên nền tảng WebGIS. Hệ thống cho phép người dùng quản lý và hiển thị tất các loại dữ liệu có nguồn gốc khác nhau phục vụ cho công tác quản lý cơ sở dữ liệu (CSDL). Đồng thời, trên nền tảng hệ thống này,

các nhà quản lý, nhà nghiên cứu có thể tự xây dựng một hệ thống DSS theo phiên bản phù hợp với đối tượng và mục đích quan tâm của riêng mình và so sánh, đánh giá các kịch bản. Hệ thống được kỳ vọng sẽ trở thành công cụ đắc lực phục vụ công tác quản lý vùng bờ ĐBSCL trong quá trình ra quyết định bảo vệ, phát triển và phục hồi vùng bờ hiệu quả, giảm thiểu các tác động tiêu cực và tối ưu hóa việc sử dụng nguồn lực.

2. Phương pháp nghiên cứu và cấu trúc - chức năng hệ thống WRI-CosMaDSS

2.1. Phương pháp nghiên cứu

Việc xây dựng hệ thống hỗ trợ ra quyết định (DSS) trong quản lý vùng bờ biển là một quy trình phức tạp đòi hỏi sự kết hợp giữa cơ sở dữ liệu, mô hình toán và phát triển hệ thống [19]. Một hệ thống hỗ trợ ra quyết định vùng bờ biển thường nhằm mục đích việc giải quyết các vấn đề như bảo vệ môi trường, phòng chống thiên tai, và quản lý nguồn tài nguyên [19,20].



Hình 1. Sơ đồ xây dựng hệ thống hỗ trợ ra quyết định.

- Bước 1: Thu thập và phân tích dữ liệu địa lý, khí tượng, thủy văn, và kinh tế - xã hội.
- Bước 2: Mô phỏng và dự báo các yếu tố môi trường, kinh tế - xã hội vùng biển theo các kịch bản khác nhau.
- Bước 3: Xây dựng hệ thống DSS. Hệ thống có giao diện trực quan, tích hợp công cụ GIS và các công cụ phân tích để hỗ trợ người dùng trong việc ra quyết định.

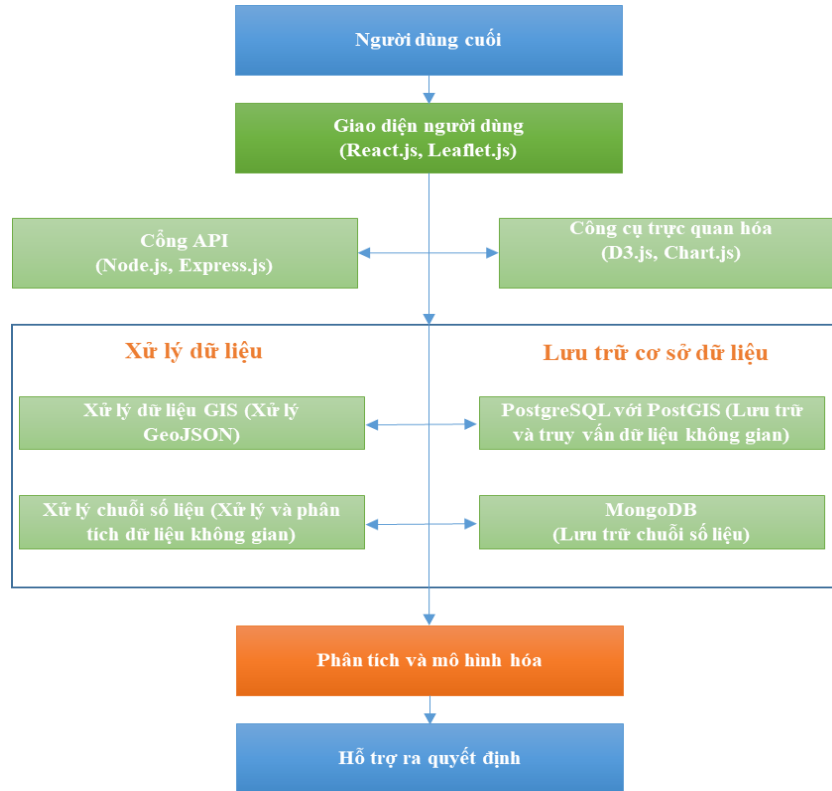
2.2. Cấu trúc của hệ thống

Hệ thống hỗ trợ ra quyết định quản lý vùng bờ của Viện Khoa học tài nguyên nước có tên WRI-CosMaDSS. Hệ thống DSS được xây dựng bằng ngôn ngữ JavaScript có cấu trúc như Hình 2. Hệ thống bao gồm các thành phần: Giao diện người dùng, xử lý dữ liệu, phân tích và mô hình hóa, hỗ trợ ra quyết định. Chi tiết các thành phần này như sau:

- Giao diện người dùng: Người dùng cuối (*End User*) tương tác với hệ thống thông qua giao diện người dùng. Giao diện người dùng (*UI Layer*) được xây dựng sử dụng thư viện React.js. Để thể hiện bản đồ trên nền GIS, thư viện Leaflet.js được sử dụng. API Gateway sử dụng thư viện Node.js và Express.js để xử lý các yêu cầu từ frontend và chuyển tiếp dữ liệu giữa frontend và backend. Công cụ trực quan hóa dữ liệu (*Visualization Tools*) được xây dựng với sự hỗ trợ của thư viện D3.js.
- Xử lý dữ liệu: Hệ thống được phát triển có thể lưu trữ, biên tập và cập nhật hầu như tất cả các loại dữ liệu bao gồm cả dữ liệu không gian (điểm, đường, vùng, ô lưới) và phi không gian (dữ liệu dạng số, văn bản, tài liệu, hình ảnh). Quá trình xử lý dữ liệu (*Data Processing*) bao gồm xử lý dữ liệu GIS với các tệp đầu vào dạng GeoJSON và TIFF. Các dữ liệu không gian này được lưu trữ và truy vấn thông qua PostgreSQL với PostGIS. Các dữ liệu phi không gian được xử lý và phân tích bằng MongoDB giúp lưu trữ, truy xuất, cập nhật, biên tập dữ liệu với cấu trúc dữ liệu linh hoạt.

- Phân tích và mô hình hóa (*Data Analysis & Modeling*): Hệ thống cho phép kết nối với các mô hình, các kịch bản và tiến hành phân tích dữ liệu được tạo ra các kịch bản để hỗ trợ ra quyết định.

- Hỗ trợ ra quyết định: Dựa trên các phân tích, so sánh các kịch bản, hệ thống sẽ cung cấp các khuyến nghị và công cụ hỗ trợ ra quyết định cho người sử dụng.



Hình 2. Sơ đồ xây dựng hệ thống DSS.


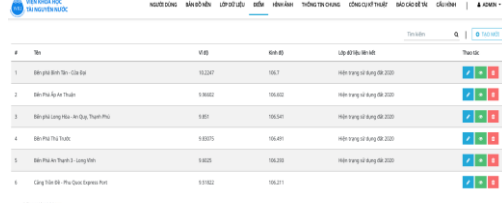



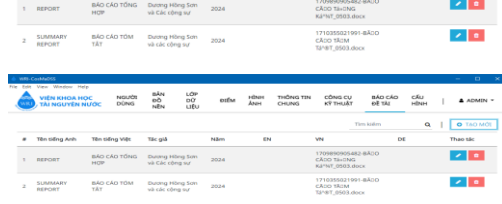
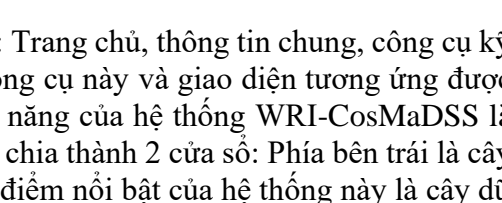
2.3. Các chức năng của hệ thống

Hệ thống WRI-CosMaDSS bao gồm 2 chức năng chính là: (1) Chức năng quản lý và (2) chức năng hiển thị và phân tích. Các chức năng này được mô tả dưới đây.

- Chức năng quản lý: Hệ thống WRI-CosMaDSS được thiết kế với các chức năng quản lý giúp quản lý các lớp dữ liệu, báo cáo, hiển thị, cập nhật số liệu và các tài liệu liên quan đến chương trình. Các chức năng quản lý chính bao gồm: đăng nhập, cập nhật thông tin cá nhân và quản lý thông tin cá nhân, quản lý người dùng, quản lý bản đồ nền, quản lý lớp dữ liệu, quản lý điểm, quản lý ảnh, quản lý báo cáo, quản lý công cụ, quản lý cấu hình. Mô tả các chức năng và giao diện tương ứng của từng chức năng được trình bày ở Bảng 1.

Bảng 1. Các chức năng quản lý của hệ thống WRI-CosMaDSS

| Chức năng | Mô tả | Giao diện |
|-------------------|--|-----------|
| NGƯỜI DÙNG | Chức năng này quản lý người dùng giúp phân quyền và quản lý người dùng khi sử dụng hệ thống. Chức năng người dùng cho phép thực hiện thao tác: tạo người dùng, chỉnh sửa thông tin người dùng, xoá người dùng. | |
| BẢN ĐỒ NỀN | Chức năng quản lý bản đồ nền thực hiện việc xây dựng và quản lý dữ liệu các lớp bản đồ nền. Chức năng quản lý bản đồ nền cho phép thực hiện các thao tác: thêm bản đồ nền; chỉnh sửa bản đồ nền; tải lên dữ liệu cho bản đồ nền; xoá bản đồ nền. | |

| Chức năng | Mô tả | Giao diện |
|-------------------------|---|--|
| LỚP DỮ LIỆU | Chức năng Quản lý lớp dữ liệu thực hiện việc xây dựng và quản lý dữ liệu các lớp bản đồ. Chức năng này cho phép: thêm lớp dữ liệu; chỉnh sửa lớp dữ liệu; tải lên dữ liệu cho lớp dữ liệu; xoá lớp dữ liệu. |  |
| ĐIỂM | Quản lý điểm giúp gắn các dữ liệu điểm vào hệ thống không gian. Từ đó có thể truy xuất, so sánh giá trị tại các điểm. Các chức năng quản lý điểm bao gồm: tạo điểm; chỉnh sửa điểm; quản lý dữ liệu của điểm. |  |
| HÌNH ẢNH | Quản lý hình ảnh giúp gắn ảnh vào dữ liệu không gian. Truy cập vào phần quản lý, sau đó chọn Hình ảnh Các chức năng trong quản lý hình ảnh bao gồm: tạo hình ảnh; thêm ảnh; chỉnh sửa hình ảnh, xóa ảnh. |  |
| THÔNG TIN CHUNG | Chức năng Quản lý thông tin chung cho phép truy cập xem các thông tin của Hệ thống. Quản lý thông tin chung có các chức năng để tạo thông tin, chỉnh sửa và xóa giúp người dùng có thể tùy chỉnh thông tin theo ý muốn. |  |
| CÔNG CỤ KỸ THUẬT | Các chức năng quản lý công cụ kỹ thuật bao gồm: Tạo công cụ kỹ thuật mới; chỉnh sửa công cụ kỹ thuật; xoá công cụ kỹ thuật. |  |
| BÁO CÁO ĐỀ TÀI | Các chức năng để quản lý Báo cáo Đề tài gồm: lưu trữ, truy cập, tải về các tài liệu và Báo cáo của Đề tài. |  |
| CẤU HÌNH | Chức năng quản lý cấu hình thực hiện việc sao lưu hoặc phục hồi giao diện sử dụng kèm bộ dữ liệu được thiết lập. |  |

- Chức năng hiển thị và phân tích

Thanh công cụ của hệ thống bao gồm các menu: Trang chủ, thông tin chung, công cụ kỹ thuật và báo cáo đề tài. Chức năng của các thanh công cụ này và giao diện tương ứng được trình bày ở Bảng 2. Hình 4 thể hiện giao diện chức năng của hệ thống WRI-CosMaDSS là phần chính của hệ thống. Phần hiển thị dữ liệu được chia thành 2 cửa sổ: Phía bên trái là cây dữ liệu, phía bên phải trình bày dữ liệu bản đồ. Đặc điểm nổi bật của hệ thống này là cây dữ liệu bản đồ bên trái có thể thay đổi tùy theo dữ liệu người dùng tải lên mà không cố định như các hệ thống khác. Người dùng có thể đặt tên cho các nhánh dữ liệu, thêm/bớt các nhánh hoặc xác định nhánh dữ liệu “cha/con”. Điều này giúp hệ thống DSS này như một khung hỗ trợ ra quyết định có thể sử dụng cho nhiều mục đích khác nhau. Phần hiển thị bản đồ bao gồm bản đồ nền của hệ thống (có thể lựa chọn từ các bản đồ nền của Google Map, Bing Map hoặc Viet Map) và các bản đồ chuyên đề. Khi người dùng lựa chọn xem bản đồ chuyên đề nào thì phần cửa sổ bên phải sẽ thể hiện bản đồ đó. Các dữ liệu bản đồ có thể liên kết với các

dữ liệu phi không gian. Chẳng hạn, bản đồ vị trí các trạm khí tượng thủy văn (KTTV) có thể được liên kết với số liệu đo đạc của từng trạm. Dữ liệu tính toán mực nước, lưu lượng, hàm lượng bùn cát có thể được liên kết với các điểm mặt cắt ngang. Dữ liệu vị trí các điểm sạt lở có thể liên kết với dữ liệu hình ảnh và dữ liệu mô tả về điểm sạt lở đó. Khi người dùng nhấn chuột vào một trạm trên bản đồ thì số liệu này sẽ được hiển thị.

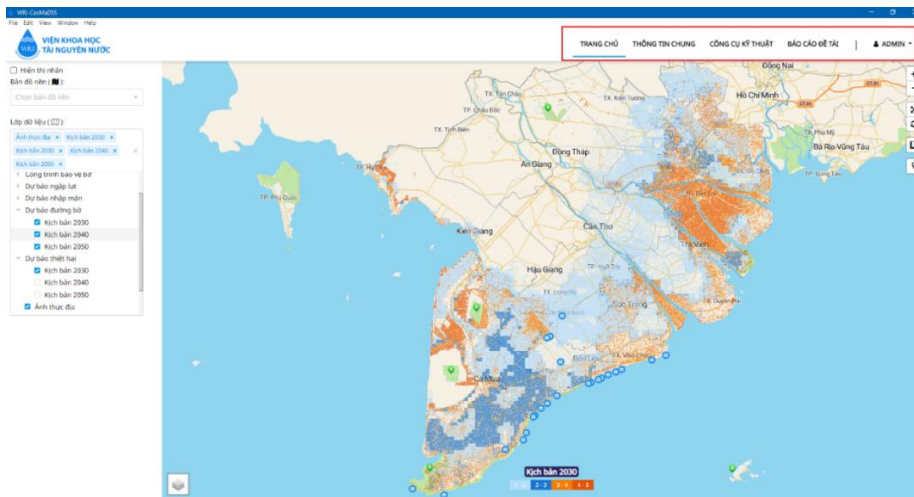
Bên cạnh chức năng hiển thị là chức năng phân tích giúp người dùng có thể tải lên các thông tin, kịch bản khác nhau để tiến hành so sánh, phân tích. Với các dữ liệu time-series, người dùng có thể chọn phân tích, so sánh dữ liệu theo tuần, tháng, ngày hoặc chọn trong một khoảng thời gian cụ thể. Với dữ liệu bản đồ, người dùng có thể so sánh các bản đồ tính toán, dự báo từ các kịch bản khác nhau để tiến hành phân tích, đánh giá các kịch bản.

2.4. Hệ thống cơ sở dữ liệu

Hệ thống cho phép quản lý, lưu trữ, biên tập hầu hết các loại dữ liệu và được nhóm thành 2 nhóm dữ liệu không gian và dữ liệu phi không gian như sau:

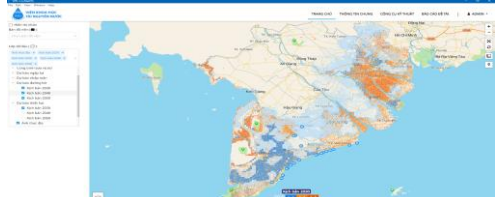
- Dữ liệu phi không gian: Cơ sở dữ liệu phi không gian thể hiện các đặc điểm, còn được gọi là dữ liệu thuộc tính hoặc thông tin mô tả của cơ sở dữ liệu không gian. Nó mô tả các khu vực và xác định các đặc điểm của các đặc trưng không gian trong các khu vực địa lý. Dữ liệu phi không gian thường là dạng chữ và số và cung cấp thông tin như màu sắc, kết cấu, số lượng, chất lượng và giá trị của các đặc điểm. Ngoài dữ liệu dạng số dữ liệu phi không gian còn bao gồm các dữ liệu file, hình ảnh do người dùng tải lên. Các dữ liệu này đều có thể liên kết với dữ liệu không gian hoặc không tùy theo nhu cầu người dùng.

- Dữ liệu không gian: Việc quản lý dữ liệu điều kiện tự nhiên, kinh tế - xã hội và kết quả tính toán không gian trở nên cần thiết. Các dữ liệu này giúp dự đoán và giải quyết các vấn đề biến động vùng bờ biển, mà còn đóng góp vào quá trình ra quyết định của các nhà lãnh đạo và quản lý, giúp họ có cái nhìn tổng quan và đưa ra các giải pháp hợp lý. Cơ sở dữ liệu không gian được bao gồm các dữ liệu dạng vector (dữ liệu điểm, đường, vùng) và dữ liệu dạng raster (ô lưới).



Hình 4. Trang chủ hệ thống WRI-CosMasDSS.

Bảng 2. Các chức năng hiển thị và phân tích

| Chức năng | Mô tả | Minh họa |
|------------------|---|--|
| TRANG CHỦ | Hiện thị các lớp dữ liệu theo lựa chọn các lớp dữ liệu được lựa chọn trực quan trên nền bản đồ. Đây chính là giao diện chính. |  |

THÔNG TIN CHUNG

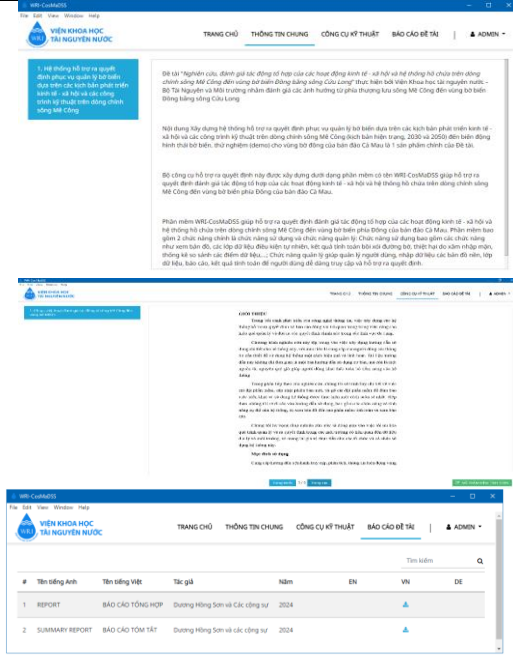
Thông tin chung là thông tin giới thiệu về Bộ công cụ.

CÔNG CỤ KỸ THUẬT

Với mục đích cụ thể, công cụ kỹ thuật sẽ chứa những nội dung liên quan đến các thành phần và nội dung kỹ thuật trong Bộ công cụ.

BÁO CÁO ĐỀ TÀI

Chức năng xem Báo cáo Đề tài bao cho phép xem các báo cáo đã được đưa lên dưới dạng dữ liệu word hoặc pdf.



3. Ứng dụng Hệ thống hỗ trợ ra quyết định quản lý vùng bờ biển ĐBSCL

Hệ thống WRI-CosMaDSS được xây dựng để đảm bảo nó có thể được sử dụng cho nhiều mục đích khác nhau của nhà quản lý. Để minh họa, ứng dụng hệ thống phục vụ hỗ trợ ra quyết định quản lý vùng bờ ĐBSCL được trình bày dưới đây.

3.1. Hiện thị dữ liệu

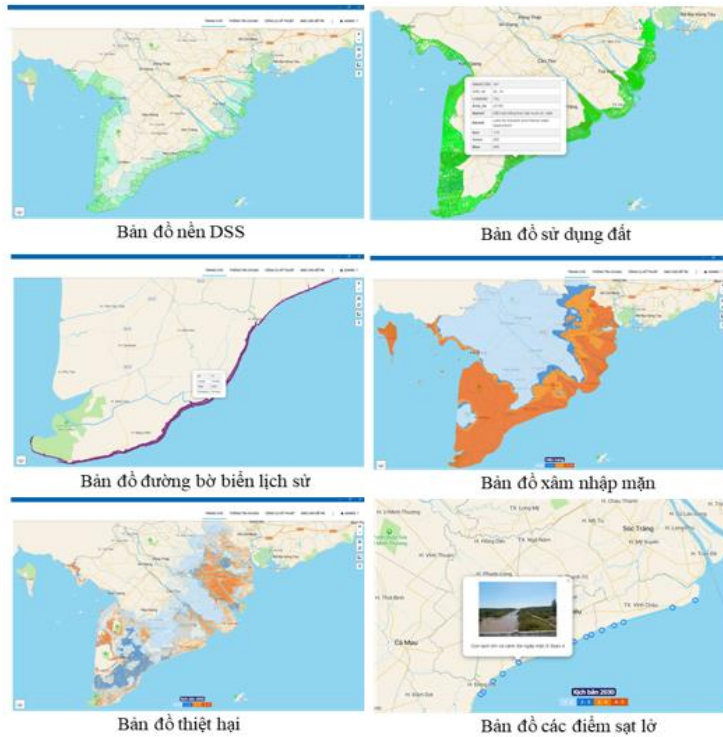
Để phục vụ xây dựng CSDL cho hệ thống quản lý vùng bờ ĐBSCL, các loại dữ liệu sau đã được thêm vào hệ thống WRI-CosMaDSS sử dụng các chức năng quản lý của hệ thống.

- Dữ liệu bản đồ nền: Các lớp dữ liệu được hiển thị cho đối tượng hành chính tỉnh, huyện, xã vùng ven biển ĐBSCL.

- Dữ liệu quan trắc: Các lớp được hiển thị bao gồm: sử dụng đất, lịch sử đường bờ, xâm nhập mặn, thiệt hại về kinh tế do xâm nhập mặn (năm 2020), vị trí các điểm sạt lở. Các dữ liệu nền và dữ liệu quan trắc lịch sử được trình bày ở Hình 4.

3.2. Phân tích, so sánh kịch bản

Để phục vụ đánh giá tác động của các kịch bản phát triển kinh tế - xã hội và các hồ chứa thượng nguồn trong bối cảnh biến đổi khí hậu và nước biển dâng, đề tài đã đưa các lớp dữ liệu và tổ chức các lớp dữ liệu này thành cây dữ liệu trên hệ thống WRI-CosMaDSS như trình bày ở Bảng 3. Các dữ liệu được chia thành các nhóm Hiện

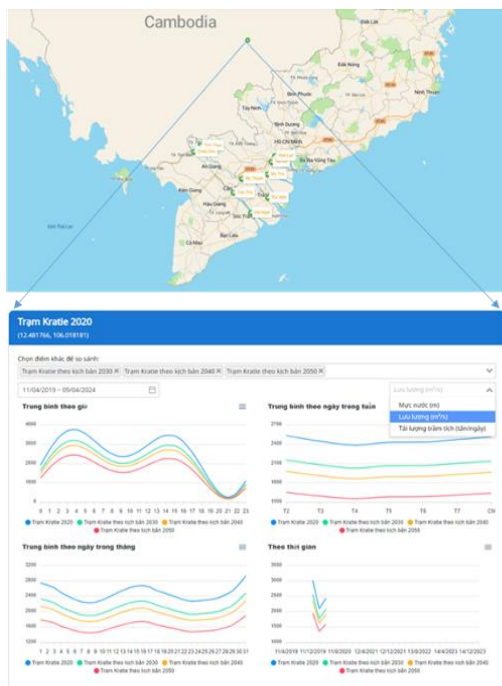


Hình 4. Các loại dữ liệu nền và lịch sử được thêm vào hệ thống WRI-CosMaDSS.

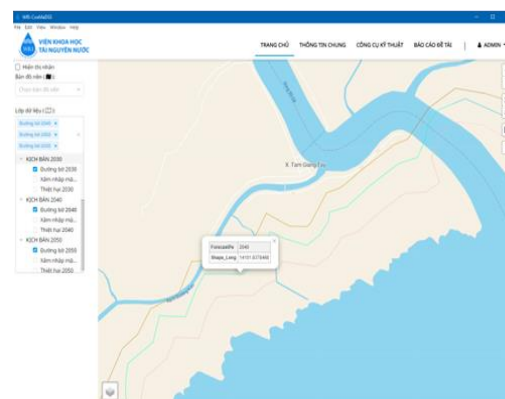
trạng, 2030, 2040 và 2050 [21]. Trong mỗi nhóm 3 loại dữ liệu được trình bày bao gồm: Bản đồ xâm nhập mặn, đường bờ và thiệt hại. Khi người dùng chọn thanh công cụ “Công cụ kỹ thuật”, các mô tả kịch bản hiện trạng (2020) và tương lai (2030, 2040, 2050) về các phát triển KT-XH, thủy điện và biến đổi khí hậu, nước biển dâng sẽ được mô tả. Đồng thời, tại các trạm thủy văn, các dữ liệu về lưu lượng, mực nước và hàm lượng bùn cát tương ứng với các kịch bản cũng được trình bày. Hình 5a trình bày ví dụ so sánh diễn biến mực nước tại trạm Kratie theo các kịch bản khác. Bằng cách tổ chức dữ liệu như vậy, các kịch bản hiện trạng và tương lai sẽ được so sánh đối chiếu bằng cách so sánh các đồ thị (Hình 5a) và các bản đồ (Hình 5b và các Hình từ 6 đến 8). Từ đó các tác động của các kịch bản phát triển thượng nguồn sẽ được đánh giá.

Bảng 3. Các lớp dữ liệu theo từng kịch bản cho vùng bờ ĐBSCL.

| TT | Tên lớp dữ liệu | Loại dữ liệu | Định dạng dữ liệu |
|----|-----------------|------------------|---------------------|
| | | Hiện trạng | |
| 1 | Xâm nhập mặn | Raster | Đồ màu (shape file) |
| 2 | Đường bờ | Vector (Polygon) | Đồ màu (Tiff file) |
| 3 | Thiệt hại | Raster | |
| | | 2030 | |
| 4 | Xâm nhập mặn | Raster | Đồ màu (shape file) |
| 5 | Đường bờ | Vector (Polygon) | Đồ màu (Tiff file) |
| 6 | Thiệt hại | Raster | |
| | | 2040 | |
| 7 | Xâm nhập mặn | Raster | Đồ màu (shape file) |
| 8 | Đường bờ | Vector (Polygon) | Đồ màu (Tiff file) |
| 9 | Thiệt hại | Raster | |
| | | 2050 | |
| 10 | Xâm nhập mặn | Raster | Đồ màu (shape file) |
| 11 | Đường bờ | Vector (Polygon) | Đồ màu (Tiff file) |
| 12 | Thiệt hại | Raster | Đồ màu (Tiff file) |

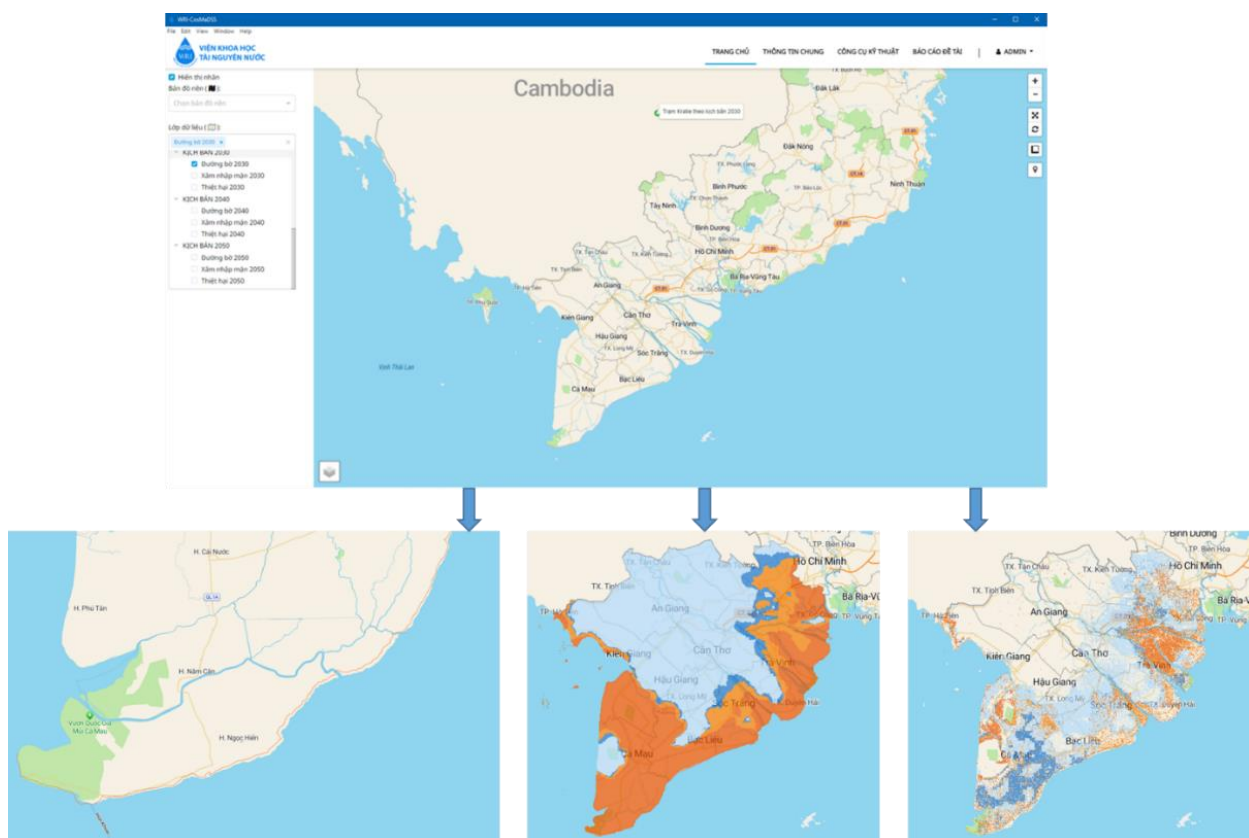


a) Diễn biến mực nước tại Kratie theo các kịch bản

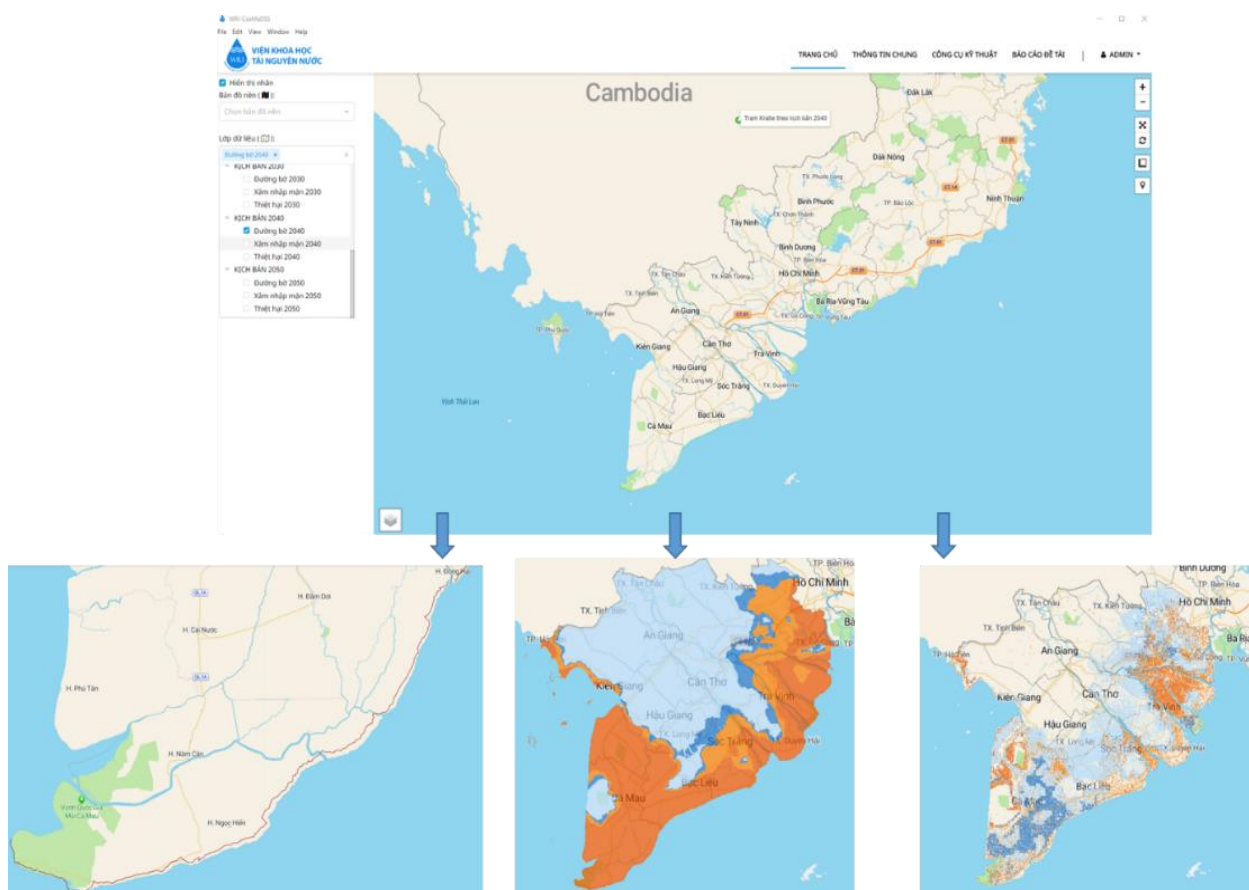


b) Diễn biến đường bờ theo các kịch bản

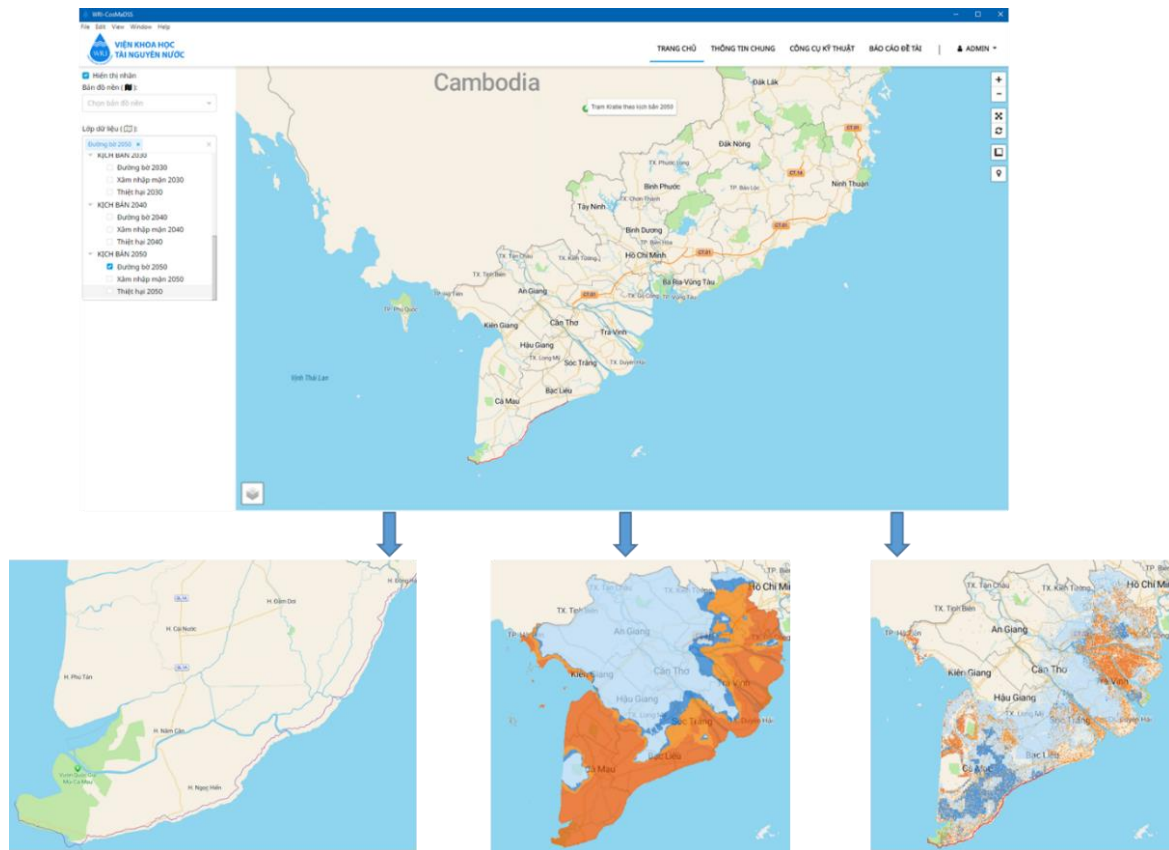
Hình 5. Diễn biến mực nước tại Kratie và đường bờ biển theo các kịch bản hiện trạng, kịch bản 2030, 2040, 2050.



Hình 6. Biến động vùng DBSCL (đường bờ, xâm nhập mặn, thiệt hại) ứng với kịch bản 2030.



Hình 7. Biến động vùng DBSCL (đường bờ, xâm nhập mặn, thiệt hại) ứng với kịch bản 2040.



Hình 8. Biến động vùng bờ biển ĐBSCL (đường bờ, xâm nhập mặn, thiệt hại) ứng với kịch bản 2050.

4. Kết luận

Bài báo này giới thiệu hệ thống hỗ trợ ra quyết định quản lý vùng bờ WRI-CosMaDSS được phát triển bởi Viện Khoa học tài nguyên nước. Giao diện được thiết kế thân thiện với người dùng sử dụng ngôn ngữ lập trình Javascript và các thư viện GIS và quản lý CSDL liên quan. Hệ thống bao gồm 2 chức năng chính là chức năng hiển thị và phân tích và chức năng quản lý. Các chức năng hiển thị và phân tích cho phép hiển thị, so sánh, lọc các dữ liệu và tài liệu liên quan, giúp người dùng phân tích, đánh giá các phương án từ đó lựa chọn phương án phù hợp với mục tiêu quản lý. Các chức năng quản lý giúp quản các lớp dữ liệu, báo cáo, hiển thị, cập nhật số liệu và các tài liệu liên quan đến chương trình.

Để minh họa, nghiên cứu đã thiết lập hệ thống hỗ trợ ra quyết định cho vùng bờ biển ĐBSCL dựa trên các kịch bản tác động của các phát triển kinh tế - xã hội thượng nguồn và phát triển thủy điện trên dòng chính sông Mê Công đến năm 2050. Các dữ liệu được đưa vào hệ thống bao gồm hành chính, sử dụng đất đai, điều kiện khí tượng - thủy văn, nguy cơ ngập lụt, xâm nhập mặn, đường bờ lịch sử, biến động đường bờ, thiệt hại kinh tế. Sử dụng các công cụ này, người dùng có thể so sánh, đánh giá tác động của các hoạt động phát triển KT-XH và phát triển hồ chứa thượng nguồn đến diễn biến xói lở/bồi tụ đường bờ biển vùng ĐBSCL, xâm nhập mặn và thiệt hại về kinh tế. Tuy nhiên, do thiếu các kịch bản tác động bảo vệ đường bờ, các kịch bản hiện tại mới dừng lại ở việc phân tích các tác động tương lai mà chưa đánh giá, phân tích tác động của các giải pháp thích ứng, giảm thiểu và bảo vệ đường bờ. Trong thời gian tới khi các kịch bản giảm thiểu này được xây dựng và tính toán, chúng có thể được đưa vào hệ thống DSS để phân tích, đánh giá tác động và đề xuất giải pháp phù hợp.

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

Lời cảm ơn: Nghiên cứu này được thực hiện dưới sự hỗ trợ của đề tài “Nghiên cứu, đánh giá tác động tổng hợp của các hoạt động kinh tế - xã hội và hệ thống hồ chứa trên dòng chính sông Mê Công đến vùng bờ biển đồng bằng sông Cửu Long” mã số: ĐTĐL.CN-56/21.

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. Phạm, T.O. Thích ứng với nước biển dâng: góc nhìn từ phân tích chi phí–nghiên cứu tại khu vực Đồng Bằng Sông Cửu Long. *Tạp chí Nghiên cứu Khoa học và Phát triển* **2022**, 1, 45–53.
2. Tran, T.V.; Tran, D.X.; Myint, S.W.; Huang, C.Y.; Pham, H.V.; Luu, T.H.; Vo, T.M. Examining spatiotemporal salinity dynamics in the Mekong River Delta using Landsat time series imagery and a spatial regression approach. *Sci. Total Environ.* **2019**, 687, 1087–1097.
3. Hoài, H.C.; Bảy, N.T.; Khôi, Đ.N.; Nga, T.N.Q. Phân tích nguyên nhân gây gia tăng xói lở bờ sông ở đồng bằng sông Cửu Long. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* **2019**, 703, 42–50.
4. Thành, N.T.; Phách, P.V.; Anh, L.N.; Minh, N.T.; Dũng, B.V.; Long, N.Q. Một số kết quả nghiên cứu về tốc độ tích tụ trầm tích phần chân châu thổ Mê Công và thềm kế cận. *Tạp chí các khoa học về trái đất* **2013**, 35(1), 10–18.
5. Khong, T.D.; Young, M.D.; Loch, A.; Thennakoon, J. Mekong River Delta farm-household willingness to pay for salinity intrusion risk reduction. *Agric. Water Manage.* **2018**, 200, 80–89.
6. Wassmann, R.; Phong, N.D.; Tho, T.Q.; Hoanh, C.T.; Khoi, N.H.; Hien, N.X.; Tuong, T.P. High-resolution mapping of flood and salinity risks for rice production in the Vietnamese Mekong Delta. *Field Crops Res.* **2019**, 236, 111–120.
7. Thuy, N.N.; Anh, H.H. Vulnerability of rice production in Mekong River Delta under impacts from floods, salinity and climate change. *Int. J. Adv. Sci. Eng. Inf. Technol.* **2015**, 5(4), 272–279.
8. Lam, N.T. Real-time prediction of salinity in the Mekong River Delta. In APAC 2019: Proceedings of the 10th International Conference on Asian and Pacific Coasts 2019, Hanoi, Vietnam **2020**, pp. 1461–1468.
9. Phương, T.A.; Trà, T.V.; Đức, N.A.; Sơn, D.H.; Cường, T.M.; Anh, P.N.; Linh, B.H.; Nhung, T.T. Nghiên cứu thử nghiệm xây dựng hệ thống giám sát và cảnh báo lũ, lụt và hạn hán tích hợp theo thời gian thực trên nền tảng WebGIS. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* **2022**, EMEA, 314–324.
10. Nam, N.V.B.; Ngọc, V.T.; Hung, N.N.; Quan, L.; Nguyen, L.D.; Binh, T.T.; James, G. Digital technologies for coastal resilience in the Mekong Delta: A review of the current digital technology landscape and forward visions for a resilient coast. Mekong Delta Climate Resilience Programme (MCRP, 2019-2025), 2023, pp. 105.
11. Loos, S.; Knippers, T.S.; Lobbrecht, A.H.; Velickov, S. Innovative decision support systems for water management: examples from the Netherlands. Netherland National Hydrology Conference, 2011.
12. Do, M.P. Application of GIS to evaluate saltwater intrusion on agricultural production in the Mekong Delta. Bachelor’s thesis of Environmental Engineering 2021, pp. 59.
13. Wright, D.J.; Dwyer, E.; Cummins, V. (Eds.). Coastal Informatics: Web Atlas Design and Implementation, Hershey, PA: IGI-Global. 2011, pp. 350. Doi: 10.4018/978-1-61520-815-9, ISBN:13-9781615208159.
14. Sheppard, S.R.J. Visualizing climate change: A guide to visual communication of climate change and developing local solutions, Routledge, London, 2012, pp. 514.

15. Conrads, P.A.; Roehl Jr, E.A. The use of data-mining techniques for developing effective decision support systems: a case study of simulating the effects of climate change on coastal salinity intrusion. *Geol. Soc. London Spec. Publ.* **2017**, 408(1), 221–234.
16. Zanuttigh, B.; Simcic, D.; Bagli, S.; Bozzeda, F.; Pietrantoni, L.; Zagonari, F.; Nicholls, R.J. THESEUS decision support system for coastal risk management. *Coastal Eng.* **2014**, 87, 218–239.
17. Gumbira, G.; Harsanto, B. Decision support system for an eco-friendly integrated coastal zone management (ICZM) in Indonesia. *Int. J. Adv. Sci. Eng. Inf. Technol.* **2019**, 9(4), 1177–1182.
18. Kumm, M.; Koponen, J.; Sarkkula, J. Assessing impacts of the Mekong development in the Tonle Sap Lake. Proceedings of the International Symposium on role of Water Sciences in Transboundary River Basin Management 2005, pp. 10–12.
19. Xie, J.; Liang, S.; Sun, Z.; Chang, J.; Sun, J. Design and implementation of a robust decision support system for marine space resource utilization. *ISPRS Int. J. Geo-Inf.* **2016**, 5(8), pp. 140.
20. Palinkas, C.M.; Orton, P.; Hummel, M.A.; Nardin, W.; Sutton-Grier, A.E.; Harris, L.; Williams, T. Innovations in coastline management with natural and nature-based features (NNBF): Lessons learned from three case studies. *Front. Built Environ.* **2022**, 8, 814–180.
21. Sơn, D.H.; Linh, B.H.; Đức, N.A.; Phương, T.A. Nghiên cứu đánh giá tác động kép của biến đổi khí hậu và các phát triển thượng nguồn đến xâm nhập mặn vùng Đồng bằng sông Cửu Long. *Tap chí Khí tượng Thủy văn* **2024**, 763, 13–23.

Introducing the WRI-CosMaDSS integrated coastal zone management decision support system: Case study for the Mekong Delta region

Duong Hong Son¹, Tran Thuy Nhung^{1*}, Tran Anh Phuong¹, Nguyen Anh Duc¹

¹ Water Resources Institute, Ministry of Natural Resources and Environment;
 dhson.monre@gmail.com; tranthuynhung1990@gmail.com;
 phuongtran.monre@gmail.com; nganhduc@yahoo.com

Abstract: In recent years, the decision support system (DSS) for coastal zone management has become an effective tool to support policy makers in selecting measures for coastal management and protection. This paper presents the GIS-based WRI-CosMaDSS developed by the Water Resources Institute using Javascript. The system is designed with two main function groups including management functions and display and analysis functions. The management functions support users in building tree databases, managing, editing, adding/deleting data that are analyzed, evaluated, and supported by the display and analysis functions. The system allows all types of spatial and non-spatial data to serve the data analysis and decision support process. WRI-CosMaDSS is very flexible, and therefore enables users to build a DSS system suitable to their requirements. To illustrate, the study built a DSS system for the Mekong Delta coastal zone. In this system, the coastline and salinity intrusion status can be analyzed and evaluated in the future, supporting decision makers understand the impacts of upstream socio-economical developments and hydropower dams on the Mekong Delta coastal region which is crucial to develop appropriate adaptation solutions.

Keywords: DSS; Mekong River; Coastal region; Javascript; WRI-CosMaDSS.

Bài báo khoa học

Giải pháp công trình phòng chống xói lở bờ biển Vĩnh Châu, tỉnh Sóc Trăng

Văn Hữu Huệ^{1*}

¹ Trường Đại học Xây dựng Miền Tây, Vĩnh Long; huuhuevan@gmail.com

*Tác giả liên hệ: huuhuevan@gmail.com; Tel.: +84-919235799

Ban Biên tập nhận bài: 22/4/2024; Ngày phản biện xong: 30/5/2024; Ngày đăng bài: 25/11/2024

Tóm tắt: Bờ biển ĐBSCL kéo dài khoảng 147 km, hàng năm sạt lở đã làm mất hàng trăm ha đất, mức độ sạt lở từ 5-45 m/năm. Nghiên cứu nguyên nhân và tìm ra giải pháp bảo vệ bờ biển là khẩn thiết. Sử dụng Plaxis 3D và tính toán theo tiêu chuẩn Việt Nam (TCVN), nghiên cứu đã đưa ra kết quả khảo sát, phân tích đánh giá địa hình, địa chất, chế độ gió, tính toán sóng... đã xác định nguyên nhân sạt lở là do áp lực sóng va đập và đề xuất giải pháp công trình kè giảm sóng bằng hệ thống cọc bê tông cốt thép (BTCT) bảo vệ khu vực nghiên cứu (KVNC). Kết quả nghiên cứu đã ứng dụng cho dự án “Phòng chống xâm thực, xói lở bờ biển Vĩnh Châu, thị xã (TX) Vĩnh Châu, tỉnh Sóc Trăng”. Dự án đã được phê duyệt theo Quyết định số 3261/QĐ-UBND, ngày 18/12/2023 của UBND tỉnh Sóc Trăng. Hiện nay dự án đang trong giai đoạn thi công.

Từ khóa: Bảo vệ bờ biển; Gây bồi tạo bãi; Kè giảm sóng; Kè Hồ Bể; Kè Vĩnh Châu.

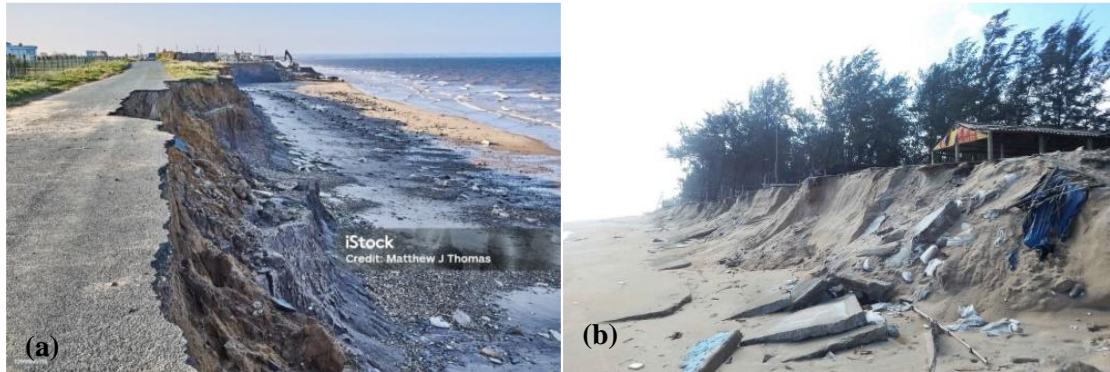
1. Giới thiệu

Trên thế giới, các giải pháp chống sạt lở bờ biển gồm nuôi dưỡng bãi biển, bơm cát lấp lại khu vực bị xói mòn, xây dựng tường chắn, mố hàn, trồng cây gây bồi tạo bãi hay giải pháp công nghệ mới phòng chống xói lở hữu hiệu [1]. Nuôi dưỡng bãi biển đã được thử nghiệm và thực sự hiệu quả dành cho các bãi biển, vì nó khôi phục tái tạo lại bờ biển trước đó [2]. Florida có 825,0 dặm (1.327,4 km) bờ biển. Tính đến năm 2021, hơn 426,6 (686,4 km) dặm bờ biển bị xói mòn khốc liệt. Các bãi biển bị xói mòn do bão, nước biển dâng,... đã thay đổi dòng chảy. Xói mòn làm giảm khả năng chịu lực của nền móng các công trình ven bờ dẫn đến sụp đổ. Xói mòn bãi biển là một quá trình diễn tiến lâu dài, diện tích bãi biển giảm dần, dẫn đến đất ven biển sạt lở. Sạt lở xảy ra do sóng va đập vào bờ biển, tần suất và cường độ của bão đóng vai trò chủ lực trong tốc độ xói mòn bờ biển. Khai thác cơ sở hạ tầng ven biển làm hạn chế dòng chảy ven biển, cản trở việc tự bổ sung nước cho bãi biển [3].

Skipsea, một ngôi làng nằm trên Bờ biển Holderness, Đông Yorkshire. Skipsea nằm trên nền đất sét mềm và có tốc độ xói mòn cao nhất ở Châu Âu. Giông bão và mực nước biển dâng đã làm cho 10 m vách đá biến mất khỏi bờ biển dài 2 dặm chỉ trong chín tháng (mức trung bình hàng năm là 4 m) [4].

Theo đánh giá WB (Ngân hàng Thế giới), NASA (Cơ quan Hàng không và Không gian Mỹ)... , với 3.260 km đường bờ biển kéo dài qua 28 tỉnh, thành phố, Việt Nam là một trong năm quốc gia trên thế giới bị ảnh hưởng nặng nề nhất từ nước biển dâng, xâm nhập mặn, biển xâm thực, bão, lốc... Thời gian qua, Việt Nam phải đối mặt với tình trạng biển xâm thực ngày càng nghiêm trọng và gây ra những tác hại không lường cho nông nghiệp cơ sở hạ tầng và tính mạng con người [5]. Sạt lở bờ biển làm cho Việt Nam mỗi năm mất hàng trăm ha đất; cụ thể là bờ biển: Gò Công Đông (Tiền Giang); Bình Đại (Bến Tre); Vĩnh Châu (Sóc Trăng); Nhà Mát, Gành Hào (Bạc Liêu); bờ biển Tây (Cà Mau), riêng Cà Mau, từ năm 2007 đến nay

đã mất hơn 8.800 ha rừng phòng hộ ven biển gây thiệt hại cho hệ sinh thái và tổn thất kinh tế lớn đối với đất nước. Hàng năm, Việt Nam phải dành nhiều kinh phí để tái tạo lại rừng phòng hộ và rừng ngập mặn [4].



Hình 1. (a) Xói mòn bờ biển tại Skipsea, East Yorkshire [4], (b) sạt lở bờ biển Đông, Việt Nam [5].

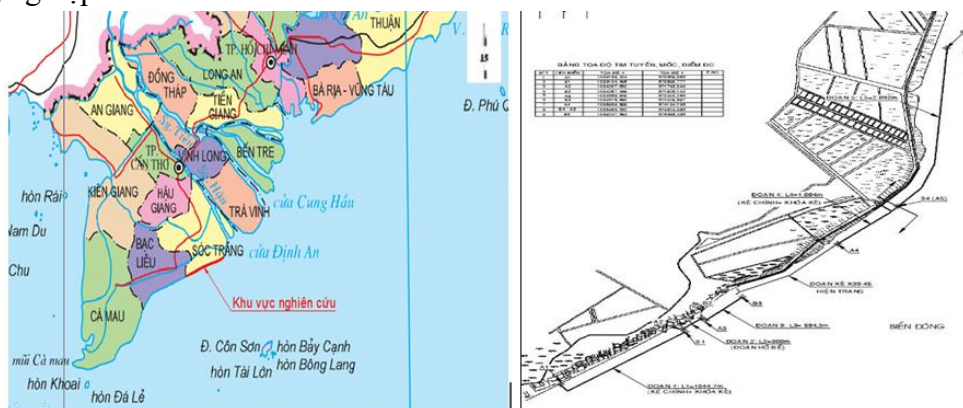
ĐBSCL đang phải đối diện nhiều thách thức về xói lở bờ biển, sạt lở cù lao [6], xâm nhập mặn, sụt lún, nước biển dâng, hạ thấp cao trình mực nước ngầm (dẫn đến mao dẫn phèn)... Theo Viện Khoa học Thủy lợi Miền Nam, ĐBSCL có khoảng 286 km đang trong tình trạng mất ổn định [7], sạt lở nghiêm trọng bờ sông, bờ biển, làm mất đất canh tác nông nghiệp, nuôi trồng thủy sản, nhà cửa, tài sản và sinh kế của nhân dân, ảnh hưởng đến an ninh quốc phòng. Một trong những nguyên nhân chính là việc hình thành các đập thủy điện trên thượng nguồn, đã làm suy giảm đến 96% lượng phù sa đổ về sông Tiền và sông Hậu [8]. Điều này làm giảm sút trầm tích để bồi lắng, bổ sung cho bờ biển cân bằng bùn cát. Mất cân bằng bùn cát kết hợp với các yếu tố thủy thạch động lực học bờ biển, sóng gió, nước dâng đã làm cho bờ biển sạt lở đáng kể [9]. Sóc Trăng là một tỉnh ven biển thuộc ĐBSCL, là nơi sông Hậu đổ vào biển Đông. Bờ biển dài 72 km với ba cửa sông lớn là Định An, Trần Đề, Mỹ Thanh đổ ra Biển Đông. TX. Vĩnh Châu nằm ven 43 km chiều dài bờ biển.

Mục đích nghiên cứu là xác định nguyên nhân sạt lở và đề xuất giải pháp công trình kè giảm sóng bằng hệ thống cọc BTCT bảo vệ bờ biển, gây bồi tạo bãi, khôi phục đường bờ hiện trạng, phát triển rừng ngập mặn KVNC.

2. Phương pháp nghiên cứu và tài liệu thu thập

2.1. Phạm vi nghiên cứu

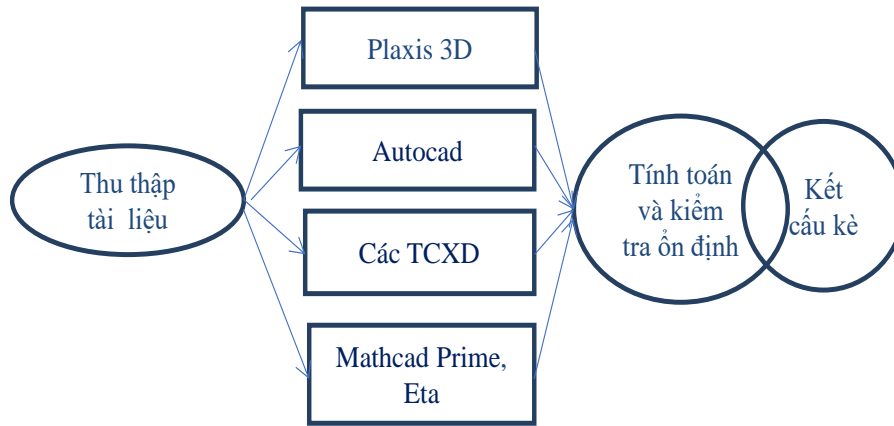
KVNC có chiều dài 6.725 m (Kè chính, Khóa kè và Kè Hồ Bể) ở Xã Vĩnh Hải, TX. Vĩnh Châu, tỉnh Sóc Trăng. KVNC nằm bên bờ biển Đông với điểm đầu cách cây số 15 khoảng 500 m về phía Bạc Liêu và được phân chia thành năm đoạn như hình 2. Thời gian thực hiện: Năm 2023-2024, KVNC đã hình thành dự án “Phòng chống xâm thực, xói lở bờ biển Vĩnh Châu, TX. Vĩnh Châu, tỉnh Sóc Trăng” [10], dự án cấp IV, nhóm B, thuộc công trình phục vụ nông nghiệp và PTNT.



Hình 2. Bản đồ vị trí KVNC (trái) và bản đồ phân chia 5 đoạn KVNC (phải).

2.2. Phương pháp nghiên cứu

Nghiên cứu đã sử dụng phần mềm Plaxis tính toán kết cấu (mục 2.5.2), ứng suất, biến dạng, nội lực, ổn định tổng thể [14]. Autocad để thể hiện bản vẽ (Hình 4-6). Mathcad Prime lập các bảng tính. Eta lập dự toán (Hình 3).



Hình 3. Sơ đồ tính toán.

2.3. Dữ liệu địa hình, địa chất và khí tượng thủy văn

2.3.1. Địa hình, địa mạo

Địa hình thấp và tương đối bằng phẳng, dạng lòng chảo, cao ở phía sông Hậu và biển Đông thấp dần vào trong, vùng thấp nhất là phía Tây và Tây Bắc, với cao trình từ +0,4 ÷ +1,5, độ dốc thay đổi khoảng 45 cm/km chiều dài. Địa hình dạng gợn sóng không đồng đều, do trầm tích của các quá trình biển tiến biển lùi thành tạo các giồng cát. Kênh rạch ảnh hưởng chế độ bán nhật triều không đều, triều dao động từ 0,4 ÷ 1,0 m [11].

2.3.2. Địa chất công trình

Căn cứ kết quả khảo sát hiện trường và kết quả thí nghiệm trong phòng [10], địa tầng tại 05 vị trí khảo sát có thể chia làm các lớp đất chính như sau: Lớp 1: Bùn sét, màu xám nâu, trạng thái chảy; Lớp 2: Cát mịn, màu xám nâu, trạng thái rời; Lớp 3: Bùn cát pha, màu xám nâu, trạng thái dẻo chảy; Lớp 4: Cát mịn, màu xám nâu, trạng thái rời; Lớp 5: Bùn sét pha, màu xám nâu, trạng thái dẻo chảy.

2.3.3. Đặc điểm về khí tượng

Nhiệt độ, độ ẩm không khí: KVNC thuộc vùng khí hậu nhiệt đới gió mùa cận xích đạo, có hai mùa rõ rệt: mùa mưa từ tháng 5-11 và mùa khô từ tháng 12-4. Nhiệt độ trung bình dao động trong khoảng 24,5-29,7°C. Độ ẩm dao động trong khoảng 68-89%.

Chế độ gió: KVNC có chế độ gió mùa. Gió Đông Bắc thổi từ tháng 12 năm trước đến tháng 4 năm sau. Gió Tây Nam thổi từ tháng 4-11. Địa hình tương đối đồng nhất nên trong cùng một hướng gió không đổi, nhưng tốc độ gió thay đổi, càng gần biển gió mạnh hơn, gió lên cao mạnh hơn gió mặt đất. Vận tốc gió trung bình 2 m/s (lớn nhất 31 m/s). Khoảng tháng 12 vào giai đoạn chuyển mùa, gió thổi ngược chiều dòng chảy sông Cửu Long [12] (mùa gió Chướng), mặn xâm nhập sâu vào đất liền.

Bảng 1. Vận tốc gió trung bình tháng và năm (Đơn vị: m/s) [11].

| Trạm | Tháng | | | | | | | | | | | | Năm |
|-----------|-------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | |
| Sóc Trăng | 1,9 | 2,3 | 2,2 | 1,8 | 1,4 | 1,6 | 1,7 | 1,9 | 1,4 | 1,0 | 1,4 | 1,5 | 1,7 |

2.3.4. Số liệu về hải văn

- Mức nước biển tính theo TCVN [13]. Mức nước biển tính toán cho công trình được xác định từ vị trí và tần suất tính toán cho trước theo phụ lục B TCVN 9901-2014: Công trình thủy lợi - Yêu cầu thiết kế đê biển [13].

- Tọa độ các điểm, cao độ mực nước tính toán ứng với đường tần suất mực nước tổng hợp từ tỉnh Bà Rịa - Vũng Tàu đến tỉnh Kiên Giang (Bảng 2).

Bảng 2. Cao độ mực nước tính toán ứng với tần suất tổng hợp (Đơn vị: cm).

| Tần suất P(%) | 0,5 | 1,0 | 2,0 | 5,0 | 10,0 | 20,0 | 50,0 | 99,9 |
|-------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Chu kỳ lặp lại (năm) | 200 | 100 | 50 | 20 | 10 | 5 | 2 | 1 |
| Cao độ mực nước biển tại KVNC | 275,0 | 236,0 | 204,0 | 178,8 | 175,0 | 173,3 | 171,5 | 164,7 |

Mức nước tính toán theo tần suất đối với công trình cấp IV là P = 3,33% thì nội suy từ tần suất P = 2% và P = 5% ta có mực nước tính toán là $Z_{tt} = 1,928$ m [13].

2.4. Tính toán áp lực sóng

2.4.1. Vận tốc gió thiết kế

Khi xác định các yếu tố của sóng do gió và nước dâng do gió, phải lấy tần suất bão tính toán đối với công trình cấp I, II là 2% (2 lần trong 100 năm), đối với cấp III, IV là 4 % (4 lần trong 100 năm) [15]. Tốc độ gió tính toán theo tần suất thiết kế được tính như sau:

- Vận tốc 10 phút, chu kỳ lặp 50 năm: $V_{10m.50} = 31$ m/s [11].
- Hệ số chuyển đổi chu kỳ 50 năm về chu kỳ 25 năm: $K_{m.25} = (0,95 + 0,97)/2 = 0,96$ [11].
- Vận tốc 10 phút, chu kỳ lặp 25 năm là: $V_{10m.25} = K_{m.25} \times V_{10m.50} = 29,76$ m/s.

2.4.2. Đà gió thiết kế

KVNC ở vùng bờ biển, không có yếu tố địa hình hạn chế, giá trị trung bình của đà gió D(m) ứng với một tốc độ gió W (m/s) xác định theo công thức:

$$D = 5 \times 10^{11} \times \frac{v}{W} \tag{1}$$

Trong đó v là hệ số nhớt động học của không khí, lấy bằng 10^{-5} m²/s; W = 29,76 m/s, suy ra D = 168.010 m.

2.4.3. Độ sâu mực nước trung bình của KVNC

Cao độ mực nước tính toán theo tần suất +1,928; Cao độ tự nhiên khu vực kê tính toán - 1,400; Độ sâu mực nước tính toán H = 1,928+1,400 = 3,328 m.

2.4.4. Tính toán chiều cao, chu kỳ sóng và chiều dài sóng

Giả thiết sóng sinh ra do gió trong KVNC trong điều kiện bão thiết kế, phù hợp khu vực chịu ảnh hưởng trực tiếp trên hướng gió thổi; sóng tính theo phương pháp này áp dụng công thức Bretshneider (2) và (3) [13]:

$$\frac{gH_s}{w^2} = 0,283 \tanh \left[0,530 \left(\frac{gh}{w^2} \right)^{0,750} \right] \tanh \frac{0,0125 \left(\frac{gD}{w^2} \right)^{0,42}}{\tanh \left[0,530 \left(\frac{gh}{w^2} \right)^{0,750} \right]} \tag{2}$$

$$\frac{gT_p}{w} = 2\pi \cdot 1,2 \tanh \left[0,83 \left(\frac{gh}{w^2} \right)^{0,375} \right] \tanh \frac{0,077 \left(\frac{gD}{w^2} \right)^{0,25}}{\tanh \left[0,833 \left(\frac{gh}{w^2} \right)^{0,375} \right]} \tag{3}$$

Thay các thông số về đà gió, độ sâu mực nước và vận tốc gió thiết kế vào công thức (2) và (3) ta có kết quả chiều cao sóng: $H_s = 1,139$ m. Chu kỳ đỉnh sóng: $T_p = 5,403$ s. Chiều dài sóng: Với thông số về độ sâu mực nước và chu kỳ sóng như trên thì chiều dài sóng được nội suy có kết quả như sau: $H = 3,328$ m và $T_p = 5,403$ s. Suy ra $L = 25,89$ m [13].

2.4.5. Tính toán áp lực sóng

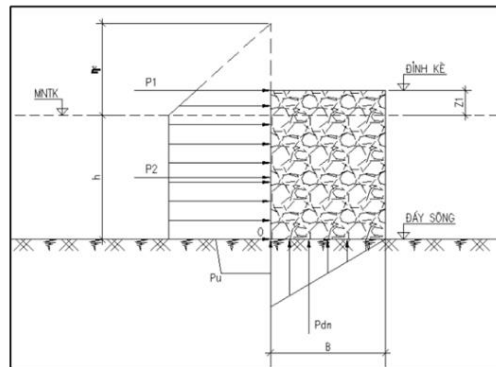
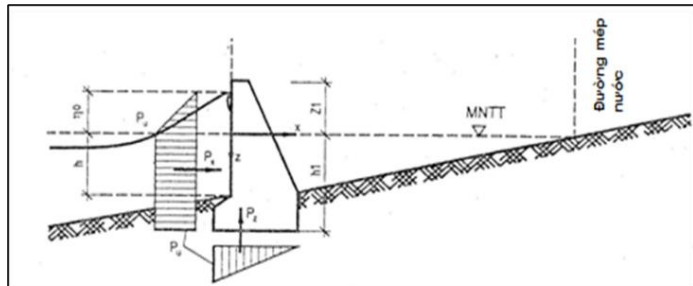
Áp lực sóng tác động lên đê được tính theo công thức tương tự như tường chắn sóng xa bờ [13]:

$$p = p_u = \xi_0 \times \gamma \times g \times H_{SD} \times \left(0,033 \frac{L_s}{h} + 0,75 \right) \tag{4}$$

$$\eta_c = - \frac{p_u}{\xi_0 \times \gamma \times g} \tag{5}$$

Trong đó p (kPa) là hợp lực của tải trọng sóng vỡ tác động lên tường giảm sóng; η_c (m) là độ cao lưng sóng so với mặt nước tính toán tại vị trí tường chắn sóng; H_{SD} (m) là chiều cao sóng tại vị trí sóng đổ lần cuối; ξ_0 là hệ số sóng vỡ; g (m/s^2) là gia tốc trọng trường; L_s (m) là chiều dài sóng thiết kế; h (m) là độ sâu mực nước trước chân công trình; γ (kg/m^3) là khối lượng riêng của nước biển.

Tính toán áp lực sóng cụ thể cho đoạn 1 được trình bày trong bảng 3. Kết quả tính toán áp lực sóng $p_u = 1,167$ T/m; $\eta_c = 0,183$ m.



Hình 4. Sơ đồ tính toán áp lực sóng.

Bảng 3. Phương pháp tính toán áp lực sóng cho đoạn 1.

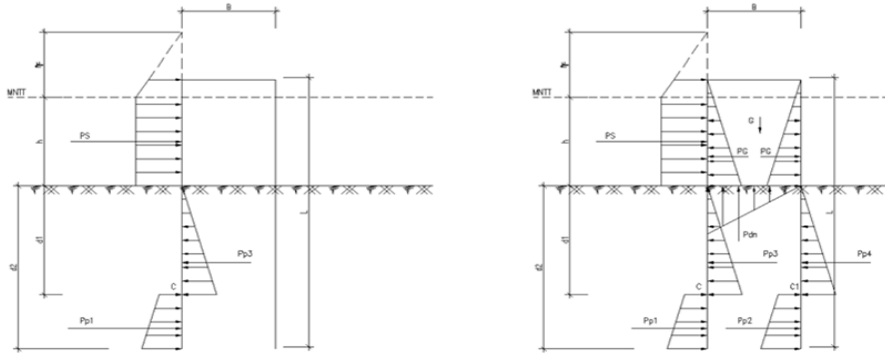
| STT | Thông số/Công thức tính |
|-----|---|
| I | Các thông số tính toán |
| 1 | Cao trình mực nước thiết kế Z_{tkp} (m) |
| 2 | Cao trình đỉnh kè thiết kế Z_d (m) |
| 3 | Cao trình chân kè Z_{ch} (m) |
| 4 | Chiều cao mực nước từ đáy công trình đến MNTK: $h = Z_{tkp} - Z_{ch}$ (m) |
| 5 | Chiều cao sóng H_{sp} (m) |
| 6 | Chu kỳ sóng T_p (s) |
| 7 | Chiều dài sóng L_s (m) |
| 8 | Độ dốc lớn đáy biển lớn nhất i (%) |
| 9 | Độ dốc của sóng: $S_0 = \frac{2\pi.H_{sp}}{g.T_p^2} \text{ (%) [16]}$ |
| 10 | Hệ số sóng vỡ: $\xi_0 = \frac{tg\alpha}{\sqrt{S_0}}$ |
| 11 | Chiều cao công trình: $H = Z_d - Z_{ch}$ (m) |
| 12 | Chiều rộng công trình B (m) |
| 13 | Chiều cao từ MNTK đến đỉnh kè Z (m) |
| 14 | Trọng lượng riêng của nước biển γ (T/m^3) |
| II | Áp lực sóng tính toán |

| STT | Thông số/Công thức tính |
|-----|--|
| 1 | $p_u = \xi_0 \cdot \gamma \cdot g \cdot H_{SD} \cdot (0,033 \frac{L_s}{h} + 0,75)$ (T/m) |
| 2 | $\eta_c = -\frac{P_u}{\xi_0 \cdot \gamma \cdot g}$ (m) |

2.5. Tính toán chiều dài cọc

2.5.1. Các trường hợp (TH) tính toán

- TH 1: Tổ hợp thi công khi chưa gia cố đá trong lòng kè chịu tác động của sóng;
- TH 2: Tổ hợp khai thác chịu tác động của sóng và tải trọng của đá trong lòng kè.



Hình 5. Sơ đồ tính toán ổn định kè TH 1 (trái) và TH 2 (phải).

2.5.2. Tính toán tải trọng tác dụng lên 1,0 m kè

- a) Các giai đoạn tính toán (Sử dụng phần mềm Plaxis 3D để tính toán) [14]
 - Giai đoạn 1: Thi công cọc ly tâm;
 - Giai đoạn 2: Thi công hệ đà giằng dọc và ngang;
 - Giai đoạn 3: Thi công đá hộc thân kè và chát tải khai thác;
 - Giai đoạn 4: Ổn định khai thác.
 - b) Thông số tính toán
 - Sử dụng các mô hình tính toán gồm: Mohr-Coulomb [17], Soft Soil và Linear elastic để mô phỏng các lớp đất và vật liệu sử dụng trong công trình;
 - Các chỉ số Cc, Cs, eo, kz từ thí nghiệm nén cố kết; C, φ từ thí nghiệm nén nhanh;
 - Tính toán mô đun đàn hồi của đất yếu (E):
 - + Với cát E được xác định theo công thức tương quan với chỉ số SPT theo Bowles (1988) thì $E_s = 320(N+15)$;
 - + Với đất E là mô đun biến dạng của đất nền giữa các trụ thì $E_s = 250S_u$; với S_u là sức kháng cắt không thoát nước của đất nền tính từ thí nghiệm VST [18].
- Cọc bê tông LTDUL, với cọc đường kính ngoài 30 cm chiều dày cọc là 6 cm có mô men uốn nứt bằng 4.

Bảng 4. Kết quả tính toán mô men uốn nứt [19].

| STT | Loại cọc | Cọc D300 mô men uốn nứt không nhỏ hơn (Tm) |
|-----|----------|--|
| 1 | A | 2,5 |
| 2 | B | 3,5 |
| 3 | C | 4,0 |

c) Kết quả tính toán cho đoạn 1

- Lựa chọn cọc D300 loại C có $[M] = 4,0 \text{ Tm} > M = 3,93 \text{ Tm}$: Thỏa yêu cầu;
- Hệ số an toàn $Kat = 1,486 > [Kat] = 1,45$: Thỏa yêu cầu;
- Lún kết cấu công trình: $U_z = 9,2 \text{ cm} < [U_z] = 10 \text{ cm}$: Thỏa yêu cầu.

- d) Tương tự tổng hợp kết quả tính toán cho 5 đoạn như bảng 5.
- Lựa chọn cọc D300 loại C có $[M] = 4,0$ Tm lớn hơn mô men lớn nhất của cả 5 đoạn là $M = 3,93$ Tm: Thỏa yêu cầu;
 - Hệ số an toàn nhỏ nhất của 5 đoạn $Kat = 1,486 > [Kat] = 1,45$: Thỏa yêu cầu;
 - Lún kết cấu lớn nhất của 5 đoạn: $Uz = 9,9$ cm $< [Uz] = 10$ cm: Thỏa yêu cầu;
 - Chọn $M = 4,05$ Tm và $M = 5,77$ Tm để tính thép cho dầm dọc và dầm ngang.

Bảng 5. Tổng hợp kết quả tính toán cho 5 đoạn.

| Tên đoạn | Hệ số ổn định tổng thể | Ổn định lún (cm) | Mô men dầm ngang (Tm) | Mô men dầm dọc (Tm) | Mô men cọc (Tm) |
|----------|------------------------|------------------|-----------------------|---------------------|-----------------|
| Đoạn 1 | 1,486 | 9,2 | 5,39 | 4,05 | 3,93 |
| Đoạn 2 | 1,992 | 9,9 | 4,66 | 2,50 | 3,43 |
| Đoạn 3 | 1,705 | 8,7 | 5,54 | 3,28 | 3,70 |
| Đoạn 4 | 1,827 | 9,6 | 5,77 | 3,56 | 3,67 |
| Đoạn 5 | 1,768 | 9,6 | 4,86 | 3,86 | 3,92 |

e) Kiểm tra ứng suất nền: Nền đủ khả năng chịu tải, không cần xử lý nền, về lâu dài sẽ gây ra hiện tượng lún nền do nhiều nguyên nhân; do đó để giảm lún, sử dụng phen tràm, gồm nhiều cừ tràm đan với nhau thành ô kích thước 20×20 cm.

2.5.3. Tính toán chiều dài cọc

Phương pháp tính chiều dài cọc tuân tự như bảng 6.

Bảng 6. Tính toán chiều dài cọc.

| TT | Thông số/Công thức |
|----|---|
| | Lực bị động 1 |
| 1 | Giá trị lực: $P_{p3} = 0,5 \times k_p \times \gamma_w \times d_1^2$ (T) |
| 2 | Cánh tay đòn: $L_{p3} = \frac{d_1}{3}$ (m) |
| 3 | Mô men đối với điểm C: $M_{p3} = P_{p3} \times L_{p3}$ (Tm) |
| | Lực bị động 2 |
| 1 | Giá trị lực: $P_{p1} = 0,5 \times k_p \times \gamma_w \times (d_2^2 - d_1^2)$ (T) |
| 2 | Cánh tay đòn: $L_{p1} = \left(\frac{d_1}{3} + \frac{2d_2}{3} \right) \times \frac{(d_2 - d_1)^2}{(d_2^2 - d_1^2)}$ (m) |
| 3 | Mô men đối với điểm C: $M_{p1} = P_{p1} \times L_{p1}$ (Tm) |
| | Áp lực sóng biển |
| 1 | Giá trị lực: P_s (T) |
| 2 | Cánh tay đòn: $Y_{Ps} = y_2 + d_1$ (m) |
| 3 | Mô men đối với điểm C: $M_{Ps} = P_s \times Y_{Ps}$ (Tm) |
| | Xác định chiều dài cọc |
| | Điều kiện cân bằng $\sum C = 0$ |
| | $\sum C = 0 = MP_{p3} + MP_{p1} - MP_s = 0$, Kết quả chiều dài cọc: 8,5 m. |

Bảng 7. Tính toán kiểm tra ổn định lật cọc 8,5 m.

| TH | Thông số |
|------|--|
| TH 1 | Mô men gây lật đối với điểm C ₁ : $M_{gl} = M_{Ps}$ (Tm) |
| | Mô men gây lật đối với điểm C ₁ : $M_{cl} = MP_{p3} + MP_{p4}$ (Tm) |
| | Hệ số ổn định: $K_{lat} = M_{cl} / M_{gl} = 1,048$ |
| | Hệ số ổn định lật cho phép $[K] = n_c \times K_n / m = 1,35$ |
| | <i>Kết luận: Công trình bị lật</i> |
| TH 2 | Mô men gây lật đối với điểm C ₁ : $M_{gl} = M_{Ps} + M_{Pu}$ (Tm) |
| | Mô men gây lật đối với điểm C ₁ : $M_{cl} = MP_{p3} + MP_{p4} + M_G$ (Tm) |

| TH | Thông số |
|----|--|
| | Hệ số ổn định: $K_{lat} = M_{cl}/M_{gl} = 1,48$ |
| | Hệ số ổn định lật cho phép $[K] = n_c \times K_n/m = 1,45$ |
| | <i>Kết luận: Công trình ổn định</i> |

Chiều dài cọc 8,5 m sẽ không thỏa ổn định lật trong TH 1. Do đó chọn cọc dài 9,0 m để tính toán. Kiểm tra độ ổn định lật cọc 9,0 m được thể hiện trên bảng 8.

Bảng 8. Kiểm tra ổn định lật cọc 9,0 m.

| TH | Thông số |
|------|---|
| TH 1 | Mô men gây lật đối với điểm C_1 : $M_{gl} = M_{Ps}$ (Tm) |
| | Mô men gây lật đối với điểm C_1 : $M_{cl} = MP_{p3} + MP_{p4}$ (Tm) |
| | Hệ số ổn định lật: $K_{lat} = M_{cl}/M_{gl} = 1,351$ |
| | Hệ số ổn định lật cho phép $[K] = n_c \times K_n/m = 1,35$ |
| | <i>Kết luận: Công trình ổn định</i> |
| TH 2 | Mô men gây lật đối với điểm C_1 : $M_{gl} = M_{Ps} + M_{Pu}$ (Tm) |
| | Mô men gây lật đối với điểm C_1 : $M_{cl} = MP_{p3} + MP_{p4} + M_G$ (Tm) |
| | Hệ số ổn định lật: $K_{lat} = M_{cl}/M_{gl} = 1,70$ |
| | Hệ số ổn định lật cho phép $[K] = n_c \times K_n/m = 1,45$ |
| | <i>Kết luận: Công trình ổn định</i> |

2.6. Tính toán các thông số mặt cắt kè

- Mực nước biển thiết kế ứng với tần suất thiết kế (gồm tổ hợp của tần suất mực nước triều, tần suất mực nước dâng do bão và các yếu tố tác động khác). Z_{tkp} phụ thuộc vào tần suất thiết kế (hay chu kỳ số năm lặp lại) và vị trí địa lý khu vực xây dựng công trình;

- Cao trình mực nước biển thiết kế tại vị trí điển hình dọc bờ biển từ Quảng Ninh đến Kiên Giang đã tính sẵn bằng tọa độ của các đường tần suất [13];

- Ứng với tần suất thiết kế $P = 3,33\%$, nội suy từ tần suất 2% và 5% ta được $Z_{tkp} = 1,928$ m [13];

- Định kè xác định theo công thức $Zđ = Z_{tkp} + 0,5H_{sp} + HL$ [13].

Trong đó $Zđ$ là cao trình đỉnh kè thiết kế; Z_{tkp} là mực nước biển thiết kế và H_{sp} (m) là chiều cao sóng thiết kế ở vị trí công trình; HL (m) là chiều cao lún trong thời gian khai thác.

Qua tính toán, kết quả các thông số kỹ thuật chính của kè được liệt kê trong bảng 9.

Bảng 9. Tổng hợp kết quả thông số mặt cắt kè.

| Tên đoạn | Cao trình đỉnh kè | Bề rộng đỉnh kè (m) |
|---------------|-------------------|---------------------|
| Đoạn kè chính | + 2,7 | 3,0 |
| Đoạn khóa kè | + 2,4 | 2,3 |
| Đoạn Hồ Bê | + 3,2 | 3,0 |



Hình 6. Cắt ngang đại diện (trái) và tổng thể kè giảm sóng khu vực Hồ Bê (phải).

2.7. Tính toán lún

a) Phương pháp tính

- Sử dụng phương pháp cộng lún từng lớp; xác định chiều sâu chịu lún của nền;
- Độ sâu chịu nén của nền là độ sâu ứng với $\sigma_z = 0,2\sigma_{zd}$.

Trong đó σ_{zd} là ứng suất bản thân ứng với độ sâu z: $\sigma_{zd} = \sum \gamma_i \times h_i$ (γ_i và h_i là dung trọng đầy nổi và chiều dày lớp đất thứ i); ứng suất tăng thêm dưới đáy móng $\sigma_z = 4 \times K \times (\sigma_{tb} - \sigma_d)$, (K là hệ số phụ thuộc vào L, B và z; σ_{tb} là ứng suất trung bình tại đáy móng quy ước; σ_d là ứng suất bản thân của đất tại đáy móng quy ước).

Công thức tính lún cho điểm nằm trên đường thẳng đi qua tâm đáy móng: Từ ứng suất bản thân và ứng suất gây lún kết hợp với đường cong nén lún p-e tính độ lún mỗi lớp dựa trên các thông số:

$$P_{li} = \frac{\sigma_{zi}^{bt} + \sigma_{zi-1}^{bt}}{2}; P_{2i} = P_i + P_{li}; s_i = \frac{e_{li} - e_{2i}}{1 + e_{2i}} h_i \tag{6}$$

Từ đó tính được độ lún mỗi lớp.

Sau đó xác định tổng độ lún:
$$S = m \times \sum s_i = \sum_{i=1}^n \frac{e_{li} - e_{2i}}{1 + e_{2i}} \times h_i \tag{7}$$

Hệ số hiệu chỉnh: m = 1,0 đối với nền thông thường và 1,3-1,6 đối với nền đê yếu.

b) Số liệu tính toán:

- Cao trình đỉnh kè thiết kế và mặt đất tự nhiên: +2,70 và -1,40;
- Cao trình mực nước ngầm và đáy móng: -1,40 và -1,40;
- Bề rộng và chiều dài móng: 3,0 m và 20,0 m;
- Áp lực tại tâm móng, áp lực sóng và áp lực gây lún: 3,69 T/m², 3,90 T/m² và 7,59 T/m².

3. Kết quả và thảo luận

3.1. Áp lực sóng

- Đà gió thiết kế: D = 168.010 m;
- Chiều dài sóng: L = 25,89 m;
- Tốc độ gió tính toán: W = V10m×25 = 29,76 m/s, gần với tốc độ gió đo ngoài hiện trường là 31 m/s, tốc độ gió lớn, gây áp lực sóng lớn (áp lực sóng tính được là p_u = 1,167 T/m); gây xói lở bờ biển lớn.

3.2. Kết quả tính toán ổn định cho các đoạn để chọn chiều dài cọc

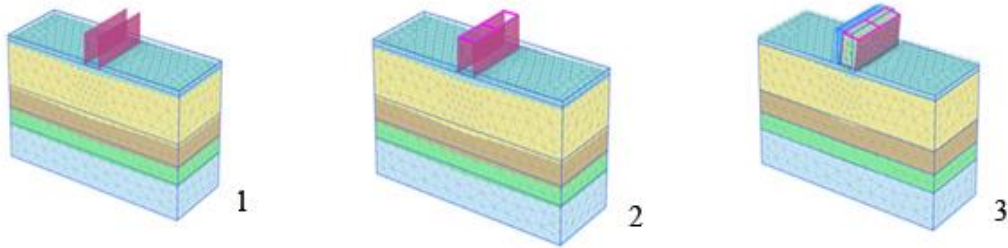
Bảng 10. Tổng hợp kết quả tính toán cho 5 đoạn.

| Tên đoạn | Chiều dài cọc (m) | Kết quả tính toán ổn định | | Kết luận |
|----------|-------------------|-----------------------------|----------------------|---------------|
| | | TH1 | TH 2 | |
| Đoạn 1 | 8,5 | 1,048 < [1,35] (Không thỏa) | 1,48 > [1,45] (Thỏa) | Không ổn định |
| | 9,0 | 1,351 > [1,35] (Thỏa) | 1,70 > [1,45] (Thỏa) | |
| Đoạn 2 | 8,5 | 1,13 < [1,35] (Không thỏa) | 1,65 > [1,45] (Thỏa) | Không ổn định |
| | 9,0 | 1,46 > [1,35] (Thỏa) | 1,88 > [1,45] (Thỏa) | |
| Đoạn 3 | 8,5 | 1,239 < [1,35] (Không thỏa) | 1,63 > [1,45] (Thỏa) | Không ổn định |
| | 9,0 | 1,58 > [1,35] (Thỏa) | 1,88 > [1,45] (Thỏa) | |
| Đoạn 4 | 8,5 | 1,31 < [1,35] (Không thỏa) | 1,68 > [1,45] (Thỏa) | Không ổn định |
| | 9,0 | 1,665 > [1,35] (Thỏa) | 1,94 > [1,45] (Thỏa) | |
| Đoạn 5 | 8,5 | 1,108 < [1,35] (Không thỏa) | 1,53 > [1,45] (Thỏa) | Không ổn định |
| | 9,0 | 1,422 > [1,35] (Thỏa) | 1,76 > [1,45] (Thỏa) | |

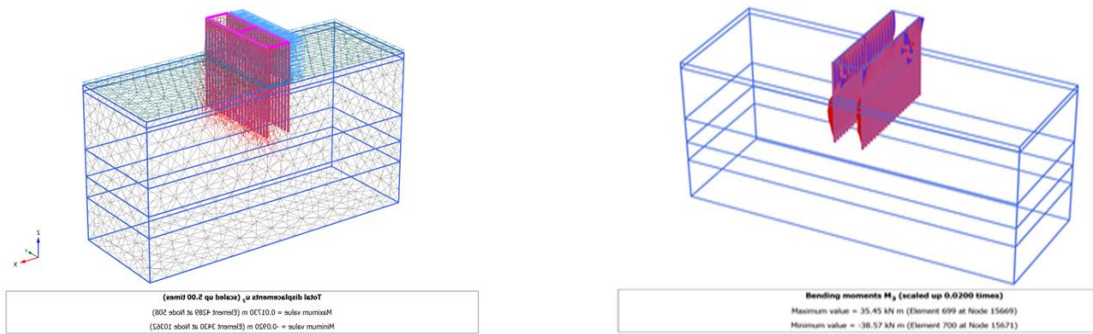
Qua kết quả tính toán đa phần cọc có chiều dài 8,5 m có hệ số an toàn nhỏ hơn hệ số an toàn cho phép [1,35] nên cọc không ổn định. Chọn cọc có chiều dài 9,0 m có hệ số an toàn lớn hơn hệ số cho an toàn cho phép, cọc ổn định; nên chọn cọc dài 9,0 m để thiết kế cho công trình (Bảng 10).

3.3. Kết quả tính toán nội lực, lún và ổn định tổng thể

3.3.1. Kết quả tính toán cho đoạn 1



Hình 7. Giai đoạn 1, 2, 3: Thi công cọc ly tâm, Thi công hệ đà giằng, Thi công hoàn chỉnh và khai thác.



Hình 8. Ổn định lún và mô men cột.

- Kết quả ổn định lún $U_z = 9,2 \text{ cm} < [U_z] = 10 \text{ cm}$ (thỏa). Mô men cột $3,92 \text{ Tm}$. $Kat = 1,486 > [Kat] = 1,45$ (thỏa). Kat thỏa cho 5 đoạn.

3.3.2. Kết quả tính lún cho 5 đoạn

Tính được tổng độ lún tại tâm móng cho 5 đoạn như bảng 11.

Bảng 11. Tổng hợp kết quả tính lún cho 5 đoạn.

| Tên đoạn | Độ lún tính toán (cm) | Chiều cao bù lún dự kiến (cm) |
|----------|-----------------------|-------------------------------|
| Đoạn 1 | 50,42 | 50,0 |
| Đoạn 2 | 47,27 | 50,0 |
| Đoạn 3 | 47,48 | 50,0 |
| Đoạn 4 | 47,25 | 50,0 |
| Đoạn 5 | 50,11 | 50,0 |

Độ lún không lớn, không ảnh hưởng kết cấu công trình nên trong quản lý khai thác cần dự phòng khối lượng bù lún bằng đá học thân kè cho đoạn 1, 2, 3, 4, 5 là 0,5 m.



Hình 9. Hình ảnh kè giám sóng đã xây dựng ở KVNC.

4. Kết luận

ĐBSCL mỗi năm mất hàng trăm ha đất, 24 bờ biển thường bị sạt lở với tổng đường bờ khoảng 147 km, tốc độ sạt lở từ 5-45 m/năm [4].

Gió mùa Đông Bắc - Gió Chướng (tháng 12) thổi trực diện vào đường bờ biển ĐBSCL trong đó có khu vực xã Vĩnh Hải, TX. Vĩnh Châu - KVNC, vận tốc gió lớn nhất 31 m/s, gây những đợt sóng lớn ập vào bờ biển; áp lực, tần suất và cường độ những cơn sóng này là nguyên nhân chủ yếu gây xói lở bờ biển.

Giải pháp công trình bảo vệ KVNC:

- Xây dựng đoạn kè chính có chiều dài 6.139 m, cao trình đỉnh +2,7, chiều rộng đỉnh 3,0 m, kết cấu gồm 02 hàng cọc BTCT LTDUL (đường kính D300 dài 9 m), trong lòng 02 hàng cọc được thả bè cừ tràm chống lún và thả đá hộ; đỉnh kè các cọc được liên kết với nhau bằng hệ thống dầm dọc, dầm ngang;

- Xây dựng đoạn khóa kè có chiều dài 286 m, cao trình đỉnh +2,4, chiều rộng đỉnh 2,3 m, kết cấu gồm 02 hàng cọc BTCT LTDUL (D300 dài 7 m), trong lòng 02 hàng cọc được thả bè cừ tràm chống lún và thả đá hộ; đỉnh kè các cọc được liên kết với nhau bằng hệ thống dầm dọc, dầm ngang;

- Xây dựng đoạn kè Hồ Bể có chiều dài 300 m, cao trình đỉnh +3,2, chiều rộng đỉnh 3,0 m, kết cấu gồm 02 hàng cọc BTCT LTDUL (D300 dài 9 m); trong lòng 02 hàng cọc được thả bè cừ tràm chống lún và thả đá hộ; đỉnh kè các cọc được liên kết với nhau bằng hệ thống dầm dọc, dầm ngang;

- Để bù lún cho khối đá của ba hạng mục thân kè trên, trong lòng công trình sẽ sử dụng thêm phen tràm (nhiều cừ tràm đan với nhau thành ô kích thước 20×20 cm), chiều cao bù lún bằng đá hộ thân kè cho đoạn 1, 2, 3, 4, 5 là 0,5 m.

Một số kiến nghị định hướng triển khai trong thời gian tới:

- Sau khi công trình hoàn thành, quản lý khai thác dự án nên kết hợp khai thác du lịch “Hóng sóng, hóng gió biển” ở KVNC;

- Kêu gọi đầu tư điện gió ngoài khơi KVNC nhằm giảm cường độ gió tác động vào bờ, giảm sóng tác động lên kè [20];

- Khi phía trong kè giảm sóng được gây bồi tạo bãi, nên trồng cây chắn sóng phát triển rừng phòng hộ, tạo cảnh quan thêm cho du lịch;

- Đầu tư hệ thống công nghệ viễn thám quan trắc diễn biến đường bờ biển cho KVNC và những nơi sạt lở xung yếu [21, 22];

- Nghiên cứu định lượng các nguyên nhân tác động, gây xói lở bờ sông, bờ biển ở ĐBSCL [23];

- Nghiên cứu những loại kết cấu công trình hay phi công trình triệt tiêu hay giảm năng lượng sóng khi vào bờ [24], hoặc tiếp nhận và khai thác năng lượng sóng phát điện hay phát ra nguồn năng lượng khác phục vụ sản xuất, kinh doanh, du lịch,...

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

Lời cảm ơn: Bài báo hoàn thành thông qua Dự án “Phòng chống xâm thực, xói lở bờ biển Vĩnh Châu, TX. Vĩnh Châu, tỉnh Sóc Trăng” do Liên danh Công ty Cổ phần TVXD Khánh Hưng và Công ty TNHH Ba Xuyên.

Lời cam đoan: Tác giả cam đoan bài báo này là công trình nghiên cứu của tác giả, chưa từng được công bố, không sao chép các nghiên cứu trước đây.

Tài liệu tham khảo

1. Tú, L.X. Nghiên cứu giải pháp hợp lý và công nghệ thích hợp phòng chống xói lở, ổn định dải bờ biển và các cửa sông Cừ Long, đoạn từ Tiền Giang đến Sóc Trăng, đề tài KHCN độc lập cấp quốc gia, mã số: ĐTDL.CN-07/17, Viện Khoa học Thủy lợi Việt Nam, 2022.

2. Trục tuyến: <https://www.floridamuseum.ufl.edu/earth-systems/blog/tell-me-about-beach-erosion-in-florida/>.
3. Trục tuyến: <https://gssb.com.my/how-does-beach-erosion-occur>.
4. Trục tuyến: <https://www.istockphoto.com/vi/anh>.
5. Trục tuyến: <https://famy.vn/tin-tuc/tinh-trang-bien-xam-thuc-dang-bao-dong-o-viet-nam>.
6. Huệ, V.H. Giải pháp công trình khắc phục sạt lở cồn Thanh Long. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* **2023**, 754, 26–43.
7. Huệ, V.H. Đánh giá ổn định bờ sông Cỏ Chiên tỉnh Vĩnh Long. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* **2023**, 752, 12–28.
8. Trục tuyến: <https://thanhnien.vn/giai-phap-cuu-bo-bien-dong-bang-song-cuu-long-851519918.htm>.
9. Viện Kỹ thuật Biển (ICOE). Dự án Kè chống sạt lở bờ biển khu vực xã Trường Hòa, thị xã Duyên Hải, tỉnh Trà Vinh. ICOE, 2023.
10. Công ty Cổ phần TVXD Khánh Hưng và Công ty TNHH Ba Xuyên. Dự án: Phòng chống xâm thực, xói lở bờ biển Vĩnh Châu, TX. Vĩnh Châu, tỉnh Sóc Trăng, 2023.
11. QCVN 02:2022/BXD. Quy chuẩn kỹ thuật QG về số liệu điều kiện tự nhiên dùng trong xây dựng, 2022.
12. Hồng, N.V.; Hoàng, T.T.; Vi, V.T.T.; Linh, H.T.M. Nghiên cứu tính toán dòng chảy khu vực cửa sông Cỏ Chiên bằng mô hình MIKE 21 FM. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* **2016**, 666, 21–25.
13. TCVN 9901 - 2014: Công trình thủy lợi - Yêu cầu thiết kế đê biển.
14. Plasix 3D. Phân tích tính toán địa kỹ thuật công trình.
15. TCVN 8421:2010. Công trình thủy lợi - Tải trọng và lực tác dụng lên công trình do sóng và tàu.
16. Kixelep, P.G.; Altsul, A.D.; Danhitsenko, N.V.; cs. Sổ tay tính toán thủy lực. Nhà xuất bản Nông nghiệp Hà Nội, 1984, tr. 715.
17. Fellunius, J. Calculations of the stability of earth dams. Proceedings of the Second Congress of Large Dams, Washington D.C. **1936**, 4, 63–445.
18. TCVN 9403:2012. Gia cố nền đất yếu, 2012.
19. TCVN 7888-2014: Cọc bê tông ly tâm ứng lực trước, 2014.
20. Tuấn, L.V.; Thảo, N.T.K. Nghiên cứu chế độ thủy động lực ven biển Trà Vinh sau khi xây dựng hệ thống điện gió và các công trình ven biển. *Tạp chí Khoa học và Công nghệ Thủy lợi* **2023**, 78, 25–38.
21. Duy, Đ.V.; Khoa, H.Đ. Quan trắc diễn biến đường bờ Cù lao Dung bằng công nghệ phân tích ảnh viễn thám. *Tạp chí Vật liệu và Xây dựng* **2023**, 13(2), 54–58.
22. Quỳnh, H.N.N.; Khôi, Đ.N.; Hoài, H.C.; Bảy, N.T. Ứng dụng viễn thám và Gis đánh giá biến động đường bờ sông Tiền và sông Hậu. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* **2018**, 690, 12–22.
23. Hùng, L.M.; Sãn, Đ.C. Những vấn đề cần tiếp tục nghiên cứu để lượng hóa các nhân tố gây sạt lở bờ sông bờ biển ở các tỉnh phía Nam”, Tuyển tập báo cáo và tham luận, hội thảo khoa học công tác nghiên cứu cơ bản trong lĩnh vực các khoa học về trái đất ở các tỉnh phía Nam, định hướng đào tạo và nhân lực phục vụ cho các mục tiêu phát triển bền vững, Đại học quốc gia TP HCM, **2002**, 323–329.
24. Linh, D.D.; Bằng, P.Đ.; Duy, Đ.V.; Thân, C.T.N.; Tỹ, T.V.; Bảo, T.G.; Đức, T.H. Mô phỏng khả năng giảm sóng của kè cọc ly tâm bằng mô hình Flow-3D. *Tạp chí Vật liệu và Xây dựng* **2023**, 13(04), 79–82.

Structural solutions to prevent coastal erosion in Vinh Chau, Soc Trang province

Van Huu Hue^{1*}

¹ Mien Tay Construction University, Vinh Long; huuhuevan@gmail.com

Abstract: The Mekong Delta coast stretches about 147 km, every year erosions have lost hundreds of hectares of land, the level of landslides is from 5-45 m/year. Researching the causes and finding solutions to protect the coast is urgent. Using Plaxis 3D and calculations according to Vietnamese standards, the study has provided survey results, analysis and assessment of terrain, geology, wind regime, wave calculation... and determined the cause of erosions which is due to the pressure of impact waves and a solution for wave-reducing embankment using a reinforced concrete pile system is proposed to protect the research area. The research results have been applied to the project “Prevention of erosion and coastal erosion of Vinh Chau, Vinh Chau town, Soc Trang province”. The project has been approved according to Decision No. 3261/QĐ-UBND, dated December 18, 2023 of the People's Committee of Soc Trang province. Currently the project is in the construction phase.

Keywords: Coastal protection; Cause sedimentation and form mudflats; Embankment or reduced ocean wave; Ho Be embankment; Vinh Chau embankment.

Bài báo khoa học

Nghiên cứu, ứng dụng mô hình phân loại chất thải rắn sinh hoạt tại trường học và hộ gia đình phường Vĩnh Trại, thành phố Lạng Sơn

Nguyễn Đức Toàn^{1*}, Trần Quang Trung², Nguyễn Thị Vân Anh³

¹ Bộ Tài nguyên và Môi trường; toantnmt@gmail.com

² Sở Tài nguyên và Môi trường tỉnh Lạng Sơn; trungnmtls@gmail.com

³ Hội bảo vệ thiên nhiên và môi trường Việt Nam; vananhmt2020@gmail.com

*Tác giả liên hệ: toantnmt@gmail.com; Tel.: +84-979716466

Ban Biên tập nhận bài: 2/5/2024; Ngày phản biện xong: 4/6/2024; Ngày đăng bài: 25/11/2024

Tóm tắt: Thu gom, phân loại chất thải rắn sinh hoạt tại nguồn (CTRSH) có vai trò quan trọng trong công tác quản lý chất thải rắn, góp phần giảm thiểu nguy cơ phát tán các tác nhân gây bệnh, các yếu tố độc hại nguy hiểm ra môi trường, tiết kiệm tài nguyên thiên nhiên, giảm chi phí phải xử lý chất thải. Nghiên cứu đã xây dựng được mô hình phân loại CTRSH tại nguồn trên địa bàn thành phố Lạng Sơn với quy cách phân loại như sau: chất thải rắn có khả năng tái sử dụng/tái chế chứa đựng trong thùng/bao bì màu trắng; chất thải thực phẩm chứa đựng trong thùng, bao bì màu xanh; chất thải rắn sinh hoạt khác chứa đựng trong thùng, bao bì màu cam. Nghiên cứu đã biên soạn các sổ tay, tài liệu hướng dẫn kỹ thuật phân loại CTRSH, thiết kế các pano, áp phích, băng zôn, phướn và phân phát, tuyên truyền, phổ biến đến trường học và các hộ gia đình phường Vĩnh Trại thành phố Lạng Sơn, nâng cao nhận thức cộng đồng, thay đổi, hành vi thói quen suy nghĩ về CTRSH. Kết quả ứng dụng mô hình phân loại CTRSH cho thấy 100% các trường học, 100% (trong 20 hộ gia đình kiểm tra) đã phân loại CTRSH đúng theo quy định. Tỷ lệ chất thải bỏ ra môi trường cần phải xử lý là 39% đối với trường học và 49,5% đối với hộ gia đình phường Vĩnh Trại.

Từ khóa: Mô hình; Phân loại; Chất thải rắn sinh hoạt; Tuyên truyền.

1. Đặt vấn đề

Sự phát triển mạnh mẽ của công nghiệp hóa, hiện đại hóa đi cùng với tốc độ phát triển kinh tế dẫn đến đời sống con người ngày càng được nâng cao, bên cạnh đó cũng làm tăng theo CTRSH cả về khối lượng và thành phần. Chất thải rắn sinh hoạt đang trở thành vấn đề cấp bách đã và đang gây khó khăn cho công tác thu gom, quản lý chất thải rắn trên cả nước [1]. Tổng khối lượng CTRSH phát sinh tại khu vực đô thị trong cả nước là 35.624 tấn/ngày, chiếm khoảng 55% tổng khối lượng CTRSH phát sinh của cả nước, trong đó thành phố Hà Nội và Hồ Chí Minh có khối lượng CTRSH đô thị phát sinh lớn nhất (12.000 tấn/ngày) [2], tỷ lệ CTRSH ở các đô thị phát sinh trên toàn quốc tăng trung bình 10-16% mỗi năm [3]. Lạng Sơn là tỉnh miền núi nằm ở phía Đông Bắc của Việt Nam, thành phố Lạng Sơn có lượng phát thải CTRSH năm 2022 là 40.124 tấn/năm (109,92 tấn/ngày) [4]. Nguồn phát sinh chất thải rắn sinh hoạt chủ yếu là: Hộ gia đình, khu thương mại dịch vụ (siêu thị, chợ, nhà hàng,...), công sở (cơ quan, trường học,...), các hoạt động sinh hoạt của cơ sở sản xuất, dịch vụ vệ sinh (cắt tỉa cây xanh, quét đường), khu công cộng (bến xe, khu vui chơi, công viên,...). Hiện nay, CTRSH trên địa bàn thành phố Lạng Sơn được thu gom và vận chuyển đưa đi xử lý tại bãi rác Tân Lang, huyện Văn Lãng. Mặt khác, nhận thức của người dân vẫn còn hạn chế, chưa

tự giác thực hiện phân loại CTRSH tại nguồn. Việc hình thành thói quen của cộng đồng dân cư, các tổ chức, cơ sở sản xuất kinh doanh,... trong việc phân loại rác tại nguồn cần có thời gian để tuyên truyền sâu rộng và đầu tư đề án xử lý, tái chế chất thải với công nghệ hiện đại, ít tác động đến môi trường [5].

Thực hiện phân loại CTRSH tại nguồn sẽ mang lại lợi ích về mặt kinh tế, xã hội và môi trường như Góp phần tiết kiệm tài nguyên thiên nhiên, bảo vệ môi trường; Tăng nguồn thu nhập từ việc tận thu nguồn chất thải tái sử dụng, tái chế; Tạo nguồn nguyên liệu sạch cho sản xuất phân hữu cơ; Giảm chi phí phải chi trả dịch vụ thu gom, vận chuyển và xử lý; Giảm chi phí phải xử lý chất thải; Giảm chi phí khám chữa bệnh do môi trường ô nhiễm gây ra; Tiết kiệm diện tích đất để chôn lấp chấp thải; Thu hút khách tham quan du lịch cho thành phố; giữ cho môi trường trong xanh, sạch và đẹp. Tại Nhật Bản, tiến hành sử dụng phương pháp Takakura Compost trong việc phân loại chất thải sinh hoạt, công nghệ này được đánh giá có nhiều ưu điểm vượt trội so với công nghệ đốt và chôn lấp [6, 7]. Phương pháp này sử dụng chất thải thực phẩm sự trên hoạt động của các vi sinh vật chuyển giai đoạn thối rữa của chất thải sang giai đoạn lên men [8]. Tại 23 khu phố ở Tokyo có hệ thống phân loại riêng, tất cả các chất thải có thể đốt cháy đựng trong túi màu đỏ, rác không thể đốt cháy đựng trong túi màu xanh dương, trong khi giấy, nhựa, chai lọ, nhựa mềm, báo bia, thủy tinh,... đựng trong túi màu trắng [9]. Hàn Quốc chất thải thực phẩm được tách riêng với chất thải rắn sinh hoạt và bỏ vào thùng riêng mà không mất phí. Mỗi gia đình phải mua túi nhựa đã được chứng nhận để xử lý chất thải trong khi xử lý chất thải rác tái chế riêng biệt có thể được xử lý miễn phí [10, 11].

Tại Việt Nam, mô hình thực hiện phân loại rác đã được thực hiện tại một số tỉnh thành phố, đạt được kết quả khả quan. Tháng 7/2022, tại Phường 2, Thành phố Đà Lạt đã thực hiện mô hình phân loại chất thải thành 3 nhóm: Chất thải rắn có khả năng tái sử dụng, tái chế; Chất thải thực phẩm; Chất thải rắn sinh hoạt khác [12], màu xanh đựng rác thực phẩm, rác hữu cơ; màu vàng cho các loại rác khác; màu đỏ cam đựng chai nhựa, giấy tái chế [13]. Tại Thái Bình, mô hình “thu gom và phân loại rác thải tại hộ gia đình” được Hội Phụ nữ xã thành lập và hướng dẫn cách phân loại rác thải hữu cơ, vô cơ, rác thải tái chế, cách xử lý, cách ủ phân hữu cơ bằng chính rác thải hữu cơ và men vi sinh [14, 15]. Xã Nhơn Châu (Bình Định), Hội liên hiệp phụ nữ phối hợp với Quỹ bảo vệ môi trường toàn cầu thực hiện mô hình phân loại chất thải theo ba loại gồm rác thải hữu cơ đựng thùng màu xanh được thu gom riêng để làm phân compost; rác thải có khả năng tái chế đựng vào thùng màu vàng được người dân thu bán phế liệu; rác thải vô cơ đựng vào thùng màu đỏ được thu gom và xử lý [16]. Luật Bảo vệ môi trường (BVMT) năm 2020 đã dành 6 điều (từ điều 75 đến điều 80) quy định rõ ràng về việc quản lý CTRSH, với nhiều nội dung mang tính đổi mới. Luật BVMT đã quy định CTRSH phát sinh từ hộ gia đình, cá nhân được phân loại thành 03 loại: Chất thải rắn có khả năng tái sử dụng, tái chế; Chất thải thực phẩm và CTRSH khác [17]. Luật đã căn cứ vào khối lượng và thể tích chất thải đã được phân loại để xác định chi phí thu gom, vận chuyển và xử lý CTRSH thay vì tính phí theo đầu người bình quân như hiện nay. Cơ sở thu gom có quyền từ chối thu gom, vận chuyển CTRSH của hộ gia đình, cá nhân không phân loại, không sử dụng bao bì đúng quy định và thông báo cho cơ quan có thẩm quyền để kiểm tra, xử lý theo quy định [17]. Phạt tiền từ 500.000 đồng đến 1.000.000 đồng đối với hành vi hộ gia đình, cá nhân không phân loại chất thải rắn sinh hoạt theo quy định; không sử dụng bao bì chứa chất thải rắn sinh hoạt theo quy định [18].

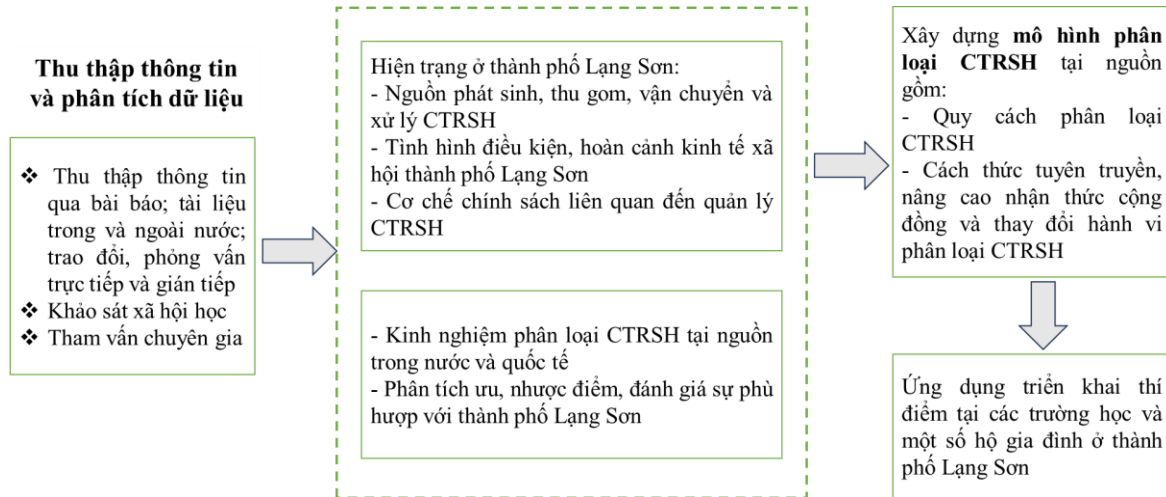
Nghiên cứu ứng dụng mô hình phân loại, thu gom chất thải rắn sinh hoạt tại nguồn trên địa bàn thành phố Lạng Sơn phù hợp với điều kiện kinh tế xã hội của thành phố Lạng Sơn và đảm bảo yêu cầu của Luật BVMT là rất cần thiết, thí điểm cho các đối tượng gồm 45 trường học, tại đây các em học sinh là thế hệ trẻ, tương lai của đất nước, sẽ là lực lượng nòng cốt, tích cực, hiệu quả trong việc nâng cao nhận thức cộng đồng về phân loại CTRSH tại nguồn, và một số hộ gia đình phường Vĩnh Trại trên địa bàn thành phố Lạng Sơn. Sự thành công của mô hình là tiền đề xây dựng cơ chế, chính sách về quản lý CTRSH và hướng tới phân loại

CTRSH trên địa bàn toàn tỉnh Lạng Sơn, được thực hiện chậm nhất là ngày 31 tháng 12 năm 2024 [17].

2. Phương pháp nghiên cứu

2.1. Phương pháp thu thập, tổng hợp số liệu

Nghiên cứu tiến hành thu thập các tài liệu liên quan đến hiện trạng môi trường chất thải rắn sinh hoạt ở thành phố Lạng Sơn; cơ chế chính sách; kinh nghiệm trong và ngoài nước về phân loại CTRSH. Các tài liệu thu thập được phân loại, sắp xếp theo các chủ đề và phân tích các chiều cạnh về phân loại CTRSH để đưa ra mô hình phân loại CTRSH phù hợp với tình hình thực tế ở thành phố Lạng Sơn (Hình 1).



Hình 1. Sơ đồ mô tả cách tiếp cận và phương pháp nghiên cứu.

2.2. Phương pháp khảo sát, điều tra xã hội học

Nghiên cứu tiến hành khảo sát, điều tra xã hội học 2 đợt, 100 hộ gia đình ngẫu nhiên tại phường Vĩnh Trại và 45 trường học trên địa thành phố Lạng Sơn; đợt 1 vào tháng 11 năm 2023 (trước khi có mô hình phân loại STRSH); đợt 2 vào tháng 4 năm 2024 (sau khi có mô hình phân loại CTRSH). Phiếu điều tra xã hội học được chia thành các nhóm đối tượng như sau: nhóm 1: trường học; nhóm 2: hộ gia đình. Nội dung phiếu hỏi nhận thức người dân, giáo viên về sự cần thiết và cách thức phân loại CTRSH.

2.3. Phương pháp thực nghiệm

Nghiên cứu chọn 20 hộ gia đình tại phường Vĩnh Trại và 45 trường học trên địa bàn thành phố Lạng Sơn thực hiện mô hình phân loại CTRSH trong vòng 01 tháng. Tiến hành cân khối lượng chất thải CTRSH đã được phân loại gồm chất thải có khả năng tái sử dụng, tái chế; chất thải thực phẩm; chất thải rắn sinh hoạt khác.

2.4. Phương pháp xử lý số liệu

Phương pháp này được sử dụng để tổng hợp kết quả khảo sát, điều tra xã hội học từ đó xây dựng mô hình phân loại CTRSH trên địa bàn thành phố Lạng Sơn phù hợp với tình hình thực tế.

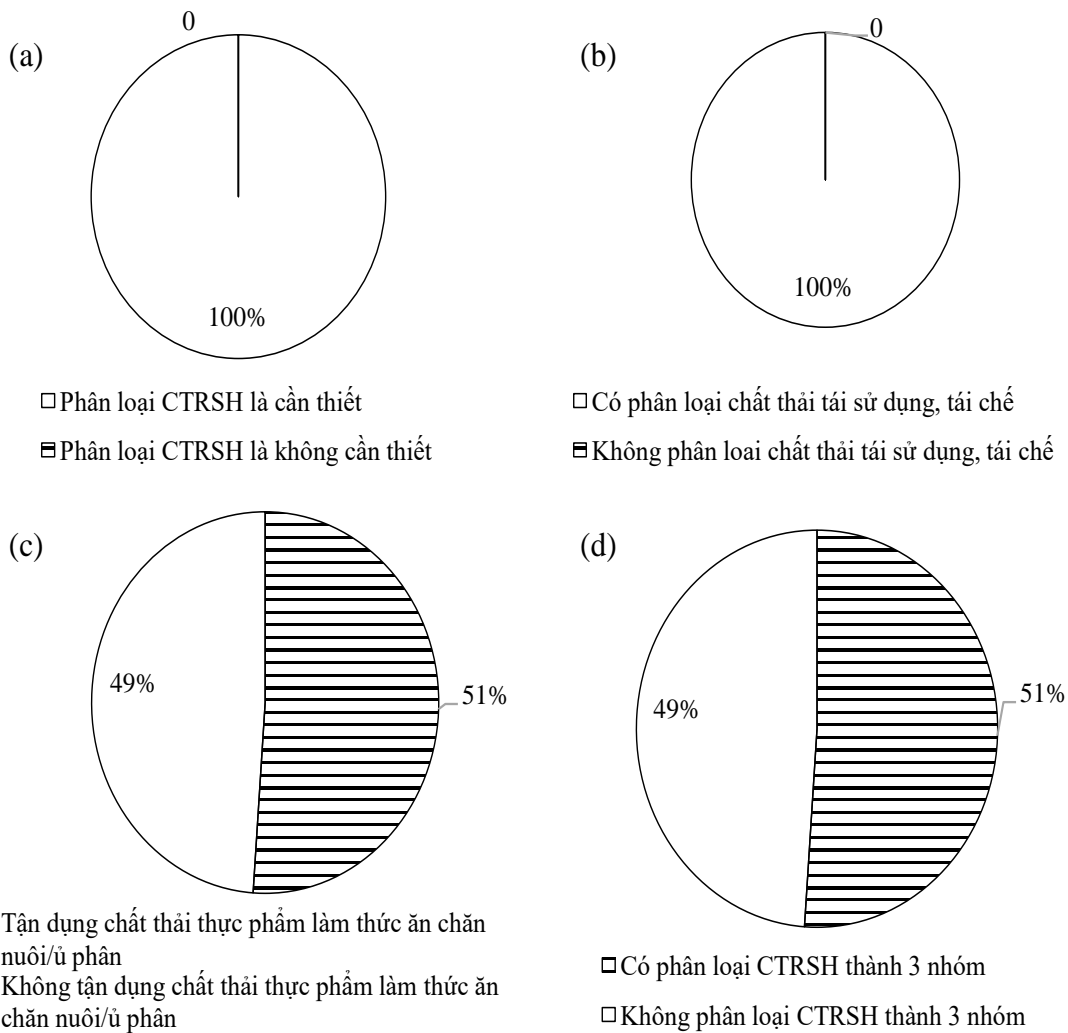
3. Kết quả và thảo luận

3.1. Hiện trạng về phân loại CTRSH tại các trường học và hộ gia đình phường Vĩnh Trại

a) Hiện trạng về nhận thức phân loại CTRSH tại các trường học

Thầy cô và các em học sinh tại các trường học đã có ý thức về phân loại CTRSH tại nguồn. 100% các trường đều cho rằng việc phân loại CTRSH là cần thiết (Hình 2a), 100%

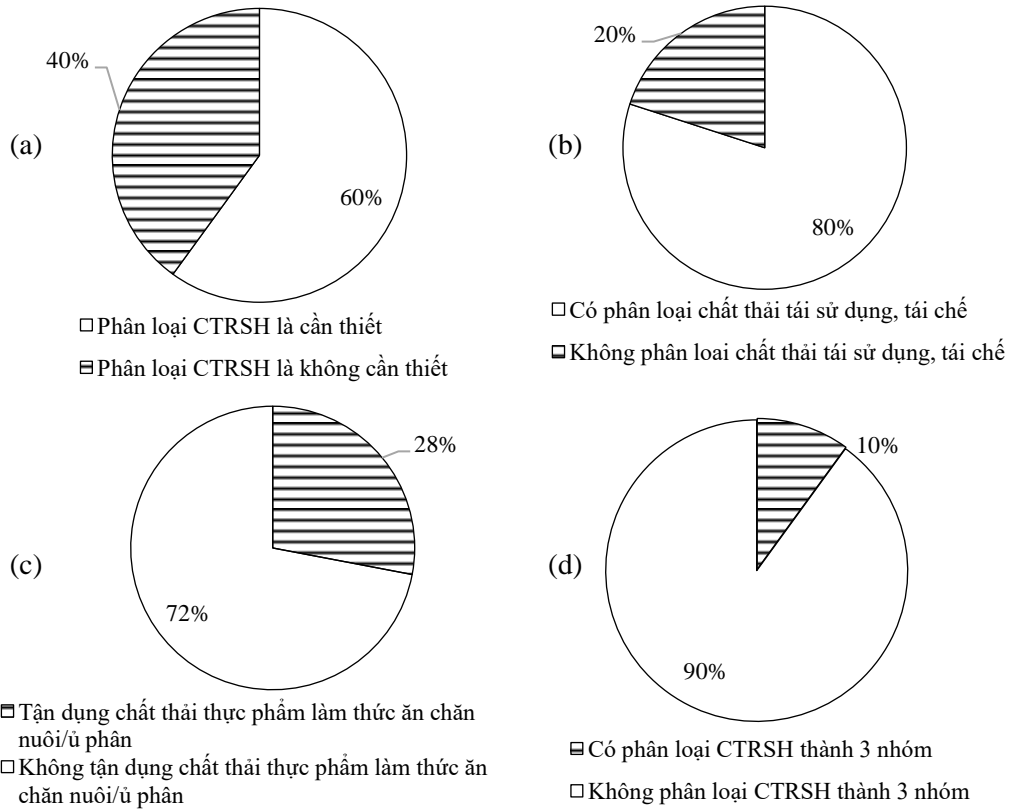
các trường đã có sự phân loại chất thải có khả năng tái sử dụng, tái chế (Hình 2b) như giấy, lon/chai nhựa, kim loại, lượng chất thải này được đem bán phế liệu thực hiện kế hoạch nhỏ của nhà trường. Đã có 23/45 trường học bán trú và nội trú thực hiện phân loại chất thải thực phẩm (chiếm 51%) (Hình 2c), tận dụng làm thức ăn chăn nuôi hoặc ủ phân. Tỷ lệ phân loại CTRSH thành 3 nhóm (tái sử dụng, tái chế; thực phẩm; và khác) của các trường khoảng 51% (Hình 2d). Tuy nhiên, các thầy cô còn kiêm nhiệm, đôi khi còn có những hạn chế về chuyên môn trong công tác quản lý chất thải rắn cũng như phân loại CTRSH, các thầy cô rất mong muốn được tập huấn và có những tài liệu để tham khảo, nâng cao kỹ năng, kiến thức về phân loại CTRSH.



Hình 2. Nhận thức của giáo viên về sự cần thiết và cách thức phân loại chất thải rắn sinh hoạt trên địa bàn thành phố Lạng Sơn.

b) Hiện trạng về nhận thức phân loại CTRSH tại các hộ gia đình

Khảo sát về nhận thức của người dân phường Vĩnh trại về việc phân loại CTRSH, 60% cho rằng là phân loại CTRSH là cần thiết, 40% cho rằng không cần thiết phân loại CTRSH (Hình 3a) vì việc phân loại chất thải sẽ mất thời gian, bỏ chung hết vào một túi dễ và đơn giản hơn. Hiện nay vẫn đang thu gom chung các chất thải vào một xe. Có 80/100 hộ (80%) được phỏng vấn đã có ý thức phân loại chất thải tái sử dụng, tái chế và lượng chất thải này họ thường đem bán cho các bà đổi hoặc cho những người thu gom chất thải (Hình 3b). Có 28% số hộ đã tận dụng chất thải thực phẩm làm thức ăn chăn nuôi/ủ phân (Hình 3c). Ngoài ra, số hộ gia đình thực hiện phân loại thành 3 nhóm chất thải chiếm 10% (Hình 3d), nhưng việc phân loại của các hộ gia đình này chưa đúng với quy định của Luật.



Hình 3. Nhận thức của người dân phường Vĩnh Trại về sự cần thiết và cách thức phân loại CTRSH.

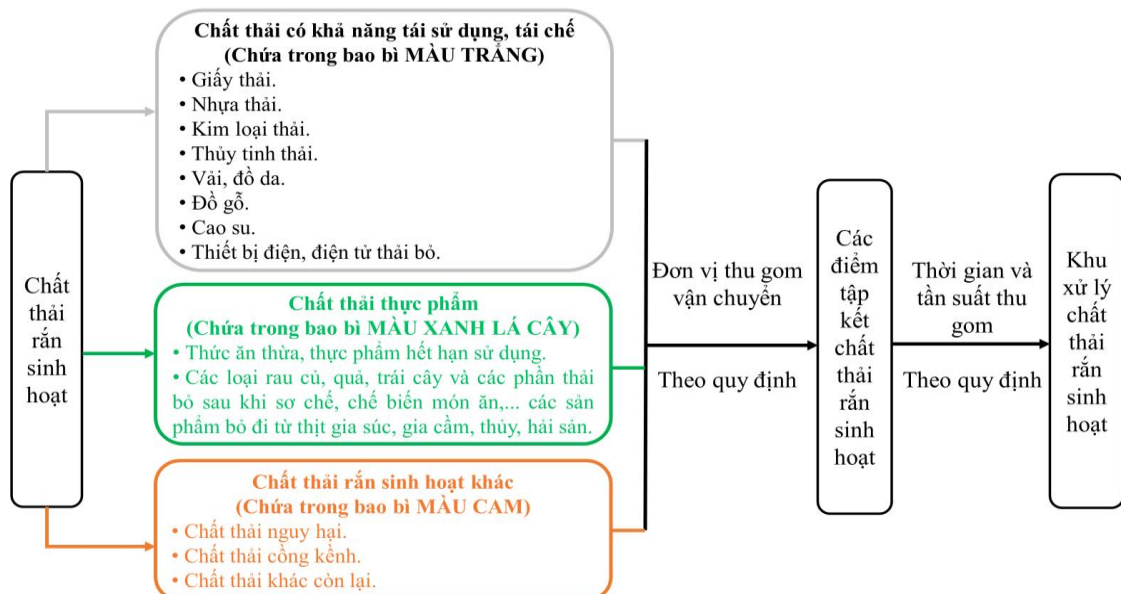
3.2. Mô hình phân loại CTRSH tại nguồn trên địa bàn thành phố Lạng Sơn

a) Quy định phân loại chất thải rắn sinh hoạt tại nguồn

Các loại chất thải được phân loại thành 03 nhóm, theo hướng dẫn số 9368/BTNM-KSONMT, ngày 2/11/2023 như sau: Chất thải có khả năng tái sử dụng, tái chế; Chất thải thực phẩm; Chất thải rắn sinh hoạt [19] (Hình 4).

b) Quy định màu sắc thùng, bao bì đựng CTRSH

Chất thải có khả năng tái sử dụng, tái chế được chứa trong bao bì, thùng màu trắng;
 Chất thải thực phẩm được chứa trong bao bì, thùng màu xanh lá cây;
 Chất thải rắn sinh hoạt khác được chứa trong bao bì, thùng màu cam.



Hình 4. Mô hình phân loại chất thải rắn sinh hoạt tại nguồn trên địa bàn thành phố Lạng Sơn.

- c) Quy định thu gom chất thải rắn sinh hoạt
- Chất thải rắn sinh hoạt sau khi được phân loại, mang ra điểm tập kết đúng giờ, đúng nơi quy định. Đơn vị thu gom không thu gom chất thải mang ra muộn và sẽ tiến hành thu gom vào ngày tiếp theo.
 - Đối với chất thải có khả năng tái sử dụng, tái chế: được chuyển giao cho tổ chức, cá nhân tái sử dụng, tái chế hoặc cơ sở có chức năng thu gom, vận chuyển chất thải rắn sinh hoạt [19].
 - Đối với chất thải thực phẩm: Được tận dụng làm phân vi sinh hoặc thức ăn cho vật nuôi [19]. Trong trường hợp không được tận dụng, thì được đem đến nơi tập kết đúng thời gian quy định.

3.3. Sổ tay và bộ tài liệu hướng dẫn kỹ thuật, phổ biến kiến thức và nâng cao nhận thức về phân phân loại CTRSH

a) Sổ tay hướng dẫn kỹ thuật phân loại CTRSH

Nghiên cứu đã thiết kế, xây dựng sổ tay hướng dẫn kỹ thuật phân loại CTRSH gồm 30 trang và 03 chương. Chương 1 nói lên sự cần thiết, ý nghĩa, mục đích của việc phải phân loại CTRSH tại nguồn; Chương 2 là hướng dẫn kỹ thuật, cách thức phân loại CTRSH tại nguồn; Chương 3 đưa ra một số quy định pháp luật về phân loại, lưu giữ, thu gom vận chuyển và xử lý chất thải rắn, một số quy định về xử phạt vi phạm hành chính liên quan đến phân loại CTRSH (Hình 5).

Nghiên cứu đã phát hành 45 cuốn sổ tay cho các đối tượng trường học, 12 quyển cho UBND Vĩnh Trại và các khối của phường.

b) Bộ tài liệu tuyên truyền, phổ biến kiến thức nâng cao nhận thức cộng đồng về phân loại CTRSH

Nghiên cứu đã phát hành tài liệu, áp phích và treo băng zôn tại các trường học, và các hộ gia đình phường Vĩnh Trại (Hình 6). Treo 30 cái phướn dọc các đường trục chính của thành phố Lạng Sơn (đường Bắc Sơn, đường Lê Hồng Phong, đường tỉnh 234B, đường Trần Đăng Ninh, đường Lê Đại Hành, đường Nguyễn Phi Khanh). Treo 03 bảng tuyên truyền tại các vị trí Sở Tài nguyên và Môi trường Lạng Sơn, Chi cục bảo vệ môi trường Lạng Sơn và Ủy ban nhân dân thành phố Lạng Sơn.



Hình 5. Hình ảnh Sổ tay và áp phích hướng dẫn phân loại CTRSH tại nguồn [20].

Các khẩu hiệu tuyên truyền đã được sử dụng cụ thể như sau:

- + Phân loại chất thải rắn sinh hoạt, hành động bắt đầu từ tôi.
- + Phân loại chất thải rắn sinh hoạt là hành động bảo vệ môi trường.

+ Thể hiện trách nhiệm với thiên nhiên, môi trường bằng việc phân loại chất thải rắn sinh hoạt.

- + Phân loại chất thải rắn sinh hoạt hành động ngay hôm nay.
- + Phân loại chất thải rắn sinh hoạt và mang ra đúng giờ đúng nơi quy định.
- + Tăng cường tái sử dụng, tái chế là tiết kiệm tài nguyên và bảo vệ môi trường.
- + Phân loại chất thải rắn sinh hoạt vì một thành phố lãng sơn xanh - sạch - đẹp
- + Chất thải thực phẩm có thể sử dụng làm phân bón hữu cơ, thức ăn chăn nuôi.
- + Phân loại chất thải rắn sinh hoạt sẽ giảm chi phí phải xử lý.
- + Chất thải có khả năng tái sử dụng, tái chế chứa trong bao bì, thùng màu đỏ.
- + Chất thải rắn sinh hoạt khác chứa trong bao bì, thùng màu vàng.
- + Chất thải thực phẩm chứa trong bao bì, thùng màu xanh lá cây.
- + Phân loại chất thải rắn sinh hoạt là hành động tăng thêm thu nhập.
- + Phân loại chất thải rắn sinh hoạt là hành động biến rác thành tiền.



Hình 6. Hình ảnh pano treo tại UBND Phường Vĩnh Trại.

c) Mô hình ngôi nhà xanh

Nghiên cứu đã thiết kế mô hình ngôi nhà xanh, thu gom chất thải rắn có khả năng tái sử dụng, tái chế. Ngôi nhà xanh được thiết kế 2 ngăn, có kích thước 1500×750×1500 mm; 01 ngăn thu gom giấy vụn, 01 ngăn thu gom các chai/lon nhựa, kim loại. Ngôi nhà xanh được phát cho 45 trường học trên địa bàn thành phố. Hướng dẫn các em học sinh thu gom, phân loại chất thải có thể tái sử dụng, tái chế, cùng chung tay góp phần thực hiện kinh tế tuần hoàn (Hình 7).



Hình 7. Mô hình ngôi nhà xanh thu gom chất thải rắn có khả năng tái sử dụng, tái chế tại các trường học.

3.4. Ứng dụng mô hình, triển khai tại các trường học và hộ gia đình phường Vĩnh Trại, thành phố Lạng Sơn

a) Kết quả ứng dụng mô hình phân loại CTRSH tại các trường học

Nghiên cứu lựa chọn các trường học là nơi triển khai thí điểm mô hình phân loại CTRSH, vì các em là thế hệ trẻ, tương lai của đất nước, từ đây sẽ lan tỏa những hành động đúng, những thông điệp tích cực về phân loại CTRSH.

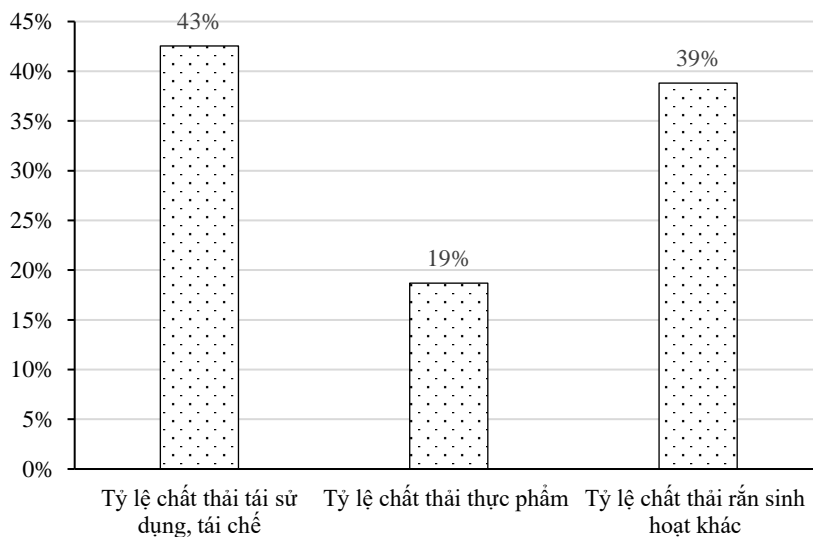
100% các trường học đã thực hiện phân loại CTRSH tại nguồn theo mô hình, chứa các loại chất thải đã phân loại vào đúng thùng đựng rác và thu gom các chất thải có khả năng tái sử dụng, tái chế vào ngôi nhà xanh. Bên cạnh đó, các thầy cô đã sử dụng sổ tay, tài liệu, những kiến thức đã được tập huấn, tích cực tuyên truyền và hướng dẫn cho các em học sinh cách thức phân loại CTRSH theo đúng mô hình, đúng quy định (Hình 8).



Hình 8. Các trường học tập huấn cho các em học sinh phân loại CTRSH tại nguồn.

Trong 01 tháng triển khai thí điểm, các trường đã thu gom 1.180 kg chất thải có khả năng tái sử dụng, tái chế tại ngôi nhà xanh. Tỷ lệ chất thải đã được phân loại tại các trường như sau:

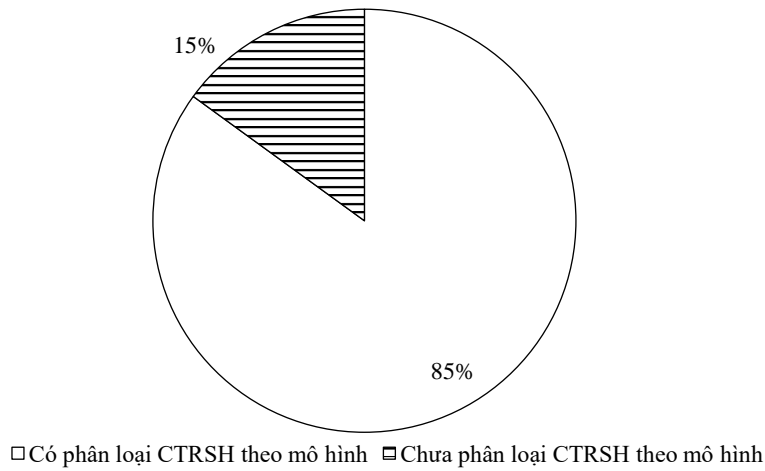
Chất thải có khả năng tái sử dụng, tái chế chiếm 43%, chất thải thực phẩm chiếm 19% và chất rắn sinh hoạt khác chiếm 39% (Hình 9). Việc phân loại CTRSH theo mô hình đã tăng cường tái sử dụng, tái chế, tận dụng hiệu quả nguồn chất thải thực phẩm và giảm tương đối nhiều lượng chất thải rắn thải bỏ ra môi trường, cần phải xử lý, giảm thiểu nguy cơ gây ô nhiễm môi trường, tiết kiệm kinh phí xử lý chất thải.



Hình 9. Tỷ lệ CTRSH đã phân loại tại trường tại ngôi nhà xanh và thùng đựng rác.

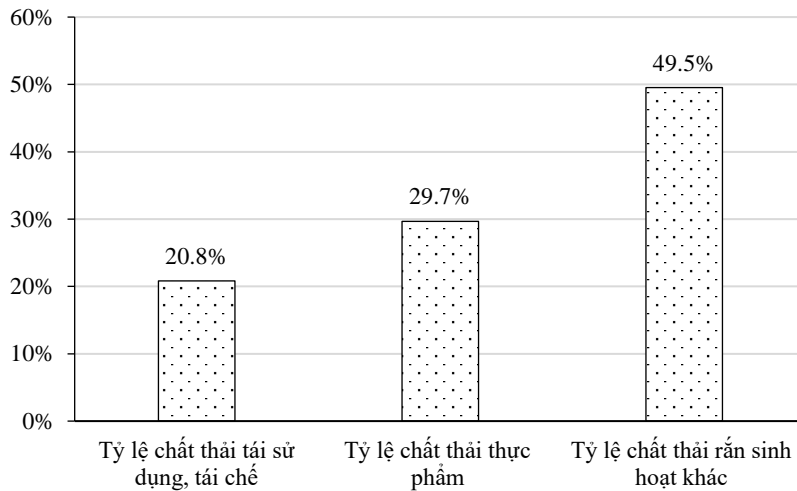
b) Kết quả ứng dụng mô hình phân loại CTRSH tại các hộ gia đình

Triển khai mô hình phân loại CTRSH tại các hộ gia đình phường Vĩnh Trại, ý thức của người dân về phân loại CTRSH tại nguồn tăng lên đáng kể, người dân hiểu và nhận thức được sự cần thiết phải phân loại CRSH và tích hưởng hưởng ứng thực hiện phân loại CTRSH và tỷ lệ số hộ gia đình thực hiện phân loại CTRSH theo mô hình là 85% (Hình 10).



Hình 10. Tỷ lệ hộ gia đình phường Vĩnh Trại thực hiện phân loại CTRSH tại nguồn.

Trong số 20 hộ gia đình được kiểm tra, 100% đã nhận thức được cần phải phân loại CTRSH, 100% số hộ đã phân loại đúng theo quy định. Tỷ lệ chất thải tái sử dụng, tái chế chiếm 20,8% được các hộ gia đình lưu giữ trong nhà dùng để bán phế liệu, tạo ra một khoản thu nhập nhỏ cho gia đình. Tỷ lệ chất thải thực phẩm chiếm 29,7% trong đó có một số hộ dùng làm thức ăn chăn nuôi, ủ phân bón cây trồng. Tỷ lệ chất thải rắn sinh hoạt khác chiếm 49,5% được thu gom xử lý (Hình 11).



Hình 11. Tỷ lệ CTRSH được phân loại tại các hộ gia đình phường Vĩnh Trại.

Việc phân loại CTRSH theo mô hình, đã góp phần thúc đẩy tăng cường tái sử dụng, tái chế chất thải sản phẩm thải bỏ, tận dụng tối đa giá trị, kéo dài vòng đời sản phẩm, vật liệu; giảm thiểu tối đa lượng chất thải rắn sinh hoạt phát sinh ra môi trường; giảm lượng chất thải cần xử lý và giảm thiểu ô nhiễm môi trường.

4. Kết luận

Nghiên cứu đã xây dựng mô hình phân loại chất thải rắn sinh hoạt tại nguồn trên địa bàn thành phố Lạng Sơn, đúng theo quy định pháp luật và phù hợp với tình hình thực tế của thành phố. Ứng dụng, triển khai thí điểm mô hình phân loại đối với 45 trường học và một số hộ gia đình phường Vĩnh Trại trên địa bàn thành phố Lạng Sơn, nâng cao nhận thức cộng đồng, thay đổi, hành vi thói quen, suy nghĩ về chất thải. Kết quả nghiên cứu, người dân hiểu được chất thải là tài nguyên, việc thực hiện phân loại CTRSH là thực hiện theo đúng pháp luật và mang lại lợi ích về kinh tế, về xã hội cũng như lợi ích về môi trường. Đối với trường học, 100% thực hiện phân loại theo đúng quy định, tỷ lệ chất thải rắn thải bỏ ra môi trường giảm

xuống còn 39%, tận thu chất thải thực phẩm 19%, tăng cường chất thải có khả năng tái sử dụng, tái chế (chiếm 43%); Đối với các hộ gia đình, ý thức thực hiện phân loại đã tăng lên đáng kể 85% đã thực hiện phân loại CTRSH theo đúng mô hình, 100% trong 20 hộ gia đình đã phân loại chất thải và bỏ đúng màu thùng quy định, đã phân loại được 20,8% chất thải có khả năng tái sử dụng, tái chế, 29,7% chất thải thực phẩm và 49,5% chất thải rắn sinh hoạt khác.

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

Lời cảm ơn: Bài báo hoàn thành nhờ vào kết quả của thực hiện đề án của tỉnh Lạng Sơn: “Tuyên truyền, triển khai thí điểm mô hình thu gom, phân loại chất thải rắn sinh hoạt tại nguồn trên địa bàn thành phố Lạng Sơn”.

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. Bình, P.T.T.; Luan, M.T.; Van, N.T. Đánh giá thực trạng và đề xuất mô hình phân loại, xử lý rác thải sinh hoạt quy mô hộ gia đình tại huyện Yên Định, tỉnh Thanh Hóa. *Tạp chí khoa học Trường đại học Hồng Đức* 2022, 62, 7–16.
2. Bộ Tài nguyên và Môi trường. Báo cáo hiện trạng môi trường quốc gia, giai đoạn 2016-2020. Nhà xuất bản dân trí, Hà Nội, 2021, tr. 191.
3. Bộ Tài nguyên và Môi trường. Báo cáo môi trường quốc gia 2017, Chuyên đề: Quản lý chất thải. Nhà xuất bản Tài nguyên môi trường và Bản đồ Việt Nam, Hà Nội, 2017, tr. 189.
4. Ủy ban nhân dân thành phố Lạng Sơn. Báo cáo công tác quản lý, xử lý chất thải rắn sinh hoạt trên địa bàn thành phố Lạng Sơn, Ủy ban nhân dân thành phố Lạng Sơn, 2022, tr. 10.
5. Sở Tài nguyên và Môi trường tỉnh Lạng Sơn. Đề án “Tuyên truyền, triển khai thí điểm mô hình thu gom, phân loại chất thải rắn sinh hoạt tại nguồn trên địa bàn thành phố Lạng Sơn”, Lạng Sơn, 2022, tr. 50.
6. Cabanillas, C.; Stobbia, D.; Ledesma, A. Production and income of basil in and out of seanon with vermicomposts from rabbit manure and bovine ruminal contents alternatives to urea. *J. Clean. Prod.* 2013, 47, 77–84.
7. Samolada, M.C.; Zabaniotou, A.A. Comparative assessment of municipal sewage sludge incineration, gasification and pyrolysis for a sustainable sludgeto-energy management in Greece. *Waste Manag.* 2014, 34, 411–420.
8. Thuy, L.T.X.; Long, P.Đ.; Sương, L.T. Nghiên cứu khả năng xử lý rác hữu cơ bằng đệm lót sinh học theo phương thức Takakura compost. *Tạp chí khoa học và công nghệ đại học Đà Nẵng* 2018, 3(124), 74–78.
9. Ngân hàng Thế giới, Đánh giá công tác quản lý CTRSH và chất thải công nghiệp nguy hại. Các phương án và hành động nhằm thực hiện chiến lược quốc gia. Nhà xuất bản Hồng Đức, Hội Luật gia Việt Nam, 2018.
10. Seunghae, L.; Hae, S.P. Korean household waste management and recycling behavior. *Build. Environ.* 2011, 5, 1159–1166.
11. Son, P. Thế giới phân loại rác thải sinh hoạt như thế nào? The Leader, 2022. Trục tuyến: <https://theleader.vn/the-gioi-phan-loai-rac-thai-sinh-hoat-nhu-the-nao-1658487401833.htm> (Truy cập ngày 4/6/2024).
12. Tổng cục Môi trường. Sổ tay hướng dẫn phân loại chất thải rắn sinh hoạt tại nguồn theo Luật Bảo vệ Môi trường 2020. Cục kiểm soát ô nhiễm, 2021, tr. 1–46.
13. Trong, V. Đà Lạt: Thí điểm phân loại rác thải sinh hoạt tại nguồn. *Báo Lâm Đồng* 2022. Trục tuyến: <https://baolamdong.vn/toasoan-bandoc/202210/da-lat-thi-diem-phan-loai-rac-thai-sinh-hoat-tai-nguon-3141393/> (Truy cập ngày 3/6/2024).

14. Hung, T.V.; Huan, H.T.; Cong, V.H. Thực trạng phát sinh và công tác quản lý chất thải rắn sinh hoạt nông thôn tại huyện Tiên Hải, tỉnh Thái Bình. *TNU J. Sci. Technol.* **2020**, 225(08), 91–97.
15. CTV. Ra mắt mô hình “Thu gom và phân loại rác thải tại hộ gia đình và truyền thông kiến thức phân loại, thu gom và xử lý rác thải tại nguồn”. Đài phát thanh và truyền hình Thái Bình, 2021. Trục tuyến: <https://thaibinh.tv.vn/news/0/68901/ra-mat-mo-hinh-thu-gom-va-phan-loai-rac-thai-tai-ho-gia-dinh-va-truyen-thong-kiem-thuc-phan-loai-thu-gom-va-xu-ly-rac-thai-tai-nguon> (Truy cập ngày 3/6/2021).
16. Trang, L.T.T.; My, H.T.K. Nguyên cứu thực trạng và đề xuất giải pháp nâng cao công tác quản lý chất thải rắn sinh hoạt tại xã Đảo Nhon Châu, thành phố Quy Nhơn, tỉnh Bình Định. *Tap chí Khoa học Tài nguyên và Môi trường* **2023**, 47, 145–160.
17. Quốc hội. Luật bảo vệ môi trường, 2020, tr. 134.
18. Chính phủ. Nghị định số 45/2022/NĐ-CP ngày 07/7/2022 Quy định về xử phạt vi phạm hành chính trong lĩnh vực bảo vệ môi trường, 2022, tr. 181.
19. Bộ Tài nguyên và Môi trường. Văn bản số 9368/BTNMT-KSONMT ngày 2/11/2023 về việc hướng dẫn kỹ thuật phân loại chất thải rắn sinh hoạt, 2023, tr. 11.
20. Trung, T.Q.; Vân Anh, N.T. Triển khai thí điểm mô hình thu gom, phân loại chất thải rắn sinh hoạt trên địa bàn thành phố Lạng Sơn, Ủy ban nhân dân tỉnh Lạng Sơn, 2024.

Research and application of a municipal solid waste classification model in schools and households in Vinh Trai ward, Lang Son city

Nguyen Duc Toan^{1*}, Tran Quang Trung², Nguyen Thi Van Anh³

¹ The Ministry of Natural Resources and Environment; toantnmt@gmail.com

² Lang Son Department of Natural Resources and Environment; trungtnmtls@gmail.com

³ Vietnam Association for the Conservation of Nature and Environment; vananhmt2020@gmail.com

Abstract: The collection and classification of household solid waste (HSW) at the source play a crucial role in solid waste management, helping to reduce the risk of spreading pathogens and hazardous pollutants into the environment, conserve natural resources, and lower waste treatment costs. The study developed a model for HSW classification and conducted a pilot implementation in Lang Son city. The classification standards for HSW in Lang Son city are as follows: recyclable/reusable solid waste is stored in white containers/bags; food waste is stored in green containers/bags; and other household solid waste is stored in orange containers/bags. The study compiled manuals and technical guidance documents for HSW classification, designed panels, posters, banners, and signs, and distributed and disseminated them to schools and households in Vinh Trai ward in Lang Son city. This effort aimed to raise community awareness, change behaviors and attitudes towards HSW. The results of applying the HSW classification model show that 100% of schools and 100% of households (out of 20 households checked) have classified HSW correctly according to regulations. The proportion of waste discharged into the environment requiring treatment is 39% for schools and 49.5% for households in Vinh Trai Ward.

Keywords: Model; Classification; Municipal solid waste; Propaganda.

Bài báo khoa học

Nghiên cứu ảnh hưởng của số thành phần tổ hợp đến kết quả dự báo quỹ đạo bão trên Biển Đông

Võ Văn Hòa^{1*}, Dư Đức Tiến², Đặng Đình Quân², Mai Khánh Hưng²

¹ Đai Khí tượng Thủy văn khu vực Đồng bằng và Trung du Bắc Bộ;
vovanhoa80@yahoo.com

² Trung tâm Dự báo khí tượng thủy văn quốc gia; duductien@gmail.com;
quandangding92@gmail.com; maikhanhhung18988@gmail.com

*Tác giả liên hệ: vovanhoa80@yahoo.com; Tel.: +84-912509932

Ban Biên tập nhận bài: 10/5/2024; Ngày phản biện xong: 11/6/2024; Ngày đăng bài: 25/11/2024

Tóm tắt: Nghiên cứu áp dụng hệ thống đồng hóa tổ hợp dựa trên bộ lọc chuyển dạng địa phương Kalman (*LETKF - Local Ensemble Transformation Kalman Filter*) phát triển cho mô hình khu vực WRF-ARW và module tạo xoáy lý tưởng dựa trên thông số phân tích xoáy bão thật của các trung tâm quốc tế, gọi tắt là hệ thống TC-WRF-LETKF. Việc tạo ra các thành phần tổ hợp được triển khai thông qua việc thay đổi các lựa chọn vật lý trong mô hình WRF-ARW gồm: 2 tùy chọn sơ đồ cho tham số hóa đối lưu; 2 tùy chọn cho sơ đồ bức xạ sóng ngắn; 2 tùy chọn sơ đồ tham số hóa lớp biên và 4 tùy chọn cho sơ đồ vi vật lý mây từ đơn giản đến phức tạp. Dựa trên việc tổ hợp các lựa chọn này có thể tạo ra tối đa gồm 32 cấu hình vật lý khác nhau. Nghiên cứu sẽ thử nghiệm với một số cơn bão trên Biển Đông và thay đổi số thành phần vật lý để đánh giá sự ảnh hưởng đến sai số dự báo quỹ đạo bão hạn đến 96 giờ. Kết quả thử nghiệm và đánh giá cho thấy số lượng dự báo thành phần hơn 20, sai số ở hạn dự báo 24-72 giờ được cải thiện hết sức rõ rệt. Đối với các hạn 84-96 giờ, mức độ tác động chưa rõ xuất phát từ việc các mẫu thử của các hạn này còn hạn chế do thời gian tồn tại của bão trên biển Đông thường dưới 3 ngày.

Từ khóa: Đồng hóa tổ hợp; Sinh nhiễu vật lý; Trung bình tổ hợp.

1. Mở đầu

Bão là một trong những hiện tượng thời tiết nguy hiểm và gây tổn hại nhiều nhất về mặt kinh tế ở Việt Nam. Một cách trung bình, hằng năm có khoảng 3-4 cơn bão đổ bộ hoặc gây ảnh hưởng trực tiếp đến khu vực bờ biển Việt Nam [1]. Một trong những thách thức lớn nhất của dự báo bão ở biển Đông Việt Nam là độ bất định cao của quỹ đạo và cường độ [2-7]. Mặc dù hiện tại trong nghiệp vụ đã có sử dụng rất nhiều các sản phẩm dự báo bão từ các trung tâm khu vực trên thế giới, một điều có thể nhận thấy rõ ràng là kỹ năng dự báo bão vẫn rất hạn chế do các trung tâm dự báo trên thế giới sử dụng các mô hình dự báo khác nhau với kỹ năng dự báo rất khác nhau và thay đổi liên tục hàng năm [6]. Điều này dẫn đến việc sử dụng sản phẩm dự báo một các hiệu quả cũng vẫn còn nhiều thách thức [8-10].

Trong bối cảnh thay đổi khí hậu toàn cầu, các nghiên cứu gần đây đã cho thấy quỹ đạo và cường độ bão có sự dịch chuyển do các thay đổi trên quy mô lớn của các hoàn lưu khí quyển [1]. Việc có được thêm các thông tin dự báo quỹ đạo từ các sản phẩm mô hình có độ chính xác cao đang trở nên ngày càng cấp thiết. Do đặc tính tổ hợp, các dự báo với bộ lọc tổ hợp dường như là một sự lựa chọn hàng đầu cho kiểu bài toán dự báo có tính bất định cao như dự báo bão hay mưa lớn do dự báo tổ hợp không những cung cấp thông tin dự báo cho

từng bản tin mà còn ước lượng được tính bất định tại từng hạn dự báo [10]. Điều này cho phép các dự báo viên xác định được độ tin cậy của bản tin tại từng hạn dự báo nhất định.

Trong phạm vi nghiên cứu, sẽ áp dụng hệ thống đồng hóa tổ hợp dựa trên bộ lọc chuyển dạng địa phương Kalman (*LETKF - Local Ensemble Transformation Kalman Filter*) phát triển cho mô hình khu vực WRF-ARW, bên cạnh đó hệ thống sẽ được đưa thêm vào module tạo xoáy lý tưởng dựa trên thông số phân tích xoáy bão thật [11–14] của các trung tâm khí tượng quốc tế, gọi tắt là hệ thống TC-WRF-LETKF [15–18]. Việc tạo ra các thành phần tổ hợp được triển khai thông qua việc thay đổi các lựa chọn vật lý trong mô hình WRF-ARW. Nghiên cứu sẽ thử nghiệm với một số cơn bão trên Biển Đông và thay đổi số thành phần vật lý để đánh giá sự ảnh hưởng đến sai số dự báo quỹ đạo bão hạn đến 96 giờ.

2. Thiết lập hệ thống và phương pháp đánh giá

Trong nghiên cứu sử dụng hệ thống mô hình khu vực WRF với nhân động lực ARW phiên bản 3.9.1.1 do Trung tâm dự báo môi trường quốc gia Mỹ (NCEP) phát triển (gọi tắt là WRF-ARW). Đây là hệ thống mô hình khu vực được áp dụng trong nghiên cứu và nghiệp vụ với các ứng dụng đa dạng từ mô phỏng lý tưởng xoáy, sóng núi đến áp dụng các bài toán dự báo thời tiết hoặc các điều kiện thời tiết nguy hiểm như mưa, bão/xoáy thuận nhiệt đới và được cộng đồng khoa học hỗ trợ và phát triển. Mô hình WRF-ARW cũng được thử nghiệm và áp dụng trong nghiệp vụ tại Việt Nam trong các lĩnh vực dự báo thời tiết và dự báo bão [14, 15, 18]. Một trong những đặc tính quan trọng của hệ thống WRF-ARW là cung cấp một số lượng tùy chọn các thuật toán sai phân, các sơ đồ vật lý và các phương pháp đồng hóa số liệu được phát triển bởi cộng đồng khoa học có uy tín, cho phép các nhà ứng dụng lựa chọn được các tùy biến phù hợp với khu vực địa phương và đối tượng cần nghiên cứu. Mô hình WRF-ARW được nghiên cứu và áp dụng phổ biến tại Việt Nam những năm vừa qua. Tuy nhiên, do mô hình WRF-ARW sử dụng trường đầu vào từ các mô hình toàn cầu nên xoáy bão trong trường ban đầu thường yếu và bị sai lệch so với thực tế. Dẫn đến kết quả dự báo quỹ đạo bão thường không chính xác. Để khắc phục vấn đề này, thông thường có 2 cách tiếp cận để khắc phục:

Sử dụng các sơ đồ cài xoáy bão cho trường ban đầu dựa trên các thông tin quan trắc về bão tại thời điểm phân tích [13, 14].

Đồng hóa số liệu địa phương để tăng cường khả năng nắm bắt trong trường ban đầu của mô hình WRF [18, 19].

Trong nghiên cứu này, chúng tôi sử dụng kết hợp cả 2 cách tiếp cận, đó là tiến hành cài xoáy và sau đó sử dụng các trường khí quyển của xoáy nhân tạo để đưa vào đồng hóa số liệu LETKF [19]. Các dữ liệu này được chiết xuất ra dưới dạng các profile nhiệt, ẩm, áp như các dữ liệu thám không vô tuyến.

Như đã biết, dự báo bão bằng các mô hình khu vực rất nhạy với các quá trình vật lý được tham số hóa trong mô hình. Việc thay đổi một tùy chọn tham số hóa có liên quan đến các quá trình đối lưu, vi vật lý mây, lớp biên, bức xạ, ... có thể tạo ra các kết quả dự báo rất khác nhau. Nguyên nhân dẫn đến hiện tượng này là do đặc tính hỗn loạn của khí quyển. Do đó, rất khó để có thể tìm ra được phương án tốt nhất. Chính vì vậy, dự báo tổ hợp là cần thiết để khắc phục hạn chế liên quan đến bản chất hỗn loạn của khí quyển.

Bài báo này hướng tới khảo sát số lượng thành phần tổ hợp tối ưu cho bài toán dự báo quỹ đạo bão hạn đến 96 giờ. Để tiến hành khảo sát, chúng tôi kế thừa hệ thống TC_WRF-LETKF đã được phát triển trước đây [18, 19]. Bản chất của hệ thống TC_WRF-LETKF là tạo ra tổ hợp nhiều dự báo trong đó sử dụng cùng một phương pháp đồng hóa số liệu (dùng chung sơ đồ đồ cài xoáy nhân tạo và bộ dữ liệu quan trắc khác) và trường biên toàn cầu như sau. Như vậy, sự khác biệt giữa các dự báo sẽ chủ yếu tập trung ở các tùy chọn tham số hóa vật lý và tác động của đồng hóa LETKF lên từng dự báo trong quá trình đồng hóa dữ liệu (liên quan đến sai số dự báo của từng dự báo). Hệ thống TC_WRF-LETKF có các thành phần chính như sau:

- Mô hình dự báo thời tiết khu vực: WRF-ARW
- Hệ thống đồng hóa số liệu: LETKF có kết hợp với cài xoáy 3 chiều
- Phương pháp tạo dự báo thành phần: nhiễu động vật lý

Trong nghiên cứu này, để tạo ra dự báo tổ hợp (*ensemble*) chúng tôi dựa trên việc thay đổi các lựa chọn vật lý trong mô hình WRF-ARW gồm:

- a) Sơ đồ tham số hóa đối lưu: sơ đồ Kain-Fritsch (KF) hoặc Betts-Miller-Janjic (BMJ);
- b) Sơ đồ bức xạ sóng ngắn Goddard hoặc Dudhia
- c) Sơ đồ tham số hóa lớp biên của Yonsei University (YSU) hoặc Mellor-Yamada-Janjic (MYJ)
- d) Sơ đồ vi vật lý mây từ đơn giản đến phức tạp gồm sơ đồ Lin, WSM3, WSM5 đến WSM6 (khép kín 6 bậc).

Bảng 1 dưới đây đưa ra 32 phương án kết hợp các tùy chọn sơ đồ tham số hóa vật lý nói trên. Lưu ý thêm ở đây đối với sơ đồ lớp biên MYJ thì sơ đồ rối bề mặt sẽ được đặt là sơ đồ Janjic Eta so với sơ đồ khép kín rồi dựa trên giả thiết của Monin-Obukhov.

Điều kiện biên sử dụng trong nghiên cứu là mô hình GFS với độ phân giải 0,25 độ, thiết lập độ phân giải trong TC_WRF-LETKF [18,19] là 9 km với miền tính bao phủ toàn bộ Việt Nam và biển Đông. Số mực đẳng áp thẳng đứng trong mô hình là 40 mực.

Bảng 1. Chi tiết các thông số vật lý cho từng thành phần tổ hợp trong TC-WRF-LETKF.

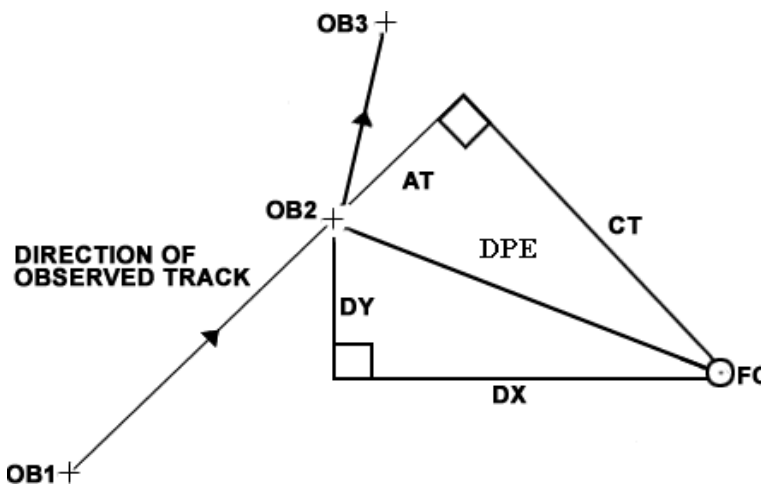
| STT | Kí hiệu dự báo thành phần | Sơ đồ tham số hóa đối lưu | Sơ đồ tham số hóa vi vật lý mây | Sơ đồ tham số hóa bức xạ sóng ngắn | Sơ đồ tham số hóa lớn biên |
|-----|---------------------------|---------------------------|---------------------------------|------------------------------------|----------------------------|
| 1 | BMJ-Lin-Duh-MYJ | BMJ | Lin | Duhia | MYJ |
| 2 | BMJ-Lin-Duh-YSU | BMJ | Lin | Duhia | YSU |
| 3 | BMJ-Lin-God-MYJ | BMJ | Lin | Goddard | MYJ |
| 4 | BMJ-Lin-God-YSU | BMJ | Lin | Goddard | YSU |
| 5 | BMJ-WSM3-Duh-MYJ | BMJ | WSM3 | Duhia | MYJ |
| 6 | BMJ-WSM3-Duh-YSU | BMJ | WSM3 | Duhia | YSU |
| 7 | BMJ-WSM3-God-MYJ | BMJ | WSM3 | Goddard | MYJ |
| 8 | BMJ-WSM3-God-YSU | BMJ | WSM3 | Goddard | YSU |
| 9 | BMJ-WSM5-Duh-MYJ | BMJ | WSM5 | Duhia | MYJ |
| 10 | BMJ-WSM5-Duh-YSU | BMJ | WSM5 | Duhia | YSU |
| 11 | BMJ-WSM5-God-MYJ | BMJ | WSM5 | Duhia | MYJ |
| 12 | BMJ-WSM5-God-YSU | BMJ | WSM5 | Goddard | YSU |
| 13 | BMJ-WSM6-Duh-MYJ | BMJ | WSM6 | Duhia | MYJ |
| 14 | BMJ-WSM6-Duh-YSU | BMJ | WSM6 | Duhia | YSU |
| 15 | BMJ-WSM6-God-MYJ | BMJ | WSM6 | Goddard | MYJ |
| 16 | BMJ-WSM6-God-YSU | BMJ | WSM6 | Goddard | YSU |
| 17 | KF-Lin-Duh-MYJ | KF | Lin | Duhia | MYJ |
| 18 | KF-Lin-Duh-YSU | KF | Lin | Duhia | YSU |
| 19 | KF-Lin-God-MYJ | KF | Lin | Goddard | MYJ |
| 20 | KF-Lin-God-YSU | KF | Lin | Goddard | YSU |
| 21 | KF-WSM3-Duh-MYJ | KF | WSM3 | Duhia | MYJ |
| 22 | KF-WSM3-Duh-YSU | KF | WSM3 | Duhia | YSU |
| 23 | KF-WSM3-God-MYJ | KF | WSM3 | Goddard | MYJ |
| 24 | KF-WSM3-God-YSU | KF | WSM3 | Goddard | YSU |
| 25 | KF-WSM5-Duh-MYJ | KF | WSM5 | Duhia | MYJ |
| 26 | KF-WSM5-Duh-YSU | KF | WSM5 | Duhia | YSU |
| 27 | KF-WSM5-God-MYJ | KF | WSM5 | Goddard | MYJ |
| 28 | KF-WSM5-God-YSU | KF | WSM5 | Goddard | YSU |
| 29 | KF-WSM6-Duh-MYJ | KF | WSM6 | Duhia | MYJ |
| 30 | KF-WSM6-Duh-YSU | KF | WSM6 | Duhia | YSU |
| 31 | KF-WSM6-God-MYJ | KF | WSM6 | Goddard | MYJ |
| 32 | KF-WSM6-God-YSU | KF | WSM6 | Goddard | YSU |

Trong nghiên cứu này, để xác định vị trí tâm bão dựa trên các trường dự báo của các trường dự báo ra từ từng thành phần tổ hợp, chúng tôi sử dụng 5 tham số chính gồm khí áp trung bình mực biển (cực tiểu), xoáy tương đối mực 850 và 700mb (dương cực đại), độ cao địa thế vị 700 và 850mb (dương cực tiểu) để xác định vị trí tâm bão từ các trường dự báo của mô hình WRF-ARW [13, 14]. Ngoài ra, còn có 2 tham số thứ cấp là tốc độ gió cực tiểu tại mực 850 và 700mb. Vị trí tâm bão sẽ là trung bình cộng của 5 vị trí được tìm thấy cho 5 tham số chính nói trên. Để xác định được tọa độ của 1 tâm (cực tiểu hoặc cực đại), đầu tiên hệ thống sẽ thực hiện phân tích Barnes 1 lần quét cho từng tham số tại các nút lưới nằm trong một mảng có tâm ban đầu gần với tâm bão quan trắc. Đối với biến F bất kỳ, phân tích Barnes tại nút lưới g sẽ có dạng như sau:

$$B_g = \frac{\sum_{n=1}^N w_n F(n)}{\sum_{n=1}^N w_n} \tag{1}$$

Trong đó w là hàm trọng số được xác định theo công thức $w = e^{-(d_n/r_e^2)}$ với d_n là khoảng cách từ điểm dữ liệu n tới điểm lưới g, và r_e là bán kính xoắn mũ e (e-folding). Giá trị r_e được chọn là 20 km. Tùy thuộc vào dạng biến F, tâm được xác định là điểm lưới tại đó biến F đạt cực tiểu hoặc cực đại. Sau khi tâm của một tham số được xác định tại bước đầu tiên, bốn phân tích Barnes liên tiếp sẽ được thực hiện, tại mỗi lần phân tích, độ phân giải của lưới xác định giảm một nửa so với lưới trước đó và tâm lưới mịn hơn được lấy từ tâm xác định được trên lưới thô hơn trước đó. Thuật toán xác định tâm này được áp dụng riêng rẽ cho 5 tham số chính nêu trên. Riêng đối với 2 tham số thứ cấp, đầu tiên số liệu sẽ được nội suy về một miền nhỏ hơn của vị trí tâm phỏng đoán ban đầu với độ phân giải cao hơn so với ban đầu. Sau đó, phân tích Barnes mới được thực hiện trên lưới tinh hơn này để tránh tính huống tìm ra các vùng lặng gió bên ngoài cơn bão (hiểu nhầm là vùng lặng gió trong tâm bão). Tâm tìm được dựa trên 2 tham số thứ cấp này được sử dụng để hiệu chỉnh lại tâm trung bình tìm được từ 5 tham số chính. Nếu tâm không được tìm thấy dựa trên 5 tham số chính, việc tìm tâm cho 2 tham số thứ cấp cũng bị loại bỏ.

Để đánh giá sai số dự báo quỹ đạo bão trực tiếp từ các mô hình và quỹ đạo bão chuẩn (best-track) của Nhật Bản, trong nghiên cứu này chúng tôi sử dụng phương pháp đánh giá quỹ đạo bão được sử dụng Cơ quan khí tượng Vương quốc Anh [20]. Cụ thể, sai số dự báo khoảng cách vị trí tâm bão trực tiếp - DPE sẽ được sử dụng và được tính theo công thức lượng giác dựa trên phương pháp vòng tròn lớn để tính đến hiệu ứng cong của trái đất (Hình 1). Sai số DPE có thể được phân tách thành 2 thành phần: AT (sai số dọc theo phương chuyển động) và CT là sai số theo phương pháp tuyến (vuông góc với chuyển động). Các giá trị DX và DY là các sai số dọc theo vĩ hướng và kinh hướng. Đại lượng AT sẽ cho biết sai số về tốc độ di chuyển (nhận hay chậm so với thực tế) trong khi đại lượng CT cho biết sai số về hướng di chuyển (lệch trái hay lệch phải do với thực tế).

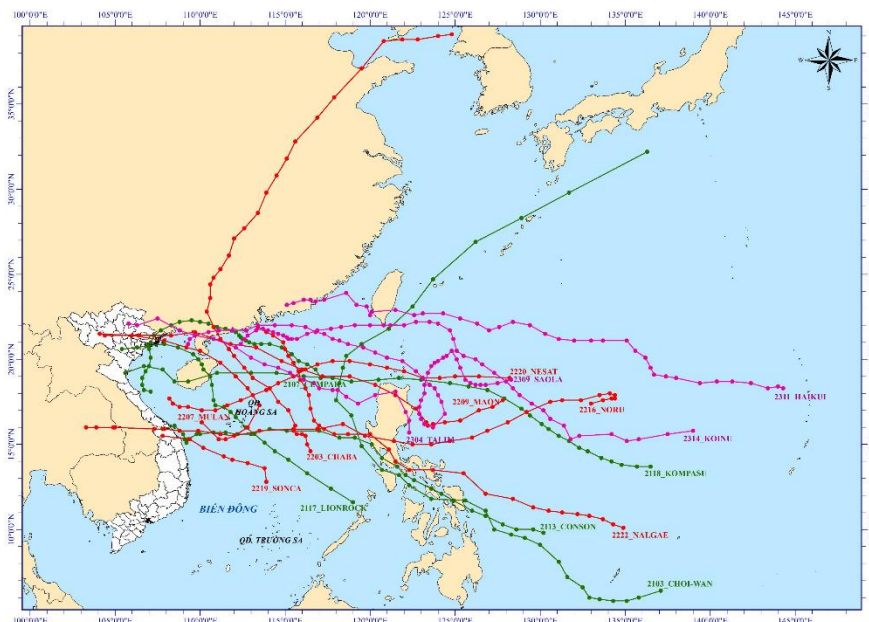


Hình 1. Sơ đồ minh họa các thành phần sai số dự báo quỹ đạo bão (ký hiệu OB là quan trắc và FC là dự báo). Điểm OB1 là tâm quan trắc tại thời điểm bắt đầu dự báo và dấu mũi tên chỉ hướng di chuyển thực tế của bão.

Để có cơ sở lựa chọn ra tổ hợp tối ưu dựa trên 32 dự báo thành phần dự báo như đưa ra trong bảng 1 ở trên, hệ thống TC_WRF-LETKF sẽ thực hiện dự báo cho từng thành phần cho 17 cơn bão trong các năm 2021-2023 như trong bảng 2 dưới đây. Quỹ đạo thực tế của 17 cơn bão được sử dụng trong nghiên cứu được đưa trong hình 2 dưới đây. Các thời điểm được lựa chọn cho từng cơn bão để thực hiện 32 dự báo là có tọa độ tâm bão tại thời điểm phân tích nằm trong khoảng từ 110-1200E và 5-250N. Ngoài ra, do nghiên cứu hướng tới hạn dự báo 5 ngày, nên thời điểm dự báo được lựa chọn cũng phải thỏa mãn tiêu chí bão còn tồn tại ít nhất 3 ngày tính từ thời điểm dự báo (trường hợp bão đã hạ cấp xuống ATNĐ trong 3 ngày tính từ thời điểm dự báo vẫn được lựa chọn để đưa vào tính toán). Hình 3 và 4 lần lượt đưa ra minh họa bản đồ dự báo xác suất đường đi của bão CHOI-WAN (2003), SONCA (2219) và NORU (2216) được tạo ra từ 32 dự báo thành phần của hệ thống TC_WRF-LETKF tại một thời điểm dự báo.

Bảng 2. Danh sách 17 cơn bão trong mùa bão 2021-2023 được sử dụng để dự báo quỹ đạo và cường độ bão hạn 96 giờ bằng hệ thống TC-WRF-LETKF.

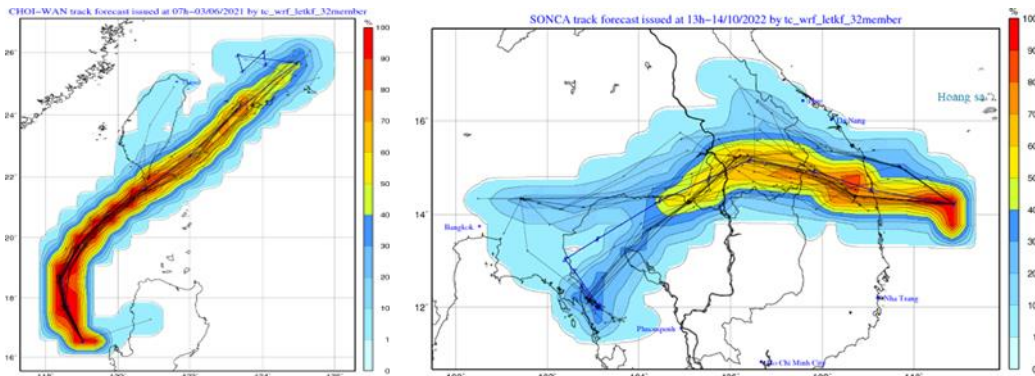
| STT | Năm | Mã nhận dạng quốc tế | Tên bão quốc tế |
|-----|------|----------------------|-----------------|
| 1 | 2021 | 2103 | CHOI-WAN |
| 2 | 2021 | 2107 | CEMPAKA |
| 3 | 2021 | 2113 | CONSON |
| 4 | 2021 | 2117 | LIONROCK |
| 5 | 2021 | 2118 | KOMPASU |
| 6 | 2021 | 2122 | RAI |
| 7 | 2022 | 2203 | CHABA |
| 8 | 2022 | 2207 | MULAN |
| 9 | 2022 | 2209 | MAON |
| 10 | 2022 | 2216 | NORU |
| 11 | 2022 | 2219 | SONCA |
| 12 | 2022 | 2220 | NESAT |
| 13 | 2022 | 2222 | NALGAE |
| 14 | 2023 | 2304 | TALIM |
| 15 | 2023 | 2309 | SAOLA |
| 16 | 2023 | 2313 | HAIKUI |
| 17 | 2023 | 2314 | KOINU |



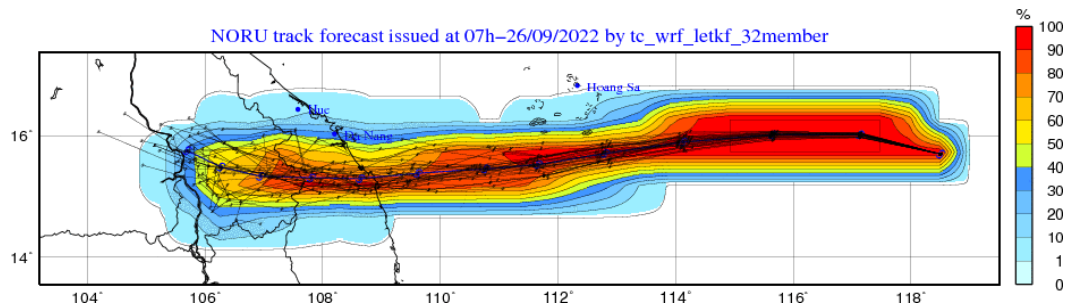
Hình 2. Quỹ đạo quan trắc của 17 cơn bão trong các năm 2021-2023 được sử dụng trong nghiên cứu.

Bảng 3. Thống kê dung lượng mẫu được sử dụng trong thử nghiệm dự báo và đánh giá cho từng hạn dự báo dựa trên 17 cơn bão từ 2021-2023.

| Hạn dự báo | 24h | 48h | 72h | 84h | 96h |
|----------------|-----|-----|-----|-----|-----|
| Dung lượng mẫu | 52 | 52 | 52 | 24 | 12 |



Hình 3. Minh họa thử nghiệm hệ thống TC_WRF_LETKF với 32 thành phần cho dự báo quỹ đạo các cơn bão CHOI-WAN năm 2021 và cơn bão SONCA năm 2022.



Hình 4. Minh họa thử nghiệm hệ thống TC_WRF_LETKF với 32 thành phần cho dự báo quỹ đạo các cơn bão NORU năm 2022.

3. Kết quả

Để đánh giá số thành phần dự báo tổ hợp ảnh hưởng đến kết quả dự báo quỹ đạo, chúng tôi sử dụng kết quả đánh giá sai số dự báo quỹ đạo của dự báo trung bình tổ hợp (TBTH - trung bình cộng với trọng số như nhau đối với tất cả các dự báo thành phần) để làm thước đo đánh giá. Như đã biết, về mặt kỹ thuật, chỉ cần 02 dự báo khác nhau xác định cùng một thời điểm có thể tạo ra dự báo TBTH. Do đó, từ 32 dự báo thành phần của hệ thống TC_WRF_LETKF, sẽ có nhiều phương án tính toán dự báo TBTH gồm 2 cho đến 32 thành phần. Tuy nhiên, nhiều kết quả nghiên cứu đã cho thấy khi tổ hợp dưới 10 thành phần, thì chất lượng dự báo của dự báo TBTH không có nhiều thay đổi. Do đó, trong nghiên cứu này, chúng tôi tiến hành khảo sát cho các hệ tổ hợp từ 10 cho đến 32 thành phần dựa trên 32 dự báo của hệ thống TC_WRF_LETKF. Cụ thể, với mỗi hệ tổ hợp có N thành phần đưa ra ($10 \leq N \leq 32$), các phương án dự báo TBTH sẽ được tính toán cho toàn bộ các phương án có thể từ 32 dự báo của hệ thống TC_WRF_LETKF. Sau đó, tiến hành đánh giá sai số dự báo vị trí tâm bão (DPE) cho từng phương án TBTH trong hệ tổ hợp đang xem xét. Cuối cùng, tiến hành tính toán giá trị DPE trung bình cho toàn bộ hệ tổ hợp đang xem xét.

Bảng 4 dưới đây đưa ra kết quả tính toán DPE trung bình cho các hệ tổ hợp sử dụng 10 cho đến 32 thành phần dự báo từ hệ thống TC_WRF_LETKF cho 17 cơn bão được nghiên cứu trong giai đoạn 2021-2023. Các sai số DPE được tính toán riêng biệt cho từng hạn dự báo. Từ bảng 3 có thể thấy nếu xem xét riêng cho từng hệ tổ hợp, chất lượng dự báo giảm dần theo hạn dự báo. Kết quả này hoàn toàn phù hợp với thực tế khi hạn dự báo càng xa thì chất lượng dự báo càng giảm. Nếu so sánh giữa các hệ tổ hợp khác nhau (sử dụng số lượng

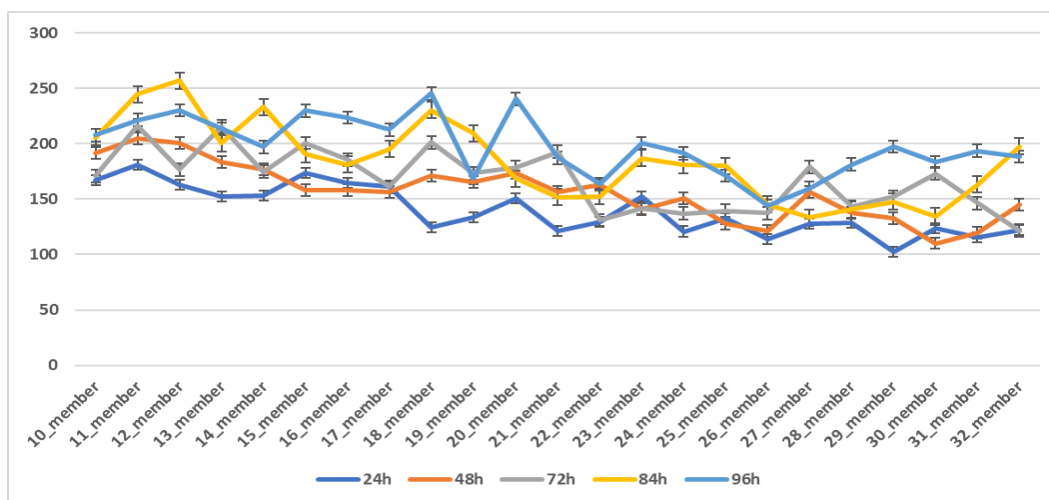
thành phần khác nhau), tại mỗi hạn dự báo, DPE có nhiều khác biệt giữa các hệ tổ hợp. Tuy nhiên, có thể thấy sai số lớn nhất (được bôi đỏ) tập trung chủ yếu ở trong các hệ tổ hợp sử dụng dưới 20 thành phần trong đó hệ tổ hợp sử dụng 11 và 12 dự báo thành phần có nhiều giá trị DPE lớn nhất khi xem xét cho từng hạn dự báo. Ngược lại, các DPE nhỏ nhất (được bôi xanh) được tìm thấy ở các hệ tổ hợp sử dụng từ 25 thành phần dự báo trở lên. Ngoài ra, nếu tại mỗi hạn dự báo, nếu so sánh DPE của các hệ tổ hợp, có thể nhận thấy sự khác biệt về giá trị DPE của các hệ tổ hợp tại các hạn dự báo 24h và 48h là không quá lớn. Điều này chứng tỏ các dự báo thành phần trong các hạn dự báo này có sự đồng nhất cao (các quỹ đạo dự báo tương đối gần nhau). Tuy nhiên, từ các hạn dự báo 72h đến 96h, có sự khác biệt lớn trong giá trị DPE nếu so sánh các hệ tổ hợp với nhau (đặc biệt là tại hạn dự báo 120h). Hay nói cách khác, từ hạn dự báo 72h trở đi, các quỹ đạo dự báo có xu hướng lệch nhau nhiều hơn (không gian dự báo mở rộng ra hơn nhiều so với các hạn dự báo 24h và 48h) và xuất hiện nhiều dự báo có sai số lớn. Chính những dự báo có sai số lớn này làm cho chất lượng của dự báo TBTH bị kém đi. Kết quả này hoàn toàn phù hợp do ở các hạn dự báo càng xa, tính bất định trong dự báo quỹ đạo bão sẽ tăng lên nhiều hơn, dẫn đến có thể tạo ra những dự báo có sai số lớn.

Bảng 4. Sai số dự báo quỹ đạo trung bình (DPE) của 17 cơn bão tại các hạn dự báo khác nhau khi thay đổi số thành phần dự báo tổ hợp trong hệ thống TC_WRF_LETKF (các sai số nhỏ nhất và lớn nhất trong từng hạn dự báo được bôi đậm và tô màu).

| Số dự báo thành phần | 24h | 48h | 72h | 84h | 96h |
|----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 10 | 167,0 | 191,3 | 171,1 | 205,7 | 207,7 |
| 11 | 181,1 | 204,8 | 216,4 | 244,5 | 221,3 |
| 12 | 163,0 | 201,0 | 176,8 | 256,9 | 230,0 |
| 13 | 152,4 | 183,8 | 215,6 | 200,4 | 213,7 |
| 14 | 153,4 | 176,8 | 174,6 | 233,2 | 197,1 |
| 15 | 173,6 | 158,0 | 200,6 | 190,8 | 229,8 |
| 16 | 164,8 | 158,0 | 185,6 | 181,4 | 223,7 |
| 17 | 161,7 | 156,5 | 161,3 | 195,0 | 212,6 |
| 18 | 124,6 | 170,9 | 201,3 | 230,2 | 245,4 |
| 19 | 133,5 | 165,1 | 173,3 | 209,3 | 168,9 |
| 20 | 150,9 | 173,6 | 178,7 | 168,5 | 240,5 |
| 21 | 121,2 | 156,1 | 192,7 | 151,6 | 187,3 |
| 22 | 129,5 | 162,6 | 131,1 | 152,6 | 163,8 |
| 23 | 152,2 | 140,6 | 142,0 | 186,8 | 200,7 |
| 24 | 120,8 | 150,8 | 137,2 | 180,7 | 191,3 |
| 25 | 132,3 | 127,4 | 139,6 | 179,8 | 171,2 |
| 26 | 113,8 | 121,2 | 137,5 | 145,1 | 144,0 |
| 27 | 127,6 | 156,2 | 179,0 | 133,5 | 160,1 |
| 28 | 128,6 | 137,9 | 143,3 | 140,6 | 181,1 |
| 29 | 102,3 | 132,5 | 152,4 | 147,8 | 197,5 |
| 30 | 123,9 | 110,2 | 173,0 | 134,4 | 183,3 |
| 31 | 115,7 | 119,7 | 146,3 | 163,4 | 193,4 |
| 32 | 121,9 | 145,1 | 121,4 | 197,8 | 188,3 |

Để có cái nhìn rõ hơn về sự biến động của DPE khi thay đổi số lượng dự báo thành phần trong tính toán dự báo TBTH, hình 5 dưới đây đưa ra các biểu trình biểu đồ hộp và râu (box and whisker) dựa trên các kết quả đánh giá riêng lẻ cho từng hệ tổ hợp được tạo ra từ 32 dự báo thành phần của hệ thống TC_WRF_LETKF. Cụ thể, với mỗi hệ tổ hợp, sẽ có một bộ kết quả tính toán DPE dựa trên các kết quả tính toán DPE cho từng phương án TBTH khi lựa chọn từ 32 dự báo thành phần của hệ thống TC_WRF_LETKF. Từ bộ số liệu DPE này, sẽ tính toán được các giá trị lớn nhất, nhỏ nhất, trung vị, phân vị 25 và phân vị 75 để tạo biểu đồ hộp và râu như được thấy trên hình 5. Trên hình 5, giá trị trục tung là giá trị sai số DPE

còn trực hoành là các hệ tổ hợp sử dụng từ 10 đến 32 thành phần. Từ hình 5 có thể thấy sai số DPE giảm rất rõ ở các hạn đến 72h từ 20 thành phần trở lên. Ở các hạn 84h trở đi, sai số giảm ổn định ở mức 22-28 thành phần. Như vậy có thể thấy nếu tăng được số thành phần dự báo sẽ tỉ lệ với giảm được sai số dự báo quỹ đạo trung bình tổ hợp ở hạn trước 3 ngày. Sau hạn 72 giờ, có thể liên quan đến các mẫu dự báo không đủ đối với hạn này (các cơn bão trong biển Đông thường tồn tại dưới 3 ngày) nên kết quả thử nghiệm chưa phản ánh rõ đối với hạn 84-96 giờ. Các kết quả này tương đối phù hợp với các kết quả nghiên cứu đã chỉ ra trong [21, 22].



Hình 5. Sai số trung bình (DPE) của 17 cơn bão tại các hạn dự báo từ 24h-96h khi thay đổi số thành phần dự báo tổ hợp trong hệ thống TC_WRF_LETKF.

4. Kết luận

Nghiên cứu này hướng tới khảo sát số lượng thành phần tổ hợp tối ưu cho bài toán dự báo quỹ đạo bão hạn đến 96 giờ. Để tiến hành khảo sát, chúng tôi sử dụng hệ thống TC_WRF-LETKF để tạo ra tổ hợp gồm 32 dự báo trong đó sử dụng cùng một phương pháp đồng hóa số liệu (dùng chung sơ đồ đồ cài xoáy nhân tạo và bộ dữ liệu quan trắc khác) và trường biên toàn cầu như sau. Sự khác biệt giữa các dự báo sẽ chủ yếu tập trung ở các tùy chọn tham số hóa vật lý và tác động của đồng hóa LETKF lên từng dự báo trong quá trình đồng hóa dữ liệu.

Các thử nghiệm dự báo tới hạn 96 giờ được thực hiện dựa trên 17 cơn bão trên Biển Đông trong các năm 2021-2023. Các kết quả đánh giá bước đầu cho thấy khi tăng số thành phần hơn 20, sai số ở hạn dự báo 24, 48 và 72h được cải thiện hết sức rõ rệt. Đối với các hạn 84-96h, mức độ tác động chưa rõ xuất phát từ việc các mẫu thử của các hạn này còn hạn chế do thời gian tồn tại của bão trên biển Đông thường dưới 3 ngày. Nguyên nhân dẫn đến các kết quả này là khi số lượng thành phần tăng lên, độ tán của dự báo tổ hợp được mở rộng và tăng cường khả năng nắm bắt được nghiệm thực, dẫn đến chất lượng dự báo của dự báo trung bình tổ hợp được cải thiện (giảm sai số). Khi số lượng dự báo dưới 20, các dự báo thường chụm lại (gần nhau), dẫn đến độ tán dự báo tổ hợp nhỏ và giảm khả năng nắm bắt được nghiệm thực. Các kết quả đánh giá cũng cho thấy việc sử dụng phương pháp nhiễu động vật lý đôi khi không tạo ra được sự khác biệt quá nhiều trong các dự báo, đặc biệt là tại thời điểm các cơn bão mạnh và có hướng di chuyển không phức tạp, điều này dẫn đến thường tạo ra các dự báo xác suất quá tin cậy, đặc biệt là trong các hạn dự báo 24-48h.

Các kết quả thử nghiệm và đánh giá cũng cho thấy cần thiết phải có các nghiên cứu để lựa chọn ra các dự báo thành phần tốt nhất (theo nghĩa thống kê) cũng lựa chọn ra các tổ hợp con tốt nhất từ 32 dự báo thành phần để ứng dụng trong dự báo nghiệp vụ do việc triển khai hệ thống TC_WRF-LETKF với 32 dự báo thành phần là chưa khả thi trong điều kiện nghiệp vụ hiện nay.

Đóng góp của tác giả: Xây dựng ý tưởng nghiên cứu: V.V.H., D.Đ.T.; Tổng quan tài liệu: V.V.H., D.Đ.T.; Tính toán, xử lý số liệu và phân tích kết quả: Đ.Đ.Q., M.K.H.; Viết bản thảo bài báo: D.Đ.T.; Chỉnh sửa bài báo: V.V.H.

Lời cảm ơn: Các tác giả xin gửi lời cảm ơn tới đề tài NCKH cấp Bộ “Nghiên cứu xây dựng công nghệ dự báo đổi hướng di chuyển và thay đổi cường độ bão, áp thấp nhiệt đới khi đi vào vùng bờ biển Việt Nam”, mã số TNMT.2022.06.01 đã hỗ trợ để nhóm thực hiện nghiên cứu này. Bài báo này cũng là kết quả thực hiện của một nội dung trong đề tài nói trên.

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. Hằng, V.T.; Hương, N.T.T.; Tân, P.V. Đặc điểm hoạt động của bão ở vùng biển gần bờ Việt Nam giai đoạn 1945-2007. *Tạp chí khoa học Đại học Quốc gia Hà Nội, Khoa học Tự nhiên và Công nghệ* **2010**, 26(3S), 344–353.
2. Thanh, C. Dự báo quỹ đạo bão ảnh hưởng đến Việt Nam hạn 5 ngày bằng phương pháp tổ hợp, sử dụng kỹ thuật nuôi nhiễu. Luận án Tiến sĩ, Đại học Quốc gia Hà Nội, 2014.
3. Tiến, D.Đ.; Thành, N.Đ.; Chánh, K.Q.; Hằng, N.T. Khảo sát sai số dự báo và kỹ năng dự báo quỹ đạo và cường độ bão của các trung tâm dự báo và các mô hình động lực trên khu vực Biển Đông. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* **2016**, 661, 17–23.
4. Xin, K.T.; Thành, L.T.; Tân, P.V. Áp dụng mô hình số khu vực phân giải cao vào dự báo hoạt động của bão ở Việt Nam và biển Đông. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* **2002**, 499, 12–21.
5. Thành, L.C. Ứng dụng các loại mô hình số dự báo bão ở Việt Nam. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* **2004**, 5(521), 10–22.
6. Mai, N.C. Thử nghiệm dự báo tổ hợp quỹ đạo bão bằng phương pháp thống kê từ dự báo của các trung tâm quốc tế. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* **2004**, 3(519), 23–28.
7. Tiến, T.T.; Khiêm, M.V.; Hiệp, N.V. Ứng dụng mô hình ETA không thủy tĩnh để dự báo định lượng mưa và quỹ đạo bão ở Việt Nam. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* **2004**, 521, 1–9.
8. Tiến, T.T.; Thanh, C.; Phụng, N.T. Dự báo cường độ bão bằng mô hình WRF hạn 5 ngày trên khu vực biển Đông. *Tạp chí khoa học Đại học Quốc gia Hà Nội* **2012**, 28(3S), 155–160.
9. Hòa, V.V. Đánh giá kỹ năng dự báo quỹ đạo bão của mô hình WRF. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* **2008**, 567, 37–46.
10. Chou, J.F. Predictability of the Atmosphere. *Adv. Atmos. Sci.* **1989**, 6, 335–346.
11. Tien, D.D.; Thanh, N.D.; Chanh, K. Initializing the WRF model with tropical cyclone vital records based on the ensemble Kalman Filter algorithm for real-time forecasts. *Pure Appl. Geophys.* **2017**, 174(7), 2803–2825. Doi:10.1007/s00024-017-1568-0.
12. Hoan, N.T.; Thắng, N.V.; Hiệp, N.V.; Cường, H.Đ. Đánh giá vai trò ban đầu hóa xoáy trong mô hình HWRF đối với dự báo bão trên biển Đông. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* **2014**, 644, 9–12.
13. Tân, P.V.; Hải, B.H. Ban đầu hóa xoáy ba chiều cho mô hình MM5 và ứng dụng trong dự báo quỹ đạo bão. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* **2004**, 10(526), 14–25.
14. Tân, P.V.; Dũng, N.L. Thử nghiệm ứng dụng hệ thống WRF-VAR kết hợp với sơ đồ ban đầu hóa xoáy vào dự báo quỹ đạo bão trên Biển Đông. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* **2009**, 583, 1–9.

15. Minh, P.T. Đánh giá khả năng dự báo quỹ đạo và cường độ bão trên Biển Đông hạn 5 ngày bằng mô hình WRF với sơ đồ đồng hóa LETKF. Luận văn Thạc sĩ, Đại học Quốc gia Hà Nội, 2013.
16. Tiến, T.T.; Mai, H.T.; Thanh, C. Ứng dụng phương pháp lọc Kalman tổ hợp vào dự báo cường độ bão 5 ngày, *Tạp chí khoa học Đại học Quốc gia Hà Nội. Khoa học Tự nhiên và Công nghệ* **2013**, 29(2S), 201–206.
17. Chánh, K.Q. Ước lượng sai số mô hình trong bộ lọc Kalman bằng phương pháp lực nhiễu động. *Tạp chí khoa học Đại học Quốc gia Hà Nội. Khoa học Tự nhiên và Công nghệ* **2010**, 26(3S), 310–316.
18. Chánh, K.Q. NXây dựng hệ thống đồng hóa lọc Kalman tổ hợp địa phương cho mô hình dự báo thời tiết WRF. *Tạp chí khoa học Đại học Quốc gia Hà Nội. Khoa học Tự nhiên và Công nghệ* **2011**, 27(1S), 17–28.
19. Tiến, D.Đ.; Thành, N.Đ.; Chánh, K.Q. Sử dụng đồng thời quan trắc quy mô lớn và quy mô bão trong việc tăng cường thông tin ban đầu cho bài toán dự báo xoáy thuận nhiệt đới bằng mô hình số trị. *VNU J. Sci.: Earth Environ. Sci.* **2016**, 32(3S), 224–235.
20. Trục tuyến: <http://www.metoffice.gov.uk/weather/tropicalcyclone/method>.
21. Hòa, V.V. Dự báo quỹ đạo xoáy thuận nhiệt đới dựa trên dự báo tổ hợp hàng nghìn thành phần. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* **2006**, 547, 7–18.
22. Hòa, V.V. Khảo sát độ nhạy kết quả dự báo quỹ đạo bão tới các sơ đồ tham số hóa đối lưu trong mô hình WRF. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* **2008**, 571, 12–19.

Research on the influence of the number of ensemble members on the results of forecasting tropical cyclone tracks in the East Sea

Vo Van Hoa^{1*}, Du Duc Tien², Dang Dinh Quan², Mai Khanh Hung²

¹ Northern Delta Regional Hydro-Meteorological Center; vovanhoa80@yahoo.com

² National Hydro-Meteorological Forecasting Center; duductien@gmail.com;
quandangdinh92@gmail.com; maikhanhhung18988@gmail.com

Abstract: Research on applying the ensemble assimilation system based on the Local Ensemble Transformation Kalman Filter (LETKF - Local Ensemble Transformation Kalman Filter) developed for the WRF-ARW regional model and the ideal vortex generation module based on analytical parameters Real storm vortices of international centers, referred to as TC-WRF-LETKF system. The generation of ensemble members is implemented through changing the physics options in the WRF-ARW model to include: (a) the two cumulus parameterization schemes, two shortwave radiation schemes, two boundary layer parameterization schemes and four cloud microphysics schemes. Based on the combination of these options, a maximum of 32 different physical configurations can be created. The study will experiment with a number of storms in the East Sea and change the number of physical components to evaluate the influence on tropical cyclone track forecast errors up to 96 hrs. The evaluation results show that the number of forecasts is more than 20, and the error in the range of 24hrs to 72hrs leadtime is significantly improved. For 84hrs and 96 hrs forecast, the level of impact is unclear due to the number of samples are limited because the duration of storms in the East Sea is usually less than 3 days.

Keywords: Ensemble data assimilation; Physical-based perturbation; Ensemble mean.

Bài báo khoa học

Ảnh hưởng của than sinh học từ vỏ trấu kết hợp với rơm rạ trong việc giảm tích lũy đồng ở cây cải thìa

Trần Thị Anh Thu^{1*}, Nguyễn Thành Hưng²

¹ Khoa Khoa học quản lý, Trường Đại học Thủ Dầu Một; thutta@tdmu.edu.vn

² Khoa Công nghệ sinh học, Trường Đại học Mở Thành phố Hồ Chí Minh; hung.ngt@ou.edu.vn

*Tác giả liên hệ: thutta@tdmu.edu.vn; Tel.: +84-772634276

Ban Biên tập nhận bài: 10/5/2024; Ngày phản biện xong: 12/6/2024; Ngày đăng bài: 25/11/2024

Tóm tắt: Nghiên cứu này nhằm đánh giá hiệu quả của than sinh học vỏ trấu (RB) kết hợp với rơm rạ (RS) trong việc giảm hấp thu đồng (Cu) lên cây cải thìa bởi sự thay đổi tính linh động của Cu trong đất. Các thông số tăng trưởng của cây, nồng độ Cu trong cây, hệ số chuyển vị TFs, sự thay đổi hệ số linh động M_F được xác định. Kết quả cho thấy RB làm giảm hấp thu Cu lên thân cây cải thìa. Trong đất ô nhiễm (Cu 200 mg/kg), hàm lượng RB trung bình (2%) là thích hợp nhất để giảm nồng độ Cu trong thân và thúc đẩy tăng trưởng của cây. Đất không bị ô nhiễm (Cu 50 mg/kg), hàm lượng RB thấp (1%) là phù hợp nhất để cải thiện tăng trưởng của cây. Việc kết hợp RS (20 g/kg) với RB giảm hấp thu Cu lên cây và thúc đẩy tăng trưởng của cây tốt hơn so với chỉ bổ sung RB. Than sinh học RB kết hợp rơm rạ RS làm giảm sự chuyển vị Cu từ rễ đến thân. Ngoài ra, mối tương quan tốt giữa M_F với nồng độ Cu trong thân cho thấy rằng M_F để dự đoán sinh khả dụng Cu trong đất.

Từ khóa: Than sinh học; Đồng; Sinh khả dụng; Hệ số linh động; Cải thìa.

1. Đặt vấn đề

Đồng (Cu) với nồng độ trong giới hạn tiêu chuẩn rất cần thiết cho con người và các sinh vật khác. Tuy nhiên, khi nồng độ Cu trở thành ô nhiễm sẽ gây ra độc hại [1–2]. Tỉnh Bình Dương phát triển mạnh về công nghiệp với thành phố Tân Uyên, là một trong những đô thị trung tâm ở phía Đông Bắc tỉnh. Tân Uyên có hơn 2.000 doanh nghiệp hoạt động trong các khu công nghiệp. Phường Thái Hòa thuộc thành phố Tân Uyên đang tập trung phát triển các lĩnh vực công nghiệp, nông nghiệp và dịch vụ. Do đó, phát triển công nghiệp có thể gây ra ô nhiễm kim loại nặng trong đất nông nghiệp. Tích tụ quá mức kim loại nặng có thể suy giảm hệ miễn dịch và gây các bệnh về gan, thận, não. Vì vậy, tìm kiếm các giải pháp giảm ô nhiễm kim loại nặng là rất cần thiết. Hiện nay, đã có nhiều phương pháp giảm thiểu Cu trong đất ô nhiễm, bao gồm sử dụng thực vật và phương pháp vật lý [3]. Tuy nhiên, không dễ dàng thực hiện chúng trong thực tế với quy mô rộng do chi phí cao và nguy cơ gây hại cho cấu trúc đất. Gần đây, các công nghệ mới nhằm cố định Cu trong đất đã được phát triển, nhờ hiệu quả cao, thân thiện với môi trường, chi phí thấp, và dễ dàng thực hiện [4]. Các nghiên cứu sử dụng các loại vật liệu có khả năng cố định Cu trong đất để giảm sự hấp thụ Cu bởi rễ [5].

Hiện nay, than sinh học đã trở thành một phương pháp cố định kim loại nặng trong đất hiệu quả do chi phí thấp, dễ dàng ứng dụng và thân thiện môi trường [6]. Than sinh học giàu cacbon bởi nhiệt phân các chất hữu cơ như chất thải từ vườn và phân động vật trong điều kiện thiếu oxy [7]. Than sinh học có thể biến đổi kim loại nặng từ dạng linh động sang dạng ít linh động [8]. Ngoài ra, than sinh học còn tăng cường hàm lượng chất dinh dưỡng, cải thiện

khả năng giữ nước và phát triển vi sinh vật đất, từ đó thúc đẩy tăng trưởng cây trồng [9–10]. Thêm vào đó, cố định kim loại nặng trong đất bởi than sinh học ngoài tăng cường chất lượng đất còn giảm sự dịch chuyển của các ion kim loại nặng tự do vào nước ngầm, cải thiện chất lượng nước ngầm, phát triển hệ thống thủy văn khu vực.

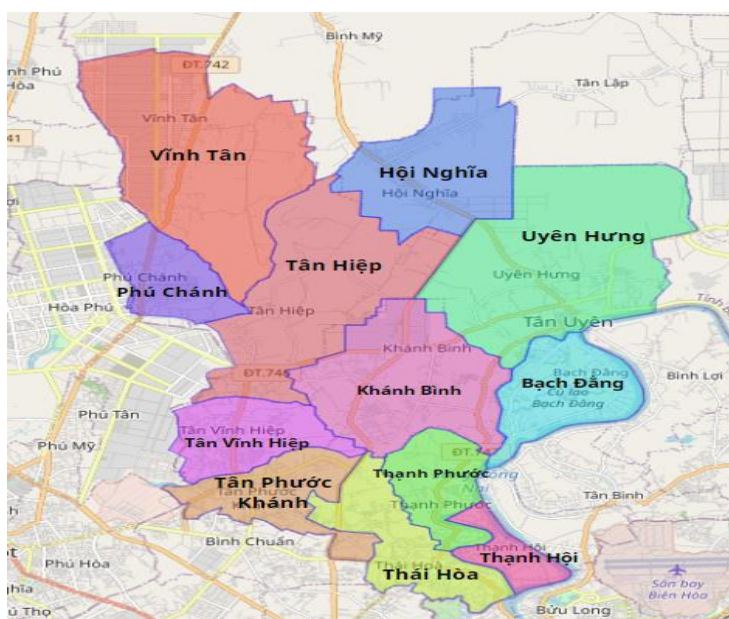
Hiện nay, các nghiên cứu chỉ quan tâm vào tổng nồng độ kim loại nặng trong đất. Tuy nhiên, các chỉ số như sinh khả dụng và đặc tính hóa học mới có thể đánh giá được toàn diện về độc tính tiềm ẩn của kim loại nặng [11]. Đặc tính sinh khả dụng của kim loại nặng chủ yếu do các liên kết hóa học với chất hữu cơ và vô cơ trong đất. Kim loại nặng kết hợp với chất hữu cơ, canxi cacbonat, oxit sắt và mangan [12], ảnh hưởng đến khả năng tích lũy và độc tố đối với thực vật. Phân tích đặc tính này giúp hiểu rõ hơn về các dạng tồn tại kim loại khác nhau và giúp đưa ra quyết định tối ưu hơn khi sử dụng than sinh học [13].

Rơm rạ là phế phẩm nông nghiệp chủ yếu sau quá trình trồng lúa và có thể cung cấp chất hữu cơ và các khoáng chất cho đất [14]. Chất hữu cơ ảnh hưởng đến sự linh động và sinh khả dụng của kim loại nặng [15–16]. Chất hữu cơ có thể tăng cường quá trình tạo phức, hấp phụ và kết tủa của kim loại nặng, từ đó giảm tính linh động [17]. Chất hữu cơ có thể chelate hóa và tăng cường sinh khả dụng của ion kim loại nặng [18]. Tuy nhiên, các nghiên cứu chỉ sử dụng các chất hữu cơ khác nhau (thông qua việc thêm rơm rạ) mà chưa quan tâm đến tiềm năng kết hợp với than sinh học trong việc giảm tính di động và sinh khả dụng của kim loại nặng trong đất. Vì vậy, nghiên cứu này sử dụng than sinh học kết hợp với rơm rạ để ức chế sự hấp thụ Cu. Mục tiêu của nghiên cứu bao gồm: 1) Đánh giá khả năng của than sinh học kết hợp với rơm rạ đối với sự hấp thụ Cu bởi cây cải thìa; 2) Khám phá cơ chế ức chế nồng độ Cu bởi sự giảm hệ số linh động của Cu trong đất; 3) Xác định hàm lượng của than sinh học và rơm rạ để ức chế tối ưu sự hấp thụ Cu bởi cây cải thìa.

2. Phương pháp nghiên cứu

2.1. Khu vực nghiên cứu

Đất thí nghiệm được thu thập tại khu vực Tân Ba, phường Thái Hòa, thành phố Tân Uyên, tỉnh Bình Dương. Tân Uyên thuộc tỉnh Bình Dương, nằm ở phía đông của tỉnh. Thành phố này giáp với các địa phương như huyện Vĩnh Cửu (Đồng Nai), huyện Bắc Tân Uyên, các thành phố Thủ Dầu Một, Bến Cát, Dĩ An, Thuận An (Bình Dương), và thành phố Biên Hòa (tỉnh Đồng Nai). Tân Uyên có diện tích khoảng 192 km² và dân số năm 2022 khoảng 466.000 người, mật độ dân số tương đối cao đạt gần 2.500 người/km². Thái Hòa thuộc Tân Uyên, gồm: An Thành, Ba Đình, Mỹ Hiệp, Phước Hải, Phước Thái, Tân Ba, Tân Mỹ và Vĩnh Phước.



Hình 1. Bản đồ hành chính thành phố Tân Uyên, tỉnh Bình Dương.

2.2. Vật liệu thí nghiệm

Đất sử dụng thí nghiệm là đất sét pha thịt. Đất được làm khô và sàng với rây (đường kính lỗ 5 mm). Tính chất hóa lý của đất thí nghiệm bao gồm độ pH, tỷ trọng, dung trọng, độ ẩm, tổng lượng nitơ, tổng lượng photpho, hàm lượng chất hữu cơ, tổng lượng Cu được phân tích dựa theo phương pháp của Bao [19] (Bảng 1). Độ pH được đo bằng máy đo pH trong nước

chiết xuất theo tỷ lệ đất và nước là 1:2,5. Chất hữu cơ được đo bằng K_2CrO_7 nóng và chuẩn độ $FeSO_4$. Tổng lượng nitơ được đo bằng phương pháp Kjeldahl.

Bảng 1. Đặc tính hóa lý cơ bản của đất thí nghiệm.

| Tính chất lý hóa của đất | Giá trị |
|---------------------------|---------|
| Tỷ trọng (g/cm^3) | 3,01 |
| Dung trọng (g/cm^3) | 1,1 |
| Độ ẩm (%) | 18,5 |
| pH | 5,9 |
| Tổng N (%) | 0,033 |
| Tổng P_2O_5 (%) | 0,053 |
| Tổng hàm lượng hữu cơ (%) | 4,35 |
| Tổng Cu (mg/kg) | 4,8 |

Trong thí nghiệm này, vỏ trấu và rơm rạ được thu gom tại phường Thái Hòa, thành phố Tân Uyên, tỉnh Bình Dương. Than sinh học từ vỏ trấu (RB) được nhiệt phân chậm liên tục trong điều kiện thiếu không khí, đạt nhiệt độ cuối cùng là $500^\circ C$ và thời gian lưu là 8 giờ. Sau đó, than sinh học RB được làm nguội đến nhiệt độ phòng, nghiền và sàng với rây (đường kính lỗ 2 mm). Thành phần carbon (C), nitơ (N), hydro (H) và lưu huỳnh (S) được đo bằng máy phân tích nguyên tố. Khả năng trao đổi cation (CEC) được đo bằng dung dịch CH_3COONH_4 . Diện tích bề mặt được đo bằng máy tự động thông qua đường đẳng nhiệt hấp phụ N_2 của phương pháp BET (*Brunauer-Emmett-Teller*). Các đặc tính hóa lý của các mẫu than sinh học được thể hiện trong Bảng 2.

Bảng 2. Tính chất hóa lý của than sinh học.

| Tính chất lý hóa của đất | Giá trị |
|------------------------------------|-----------|
| Kích thước hạt (mm) | 1,5 - 2,0 |
| Tổng C (%) | 71,3 |
| Tổng N (%) | 2,05 |
| Tổng H (%) | 3,18 |
| Tổng S (%) | 1,48 |
| pH | 10,06 |
| CEC (cmol/kg) | 17,4 |
| Diện tích bề mặt (m^2/g) | 124,7 |
| Đường kính lỗ rỗng trung bình (nm) | 3,62 |
| Tổng thể tích lỗ rỗng (cm^3/g) | 0,25 |
| Tổng Cu (mg/kg) | 3,2 |

Đồng (Cu) được sử dụng cho các nghiệm thức với nồng độ là 0, 50, và 200 mg/kg sử dụng $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ (theo giới hạn tối đa hàm lượng Cu trong đất nông nghiệp được quy định tại QCVN 03-MT:2015/BTNMT là 100 mg/kg). Nghiên cứu này tập trung vào hai nồng độ Cu trong đất: bình thường (50 mg/kg) và ô nhiễm Cu (200 mg/kg). Cruz và cộng sự đã chứng minh rằng nồng độ trung bình của Cu trong đất khoảng từ 1 đến 60 mg/kg và các triệu chứng ngộ độc Cu có thể biểu hiện ở thực vật khi nồng độ Cu vượt quá 150 mg/kg trong đất [20].

Than sinh học RB được trộn đều vào đất với tỷ lệ 0, 1, 2 và 3% (w/w). Rơm rạ (RS) được sử dụng là 0, 10 và 20 g/kg đất (cắt nhỏ 1-1,2 cm). Nghiệm thức đối chứng (CK) được thiết kế không có Cu, than sinh học và rơm rạ. Các nghiệm thức được thiết kế ngẫu nhiên, bao gồm 63 chậu của 21 nghiệm thức (3 lần lặp lại) (Bảng 3).

Bảng 3. Các nghiệm thức đồng, than sinh học và rơm rạ đơn hoặc kết hợp với các nồng độ khác nhau.

| Nghiệm thức | Nồng độ | | | Nghiệm thức | Nồng độ | | | Nghiệm thức | Nồng độ | | |
|-------------|---------|----|----|-----------------|---------|-----|----|--------------|---------|-----|----|
| | Cu | RB | RS | | Cu | RB | RS | | Cu | RB | RS |
| CK | 0 | 0 | 0 | Cu50RB0RS0 | 50 | 0 | 0 | Cu200RB0RS0 | 200 | 0 | 0 |
| | | | | Cu50RB1RS0 | 50 | 1,0 | 0 | Cu200RB1RS0 | 200 | 1,0 | 0 |
| | | | | Cu50RB1RS1 0 | 50 | 1,0 | 10 | Cu200RB1RS10 | 200 | 1,0 | 10 |
| | | | | Cu50RB1RS2 0 | 50 | 1,0 | 20 | Cu200RB1RS20 | 200 | 1,0 | 20 |
| | | | | Cu50RB2RS0 | 50 | 2,0 | 0 | Cu200RB2RS0 | 200 | 2,0 | 0 |
| | | | | Cu50RB2RS1 0 | 50 | 2,0 | 10 | Cu200RB2RS10 | 200 | 2,0 | 10 |
| | | | | Cu50RB2RS2 0 | 50 | 2,0 | 20 | Cu200RB2RS20 | 200 | 2,0 | 20 |
| | | | | Cu50RB3RS0 | 50 | 3,0 | 0 | Cu200RB3RS0 | 200 | 3,0 | 0 |
| | | | | Cu50RB3RS1 0 | 50 | 3,0 | 10 | Cu200RB3RS10 | 200 | 3,0 | 10 |
| | | | | Cu50RB3RS2 0 | 50 | 3,0 | 20 | Cu200RB3RS20 | 200 | 3,0 | 20 |

* Cu (mg/kg); RB (than sinh học vỏ trấu, %); RS (rơm rạ, g/kg).

Đồng được pha thành dung dịch và phun vào đất. Sau khi bổ sung Cu và trộn than sinh học với rơm rạ, đất được ổn định trong 70 ngày. Sau khi ổn định đất, 0,15 g/kg N và 0,033 g/kg P được bón. Mỗi chậu chứa 2,5 kg đất (đường kính: 18 cm; cao: 15 cm) cho tất cả các nghiệm thức. Đất trong các chậu được duy trì ở độ ẩm ổn định khoảng 70% bằng cách tưới nước liên tục. Hạt được gieo trồng, sau đó tỉa còn lại 5 cây/chậu sau 10 ngày. Các cây cải thìa được trồng trong nhà kính, ánh sáng tự nhiên và độ ẩm ở mức 70%. Nhiệt độ trong suốt quá trình trồng cũng được kiểm soát, từ 24°C đến 29°C ban ngày và 16°C đến 24°C ban đêm. Sau 38 ngày, cải thìa được thu hoạch.

2.3. Chuẩn bị mẫu

Phân tích Cu trong các dạng tồn tại: trước khi trồng, các mẫu đất từ từng chậu được bọc kín để tránh ô nhiễm chéo, sau đó làm khô (nhiệt độ phòng) và sàng qua rây (đường kính lỗ 0,15 mm).

Phân tích Cu trong cây: mẫu cải thìa được rửa sạch bằng nước cất và tách riêng phần thân và rễ, sấy khô ở 90°C trong 30 phút, rồi duy trì ở 50°C, nghiền thành bột mịn và bảo quản.

2.4. Phân tích hóa học

2.4.1. Xác định nồng độ Cu trong cải thìa và đất

Đối với mẫu cải thìa, chúng được phân hủy bởi HNO₃ và HClO₄ 4:1 (v/v). Đối với mẫu đất, chúng được phân hủy bởi HNO₃ và HClO₄ 3:1 (v/v). 0,5 g mẫu được cho vào ống thủy tinh 100 mL. Sau đó, thêm 10 mL hỗn hợp axit để qua đêm (nhiệt độ phòng). Phân hủy bằng axit được thực hiện trong lò nung (nhiệt độ tự động) đến khi dung dịch trong suốt. Tiếp theo, mẫu được làm mát và pha loãng (nước khử ion). Cuối cùng, nồng độ Cu được đo bằng hệ thống quang phổ hấp thụ nguyên tử (AAS).

2.4.2. Xác định các dạng tồn tại của Cu trong đất

Phương pháp chiết xuất tuần tự được sử dụng để phân tích các dạng tồn tại của Cu trong đất [21]. Các dạng tồn tại của Cu được chia thành năm dạng: dạng trao đổi (F1), dạng liên

kết với cacbonat (F2), dạng liên kết với Fe-Mn oxy hóa (F3), dạng liên kết với OM (F4), dạng cặn dư (F5).

(1) Dạng trao đổi (F1): xử lý với dung dịch 0,1 mol L⁻¹ NH₄HAC ở 25°C, được lắc trong 2 giờ, dung dịch/đất là 10:1, ly tâm tách ra dạng trao đổi.

(2) Dạng liên kết với cacbonat (F2): xử lý với dung dịch 1 mol L⁻¹ NaAc ở 25°C, được lắc trong 2 giờ, dung dịch/đất là 10:1, ly tâm tách ra dạng liên kết với cacbonat.

(3) Dạng liên kết với Fe-Mn oxy hóa (F3): xử lý với dung dịch 0,1 mol L⁻¹ NH₂OH + 0,01 mol L⁻¹ HCl ở 25°C, được lắc trong 0,5 giờ, dung dịch/đất là 10:1, ly tâm tách ra dạng liên kết với Fe-Mn oxy hóa.

(4) Dạng liên kết với OM (F4): xử lý với dung dịch 0,01 mol L⁻¹ HNO₃, 30% H₂O₂ đun nóng trong 2 giờ ở 85°C, được lắc liên tục, dung dịch/đất là 10:1, ly tâm tách ra dạng liên kết với OM.

(5) Dạng cặn dư (F5): xử lý với dung dịch 15 mL HNO₃, 5 mL HF, 5 mL HClO₄, đun nóng đến 300°C trong 2 h, để cho dạng cặn dư.

Dung dịch chiết xuất được đo bằng máy quang phổ hấp thụ nguyên tử (AAS).

2.5. Kiểm soát chất lượng

Tổng nồng độ Cu trong đất nông nghiệp giới hạn là 100 mg/kg theo QCVN 03-MT:2015/BTNMT, tổng nồng độ Cu trong rau giới hạn là 40 mg/kg theo FAO/WHO (2007).

2.6. Hệ số linh động

Hệ số linh động (M_F) của Cu trong đất được tính toán để đánh giá tương ứng độ linh động và sinh khả dụng của Cu. M_F là tỷ lệ giữa nồng độ Cu trong dạng linh động với tổng nồng độ Cu trong tất cả các dạng tồn tại.

$$\text{Hệ số linh động: } M_F = \frac{(F_1 + F_2)}{(F_1 + F_2 + F_3 + F_4 + F_5)} \times 100\%$$

Tính linh động của Cu được phân thành 4 loại: thấp (1% M_F ≤ 10%), trung bình (10% < M_F ≤ 30%), cao (30% < M_F ≤ 50%) và rất cao (M_F > 50%).

2.7. Hệ số chuyển vị

Hệ số chuyển vị (TFs) xác định khả năng chuyển vị của Cu từ rễ sang thân. TFs được định nghĩa là:

$$TFs = \frac{\text{Tổng nồng độ Cu trong thân cải thìa}}{\text{Tổng nồng độ Cu trong rễ cải thìa}}$$

2.8. Phân tích dữ liệu thống kê

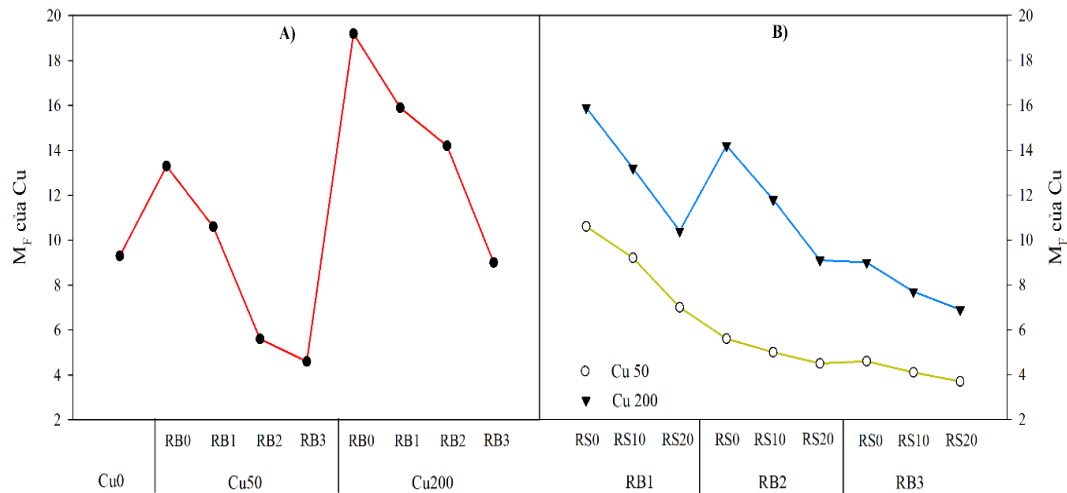
Nghiên cứu này áp dụng phương pháp thống kê so sánh Dunnett trong phân tích phương sai một chiều (One-way ANOVA), P < 0,05 là sự khác biệt đáng kể. Kết quả được trình bày bởi giá trị trung bình ± độ lệch chuẩn.

3. Kết quả và thảo luận

3.1 Sự thay đổi tính linh động của Cu trong đất

Ảnh hưởng của than sinh học vỏ trấu và rơm rạ đến thay đổi tính linh động của Cu trong đất được biểu thị bởi hình 2. Dạng linh động được xem là các dạng tồn tại có liên kết yếu, đại diện cho khả năng sinh học của Cu [22–23]. Trong đất tự nhiên, Cu kết hợp với chất hữu cơ, dẫn đến hệ số linh động M_F của Cu tương đối thấp (M_F 9,3%). Khi thêm dung dịch Cu vào đất, nồng độ Cu trong các dạng linh động tăng đáng kể. Đối với các nghiệm thức chỉ thêm dung dịch Cu, hệ số linh động M_F tăng 43,0% ở các nghiệm thức nồng độ Cu thấp (50

mg/kg) và tăng đáng kể lên tới 2,1 lần ở các nghiệm thức nồng độ Cu cao (200 mg/kg) so với nghiệm thức đối chứng.



Hình 2. Hệ số linh động M_F của Cu trong đất với các nghiệm thức: A) Chỉ bổ sung than sinh học RB; B) Kết hợp than sinh học RB và rơm rạ RS.

Bổ sung than sinh học vỏ trấu (RB) giảm linh động của Cu trong đất, tăng cường khả năng liên kết Cu. Ở các nghiệm thức nồng độ Cu thấp (50 mg/kg), sử dụng than sinh học RB với hàm lượng thấp và trung bình (1% và 2%) làm giảm đáng kể hệ số linh động M_F xuống còn 20,3-57,9% so với các nghiệm thức chỉ bổ sung Cu. Tuy nhiên, mức giảm này không đổi với hàm lượng than sinh học RB cao (3%) so với ở các nghiệm thức có hàm lượng than sinh học RB trung bình (2%). Ở các nghiệm thức nồng độ Cu cao (200 mg/kg), sử dụng than sinh học RB đã làm giảm hệ số linh động M_F giảm xuống đến 17,2-53,1% so với các nghiệm thức chỉ bổ sung Cu. Do vậy, sự giảm tỷ lệ dạng Cu linh động mạnh khi sử dụng than sinh học RB hàm lượng 2% đối với các nghiệm thức nồng độ Cu thấp (50 mg/kg) và hàm lượng 3% đối với các nghiệm thức nồng độ Cu cao (200 mg/kg).

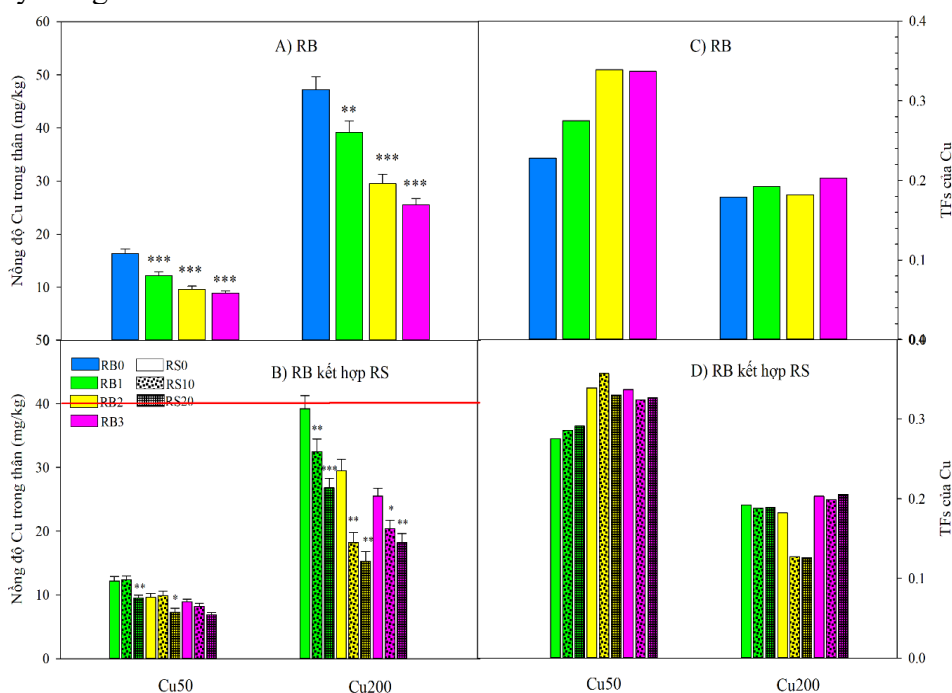
Cơ chế tác động của than sinh học lên Cu phụ thuộc sự chuyển đổi các dạng linh động. Sự biến đổi này do các quá trình như trao đổi ion, hiệu ứng tĩnh điện, hấp phụ vật lý, tạo phức và kết tủa [24–25]. Các nhóm chức trên bề mặt cũng góp phần vào khả năng trao đổi ion của than sinh học và có thể tăng pH của đất [26]. Ngoài ra, các ion kim loại kiềm thổ (K^+ , Na^+ , Ca^{2+} và Mg^{2+}) trên bề mặt than sinh học có thể tăng khả năng trao đổi ion của đất. Do đó, trao đổi ion chủ yếu liên quan đến việc trao đổi ion kim loại nặng với các anion điện phân, cation và ion kim loại kiềm thổ [27]. Lực hút tĩnh điện của than sinh học và kim loại nặng do sự hấp phụ của các cation kim loại nặng với các anion trên bề mặt, từ đó cố định kim loại nặng. Quá trình hấp phụ vật lý diễn ra bởi các ion kim loại nặng hấp phụ trên diện tích bề mặt riêng của than sinh học hoặc khuếch tán vào các vi lỗ trên bề mặt của nó. Việc tăng độ pH của đất đã thúc đẩy quá trình hấp phụ kim loại nặng, làm giảm sinh khả dụng [28]. Sự kết tủa của kim loại nặng với nhóm cacbonat, photphat hoặc khoáng chất trên bề mặt than sinh học giúp cố định các kim loại nặng. Sự tạo phức xảy ra khi các nhóm chức chứa O trên bề mặt than sinh học tạo thành phức chất với các ion kim loại nặng, do đó làm giảm tính linh động và sinh khả dụng của chúng [29].

Đối với các nghiệm thức than sinh học vỏ trấu (RB) kết hợp rơm rạ (RS), với hàm lượng RS thấp (10 g/kg), hệ số linh động M_F giảm nhẹ 10,7%–17,0%, so với nghiệm thức chỉ sử dụng than sinh học RB. Với hàm lượng RS cao (20 g/kg), hệ số linh động M_F giảm xuống còn 19,6%–35,9%, so với các nghiệm thức chỉ sử dụng than sinh học RB. Nguyên nhân có thể do RS làm giảm nồng độ Cu^{2+} tự do [30], bởi khả năng hấp phụ của RS và sự gia tăng pH trong các nghiệm thức có RS [30]. Vì vậy, RS cũng có thể tăng cường liên kết Cu trong đất và nghiệm thức than sinh học RB và RS kết hợp có thể giảm sự tích tụ Cu đáng kể hơn so với nghiệm thức chỉ than sinh học RB.

3.2. Ảnh hưởng đến sự tích lũy Cu trong cải thìa và chuyển vị từ rễ đến thân

Ảnh hưởng của than sinh học vỏ trấu và rom rạ đến sự tích lũy Cu trong thân cây cải thìa và sự chuyển vị Cu từ rễ đến thân được biểu thị bởi hình 3. Số liệu được trình bày là trung bình \pm SD ($n = 3$). Đường màu đỏ quy định giới hạn tối đa cho nồng độ Cu trong rau theo FAO/WHO (2007). Các ngôi sao biểu thị sự khác biệt đáng kể so với các nghiệm thức không dùng rom rạ RS hoặc than sinh học RB (* $P < 0,05$, ** $P < 0,01$, *** $P < 0,001$).

Trong đất bản địa, nồng độ Cu trong thân cây cải thìa là 6,2 mg/kg và hệ số chuyển vị TFs là 0,274. Khi thêm Cu vào các nghiệm thức với nồng độ 200 mg/kg, nồng độ Cu trong thân tăng lên đến 7,6 lần nhưng hệ số chuyển vị TFs giảm 34,9%, so với nghiệm thức đối chứng. Do vậy, lượng nhỏ Cu được chuyển lên thân cây cải thìa trong khi lượng đáng kể Cu được tích lũy trong rễ.



Hình 3. Nồng độ Cu trong thân cây cải thìa và Hệ số chuyển vị TFs của Cu từ rễ đến thân.

Sử dụng than sinh học RB đã giảm đáng kể hệ số linh động M_F của Cu, giảm sinh khả dụng của Cu và giảm sự hấp thụ Cu bởi cây cải thìa. Ở các nghiệm thức nồng độ Cu thấp (50 mg/kg), than sinh học RB giảm đáng kể nồng độ Cu trong thân cây cải thìa xuống 25,6-41,5% ($P < 0,001$); ngược lại, hệ số chuyển vị TFs tăng 20,7-48,7%, ở hàm lượng than sinh học RB thấp và trung bình (1% và 2%), so với các nghiệm thức Cu đơn. Mức giảm nồng độ Cu trong thân vẫn không đổi khi hàm lượng than sinh học RB tăng lên 3% so với các nghiệm thức hàm lượng than sinh học RB trung bình (2%). Kết quả này có thể do hàm lượng than sinh học RB thấp và trung bình có thể đủ để hấp phụ Cu, làm giảm sự hấp thụ Cu của cây; và do đó, bổ sung hàm lượng than sinh học RB cao hơn (3%) cũng không làm giảm thêm nồng độ Cu. Ở các nghiệm thức nồng độ Cu cao (200 mg/kg), nồng độ Cu trong thân giảm đáng kể xuống 16,9-46,0% ($P < 0,001$), hệ số chuyển vị TFs thay đổi không đáng kể, tăng nhẹ 1,8-13,8%, so với các nghiệm thức Cu đơn, và hàm lượng than sinh học RB 3% có hiệu quả cao nhất. Do đó, than sinh học RB với hàm lượng 3% đạt hiệu quả cố định Cu trong đất tốt hơn nhưng nó lại không làm thay đổi sự vận chuyển Cu từ rễ sang thân. Các nghiên cứu trước đây cũng có kết luận tương đồng. Wang và cộng sự đã kết luận rằng than sinh học từ vỏ trấu giảm nồng độ Cu trong cây từ 25,24% đến 35,98% [31]. Nejad và Wang đã kết luận rằng hàm lượng Cu trong cải bẹ xanh và cải thìa giảm khi sử dụng than sinh học [32–33]. Nghiên cứu [10] đã cho thấy 5% than sinh học tre, than sinh học rom rạ và than sinh học vỏ quả óc chó đã làm giảm nồng độ Cu của rễ lần lượt là 15%, 35% và 26%.

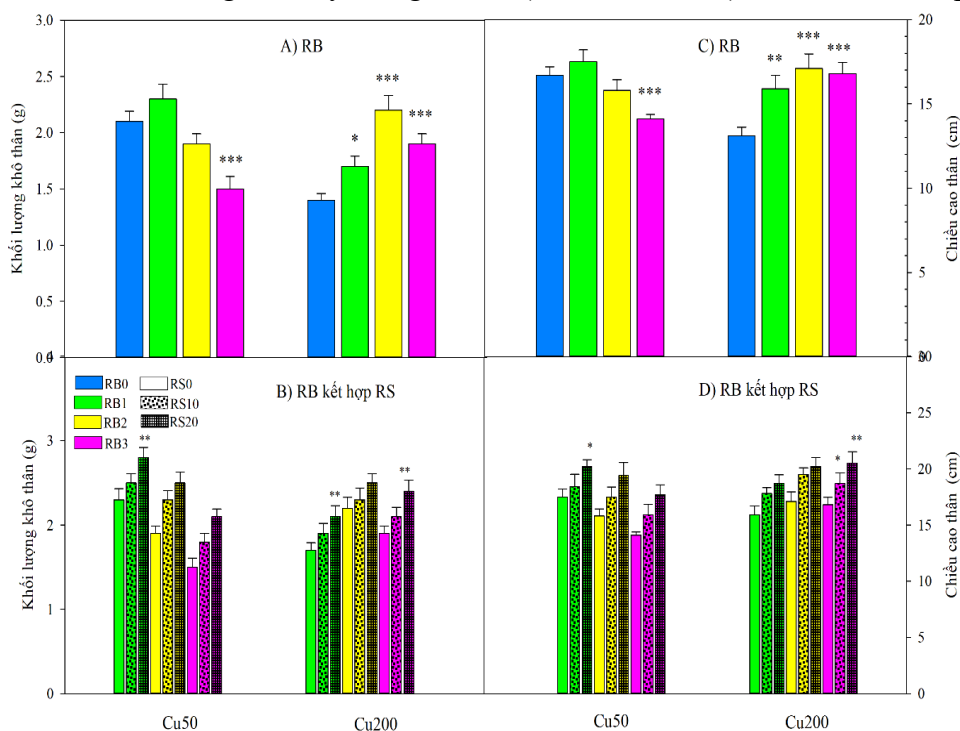
Đối với nghiệm thức than sinh học RB kết hợp rơm rạ (RS), ở nồng độ Cu thấp (50 mg/kg), nồng độ Cu trong thân không thay đổi đáng kể ($P > 0,05$) với hàm lượng RS thấp (10 g/kg), nồng độ Cu trong thân giảm nhẹ 22,1-24,0% ($P < 0,05$) với hàm lượng RS cao (20 g/kg), hệ số chuyển vị TFs không thay đổi đáng kể; so với nghiệm thức chỉ có than sinh học RB. Đặc biệt, trong các nghiệm thức Cu ở nồng độ 200 mg/kg, nồng độ Cu trong thân giảm đáng kể 17,1-48,1% ($P < 0,001$), hệ số chuyển vị TFs cũng giảm 1,6-31,0% so với nghiệm thức chỉ có than sinh học RB, và giá trị cao đáng kể được quan sát thấy ở hàm lượng RS 20 g/kg. Vì vậy, sự kết hợp của than sinh học RB và rơm rạ RS có thể giảm đáng kể sự tích lũy Cu trong cây và sự chuyển vị Cu từ rễ đến thân.

Tuy nồng độ Cu trong cây cải thìa giảm khi sử dụng than sinh học RB với các nghiệm thức ở nồng độ Cu cao (200 mg/kg), nồng độ Cu trong thân vẫn còn tương đối cao. Nồng độ Cu trong thân cây cải thìa khi sử dụng than sinh học RB ở hàm lượng thấp (1%) và trung bình (2%) có giá trị từ 29,5 mg/kg đến 39,2 mg/kg, gần vượt giá trị tiêu chuẩn 40 mg/kg theo FAO/WHO (2007). Nồng độ Cu trong thân không vượt quá giá trị tiêu chuẩn, nhưng tiêu thụ các loại rau này có thể gây nguy hại cho người tiêu dùng. Khi kết hợp than sinh học RB với rơm rạ RS, nồng độ Cu trong thân thấp nhiều so với giá trị tiêu chuẩn. Nồng độ Cu trong thân cây cải thìa khi sử dụng than sinh học RB kết hợp rơm rạ RS ở hàm lượng RS cao (20 g/kg) từ 15,3 mg/kg đến 26,6 mg/kg, nằm trong giới hạn tốt nhất của nồng độ Cu trong cây cải thìa, thúc đẩy tăng trưởng và không ảnh hưởng sức khỏe. Vì vậy, than sinh học RB kết hợp rơm rạ RS có hiệu quả hơn chỉ sử dụng than sinh học RB trong việc giảm nồng độ Cu trong thân cây cải thìa.

3.3. Ảnh hưởng đến tăng trưởng của cây cải thìa

Ảnh hưởng của than sinh học vỏ trấu và rơm rạ đến tăng trưởng của thân cây cải thìa được biểu thị bởi hình 4. Số liệu được trình bày là trung bình \pm SD ($n = 3$). Các dấu hoa thị biểu thị sự khác biệt đáng kể so với các nghiệm thức không dùng rơm rạ RS hoặc than sinh học RB (* $P < 0,05$, ** $P < 0,01$, *** $P < 0,001$).

Đối với các nghiệm thức Cu đơn, ở nồng độ Cu thấp (50 mg/kg), khối lượng khô và chiều cao của thân tăng nhẹ 10,5% và 3,6% so với nghiệm thức đối chứng. Ngược lại, khối lượng khô và chiều cao của thân giảm 26,3% và 18,5% ở nồng độ Cu cao (200 mg/kg), so với nghiệm thức đối chứng. Do vậy, nồng độ cao (vượt tiêu chuẩn) Cu đã ức chế sự phát triển



Hình 4. Khối lượng khô của thân và chiều dài của thân cây cải thìa.

của cây. Những kết quả này tương đồng với các nghiên cứu trước, nhấn mạnh ảnh hưởng của kim loại nặng đến quá trình nguyên phân tế bào ở đầu rễ, giảm tốc độ phân chia tế bào và suy giảm sinh khối [34]. Nghiên cứu [35] cũng kết luận sự sụt giảm sinh khối ở cải thìa và cải rổ được trồng trong đất ô nhiễm Cu.

Ở các nghiệm thức nồng độ Cu thấp (50 mg/kg), hàm lượng than sinh học RB thấp nhất (1%) làm tăng khối lượng khô và chiều cao của thân cây cải thìa, tăng lần lượt 9,5% và 5,2% so với các nghiệm thức Cu đơn. Ở hàm lượng than sinh học RB trung bình và cao (2% và 3%), khối lượng khô và chiều cao của thân giảm đáng kể 9,5-28,6% ($P < 0,001$) và 5,2-15,7% ($P < 0,001$), so với các nghiệm thức Cu đơn. Do vậy, hàm lượng than sinh học RB thấp (1%) là thích hợp nhất để giảm nồng độ Cu trong cây và thúc đẩy tăng trưởng của cây trên đất không bị ô nhiễm Cu. Ở các nghiệm thức nồng độ Cu cao (200 mg/kg), khối lượng khô và chiều cao của thân tăng lên khi bổ sung than sinh học RB so với các nghiệm thức Cu đơn. Các nghiệm thức có hàm lượng than sinh học RB 2% cho thấy khối lượng khô và chiều cao của thân cao đáng kể so với các nghiệm thức có hàm lượng than sinh học RB 3%. Cụ thể, sử dụng than sinh học RB ở hàm lượng trung bình (2%) dẫn đến khối lượng khô và chiều cao của thân tăng đáng kể 57,1% và 30,4% ($P < 0,001$). Vì vậy, hàm lượng than sinh học RB trung bình (2%) là phù hợp nhất để giảm nồng độ Cu trong cây và cải thiện sinh trưởng trên đất ô nhiễm Cu. Những kết luận trên phù hợp với nghiên cứu [36], chứng minh sinh khối của cây cải bẹ xanh tăng đáng kể khi sử dụng 2% than sinh học và giảm ở mức sử dụng cao hơn tới 6%.

Sự gia tăng khối lượng khô do than sinh học có thể do một số yếu tố. Thứ nhất, than sinh học có thể tăng cường hấp thụ chất dinh dưỡng trong đất [37], dẫn đến thúc đẩy tăng trưởng của cây trồng. Than sinh học có thể cải thiện tính chất lý hóa của đất [38], hỗ trợ sự phát triển của thực vật. Thứ hai, than sinh học có khả năng làm giảm sinh khả dụng của kim loại nặng trong đất [39]. Sự giảm khả dụng sinh học này làm giảm độc tính của kim loại nặng, do đó thúc đẩy tăng trưởng thực vật. Tuy nhiên, hàm lượng than sinh học tăng thì khối lượng khô của cây có thể giảm. Sự suy giảm do độ pH của đất tăng bởi than sinh học, có thể làm giảm lượng dinh dưỡng sẵn có và sau đó ức chế tăng trưởng của thực vật [40]. Hơn nữa, tỷ lệ than sinh học quá mức có thể có tác động tiêu cực. Diện tích bề mặt lớn của than sinh học có thể hấp thụ chất dinh dưỡng trong đất, gây ra thiếu chất dinh dưỡng và giảm tăng trưởng của thực vật [41].

Đối với các nghiệm thức than sinh học RB kết hợp rom rạ RS, khối lượng khô và chiều cao của thân tăng đáng kể (8,7-40,0%, $P < 0,01$; 5,0-25,8%; $P < 0,05$) ở nồng độ Cu 50 mg/kg Cu, đặc biệt là với hàm lượng RS cao (20 g/kg), so với các nghiệm thức chỉ có than sinh học RB. Do vậy, bổ sung RS trong các nghiệm thức than sinh học RB thúc đẩy tăng trưởng của cây tốt hơn so với các nghiệm thức chỉ có than sinh học RB. Tuy nhiên, đối với các nghiệm thức ở nồng độ Cu cao (200 mg/kg), khối lượng khô và chiều cao của thân tăng nhẹ 4,5%–26,3% ($P < 0,01$) và 11,2-21,9% ($P < 0,05$) so với nghiệm thức chỉ có than sinh học RB. Mặc dù nồng độ Cu trong thân giảm đáng kể ($P < 0,001$) và hệ số chuyển vị TFs cũng giảm nhưng chỉ số tăng trưởng của cây cải thìa chỉ tăng nhẹ. Nguyên nhân có thể do lượng vi sinh vật trong đất tăng sau khi bổ sung RS, và nhiều chất dinh dưỡng có sẵn của thực vật được cố định bởi vi sinh vật, hạn chế sự phát triển của thực vật [42]. Vì vậy, bổ sung RS trong các nghiệm thức than sinh học RB thúc đẩy tăng trưởng của cây hơn so với các nghiệm thức chỉ có than sinh học RB.

3.4 Mối tương quan giữa tính linh động Cu trong đất, sự tích lũy Cu trong cải thìa và sự tăng trưởng của cây

Để xác định ảnh hưởng của các dạng tồn tại Cu trong đất đến sinh khả dụng Cu trong đất và sự tăng trưởng của cải thìa, mối tương quan giữa chúng được phân tích (Bảng 4).

Bảng 4. Phân tích tương quan giữa hệ số linh động Cu trong đất với sự hấp thụ Cu và sự tăng trưởng của cây cải thìa.

| Hệ số tương quan | M _F | Nồng độ Cu | TFs | Khối lượng khô | Chiều cao |
|------------------|----------------|------------|----------|----------------|-----------|
| M _F | 1 | 0,855** | -0,708** | -0,310 | -0,285 |
| Nồng độ Cu | 0,855** | 1 | -0,685** | -0,449* | -0,295 |
| TFs | -0,708** | -0,685** | 1 | 0,010 | -0,235 |
| Khối lượng khô | -0,310 | -0,449* | 0,010 | 1 | 0,894** |
| Chiều cao | -0,285 | -0,295 | -0,235 | 0,894** | 1 |

* $P < 0.05$, ** $P < 0.01$, $n = 21$.

Mối tương quan tốt giữa sự hấp thụ Cu của thân và hệ số chuyển vị TFs với hệ số linh động M_F ($R > 0,7$; $P < 0,01$). Tương quan thuận giữa hệ số linh động M_F và nồng độ Cu trong thân cây cải thìa cho thấy rằng sự thay đổi các dạng Cu linh động (F1 và F2) ảnh hưởng chủ yếu đến sự tích lũy Cu trong cây. Do đó, các dạng linh động quyết định sinh khả dụng Cu trong đất, và phần lớn Cu trong thực vật được hấp thụ trực tiếp từ các dạng linh động trong đất.

Đối với sự tăng trưởng của cây cải thìa, khối lượng khô và chiều cao của thân không tương quan với hệ số linh động M_F ($R < 0,4$; $P > 0,05$). Mặc dù việc sử dụng than sinh học RB và rơm rạ RS làm giảm tính linh động của Cu trong đất và nồng độ Cu trong thân cây cải thìa, nhưng không có tương quan giữa hệ số M_F và sự tăng trưởng của cây. Từ những kết quả này có thể kết luận rằng các chỉ số tăng trưởng của cây có thể không sử dụng để đánh giá ô nhiễm Cu trong đất. Tuy nhiên, người ta tìm thấy tương quan nghịch giữa nồng độ Cu và khối lượng khô của thân cải thìa ($R > 0,4$; $P < 0,05$). Kết quả này cho thấy sự tăng trưởng của cây cải thìa bị ảnh hưởng bởi sự tích lũy Cu trong cây.

4. Kết luận

Than sinh học từ vỏ trấu RB có thể giảm sự hấp thụ Cu lên thân cải thìa. Trong đất ô nhiễm Cu với nồng độ cao (200 mg/kg), hàm lượng than sinh học RB trung bình (2%) là thích hợp nhất để giảm nồng độ Cu trong thân và thúc đẩy sự tăng trưởng của cải thìa. Trong đất Cu không bị ô nhiễm với nồng độ Cu thấp (50 mg/kg), hàm lượng than sinh học RB thấp (1%) là phù hợp nhất để cải thiện sự phát triển của cải thìa. Việc kết hợp rơm rạ RS (20 g/kg) với than sinh học RB giảm đáng kể sự hấp thụ Cu lên cây và thúc đẩy sự tăng trưởng của cải thìa tốt hơn so với chỉ bổ sung than sinh học RB. Than sinh học RB kết hợp rơm rạ RS làm giảm sự chuyển vị Cu từ rễ đến thân. Mối tương quan tốt giữa hệ số linh động M_F với nồng độ Cu trong thân cải thìa có thể kết luận rằng M_F có thể dự đoán sinh khả dụng Cu trong đất. Ngoài ra, cố định Cu trong đất bởi than sinh học RB kết hợp rơm rạ RS có thể giảm sự dịch chuyển của các ion Cu²⁺ tự do trong dung dịch đất, cải thiện chất lượng nước ngầm, phát triển hệ thống thủy văn khu vực.

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

Lời cảm ơn: Nghiên cứu này được tài trợ bởi Trường Đại học Thủ Dầu Một trong đề tài mã số DT.20.2-028.

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. Saravu, K.; Jose, J.; Bhat, M.N.; Jimmy, B.; Shastry, B.A. Acute ingestion of copper sulphate: A review on its clinical manifestations and management. *India J. Crit. Care Med.* **2007**, *11*(2), 74–80.
2. Asati, A.; Pichhode, M.; Nikhil, K. Effect of heavy metals on plants: an overview. *Int. J. Appl. Innov. Eng. Manage.* **2016**, *5*, 2319–4847.
3. Norini, M.P.; Thouin, H.; Miard, F.; Battaglia-Brunet, F.; Gautret, P.; Guegan, R.; Forestier, L.L.; Morabito, D.; Bourgerie, S.; MotelicaHeino, M. Mobility of Pb, Zn, Ba, As and Cd toward soil pore water and plants (willow and ryegrass) from a mine soil amended with biochar. *J. Environ. Manag.* **2019**, *232*, 117–130.
4. Hamid, Y.; Tang, L.; Yaseen, M.; Hussain, B.; Zehra, A.; Aziz, M.Z.; He, Z.L.; Yang, X. Comparative efficacy of organic and inorganic amendments for cadmium and lead immobilization in contaminated soil under rice-wheat cropping system. *Chemosphere* **2019**, *214*, 259–268.
5. Kaur, R.; Bhatti, S.S.; Singh, S.; Singh, J.; Singh, S. Phytoremediation of heavy metals using cotton plant: a field analysis. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* **2018**, *101*, 637–643.
6. Beiyuan, J.; Tsang, D.C.; Ok, Y.S.; Zhang, W.; Yang, X.; Baek, K.; Li, X.D. Integrating EDDS enhanced washing with low-cost stabilization of metal-contaminated soil from an ewaste recycling site. *Chemosphere* **2016**, *159*, 426–432.
7. Mailakeba, C.D.; Rajashekhar Rao, B.K. Biochar application does not improve the biochemical properties of Ni contaminated soil. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* **2020**, *105*, 633–638.
8. Lwin, C.S.; Seo, B.H.; Kim, H.U.; Owens, G.; Kim, K.R. Application of soil amendments to contaminated soils for heavy metal immobilization and improved soil quality-a critical review. *Soil Sci. Plant Nutr.* **2018**, *64*(2), 156–167.
9. Sorrenti, G.; Ventura, M.; Toselli, M. Effect of biochar on nutrient retention and nectarine tree performance: a three-year field study. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* **2016**, *179*, 336–346.
10. Wang, Y.Y.; Ji, H.Y.; Lyu, H.H.; Liu, Y.X.; He, L.L.; You, L.C.; Zhou, C.H.; Yang, S.M. Simultaneous alleviation of Sb and Cd availability in contaminated soil and accumulation in *Lolium multiflorum* Lam. after amendment with Fe-Mn-modified biochar. *J. Clean Prod.* **2019**, *231*, 556–564.
11. Lu, S.J.; Teng, Y.G.; Wang, Y.Y.; Wu, J.; Wang, J.S. Research on the ecological risk of heavy metals in the soil around a Pb-Zn mine in the Huize County, China. *Chin. J. Geochem.* **2015**, *34*(2), 540–549.
12. Lasota, J.; Błonska, E.; Lyszczarz, S.; Tibbett, M. Forest humus type governs heavy metal accumulation in specific organic matter fractions. *Water Air Soil Pollut.* **2020**, *231*, 80.
13. Wierzbowska, J.; Kovačik, P.; Sienkiewicz, S.; Krzebietke, S.; Bowszys, T. Determination of heavy metals and their availability to plants in soil fertilized with different waste substances. *Environ. Monit. Assess.* **2018**, *190*(10), 567.
14. Chivenge, P.; Rubianes, F.; Duong, V.C. Rice straw incorporation influences nutrient cycling and soil organic matter. *Sustainable Rice Straw Manage.* **2020**, 131–144.
15. Weng, L.P.; Temminghoff, E.J.M.; Lofts, S.; Tipping, E.; Van Riemsdijk, W.H. Complexation with dissolved organic matter and solubility control of heavy metals in a sandy soil. *Environ. Sci. Technol.* **2002**, *36*, 4804–4810.
16. Alvim Farraz, M.C.M.; Lourenco, J.C.N. The influence of organic matter content of contaminated soils on the leaching rate of heavy metals. *Environ. Prog.* **2000**, *19*, 53–58.

17. Warne, M.S.J.; Heemsbergen, D.; Mclaughlin, M.; Bell, M.; Broos, K.; Whatmuff, M.; Barry, G.; Nash, D.; Pritchard, D.; Penney, N. Models for the field-based toxicity of copper and zinc salts to wheat in 11 Australian soils and comparison to laboratory-based models. *Environ. Pollut.* **2008**, *156*, 707–714.
18. Zhao, K.L.; Fu, W.J.; Ye, Z.Q.; Zhang, C.S. Contamination and spatial variation of heavy metals in the soil-rice system in Nanxun County, Southeastern China. *Int. J. Environ. Res. Publ. Health.* **2015**, *12*, 1577–1594.
19. Bao, S.D. Method of Soil Chemistry Analysis. *Chin. Agric. Sci. Technol. Press.* **2000**, 373–375. (In Chinese)
20. Cruz, F.J.R.; da Cruz Ferreira, R.L.; Conceicao, S.S.; Lima, E.U.; de Oliveira Neto, C.F.; Galvão, J.R.; da Cunha Lopes, S.; de Jesus Matos Viegas, I. Copper toxicity in plants: nutritional, physiological, and biochemical aspects. Kimatu JN (ed) *Advances in plant defense mechanisms*, 2022.
21. Hu, B.; Liang, D.L.; Liu, J.J.; Lei, L.M.; Yu, D.S. Transformation of heavy metal fractions on soil urease and nitrate reductase activities in copper and selenium co-contaminated soil. *Ecotoxicol. Environ. Saf.* **2014**, *110*, 41–48.
22. Tessier, A.; Campbell, P.; Bisson, M. Sequential extraction procedure for the speciation of particulate trace metals. *Anal. Chem.* **1979**, *51*, 844–851.
23. Baruah, N.K.; Kotoky, P.; Bhattacharyya, K.G.; Borah, G.C. Metal speciation in Jhanji river sediments. *Sci. Total Environ.* **1996**, *193*, 1–12.
24. Beckers, F.; Awad, Y.M.; Beiyuan, J.; Abrigata, J.; Mothes, S.; Tsang, D.C.W.; Ok, Y.S.; Rinklebe, J. Impact of biochar on mobilization, methylation, and ethylation of mercury under dynamic redox conditions in a contaminated floodplain soil. *Environ. Int.* **2019**, *127*, 276–290.
25. Rinklebe, J.; Shaheen, S.M.; El-Naggar, A.; Wang, H.; Du Laing, G.; Alessi, D.S.; Sik Ok, Y. Redox-induced mobilization of Ag, Sb, Sn, and Tl in the dissolved, colloidal and solid phase of a biochar-treated and un-treated mining soil. *Environ. Int.* **2020**, *140*, 105754.
26. Zhang, Y.F.; Wang, J.M.; Feng, Y. The effects of biochar addition on soil physicochemical properties: A review. *Catena* **2021**, *202*, 105284.
27. Chen, C.; Liao, M. Research progress on the remediation of soils contaminated by heavy metals. *Trace Elem. Sci.* **2004**, *11(10)*, 1–8.
28. Zhang, X.K.; Wang, H.L.; He, L.Z.; Lu, K.P.; Sarmah, A.; Li, J.W.; Bolan, N.S.; Pei, J.C.; Huang, H.G. Using biochar for remediation of soils contaminated with heavy metals and organic pollutants. *Environ. Sci. Pollut. Res.* **2013**, *20*, 8472–8483.
29. Zhou, D.; Ghosf, S.; Zhang, D.; Liang, N.; Dong, X.; Wu, M.; Pan, B. Role of ash content in biochar for copper immobilization. *Environ. Eng. Sci.* **2016**, *33*, 962–969.
30. Cui, Y.S.; Du, X.; Weng, L.P.; Zhu, Y.G. Effects of rice straw on the speciation of cadmium (Cd) and copper (Cu) in soils. *Geoderma.* **2008**, *146(1–2)*, 370–377.
31. Wang, Y.Y.; Zheng, K.X.; Zhan, W.H.; Huang, L.Y.; Liu, Y.D.; Li, T.; Yang, Z.H.; Liao, Q.; Chen, R.H.; Zhang, C.S. Highly effective stabilization of Cd and Cu in two different soils and improvement of soil properties by multiple-modified biochar. *Ecotoxicol. Environ. Saf.* **2021**, *207*, 111294.
32. Nejad, Z.D.; Jung, M.C. The effects of biochar and inorganic amendments on soil remediation in the presence of hyperaccumulator plant. *Int. J. Energy Environ. Eng.* **2017**, *8*, 317–329.
33. Wang, Y.Y.; You, L.C.; Lyu, H.H.; Liu, Y.X.; He, L.L.; Hu, Y.D.; Luo, F.C.; Yang, S.M. Role of biochar-mineral composite amendment on the immobilization of heavy metals for *Brassica chinensis* from naturally contaminated soil. *Environ. Technol. Innov.* **2022**, *28*, 102622.

34. Seregin, I.V.; Kozhevnikova, A.D. Physiological role of nickel and its toxic effects on higher plants. *Russ. J. Plant Physiol.* **2006**, *53*, 257–277.
35. Lin, M.Z.; Jin, M.F. Soil Cu contamination destroys the photosynthetic systems and hampers the growth of green vegetables. *Photosynthetica* **2018**, *56*, 1336–1345.
36. Awad, M.; Liu, Z.; Skalicky, M.; Dessoky, E.S.; Brestic, M.; Mbarki, S.; Rastogi, A.; El Sabagh, A. Fractionation of heavy metals in multi-contaminated soil treated with biochar using the sequential extraction procedure. *Biomolecules* **2021**, *11*(3), 448.
37. Almaroai, Y.A.; Eissa, M.A. Effect of biochar on yield and quality of tomato grown on a metal contaminated soil. *Sci. Hort.* **2020**, *265*, 109210.
38. Bashir, S.; Rehman, M.; Yousaf, M.; Salam, A.; Gulshan, A.B.; Iqbal, J.; Aziz, I.; Azeem, M.; Rukh, S.; Asghar, R.M.A. Comparative efficiency of wheat straw and sugarcane bagasse biochar reduces the cadmium bioavailability to spinach and enhances the microbial activity in contaminated soil. *Int. J. Phytorem.* **2019**, *21*, 1098–1103.
39. Xu, P.; Sun, C.X.; Ye, X.Z.; Xiao, W.D.; Zhang, Q.; Wang, Q. The effect of biochar and crop straws on heavy metal bioavailability and plant accumulation in a Cd and Pb polluted soil. *Ecotox. Environ. Saf.* **2016**, *132*, 94–100.
40. Sayyadian, K.; Moezzi, A.; Gholami, A.; Panahpour, E.; Mohsenifar, K. Effect of biochar on cadmium, nickel and lead uptake and translocation in maize irrigated with heavy metal contaminated water. *Appl. Ecol. Environ. Res.* **2019**, *17*(1), 969–982.
41. Kocsis, T.; Kotroczo, Z.; Kardos, L.; Biro, B. Optimization of increasing biochar doses with soil–plant–microbial functioning and nutrient uptake of maize. *Environ. Technol. Innov.* **2020**, *2*, 101191.
42. Wang, D.D.; Li, H.X.; Hu, F.; Wang, X. Role of earthworm–straw interactions on phytoremediation of Cu contaminated soil by ryegrass. *Acta Ecol. Sin.* **2007**, *27*(4), 1292–1299.

Influence of rice husk biochar combined with rice straw on reducing copper accumulation in pak choi

Tran Thi Anh Thu^{1*}, Nguyen Thanh Hung²

¹ Faculty of Management Sciences, Thu Dau Mot University; thutta@tdmu.edu.vn

² Faculty of Biotechnology, Ho Chi Minh City Open University; hung.ngt@ou.edu.vn

Abstract: The objective of this study is to explore and evaluate the effect of rice husk biochar (RB) combined with rice straw (RS) in reducing Cu uptake by pak choi through changing the bioavailability of Cu in soil. Plant growth parameters, Cu concentration in plants, translocation factor (TFs), and mobility factor (M_F) were determined. The results indicate that RB biochar can reduce Cu uptake by pak choi. In Cu-contaminated soil (200 mg/kg), medium biochar RB proportion (2%) is most effective in reducing Cu concentration in shoot and improving the growth of pak choi. In non-contaminated Cu soil (50 mg/kg), low biochar RB proportion (1%) is most suitable for improving growth of pak choi. The RS rice straw (20 g/kg) and biochar RB co-exposure treatments can limit Cu uptake on plants and enhance plant growth better than only biochar RB alone treatments. The RB biochar combined with RS rice straw reduces Cu translocation from roots to shoots. Additionally, the good correlation between M_F and shoots Cu concentration suggests that M_F can be used to predict Cu bioavailability in soil.

Keywords: Biochar; Copper; Bioavailability; Mobility factor; Pak choi.

Bài báo khoa học

Ước lượng hàm lượng thủy ngân trong môi trường nước mặt khu vực Đồng bằng sông Cửu Long

Phùng Thái Dương^{1*}

¹ Khoa Sư phạm Khoa học xã hội, Trường Đại học Đồng Tháp; ptduong@dthu.edu.vn

*Tác giả liên hệ: ptduong@dthu.edu.vn; Tel.: +84-939959100

Ban biên tập nhận bài: 10/4/2024; Ngày phản biện xong: 12/6/2024; Ngày đăng bài: 25/11/2024

Tóm tắt: Thủy ngân là một trong những kim loại chứa độc tố có nguồn gốc tự nhiên cũng như từ hoạt động kinh tế xã hội và dễ tích tụ trong nước mặt gây ảnh hưởng đến sức khỏe con người. Bài viết trình bày kết quả nghiên cứu hàm lượng Hg trong nước mặt khu vực Đồng bằng sông Cửu Long được thực hiện trong mùa khô 2023-2024. Với việc sử dụng phương pháp phân tích phổ hấp thụ nguyên tử, mức phát hiện thấp nhất của phương pháp đo khoảng 0,2 μg , kết quả cho thấy hàm lượng Hg trung bình tại tất cả các điểm chưa vượt Quy chuẩn QCVN 08: 2023/BTNMT của Bộ Tài nguyên và Môi trường (giá trị giới hạn tối đa các thông số ảnh hưởng tới sức khỏe con người) nhưng đã vượt Quy chuẩn của Canada và Liên Bang Nga. Việc phát hiện hàm lượng Hg tồn tại trong môi trường nước mặt tại hầu hết các địa điểm trong khu vực nghiên cứu và có xu hướng tăng so với nghiên cứu mà chúng tôi thực hiện trong năm 2013, điều này dẫn đến nguy cơ Hg đi vào hệ sinh thái rất lớn. Kỳ vọng kết quả nghiên cứu giúp cho người dân, các nhà quản lý trong việc sử dụng hợp lý tài nguyên nước trong thời gian tới.

Từ khóa: Đồng bằng sông Cửu Long; Hấp thụ nguyên tử; Kinh tế - xã hội; Hàm lượng thủy ngân; Nước mặt.

1. Giới thiệu

Thủy ngân (Hg) là một trong những độc tố rất nguy hiểm. Hg tồn tại ở dạng lỏng, dễ bốc hơi tuy nhiên dễ dàng hòa tan vào trong nước mặt từ xói mòn, rửa trôi đất, quá trình phong hóa đá, cháy rừng, thoát động sinh hoạt sản xuất của con người như đốt nhiên liệu hóa thạch, chất thải y tế, chất thải từ các đô thị cũng góp phần đáng kể [1]. Với liều lượng nhỏ chưa làm ảnh hưởng đến sức khỏe con người, tuy nhiên việc tiếp xúc, uống trong thời gian dài có thể gây ảnh hưởng đến hệ thần kinh, giảm thị lực, thính giác, hô hấp [2],... Bên cạnh dữ liệu về Hg trong nước mặt tại vùng nghiên cứu đã tương đối cũ thì tính độc của Hg rất cao, do đó cần thiết tiến hành nghiên cứu. Liên quan kim loại nặng tồn tại trong nước mặt trên lãnh thổ Việt Nam có rất nhiều công trình nghiên cứu [3-5]. Trên lưu vực sông Mekong và vùng Đồng bằng sông Cửu Long (ĐBSCL) có một số công trình nghiên cứu liên quan đến kim loại nặng [6-11]. Liên quan đến hàm lượng Hg trong nước mặt tại vùng nghiên cứu, trước đây có các nghiên cứu [1,2,12]. Nhìn chung trong điều kiện biến đổi khí hậu cùng với đó là hoạt động sinh hoạt sản xuất của con người ngày càng gia tăng, ô nhiễm kim loại nặng nói chung và Hg nói riêng ngày càng được các nhà khoa học quan tâm, tuy nhiên tại vùng ĐBSCL dữ liệu tương đối cũ.

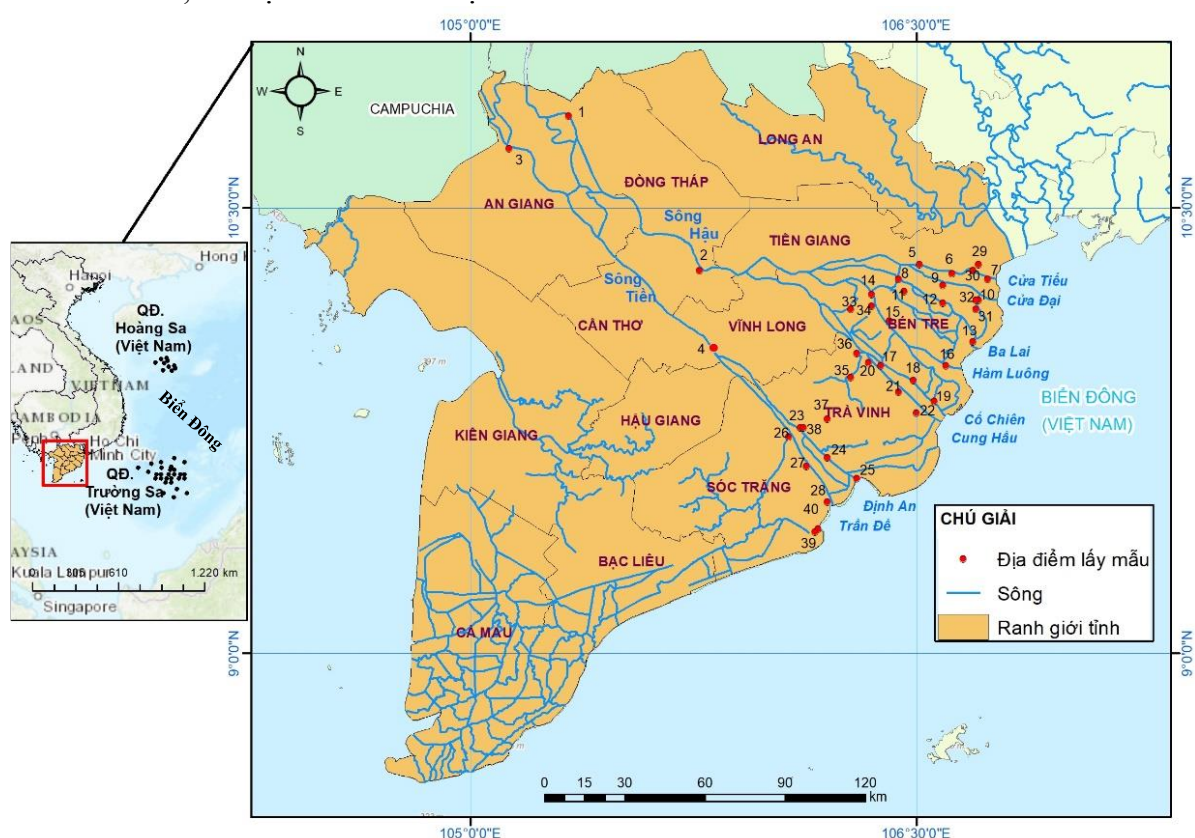
Với diện tích lưu vực khoảng 810.000 km^2 , dài hơn 4.763 km, sông Mekong chảy qua 06 quốc gia gồm: Trung Quốc, Thái Lan, Myanmar, Lào, Campuchia và Việt Nam (Ủy hội sông Mekong). Trước khi đổ ra Biển Đông, sông Mekong chia thành 2 nhánh: Tiền Giang (6

cửa) và Hậu Giang (3 cửa). Trước đây, đã có nhiều nghiên cứu về ô nhiễm kim loại nặng, bao gồm cả thủy ngân, trong nước mặt ở Việt Nam nói chung và khu vực ĐBSCL nói riêng như đã đề cập ở trên. Tuy nhiên, hầu như chưa có công trình nghiên cứu mới nào về Hg tại ĐBSCL trong thời gian gần đây. Do đó, việc tiến hành nghiên cứu mới nhằm cập nhật tình hình ô nhiễm Hg trong nguồn nước mặt khu vực này là rất cần thiết. Chính vì thế, nghiên cứu sẽ phân tích hàm lượng Hg trong 40 vị trí dọc sông Tiền, sông Hậu và các cửa sông, sông nhánh tại ĐBSCL trong mùa khô năm 2023-2024.

2. Khu vực nghiên cứu và phương pháp nghiên cứu

2.1. Khu vực nghiên cứu

Khu vực nghiên cứu là ĐBSCL, bao gồm sông chính Tiền Giang, Hậu Giang; hệ thống cửa Tiểu, Đại, Ba Lai, Hàm Luông, Cổ Chiên, Cung Hầu, Định An, Trần Đề và các sông nhánh đổ vào, với địa điểm mẫu được bố trí như hình 1.



Hình 1. Lược đồ địa điểm lấy mẫu [13].

2.2. Phương pháp nghiên cứu

Dụng cụ lấy mẫu: model 1120-G42 (Wildco-Hoa Kỳ).

Phương pháp lấy mẫu: được thực hiện theo tiêu chuẩn quốc gia Việt Nam (TCVN 6663-6:2018, ISO 5667-6:2014) [14].

Phương pháp bảo quản mẫu: được thực hiện theo Tiêu chuẩn quốc gia Việt Nam (TCVN 6663-3:2016, ISO 5667-3:2012) [15].

Xử lý mẫu phân tích: được tiến hành lọc qua giấy lọc (0,4 μm), định mức 20 ml, sử dụng thiết bị phá mẫu vi sóng trước khi đo (Model: MW 680 Sản xuất: Aurora - Canada) theo chương trình TRANSFORM680 [16].

Phân tích hàm lượng Hg: bằng máy quang phổ hấp thụ nguyên tử (Model: ZEE nit 700 Sản xuất: Analytik-Jena - Đức) cùng với sách hướng dẫn và chương trình WinAAS Ver kèm theo máy. Mức phát hiện thấp nhất của phương pháp đo khoảng 0,2μg [16].



Hình 2. Thu mẫu, bảo quản, xử lý và phân tích hàm lượng Hg.

3. Kết quả và thảo luận

3.1. Kết quả nghiên cứu

Với tổng số 40 điểm lấy mẫu được thực hiện trong mùa khô năm 2023-2024, kết quả cho thấy hàm lượng Hg trong nước mặt sông Mekong (đoạn chảy qua lãnh thổ Việt Nam) như trong bảng 1 (sông chính) và bảng 2 (sông nhánh).

Bảng 1. Hàm lượng Hg trong nước mặt trên sông chính [$\mu\text{g/l}$].

| STT | Mẫu | Kinh độ | Vĩ độ | Hàm lượng Hg | STT | Mẫu | Kinh độ | Vĩ độ | Hàm lượng Hg |
|-----|-------------|------------|-----------|--------------|-----|-------------|------------|----------|--------------|
| 1 | Sông Tiền 1 | 105°19'48" | 10°48'36" | 0,14 | 15 | Hàm Luông 2 | 106°24'36" | 10°7'12" | 0,75 |
| 2 | Sông Tiền 2 | 105°46'12" | 10°17'24" | 0,16 | 16 | Hàm Luông 3 | 106°35'60" | 9°58'12" | 0,79 |
| 3 | Sông Hậu 1 | 105°7'48" | 10°41'60" | 0,22 | 17 | Cổ Chiên 1 | 106°22'48" | 9°58'12" | 0,30 |
| 4 | Sông Hậu 2 | 106°41'24" | 10°17'24" | 0,31 | 18 | Cổ Chiên 2 | 106°29'24" | 9°55'12" | 0,34 |
| 5 | Cửa Tiểu 1 | 106°30'36" | 10°18'36" | 0,36 | 19 | Cổ Chiên 3 | 106°33'36" | 9°50'60" | 0,44 |
| 6 | Cửa Tiểu 2 | 106°37'12" | 10°16'48" | - | 20 | Cung Hầu 1 | 106°20'24" | 9°58'48" | 0,62 |
| 7 | Cửa Tiểu 3 | 106°44'24" | 10°15'36" | 0,34 | 21 | Cung Hầu 2 | 106°26'24" | 9°52'48" | 0,60 |
| 8 | Cửa Đại 1 | 106°27'36" | 10°13'12" | 0,51 | 22 | Cung Hầu 3 | 106°30'0" | 9°48'36" | 0,88 |
| 9 | Cửa Đại 2 | 106°35'24" | 10°14'24" | 0,55 | 23 | Định An 1 | 106°6'36" | 9°45'36" | 0,39 |
| 10 | Cửa Đại 3 | 106°42'36" | 10°11'24" | 0,61 | 24 | Định An 2 | 106°12'0" | 9°39'36" | 1,18 |
| 11 | Ba Lai 1 | 106°26'24" | 10°15'36" | - | 25 | Định An 3 | 106°17'60" | 9°35'24" | 0,72 |
| 12 | Ba Lai 2 | 106°35'24" | 10°10'48" | 0,31 | 26 | Trần Đề 1 | 106°4'12" | 9°43'48" | 0,57 |
| 13 | Ba Lai 3 | 106°41'24" | 10°3'0" | 0,26 | 27 | Trần Đề 2 | 106°7'48" | 9°37'48" | 0,63 |
| 14 | Hàm Luông 1 | 106°20'60" | 10°12'36" | 0,79 | 28 | Trần Đề 3 | 106°12'0" | 9°30'36" | 0,59 |

Ghi chú: “-”: Không phát hiện.

Bảng 2. Hàm lượng Hg trong nước mặt trên sông nhánh [µg/l].

| STT | Mẫu | Kinh độ | Vĩ độ | Hàm lượng Hg | STT | Mẫu | Kinh độ | Vĩ độ | Hàm lượng Hg |
|-----|------------------|-------------------------|-----------|--------------|-----|------------|------------|----------|--------------|
| 29 | Long Ưông 1 | 106°42'36" | 10°18'36" | 0,12 | 35 | Láng Thê 1 | 106°16'48" | 9°55'48" | 0,22 |
| 30 | Long Ưông 2 | 106°41'24" | 10°17'24" | 0,45 | 36 | Láng Thê 2 | 106°17'60" | 10°0'36" | 0,19 |
| 31 | Rạch Vững 1 | 106°42'0" | 10°9'36" | - | 37 | Cầu Quan 1 | 106°12'0" | 9°47'24" | 0,56 |
| 32 | Rạch Vững 2 | 106°42'0" | 10°11'24" | 0,52 | 38 | Cầu Quan 2 | 106°7'12" | 9°45'36" | 0,28 |
| 33 | Vàm Nước Trong 1 | 106°16'48" | 10°9'36" | 0,55 | 39 | Mỹ Thạnh 1 | 106°10'12" | 9°25'12" | - |
| 34 | Vàm Nước Trong 2 | 106°20'60" | 10°10'12" | 0,43 | 40 | Mỹ Thạnh 2 | 106°9'36" | 9°24'36" | 0,11 |
| | | Max (sông nhánh) | | | | 0,56 | | | |
| | | Min (sông nhánh) | | | | - | | | |
| | | Trung bình (sông nhánh) | | | | 0,34 | | | |
| | | Max (vùng ĐBSCL) | | | | 1,18 | | | |
| | | Min (vùng ĐBSCL) | | | | - | | | |
| | | Trung bình (vùng ĐBSCL) | | | | 0,47 | | | |

Ghi chú: “-”: Không phát hiện

Bảng 3. Hàm lượng Hg trong nước mặt sông Mekong so với Quy chuẩn Việt Nam và một số nước trên thế giới [µg/l].

| Quy chuẩn | Việt Nam [17] | Hoa Kỳ [18] | Canada [19] | Liên Bang Nga [20] |
|--------------|---------------|-------------|-------------|--------------------|
| Hàm lượng Hg | 1,00 | 0,94 | 0,026 | 0,01 |

Kết quả đánh giá chỉ ra:

- Hàm lượng Hg trên sông chính: trung bình 0,51 µg/l (dao động từ không phát hiện đến 1,18 µg/l).

- Hàm lượng Hg trên sông nhánh: trung bình 0,34 µg/l (dao động từ không phát hiện đến 0,56 µg/l).

- Hàm lượng Hg vùng nghiên cứu: trung bình 0,47 µg/l (dao động từ không phát hiện đến 1,18 µg/l).

- Hàm lượng Hg sông chính Tiền Giang, Hậu Giang cao hơn sông nhánh.

- Hàm lượng Hg có xu hướng tăng dần từ phía thượng nguồn về phía hạ lưu và từ nội đồng ra sông lớn.

- Hàm lượng Hg tại vùng nghiên cứu (0,47 µg/l) chưa vượt Quy chuẩn QCVN 08:2023/ BTNMT của Việt Nam về giá trị giới hạn tối đa các thông số ảnh hưởng tới sức khỏe con người (1,00 µg/l). Khi so với Quy chuẩn Hoa Kỳ (Giá trị tham khảo độc tính nước mặt, 0,47 µg/l so với 0,94 µg/l), Hg tại vùng nghiên cứu chưa vượt. Riêng so với Quy chuẩn Canada (Chất lượng nước mặt bảo vệ đời sống thủy sinh, 0,47 µg/l so với 0,026 µg/l) và Liên Bang Nga (Bảo vệ thiên nhiên thủy sinh sông, 0,47 µg/l so với 0,01 µg/l), Hg tại vùng nghiên cứu đã vượt.

- Hàm lượng trung bình Hg tại vùng nghiên cứu có xu hướng tăng lên đáng kể so với nghiên cứu được chúng tôi thực hiện vào năm 2013 (0,47 µg/l so với 0,10 µg/l) [2]. Trước tình hình trên, rất cần giải pháp nhằm hạn chế tình trạng ô nhiễm từ phía thượng nguồn, từ hoạt động sinh hoạt sản xuất của người dân trong vùng cũng như cần có định hướng chiến lược trong việc khai thác, sử dụng hợp lý tài nguyên nước, hạn chế tối đa ảnh hưởng của kim loại nặng nói chung và Hg nói riêng đến sức khỏe con người.

3.2. Thảo luận

Qua nghiên cứu có thể rút ra một số nhận xét sau, hiện tượng hàm lượng Hg trong các dòng sông chính và các sông nhánh ở vùng nội đồng có xu hướng tăng dần khi tiến ra phía biển có thể được giải thích bởi các tác nhân sau đây. Sự phong hóa và xói mòn của các trầm tích chứa Hg tích tụ từ các nguồn địa chất như núi lửa hoặc sông suối cổ đại khi bị phong hóa và xói mòn sẽ giải phóng Hg vào môi trường nước. Hoạt động khai thác khoáng sản như khai thác đá, khoáng sản có nguồn gốc từ trầm tích cũng có thể là nguyên nhân góp phần làm gia tăng hàm lượng Hg trong các dòng sông. Bên cạnh đó, các hoạt động sinh hoạt và sản xuất của con người từ các khu dân cư, khu công nghiệp, nhà máy, ... có thể chứa Hg và xả ra các dòng sông, góp phần làm gia tăng hàm lượng Hg. Ngoài ra, canh tác nông nghiệp sử dụng quá mức phân bón, thuốc trừ sâu có chứa Hg cũng có thể làm gia tăng lượng Hg tích tụ trong nước mặt. Nhìn chung, sự gia tăng hàm lượng Hg trong các dòng sông chính và sông nhánh có thể là kết quả của sự tổng hợp các quá trình địa chất, khai thác khoáng sản cũng như các hoạt động sinh hoạt, sản xuất và nông nghiệp của con người.

4. Kết luận

Hg là nguyên tố rất độc, có nguồn gốc tự nhiên, hoạt động kinh tế xã hội và tích tụ trong nước nên nguy cơ đi vào chuỗi thức ăn sinh thái và ảnh hưởng đến sức khỏe con người nếu tiếp xúc, uống trong thời gian dài. Hàm lượng Hg trung bình tại khu vực nghiên cứu chưa ghi nhận vượt ngưỡng tiêu chuẩn chất lượng nước sinh hoạt theo Quy chuẩn Việt Nam, tuy nhiên so với Quy chuẩn của một số nước thì hàm lượng Hg phân tích đã vượt ngưỡng cho phép. Qua phân tích cho thấy, hàm lượng có xu hướng tăng dần khi tiến ra phía biển, từ nội đồng ra sông chính. So với nghiên cứu trước đây, Hg có xu hướng ngày càng tăng, điều này chứng tỏ hoạt động sinh hoạt sản xuất của người dân cũng đóng vai trò quan trọng trong việc tích tụ Hg trong nước mặt. Trước tình trạng trên, cần thiết có những giải pháp tuyên truyền nhằm giảm thiểu đến mức thấp nhất các hoạt động làm gia tăng hàm lượng Hg ra môi trường.

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

Lời cảm ơn: Nghiên cứu này được hỗ trợ Trường Đại học Đồng Tháp, tác giả xin chân thành cảm ơn.

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

Tài liệu tham khảo

1. Savichev, O.G.; Duong, P.T. Ecological and geochemical state of surface waters and bottom sediments in the Mekong Delta (Vietnam). *Proceedings of Tomsk State University* 2014, 388, pp. 246–252.
2. Duong, P.T. Luận án Tiến sĩ chuyên ngành Khoa học Địa chất và Khoáng vật. Trường Đại học Bách khoa Tomsk, Liên bang Nga, 2015, tr. 101.
3. Thành, N.V. Nghiên cứu hàm lượng một số kim loại (Cu, Pb, Zn) trong đất nông nghiệp do ảnh hưởng của nước tưới sông Nhuệ. Luận văn thạc sĩ Trường Đại học khoa học tự nhiên. 2012.
4. Ngọc, N.T.B.; Quỳnh, L.T.P.; Hương, N.T.M.; Thủy, N.B.; An, V.D.; Thủy, D.T.; Cường, H.T.; Nga, T.T.B. Bước đầu xác định hàm lượng một số kim loại nặng trong môi trường nước sông Hồng. *Tạp chí Khoa học và Công nghệ* 2015, 53, 64–74.
5. Tereshchenko, N.N.; Chuzhikova-Proskurnina, O.D.; Yu, V.P.; Hiep, N.T. Heavy metals and metalloids in water and bottom sediments in the rivers in the Can Gio

- biospheric reserve, Vietnam. *Hydrochemistry, Hydrobiol. Environmental Aspects*. **2023**, 50, 330–343. <https://doi.org/10.1134/S009780782302015X>.
6. Cenci, R.M.; Martin, J.M. Concentration and fate of trace metals in Mekong River Delta. *Sci. Total Environ.* **2004**, 332, 167–182.
 7. Prathumratana, L.; Sthiannopkao, S.; Kim, K.W. The relationship of climatic and hydrological parameters to surface water quality in the lower Mekong River. *Environ. Int.* **2008**, 34, 860–866.
 8. Nga, B.T.V. Ô nhiễm Arsen trong nước mặt ở Đồng bằng sông Cửu Long. *Tạp chí Khoa học Trường Đại học Cần Thơ* **2011**, 18, 183–192.
 9. Savichev, O.G. Methods of ecological and geochemical research. Tomsk Polytechnic University, 2012, pp. 183.
 10. Costa-Böddeker.; Hoelzmann, P.; Thuyên, L.X.; Huy, H.D.; Nguyen, H.A.; Richter, O.; Antje Schwalb, A. Ecological risk assessment of a coastal zone in Southern Vietnam: Spatial distribution and content of heavy metals in water and surface sediments of the Thi Vai Estuary and Can Gio Mangrove Forest. *Mar. Pollut. Bull.* **2017**, 114, 1141–1151. <http://dx.doi.org/10.1016/j.marpolbul.2016.10.046>.
 11. Hurt, B.T.; Jones, M.J.; Pistone, G. Transboundary Water Quality Issues in the Mekong River Basin. Mekong River Commission. Water Studies Centre, Monash University, Australia, 2001, pp. 77.
 12. Savichev, O.G.; Duong, P.T. Zonal regularities of changes in the chemical composition of river sediments in Siberia and the conditions of its formation. Proceedings of Tomsk Polytechnic University, 2013, pp. 157–161.
 13. Ủy hội sông Mekong. Open Development Mê Kông. 2016. Trục tuyến: https://data.opendevelopmentmekong.net/vi/organization/vietnam-organization?res_format=KML
 14. Bộ Tài nguyên và Môi trường. TCVN 6663-6: 2018 (Chất lượng nước - Lấy mẫu - Phần 6: Hướng dẫn lấy mẫu nước sông và suối). Hà Nội. 2018.
 15. Bộ Tài nguyên và Môi trường. TCVN 6663-3: 2016 (Chất lượng nước - Lấy mẫu - Phần 3: Bảo quản và xử lý mẫu nước). Hà Nội. 2016.
 16. Savichev, O.G. Methods of ecological and geochemical research. Tomsk Polytechnic University, 2012, pp. 183.
 17. Bộ Tài nguyên và Môi trường. Quy chuẩn kỹ thuật quốc gia về chất lượng nước mặt (QCVN 08:2023/ BTNMT). Hà Nội. 2023.
 18. U.S. EPA. Screening Level Ecological Risk Assessment Protocol, Appendix E: Toxicity Reference Values: U.S. EPA Region 6”. 2014. Available online: [https://www.google.ru/#newwindow=1&q=screening level ecological risk assessment protocol%2c appendix e: toxicity reference values: U.S. EPA region 6](https://www.google.ru/#newwindow=1&q=screening+level+ecological+risk+assessment+protocol%2c+appendix+e:+toxicity+reference+values:+U.S.+EPA+region+6)).
 19. Environment Canada. Canadian Environmental Quality Guidelines: Summary Table. 2014, [http://st-ts.ccme.ca/11\(4\)](http://st-ts.ccme.ca/11(4)).
 20. GOST 17.1.5.01-80. State Standard of the Union of the USSR. Nature Protection. Hydrosphere. General Requirements for Sampling of Bottom Sediments of Water Bodies for Pollution Analysis. 1984.

Evaluation of mercury concentration in surface water in the Mekong River Delta

Phung Thai Duong^{1*}

¹ Faculty of Social Sciences Teacher Education, Dong Thap University, Vietnam;
ptduong@dthu.edu.vn

Abstract: Mercury is one of the naturally occurring as well as socioeconomically derived toxins and easily accumulates in surface water, posing a significant threat to human health. This article presents the results of Hg content in the surface water of the Mekong River during the dry season of 2023-2024. Using atomic absorption spectroscopy analysis, with a minimum detection level of the method around 0.2 µg, the results show that the average Hg concentration at all sampling points did not exceed the QCVN 08:2023/BTNMT standard of the Ministry of Natural Resources and Environment (maximum limit value for parameters affecting human health) of Vietnam but did exceed the standards set by Canada and the Russian Federation. Although not at an alarming level yet, the fact that Hg has been detected in surface water at most collected sampling locations and a tendency to increase has recorded compared to the research in 2013. The findings imply the high-risk potential of Hg entering the surface water ecosystem. It is hoped that the research results will assist the public and managers in the rational use of water resources in the coming time.

Keywords: Mekong Delta; Atomic absorption; Socioeconomical; Hg concentration; Surface water.

Table of content

- 1** Nam, L.H.; Ha, H.N. Evaluating the adaptability of the VN-2000 national coordinate system with the international reference frame ITRF based on determining transformation parameters. *J. Hydro-Meteorol.* **2024**, 767, 1–9.
- 10** Toan, N.D. Impacts of climate change to non-traditional security. *J. Hydro-Meteorol.* **2024**, 767, 10–19.
- 20** Son, D.H.; Nhung, T.T.; Phuong, T.A.; Duc, N.A. Introducing the WRI-CosMaDSS integrated coastal zone management decision support system: Case study for the Mekong Delta region. *J. Hydro-Meteorol.* **2024**, 767, 20–31.
- 32** Hue, V.H. Structural solutions to prevent coastal erosion in Vinh Chau, Soc Trang Province. *J. Hydro-Meteorol.* **2024**, 767, 32–44.
- 45** Toan, N.D.; Trung, T.Q.; Anh, N.T.V. Research and application of a municipal solid waste classification model in schools and households in Vinh Trai ward, Lang Son city. *J. Hydro-Meteorol.* **2024**, 767, 45–55.
- 56** Hoa, V.V.; Tien, D.D.; Quan, D.D.; Hung, M.K. Research on the influence of the number of ensemble members on the results of forecasting tropical cyclone tracks in the East Sea. *J. Hydro-Meteorol.* **2024**, 767, 56–65.
- 66** Thu, T.T.A.; Hung, N.T. Influence of rice husk biochar combined with rice straw on reducing copper accumulation in pak choi. *J. Hydro-Meteorol.* **2024**, 767, 66–78.
- 79** Duong, P.T. Evaluation of mercury concentration in surface water in the Mekong River Delta. *J. Hydro-Meteorol.* **2024**, 767, 79–85.