

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 768
12-2024



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

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

Giấy phép xuất bản

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

Tòa soạn

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

Chế bản và In tại:

Công ty 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 768 - 12/2024

MỤC LỤC

Bài báo khoa học

- 1 Phùng Thái Dương:** Đánh giá hàm lượng Zn, Cu trong trầm tích đáy sông Cửa Tiểu và Cửa Đại
- 10 Vũ Ngọc Quang, Nguyễn Việt Hà, Trần Đình Trọng:** Quan trắc thời gian thực và kết hợp phân tích dịch chuyển công trình sử dụng GNSS và cảm biến gia tốc
- 21 Nguyễn Đức Nam, Vũ Văn Thăng, Trần Duy Thúc:** Nghiên cứu thử nghiệm đồng hóa số liệu trong dự báo sự thay đổi đột ngột của cường độ và quỹ đạo bão trên Biển Đông bằng mô hình HWRF
- 34 Trần Thành Long, Nguyễn Thiện Phú, Lê Minh Huy, Lê Trọng Nhân:** Phát triển thử nghiệm hệ thống tưới thông minh tích hợp cảm biến IoT và trí tuệ nhân tạo cho các khu vực xanh trong trường học
- 45 Nguyễn Thị Tuyết Nam:** Diễn biến của chỉ số nhiệt (heat index) tại thành phố Hồ Chí Minh giai đoạn năm 1990-2023
- 54 Trần Phương Chiến, Nguyễn Văn Dũng, Nguyễn Đình Chinh, Lê Anh Kiên, Nguyễn Văn Sơn, Mai Hoàn Thành, Dương Hồng Vũ, Lâm Văn Tân, Trần Bích Lũy:** Nghiên cứu ảnh hưởng của bố trí không gian đê giảm sóng đối với chế độ thủy động lực học tại bờ biển huyện Ba Tri tỉnh Bến Tre
- 65 Võ Ngọc Diệu Thy, Lê Ngọc Tuấn:** Đánh giá hiện trạng phát sinh và quản lý chất thải nguy hại phòng thí nghiệm tại Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, Đại học Quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh
- 78 Phạm Thị Thu Hà, Vũ Đình Tuấn, Nguyễn Lê Xuân Hưng, Phạm Anh Hùng, Phạm Hùng Sơn, Lê Quỳnh Mai, Trần Thị Minh Hằng, Phạm Thị Việt Anh, Nguyễn Mạnh Khải, Trần Thiện Cường, Lưu Minh Loan, Đoàn Thị Nhật Minh:** Nghiên cứu quá trình sinh trưởng và năng suất chè vụ đông tại khu trồng chè ở Hòa Lạc, Thạch Thất, Hà Nội

Bài báo khoa học

Đánh giá hàm lượng Zn, Cu trong trầm tích đáy sông Cửa Tiểu và Cửa Đại

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: 25/4/2024; Ngày phản biện xong: 14/6/2024; Ngày đăng bài: 25/12/2024

Tóm tắt: Kim loại nặng ở dạng ion và vượt ngưỡng cho phép sẽ rất độc, ảnh hưởng đến sức khỏe con người. Trong hầu hết công trình nghiên cứu nước mặt cũng như trầm tích đáy thì hàm lượng Zn, Cu ở mức tương đối cao hơn so với các nguyên tố còn lại. Với 37 địa điểm lấy mẫu trong tháng 02 năm 2024 và sử dụng phương pháp phân tích phổ hấp thụ nguyên tử, kết quả cho thấy hàm lượng trung bình kẽm (Zn), đồng (Cu) tại khu vực Cửa Đại, Cửa Tiểu đều chưa vượt Quy chuẩn Việt Nam, khi so với Quy chuẩn Hoa Kỳ thì hàm lượng trung bình tại khu vực nghiên cứu chưa vượt, tuy nhiên ở rất nhiều địa điểm đã vượt, so với Quy chuẩn Liên Bang Nga thì hàm lượng trung bình tại khu vực nghiên cứu và ở hầu hết địa điểm đều vượt. Mức độ tích lũy Igeo của Zn dao động từ -0,90 đến 1,44 (không ô nhiễm đến ô nhiễm trung bình); Cu dao động từ -3,11 đến 0,42 (không ô nhiễm đến có dấu hiệu ô nhiễm nhẹ). So với các vùng khác tại Việt Nam thì hàm lượng cùng với đó là mức độ tích lũy Zn tại khu vực nghiên cứu cao hơn (99,31 mg/kg và Igeo 0,65 so với sông Hồng 78,30 mg/kg và Igeo 0,31; sông Tô Lịch 81,27 mg/kg và Igeo 0,36), do đó nguy cơ đi vào hệ sinh thái khi người dân sử dụng trầm tích đáy bón trực tiếp vào cây trồng là rất lớn.

Từ khóa: Cửa Tiểu; Hàm lượng Zn; Igeo; Phổ hấp thụ nguyên tử; Trầm tích đáy sông.

1. Đặt vấn đề

Zn và Cu thuộc nhóm kim loại độc, nhất là khi ở dạng ion. Kim loại nặng (KLN) nói chung, Zn, Cu nói riêng chủ yếu có nguồn gốc từ tự nhiên cũng như hoạt động sinh hoạt sản xuất của con người và rất khó bị phân hủy. Ở sông, chúng thường hòa tan trong nước hoặc lắng đọng trong trầm tích đáy, nhất là tại các vùng hạ lưu nơi tập trung lớn lượng phù sa và sự giao thoa giữa sông và biển. Sông Mekong dài hơn 4.500 m, bắt nguồn từ vùng sơn nguyên Tây Tạng (Trung Quốc) cao khoảng 5.000 m, chảy qua Lào, Myanmar, Thái Lan, Campuchia và cuối cùng trước khi đổ ra Biển Đông, tại Việt Nam chia thành 9 cửa (Tiền Giang với 6 cửa, Hậu Giang với 3 cửa). Với diện tích lưu vực trên 810.000 km² [1], thượng nguồn sông Mekong chảy trên nhiều vùng đá có nguồn gốc magma và trầm tích, cùng với đó là hoạt động khai thác, sinh hoạt sản xuất, đặc biệt rất nhiều thành phố, nhà máy, xí nghiệp dọc hai bờ sông nên hàng năm Mekong mang một lượng lớn các chất thải nói chung, trong đó có kim loại nặng, đặc biệt là Zn, Cu hòa tan trong nước và tích tụ trong trầm tích đáy [2]. Hạ lưu Mekong với những vườn cây ăn trái, vùng sản xuất lúa quan trọng, do đó hoạt động từ nông nghiệp cũng góp phần đáng kể làm gia tăng ô nhiễm nơi đây. Lưu vực sông Mekong hàng năm nhận được lượng mưa lớn dẫn đến hiện tượng xói mòn, rửa trôi các chất trong đất, trong đá hòa tan trong nước. Người dân trong vùng với tập quán canh tác manh mún, nhỏ lẻ, để bù đắp lượng đất mặt bị xói mòn, rửa trôi thường lấy trực tiếp bùn đáy sông, kênh, rạch bồi đắp trực tiếp vào gốc cây, điều này dẫn đến nguy cơ KLN đi vào chuỗi thức ăn sinh thái là rất lớn. Thời gian qua có nhiều lô trái cây khi xuất khẩu đi các nước bị trả về do tồn tại dư lượng

một số KLN vượt ngưỡng. Điều này được các nhà khoa học lý giải: bên cạnh việc lạm dụng phân, thuốc, thì đất, nước tưới cũng đóng vai trò quan trọng làm gia tăng hàm lượng các chất tích tụ trong sản phẩm nông nghiệp.

Nhận thức được tầm quan trọng của KLN trong trầm tích, thời gian qua tại Việt Nam các nhà khoa học bắt đầu quan tâm với một số công trình nghiên cứu liên quan [3–7]. Tại vùng ĐBSCL, trước đây có một số công trình nghiên cứu của các tác giả trong nước [2, 8–12] và của các tác giả nước ngoài [13–20]. Tuy nhiên trước xu thế biến đổi khí hậu, ảnh hưởng của thủy điện trên dòng Mekong cũng như sự phát triển sôi động của nền kinh tế các quốc gia trong lưu vực cùng với đó là hoạt động sinh hoạt, sản xuất, nhiều khu đô thị, khu công nghiệp mọc lên thì rất cần công trình nghiên cứu, đánh giá hàm lượng KLN, trong đó đặc biệt là hàm lượng Zn, Cu vì đây là 2 nguyên tố có hàm lượng cao hơn các nguyên tố còn lại trong hầu hết công trình đã công bố.

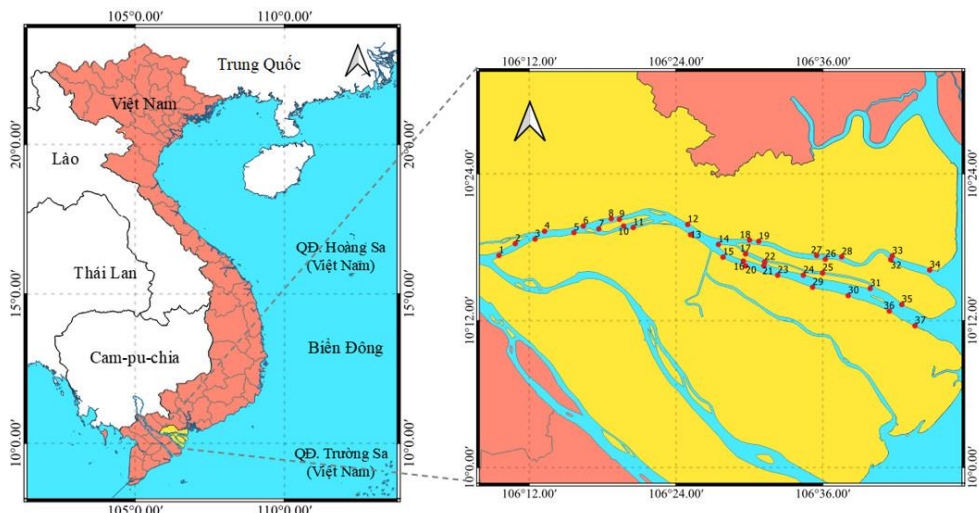
Với việc thu, bảo quản, xử lý và phân tích mẫu tại 37 địa điểm, bên cạnh trình bày kết quả, chúng tôi sẽ tiến hành đánh giá mức độ ô nhiễm (thông qua so sánh với quy chuẩn Việt Nam, một số quốc gia và công trình nghiên cứu tại các sông khác trên lãnh thổ Việt Nam); đánh giá mức độ tích lũy thông qua chỉ số Igeo của chỉ tiêu Zn, Cu. Nghiên cứu này giúp người dân cũng như các nhà quản lý tham khảo, định hướng trong việc khai thác, sử dụng hợp lý tài nguyên trong điều kiện biến đổi khí hậu nhằm đảm bảo phát triển bền vững.

2. Phương pháp nghiên cứu và thu thập mẫu phân tích

2.1. Khu vực nghiên cứu và thời gian nghiên cứu

Khu vực nghiên cứu: các mẫu được lấy dọc sông Cửa Đại, Cửa Tiểu (thuộc nhánh Tiền Giang) nằm trên địa phận 2 tỉnh Tiền Giang và Bến Tre, được bố trí như hình 1. Khu vực nghiên cứu là nơi tập trung nhiều trung tâm nhiều đô thị như: Cái Bè, Cai Lậy, Mỹ Tho, Chợ Gạo, Bình Đại, Gò Công,...nhiều khu công nghiệp như: Mỹ Tho, Trung An, Giao Long, An Hiệp,...cùng

với đó là các hệ sinh thái vườn sâu riêng, chôm chôm, dừa, bưởi,...do đó nguồn xả thải lớn các chất ô nhiễm nói chung trong đó có Zn, Cu vào nước mặt và nguy cơ tích lũy trong trầm tích đáy là rất cao.



Hình 1. Lược đồ địa điểm lấy mẫu [21].

Thời gian nghiên cứu: thực hiện trong mùa khô, tháng 02 năm 2024.

2.2. Phương pháp nghiên cứu

2.2.1. Dụng cụ, phương tiện lấy mẫu

Dụng cụ lấy mẫu: ống nhựa PVC với đường kính 114 mm, dài khoảng 50 cm được cố định vào cây sào dài khoảng 15 m. Đầu trên ống nhựa được thiết kế van hở và được che chắn bởi nắp và miếng nhựa cao su để nước thoát ra ngoài nhưng đồng thời cũng tránh ảnh hưởng của nước bên ngoài tác động khi kéo mẫu lên làm ảnh hưởng đến chất lượng [2].

Phương tiện lấy mẫu: chủ yếu được tiến hành bằng thuyền, tuy nhiên tại một số địa điểm thuận lợi, tiến hành lấy mẫu trực tiếp bằng đường bộ.

2.2.2. Phương pháp lấy mẫu

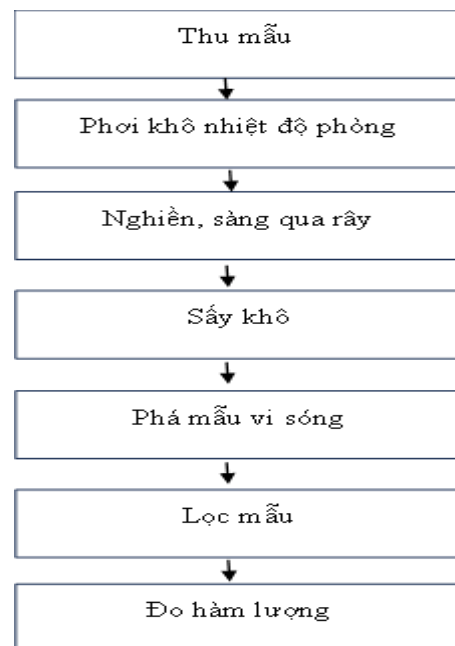
Mẫu được lấy cách mép bờ sông khoảng 70 m (nhằm tránh thủy triều cạn, ánh nắng mặt trời, hoạt động sản xuất con người, xác sinh vật,...), xuống sâu 20 cm (đây là tầng thể hiện rõ tích tụ ô nhiễm hiện tại). Tại mỗi địa điểm xác định trên bản đồ, tiến hành lấy 3 mẫu theo quy tắc tam giác cân, mẫu đại diện là mẫu được trộn và lấy từ 3 mẫu trên [2].



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

2.2.3. Phương pháp phân tích

Mẫu được bảo quản, vận chuyển đến phòng thí nghiệm, phơi khô tự nhiên ở nhiệt độ phòng khoảng 25-27°C. Khi mẫu khô dùng chày-cối sứ nghiền, sấy ở nhiệt độ 105°C và sàng qua rây có mắt lưới 0,5mm. Tiến hành cân 500mg mẫu trầm tích khô cho vào bình định mức 250ml, thêm vào 5ml H₂O₂ 30% và 10ml HNO₃, phá mẫu với thiết bị phá mẫu vi sóng (Model: MW 680 _ Sản xuất: Aurora - Canada) trong khoảng 1 giờ ở nhiệt độ khoảng 110°C để chuyển về dạng vô cơ (dung dịch). Sau khi phá mẫu xong, để nguội, tiến hành lọc và đưa vào bình định mức 100ml, tiến hành đo các chỉ tiêu Zn, Cu 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 (trung bình cho tất cả các chỉ tiêu đo) [22].



Hình 3. Sơ đồ các bước nghiên cứu.

2.2.4. Phương pháp đánh giá mức độ tích lũy Zn, Cu

Để tiến hành đánh giá mức độ tích lũy Zn, Cu trong trầm tích đáy, chỉ số Igeo (Geo-Accumulation Index) được sử dụng:

$$I_{geo} = \log_2 \frac{A_n}{B_n \times 1,5} \tag{1}$$

Trong đó Igeo là chỉ số tích lũy Zn, Cu trong trầm tích đáy; An là hàm lượng đo được của Zn, Cu tại các điểm thu mẫu; Bn: giá trị nền địa hóa của Zn, Cu (theo Wedepohl K Hans 1995, nguyên tố cần xác định trong lớp vỏ tầng phía trên của lục địa) (Bảng 1); 1,5 là hệ số cho sự hiệu chỉnh nền cơ bản (do ảnh hưởng của sinh vật nhằm giảm thiểu các biến thể có thể có trong các giá trị nền).

Bảng 1. Hàm lượng nền của Zn, Cu trong vỏ Trái đất [7].

| Nguyên tố | Zn | Cu |
|-------------------|------|------|
| Hàm lượng (mg/kg) | 95,0 | 55,0 |

Chỉ số tích lũy địa hóa Igeo được phân loại thành 7 loại cùng với mức độ ô nhiễm cơ bản (Bảng 2).

Bảng 2. Phân loại, mức độ ô nhiễm theo giá trị Igeo [12].

| Phân loại | Mức độ ô nhiễm | Giá trị I geo |
|-----------|--------------------------------|-------------------------------|
| Loại 0 | Không ô nhiễm | $I_{geo} \leq 0,00$ |
| Loại 1 | Có dấu hiệu ô nhiễm nhẹ | $0,00 \leq I_{geo} \leq 1,00$ |
| Loại 2 | Ô nhiễm trung bình | $1,00 \leq I_{geo} \leq 2,00$ |
| Loại 3 | Có dấu hiệu ô nhiễm nặng | $2,00 \leq I_{geo} \leq 3,00$ |
| Loại 4 | Ô nhiễm nặng | $3,00 \leq I_{geo} \leq 4,00$ |
| Loại 5 | Có dấu hiệu ô nhiễm trầm trọng | $4,00 \leq I_{geo} \leq 5,00$ |
| Loại 6 | Ô nhiễm rất trầm trọng | $5,00 < I_{geo}$ |

3. Kết quả, đánh giá và thảo luận

3.1. Kết quả nghiên cứu

Với tổng số 37 điểm lấy mẫu được thực hiện trong tháng 02 năm 2024, kết quả cho thấy hàm lượng và các chỉ số tích lũy Igeo của Zn, Cu trong trầm tích đáy sông Cửa Tiểu, Cửa Đại như trong bảng 3, 4 và 5.

Bảng 3. Hàm lượng Zn, Cu trong trầm tích đáy sông Cửa Tiểu, Cửa Đại (mg/kg).

| STT | Địa điểm | Kinh độ | Vĩ độ | Zn | Cu | STT | Địa điểm | Kinh độ | Vĩ độ | Zn | Cu |
|-----|------------|------------|-----------|--------|-------|-----|---------------|------------|-----------|--------|-------|
| 1 | Tân Phú | 106°9'32" | 10°17'20" | 88,09 | 9,83 | 20 | Phú Thuận | 106°29'42" | 10°16'26" | 101,20 | 22,70 |
| 2 | Ngũ Hiệp | 106°10'52" | 10°18'18" | 69,12 | 15,26 | 21 | Tam Hiệp | 106°31'12" | 10°16'30" | 76,43 | 7,75 |
| 3 | Phú Đức | 106°12'29" | 10°18'40" | 79,55 | 12,09 | 22 | Tân Thạnh | 106°31'16" | 10°16'48" | 133,18 | 11,14 |
| 4 | Phú Phong | 106°13'16" | 10°19'19" | 66,33 | 6,08 | 23 | Vang Quới Tây | 106°32'20" | 10°15'43" | 111,77 | 23,01 |
| 5 | Phú Túc | 106°15'40" | 10°19'12" | 95,00 | 15,00 | 24 | Tân Thạnh | 106°34'26" | 10°15'43" | 172,38 | 18,82 |
| 6 | Song Thuận | 106°16'26" | 10°19'44" | 93,21 | 4,24 | 25 | Tân Phú | 106°35'60" | 10°15'54" | 125,86 | 13,09 |
| 7 | Thới Sơn | 106°17'42" | 10°19'30" | 101,27 | 13,21 | 26 | Tân Phú | 106°36'14" | 10°17'2" | 66,73 | 21,62 |
| 8 | Bình Đức | 106°18'43" | 10°20'20" | 55,23 | 18,31 | 27 | Vĩnh Hậu | 106°35'31" | 10°17'20" | 89,92 | 32,68 |
| 9 | Thới Sơn | 106°19'23" | 10°20'17" | 58,72 | 11,01 | 28 | Long Bình | 106°37'34" | 10°17'13" | 123,74 | 22,74 |
| 10 | Thới Sơn | 106°19'44" | 10°19'44" | 90,24 | 18,45 | 29 | Phú Vang | 106°35'10" | 10°14'38" | 72,38 | 48,90 |
| 11 | An Khánh | 106°20'31" | 10°19'37" | 88,59 | 21,16 | 30 | Định Trung | 106°38'6" | 10°14'2" | 89,99 | 13,83 |
| 12 | Hòa Định | 106°24'58" | 10°19'52" | 93,11 | 23,08 | 31 | Tân Thạnh | 106°39'54" | 10°14'38" | 92,78 | 31,51 |

| STT | Địa điểm | Kinh độ | Vĩ độ | Zn | Cu | STT | Địa điểm | Kinh độ | Vĩ độ | Zn | Cu |
|-----|-------------------------|------------|-----------|--------|-------|-------------------------|-------------|------------|-----------|--------|-------|
| 13 | Giao Long | 106°25'12" | 10°19'1" | 115,89 | 13,37 | 32 | Phú Thạnh | 106°41'35" | 10°16'59" | 95,83 | 13,76 |
| 14 | Tam Hiệp | 106°27'29" | 10°18'14" | 155,33 | 26,72 | 33 | Phước Trung | 106°41'42" | 10°17'17" | 107,91 | 42,11 |
| 15 | Long Định | 106°27'50" | 10°17'10" | 167,28 | 17,98 | 34 | Tân Thành | 106°44'46" | 10°16'8" | 98,27 | 46,79 |
| 16 | Tam Hiệp | 106°29'31" | 10°16'52" | 45,31 | 18,55 | 35 | Phú Đông | 106°42'29" | 10°13'19" | 131,31 | 40,44 |
| 17 | Tam Hiệp | 106°29'42" | 10°17'28" | 33,88 | 29,00 | 36 | Bình Thới | 106°41'28" | 10°12'47" | 162,15 | 36,32 |
| 18 | Tân Thới | 106°30'43" | 10°18'36" | 76,31 | 39,61 | 37 | Bình Thẳng | 106°43'34" | 10°11'35" | 87,50 | 43,37 |
| 19 | Bình Ninh | 106°30'47" | 10°18'29" | 162,81 | 8,19 | | | | | | |
| | Hàm lượng cao nhất Zn | | | 172,38 | | Hàm lượng cao nhất Cu | | | 48,90 | | |
| | Hàm lượng thấp nhất Zn | | | 33,88 | | Hàm lượng thấp nhất Cu | | | 4,24 | | |
| | Hàm lượng trung bình Zn | | | 99,31 | | Hàm lượng trung bình Cu | | | 21,94 | | |

Bảng 4. Chỉ số tích lũy Zn, Cu trong trầm tích đáy sông Cửa Tiểu, Cửa Đại (Igeo).

| STT | Địa điểm | Igeo | | STT | Địa điểm | Igeo | |
|-----|--------------------|-------|-------|--------------------|---------------|-------|-------|
| | | Zn | Cu | | | Zn | Cu |
| 1 | Tân Phú | 0,48 | -1,90 | 20 | Phú Thuận | 0,68 | -0,69 |
| 2 | Ngũ Hiệp | 0,13 | -1,26 | 21 | Tam Hiệp | 0,27 | -2,24 |
| 3 | Phú Đức | 0,33 | -1,60 | 22 | Tân Thạnh | 1,07 | -1,72 |
| 4 | Phú Phong | 0,07 | -2,59 | 23 | Vang Quới Tây | 0,82 | -0,67 |
| 5 | Phú Túc | 0,58 | -1,29 | 24 | Tân Thạnh | 1,44 | -0,96 |
| 6 | Song Thuận | 0,56 | -3,11 | 25 | Tân Phú | 0,99 | -1,49 |
| 7 | Thới Sơn | 0,68 | -1,47 | 26 | Tân Phú | 0,08 | -0,76 |
| 8 | Bình Đức | -0,20 | -1,00 | 27 | Vĩnh Hựu | 0,51 | -0,17 |
| 9 | Thới Sơn | -0,11 | -1,74 | 28 | Long Bình | 0,97 | -0,69 |
| 10 | Thới Sơn | 0,51 | -0,99 | 29 | Phú Vang | 0,19 | 0,42 |
| 11 | An Khánh | 0,48 | -0,79 | 30 | Định Trung | 0,51 | -1,41 |
| 12 | Hòa Định | 0,56 | -0,67 | 31 | Tân Thạnh | 0,55 | -0,22 |
| 13 | Giao Long | 0,87 | -1,46 | 32 | Phú Thạnh | 0,60 | -1,41 |
| 14 | Tam Hiệp | 1,29 | -0,46 | 33 | Phước Trung | 0,77 | 0,20 |
| 15 | Long Định | 1,40 | -1,03 | 34 | Tân Thành | 0,63 | 0,35 |
| 16 | Tam Hiệp | -0,48 | -0,98 | 35 | Phú Đông | 1,05 | 0,14 |
| 17 | Tam Hiệp | -0,90 | -0,34 | 36 | Bình Thới | 1,36 | -0,01 |
| 18 | Tân Thới | 0,27 | 0,11 | 37 | Bình Thẳng | 0,47 | 0,24 |
| 19 | Bình Ninh | 1,36 | -2,16 | | | | |
| | Igeo cao nhất Zn | | 1,44 | Igeo cao nhất Cu | | 0,42 | |
| | Igeo thấp nhất Zn | | -0,90 | Igeo thấp nhất Cu | | -3,11 | |
| | Igeo trung bình Zn | | 0,65 | Igeo trung bình Cu | | -0,74 | |

Bảng 5. So sánh hàm lượng, chỉ số tích lũy Igeo của Zn, Cu trong trầm tích đáy sông Cửa Tiểu, Cửa Đại với quy chuẩn quốc gia và sông khác.

| Nội dung | Hàm lượng Zn | Igeo Zn | Hàm lượng Cu | Igeo Cu |
|--------------------------------|--------------|---------|--------------|---------|
| | (mg/kg) | | (mg/kg) | |
| Trung bình tại vùng nghiên cứu | 99,31 | 0,65 | 21,94 | -0,74 |
| Quy chuẩn Việt Nam [23] | 315,00 | + | 197,00 | + |
| Quy chuẩn Canada [24] | 315,00 | + | 197,00 | + |
| Quy chuẩn Hoa Kỳ [25] | 123,00 | + | 35,70 | + |
| Quy chuẩn Liên Bang Nga [26] | 23,00 | + | 3,00 | + |
| Vùng hạ lưu sông Mekong [2] | 73,91 | 0,22 | 3,58 | -3,36 |
| Sông Hồng [7] | 78,30 | 0,31 | 76,80 | 1,07 |
| Sông Tô Lịch [4] | 81,27 | 0,36 | + | + |

| | | | | |
|-------------------|---|---|-------|-------|
| Sông Soài Rạp [3] | + | + | 19,96 | -0,88 |
|-------------------|---|---|-------|-------|

Ghi chú: “+”: Không có dữ liệu.

Hàm lượng Zn: trung bình 99,31 mg/kg (cao nhất 172,38 mg/kg tại điểm 24, Tân Thạnh và thấp nhất là 33,88 mg/kg tại điểm 17, Tam Hiệp); Hàm lượng Cu: trung bình 21,94 mg/kg (cao nhất 48,90 mg/kg tại điểm 29, Phú Vang và thấp nhất là 4,24 mg/kg tại điểm 6, Song Thuận); Chỉ số tích lũy Igeo của Zn trung bình 0,65 (cao nhất 1,44 (ô nhiễm trung bình) tại điểm 24, Tân Thạnh, thấp nhất -0,90 tại điểm 17, Tam Hiệp (không ô nhiễm)); Chỉ số tích lũy Igeo của Cu trung bình -0,74 (cao nhất 0,42 tại điểm 29, Phú Vang (có dấu hiệu ô nhiễm nhẹ), thấp nhất -3,11 tại điểm 6, Song Thuận (không ô nhiễm)).

3.2. Đánh giá

- Hàm lượng trung bình Zn, Cu tại khu vực nghiên cứu chưa vượt Quy chuẩn kỹ thuật quốc gia về chất lượng trầm tích của Việt Nam, của Canada và Hoa Kỳ. Tuy nhiên tại một vài địa điểm hàm lượng Zn đã vượt so với chuẩn Hoa Kỳ (vị trí số 14, 15, 19, 22, 24, 25, 28, 35, 36). Còn so với Quy chuẩn của Liên Bang Nga thì hàm lượng của cả Zn và Cu đã vượt (Zn: 99,31 mg/kg so với 23,00 mg/kg; Cu: 21,94 mg/kg so với 3,00 mg/kg).

- Khi so sánh hàm lượng Zn trung bình với các sông khác trên lãnh thổ Việt Nam, thì tại vùng Cửa Tiểu, Cửa Đại đã vượt so với sông Hồng (99,31 mg/kg so với 78,30 mg/kg), sông Tô Lịch (99,31 mg/kg so với 81,27 mg/kg). Còn hàm lượng Cu tại khu vực nghiên cứu cao hơn sông Soài Rạp (21,94 mg/kg so với 19,96 mg/kg), tuy nhiên nhỏ hơn so với sông Hồng (21,94 mg/kg so với 76,80 mg/kg). Chỉ số tích lũy Igeo tại khu vực nghiên cứu cũng cao hơn hoặc thấp hơn các sông khác cùng với hàm lượng trung bình.

- So với kết quả nghiên cứu được chúng tôi thực hiện vào năm 2013, thì hàm lượng trung bình, chỉ số tích lũy Igeo trong trầm tích đáy sông Cửa Tiểu, Cửa Đại có xu hướng tăng lên ở cả chỉ tiêu Zn (99,31 mg/kg và Igeo 0,65 so với 73,91 mg/kg và Igeo 0,22) và Cu (21,94 mg/kg và Igeo -0,74 so với 3,58 mg/kg và Igeo -3,36).

3.3. Thảo luận

Cửa Tiểu, Cửa Đại là 2 cửa sông lớn của nhánh Tiền Giang mang lượng nước lớn đổ ra Biển Đông của Mekong nên nguy cơ hàm lượng các chất ô nhiễm nói chung, hàm lượng Zn, Cu nói riêng tích tụ rất lớn so với các cửa sông khác.

Hàm lượng và mức độ tích lũy Zn, Cu trong trầm tích đáy sông Cửa Tiểu và Cửa Đại được lý giải:

- Do Mekong dài trên 4.500 km, chảy qua 6 quốc gia, trong lưu vực với nhiều loại đá có nguồn gốc macma, trầm tích (vùng cao nguyên Khorat - Lào, Tây Nguyên - Việt Nam, dọc biên giới Việt Nam - Campuchia,...) cùng với đó là quá trình phong hóa, lượng mưa tương đối cao, hàng năm một lượng lớn Zn, Cu hòa theo dòng nước sông, mang về phía hạ lưu tích tụ trong trầm tích đáy [2].

- Dọc hai bờ sông chính, các phụ lưu, chi lưu và kênh rạch nội đồng là các hệ sinh thái nông nghiệp với các vườn cây ăn trái, ruộng lúa cùng với đó là tập quán canh tác manh mún, nhỏ lẻ, sử dụng nhiều phân bón hóa học, thuốc trừ sâu cũng dẫn đến nguy cơ tích tụ Zn, Cu trong trầm tích đáy [14].

- Cuối cùng đó là hoạt động sinh hoạt sản xuất hàng ngày như khai thác quặng mỏ, luyện kim, bùn cống rãnh từ hoạt động sinh hoạt, sản xuất của người dân cũng góp phần làm cho chỉ số tích lũy tại khu vực nghiên cứu tương đối cao hơn so với các sông khác trên lãnh thổ Việt Nam.

- So với kết quả nghiên cứu trước đây do chúng tôi tiến hành, hàm lượng Zn, Cu trong 10 năm qua tại khu vực nghiên cứu tương đối tăng đáng kể [2], trong đó Cu tăng nhanh hơn Zn.

4. Kết luận

Hàm lượng trung bình tại khu vực nghiên cứu không vượt quy chuẩn Việt Nam, Canada, Hoa Kỳ, tuy nhiên khi so sánh với quy chuẩn Liên Bang Nga cũng như các sông khác trên lãnh thổ Việt Nam thì hàm lượng đã cao hơn. Chỉ số tích lũy Igeo của Zn, Cu tại khu vực nghiên cứu ở mức tương đối cao các sông khác trên lãnh thổ Việt Nam (có dấu hiệu ô nhiễm nhẹ, ô nhiễm trung bình). So với kết quả nghiên cứu của chúng tôi đã thực hiện trong 2013 thì hàm lượng, mức độ tích lũy Zn tăng chậm, trong khi hàm lượng, trong khi mức độ tích lũy của Cu tăng nhanh hơn.

Nghiên cứu này chỉ mới tập trung nghiên cứu, đánh giá hàm lượng của hai nguyên tố là Zn, Cu và tại hai cửa sông thuộc nhánh Tiền Giang, do đó trong thời gian tới rất cần công trình nghiên cứu với nhiều kim loại nặng và trên toàn vùng ĐBSCL để có cái nhìn tổng thể hơn, giúp cho người dân, các nhà quản lý định hướng khai thác, sử dụng hợp lý tài nguyên nhằm đảm bảo phát triển bền vững.

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., 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, tạo điều kiện của 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. Dương, P.T.; cs. Địa lý tự nhiên các lục địa, Tập 1. Nhà xuất bản Đại học Cần Thơ. 2022.
2. Dương, 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.
3. Phương, N.V. Đánh giá ô nhiễm kim loại (Cu, Pb, Cr) và As trong trầm tích cửa sông Soài Rạp, hệ thống sông Sài Gòn - Đồng Nai. *Tạp chí Môi Trường* **2018**. Trục tuyến: <https://tapchimoitruong.vn/chuyen-muc-3>.
4. Hạ, T.Đ. Phân tích, đánh giá thành phần KLN trong bùn trầm tích sông Tô Lịch và hồ Tây - Đề xuất giải pháp quản lý phù hợp. *Tạp chí Môi Trường* **2018**. Trục tuyến: <https://tapchimoitruong.vn/chuyen-muc-3>.
5. Lê, T.H.L.; Thủy, L.T. Content of some heavy metals in sediments in the coastal waters of Quy Nhon, Central Vietnam. *Tạp chí Nông nghiệp và Phát triển nông thôn* **2018**, 2, 153–158.
6. Hung, T.T.; Tu, T.A.; Huyen, D.T.; Desmet, M. Presence of trace elements in sediment of Can Gio mangrove forest, Ho Chi Minh city, Vietnam. *VN J. Earth Sci.* **2019**, 41(1), 21–35. <https://doi.org/10.15625/0866-7187/41/1/13543>.
7. Đa, L.N. Hàm lượng KLN trong cát bùn lơ lửng trong nước sông Hồng, Đoạn chảy qua Hà Nội, tại cầu Chương Dương. *Tạp chí Khoa học và Công nghệ* **2015**, 6, 114–118.
8. Oanh, T.T.K.; Nguyen, V.L.; Tateishi, M.; Kobayashi, I.; Tanabe, S.; Saito, Y. Holocene delta evolution and sediment discharge of the Mekong River, southern Vietnam. *Quat. Sci. Rev.* **2002**, 21, 1807–1819.
9. Thanh, C.N.; An, T.D.; Khuong, N.T.T. Monsoonal sediment transport along the subaqueous Mekong Delta: An analysis of surface sediment grain-size changes. *Ocean Syst. Eng.* **2022**, 4, 403–411. <https://doi.org/10.12989/ose.2022.12.4.403>.
10. Manh, N.V.; Dung, N.V.; Hung, N.N.; Kumm, M.; Merz, B.; Apel, H. Future sediment dynamics in the Mekong Delta floodplains: Impacts of hydropower development, climate change and sea level rise. *Global Planet. Change* **2015**, 127, 22–33. <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2015.01.001>.

11. Nguyen, T.T.; Stattegger, K.; Unverricht, D.; Nittrouer, C.; Phung, V.P.; Liu, P.; DeMaster, D.; Bui, V.D.; Le, D.A.; Mai, D.D. Surface sediment grain-size distribution and sediment transport in the subaqueous Mekong Delta, Vietnam. *Vietnam J. Earth Sci.* **2017**, *39*(3), 193–209. <https://doi.org/10.15625/0866-7187/39/3/10266>.
12. Diêu, H.T.Q. Phân tích dạng một số kim loại trong trầm tích và đánh giá khả năng tích lũy đồng và chì trong nghêu (*Meretrix lyrata*) nuôi ở vùng cửa sông Tiền. Luận án tiến sĩ khoa học Trường Đại học Khoa học, Đại học Huế, 2021.
13. Cenci, R.M.; Martin, J.M. Concentration and fate of trace metals in Mekong River Delta. *Sci. Total Environ.* **2004**, *332*, 167–182.
14. 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.
15. 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*, 246–252.
16. Unverricht, D.; Szczuciński, W.; Stattegger, K.; Jagodziński, R.; Le, X.T.; Kwong, L.L.W. Modern sedimentation and morphology of the subaqueous Mekong Delta, Southern Vietnam. *Global Planet Change* **2013**, *110*, 223–235.
17. Walling, D.E. The changing sediment load of the Mekong River. *AMBIO: A J. Human Environ.* **2008**, *37*(3), 150–157. <https://doi.org/10.1579/0044-7447>.
18. Wang, J.J.; Lu, X.X.; Kumm, M. Sediment load estimates and variations in the lower Mekong River. *River Res. Appl.* **2011**, *27*(1), 33–46. <https://doi.org/10.1002/rra.1337>.
19. Liu, J.P.; DeMaster, D.J.; Nittrouer, C.A.; Eidam, E.F.; Nguyen, T.T. A seismic study of the Mekong subaqueous delta: proximal versus distal sediment accumulation. *Cont. Shelf Res.* **2017**, *147*, 197–212. <https://doi.org/10.1016/j.csr.2017.07.009>.
20. Mikhailov, V.N.; Arakelyants, A.D. Features of hydrological and morphological processes in the estuary region of the Mekong River. *Water Resour.* **2010**, *3*, 259–273.
21. Ủy hội sông Mekong. Open Development Mê Kông. 2016. Trục tuyến: https://data.opendevopmentmekong.net/vi/organization/vietnam-organization?res_format=KML
22. Savichev, O.G. Methods of ecological and geochemical research. Tomsk Polytechnic University, 2012, pp.183.
23. Bộ Tài nguyên và Môi trường. QCVN 43:2017/BTNMT (Quy chuẩn kỹ thuật quốc gia về chất lượng trầm tích). Hà Nội, 2017.
24. Canadian environmental quality guidelines. Canadian sediment quality guidelines for the protection of aquatic life, summary tables, updated. Available online: <https://www.pla.co.uk/Environment/Canadian-Sediment-Quality-Guidelines-for-the-Protection-of-Aquatic-Life>.
25. 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)).
26. Federal Law of the Russian Federation. On the Sanitary and Epidemiological Well-Being of the Population. 1999. Available online: <https://www.dioxin.ru/doc/gn2.1.7.2041-06.htm>.

Evaluating the concentrations of Zn and Cu in bedload surface sediments of the Cua Tieu and Cua Dai river estuaries

Phung Thai Duong^{1*}

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

Abstract: Heavy metals in ionic form and exceeding the permissible threshold will be very toxic, affecting human health. In most of the research works on surface water as well as bottom sediments, the content of Zn and Cu is relatively higher than the rest of the elements. With 37 sampling locations in February 2024 and the use of atomic absorption spectroscopy, the results showed that the average concentrations of zinc (Zn) and copper (Cu) in the Cua Dai and Cua Tieu areas did not exceed the Vietnamese standards. When compared to the United States, the average concentrations were still within the limits, although many locations exceeded the standards. However, when compared to Russia, both the average concentrations and most locations exceeded the standards. The Igeo accumulation levels of Zn ranged from -0.90 to 1.44 (from uncontaminated to moderately contaminated), while Cu levels ranged from -3.11 to 0.42 (from uncontaminated to slightly polluted). Compared to other regions in Vietnam, the concentrations and accumulation levels of Zn in the study area were higher (99.31 mg/kg and Igeo 0.65 compared to the Red River 78.30 mg/kg and Igeo 0.31; To Lich River 81.27 mg/kg and Igeo 0.36), posing a significant risk to the ecosystem when sediment is directly used as fertilizer by local farmers.

Keyword: Tieu estuary; Concentration Zn; Igeo; Atomic spectroscopy; Bedload sediment.

Bài báo khoa học

Quan trắc thời gian thực và kết hợp phân tích dịch chuyển công trình sử dụng GNSS và cảm biến gia tốc

Vũ Ngọc Quang^{1*}, Nguyễn Việt Hà², Trần Đình Trọng

¹ Khoa Công trình, Trường Đại học Công nghệ Giao thông vận tải; quangvn@utt.edu.vn

² Khoa Trắc địa - Bản đồ và Quản lý đất đai, Trường Đại học Mỏ - Địa chất; nguyenvietha@humg.edu.vn

³ Khoa Cầu Đường, Trường Đại học Xây dựng Hà Nội; trandinhtrong@nuce.edu.vn

*Tác giả liên hệ: quangvn@utt.edu.vn; Tel.: +84-983452565

Ban Biên tập nhận bài: 25/4/2024; Ngày phản biện xong: 15/6/2024; Ngày đăng bài: 25/12/2024

Tóm tắt: Công tác quan trắc các công trình có quy mô lớn ngày càng được chú trọng theo hướng quan trắc thời gian thực để kịp thời phản ánh những bất thường của công trình. Các thiết bị quan trọng trong hệ thống quan trắc sức khỏe kết cấu hiện đang được kết nối với nhau bằng hệ thống dây dẫn lớn trong khi hiện nay có nhiều thiết bị mới với giá thành rẻ, kích thước nhỏ gọn và tích hợp các giải pháp IoT. Nghiên cứu kết hợp thiết bị GNSS, cảm biến gia tốc giá thành rẻ trong quan trắc công trình thời gian thực, đánh giá độ chính xác dữ liệu GNSS-RTK và phân tích các dịch chuyển thành phần bao gồm dịch chuyển tuyến tính, dao động trong các phương. Nghiên cứu sử dụng phương pháp thực nghiệm, so sánh kết quả từ dữ liệu thu thập được bằng thiết bị GNSS và cảm biến gia tốc với lượng dịch chuyển thực tế từ thiết bị eto cơ khí độ chính xác cao. Kết quả nghiên cứu cho thấy tính khả thi của giải pháp quan trắc thời gian thực sử dụng GNSS và cảm biến gia tốc. Đồng thời nghiên cứu cũng đã đánh giá mức độ dao động của giải pháp GNSS-RTK khi so sánh với thiết bị eto cơ khí chính xác cao là từ 1,2 mm đến 6,0 mm trong phương mặt bằng, 1,2 đến 14,9 mm trong phương đứng. Kết quả đánh giá độ chính xác, độ nhạy là cơ sở để lựa chọn loại hình, hạng mục quan trắc phù hợp với yêu cầu theo các tiêu chuẩn hiện hành.

Từ khóa: GNSS-RTK; Cảm biến gia tốc; MPU6050; IoT; Dịch chuyển; Thời gian thực.

1. Giới thiệu

Hạ tầng giao thông đường bộ chiếm tỉ trọng lớn trong phân bổ nguồn vốn đầu tư cho lĩnh vực giao thông vận tải. Số lượng các công trình cầu lớn, quy mô phức tạp được đầu tư xây dựng ngày càng nhiều. Song song với công tác xây dựng, các yêu cầu về công tác quan trắc, giám sát sức khỏe công trình được yêu cầu ngày càng chặt chẽ để đảm bảo nắm bắt kịp thời tình trạng, phản ứng của kết cấu trong suốt thời gian vận hành, khai thác, đảm bảo an toàn cho người và tài sản [1, 2]. Hệ thống quan trắc sức khỏe kết cấu công trình có nhiều thành phần như quan trắc trạng thái kết cấu, quan trắc khí tượng, quan trắc chuyển vị, biến dạng và giám sát hình ảnh [3]. Về mặt nghiên cứu các hệ thống quan trắc sức khỏe công trình cầu lớn ở Việt Nam, nghiên cứu do tác giả Bùi Hữu Hưởng thực hiện năm 2014 đã giới thiệu thiết kế và bố trí hệ thống quan trắc cho công trình cầu Rạch Miễu [4]. Hệ thống này được cho là hoạt động tốt cho tới thời điểm nghiên cứu (từ tháng 1/2009). Ngay sau đó, hệ thống quan trắc công trình cầu Cần Thơ đã được giới thiệu trong nghiên cứu của tác giả Hoàng Nam và cộng sự cùng với một số kết quả bước đầu từ các hệ thống quan trắc [5]. Năm 2018, nghiên cứu [6] đã phân tích mô hình kết cấu công trình cầu Thuận Phước. Từ đó, phương án sắp xếp các

thiết bị quan trắc cho công trình được thiết kế dựa trên phần mềm Labview. Có thể thấy rằng, các nghiên cứu ở trên, loại hình công trình cầu là các cầu dây văng, khẩu độ lớn. Nghiên cứu [7] về quan trắc và cảnh báo thời gian thực dành cho công trình cầu cũng đã được thực hiện năm 2022. Trong nghiên cứu này, tác giả mới chỉ dừng lại ở thiết bị GNSS. Sau đó, một nghiên cứu về kết hợp cảm biến và GNSS cũng đã được thực hiện [8]. Tuy nhiên, chưa có sự so sánh và đánh giá kết quả xác định dịch chuyển thực tế giữa hai thiết bị này.

Với loại hình cầu cứng, nghiên cứu so sánh khả năng quan trắc của thiết bị quét laser mặt đất (GLS, TLS) với cảm biến cơ khí độ chính xác cao được thực hiện năm 2022 với nhịp P13-P14, đường vành đai 2 trên cao [9]. Kết quả xác độ võng được so sánh với kết quả từ cảm biến thiên phân kế độ chính xác cao và hơn cả là xác định được mô hình bề mặt dưới của kết cấu quan trắc. Một nghiên cứu với cùng đối tượng, chủng loại thiết bị được thực hiện năm 2023 nhưng với thiết bị độ chính xác cao hơn và với nhịp P61-P62 có chiều dài, độ cao lớn nhất trong nội đô [10].

Trên thế giới, các cảm biến gia tốc với độ nhạy cao, có khả năng đo đặc với tần suất lấy mẫu lên tới 1000 Hz, đáp ứng công tác quan trắc các kết cấu có tần số dao động nhỏ hơn 0.1 Hz và biên độ dao động rất nhỏ [11]. Nghiên cứu cũng khẳng định vai trò quan trọng của cảm biến gia tốc trong các hệ thống quan trắc sức khỏe kết cấu. Về khía cạnh phân tích dữ liệu, các thành phần dao động của kết cấu được quan trắc có thể được xác định bằng kỹ thuật tích phân hay đạo hàm [12] để chuyển đổi các đại lượng gia tốc sang các thành phần dao động và dịch chuyển. Sự phát triển của GNSS với khả năng thu nhận dữ liệu với tần suất cao hơn đã cho phép kết hợp chúng trong phân tích dịch chuyển động sử dụng GNSS cùng với cảm biến gia tốc [13, 14].

Có thể thấy rằng, các nghiên cứu trong nước được thực hiện song hành với quá trình phát triển xây dựng các công trình cầu lớn, đặc biệt là cầu dây văng cùng với quá trình nhập khẩu các hệ thống quan trắc này. Các nghiên cứu được thực hiện cũng phần lớn mới dừng ở việc giới thiệu, thiết kế hệ thống quan trắc và các kết quả hiển thị bước đầu. Nghiên cứu [15] cũng đã tổng kết rằng phần lớn thiết bị được cung cấp bởi đối tác nước ngoài dẫn đến một số bất cập trong quản lý, khai thác, lưu trữ dữ liệu quan trắc. Sự tiến bộ của các công nghệ cảm biến có tốc độ cao, các mạch điện tử có chi phí thấp, các công nghệ kết nối không dây mở ra cơ hội mới cho lĩnh vực quan trắc tự động ở nhiều cấp độ, cho nhiều loại hình công trình. Liên quan tới khía cạnh tính toán và ứng dụng các dữ liệu, các dữ liệu GNSS và dữ liệu cảm biến gia tốc phần lớn được khai thác rời rạc cho các mục tiêu khác nhau.

Nghiên cứu sử dụng thiết bị GNSS có tích hợp giải pháp IoT trong kết nối, cảm biến gia tốc MPU6050, module wifi để thực hiện quá trình quan trắc tự động và hiển thị thời gian thực là phù hợp với nhu cầu thực tiễn, đáp ứng xu hướng phát triển của các giải pháp tự động. Nghiên cứu sử dụng phương pháp so sánh thực nghiệm để đánh giá độ chính xác của thiết bị RTK và thiết bị cảm biến gia tốc. Mục tiêu cụ thể của nghiên cứu là: (1) Kết nối thiết bị và thực hiện quan trắc, hiển thị thời gian thực; (2) Đánh giá được độ nhạy của giải pháp RTK; (3) Bước đầu phân tích các thành phần chuyển dịch của kết cấu quan trắc từ dữ liệu GNSS và cảm biến.

2. Thiết bị và phương pháp

2.1. Thiết bị GNSS

Nghiên cứu sử dụng thiết bị GNSS của hãng Comnav tự phát triển OEM board với dòng main K8, 965 kênh thu, kích thước nhỏ, hỗ trợ thu tín hiệu đồng thời từ nhiều hệ thống định vị vệ tinh [16] (Hình 1). Trên nền bảng mạch của thiết bị đã tích hợp sẵn module Bluetooth, wifi và khay sim cho phép gắn sim và sử dụng dữ liệu 4G. Thiết bị GNSS hoạt động với vai trò máy thu rover tại điểm quan trắc, theo phương pháp 4G, SIM di động gắn máy thu, cài đặt trên giao diện WebUI đã được giới thiệu trong các công bố trước [7, 8]. Dữ liệu số hiệu chỉnh được truyền với định dạng RTCM qua giao thức Internet gọi tắt là NTRIP [16].

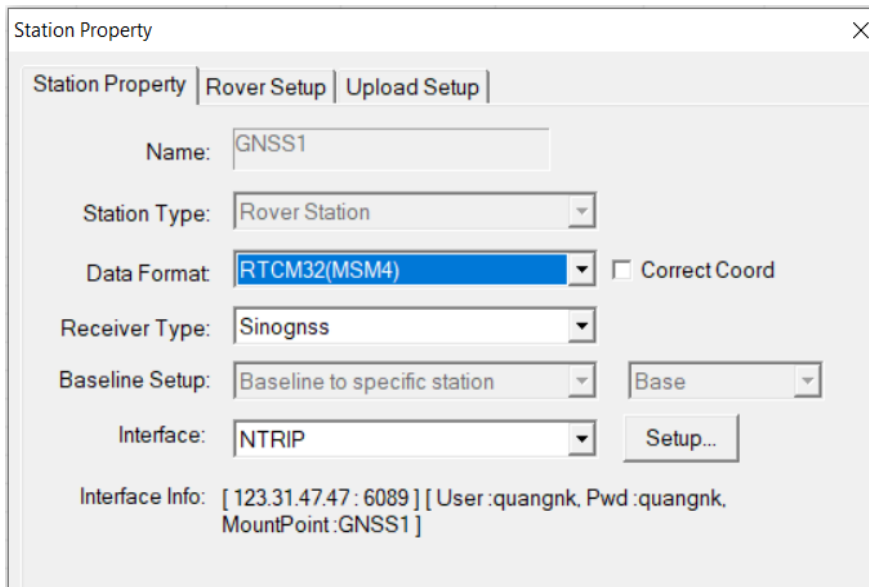


Hình 1. Main K8 của Comnav.

2.2. Thiết bị cảm biến gia tốc MPU6050

2.2.1. Kết nối GNSS

Thiết bị GNSS được tích hợp module SIM 4G, sau khi được kết nối với trạm cơ sở thông qua các thông tin cá nhân của người dùng bao gồm tài khoản, mật khẩu, cài đặt cổng truyền dữ liệu về server [17].



Hình 2. webUI cho phép thao tác cài đặt.

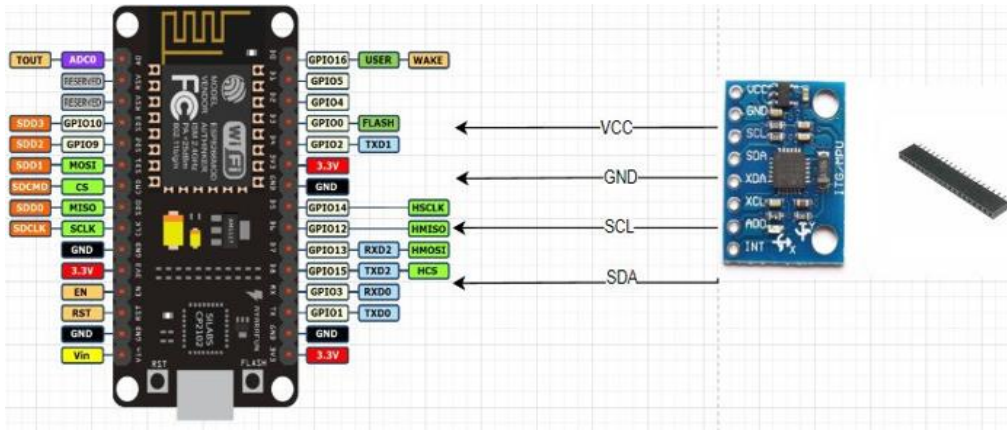
Hình 2 là một phần giao diện cài đặt thiết bị GNSS trên giao diện WebUI, cho phép người dùng cài đặt các hoạt động của máy ở vai trò khác nhau, tên, định dạng dữ liệu cũng như các thông số về tài khoản và mật khẩu người dùng.

2.2.2. Kết nối cảm biến gia tốc

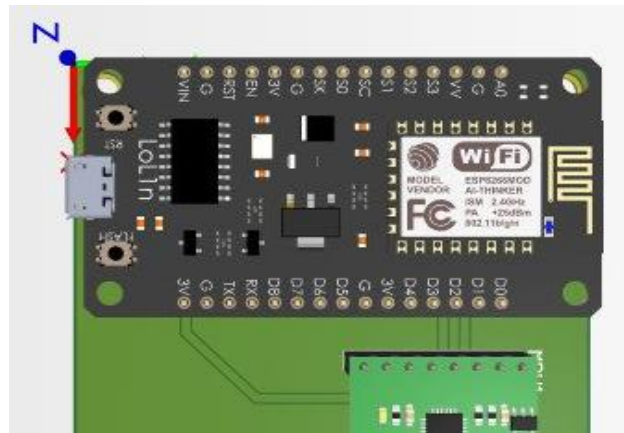
Thiết bị cảm biến gia tốc MPU6050 có kích thước nhỏ, không tích hợp sẵn module wifi [18]. Do đó, MPU6050 được kết nối với một module wifi ESP8266 để điều khiển quá trình thu, ghi cũng như truyền dữ liệu về server. Sơ đồ kết nối giữa MPU6050 và ESP8266 được thể hiện trong hình 3 và thiết kế mạch để gia công trong hình 4.

ESP8266 là module wifi nhỏ gọn, cho phép lập trình nhúng để kết nối, điều khiển các thiết bị khác, truyền số liệu và một bộ CPU mạnh được dùng nhiều trong các ứng dụng IoT. Toàn bộ chương trình được thực hiện trên nền tảng Arduino IDE phiên bản 2.3.2.

Hai thiết bị module wifi ESP và cảm biến gia tốc MPU6050 được sử dụng chung nguồn điện áp qua cổng kết nối với nguồn phía ESP.

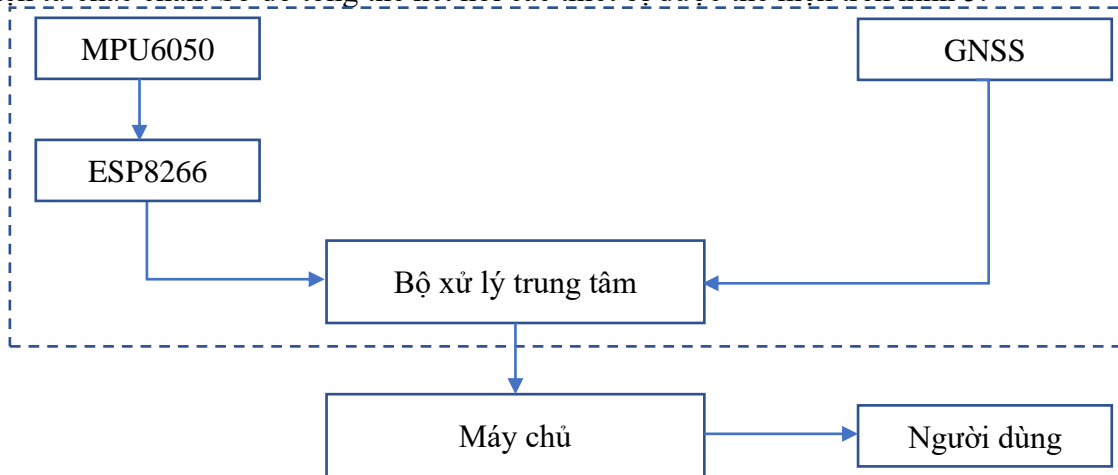


Hình 3. Vẽ mạch kết nối hai thiết bị trước khi gia công.



Hình 4. Thiết kế và gia công mạch kết nối hai thiết bị.

Để đảm bảo kết nối chắc chắn, không bị ảnh hưởng bởi các điều kiện như rung động tới khả năng thu dữ liệu, khả năng truyền và lưu trữ dữ liệu, mạch được gia công thành mạch điện tử chắc chắn. Sơ đồ tổng thể kết nối các thiết bị được thể hiện trên hình 5.



Hình 5. Kết nối tổng thể các thiết bị [8].

Trên sơ đồ hình 5, thiết bị GNSS với các module tích hợp sẵn trên nền tảng OEM board mới nhất cho phép nhận số hiệu chỉnh qua mạng 4G và truyền số liệu liên tục theo thời gian được cài đặt. Thiết bị ESP8266 điều khiển tác vụ thu nhận dữ liệu cảm biến, lưu trữ và truyền dữ liệu thời gian thực. Máy chủ sử dụng trong nghiên cứu là một server giả lập. Toàn bộ kết nối giữa bộ phận GNSS, ESP8266, cảm biến về bộ xử lý trung tâm; bộ xử lý trung tâm về máy chủ và máy chủ tới người dùng là kết nối không dây.

2.3. Phương pháp thực hiện

2.3.1. Thu nhận và truyền dữ liệu cảm biến

Server sử dụng là server giả lập, chương trình điều khiển, lưu trữ, truyền dữ liệu được lập trình trên nền tảng Arduino IDE 2.3.2 với địa chỉ IP động.

```

1  #include <ESP8266WiFi.h>
2  #include <DNSServer.h>
3  #include <ESP8266WebServer.h>
4  #include "WiFiManager.h"
5  #include <WebSocketsClient.h>
6  WebSocketsClient webSocket;
7  const char* IPHOST = "192.168.1.6";
8  const uint16_t PORTHOST = 3000;
9
10 #include <Adafruit MPU6050.h>
11 #include <Adafruit_Sensor.h>
12 #include <Wire.h>
13 Adafruit_MPU6050 mpu;
14 int timedata = 0;
15 int countdata = 0;
16 String resultdata = "";
17
18 void configModeCallback (WiFiManager *myWiFiManager)
19 {
20     Serial.println("Chon cau hinh:");
21     Serial.println(WiFi.softAPIP());
22     Serial.println(myWiFiManager->getConfigPortalSSID());

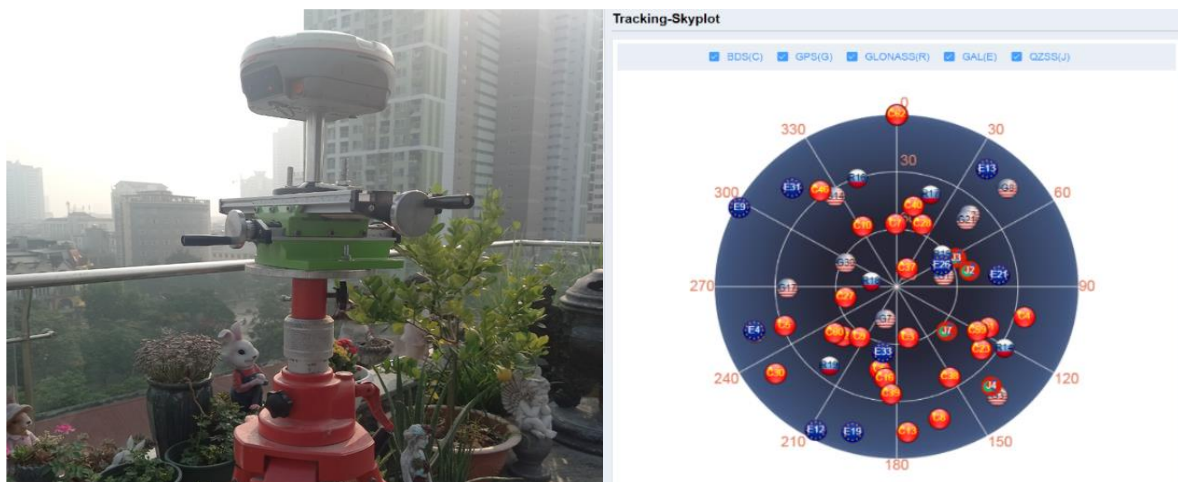
```

Hình 6. Một đoạn chương trình.

Trong chương trình điều khiển, địa chỉ IP là địa chỉ mạng wifi được sử dụng, Porthost là cổng của server giả lập dành cho người dùng để quan sát dữ liệu thời gian thực.

2.3.2. Phương pháp nghiên cứu độ nhạy của giải pháp GNSS-RTK

Để đánh giá độ nhạy của phương pháp GNSS-RTK, anten quan trắc được lắp đặt trên một thiết bị eto cơ khí độ chính xác cao, cho phép dịch chuyển tới mức độ phần trăm của đơn vị mm với mỗi vòng quay tương đương với 1,25 mm.



Hình 7. Anten GNSS lắp đặt trên chân máy qua một thiết bị eto cơ khí độ chính xác cao.

Anten GNSS được lắp đặt trên chân máy chuyên dụng, độ ổn định cao và có trục dọc cho phép dịch chuyển lên xuống với độ chính xác cao. Giá trị dịch chuyển mặt bằng và độ cao từ thiết bị eto cơ khí và trục dọc được coi là giá trị chuẩn để xem xét, đánh giá đại lượng dịch chuyển tính toán từ phương pháp GNSS-RTK. Do các giá trị dịch chuyển từ thiết bị eto cơ khí được coi là các giá trị đo thực, Độ chính xác của giải pháp GNSS-RTK sẽ được tính toán qua công thức sau [19, 20]:

$$m = \pm \sqrt{\frac{\Delta i \times \Delta i}{n}} \tag{1}$$

2.3.3. Phương pháp chuyển đổi giá trị gia tốc sang giá trị dịch chuyển từ cảm biến gia tốc

Một mốc định tâm bắt buộc, ổn định cả về vị trí mặt bằng và độ cao được sử dụng để lắp đặt đồng thời hai thiết bị GNSS và cảm biến gia tốc.



Hình 8. Anten GNSS và cảm biến gia tốc đặt trên mốc cố định.

Các phương tọa độ thành phần từ cảm biến được đặt cùng chiều với các phương tọa độ của GNSS nhờ vào một la bàn để công tác tính toán hậu kỳ và so sánh được đồng bộ. Thành phần dịch chuyển xác định từ GNSS-RTK được tính toán từ các giá trị tuyệt đối tọa độ theo ba phương trong không gian X, Y, H trong hệ tọa độ địa phương hoặc WGS84. Với dữ liệu cảm biến gia tốc, ước tính vận tốc và dịch chuyển được chuyển đổi qua công thức sau:

$$v(t) = v_0 + \int_0^t a(t)dt \tag{2}$$

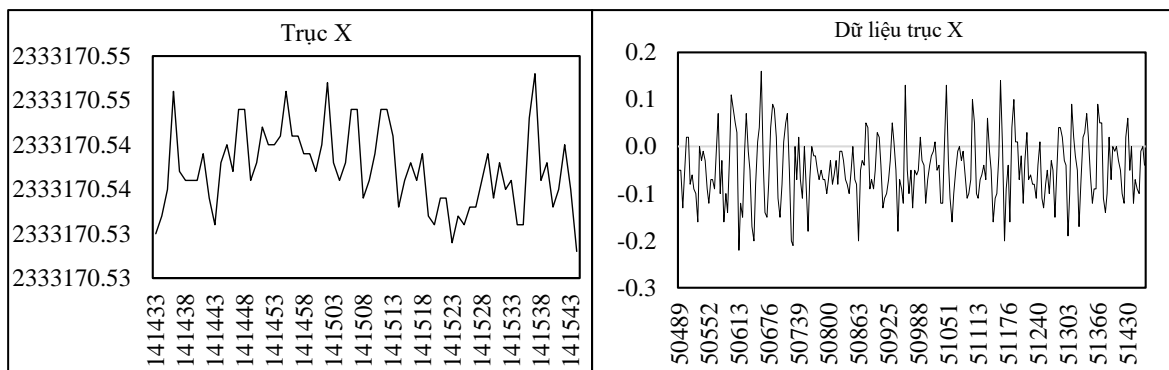
$$x(t) = x_0 + \int_0^t v(t)dt = x_0 + v_0t + \int \int_0^t a(t)dt \tag{3}$$

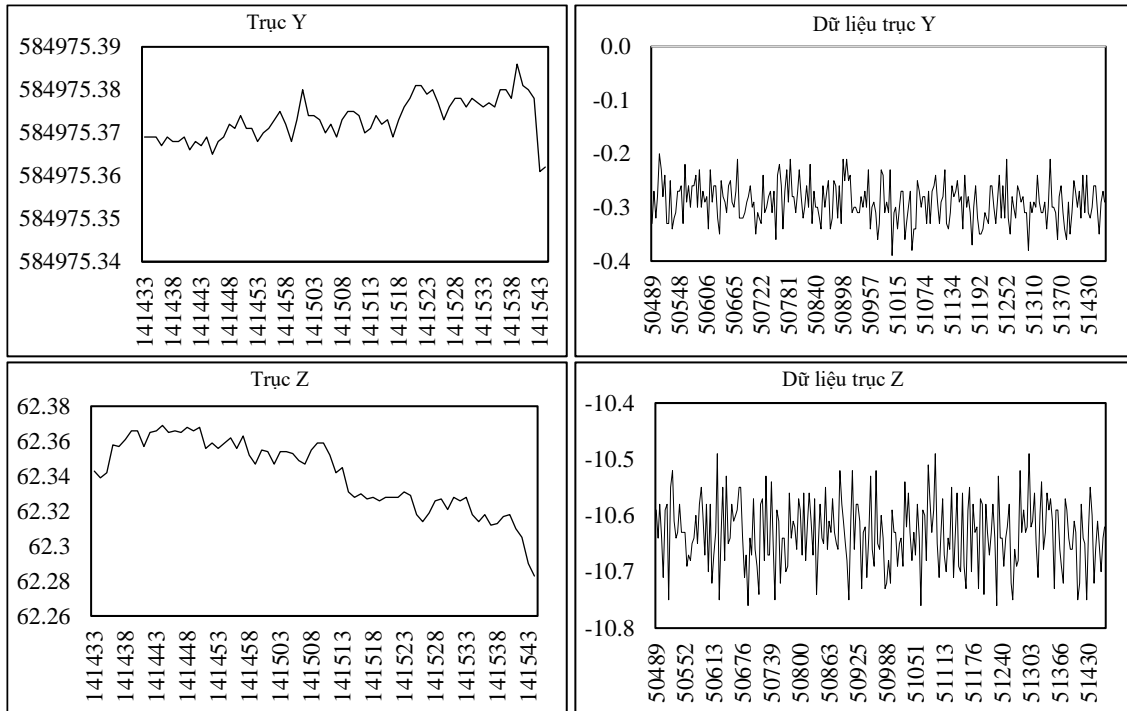
Trong đó a(t) là gia tốc tại thời điểm t; v(t), x(t) là vận tốc và dịch chuyển ở thời điểm t; v₀, x₀ là vận tốc và dịch chuyển ban đầu tương ứng.

3. Kết quả và thảo luận

3.1. Kết quả truyền dữ liệu thời gian thực và đánh giá tính toàn vẹn dữ liệu

Dữ liệu GNSS được thu thập với tần suất 1 trị đo/1 giây và dữ liệu cảm biến là 250 trị đo/1 giây liên tục truyền, hiển thị theo thời gian thực. Kết quả hiển thị trên biểu đồ trực quan trên hình 9.



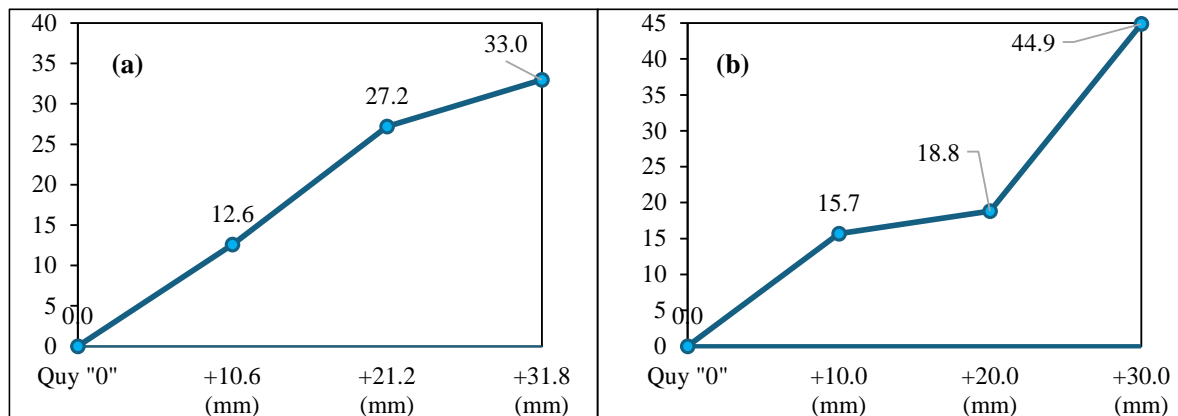


Hình 9. Dữ liệu thời gian thực của GNSS cảm biến.

Trong biểu đồ hình 9, phía bên trái là dữ liệu GNSS-RTK và bên phải là dữ liệu của cảm biến. Về tính toàn vẹn của dữ liệu, nghiên cứu sử dụng mạng internet với băng tần 5 GHz, tốc độ cao với vận tốc truyền nhận là 1201 Mbps nên toàn bộ dữ liệu GNSS và cảm biến được đảm bảo tính toàn vẹn. Các thành phần tọa độ bên trái được tính toán trong hệ tọa độ VN:2000, kinh tuyến trực địa phương. Các thành phần tọa độ bên phải của cảm biến được tính toán trong hệ tọa độ giả định tự thân của cảm biến. Trục tung là các giá trị dao động và gia tốc theo thời gian thực được cập nhật liên tục với giãn cách thời gian là 1s với GNSS và 4 ms với cảm biến.

3.2. Kết quả đánh giá độ chính xác của giải pháp GNSS-RTK

Độ nhậy của giải pháp GNSS-RTK được so sánh với lượng dịch chuyển thực tế từ thiết bị eto cơ khí chính xác cao. Lượng dịch chuyển theo phương pháp RTK được tính toán từ giá trị trung bình của tổng số lượng trị đo RTK tương ứng trong mỗi lần dịch chuyển của thiết bị eto cơ khí. Kết quả đánh giá so sánh lượng dịch chuyển thực tế từ eto cơ khí với lượng dịch chuyển tính toán được phương pháp GNSS-RTK theo cả hai phương mặt bằng và độ cao được trình bày trong hình 10a, 10b.

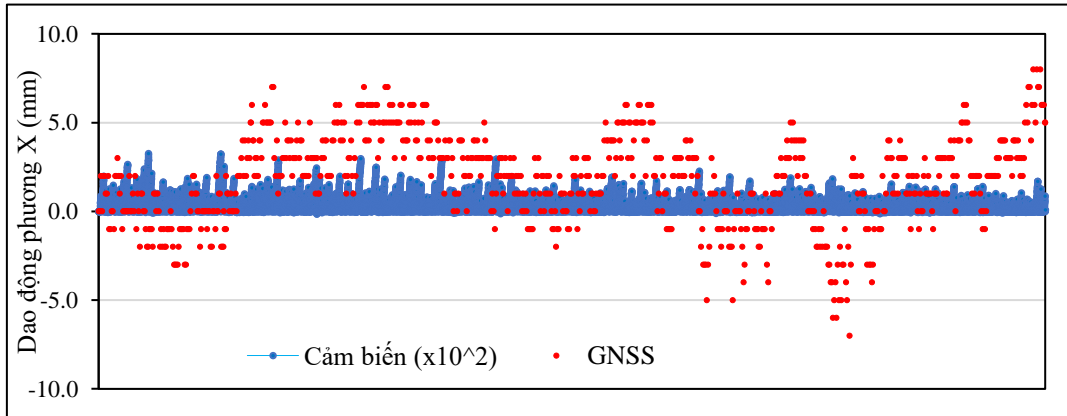


Hình 10. So sánh lượng dịch chuyển mặt bằng và độ cao tính từ GNSS-RTK so với thực tế: (a) Mặt bằng; (b) Độ cao.

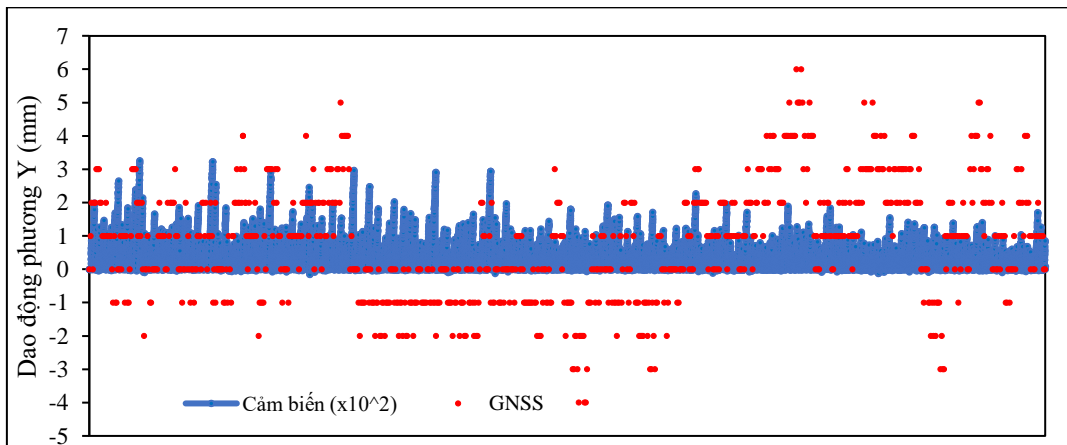
Giá trị trên trục hoành là lượng dịch chuyển về mặt bằng và độ cao tương ứng với ba lần dịch chuyển eto cơ khí. Trục đứng là giá trị dịch chuyển tính toán được các giá trị GNSS-RTK. Sử dụng công thức (1), sai số xác định lượng dịch chuyển mặt bằng và độ cao qua ba lần dịch chuyển thiết bị eto cơ khí lần lượt là 3,7 mm và 9,2 mm.

3.3. Kết quả chuyển đổi giá trị gia tốc sang giá trị dịch chuyển và so sánh với GNSS-RTK

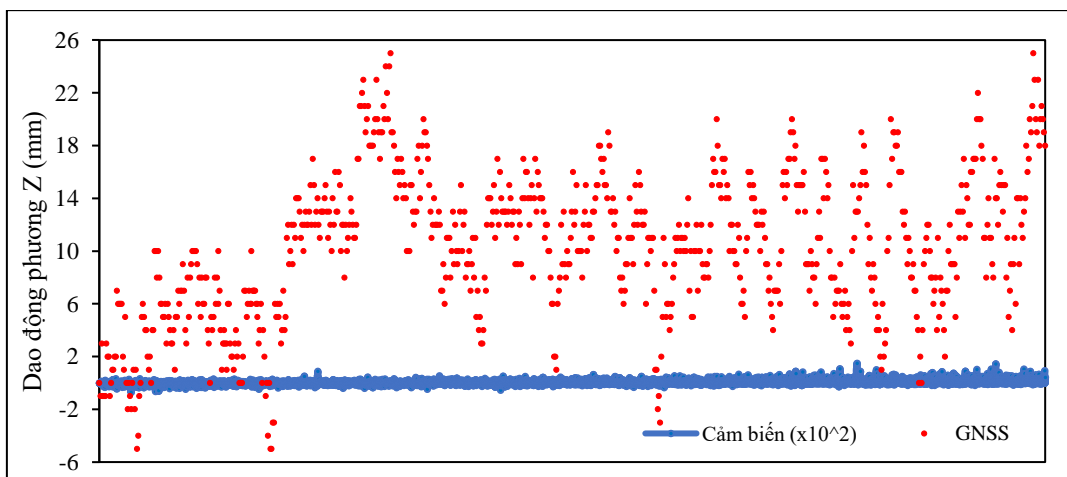
Sử dụng công thức (2), (3) ở trên để chuyển đổi các thành phần gia tốc sang các giá trị vận tốc và dịch chuyển tương ứng. Các giá trị dịch chuyển từ cảm biến được so sánh với các giá trị tương ứng từ GNSS-RTK.



Hình 11. So sánh dao động thành phần theo phương X của GNSS và cảm biến gia tốc.



Hình 12. So sánh dao động thành phần theo phương Y của GNSS và cảm biến gia tốc.



Hình 13. So sánh dao động thành phần theo phương Z của GNSS và cảm biến gia tốc.

Giá trị dịch chuyển theo ba phương tương ứng của hai thiết bị GNSS và cảm biến được tính toán so với giá trị cân bằng ban đầu. Các hình 11-13 cho thấy mặc dù đặt ở vị trí mốc cố định, thiết bị GNSS cho ra kết quả dao động thành phần theo các phương lớn hơn nhiều lần so với các giá trị tính toán từ cảm biến.

3.4. Thảo luận

Dữ liệu GNSS và cảm biến được truyền thời gian thực hỗ trợ nhiệm vụ theo dõi trực quan cho người dùng với nhiều vai trò khác nhau trong dự án và mọi địa điểm có kết nối mạng Internet. Đây là ưu điểm của công tác quan trắc thời gian thực. Kết quả về độ lệch tính toán từ giải pháp GNSS-RTK so với lượng dịch chuyển thực tế từ thiết bị eto cơ khí dao động từ 1,2 mm đến 6,0 mm trong phương ngang và 1,2 mm đến 14,9 mm trong phương đứng. Kết quả này tương đương với kết quả trong nghiên cứu [7]. Đây là cơ sở để lựa chọn ngưỡng cảnh báo trong quan trắc và lựa chọn phương pháp phù hợp với từng hạng mục, loại hình quan trắc. Đồng thời, đây cũng là một khía cạnh cần tiến hành nghiên cứu thêm để nâng cao độ chính xác của giải pháp GNSS-RTK trong quá trình xử lý hậu kỳ.

Kết quả chuyển đổi các đại lượng gia tốc sang các giá trị dịch chuyển và so sánh với giá trị GNSS-RTK cho thấy mức độ tin cậy của thiết bị cảm biến sau khi được chuyển đổi. Khi hai thiết bị đặt tại cùng vị trí và được đồng bộ về thời gian, vị trí không gian, các dữ liệu cảm biến có thể sử dụng là cơ sở hiệu chỉnh các giá trị đo GNSS trong phân tích dịch chuyển công trình. Với mức độ thử nghiệm, trong điều kiện Internet có tốc độ cao, công tác truyền và hiển thị thời gian thực đảm bảo tính liên tục, tính toàn vẹn của dữ liệu mặc dù sử dụng các kết nối không dây, module wifi giá thành rẻ. Đây là một ưu điểm của nghiên cứu. Tuy nhiên, hạn chế của nghiên cứu là công tác xử lý chuyên sâu hơn theo hướng thời gian thực hoặc cận thời gian thực là còn hạn chế do dung lượng dữ liệu cảm biến là rất lớn.

4. Kết luận

Nghiên cứu đã kết hợp được thiết bị GNSS và cảm biến gia tốc trong công tác quan trắc sử dụng các thiết bị IoT phổ biến với giá thành rẻ. Các dữ liệu quan trắc được truyền và hiển thị thời gian thực hỗ trợ quan sát trực quan ở các địa điểm, với nhiều đối tượng ở vai trò khác nhau trong dự án.

Bên cạnh việc truyền và hiển thị dữ liệu quan trắc thời gian thực, nghiên cứu đã đánh giá độ chính xác, độ nhạy của giải pháp GNSS-RTK và giải pháp chuyển đổi đại lượng gia tốc sang các thành phần dịch chuyển tương ứng là cơ sở để thực hiện bài toán phân tích, hiệu chỉnh độ chính xác của dữ liệu GNSS.

Nghiên cứu đã đạt mục tiêu đề ra ban đầu là quan trắc thời gian thực, đánh giá độ chính xác của giải pháp GNSS và cảm biến gia tốc. Tuy nhiên, một số hạn chế như khả năng truyền thời gian thực tốc độ cao trong điều kiện thực tế công trình là chưa được kiểm chứng, năng lực giải các bài toán thời gian thực với thiết bị IoT có cấu hình thấp là khó khăn. Do đó, trong tương lai, các thiết bị có tích hợp bộ vi xử lý mạnh hơn cần được áp dụng.

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

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

Tài liệu tham khảo

1. Bộ Giao thông vận tải. Thông Tư Số: 37/2018/QĐ-BGTVT Ngày 07/06/2018 về “Quy Định về Quản Lý, Vận Hành Khai Thác và Bảo Trì Công Trình Đường Bộ”, 2018, tr. 1–13.
2. Bộ Giao thông vận tải. Thông tư hướng dẫn một số nội dung về quản lý, khai thác và bảo trì công trình đường cao tốc. 2018, tr. 1–20.

3. Chính, L.M. Hệ thống quan trắc lâu dài công trình lớn ở Việt Nam. Kỷ yếu tuyển tập Hội nghị Khoa học thường niên năm 2013, tr. 31–33.
4. Hương, B.H. Bố trí thiết bị quan trắc cho cầu Dây Văng Rạch Miễu. *Tư vấn thiết kế*, 2014, tr. 33–38.
5. Nam, H.; Nam, L.V.; Thành, N.V.; Thông, M.L. Hệ quan trắc công trình cầu Cần Thơ. *Tap chí Giao thông vận tải* **2018**, 1–11.
6. Nguyen, L.; Huy, H.P.; Hong, T.B. Structural health monitoring system of the Thuan Phuoc suspension bridge in Viet Nam. *Proceedings of the International Conference on GeoInformatics for Spatial-Infrastructure Development in Earth & Allied Sciences*, 2018, pp. 1–13.
7. Quang, V.N.; Hà, N.V.; Chiềù, V.Đ. Xây dựng hệ thống quan trắc chuyển dịch và cảnh báo sớm sử dụng kỹ thuật GNSS-RTK. *Tap chí Khoa học Công nghệ Xây dựng* **2023**, 17, 134–146.
8. Quang, V.N.; Hà, N.V.; Trọng, T.Đ. Kết hợp GNSS, cảm biến gia tốc và giải pháp IoT trong quan trắc cầu thời gian thực. *Tap chí Khoa học Công nghệ Xây dựng* **2023**, 17, 139–151. [https://doi.org/10.31814/stce.huce2023-17\(4v\)-12](https://doi.org/10.31814/stce.huce2023-17(4v)-12).
9. Quang, V.N.; Chiềù, V.Đ.; Hòa, P.T.T. Một nghiên cứu thực nghiệm kiểm định và quan trắc cầu bằng thiết bị toàn đạc Laser mặt đất. *Tap chí Khoa học Kiến trúc - Xây dựng* **2022**, 45, 65–69.
10. Chieu, V.D.; Dung, L.N.; Hung, C.V.; Quang, V.N.; Son, B.N. Study on the application of TLS for bridge deflection inspection in Vietnam. *J. Sci. Technol. in Civil Eng. - HUCE* **2023**, 17, 14–25. [https://doi.org/10.31814/stce.huce2023-17\(4\)-02](https://doi.org/10.31814/stce.huce2023-17(4)-02).
11. Kopacik, A.; Erdélyi, J.; Kyrinovic, P. Structural health monitoring of bridges using accelerometers - A case study at Apollo bridge in Bratislava. *Geonauka* **2015**, 3, 8–15. <https://doi.org/10.14438/gn.2015.03>.
12. Sekiya, H.; Kimura, K.; Miki, C. Technique for determining bridge displacement response using MEMS accelerometers. *Sensors* **2021**, 16, 1–21. <https://doi.org/10.3390/s16020257>.
13. Paziewski, J.; Stepniak, K.; Sieradzki, R.; Yigit, C.O. Dynamic displacement monitoring by integrating high-rate GNSS and accelerometer: On the possibility of downsampling GNSS data at reference stations. *GPS Solutions* **2023**, 27, 157. <https://doi.org/10.1007/s10291-023-01500-x>.
14. Xiong, C.; Lu, H.; Zhu, J. Operational modal analysis of bridge structures with data from GNSS/Accelerometer measurements. *Sensors* **2017**, 17(3), 436. <https://doi.org/10.3390/s17030436>.
15. Tùng, T.T. Thống nhất quản lý việc lắp đặt hệ thống quan trắc trong thi công và khai thác công trình. *Tap chí điện tử Bộ giao thông vận tải* **2015**, 1–5.
16. ComNav Technology Ltd. K803 GNSS Module 30, 2020.
17. Heo, Y.; Li, B.; Lim, S.; Rizos, C. Development of a Network Real-Time Kinematic Processing Platform. *Proceedings of the 22nd International Technical Meeting of the Satellite Division of the Institute of Navigation*, 2009, 6, pp. 3647–3655.
18. El-Mowafy, A. Precise real-time positioning using network RTK. In *Global Navigation Satellite Systems: Signal, Theory and Applications*; InTech, 2012, pp. 161–187.
19. Perets, T. Investigation of Wi-Fi (ESP8266) module and application to an audio signal transmission. Thesis for B. Eng. Electrical and Electronic Engineering (Telecommunications Engineering), 2021.
20. Charles, D.G.; Paul, R.W. Adjustment computations. Fourth Eds., John Wiley & Sons, INC., 2006, ISBN 978-0-471-69728-2.

Real-time monitoring and combined analysis of construction displacement using GNSS and acceleration sensors

Vu Ngoc Quang^{1*}, Nguyen Viet Ha², Tran Dinh Trong³

¹ Engineering faculty, University of Transport Technology; quangvn@utt.edu.vn

² Faculty of Geomatics and Land Administration, Ha Noi University of Mining and Geology; nguyenvietha@humg.edu.vn

³ Faculty of Bridges and Roads, Hanoi University of Civil Engineering; trandinhtrong@nuce.edu.vn

Abstract: Monitoring of large-scale projects is increasingly focused on real-time monitoring to promptly reflect construction abnormalities. Most of the important devices in structural health monitoring systems are currently connected together by large wiring systems while there are now many new devices with low prices, compact sizes and integrated IoT solutions. The article studies the combination of GNSS equipment and low-cost accelerometer sensors in real-time construction monitoring, assesses the accuracy of GNSS-RTK data and analyzes displacement components including linear displacements, oscillates in all directions. The study used an experimental method, comparing results from data collected using GNSS device and accelerometer with actual displacement from a high-accuracy mechanical eto device. The study results show the feasibility of a real-time monitoring solution using GNSS and acceleration sensors. Simultaneously, the study also evaluated the fluctuation level of GNSS-RTK solution when compared with high-precision mechanical eto equipment from 1.2mm to 6.0mm and 1.2mm to 14.9mm for horizontal and vertical direction respectively. The results of accuracy assessment, sensitivity is the basic to select types, monitoring items suitable with current standards.

Keywords: GNSS-RTK; Acceleration sensor; MPU 6050; IoT; Displacement; Real-time monitoring.

Bài báo khoa học

Nghiên cứu thử nghiệm đồng hóa số liệu trong dự báo sự thay đổi đột ngột của cường độ và quỹ đạo bão trên Biển Đông bằng mô hình HWRF

Nguyễn Đức Nam¹, Vũ Văn Thăng^{1*}, Trần Duy Thức¹

¹ Viện Khoa học Khí tượng Thủy văn và Biến đổi khí hậu; ducnam.mi@gmail.com; vvthang26@gmail.com; tranduythuc1@gmail.com

*Tác giả liên hệ: vvthang26@gmail.com; Tel.: +84-986464599

Ban Biên tập nhận bài: 21/05/2024; Ngày phản biện xong: 28/06/2024; Ngày đăng bài: 25/12/2024

Tóm tắt: Trong bài báo này, tác giả trình bày kết quả thử nghiệm dự báo sự thay đổi đột ngột của cường độ và quỹ đạo bão trên khu vực Biển Đông bằng mô hình HWRF kết hợp đồng hoá số liệu. Mô hình HWRF được thiết kế thử nghiệm với số liệu điều kiện biên và điều kiện ban đầu là số liệu GFS độ phân giải 0,25×0,25 độ kinh vĩ, và số liệu đồng hóa được lấy từ hệ thống viễn thông khí tượng toàn cầu GTS (*Global Telecommunications Systems*). Kết quả thử nghiệm đồng hóa số liệu dự báo sự thay đổi cường độ đột ngột của cơn bão Noru (2022) và sự thay đổi quỹ đạo đột ngột của cơn bão Goni (2020) bằng mô hình HWRF đã cho thấy một số cải thiện về kết quả dự báo. Đối với trường hợp cơn bão Noru, trường hợp có đồng hoá số liệu cho kết quả dự báo đúng về sự thay đổi đột ngột cường độ bão ở hạn dự báo 42 giờ và không dự báo không sự thay đổi cường độ đột ngột của bão ở các hạn dự báo sau như trường hợp không có đồng hoá số liệu. Với trường hợp cơn bão Goni, kết quả đánh giá quỹ đạo cho thấy sai số dự báo của trường hợp đồng hoá số liệu tốt hơn so với trường hợp không đồng hoá số liệu.

Từ khóa: Mô hình HWRF; Sự thay đổi đột ngột của cường độ bão; Đồng hoá số liệu.

1. Mở đầu

Đồng hoá số liệu là quá trình kết hợp nhiều nguồn số liệu, bao gồm số liệu quan trắc và số liệu từ mô hình số, giúp ước lượng tốt nhất trạng thái khí quyển để làm điều kiện ban đầu cho mô hình dự báo số trị. Kết hợp giữa số liệu quan trắc và số liệu từ mô hình lần đầu tiên được thực hiện thủ công [1, 2], sau đó được thực hiện với các thuật toán nội suy khách quan hơn [3, 4]. Sau nhiều thập kỷ phát triển, đồng hoá số liệu đã dần trở thành một bước cực kỳ quan trọng của dự báo thời tiết bằng mô hình số. Không chỉ được thực hiện bởi các mô hình toàn cầu, đồng hoá số liệu còn được thực hiện bởi các mô hình khu vực, nhằm tăng cường khả năng dự báo các hiện tượng thời tiết ở quy mô vừa và quy mô địa phương. Đặc biệt trong dự báo bão và áp thấp nhiệt đới, đồng hoá số liệu giúp cải thiện đáng kể khả năng dự báo quỹ đạo và cường độ bão.

Đối với bài toán dự báo cường độ và quỹ đạo bão, hệ thống mô hình HWRF là mô hình số được thiết kế chuyên biệt cho dự báo bão với sự hợp tác của các Trung tâm nghiên cứu lớn ở Hoa Kỳ, và được sử dụng để dự báo nghiệp vụ bão từ năm 2007 tại Mỹ. Mô hình HWRF với lõi WRF-NMM, cùng 3 miền tính, trong đó 2 miền có độ phân giải cao và di chuyển theo tâm bão giúp mô tả tốt cấu trúc bão và cho kết quả dự báo cường độ, quỹ đạo bão tốt hơn. Trong hệ thống mô hình HWRF, mô đun đồng hoá số liệu GSI được tích hợp, kết hợp với mô đun dịch chuyển xoáy. Những mô đun này đã được sử dụng trong hệ thống

mô hình HWRF ở nhiều nghiên cứu về đồng hoá các loại số liệu trong dự báo bão, giúp trường bão trong mô hình có vị trí và cấu trúc bão phù hợp với số liệu quan trắc hơn.

Số liệu được sử dụng để đồng hoá trong mô hình HWRF rất đa dạng, nhưng ảnh hưởng rõ nhất đến kết quả dự báo bão chủ yếu đến từ số liệu thám sát trên không và số liệu vệ tinh tập trung ở khu vực tâm bão. Nghiên cứu [5] ứng dụng đồng hoá dữ liệu radar Doppler cho thấy cải thiện đáng kể trong mô phỏng cấu trúc xoáy tổng thể, tuy nhiên sai số về cường độ thì chưa được cải thiện nhiều. Nghiên cứu [6] đã sử dụng đồng hoá số liệu radar cho mô hình HWRF, kết quả trong trường hợp sử dụng đồng hoá lai tổ hợp EnKF cho cải thiện dự báo quỹ đạo bão tốt hơn so với sử dụng đồng hoá lai tổ hợp GFS (*Hybrid-GENS*) và đồng hoá GSI 3DVar (*GSI3DVar*). Vai trò của việc đồng hoá các quan trắc thám sát trong lõi bão của mô hình HWRF cho cải thiện dự báo quỹ đạo và giảm sai số cường độ bão sau 18-24 giờ. Đối với các cơn bão yếu, kết quả nghiên cứu cho thấy có sự tác động tích cực đến dự báo cường độ, nguyên nhân do sự đồng hoá bên trong lõi tạo ra cấu trúc xoáy thuận nhiệt đới chính xác hơn, giúp giảm sai số về cường độ [7].

Nghiên cứu về việc đồng hoá dữ liệu bức xạ vệ tinh trong dự báo bão tương đối phổ biến và đã chứng minh được hiệu quả. Nghiên cứu [8] đã chỉ ra vai trò của đồng hoá bức xạ ATMS (*Advanced Technology Microwave Sounder*) trong hệ thống HWRF cho cải thiện đáng kể dự báo quỹ đạo và cường độ của các cơn bão ở Đại Tây Dương. Áp dụng mô hình HWRF với các cấu hình khác nhau dự báo bão trên Tây Bắc Thái Bình Dương, cho kết quả dự báo chính xác hơn [9]. Nghiên cứu [10] sử dụng đồng hoá trực tiếp dữ liệu bức xạ từ vệ tinh GOES-13 và GOES-15 trong HWRF không chỉ cải thiện chất lượng dự báo quỹ đạo và cường độ của cơn bão Debby mà còn làm nổi bật hiệu ứng tích cực của việc khởi tạo xoáy không đối xứng.

Các nghiên cứu gần đây việc ứng dụng công nghệ đồng hoá các loại dữ liệu quan trắc gió lidar Doppler, vectơ chuyển động khí quyển (AMV) từ vệ tinh GOES-16, GOES-17 và cấu hình 3DEnVar cho mô hình HWRF cho thấy cải thiện đáng kể trong bài toán dự báo bão [11–15]. Nghiên cứu [11] đã chỉ ra việc đồng hoá quan trắc gió lidar Doppler (DWL) từ thiết bị OAWL (*Optical Autocovariance Wind Lidar*) cho thấy cải thiện sai số dự báo gió nhiệt đới giảm dần theo thời gian dự báo. Nghiên cứu [12] cũng chỉ ra rằng việc đồng hoá AMV nâng cao cải thiện dự báo cường độ và quỹ đạo của bão Gonzalo (2014) và Joaquin (2015) trên Đại Tây Dương. Nghiên cứu [13] đã chứng minh đồng hoá AMV độ phân giải cao từ vệ tinh GOES-16 cho kết quả sai số dự báo quỹ đạo cải thiện đáng kể đối với cơn bão Irma (2017). Nghiên cứu [14] nhận thấy biến thể tổ hợp ba chiều hàng giờ (*3DEnVar*) vượt trội hơn cấu hình 3DEnVar trong khoảng thời gian 6 giờ khi không di chuyển xoáy (VR), và đồng hoá AMV cải thiện dự báo cường độ, mặc dù VR có thể gây sai số cho dự báo áp suất mực nước biển tối thiểu. Nghiên cứu [15] cũng khẳng định AMV từ GOES-16 và GOES-17 cải thiện dự báo bão nhiệt đới, giảm sai số về quỹ đạo, cường độ, áp suất cực tiểu và quy mô bão.

Ở Việt Nam, nghiên cứu về đồng hoá số liệu để cải thiện trường ban đầu của mô hình số trị trong bài toán dự báo thời tiết nói chung và dự báo bão nói chung đã thu hút được nhiều nhà khoa học [16–20]. Trung tâm Dự báo Khí tượng Thủy văn Quốc gia đã ứng dụng sơ đồ đồng hoá 3DVAR cho mô hình HRM từ năm 2007, dựa trên số liệu quan trắc và vệ tinh MTSAT [16]. Nghiên cứu công nghệ đồng hoá 3DVAR trong mô hình WRF với số liệu vệ tinh quỹ đạo cực, trường gió từ radar Doppler cho thấy dự báo tốt cả lượng mưa và diện mưa ở thời gian 24h đầu [17, 18]. Sử dụng đồng hoá số liệu radar Đông Hà để nâng cao chất lượng dự báo mưa lớn cho khu vực miền Trung, sử dụng số liệu gió vệ tinh và phương pháp lọc Kalman tổ hợp để cải thiện trường ban đầu của mô hình WRF [19, 20]. Nghiên cứu [21] đã sử dụng mô hình WRF kết hợp phương pháp đồng hoá 3DVAR và lọc Kalman tổ hợp địa phương LETKF cho kết quả cải thiện trường phân tích và dự báo bão ở Tây Bắc Thái Bình Dương và Biển Đông. Vai trò của đồng hoá trường ban đầu với số liệu Radar đã cho dự báo mưa lớn ở Thành phố Hồ Chí Minh và Tây Nguyên cho thấy đồng hoá với trường hợp chạy

“warm start” tốt hơn “cold start” [22, 23]. Nghiên cứu [24] sử dụng phương pháp đồng hóa 3DVAR để cải thiện điều kiện ban đầu của mô hình, nâng cao chất lượng dự báo nhiệt độ, độ ẩm, và lượng mưa.

Đối với nghiên cứu để cải thiện trường ban đầu của mô hình HWRF ở Việt Nam [25] đã ứng dụng ban đầu hóa xoáy trong mô hình HWRF trong dự báo bão trên Biển Đông, mô phỏng 53 trường hợp chạy dự báo 7 cơn bão trên Biển Đông trong mùa bão năm 2009. Kết quả đánh giá dự báo cho thấy, sử dụng sơ đồ ban đầu hóa xoáy đã cho những cải thiện rõ rệt trong dự báo quỹ đạo bão hạn 72 giờ, và dự báo cường độ bão hạn 54 giờ. Ứng dụng phương pháp ban đầu hóa xoáy trong mô hình HWRF nghiên cứu vai trò của ban đầu hóa xoáy đối với mô phỏng cấu trúc cơn bão Ketsana (2009) cho thấy cải thiện đáng kể cấu trúc bão mô phỏng tại thời điểm ban đầu cũng như trong quá trình tích phân. Xoáy được tạo ra bằng sơ đồ ban đầu hóa xoáy của mô hình HWRF là phù hợp với mô hình, thể hiện qua sự ổn định động lực của xoáy bão trong các giờ đầu tích phân [26].

Các nghiên cứu cải thiện trường ban đầu này đều dựa vào sơ đồ ban đầu hoá xoáy bão của HWRF, chưa bổ sung các thông tin quan trắc vào trường ban đầu của mô hình. Vì vậy, trong bài báo này, nhóm tác giả sẽ sử dụng kết hợp ban đầu hoá xoáy và phương pháp đồng hoá số liệu trong mô hình HWRF để bổ sung thêm các thông tin quan trắc nhằm cải thiện trường ban đầu của mô hình. Từ đó, sẽ đánh giá ảnh hưởng của việc đồng hoá số liệu nhằm dự báo sự thay đổi đột ngột của cường độ và quỹ đạo bão trên Biển Đông.

2. Số liệu sử dụng và phương pháp nghiên cứu

2.1. Xác định thay đổi đột ngột của cường độ và quỹ đạo bão

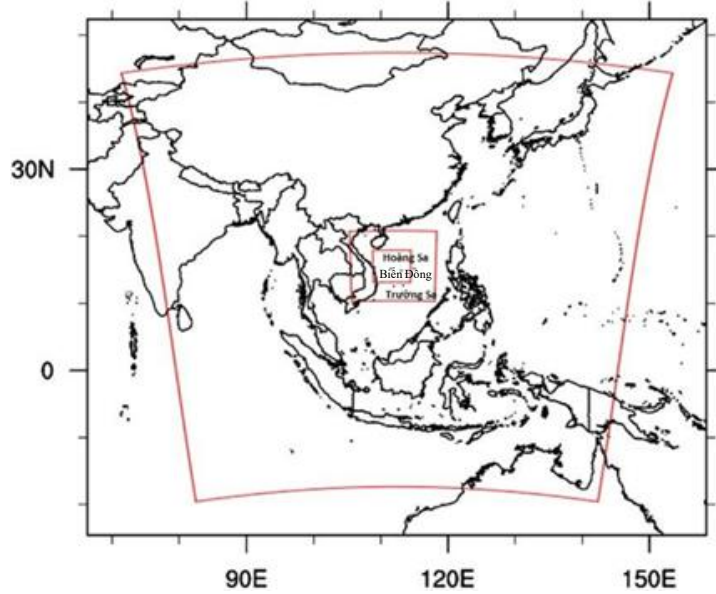
Để lựa chọn được các cơn bão có sự thay đổi đột ngột về quỹ đạo và cường độ cần phải xác định được các ngưỡng giá trị thay đổi về quỹ đạo và cường độ của cơn bão. Đối với cường độ, sự thay đổi của tốc độ gió cực đại V trong 24 giờ được sử dụng để làm thước đo có hay không sự thay đổi cường độ đột ngột của bão. Theo [27], nhóm tác giả đã sử dụng ngưỡng 25 kts (12,86 m/s) thay đổi ΔV trong 24 giờ để xác định sự thay đổi cường độ đột ngột của bão. Với sự thay đổi đột ngột của quỹ đạo bão, nghiên cứu sử dụng ngưỡng góc lệch để xác định, đã được tính toán ở nghiên cứu [28], kết quả thu được ngưỡng góc lệch 23,38 độ (khoảng thời gian 06 giờ) và 27,47 độ (khoảng thời gian 12 giờ).

2.2. Thiết kế cấu hình miền tính

Mô hình HWRF được thiết kế với 3 miền tính: Miền tính mẹ có độ phân giải 18km, là miền tính cố định, có số điểm lưới là 288×576. Miền 2 và miền 3 di chuyển theo tâm bão, độ phân giải là 6km và 2km, số điểm lưới lần lượt là 157×280, 208×382. Số mực theo chiều thẳng đứng là 75 mực, mực trên là 10mb. Các tùy chọn tham số vật lý sử dụng để chạy mô hình HWRF là bộ tham số đã được đánh giá và đang được dùng để chạy dự báo nghiệm vụ HWRF tại NCEP. Cụ thể các tham số thể hiện ở bảng 1.

Bảng 1. Các tùy chọn vật lý được sử dụng trong mô hình HWRF.

| Tùy chọn vật lý | Số tham chiếu | Tên tùy chọn |
|--------------------|---------------|----------------------------|
| mp_physics | 5 | Ferrier-Aligo |
| ra_lw_physics | 4 | RRTMG |
| ra_lw_physics | 4 | RRTMG |
| sf_sfcla_physics | 88 | HWRF surface layer scheme |
| sf_surface_physics | 2 | Noah Land Surface |
| bl_pbl_physics | 3 | GFS Hybrid-EDMF pbl scheme |
| cu_physics | 4 | SASAS scheme |



Hình 1. Miền tính của mô hình HWRP.

2.3. Phương pháp đồng hoá số liệu

Mô hình HWRP và thuật toán đồng hoá biến phân ba chiều (3D-Var). Đồng hoá biến phân ba chiều (3D-Var) sẽ đi tìm trạng thái khí quyển x phù hợp nhất với quan trắc y hay chính là việc tìm trạng thái khí quyển x có xác suất cực đại khi biết quan trắc. Theo công thức Bayes, xác suất có điều kiện của x khi biết trước y được tính như sau:

$$P(y) = \frac{P(x)P(y|x)}{P(y)} \quad (1)$$

Vì $P(y)$ không phụ thuộc vào x nên:

$$P(y) \sim P(x)P(x) \quad (2)$$

trong đó, x được giả định có phân bố Gauss,

$$P(x) = \frac{1}{(2\pi)^{n/2} B^{1/2}} \exp \left\{ -\frac{1}{2} [(x - x_b)^T B^{-1} (x - x_b)] \right\} \quad (3)$$

với B là ma trận tương quan sai số nền (gọi tắt là ma trận sai số nền), x_b là giá trị trường nền. Tương tự ta có

$$P(y|x) = \frac{1}{(2\pi)^{n/2} R^{1/2}} \exp \left\{ -\frac{1}{2} [(H(x) - y)^T R^{-1} (H(x) - y)] \right\} \quad (4)$$

với R là ma trận tương quan sai số quan trắc (gọi tắt là ma trận sai số quan trắc), y là giá trị trường thám sát. Thay thế $P(x)$ và $P(y|x)$ trở lại vào (2.1.2) ta được:

$$P(y) \sim \frac{1}{(2\pi)^{n/2} B^{1/2}} \frac{1}{(2\pi)^{p/2} R^{1/2}} \exp \left\{ -\frac{1}{2} [(x - x_b)^T B^{-1} (x - x_b)] - \frac{1}{2} [(H(x) - y)^T R^{-1} (H(x) - y)] \right\} \quad (5)$$

Hay $P(x|y) \propto \frac{1}{(2\pi)^{n/2} B^{1/2}} \frac{1}{(2\pi)^{p/2} R^{1/2}} \exp \{-J(x)\}$ với

$$J(x) = \frac{1}{2} [(x - x_b)^T B^{-1} (x - x_b)] + \frac{1}{2} [(H(x) - y)^T R^{-1} (H(x) - y)] \quad (6)$$

và gradient đối với x là:

$$\nabla J(x) = 2B^{-1}(x - x_b) - 2H(x)^T R^{-1}(y - H(x)) \quad (7)$$

Xác suất $P(x|y)$ cực đại khi $J(x)$ cực tiểu. Trường phân tích mà ở đó hàm J đạt giá trị cực tiểu sẽ được xem là trường phân tích tối ưu nhất. Về mặt tính toán thực tế, việc cực tiểu hóa hàm J gặp hết sức khó khăn do B có kích thước rất lớn nên người ta thường cực tiểu hóa hàm J bằng phương pháp lặp.

2.4. Phương pháp đánh giá sai số

Trong nghiên cứu này thực hiện đánh giá sai số quỹ đạo bão bằng sai số vị trí (PE). PE đặc trưng cho mức độ sai lệch về mặt không gian giữa vị trí tâm bão dự báo và vị trí tâm bão quan trắc, là khoảng cách giữa tâm bão thực tế và tâm bão dự báo:

$$d_{AB} = R_e \cos^{-1} \left[\sin \varphi_1 \sin \varphi_2 + \cos \varphi_1 \cos \varphi_2 \cos (\lambda_2 - \lambda_1) \right] \quad (8)$$

Trong đó R_e là bán kính trái đất $R_e = 6378,16$ km.

Sai số cường độ được đánh giá thông qua giá trị chênh lệch giữa vận tốc gió cực đại (V_{max}) quan trắc so với kết quả từ mô hình:

$$V_{maxerr} = | V_{maxmodel} - V_{maxobs} | \quad (9)$$

2.5. Số liệu

Số liệu GFS với độ phân giải ngang $0,25 \times 0,25$ độ kinh vĩ, độ phân giải thời gian 06h được sử dụng làm trường ban đầu và điều kiện biên cho mô hình HWRF [29].

Số liệu quan trắc bão được lấy từ Trung tâm cảnh báo bão Hoa Kỳ (*Joint Typhoon Warning Center*).

Số liệu sử dụng để đồng hoá bao gồm: SOUND, SONDE_SFC, SYNOP, GEOAMV, METAR, AIREP, SHIPS, BUOY, PILOT từ Hệ thống viễn thông Khí tượng toàn cầu (*GTS - Global Telecommunications Systems*). Các số liệu này phần nào đã được đồng hoá thông qua mô hình toàn cầu vào số liệu GFS. Tuy nhiên, việc đồng hoá các số liệu này vào mô hình HWRF với độ phân giải cao hơn sẽ mang lại hiệu quả đối với các điểm số liệu bị lọt lưới hoặc bị loại bỏ bởi quá trình đồng hoá của mô hình toàn cầu.

Bảng 2. Các dữ liệu sử dụng để đồng hoá.

| Nguồn dữ liệu | Mô tả |
|---------------|---|
| SYNOP | Dữ liệu quan trắc từ các trạm bề mặt |
| SOUND | Dữ liệu quan trắc từ trạm cao không |
| GEOAMV | Dữ liệu gió vệ tinh |
| METAR/AIREP | Dữ liệu quan trắc sân bay/ tàu bay |
| SHIPS | Quan trắc bề mặt biển tại các tàu trên biển |
| BUOY | Quan trắc tại phao |
| PILOT | Dữ liệu gió khinh khí cầu |
| QSCAT | Dữ liệu gió trên bề mặt biển |

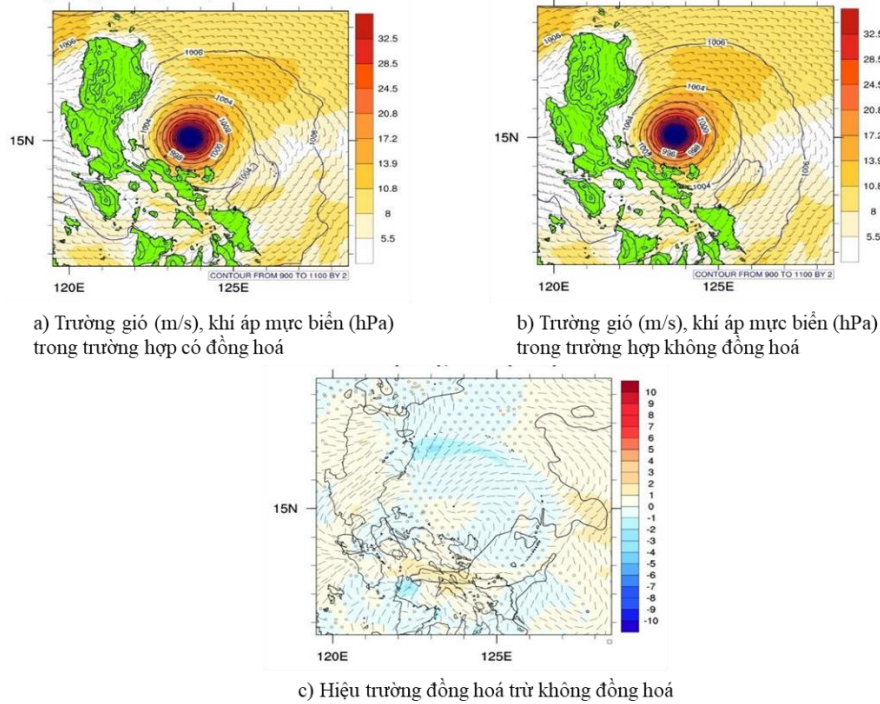
3. Kết quả và thảo luận

3.1. Đánh giá kết quả đồng hoá số liệu trong mô hình HWRF với cơn bão Noru năm 2022

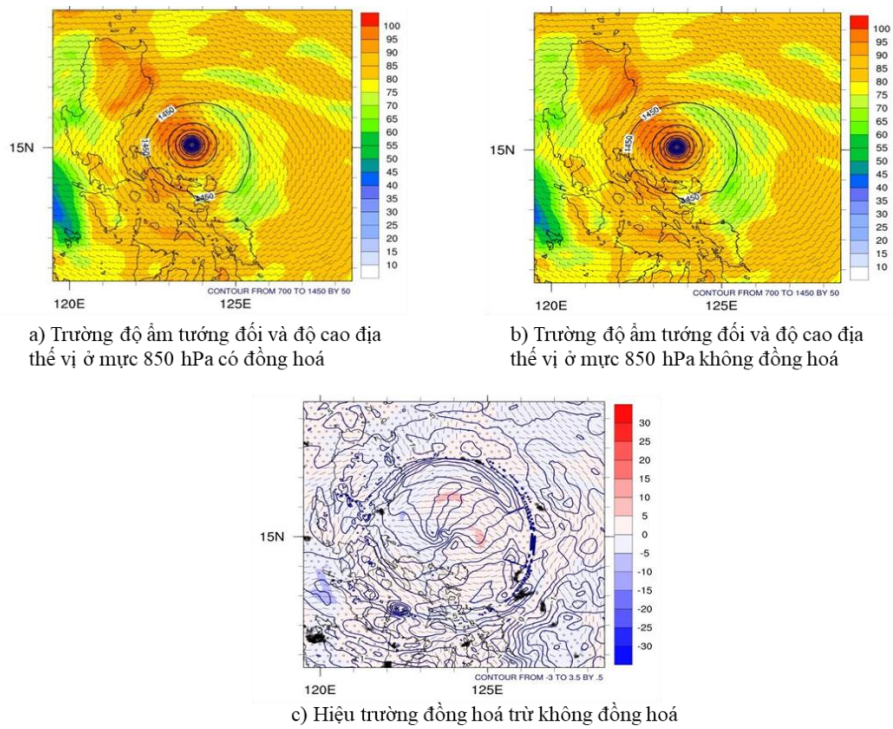
Nghiên cứu tiến hành chạy thử nghiệm đồng hoá số liệu với mô hình HWRF với trường hợp cơn bão Noru năm 2022, là cơn bão mạnh có sự thay đổi cường độ đột ngột hai lần trong quá trình hoạt động. Lần thứ nhất là khi bão ở ngoài khơi Philippines, sau khi đi qua Philippines bão giảm cường độ, và sau khi vào Biển Đông bão tiếp tục có sự tăng cường độ đột ngột.

Kết quả thử nghiệm đồng hoá số liệu với mô hình HWRF sẽ làm thay đổi trường ban đầu so với không đồng hoá số liệu. Phân tích sự thay đổi này sẽ thấy được sự tác động của đồng hoá số liệu làm thay đổi các trường hoàn lưu của bão. Hình 2 thể hiện sự khác biệt của trường gió (wind bar, màu) và khí áp mực biển (đường contour) trong điều kiện ban đầu của mô hình ở trường hợp có đồng hoá (Hình 2a) và không có đồng hoá số liệu (Hình 2b). Trên hình có thể thấy ở trường hợp đồng hoá số liệu trường gió xung quanh cơn bão được tăng

cường tốc độ hơn khoảng 1-2 m/s so với trường hợp không đồng hoá số liệu. Đồng hoá số liệu cũng làm giảm tốc độ gió mực 10 m ở phía bắc cơn bão với vết màu xanh thể hiện trên hình 2c. Với trường khí áp, các đường đẳng áp không có nhiều sự khác biệt giữa hai trường hợp đồng hoá và không đồng hoá.



Hình 2. So sánh trường ban đầu tại bề mặt của trường hợp có đồng hoá và không đồng hoá số liệu với cơn bão Noru tại 00z ngày 25/09/2022.

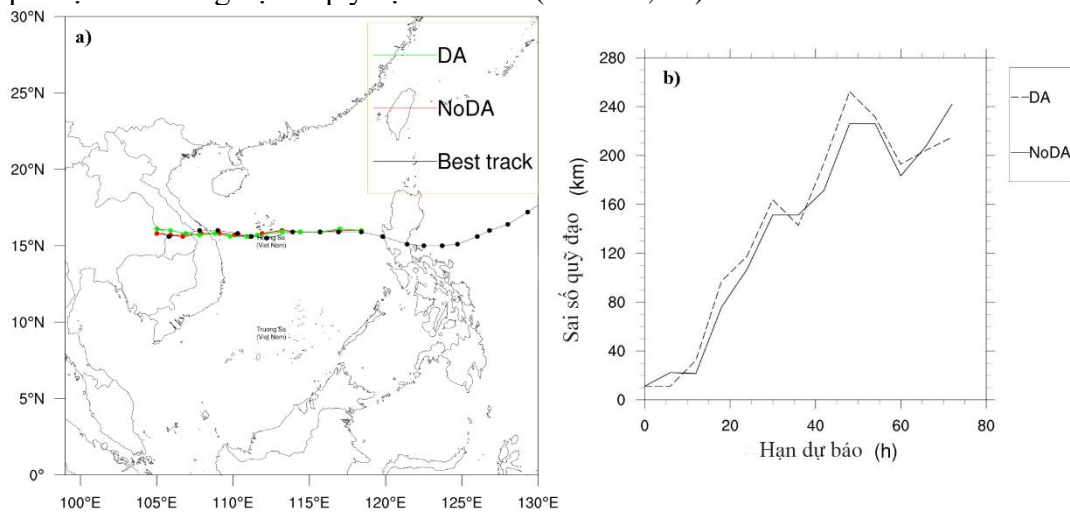


Hình 3. So sánh trường ban đầu tại mực 850mb của trường hợp có đồng hoá và không đồng hoá số liệu với cơn bão Noru tại 00z ngày 25/09/2022.

Để thấy rõ hơn sự khác biệt ở trường ban đầu tại mực trên cao, Hình 3 thể hiện trường độ ẩm tương đối và độ cao địa thế vị tại mực 850mb trong trường hợp đồng hoá số liệu (Hình

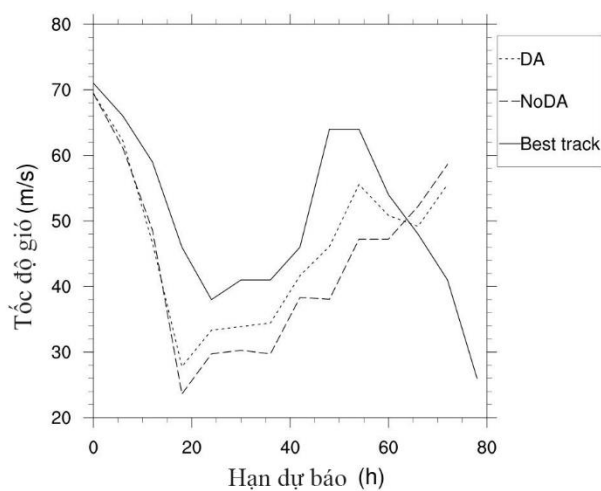
3d) và không đồng hóa số liệu (Hình 3e). Sự thay đổi của trường âm ở trường hợp đồng hoá số liệu cho thấy khu vực gần tâm bão có sự tăng cường độ âm hơn với các vệt màu hồng (Hình 3f), ở xa tâm bão hơn là một số vệt xanh nhạt thể hiện đồng hoá số liệu làm giảm độ âm ở khu vực này. Độ cao địa thế vị giữa hai trường hợp đồng hoá và không đồng hoá có sự thay đổi, thể hiện với các đường contour trên hình 3c, các giá trị thay đổi này dao động khoảng -3 đến 3,5 mét địa thế vị.

Hình 4a thể hiện kết quả dự báo quỹ đạo của cơn bão Noru, trường hợp đồng hoá (đường màu xanh), không đồng hoá (màu đỏ), và quan trắc (màu đen). Có thể thấy kết quả sai số quỹ đạo ở các trường hợp đồng hoá và không đồng hoá là tương đối giống nhau, được lý giải do sự thay đổi trong trường ban đầu không lớn, đã phân tích ở trên. Như vậy có thể khẳng định thêm, những thay đổi trong trường ban đầu của mô hình HWRF đã tác động đến sự thay đổi kết quả dự báo cường độ và quỹ đạo của bão (Hình 4a, 4b).



Hình 4. (a) Kết quả dự báo quỹ đạo thử nghiệm đồng hoá HWRF với cơn bão Noru; (b) Sai số quỹ đạo bão giữa trường hợp đồng hoá và không đồng hoá.

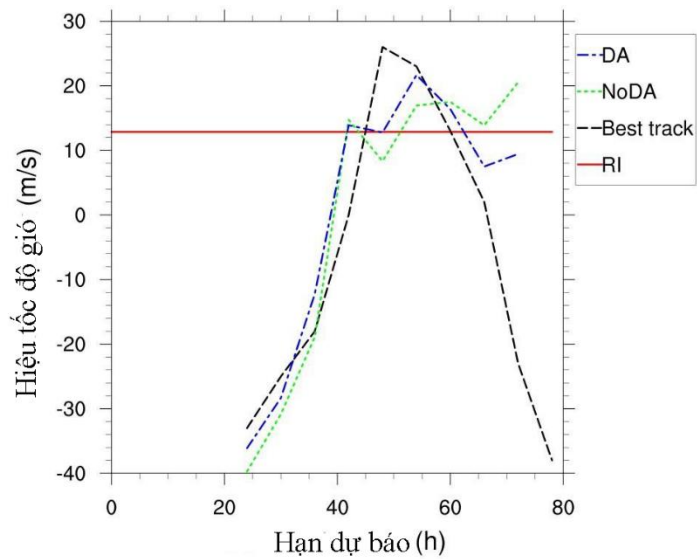
Sự khác biệt về dự báo cường độ bão giữa hai trường hợp đồng hoá và không đồng hoá thể hiện ở hình 5. Hình 5 thể hiện kết quả so sánh dự báo tốc độ gió cực đại trong trường hợp thử nghiệm đồng hoá HWRF với cơn bão NORU tại thời điểm 00z ngày 25/09/2022 so với đường quan trắc (đường nét liền). Có thể thấy cường độ bão thể hiện qua vận tốc gió cực đại trong trường hợp đồng hoá số liệu gần với giá trị quan trắc hơn so với trường hợp không đồng hoá số liệu. Ngoài ra xu hướng tăng và giảm cường độ của bão cũng được thể hiện rõ ràng hơn. Điều này cho thấy khả năng dự báo tốt hơn sự tăng cường độ đột ngột của bão.



Hình 5. Kết quả so sánh dự báo tốc độ gió cực đại trong trường hợp thử nghiệm đồng hoá HWRF với cơn bão NORU tại thời điểm 00z ngày 25/09/2022.

Đánh giá chi tiết khả năng dự báo sự tăng cường độ đột ngột của bão trong vòng 24 giờ theo tiêu chí ở mục 2.1, hình 6 thể hiện kết quả so sánh tốc độ gió cực đại của bão thay đổi trong 24h với đường màu đen (quan trắc),

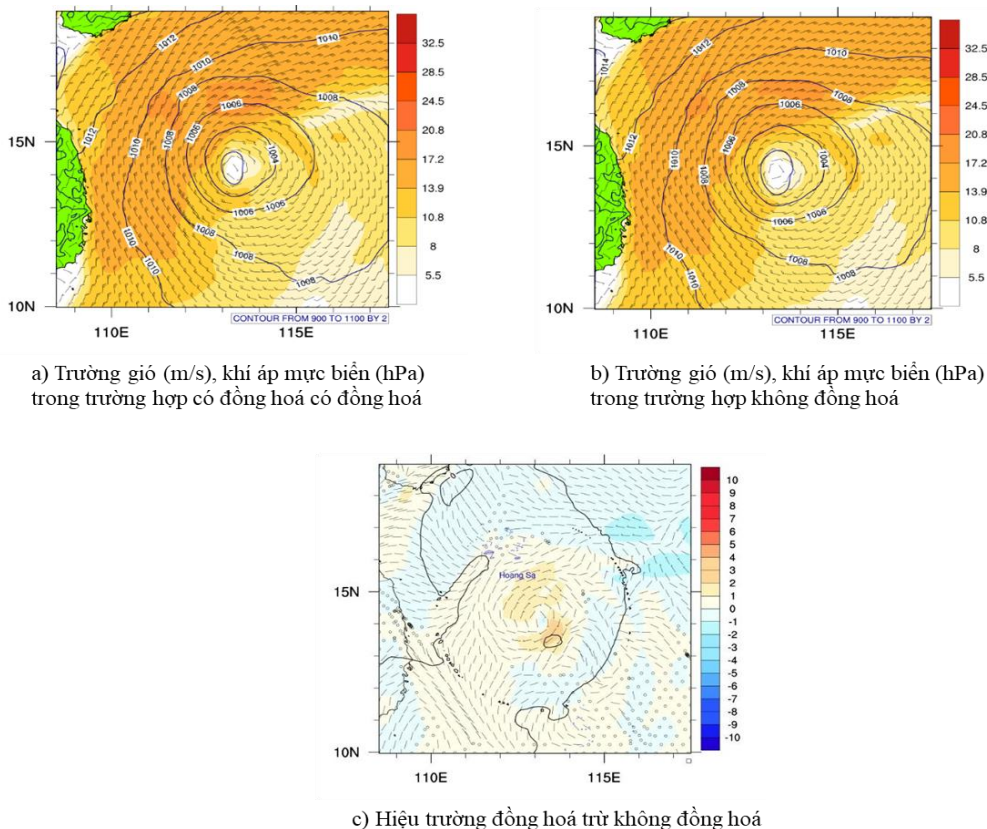
đường màu xanh lam (có đồng hoá số liệu) và đường màu xanh lá (không có đồng hoá số liệu). Đường màu đỏ thể hiện ngưỡng thay đổi cường độ đột ngột trong vòng 24 giờ là khoảng 12,8 m/s (RI). Như vậy theo kết quả hình 6, cả hai trường hợp đồng hoá và không có đồng hoá đều cho rằng cơn bão sẽ xảy ra tăng cường độ đột ngột trước 6 giờ so với thực tế quan trắc được. Sau thời điểm đó đến hạn dự báo 42 giờ, trong khi trường hợp đồng hoá số liệu cho rằng cơn bão tiếp tục có sự tăng cường độ vượt ngưỡng RI đúng với quan trắc thì trường hợp không đồng hoá đã dự báo sai RI ở thời điểm này. Tiếp đến hạn dự báo 66 giờ, trường hợp đồng hoá số liệu một lần nữa dự báo tốt sự tăng cường độ không vượt ngưỡng RI. Ngược lại, trường hợp không đồng hoá số liệu tiếp tục dự báo sai so với quan trắc khi dự báo bão tăng cường độ vượt ngưỡng RI ở thời điểm hạn dự báo 66 giờ và 72 giờ.



Hình 6. Kết quả đánh giá dự báo sự thay đổi cường độ đột ngột (RI) của cơn bão NORU tại thời điểm 00z ngày 25/09/2022.

3.2. Đánh giá kết quả đồng hoá số liệu trong mô hình HWRP với cơn bão GONI năm 2020:

Một trường hợp thử nghiệm đồng hoá số liệu khác với cơn bão GONI năm 2020 để đánh giá khả năng dự báo đối với một trường hợp bão có sự thay đổi quỹ đạo đột ngột. Cơn bão GONI năm 2020 cũng là một cơn bão mạnh khi ở Biển Đông, tuy nhiên, khi tiến đến gần bờ

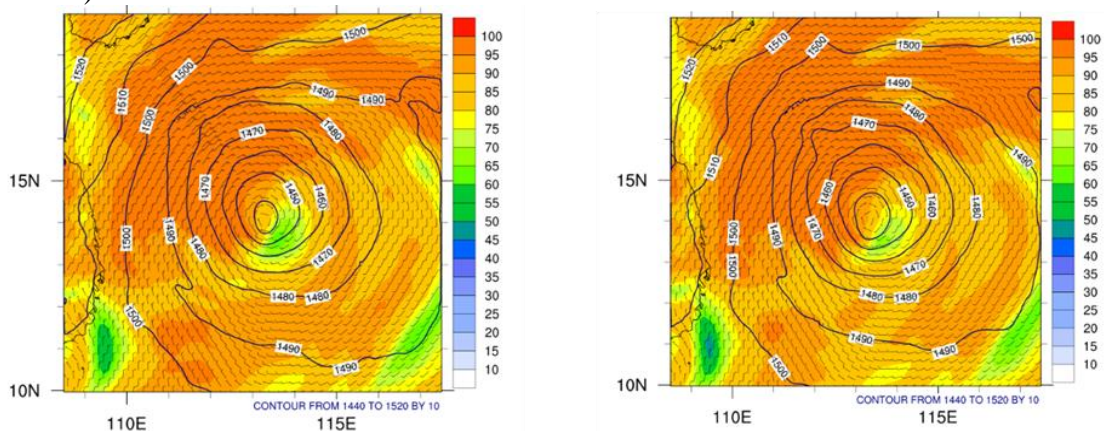


Hình 7. So sánh trường ban đầu tại bề mặt của trường hợp có đồng hoá và không đồng hoá số liệu với cơn bão GONI tại 06z ngày 04/11/2020.

biển khu vực Nam Trung Bộ của Việt Nam, cơn bão đã có sự giảm cường độ và thay đổi quỹ đạo đột ngột vào khoảng 00z ngày 05/11/2020.

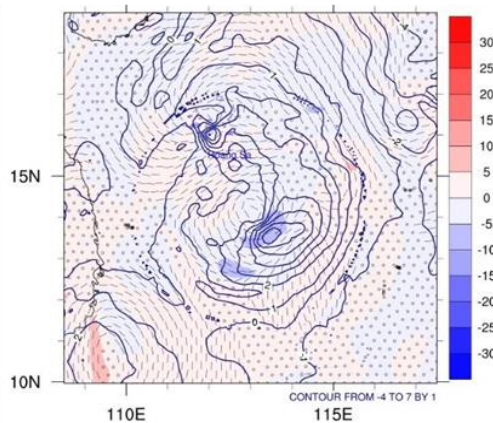
Tương tự như hình 2, hình 7 thể hiện sự thay đổi của trường gió mực 10 m và áp suất mực biển của cơn bão GONI trong trường hợp đồng hóa số liệu (Hình 7a) và không đồng hóa số liệu (Hình 7b) cho thấy khu vực xung quanh bão có sự giảm của tốc độ gió mực 10 m và sự chênh lệch khí áp cực tiểu ở khu vực xung quanh hoàn lưu của cơn bão. Hiệu của trường đồng hoá số liệu trừ đi trường không có đồng hoá cho thấy ở khu vực gần tâm bão có sự tăng cường của gió khoảng 1-2 m/s (Hình 7c).

Hình 8 tương tự hình 3 thể hiện so sánh trường độ ẩm tương đối và độ cao địa thế vị ở mực 850mb trong trường hợp đồng hóa (Hình 8a) và không đồng hóa (Hình 8b) cho thấy sự thay đổi rõ rệt ở trường độ cao địa thế vị khu vực phía Bắc và phía Nam tâm bão cùng với sự giảm ẩm ở khu vực này. Sự thay đổi rõ ràng hơn ở trường ban đầu trong trường hợp này dẫn đến sự thay đổi trong dự báo về quỹ đạo bão ở hai trường hợp đồng hoá và không đồng hoá (Hình 8).



a) Trường độ ẩm tương đối và độ cao địa thế vị ở mực 850 hPa có đồng hoá

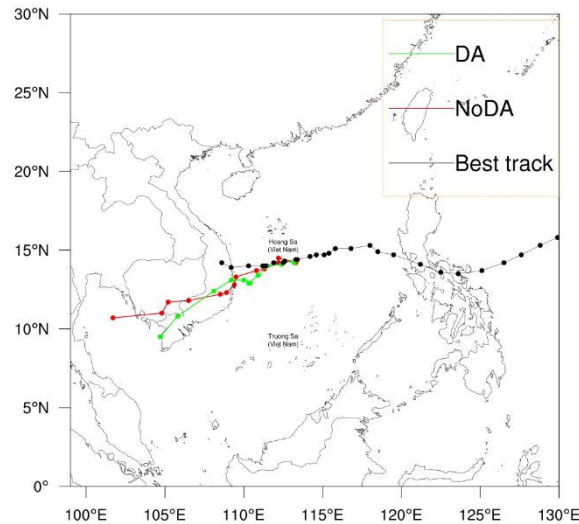
b) Trường độ ẩm tương đối và độ cao địa thế vị ở mực 850 hPa không đồng hoá



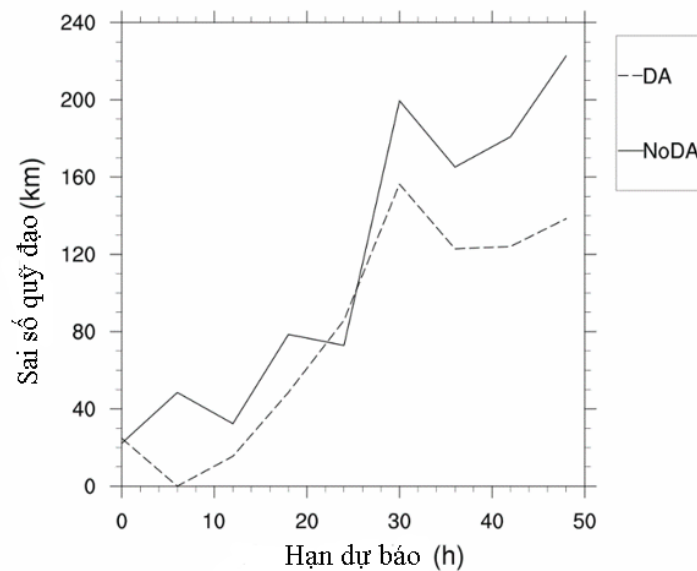
c) Hiệu trường đồng hoá trừ không đồng hoá

Hình 8. So sánh trường ban đầu tại mực 850mb của trường hợp có đồng hoá và không đồng hoá số liệu với cơn bão GONI tại 06z ngày 04/11/2020.

Kết quả dự báo quỹ đạo hình 9 cho thấy sự chênh lệch tương đối rõ giữa hai trường hợp đồng hoá và không đồng hoá đối với cơn bão Noru năm 2020. Đặc biệt ở các hạn dự báo xa hơn thì sự chênh lệch giữa hai trường hợp càng lớn. Kết quả đánh giá sai số quỹ đạo hình 10 cũng cho thấy, sai số ở các hạn dự báo xa của cả hai trường hợp đều lớn. Tuy nhiên, trường hợp có đồng hoá số liệu vẫn thể hiện sai số tốt hơn so với trường hợp không đồng hoá số liệu.



Hình 9. Kết quả dự báo quỹ đạo thử nghiệm đồng hoá HWRP với cơn bão GONI năm 2020.



Hình 10. Kết quả sai số dự báo quỹ đạo thử nghiệm đồng hoá HWRP với cơn bão GONI năm 2020.

4. Kết luận

Trong bài báo này, nhóm tác giả đã ứng dụng được công nghệ đồng hoá số liệu cho mô hình HWRP dự báo sự thay đổi đột ngột cường độ và quỹ đạo của bão trên Biển Đông. Kết quả dự báo được áp dụng thử nghiệm với hai cơn bão, Noru năm 2022 (thay đổi đột ngột về cường độ) và Goni năm 2020 (thay đổi đột ngột về quỹ đạo).

Kết quả dự báo đối với bão Noru (2022) cho thấy, trường hợp có đồng hoá số liệu cho kết quả dự báo sự thay đổi đột ngột của cường độ bão tốt hơn so với trường hợp không đồng hoá số liệu. Cụ thể là, ở hạn dự báo 42 giờ, trong khi trường hợp đồng hoá số liệu cho rằng cơn bão tiếp tục có sự tăng cường độ vượt ngưỡng RI đúng với quan trắc thì trường hợp không đồng hoá đã dự báo sai RI ở thời điểm này. Đến hạn dự báo 66 giờ, trường hợp đồng hoá số liệu một lần nữa dự báo tốt sự tăng cường độ không vượt ngưỡng RI, trong khi trường hợp không đồng hoá tiếp tục dự báo không phù hợp so với quan trắc ở các hạn dự báo 66 giờ và 72 giờ.

Đối với trường hợp cơn bão Goni (2020), kết quả đồng hoá số liệu cũng thể hiện được sai số của sự thay đổi đột ngột của quỹ đạo bão tốt hơn so với trường hợp không đồng hoá số liệu. Tuy nhiên, trường hợp này cho sai số quỹ đạo của mô hình HWRP ở các hạn dự báo xa

là chưa tốt. Thời điểm kết quả dự báo của mô hình HWRF không tốt cũng trùng với thời điểm cơn bão có sự suy yếu cường độ, được cho là điểm gây khó khăn cho việc dự báo của mô hình HWRF.

Kết quả thử nghiệm đồng hóa dữ liệu cho mô hình HWRF dự báo sự thay đổi đột ngột của cường độ và quỹ đạo bão trên Biển Đông bước đầu cho thấy có sự cải thiện về kết quả dự báo. Tuy nhiên để có thể khẳng định việc đồng hóa số liệu cho kết quả dự báo tốt hơn trường hợp không đồng hóa cần phải thử nghiệm thêm nhiều trường hợp nữa. Trong tương lai, nhóm tác giả sẽ tiếp tục nghiên cứu sâu hơn về đồng hóa số liệu trong hệ thống mô hình HWRF với các phương pháp đồng hóa khác như đồng hóa tổ hợp hay đồng hóa lai.

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

Lời cảm ơn: Bài báo này là một phần kết quả thực hiện trong nội dung của đề tài cấp Nhà nước, mã số ĐTĐL.CN-119/21.

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. Richardson, L.F. Weather prediction by numerical process. *Q. J. R. Meteorolog. Soc.* **1922**, 48(203), 282–284. <https://doi.org/10.1002/qj.49704820311>.
2. Charney, J.G.; Fjörtoft, R.; Neumann, J. Numerical integration of the barotropic vorticity equation. *Tellus* **1950**, 2(4), 237–254. <https://doi.org/10.1111/j.2153-3490.1950.tb00336.x>.
3. Cressman, G.P. An operational objective analysis system. *Mon. Weather Rev.* **1959**, 87(10), 367–374. [https://doi.org/10.1175/1520-0493\(1959\)087](https://doi.org/10.1175/1520-0493(1959)087).
4. Barnes, S.L. A technique for maximizing details in numerical weather map analysis. *J. Appl. Meteorol.* **1964**, 3(4), 396–409. [https://doi.org/10.1175/1520-0450\(1964\)003](https://doi.org/10.1175/1520-0450(1964)003).
5. Aksoy, A.; Lorsolo, S.; Vukicevic, T.; Sellwood, K.J.; Aberson, S.D.; Zhang, F. The HWRF hurricane ensemble data assimilation system (HEDAS) for high-resolution data: The impact of airborne doppler radar observations in an OSSE. *Mon. Weather Rev.* **2012**, 140(6), 1843–1862. <https://doi.org/10.1175/MWR-D-11-00212.1>.
6. Lu, X.; Wang, X.; Tong, M.; Tallapragada, V. GSI-based, continuously cycled, dual-resolution hybrid ensemble-variational data assimilation system for HWRF: System description and experiments with Edouard (2014). *Mon. Weather Rev.* **2017**, 145(12), 4877–4898. <https://doi.org/10.1175/MWR-D-17-0068.1>.
7. Tong, M.; Sippel, J.A.; Tallapragada, V.; Liu, E.; Kieu, C.; Kwon, I.H.; Wang, W.; Liu, Q.; Ling, Y.; Zhang, B. Impact of assimilating aircraft reconnaissance observations on tropical cyclone initialization and prediction using operational HWRF and GSI ensemble-variational hybrid data assimilation. *Mon. Weather Rev.* **2018**, 146(12), 4155–4177. <https://doi.org/10.1175/MWR-D-17-0380.1>.
8. Zou, X.; Weng, F.; Zhang, B.; Lin, L.; Qin, Z.; Tallapragada, V. Impacts of assimilation of ATMS data in HWRF on track and intensity forecasts of 2012 four landfall hurricanes. *J. Geophys. Res. Atmos.* **2013**, 118(20), 11.558–11.576. <https://doi.org/10.1002/2013JD020405>.
9. Zou, X.; Weng, F.; Tallapragada, V.; Lin, L.; Zhang, B.; Wu, C.; Qin, Z. Satellite data assimilation of upper-level sounding channels in HWRF with two different model tops. *J. Meteorol. Res.* **2015**, 29(1), 1–29. <https://doi.org/10.1007/s13351-015-4108-9>.
10. Zou, X.; Qin, Z.; Zheng, Y. Improved tropical storm forecasts with GOES-13/15 imager radiance assimilation and asymmetric vortex initialization in HWRF. *Mon.*

- Weather Rev.* **2015**, 143(7), 2485–2505. <https://doi.org/10.1175/MWR-D-14-00223.1>.
11. Atlas, R.; Hoffman, R.N.; Ma, Z.; Emmitt, G.D.; Wood, S.A.; Greco, S.; Tucker, S.; Bucci, L.; Annane, B.; Hardesty, R.M.; Murillo, S. Observing system simulation experiments (OSSEs) to evaluate the potential impact of an optical autocovariance wind lidar (OAWL) on numerical weather prediction. *J. Atmos. Oceanic Technol.* **2015**, 32(9), 1593–1613. <https://doi.org/10.1175/jtech-d-15-0038.1>.
 12. Zhang, S.; Pu, Z.; Velden, C. Impact of enhanced atmospheric motion vectors on HWRf hurricane analyses and forecasts with different data assimilation configurations. *Mon. Weather Rev.* **2018**, 146(5), 1549–1569. <https://doi.org/10.1175/MWR-D-17-0136.1>.
 13. Lewis, W.E.; Velden, C.S.; Stettner, D. Strategies for assimilating high-density atmospheric motion vectors into a regional tropical cyclone forecast model (HWRf). *Atmosphere* **2020**, 11(6), 673. <https://doi.org/10.3390/atmos11060673>.
 14. Lu, X.; Davis, B.; Wang, X. Improving the assimilation of enhanced atmospheric motion vectors for hurricane intensity predictions with HWRf. *Remote Sens.* **2022**, 14(9), 2040. <https://doi.org/10.3390/rs14092040>.
 15. Lim, A.H.N.; Nebuda, S.E.; Jung, J.A.; Daniels, J.M.; Bailey, A.; Bresky, W.; Bi, L.; Mehra, A. Optimizing the assimilation of the GOES-16/-17 atmospheric motion vectors in the hurricane weather forecasting (HWRf) model. *Remote Sens.* **2022**, 14(13), 3068. <https://doi.org/10.3390/rs14133068>.
 16. Đức, L.; Thủy, Đ.L.; Trung, L.H. Xây dựng trường ẩm cho mô hình HRM từ số liệu vệ tinh địa tĩnh dựa trên phương pháp biến phân ba chiều (3DVAR). *Tap chí Khí tượng Thủy văn* **2007**, 558, 22–32.
 17. Cường, H.Đ. Nghiên cứu ứng dụng sơ đồ đồng hóa số liệu 3DVAR cho mô hình WRF để dự báo thời tiết ở Việt Nam. *Tap chí Khí tượng Thủy văn* **2011**, 610, 37–42.
 18. Tiến, T.T.; Thanh, N.T. Đồng hóa dữ liệu vệ tinh Modis trong mô hình WRF để dự báo mưa lớn ở khu vực Trung Bộ. *Tap chí Khoa học ĐHQGHN, Khoa học Tự nhiên và Công nghệ* **2011**, 27, 90–95.
 19. Tiến, D.Đ.; Tăng, B.M.; Hòa, V.V.; Vui, P.T.; Đức, T.A.; Tùng, N.T. Nghiên cứu đồng hóa số liệu Radar đồng hà để nâng cao chất lượng dự báo mưa lớn cho khu vực Miền Trung. *Tap chí Khí tượng Thủy văn* **2013**, 632, 12–19.
 20. Du Duc, T.; Ngo-Duc, T.; Kieu, C. Initializing the WRF model with tropical cyclone real-time reports using the ensemble Kalman filter algorithm. *Pure Appl. Geophys.* **2017**, 174(7), 2803–2825. <https://doi.org/10.1007/S00024-017-1568-0/METRICS>.
 21. Tien, T.T.; Hoa, D.N.Q. Experiments on using WRF model data assimilation of coupled 3DVAR – LETKF in predicting the geneses of tropical cyclones in the Vietnamese East Sea. *VN J. Sci.: Earth Environ. Sci.* **2018**, 34(1S), 77–89. <https://doi.org/10.25073/2588-1094/VNUEES.4338>.
 22. Thuc, T.D.; Thanh, C. Radar data assimination in WRF model to forecast heavy rainfall at Ho Chi Minh City. *VN J. Sci.: Earth Environ. Sci.* **2018**, 34(1S), 59–70. <https://doi.org/10.25073/2588-1094/VNUEES.4336>.
 23. Phuong, L.L.; Nam, P.Q.; Duc, T.Q.; Tan, P.V. An experiment for assimilating different type of data observations in forecasting heavy rainfall over Central Highlands region due to the impact of hurricane Damrey. *VN J. Sci.: Earth Environ. Sci.* **2019**, 35(4), 121–129. <https://doi.org/10.25073/2588-1094/VNUEES.4478>.
 24. Nam, N.Đ.; Mạnh, N.T.; Anh, N.X.; Khương, P.L.; Linh, N.T.; Hiệp, N.V. Ứng dụng đồng hóa dữ liệu dự báo các trường khí tượng độ phân giải cao cho khu vực Than Uyên (Lai Châu). *Tap chí Khí tượng Thủy văn* **2021**, 724, 59–71. [https://doi.org/10.36335/vnjhm.2021\(724\).59-71](https://doi.org/10.36335/vnjhm.2021(724).59-71).

25. Hoan, N.T.; Thăng, 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. *Tap chí Khí tượng Thủy văn* **2014**, 644, 9–12.
26. Hoan, N.T.; Cường, H.Đ.; Kiên, T.B.; Hiệp, N.V.; Chánh, K.Q.; Tallapragada, V.; Như, Đ.H.; Tuyết, L.T.; Khiêm, M.V. Vai trò của ban đầu hóa xoáy trong mô hình HWRf đối với mô phỏng cấu trúc bão Ketsana (2009). *Tap chí Khí tượng Thủy văn* **2015**, 649, 11–16.
27. Nga Pham, T.T.; Thang, V.V.; Ha, P.T.; Nam, Q.P.; Hiep, V.N. Predictability of tropical cyclone rapid intensification based on statistical approach. *Disaster Adv.* **2023**, 16(12), 1–11. <https://doi.org/10.25303/1612da01011>.
28. Thúc, T.D.; Thăng, V.V. Nghiên cứu chỉ tiêu xác định sự thay đổi đột ngột quỹ đạo bão trên khu vực Biển Đông. *Tap chí Khoa học Biến đổi khí hậu* **2024**, 29, 31–38. <https://doi.org/10.55659/2525-2496/29.94654>.
29. National Centers for Environmental Prediction/National Weather Service/NOAA/U.S. Department of Commerce, 2015. NCEP GFS 0.25 Degree Global Forecast Grids Historical Archive, Research Data Archive at the National Center for Atmospheric Research, Computational and Information Systems Laboratory, Boulder, CO, <https://doi.org/10.5065/D65D8PWK> (Accessed on 20 March 2020).

Experimental research on data assimilation in forecasting sudden changes in storm intensity and trajectory in the East Sea using the HWRf model

Nguyen Duc Nam¹, Vu Van Thang^{1*}, Tran Duy Thuc¹

¹ Vietnam institute of meteorology, Hydrology and Climate change;
ducnam.mi@gmail.com; vvthang26@gmail.com; tranduythuc1@gmail.com

Abstract: This article presents the results of data assimilation testing in forecasting sudden changes in storm intensity and trajectory in the East Sea region using the HWRf model. The HWRf model is experimentally designed with boundary and initial condition data which are GFS data with a resolution of 0.25×0.25 degrees longitude and assimilation data taken from the GTS global meteorological telecommunications system (Global Telecommunications Systems). Test results of data assimilation predicting the sudden change in intensity of storm Noru (2022) and the sudden change in trajectory of storm Goni (2020) using the HWRf model show some improvements in forecast results. For storm Noru, the case of data assimilation resulted in accurate forecasts of sudden changes in storm intensity for the 42-hour forecast period and not predicting the false results of sudden changes in storm intensity at other longer forecast periods like the case without data assimilation. In the case of storm Goni, the trajectory evaluation results show that the forecast error of the case of data assimilation is better than the case of no data assimilation.

Keywords: HWRf model; Rapid intensification forecast; Data assimilation.

Bài báo khoa học

Phát triển thử nghiệm hệ thống tưới thông minh tích hợp cảm biến IoT và trí tuệ nhân tạo cho các khu vực xanh trong trường học

Trần Thành Long^{1,2*}, Nguyễn Thiện Phú^{1,2}, Lê Minh Huy^{1,2}, Lê Trọng Nhân^{3,2}

¹ Khoa Kỹ thuật Xây dựng, Trường Đại học Bách khoa Tp. HCM; tlong@hcmut.edu.vn; phu.nguyenk22090804@hcmut.edu.vn; huy.leminh1504@hcmut.edu.vn

² Đại học Quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh; tlong@hcmut.edu.vn; phu.nguyenk22090804@hcmut.edu.vn; huy.leminh1504@hcmut.edu.vn; trongnhanle@hcmut.edu.vn

³ Khoa Khoa học và Kỹ thuật Máy tính, Trường Đại học Bách khoa Tp. HCM; trongnhanle@hcmut.edu.vn

*Tác giả liên hệ: tlong@hcmut.edu.vn; Tel.: +84-862616861

Ban Biên tập nhận bài: 22/5/2024; Ngày phản biện xong: 3/7/2024; Ngày đăng bài: 25/12/2024

Tóm tắt: Không gian xanh trường học không chỉ làm đẹp cảnh quan và tạo giá trị giải trí, mà còn giảm căng thẳng, mệt mỏi và cải thiện chất lượng không khí cho cư dân, được xem như “giải pháp dựa trên thiên nhiên” cho các thách thức xã hội và môi trường. Ngoài ra, không gian xanh còn hấp thụ nước mưa dư thừa và giảm tác động tiêu cực của các trận mưa lớn. Trong quá trình duy trì mảng xanh trong khuôn viên trường học, hầu hết công nhân chăm sóc thường dựa vào kinh nghiệm của họ để quyết định lượng nước tưới tiêu, dẫn đến việc sử dụng nước không hiệu quả cho mảng xanh và dẫn đến việc mảng xanh thường xuyên phải thay mới do ngập úng hoặc khô hạn. Do đó, nhóm nghiên cứu trong bài báo này đã phát triển thử nghiệm mô hình hệ thống tưới tiêu tự động dựa trên cảm biến IoT và trí tuệ nhân tạo cho các khu vực xanh trong trường học. Kết quả cho thấy, đất cát pha để tăng độ ẩm đất thêm 1-2%, cần tưới khoảng 0,015 m (15 lít/m²) nước, trong khi tưới thường xuyên cho khu vực xanh trong đô thị với lượng nước trên 0,02 m (20 lít/m²) có thể ngập úng cho cây trồng và lãng phí nước. Hệ thống tưới tiêu tự động này có khả năng dự báo lượng nước tưới tốt và giảm thiểu lượng nước tưới đến 40% so với lượng nước quan trắc. Để cải thiện độ chính xác, cần phát triển các cảm biến độ ẩm tốt hơn và sử dụng nhiều cảm biến hơn để đánh giá toàn diện độ ẩm của khu vực xanh. Quy trình của nghiên cứu này có thể làm cơ sở cho các nghiên cứu ứng dụng tưới tiêu và sử dụng nước thông minh hiệu quả cho các khu vực xanh trong trường học và đô thị.

Từ khóa: Hydrus 1D; ANN; Tưới tiêu thông minh; Cảm biến quan trắc IoT.

1. Giới thiệu

Không gian xanh trong trường học không chỉ góp phần làm đẹp cảnh quan và tạo giá trị giải trí, mà còn đóng vai trò quan trọng trong việc giảm căng thẳng, mệt mỏi và cải thiện chất lượng không khí cho cư dân, được xem như 'giải pháp dựa trên thiên nhiên' để giải quyết các thách thức xã hội và môi trường [1, 2]. Bên cạnh đó, không gian xanh trong trường học có vai trò hấp thụ nước mưa dư thừa và giảm bớt tác động tiêu cực của các sự kiện mưa lớn [3, 4]. Tuy nhiên, việc duy trì không gian xanh trong trường học đang dần đối mặt khó khăn trong mùa khô, đặc biệt là ở các đô thị mới ở Việt Nam, do tình trạng mùa khô kéo dài từ năm 2006 đến năm 2018 [5, 6].

Trong quá trình duy trì mảng xanh trong khuôn viên trường học, hầu hết công nhân chăm sóc thường dựa vào kinh nghiệm của họ để quyết định lượng nước tưới tiêu, dẫn đến việc sử dụng nước không hiệu quả cho mảng xanh và dẫn đến việc mảng xanh thường xuyên phải thay mới do ngập úng hoặc khô hạn. Có thường được chọn để phủ xanh các khu vực rộng lớn trong không gian xanh đô thị, bao gồm cả trường học, vì lý do thẩm mỹ và thực tiễn, mặc dù nhu cầu nước cao [7]. Ngược lại, cây cối và bụi rậm trong không gian xanh cần ít nước hơn và bóng mát của cây giúp giảm sự thoát hơi nước. Điều này làm cho việc xác định lượng nước tưới cần thiết trở nên phức tạp hơn khi kết hợp nhiều loại thảm thực vật khác nhau [8]. Đồng thời, với phương pháp tưới phun truyền thống, lượng nước tiêu thụ để tưới thường cao hơn so với nhu cầu ước tính của không gian xanh [9, 10]. Do đó, việc xây dựng hệ thống tưới nước hiệu quả cho không gian xanh đô thị, đặc biệt là trong trường học, là điều cần thiết để tạo điều kiện tiên quyết cho sự phát triển bền vững ở các đô thị mới.

Nước tưới tiêu hợp lý có thể được xác định thông qua việc đo độ ẩm đất bằng cảm biến. Bằng cách sử dụng cảm biến nông nghiệp, người nông dân có thể theo dõi độ ẩm đất của cây trồng cho từng loại cây và đưa ra quyết định tốt hơn về việc tưới nước cho nông trại của họ [11]. Hơn nữa, quản lý tối ưu hóa của tài nguyên nước có sẵn tại mức nông trại là cần thiết do sự gia tăng về nhu cầu và tài nguyên hạn chế. Nguồn cung cấp nước hạn chế nên được sử dụng một cách hiệu quả để tưới tiêu nhiều khu vực hơn với lượng nước tương tự [12].

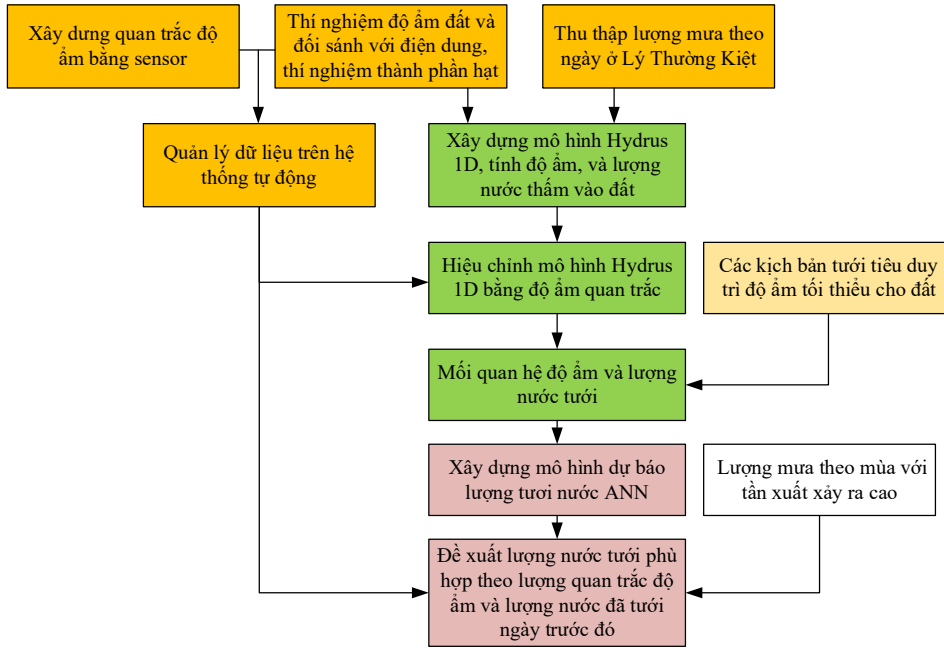
Goap và nhóm nghiên cứu [13] phát triển một hệ thống tưới thông minh dựa trên IoT và học máy. Hệ thống sử dụng dữ liệu cảm biến (độ ẩm đất, nhiệt độ đất, tia UV) và dự báo thời tiết (lượng mưa, nhiệt độ không khí) để dự đoán độ ẩm đất và xác định nhu cầu tưới. Thuật toán lập lịch tưới sẽ điều khiển tưới tự động khi độ ẩm đất dưới ngưỡng tối thiểu, đảm bảo cây trồng luôn có đủ nước. Nghiên cứu [14] đã thực hiện một mô hình kiểm soát tưới tiêu bằng cách phát hiện thiếu nước đất trong vùng gốc (RZSMD) bằng cách sử dụng khái niệm về thời gian thực, và để làm điều này, tác giả đã sử dụng hệ thống xác định dữ liệu cân bằng nước để lấy một mô hình chuỗi thời gian tuyến tính. Nghiên cứu [15] đã đề xuất một hệ thống dự đoán độ ẩm đất cho một vườn ươm bằng cách sử dụng mô hình *Deep Long Short-Term Memory* (LSTM), đó là một mô hình chuỗi thời gian tuyến tính sử dụng xử lý tuần tự theo thời gian. Nghiên cứu [16] đã phân tích khả năng chấp nhận hệ thống tưới tự động trong canh tác lúa thông minh ở Đồng bằng sông Cửu Long. Mặc dù những mô hình này cho phép kiểm soát tưới tiêu tốt hơn nhưng hệ thống phụ thuộc vào cảm biến độ ẩm đất đắt tiền và giới hạn trong bộ số liệu mà nó cần được hiệu chuẩn.

Để quản lý tài nguyên nước cho khu vực cảnh quan xanh trong trường học một cách hiệu quả, duy trì độ ẩm đất phù hợp thông qua cảm biến độ ẩm đất là rất quan trọng. Bài báo này tập trung vào phát triển một mô hình hệ thống tưới tiêu tích hợp tự động dựa trên cảm biến quan trắc IoT và trí tuệ nhân tạo cho các khu vực xanh trong một trường học, đảm bảo rằng việc tưới nước đáp ứng đủ nhu cầu nước một cách hiệu quả. Mô hình hệ thống tưới tiêu tự động dựa trên trí tuệ nhân tạo có thể giúp đưa ra lượng nước tưới tiêu tối ưu và lịch trình tưới tiêu phù hợp với thời tiết theo mùa. Hệ thống này sử dụng dữ liệu thời tiết và kết hợp với lượng độ ẩm đất từ sensor quan trắc giá rẻ là một trong các thông tin đầu vào của nó, cho phép nó ra quyết định dựa trên tình hình thời tiết hiện tại về thời gian và lượng nước tưới tiêu phù hợp. Bên cạnh đó, với mô hình tích hợp này bộ số liệu để huấn luyện sẽ sử dụng dữ liệu thời tiết vào hệ thống tưới tiêu giúp tiết kiệm tài nguyên nước bằng cách tránh tưới tiêu không cần thiết trong những giai đoạn có mưa hoặc độ ẩm cao, từ đó góp phần vào việc quản lý tài nguyên nước bền vững.

2. Số liệu sử dụng và phương pháp nghiên cứu

Nghiên cứu này tập trung vào việc xây dựng một mô hình hệ thống tưới tiêu tích hợp tự động dựa trên trí tuệ nhân tạo cho các khu vực xanh trong trường học, nhằm đảm bảo việc tưới nước hiệu quả và đáp ứng đúng nhu cầu về nước. Quy trình nghiên cứu bắt đầu bằng việc sử dụng Arduino để xây dựng hệ thống quan trắc độ ẩm tự động, theo dõi độ ẩm đất một cách liên tục và chính xác. Tiếp theo, nghiên cứu xây dựng mô hình thâm đất 1D theo mô hình Hydrus để mô phỏng và tìm hiểu mối quan hệ giữa độ ẩm đất, lượng mưa và nhu cầu tưới tiêu. Dựa trên mô

hình thẩm đã hiệu chỉnh Hydrus, nhóm nghiên cứu xây dựng dữ liệu kích bản tưới tiêu phù hợp để huấn luyện trí tuệ nhân tạo nhằm tối ưu hóa việc sử dụng nước. Cuối cùng, nhóm nghiên cứu tích hợp mô hình hệ thống tưới tiêu tự động dựa trên trí tuệ nhân tạo. Hệ thống này tính toán lượng nước phù hợp cho không gian xanh dựa trên độ ẩm, lượng nước tưới và lượng nước mưa mà mảng xanh đã hấp thụ ngày hôm trước. Hệ thống đảm bảo việc tưới nước diễn ra với lượng nước tối ưu và lịch trình tưới tiêu phù hợp với điều kiện thời tiết hiện tại và theo mùa. Thông qua quy trình này, nghiên cứu nhằm quản lý tài nguyên nước hiệu quả cho các khu vực cảnh quan xanh trong trường học, duy trì độ ẩm đất ở mức phù hợp và góp phần vào sự phát triển bền vững.



Hình 1. Sơ đồ quy trình nghiên cứu.

2.1. Số liệu sử dụng

Nghiên cứu được thực hiện tại khu vực xanh trong khuôn viên trường Đại học Bách Khoa Thành phố Hồ Chí Minh (HCMUT), Việt Nam, nơi có loại đất cát pha sét (Hình 2) khu vực này bao gồm cỏ và cây lâu năm. Hệ thống tưới tự động được cài đặt để hoạt động hai lần mỗi ngày với tỉ lệ 6-22 lít/m²/ngày. Lượng mưa được quan trắc thông qua thiết bị tự ghi tại Trung tâm Nghiên cứu và Phát triển Kỹ thuật Môi trường (CARE-HCMUT). Độ ẩm đất được quan trắc trong khoảng thời gian 27/02 - 31/03/2024. Độ sâu giám sát độ ẩm đất là 20cm dưới bề mặt, nơi mà tình trạng độ ẩm của đất nằm trong vùng rễ quan trọng của cỏ. Hiệp hội Golf Hoa Kỳ (USGA) [17] cũng như [18] khuyến nghị độ ẩm đất của mảng xanh nên nằm trong khoảng từ 15-25% theo thể tích để cỏ phát triển tốt nhất. Độ ẩm đất quan trắc từ cảm biến được hiệu chỉnh với độ ẩm đất đo được bằng phương pháp sấy khô. Cảm biến bao gồm hai phần: phần cảm biến và phần ghi nhận. Phần cảm biến bao gồm một bảng mạch Arduino, mô-đun độ ẩm đất, và cảm biến độ ẩm đất. Bộ thiết bị IoT được vận hành tự động bằng nguồn năng lượng từ tấm pin mặt trời và sử dụng công nghệ NB-IoT (Narrow-band Internet of Things), như được minh họa trong Hình 3. Mỗi 10 phút, thiết bị ghi lại và gửi dữ liệu cảm biến đến máy chủ, bao



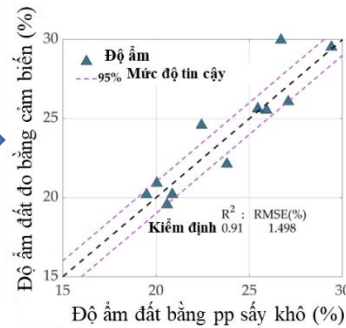
Hình 2. Sơ đồ bố trí vị trí quan trắc độ ẩm phục vụ tưới tiêu cho khuôn viên xanh trường ĐHBK- TpHCM.

gồm 24 cột thông tin bao gồm thời gian, nhiệt độ môi trường, độ ẩm, điều kiện đất... và tình trạng cung cấp điện cho thiết bị.

Cảm biến quan trắc độ ẩm tự động



Hiệu chỉnh cảm biến độ ẩm bằng phương pháp sấy khô đất



Thu thập và lưu trữ dữ liệu IoT và đám mây

Hình 3. Thiết bị quan trắc độ ẩm bằng cảm biến IoT.

2.2. Mô hình thấm đứng Hydrus 1D

Để mô phỏng dòng thấm đứng, nhóm tác giả đã sử dụng mô hình Hydrus 1D để mô phỏng dòng chảy ngầm và sự thay đổi độ ẩm trong đất. Dòng chảy thấm theo phương thẳng đứng trong đất (đồng nhất và cân bằng) được xác định bởi phương trình Richards như sau [19]:

$$\frac{\delta\theta}{\delta t} = \frac{\delta}{\delta z} \left[K \left(\frac{\delta h}{\delta z} + \cos\alpha \right) \right] - S(h) \tag{1}$$

Trong đó h là áp lực cột nước trong đất (m); θ là độ ẩm đất (m^3/m^3); t là bước thời gian tính toán (ngày); x là tọa độ không gian (mang dấu dương khi hướng lên); S là lượng nước thêm vào/mất đi trên một đơn vị thể tích (*sink/ source term*) ($m^3/m^3 \cdot \text{ngày}$); α là góc được tạo bởi dòng chảy NĐĐ và trục thẳng đứng ($\alpha=0^\circ$ đối với dòng chảy thẳng đứng, 90° - dòng chảy ngang, và $0^\circ < \alpha < 90^\circ$ - dòng chảy nghiêng); K là hệ số thấm chưa bão hòa (m/ngày).

Trong nghiên cứu này, điều kiện biên đầu vào được thiết lập là điều kiện biên khí quyển (*Atmospheric boundary*) bao gồm lượng mưa, lượng tưới tiêu, độ bốc hơi. Điều kiện biên đầu ra cho dòng chảy thẳng đứng ở độ sâu 40 cm được đặt là biên dòng chảy tự do (*Free flow boundary*). Hình 4 minh họa các điều kiện biên của mô phỏng thấm qua Hydrus 1D. Ngoài ra, thông số thủy văn của đất, cũng như tương quan giữa hệ số thấm chưa bão hòa K(h) và độ ẩm $\theta(h)$ được xác định bởi sự phân bố kích thước lỗ rỗng, các biểu thức độ ẩm $\theta(h)$, hệ số nhả nước theo chiều cao cột nước $S_e(h)$, và hệ số thấm K(h) sử dụng trong nghiên cứu này được áp dụng bằng phương trình Van Genuchten [19].

$$K(h) = K_s S_e^{1/2} \left[1 - \left(1 - S_e^{1/m} \right)^m \right]^2 \tag{2}$$

$$\theta(h) = \begin{cases} \theta_r + \frac{\theta_s - \theta_r}{[1 - |\alpha h|^n]^m} & h < 0 \\ \theta_s & h \geq 0 \end{cases} \tag{3}$$

$$S_e = \frac{\theta - \theta_r}{\theta_s - \theta_r} \tag{4}$$

Lời giải của phương trình (1) là (dh/dx) và độ ẩm θ tại mỗi dx trên mặt cắt đất. Thay dh/dx vào định luật Darcy, lưu lượng Darcy (q) theo phương trình sau:

$$q_i = -K \frac{dh}{dx} \tag{5}$$

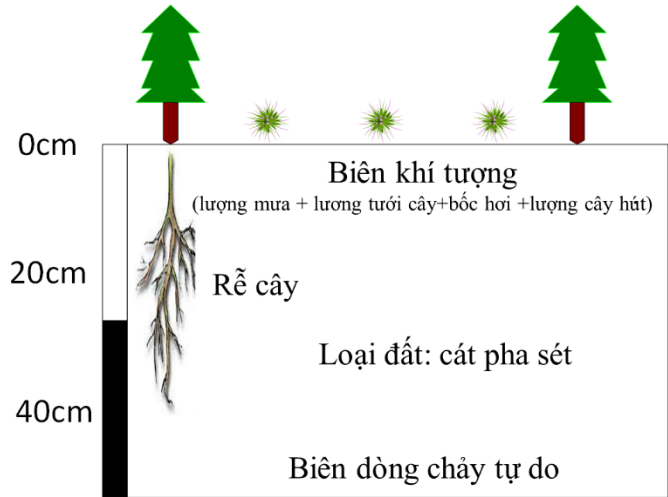
Khi đó, vận tốc nước qua lỗ rỗng được xác định:

$$v_i = \frac{q_i}{\theta} = -\frac{K}{\theta} \frac{dh}{dx} \tag{6}$$

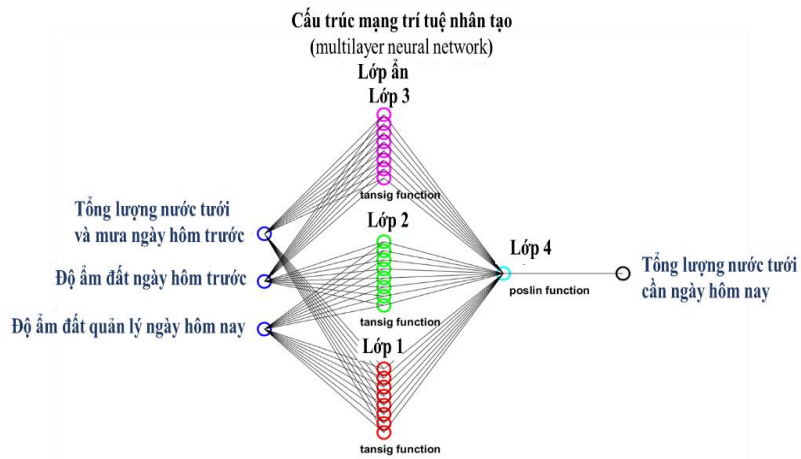
Các tham số mô hình Van Genuchten điển hình bao gồm độ ẩm đất tồn dư (θ_r) từ 0,03-0,1, độ ẩm đất bão hòa (θ_s) từ 0,37-0,41, $K_s = 1,06$ m/day, α từ 0,021-0,035 và n từ 1,31-2,39, được tham khảo từ cơ sở dữ liệu UNSODA [20] và được hiệu chỉnh bằng cách mô hình hóa ngược để khớp dữ liệu độ ẩm đất mô phỏng với dữ liệu quan trắc thực tế trong thực địa.

2.3. Mô hình mạng trí tuệ nhân tạo

Để xây dựng mô hình mạng Nơ-ron nhân tạo (ANN) nhằm dự đoán lượng nước tưới tiêu cho khu vực xanh, tác giả đã lựa chọn cấu trúc ANN với 3 đầu vào, 3 lớp ẩn, và 1 lớp đầu ra. Các lớp ẩn có chức năng xử lý và học mối quan hệ giữa các dữ liệu đầu vào. Các dữ liệu đầu vào gồm độ ẩm của ngày hôm trước, độ ẩm mục tiêu trong ngày hiện tại, và lượng nước tưới của ngày hôm trước. Số nơron trong các lớp ẩn được xác định qua quá trình thử nghiệm từ 4 đến 8. Các thông số khác của mô hình được diễn giải như sau: Số lượng nơron trong mỗi lớp ẩn: 8; Số lượng nơron trong lớp đầu ra: 1; Hàm kích hoạt: tansigmoid; Tốc độ học: 0.001; Bộ tối ưu hóa: Levenberg-Marquadt; Hàm mất mát: MSE; Số lần lặp tối đa: 10,000; Các kỹ thuật sử dụng: Dừng sớm (Early Stopping), Regularizer. Hình 5 trình bày cấu trúc của mạng Nơ-ron nhân tạo (ANN).



Hình 4. Sơ đồ xây dựng mô hình Hydrus 1D.



Hình 5. Cấu trúc mạng trí tuệ nhân tạo được xây dựng để dự báo lượng nước cần tưới tiêu trong khuôn viên trường.

2.4. Phương pháp đánh giá sai số

Để đánh giá độ tinh cậy của kết quả tính toán, tác giả sử dụng các chỉ số sau: Căn bình phương trung bình sai số (RMSE), và hệ số tương quan (R^2). Các chỉ số này được tính toán theo các công thức dưới đây. Mô hình tính toán được xem là chính xác khi R^2 gần bằng 1 và các sai số có giá trị nhỏ.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2} \tag{7}$$

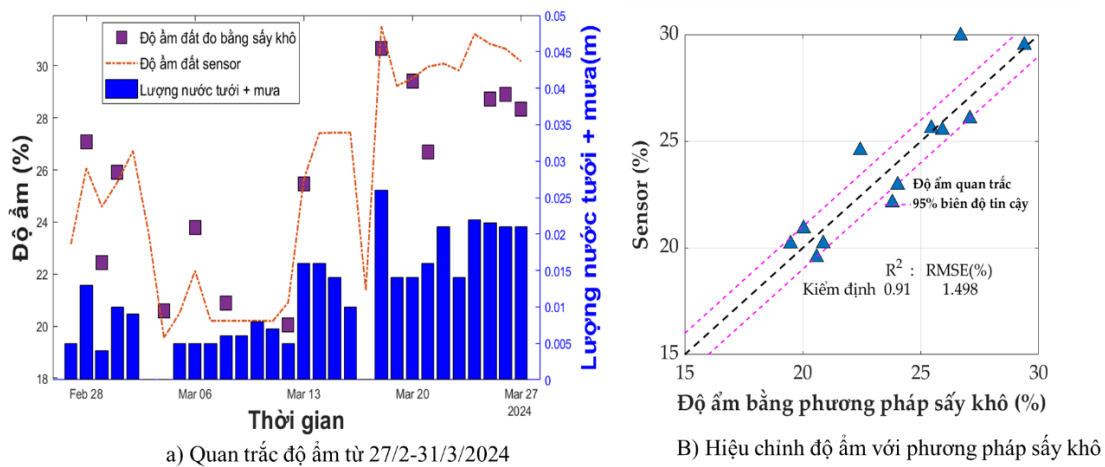
$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2} \tag{8}$$

Trong đó n là tổng số quan trắc, y_i là giá trị quan trắc thứ i, \hat{y}_i là giá trị mô phỏng tương ứng thứ i, và \bar{y} là giá trị trung bình của n quan trắc.

3. Kết quả và thảo luận

3.1. Kết quả quan trắc độ ẩm và lượng tưới tiêu

Kết quả đo lường độ ẩm tự động đã được điều chỉnh bằng phương pháp sấy khô. Kết quả cho thấy mô hình có độ tin cậy cao với chỉ số R^2 và sai số RMSE chỉ 1,5%, cho thấy rằng máy cảm biến độ ẩm tự động mang lại kết quả đáng tin cậy và có thể được áp dụng trong các hoạt động tưới cây thực tế (Hình 6). Ngoài ra, độ ẩm cũng tương quan với lượng nước cần tưới cây trong khu vực nghiên cứu. Việc tưới cây thường xuyên diễn ra vào cuối tháng 3, đảm bảo độ ẩm đất duy trì khoảng 30%, trong khi vào cuối tháng 2, các hoạt động như kết thúc học kỳ và lễ tết có thể ảnh hưởng đến lịch trình tưới cây. Dựa trên các kết quả này, độ ẩm đo lường sẽ được điều chỉnh và so sánh với kết quả mô hình Hydrus 1D trong phần tiếp theo của nghiên cứu.



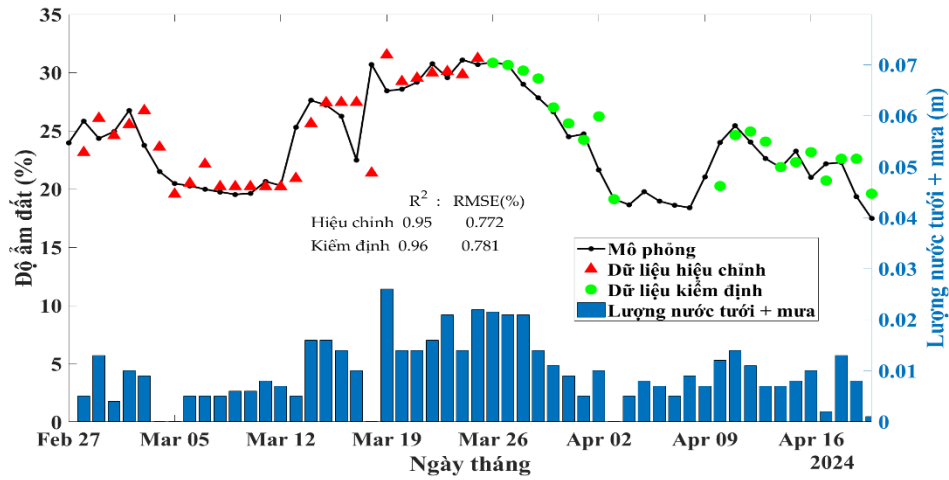
Hình 4. Kết quả quan trắc từ máy cảm biến tự động.

3.2. Hiệu chỉnh mô hình Hydrus1D và xây dựng số liệu tưới cây

Hình 7 thể hiện kết quả hiệu chỉnh mô hình Hydrus 1D. Kết quả tính toán cho thấy sự chính xác của mô hình, với số liệu độ ẩm cần với số liệu quan trắc. Hệ số tương quan R^2 của các bước hiệu chỉnh và bước kiểm định lần lượt là 0,95 và 0,96. Sai số bình phương trung bình căn (RMSE) cũng cho kết quả thấp, lần lượt là 0,772 và 0,781. Độ ẩm tính toán này đồng thời cho thấy độ ẩm đất có sự tương quan chặt chẽ với lượng nước tưới trong suốt 54 ngày quan trắc.

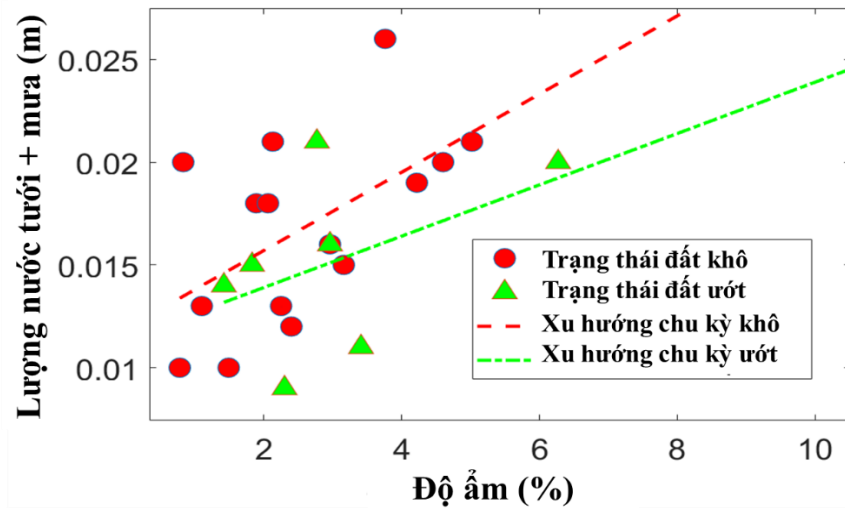
Từ số liệu quan trắc, ta có thể nhận thấy rằng độ ẩm của đất sẽ giảm khoảng 1% mỗi ngày nếu việc tưới nước bị đình trệ trong thời gian dài. Điều này cho thấy rằng nếu không tưới nước đều đặn, độ ẩm đất sẽ giảm nhanh chóng. Ngoài ra, để khôi phục độ ẩm từ 15% lên 20%, cần sử dụng một lượng nước lớn hơn bình thường. Việc tưới cây đều đặn với lượng 0,01 m/m², tương đương 10 l/m², sẽ giúp duy trì độ ẩm hiện có của đất và ngăn ngừa sự mất

nước do bốc hơi trong điều kiện nắng nóng. Tuy nhiên, khi độ ẩm đất đã đạt 30%, việc tưới cây thường xuyên sẽ không làm tăng thêm độ ẩm mà còn gây lãng phí nước, thậm chí có thể làm ngập úng rễ cây, gây ảnh hưởng xấu đến sự phát triển của mảng xanh.



Hình 5. Kết quả hiệu chỉnh tính toán độ ẩm đất từ mô hình Hydrus1D.

Hình 8 minh họa mối quan hệ giữa độ ẩm của đất và lượng nước tưới. Kết quả cho thấy, khi đất khô đi, tức là độ ẩm giảm so với ngày hôm trước, cần lượng nước tưới nhiều hơn so với khi đất còn ẩm. Cụ thể, để tăng độ ẩm của đất thêm 1-2%, cần tưới khoảng 0,015 m (tương đương 15 lít/m²) nước. Tuy nhiên, nếu tưới thường xuyên với lượng nước trên 0,02 m (20 lít/m²), độ ẩm của đất không những không tăng mà còn có thể gây hại cho cây trồng và lãng phí nước. Kết quả này cho thấy lượng nước thấm đứng vào lớp đất tương đồng với nghiên cứu [21] cho thấy khả năng tưới nước để tăng độ ẩm của đất ở trạng thái ướt và khô là tương tự. Điều này khẳng định rằng việc tưới tiêu thường xuyên với lượng nước phù hợp sẽ giữ cho đất luôn ẩm và hiệu quả hơn so với việc để đất khô rồi tưới hoặc tưới thường xuyên với lượng nước cố định. Điều này có ý nghĩa vì vào mùa mưa, đất khô sẽ dễ dàng hấp thụ lượng nước mưa nhiều hơn, giúp giảm thiểu dòng chảy tràn.

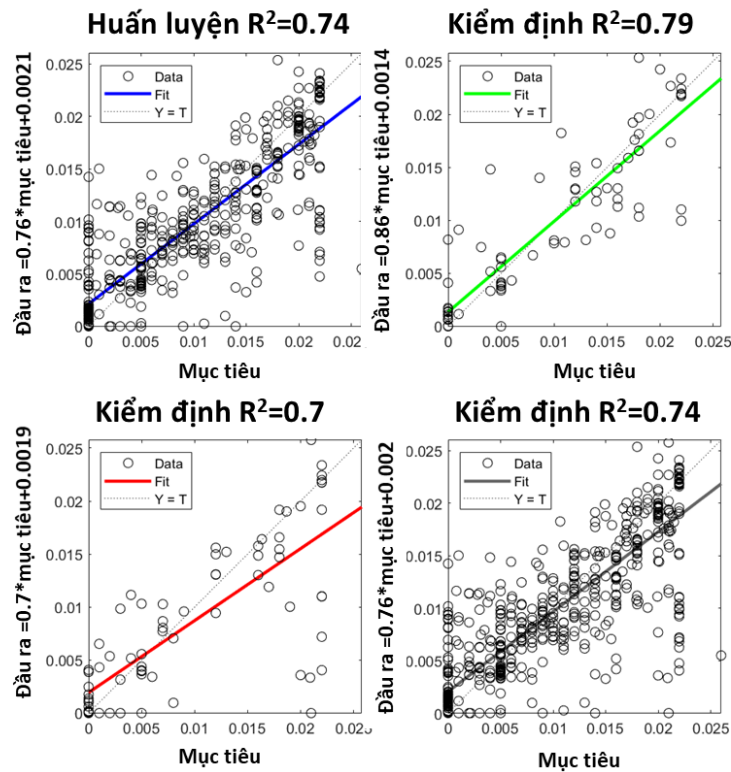


Hình 8. Tương quan độ ẩm và lượng nước tưới.

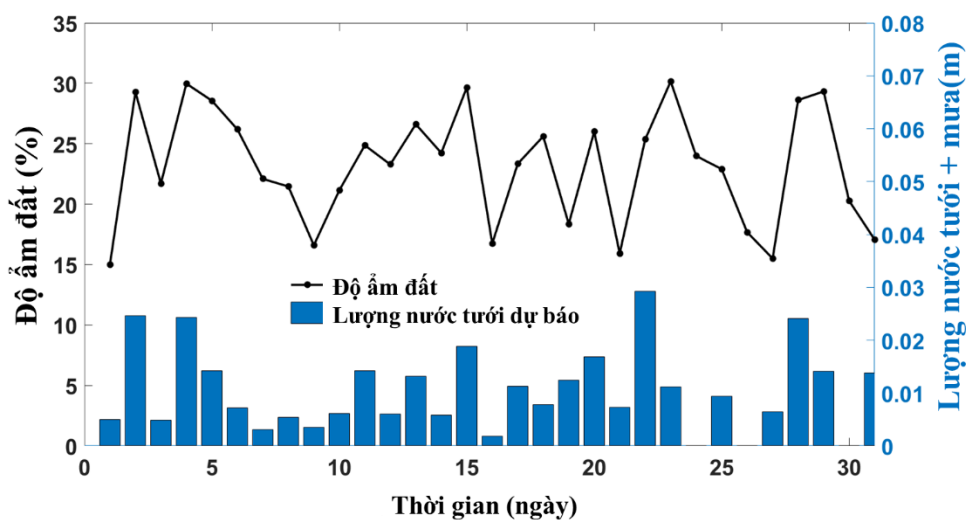
3.3. Xây dựng mô hình mạng trí tuệ (ANN) dự báo lượng nước tưới cần thiết

Từ kết quả mô hình Hydrus 1D, nghiên cứu đã xây dựng các kịch bản tưới để đảm bảo độ ẩm đất không nằm dưới độ ẩm cực tiểu của độ ẩm quan trắc được là 15% và cũng theo khuyến nghị của Hiệp hội Golf Hoa Kỳ (USGA) cũng như kết quả nghiên cứu [18]. Sau đó, nghiên cứu xây dựng bộ số liệu đầu vào cho mô hình mạng nơron nhân tạo (ANN) với các số liệu độ ẩm đầu vào là độ ẩm của ngày hôm trước, độ ẩm mục tiêu trong ngày hiện tại, và lượng nước tưới của ngày hôm trước. Hình 9 cho thấy kết quả học của mô hình ANN có biểu

hiện tốt khi R^2 xấp xỉ 0,8. Hình 10 nghiên cứu đã tiến hành thử nghiệm cho mô hình ANN tự tính toán lượng nước tưới cho mảng xanh trong 30 ngày. Kết quả cho thấy máy học có khả năng dự báo lượng nước tưới tốt và giảm thiểu lượng nước tưới đến 40% so với lượng nước đã quan trắc được.



Hình 6. Kết quả học và kiểm định của mô hình Trí tuệ nhân tạo (ANN).



Hình 7. Lượng nước tưới dự báo bằng mạng nơron để suy tri độ ẩm trên 15%.

4. Kết luận

Nghiên cứu này đã thành công phát triển một mô hình hệ thống tưới tiêu tự động dựa trên cảm biến quan trắc IoT và trí tuệ nhân tạo cho các khu vực xanh trong trường học, đảm bảo việc tưới nước đáp ứng đủ nhu cầu một cách hiệu quả. Thông qua số liệu quan trắc và mô hình Hydrus 1D, tương quan giữa độ ẩm và lượng nước tưới đã được làm rõ. Cụ thể, để tăng độ ẩm của đất

thêm 1-2%, cần tưới khoảng 0,015 m (15 lít/m²) nước, nhưng nếu tưới thường xuyên với lượng nước trên 0,02 m (20 lít/m²) có thể gây hại cho mảng xanh trong trường học và lãng phí nước. Mô hình hệ thống tưới tiêu tự động dựa trên trí tuệ nhân tạo cho thấy khả năng dự báo lượng nước tưới tiêu tốt và giảm thiểu lượng nước tưới đến 40% so với lượng nước đã quan trắc. Tuy nhiên, để nâng cao độ chính xác, cần phát triển các cảm biến độ ẩm tốt hơn và sử dụng nhiều cảm biến hơn để đánh giá toàn diện độ ẩm của khu vực xanh. Do điều kiện nghiên cứu còn hạn chế, trong giai đoạn tiếp theo, hệ thống tưới tiêu tự động cần quan trắc và đánh giá giai đoạn sinh trưởng của cây trồng cũng như các loại đất khác nhau để máy học có thể mô hình hóa việc tưới cây một cách hiệu quả và toàn diện hơn. Quy trình nghiên cứu này có thể làm nền tảng cho các nghiên cứu và ứng dụng tưới tiêu thông minh hiệu quả trong tương lai. Các nghiên cứu tiếp theo cần áp dụng các kịch bản dự báo khí hậu để tối ưu hóa việc sử dụng nguồn nước mưa và tiết kiệm điện năng vận hành máy bơm.

Đóng góp của tác giả: Xây dựng ý tưởng nghiên cứu: T.T.L.; Lựa chọn phương pháp nghiên cứu: T.T.L.; Xử lý số liệu: T.T.L.; Quan trắc độ ẩm: N.T.P.; Phân tích mẫu đất: L.M.H.; Lấy mẫu đất: T.T.L.; Viết bản thảo bài báo: T.T.L.; Chỉnh sửa bài báo: L.T.N.

Lời cảm ơn: Nghiên cứu này được tài trợ bởi trường Đại học Bách Khoa - ĐHQG-HCM trong khuôn khổ đề tài mã số: To-KTXD-2023-09.

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. Nassary, E.K.; Msomba, B.H.; Masele, W.E.; Ndaki, P.M.; Kahangwa, C.A. Exploring urban green packages as part of Nature-based Solutions for climate change adaptation measures in rapidly growing cities of the Global South. *J. Environ. Manage.* **2022**, *310*, 114786.
2. Laforteza, R.; Davies, C.; Sanesi, G.; Konijnendijk, C.C. Green Infrastructure as a tool to support spatial planning in European urban regions. *iForest - Biogeosc. For. iForest.* **2013**, *6*, 102.
3. Mees, H.L.P.; Driessen, P.P.J. Adaptation to climate change in urban areas: Climate-greening London, Rotterdam, and Toronto. *Clim. Law* **2011**, *2*, 251–280.
4. Liu W, Chen W, Peng C. Assessing the effectiveness of green infrastructures on urban flooding reduction: A community scale study. *Ecol. Modell.* **2014**, *291*, 6–14.
5. Sagris, T.; Tahir, S.; Möller-Gulland, J.; Quang, N.; Abbott, J.; Yang, L. Vietnam: hydro-economic framework for assessing water sector challenges. 2019.
6. Thang, N.V.; Khiem, M.V.; Trong, T.D. Study of Droughts in Ca Mau Province: Characteristics and Prediction Capabilities. *VN J. Hydrometeorol.* **2018**, *1*, 11–19.
7. Parés-Franzi, M.; Saurí-Pujol, D.; Domene, E. Evaluating the environmental performance of urban parks in Mediterranean cities: An example from the Barcelona Metropolitan Region. *Environ. Manage.* **2006**, *38*, 750–759.
8. Monteiro, L.; Cristina, R.; Covas, D. Water and energy efficiency assessment in urban green spaces. *Energies* **2021**, *14*, 5490.
9. Canales-Ide, F.; Zubelzu, S.; Rodríguez-Sinobas, L. Irrigation systems in smart cities coping with water scarcity: The case of Valdebebas, Madrid (Spain). *J. Environ. Manage.* **2019**, *247*, 187–195.
10. Gupta, A.D.; Pandey, P.; Feijóo, A.; Yaseen, Z.M.; Bokde, N.D. Smart water technology for efficient water resource management: A review. *Energies* **2020**, *13*, 6268.
11. Yu, L.; Gao, W.; Shamshiri, R.R.; Tao, S.; Ren, Y.; Zhang, Y.; et al. Review of research progress on soil moisture sensor technology. *Int. J. Agric. Biol. Eng.* **2021**, *14*, 32–42.

12. Sable, R.; Kolekar, S.; Gawde, A.; Takle, S.; Pednekar, A.J.A.A.R. A review on different irrigation methods. *Int. J. Appl. Agric. Res.* **2019**, *14*, 49–60.
13. Goap, A.; Sharma, D.; Shukla, A.K.; Krishna, C.R. An IoT based smart irrigation management system using Machine learning and open source technologies. *Comput. Electron. Agric.* **2018**, *155*, 41–49.
14. Delgoda, D.; Saleem, S.K.; Malano, H.; Halgamuge, M.N.J.A.W.M. Root zone soil moisture prediction models based on system identification: Formulation of the theory and validation using field and AQUACROP data. *Agric. Water Manage.* **2016**, *163*, 344–353.
15. Gao, P.; Qiu, H.; Lan, Y.; Wang, W.; Chen, W.; Han, X.; Lu, J. Modeling for the prediction of soil moisture in litchi orchard with deep long short-term memory. *Agriculture* **2021**, *12*, 25.
16. Nguyễn, T.T.; Lâm, Đ.V.; Lương, V.Q.D.; Hồ, C.T.; Nguyễn, H.T.; Lê, A.T. Nghiên cứu khả năng chấp nhận hệ thống tưới tự động trong canh tác lúa thông minh ở Đồng bằng sông Cửu Long *Tap chí Khoa học và Công nghệ Nông nghiệp Việt Nam* **2019**, *11*, 1–17.
17. McCarty, L. Golf turf management: CRC Press, 2018.
18. Hùng, T.T.; Trí, V.K.; Sâm, L. Nghiên cứu thực nghiệm xây dựng đường đặc trưng ẩm của đất (PF) phục vụ xác định chế độ tưới hợp lý cho cây trồng cạn tại vùng khô hạn Nam Trung Bộ. *Tap chí Khoa học Kỹ thuật Thủy lợi và Môi trường* **2017**, *57*, 40–49.
19. Simunek, J.; Van Genuchten, M.T.; Sejna, M. The HYDRUS-1D software package for simulating the one-dimensional movement of water, heat, and multiple solutes in variably-saturated media. University of California-Riverside Research Reports. **2005**, *3*, 1–240.
20. Leij, F.J. UNSODA unsaturated soil hydraulic database. 1996.
21. Long, T.T. Koontanakulvong S. Deep percolation characteristics via soil moisture sensor approach in Saigon river basin, Vietnam. *Int. J. Civ. Eng. Technol.* **2019**, *10*, 403–412.

Experimental development of a smart irrigation system integrated with IoT sensors and artificial intelligence for urban green areas

Tran Thanh Long^{1,2*}, Nguyen Thien Phu^{1,2}, Le Minh Huy^{1,2}, Le Trong Nhan^{3,2}

¹ Faculty of Civil Engineering, Hochiminh City University of Technology (HCMUT), 268 Ly Thuong Kiet Street, District 10, Ho Chi Minh City, Vietnam; tlong@hcmut.edu.vn; phu.nguyenk22090804@hcmut.edu.com; huy.leminh1504@hcmut.edu.vn

² Vietnam National University Ho Chi Minh City, Linh Trung Ward, Thu Duc City, Ho Chi Minh City, Vietnam; phu.nguyenk22090804@hcmut.edu.com; huy.leminh1504@hcmut.edu.vn; trongnhanle@hcmut.edu.vn

³ Computer Science & Engineering Department, Hochiminh City University of Technology (HCMUT), 268 Ly Thuong Kiet Street, District 10, Ho Chi Minh City, Vietnam; trongnhanle@hcmut.edu.vn

Abstract: Green spaces in school environments not only enhance the aesthetic appeal and provide recreational value but also reduce stress and fatigue while improving air quality for residents. These spaces are regarded as “nature-based solutions” to social and environmental challenges. Additionally, green spaces absorb excess rainwater and mitigate the negative impacts of heavy rainfall. However, maintaining these green spaces often involves caretakers relying on their experience to determine the amount of water needed, leading to

inefficient water usage and frequent replacements of plants due to overwatering or drought. Therefore, our research team developed an experimental model of an automated irrigation system based on IoT sensors and artificial intelligence for green areas in schools. The findings suggest that maintaining sandy soil at 1-2% moisture content, equivalent to 0.015 m (15 liters/m²) of water, is optimal. However, frequent irrigation exceeding 0.02 m (20 liters/m²) can adversely affect plant health and lead to water wastage. This automated irrigation system effectively predicts and reduces irrigation water by up to 40% compared to measured water levels. To enhance accuracy, further development of advanced moisture sensors and increased sensor deployment is necessary to comprehensively assess green area moisture levels and plan growth. This research process serves as a base case for future studies applying efficient smart irrigation and water use practices.

Keywords: Hydrus 1D; Artificial Neural Networks (ANN); Smart irrigation; IoT sensors.

Bài báo khoa học

Diễn biến của chỉ số nhiệt (heat index) tại thành phố Hồ Chí Minh giai đoạn năm 1990-2023

Nguyễn Thị Tuyết Nam^{1*}

¹ Khoa Môi trường, Đại học Sài Gòn; ntnam@sgu.edu.vn

*Tác giả liên hệ: ntnam@sgu.edu.vn; Tel.: +84-779534930

Ban Biên tập nhận bài: 25/5/2024; Ngày phản biện xong: 5/7/2024; Ngày đăng bài: 25/12/2024

Tóm tắt: Nghiên cứu này nhằm đánh giá diễn biến của chỉ số nhiệt (HI) tại thành phố Hồ Chí Minh trong 33 năm (1990-2023). HI là chỉ số thể hiện mức nhiệt độ mà con người thực sự cảm nhận. Kết quả nghiên cứu cho thấy giá trị trung bình năm của HI dao động trong khoảng 27-32°C. Ngoài ra, giá trị HI có xu hướng tăng trong toàn bộ giai đoạn nghiên cứu, và tăng khá mạnh vào các năm 1997-1998, 2002-2003, 2009-2010, 2018-2019, và 2023. Bên cạnh đó, giá trị HI có xu hướng tăng dần từ tháng 3 cho đến tháng 9, giảm dần đến cuối năm và thường đạt đỉnh vào tháng 4-5. Giá trị HI trung bình thường đạt đỉnh vào tháng 4-5 và thường cao hơn 32°C, thể hiện mức cảnh báo mức cảnh báo cần phải thận trọng khi hoạt động ngoài trời. Kết quả nghiên cứu cũng cho thấy chỉ số HI có sự tương quan thuận với nhiệt độ và độ ẩm không khí, tương quan nghịch với độ mây che phủ. Nghiên cứu này có thể làm cơ sở cho các nghiên cứu tiếp theo về đánh giá xu hướng của nhiệt độ và chỉ số nhiệt tại khu vực thành phố Hồ Chí Minh.

Từ khóa: Chỉ số nhiệt; HI; Tp.HCM; 1990-2023.

1. Giới thiệu

Hiện nay, các đợt nắng nóng đang có xu hướng diễn ra với tần suất nhiều hơn và kéo dài hơn tại các khu vực trên thế giới. Vào năm 2023, nhiệt độ không khí trung bình tại Việt Nam có xu hướng cao hơn so với những năm trước đây. Những ngày có nhiệt độ không khí cao hơn 35°C được xem là có hiện tượng nắng nóng. Trong những năm gần đây, các đợt nắng nóng tại thành phố Hồ Chí Minh thường diễn ra gay gắt hơn và kéo dài hơn [1]. Các đợt nắng nóng thường có ảnh hưởng tiêu cực tới sức khỏe và các hoạt động của con người. Cụ thể là khi nhiệt độ tăng cao, người dân dễ cảm thấy mệt mỏi và khó tái tạo sức lao động. Ngoài ra, người dân làm việc ngoài trời có khả năng bị sốc nhiệt, say nắng và đột quỵ. Nắng nóng cũng có thể ảnh hưởng xấu đến sức khỏe của những người mắc các bệnh mạn tính, chẳng hạn như hen suyễn và cao huyết áp [2, 3].

Để đo lường mức nhiệt độ mà con người thực sự cảm nhận, chỉ số nhiệt (*heat index - HI*) có thể được sử dụng. Chỉ số nhiệt HI là chỉ số được tính toán dựa vào nhiệt độ không khí và độ ẩm không khí tương đối [4, 5]. Các mức cảnh báo về ảnh hưởng của nắng nóng đến sức khỏe người dân có thể được cung cấp dựa trên các giá trị của HI. Chẳng hạn như khi chỉ số HI dao động trong khoảng 33-39°C thì người dân cần phải thận trọng khi hoạt động ngoài trời nắng trong thời gian dài [4]. Nghiên cứu về đánh giá diễn biến của các đợt nắng nóng và chỉ số nhiệt đã được thực hiện tại nhiều nơi trên thế giới. Tại khu vực Đông Nam Á, các đợt nắng nóng có xu hướng diễn ra thường xuyên hơn, gay gắt hơn, và đa số các đợt nắng nóng đều có mối quan hệ với hiện tượng El Nino [6]. Bên cạnh đó, lượng phát thải CO₂ được báo cáo có mối tương quan thuận với giá trị của chỉ số HI [7, 8]. Ngoài ra, dữ liệu về nhiệt độ

không khí tại 6 thành phố lớn của Hàn Quốc giai đoạn 1994-2003 đã chỉ ra rằng nhiệt độ vào mùa hè tại các thành phố này đã tăng lên 1°C [9].

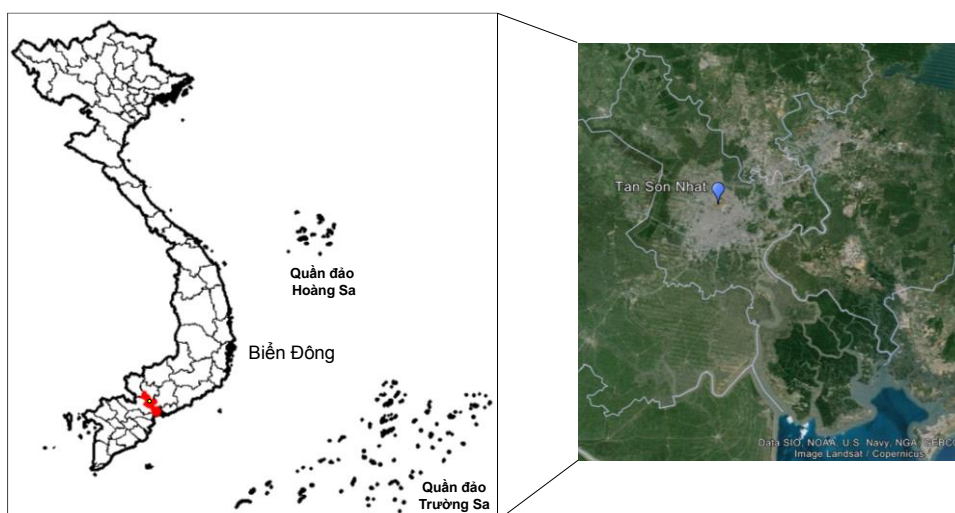
Tại Việt Nam, nghiên cứu về chỉ số nhiệt đã chỉ ra rằng nhiệt độ cao vào buổi tối kết hợp với nắng nóng vào ngày tiếp theo làm cho công nhân khó tái tạo sức lao động [10]. Ngoài ra, nghiên cứu về xu hướng thay đổi theo không gian và thời gian của các đợt nắng nóng trên toàn quốc giai đoạn năm 1979-2018 đã cho thấy các đợt nắng nóng có xu hướng kéo dài hơn tại các tỉnh thành [11]. Theo nghiên cứu về dự báo chỉ số nhiệt (HI) tại Hà Nội [5], giá trị HI sẽ tăng khoảng 0,08 °C/năm và số tuần có mức nhiệt độ chạm ngưỡng nguy hiểm cho sức khỏe con người sẽ tăng lên 5,5-6 tuần/5 năm. Ngoài ra, nghiên cứu về diễn biến nắng nóng tại khu vực Bắc Trung Bộ giai đoạn năm 2010-2015 đã cho thấy nhiệt độ cao nhất trong ngày tại khu vực này có xu hướng tăng so với giai đoạn trước đó (năm 1981-2010), đồng thời số ngày nắng nóng và nắng nóng gay gắt cũng cao hơn [12].

Mục tiêu của nghiên cứu này là đánh giá xu hướng diễn biến của chỉ số nhiệt tại thành phố Hồ Chí Minh giai đoạn năm 1990-2023. Ngoài ra, sự ảnh hưởng và mối tương quan của các điều kiện thời tiết, chẳng hạn như nhiệt độ và độ ẩm không khí, lượng mưa, vận tốc gió,..., và yếu tố xã hội như số lượng dân số đến chỉ số nhiệt cũng được phân tích. Kết quả của nghiên cứu này cung cấp tổng quan về sự thay đổi của chỉ số nhiệt tại thành phố Hồ Chí Minh, làm cơ sở cho các nghiên cứu tiếp theo về đánh giá diễn biến nhiệt độ và chỉ số HI tại khu vực này.

2. Phương pháp nghiên cứu

2.1. Phương pháp thu thập và xử lý dữ liệu

Nghiên cứu này tập trung đánh giá chỉ số nhiệt tại thành phố Hồ Chí Minh. Dữ liệu về nhiệt độ không khí và nhiệt độ hóa sương (*dew point temperature*) tại khu vực nghiên cứu được thu thập từ trạm quan trắc Tân Sơn Nhất (Hình 1). Vĩ độ và kinh độ của vị trí quan trắc lần lượt là 10.82°E và 106.85°N. Dữ liệu nhiệt độ được thu thập từ Cơ sở dữ liệu về khí tượng toàn cầu của NOAA (Cục Quản lý Khí quyển và Đại dương Quốc gia, Mỹ) tại trang web <https://www.noaa.gov>. Các giá trị nhiệt độ không khí được thu thập theo từng giờ (24 giờ/ngày) trong vòng 33 năm từ 1990 đến năm 2023. Sau khi thu thập, toàn bộ dữ liệu được kiểm tra, các giá trị âm và giá trị bất thường được loại bỏ nhằm đảm bảo chất lượng của dữ liệu. Sau đó, bộ dữ liệu nhiệt độ không khí đã được xử lý được dùng để tính toán trong các bước tiếp theo.



Hình 1. Vị trí trạm quan trắc nhiệt độ không khí tại thành phố Hồ Chí Minh.

Ngoài ra, các dữ liệu khí tượng và dữ liệu dân số tại khu vực nghiên cứu cũng được thu thập nhằm tìm hiểu sự ảnh hưởng của các yếu tố này đến chỉ số HI. Cụ thể là dữ liệu về độ

mây che phủ, lượng mưa, số ngày mưa, và vận tốc gió tại thành phố Hồ Chí Minh trong giai đoạn năm 1990-2023 được thu thập từ cơ sở dữ liệu khí tượng ERA5 do Trung tâm Dự báo Thời tiết Trung hạn Châu Âu (*European Centre for Medium-Range Weather Forecasts, ECMWF*) cung cấp tại trang <https://cds.climate.copernicus.eu/>. Dữ liệu về tổng số lượng dân số trên toàn thành phố Hồ Chí Minh giai đoạn năm 1990-2023 được thu thập từ cơ sở dữ liệu của Ngân hàng Thế giới (*World Bank Open Data, https://data.worldbank.org/*).

2.2. Phương pháp tính chỉ số nhiệt (HI)

Chỉ số nhiệt được tính theo các công thức (1) đến (5). Công thức (1) còn được gọi là công thức tuyến tính Steadman và được tính dựa trên giá trị của nhiệt độ không khí và độ ẩm không khí [13].

$$HI = 0.5 \times \{T + 61 + [(T - 68) \times 1,2] + (RH \times 0,094)\} \tag{1}$$

Trong đó T là nhiệt độ không khí (°F), RH là độ ẩm không khí tương đối (%). Trong trường hợp giá trị HI tính toán được cao hơn 26°C (80°F) thì công thức Rothfusz được sử dụng thay cho công thức Steadman [14].

$$HI = -42,379 + (2,04901523T) + (10,14333127RH) + (-0,22475541TRH) + (-6,83783 \times 10^{-3}T^2) + (5,481717 \times 10^{-2}RH^2) + (1,22874 \times 10^{-3}T^2RH) + (8,5282 \times 10^{-4}TRH^2) + (-1,99 \times 10^{-6}T^2RH^2) \tag{2}$$

Nếu độ ẩm không khí nhỏ hơn 13% và nhiệt độ không khí dao động trong khoảng 26-44°C (80-112°F) thì chỉ số nhiệt HI tính theo Rothfusz cần phải được hiệu chỉnh theo công thức (3) [14].

$$HI = \left[\frac{(13 - RH)}{4} \right] \times \sqrt{\frac{(17 - |T - 95|)}{17}} \tag{3}$$

Ngoài ra, nếu độ ẩm không khí lớn hơn 85% và nhiệt độ không khí dao động trong khoảng 26-30,5°C (80-87°F) thì chỉ số nhiệt HI tính theo Rothfusz được hiệu chỉnh theo công thức sau [14]:

$$HI = \frac{(RH - 85)}{10} \times \frac{(87 - T)}{5} \tag{4}$$

Độ ẩm tương đối được tính dựa theo nhiệt độ không khí và nhiệt độ hóa sương (dew point temperature), cụ thể như sau [15]:

$$RH = 100 \times \frac{e^{(17,625 \times TD)}}{243,04} + TD \times 243,04 + \frac{T}{e^{(17,625 \times T)}} \tag{5}$$

Trong đó RH là độ ẩm không khí (%), TD là nhiệt độ hóa sương, và T là nhiệt độ không khí. Đơn vị tính TD và T là độ F, vì vậy HI tính toán theo các công thức (1)-(4) cũng có đơn vị là độ F. Công thức chuyển đổi từ độ F sang độ C như sau:

$$T (^{\circ}C) = [T(^{\circ}F) - 32] \times 5/9 \tag{6}$$

Dựa vào giá trị của chỉ số HI, các cảnh báo về ảnh hưởng của nắng nóng đến sức khỏe con người có thể được cung cấp. Chẳng hạn như khi giá trị HI dao động trong khoảng 33 đến 39°C thì người dân cần hết sức thận trọng khi hoạt động ngoài trời trong thời gian dài vì có thể bị kiệt sức và sốc nhiệt. Khi giá trị HI từ 40-50°C thì hoạt động ngoài trời có khả năng cao gây nguy hiểm cho sức khỏe của người dân [4]. Ngưỡng giá trị HI và ảnh hưởng đến sức khỏe con người được tóm tắt trong bảng 1.

Bảng 1. Giá trị HI và các mức ảnh hưởng đến sức khỏe con người [4].

| Giá trị HI | Mức cảnh báo | Ghi chú |
|------------|--------------------|---|
| 27 - 32°C | Thận trọng | Khuyến cáo nên uống nhiều nước khi hoạt động ngoài trời. |
| 33 - 41°C | Hết sức thận trọng | Tăng nguy cơ bị chuột rút và kiệt sức do nhiệt. Trẻ nhỏ, người già, và những người mắc bệnh mãn tính nên tránh ra ngoài trời. |

| Giá trị HI | Mức cảnh báo | Ghi chú |
|------------|---------------|---|
| 42 - 51°C | Nguy hiểm | Nguy cơ cao bị chuột rút, kiệt sức, và sốc nhiệt. Nên tránh các hoạt động thể chất nặng và tìm nơi mát mẻ để nghỉ ngơi. |
| > 52°C | Rất nguy hiểm | Có thể gây ra sốc nhiệt nhanh chóng và nguy hiểm đến tính mạng. |

2.3. Phương pháp phân tích thống kê và trực quan hóa dữ liệu

Dữ liệu chỉ số HI và các thông số khác được phân tích thống kê và trực quan hóa bằng phần mềm Origin Pro 2020. Phân tích tương quan Pearson và phân tích cụm phân cấp được sử dụng để tìm hiểu sự ảnh hưởng của các yếu tố khác đến chỉ số HI. Công thức tính tương quan Pearson như sau:

$$r = \frac{\sum(x_i - \bar{x}) \times (y_i - \bar{y})}{\sqrt{(\sum(x_i - \bar{x})^2) \times (\sum(y_i - \bar{y})^2)}} \quad (7)$$

Trong đó r là hệ số tương quan; x_i là giá trị thứ i của biến x và \bar{x} là giá trị trung bình của biến x. Tương tự như vậy, y_i là giá trị thứ i của biến y và \bar{y} là giá trị trung bình của biến y. Giá trị của hệ số tương quan r càng tiến về 1 hoặc -1 nghĩa là hai biến có tương quan cao, càng tiến về 0 thì hai biến tương quan thấp. Ngoài ra, giá trị $r > 0$ biểu thị mối quan hệ thuận giữa hai biến (cùng tăng hoặc cùng giảm). Ngược lại, khi $r < 0$ thì hai biến có quan hệ nghịch.

Phân tích cụm phân cấp dựa theo công thức sau:

$$d = 1 - \text{corr}(x, y) \quad (8)$$

Với d được định nghĩa là khoảng cách giữa hai biến x và y. $\text{corr}(x, y)$ là hệ số tương quan Pearson giữa hai biến này.

3. Kết quả và thảo luận

3.1. Diễn biến của chỉ số nhiệt theo thời gian

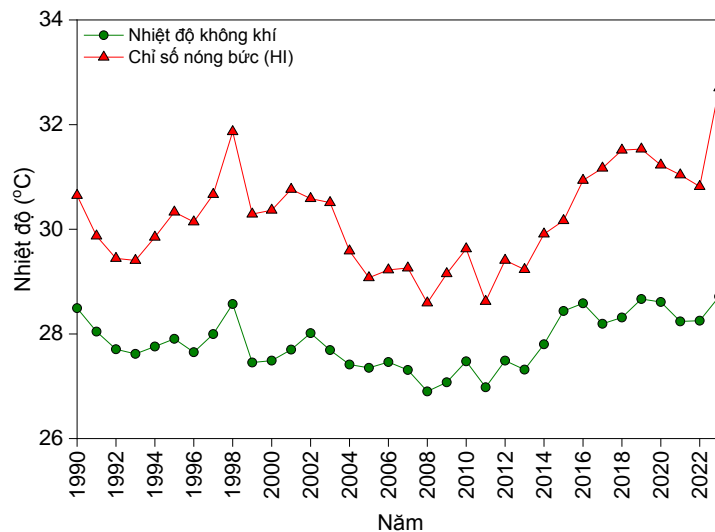
3.1.1. Diễn biến của chỉ số nhiệt theo năm

Hình 2 thể hiện sự thay đổi của HI và nhiệt độ không khí tại thành phố Hồ Chí Minh theo từng năm, từ năm 1990 đến năm 2023. Nhìn chung, giá trị HI luôn cao hơn giá trị của nhiệt độ không khí từ 1,5°C đến 4°C trong toàn giai đoạn nghiên cứu. Ngoài ra, xu hướng tăng/giảm của HI tương đồng với xu hướng thay đổi của nhiệt độ không khí. Giai đoạn năm 2003-2013, giá trị của HI có xu hướng giảm, và đạt giá trị thấp nhất vào năm 2008 và 2011.

Xét trong toàn giai đoạn nghiên cứu, chỉ số HI tại thành phố Hồ Chí Minh tăng khá mạnh vào các năm 1997-1998, 2002-2003, 2009-2010, 2018-2019, và 2023 (Hình 2). Đây cũng là giai đoạn hiện tượng El Nino hoạt động khá mạnh [16] khiến cho nhiệt độ không khí tăng cao hơn, từ đó góp phần làm tăng chỉ số nhiệt.

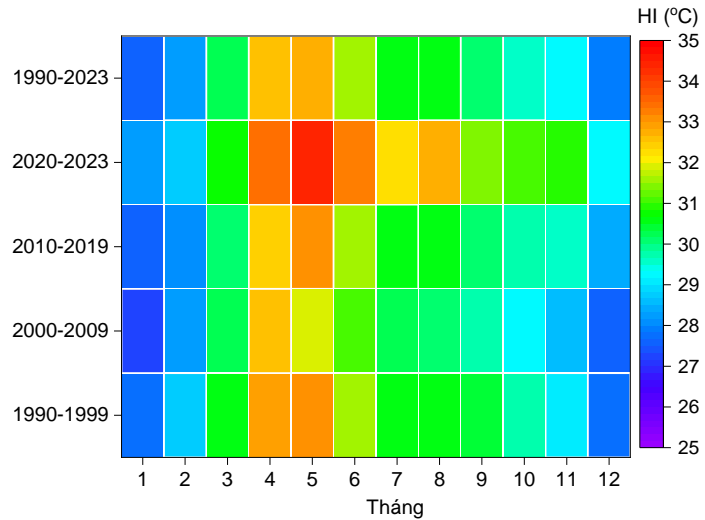
3.1.2. Diễn biến của chỉ số nhiệt theo tháng và theo mùa

Diễn biến của chỉ số nhiệt theo từng tháng trong giai đoạn năm 1990-2023 tại thành phố Hồ



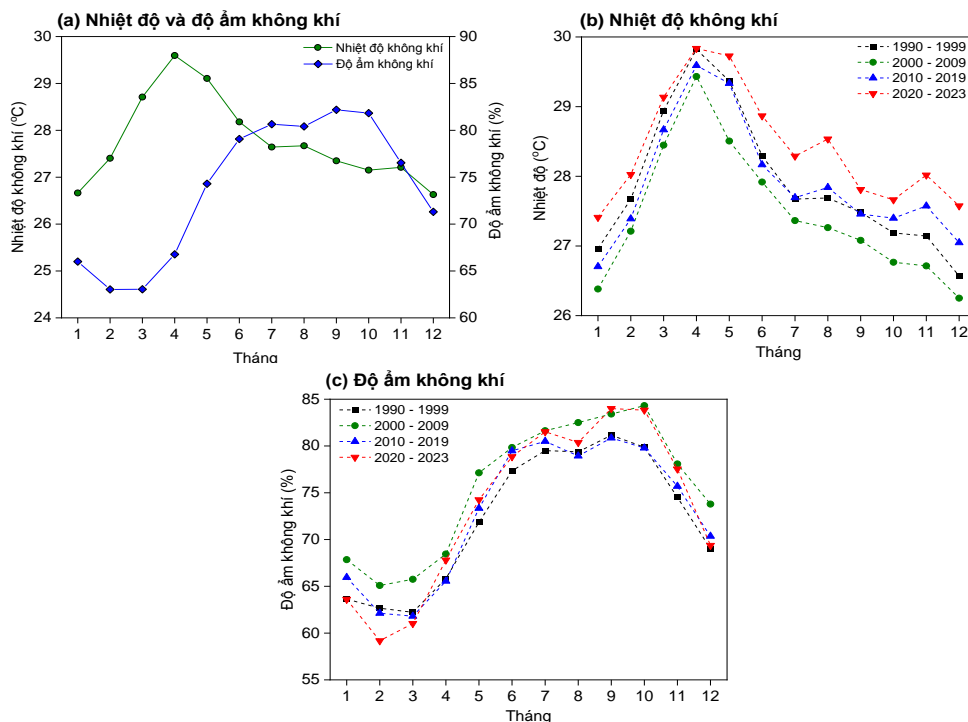
Hình 2. Sự thay đổi của chỉ số nhiệt tại thành phố Hồ Chí Minh theo từng năm.

Chí Minh được trình bày trong hình 3. Giá trị trung bình theo tháng của HI giai đoạn năm 1990-1999, 2000-2009, 2010-2019, và 2020-2023 khá tương đồng nhau. Nhìn chung, HI đạt giá trị thấp nhất vào các tháng 1, 2, và 12 (tháng 1: 27,5°C, tháng 2: 28,2°C, và tháng 12: 27,8°C). Xu hướng thay đổi này tương ứng với sự suy giảm của nhiệt độ và độ ẩm không khí. Các tháng này có thời tiết mát mẻ, vì vậy nhiệt độ mà con người cảm nhận (chỉ số HI) là thấp nhất trong năm. Giá trị HI tăng dần từ tháng 3 (30,3°C) cho đến tháng 9 (30,1°C), giảm dần từ tháng 10 (29,6°C), và thường đạt đỉnh vào tháng 4-5 (32,6°C). Trong tháng 4 và tháng 5, nhiệt độ không khí tại thành phố Hồ Chí Minh thường cao hơn so với các tháng còn lại do ảnh hưởng của các đợt nắng nóng, đồng thời độ ẩm không khí trong các tháng này cũng gia tăng (Hình 4a). Cơ thể con người có thể tự làm mát thông qua cơ chế tiết mồ hôi, tuy nhiên, độ ẩm không khí cao có thể khiến cho cơ thể khó tiết mồ hôi hơn [17], từ đó làm gia tăng nhiệt độ cơ thể. Chỉ số HI thể hiện nhiệt độ mà con người cảm nhận được. Vì vậy, giá trị HI trong các tháng 4-5 tại thành phố Hồ Chí Minh có xu hướng cao nhất trong năm.



Hình 3. Giá trị trung bình tháng của chỉ số nhiệt giai đoạn năm 1990-2023.

Giá trị HI giảm dần từ tháng 6 cho đến cuối năm. Nhiệt độ không khí trong giai đoạn này cũng có xu hướng giảm dần (Hình 4a), có thể do tác động của các cơn mưa vì mùa mưa tại thành phố Hồ Chí Minh thường kéo dài từ tháng 5 đến tháng 11. Bên cạnh đó, những tháng có tần suất mưa nhiều và lượng mưa lớn thường rơi vào tháng 6 đến tháng 10 [18]. Các cơn mưa có thể góp phần làm giảm nhiệt độ không khí, từ đó chỉ số HI cũng suy giảm. Giai đoạn năm 2020-2023, giá trị HI vào các tháng 6-8 tăng cao hơn so với các giai đoạn khác

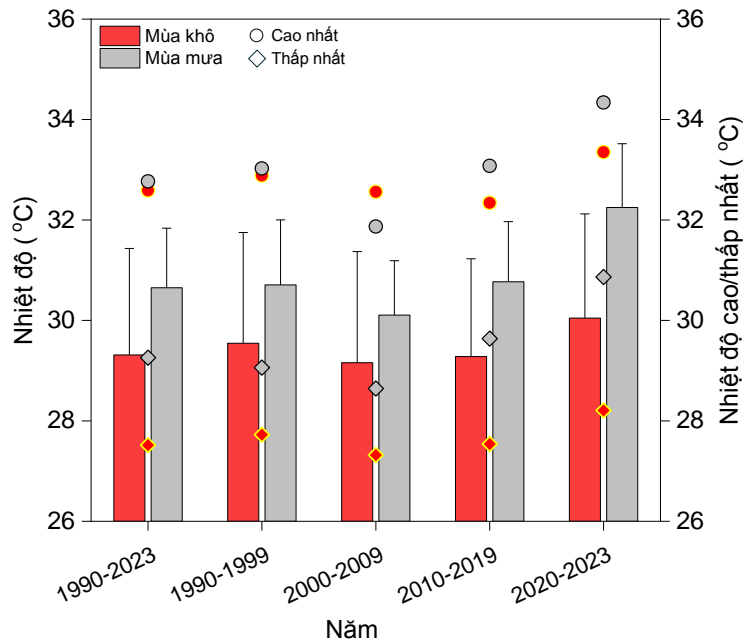


Hình 4. Giá trị trung bình tháng của nhiệt độ không khí và độ ẩm không khí tại thành phố Hồ Chí Minh giai đoạn năm 1990-2023.

(Hình 3). Nguyên nhân có thể do sự gia tăng của HI vào năm 2023, ngoài ra, HI trong các giai đoạn khác được tính trung bình trong khoảng thời gian 10 năm, do đó HI trong các giai đoạn này thấp hơn HI giai đoạn 2020-2023 (3 năm).

Vào năm 2020-2023, chỉ số HI trong các tháng 6-8 cao hơn giai đoạn cùng kỳ của các năm trước đó khoảng 2-3°C (Hình 3). Điều này có thể do sự gia tăng của nhiệt độ không khí và đặc biệt là độ ẩm không khí trong tháng 6-8 của năm 2020-2023 so với các giai đoạn khác (Hình 4c). Khi độ ẩm không khí tăng cao, chẳng hạn như trên 80% thì chúng ta có thể cảm thấy nóng bức hơn do cơ thể khó tiết mồ hôi [17]. Tuy nhiên, cần có sự phân tích chỉ số HI theo giai đoạn dài hơn, chẳng hạn như năm 2020-2030, để có sự đánh giá và so sánh chính xác hơn chỉ số HI giai đoạn này so với các giai đoạn 10 năm trước đó.

Hình 5 thể hiện diễn biến giá trị chỉ số nhiệt theo mùa khô và mùa mưa trong các giai đoạn 1990-2023, 1990-1990, 2000-2009, 2010-2020 và 2020-2023. Mùa khô bắt đầu từ tháng 12 cho đến tháng 4 của năm tiếp theo, và mùa mưa bao gồm các tháng 5-11. Nhìn chung, giá trị trung bình của chỉ số nhiệt vào mùa mưa và mùa khô lần lượt dao động trong khoảng 30,1-32,2°C và 29,2 -30,1°C. Vào mùa khô, giá trị trung bình của HI giảm có thể do nhiệt độ trong vài tháng mùa khô, chẳng hạn như tháng 12, tháng 1, và tháng 2, thường thấp nhất trong năm. Thời tiết trở nên mát mẻ hơn và làm cho nhiệt độ mà con người cảm nhận (chỉ số HI) cũng thấp hơn.



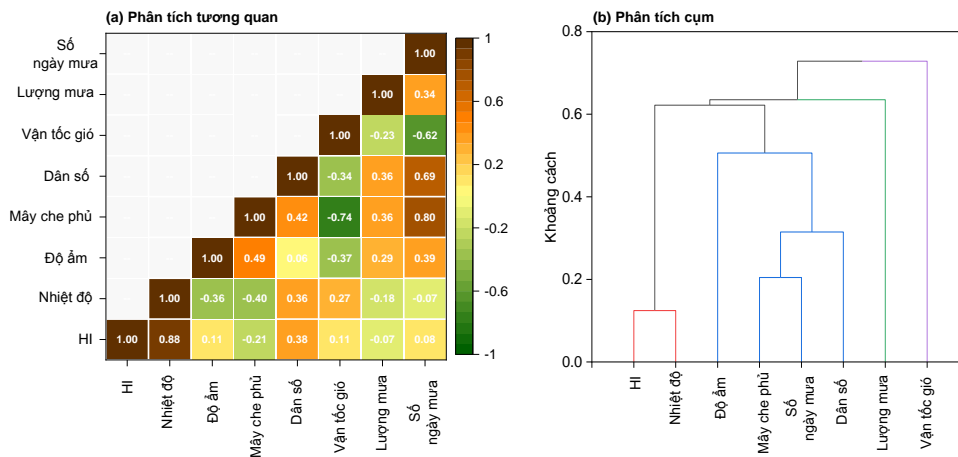
Hình 5. Giá trị trung bình của chỉ số nhiệt theo mùa.

3.2. Xu thế biến đổi của chỉ số nhiệt ở các ngưỡng tác động đến sức khỏe con người và ảnh hưởng của một số yếu tố đến chỉ số nhiệt

Nhìn chung, giá trị trung bình năm của HI tại thành phố Hồ Chí Minh dao động trong khoảng 27-32°C. Đây là ngưỡng không gây tác động xấu đến sức khỏe con người. Tuy nhiên, giá trị trung bình của HI trong các tháng 4 và tháng 5 tăng cao và thường > 32°C, thể hiện mức cảnh báo cần phải thận trọng khi hoạt động ngoài trời dưới điều kiện nắng nóng. Khi HI dao động trong khoảng 33-41°C thì có thể làm tăng nguy cơ bị chuột rút và kiệt sức do nhiệt cho sức khỏe con người. Trẻ em, người già, và những người mắc bệnh mãn tính nên tránh ra ngoài trời [4]. Vào các tháng như tháng 3 và tháng 6-10, HI dao động trong khoảng 29-31°C và mức nhiệt độ này không gây ra cảnh báo đến sức khỏe con người, tuy nhiên cần phải uống nhiều nước khi hoạt động ngoài trời.

Phân tích tương quan và phân tích cụm được thực hiện nhằm tìm hiểu sự ảnh hưởng của một số điều kiện khí tượng và yếu tố xã hội (ví dụ: số lượng dân số) đến chỉ số nhiệt (HI). Kết quả cho thấy HI có mối tương quan thuận khá cao với nhiệt độ không khí, nghĩa là khi nhiệt độ không khí tăng thì giá trị HI cũng có xu hướng tăng theo. Ngoài ra, chỉ số HI cũng có tương quan thuận với số lượng dân số (Hình 6). Sự gia tăng dân số và đô thị hóa có thể dẫn đến đảo nhiệt đô thị [19], đây là hiện tượng mà nhiệt độ tại khu vực đô thị cao hơn so với các khu vực xung quanh [20]. Do đó, dân số gia tăng gián tiếp làm tăng chỉ số nhiệt (HI). Ngoài ra, giá trị HI có tương quan nghịch với độ mây che phủ. Đây là thông số thể hiện phần

bầu trời bị mây che phủ. Trời nhiều mây và âm u thường dẫn đến mưa, và mưa giúp kéo giảm nhiệt độ không khí, từ đó giảm chỉ số HI.



Hình 6. Phân tích tương quan và phân tích cụm giữa chỉ số nhiệt và một số yếu tố khác.

4. Kết luận

Nghiên cứu này phân tích diễn biến của chỉ số nhiệt tại thành phố Hồ Chí Minh trong giai đoạn từ năm 1990 đến 2023. Kết quả cho thấy chỉ số HI có xu hướng tăng dần theo thời gian, đặc biệt là vào các năm có hiện tượng El Nino hoạt động mạnh như 1997-1998, 2002-2003, 2009-2010, 2018-2019, và 2023. Ngoài ra, giá trị HI có xu hướng tăng dần từ tháng 3 cho đến tháng 9 và thường đạt đỉnh vào các tháng 4 và 5. Vào các tháng này, giá trị trung bình của HI thường tăng cao hơn 32°C, thể hiện mức cảnh báo người dân cần phải thận trọng khi hoạt động ngoài trời vì nhiệt độ cao có thể làm tăng nguy cơ bị kiệt sức do nhiệt. Kết quả nghiên cứu cũng cho thấy giá trị HI có mối tương quan với nhiệt độ không khí, độ ẩm không khí và số lượng dân số.

Hạn chế của nghiên cứu này chưa đánh giá ảnh hưởng của gió trong tính toán mức nhiệt độ mà con người cảm nhận. Ngoài ra, các thông số khác như độ thông gió, diện tích phủ xanh, diện tích bề mặt không thấm,... chưa được xem xét trong phân tích đánh giá các yếu tố ảnh hưởng đến chỉ số nhiệt. Các nghiên cứu tiếp theo có thể tìm hiểu chi tiết hơn về các vấn đề này. Nhìn chung, kết quả của nghiên cứu này có thể làm cơ sở cho các nghiên cứu tiếp theo về đánh giá xu hướng của nhiệt độ và chỉ số nhiệt tại khu vực thành phố Hồ Chí Minh.

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

Lời cảm ơn: Bài báo hoàn thành nhờ sự hỗ trợ của Đại học Sài Gòn.

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.

Tài liệu tham khảo

- Đức, V. Chuối ngày nắng nóng dài kỷ lục ở Sài Gòn. Journal, 2024. Trục tuyến: <https://vnexpress.net/chuoi-ngay-nang-nong-dai-ky-luc-o-sai-gon-4739003.html>.
- Phung, D.; Chu, C.; Rutherford, S.; Nguyen, H.L.T.; Do, C.M.; Huang, C. Heatwave and risk of hospitalization: A multi-province study in Vietnam. *Environ. Pollut.* **2017**, *220*, 597–607.
- Kovats, R.S.; Hajat, S. Heat stress and public health: A critical review. *Annu. Rev. Public Health.* **2008**, *29*, 41–55.

4. US-NOAA. The Heat Index Equation. 2022. Available online: https://www.wpc.ncep.noaa.gov/html/heatindex_equation.shtml (Accessed on 27 September 2022).
5. Hoang, T.L.; Dao, H.N.; Cu, P.T.; Tran, V.T.; Tong, T.P.; Hoang, S.T.; Vuong, V.V.; Nguyen, T.N. Assessing heat index changes in the context of climate change: a case study of Hanoi (Vietnam). *Front. Earth Sci.* **2022**, *10*, 897601.
6. Li, X.X. Heat wave trends in Southeast Asia during 1979-2018: The impact of humidity. *Sci. Total Environ.* **2020**, *721*, 137664.
7. Vargas, Z.L.R.; Raftery, A.E.; Battisti, D.S. Probabilistic projections of increased heat stress driven by climate change. *Commun. Earth Environ.* **2022**, *3*, 183.
8. Delworth, T.L.; Mahlman, J.D.; Knutson, T.R. Changes in heat index associated with CO₂-induced global warming. *Clim. Change.* **1999**, *43*, 369–386.
9. Kim, H.; Ha, J.S.; Park, J. High temperature, heat index, and mortality in 6 major cities in South Korea. *Arch. Environ. Occup. Health.* **2006**, *61*, 265–270.
10. Opitz, S, S.; Sabbag, L.; Hawley, K.; Tran, P.; Hoang, L.; Nguyen, P.H. Heat index trends and climate change implications for occupational heat exposure in Da Nang, Vietnam. *Clim. Serv.* **2016**, *2–3*, 41–51.
11. Vu, N.; Ngo, D.T. Spatial Distribution and trends of heat stress in Vietnam. *Environ. Nat. Resour. J.* **2023**, *93–104*.
12. Hằng, P.M.; Dung, T.T.; Quang, N.Đ. Ảnh hưởng của áp thấp Nam Á và áp cao cận nhiệt đới Tây Thái Bình Dương đến diễn biến nắng nóng tại khu vực Bắc Trung Bộ thời kỳ 2010-2015. *Tap chí Khí tượng Thủy văn* **2017**, *674*, 46–52.
13. Steadman, R.G. The assessment of sultriness. Part II: effects of wind, extra radiation and barometric pressure on apparent temperature. *J. Appl. Meteorol.* **1979**, *1962-1982*, 874–885.
14. Rothfus, L.P.; Headquarters, N.S.R. The heat index equation (or, more than you ever wanted to know about heat index). Fort Worth, Texas: National Oceanic and Atmospheric Administration, National Weather Service, Office of Meteorology. **1990**, *9023*, 640.
15. Lawrence, M.G. The relationship between relative humidity and the dewpoint temperature in moist air: A simple conversion and applications. *Bull. Am. Meteorol. Soc.* **2005**, *86*, 225–234.
16. Stojanovic, M.; Liberato, M.L.; Sorí, R.; Vázquez, M.; Phan, V.T.; Duong, H.V.; Hoang, C.T.; Nguyen, P.N.; Nieto, R.; Gimeno, V. Trends and extremes of drought episodes in Vietnam sub-regions during 1980-2017 at different timescales. *Water* **2020**, *12*, 813.
17. Han, Q.; Liu, Z.; Jia, J.; Anderson, B.T.; Xu, W.; Shi, P. Web-based data to quantify meteorological and geographical effects on heat stroke: Case study in China. *GeoHealth* **2022**, *6*, e2022GH000587.
18. Phuong, D.N.D.; Linh, V.T.; Nhat, T.T.; Dung, H.M.; Loi, N.K. Spatiotemporal variability of annual and seasonal rainfall time series in Ho Chi Minh city, Vietnam. *J. Water Clim. Change.* **2019**, *10*, 658–670.
19. Manoli, G.; Fatichi, S.; Schlöpfer, M.; Yu, K.; Crowther, T.W.; Meili, N.; Burlando, P.; Katul, G.G.; Zeid, E.B. Magnitude of urban heat islands largely explained by climate and population. *Nature* **2019**, *573*, 55–60.
20. Estoque, R.C.; Murayama, Y.; Myint S.W. Effects of landscape composition and pattern on land surface temperature: An urban heat island study in the megacities of Southeast Asia. *Sci. Total Environ.* **2017**, *577*, 349–359.

Long-term observation of heat index in Ho Chi Minh City from 1990 to 2023

Nguyen Thi Tuyet Nam^{1*}

¹ Faculty of Environment, Saigon University; ntnam@sgu.edu.vn

Abstract: This study aims to evaluate the temporal variations in heat index (HI) in Ho Chi Minh City over 33 years (1990-2023). HI is an indicator reflecting the actual temperature perceived by humans. The results showed that the annual mean values of HI ranged from 27 to 32°C. Additionally, HI values tended to increase over the study period, with the peaks in the years 1997-1998, 2002-2003, 2009-2010, 2018-2019, and 2023. Moreover, HI values tended to gradually increase from March to September, decrease towards the end of the year, and typically peak in April-May. The mean HI values commonly peaked in April-May and tended to exceed 32°C, indicating an extreme caution for outdoor activities. This study also revealed that HI values had positive correlation with ambient air temperature and humidity, as well as negative correlation with cloud cover. This study contributes to understanding of heat index trend in the city and supports for further research investigating temporal trend of air temperature and HI in the area.

Keywords: Temperature index; HI; Ho Chi Minh city; 1990-2023.

Bài báo khoa học

Nghiên cứu ảnh hưởng của bố trí không gian đê giảm sóng đối với chế độ thủy động lực học tại bờ biển huyện Ba Tri tỉnh Bến Tre

Trần Phương Chiến^{1*}, Nguyễn Văn Dũng¹, Nguyễn Đình Chinh¹, Lê Anh Kiên¹, Nguyễn Văn Sơn¹, Mai Hoàn Thành², Dương Hồng Vũ³, Lâm Văn Tân⁴, Trần Bích Lũy⁴

¹ Viện Nhiệt đới môi trường; phuongchien0604@gmail.com; dunghvktqsk48@gmail.com; 2ndchinh@gmail.com; anhkienle@gmail.com; sonvittep@gmail.com

² Viện Khoa học Thủy lợi miền Nam; thanhmh23@wru.vn

³ UBND huyện Ba Tri, tỉnh Bến Tre; hongvutnmtbatri@gmail.com

⁴ Sở Khoa học và Công nghệ tỉnh Bến Tre; lvtan.skhcn@bentre.gov.vn; tbluy.skhcn@bentre.gov.vn

*Tác giả liên hệ: phuongchien0604@gmail.com; Tel.: +84-962334646

Ban Biên tập nhận bài: 28/5/2024; Ngày phản biện xong: 11/7/2024; Ngày đăng bài: 25/12/2024

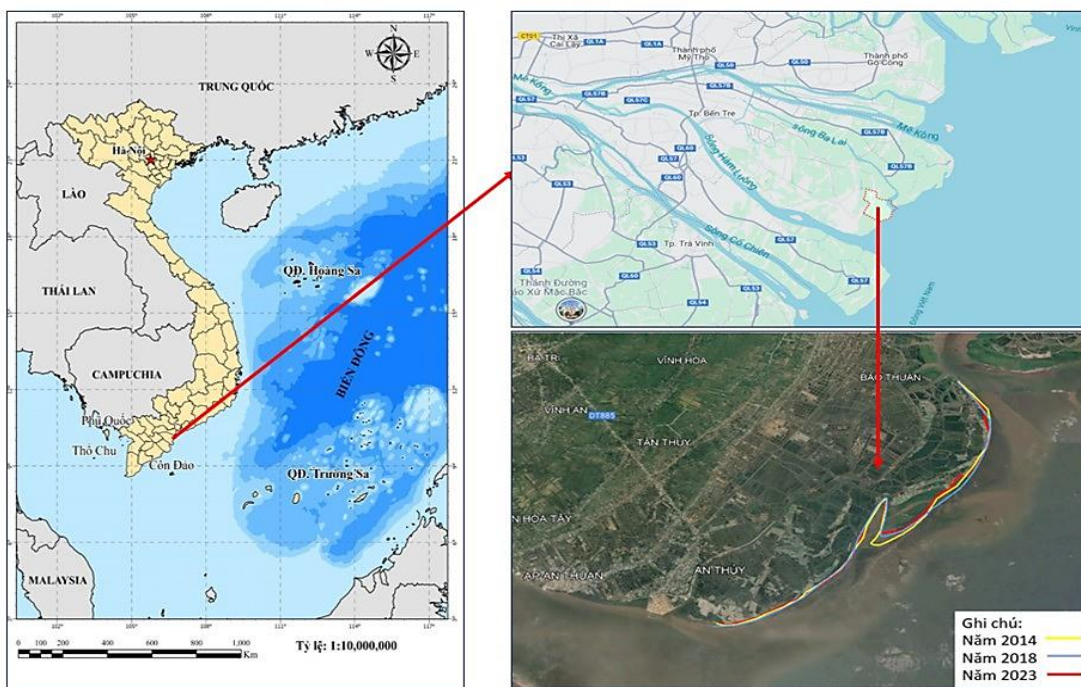
Tóm tắt: Bài báo này trình bày các kết quả nghiên cứu về đặc trưng chế độ thủy động lực khu vực bờ biển Ba Tri tỉnh Bến Tre và ảnh hưởng của bố trí không gian đê giảm sóng kết cấu mềm đối với chế độ thủy động lực học tại bờ biển này. Phương pháp phân tích bằng mô hình toán MIKE21-FM trên cơ sở dữ liệu được tổng hợp từ các nguồn tin cậy khác nhau để tính toán chế độ thủy động lực bao gồm chế độ mực nước, dòng chảy và sóng gió mùa cho 1 năm gió mùa giai đoạn từ 2014-2015. Kết quả tính toán cho thấy khu vực chịu tác động của chế độ thủy động lực biển Đông. Chế độ sóng gió mùa khu vực ven biển Ba Tri, tỉnh Bến Tre có hai mùa rõ rệt, mùa gió Tây Nam từ tháng 5 đến giữa tháng 10, mùa gió Đông Bắc từ tháng 11 đến tháng 4 năm sau. Vào mùa gió Tây Nam chiều cao sóng trong thời kỳ này ven biển Tây là khoảng 0,3-0,6 m, trong khi đó mùa Đông Bắc chiều cao sóng khoảng 0,7-1,5 m. Tần suất xuất hiện sóng cao chủ đạo trong thời kỳ gió mùa Đông Bắc, hướng sóng gần như trực diện hoặc xiên góc với đường bờ tạo ra dòng chảy ven bờ gây ra xói lở phía bờ Bắc khu vực bờ biển huyện Ba Tri. Bài báo đã nghiên cứu các ảnh hưởng của bố trí không gian đê giảm sóng mềm đến chế độ thủy động của bãi biển để lựa chọn phương án bố trí không gian tối ưu. Kết quả cho thấy tuyến công trình bố trí cách bờ biển từ 120 -150m cho hiệu quả giảm sóng và dòng chảy đáp ứng yêu cầu kỹ thuật cho chức năng giảm sóng và gây bồi của công trình.

Từ khóa: Mike 21; Breakwaters; Geotube; Xói lở bờ biển; Ba Tri, Bến Tre.

1. Đặt vấn đề

Vùng ven biển tỉnh Bến Tre nằm ở hạ lưu sông Mekong là một trong những địa phương chịu ảnh hưởng nặng nề nhất bởi tình trạng xói lở bờ biển [1–2]. Với đường bờ biển dài khoảng 65 km, bờ biển Bến Tre không chỉ phải đối mặt với sự xói lở do sóng biển, thủy triều mà còn chịu tác động của suy giảm bùn cát thượng nguồn. Tại khu vực nghiên cứu vùng biển huyện Ba Tri, tỉnh Bến Tre có tốc độ xói lở từ 10-15 m/năm theo phân tích hình ảnh Google Earth giai đoạn 2014-2023 (Hình 1). Để bảo vệ bờ biển, khôi phục rừng ngập mặn các giải pháp đã thực hiện ở vùng biển tỉnh Bến Tre như: kè lát mái bảo vệ bờ trực tiếp, đê giảm sóng xa bờ bằng Geotube, kết cấu kè cọc ly tâm kết hợp đá học giảm sóng. Trong những giải pháp

trên, giải pháp đê giảm sóng xa bờ bằng ống địa kỹ thuật Geotube đang nổi lên như một phương án mới với tính hiệu quả, độ bền cao và giá thành thấp. Đê mềm giảm sóng là các ống địa kỹ thuật được lắp đặt song song với bờ biển, chúng có khả năng hấp thụ năng lượng sóng và bảo vệ đất đai khỏi sự xói mòn. Sự khác biệt về đặc điểm thủy động lực phía trước, phía sau giữa các đê chắn sóng đã được quan sát bởi quan nhiều nghiên cứu. Nghiên cứu [3] đã áp dụng các quả bóng thạch cao vào tetrapod đê chắn sóng trên đảo Okinawa, Nhật Bản, cho thấy những quả bóng thạch cao ở phía trước các đê chắn sóng nhỏ hơn so với được lắp đặt ở sau của đê chắn sóng. Nghiên cứu [4] phát hiện ra rằng đê chắn sóng tách rời nổi lên ở Bãi biển Baltim, Ai Cập, gây ra sự hình thành nổi bật và Tombolo, hạn chế dòng nước ở phía khuất gió của đê chắn sóng tạo ra các dòng xoáy nghiêm trọng với tốc độ rất cao. Vùng có năng lượng sóng giảm phía sau đê chắn sóng hoặc dòng chảy xa bờ giữa các đê chắn sóng có thể ảnh hưởng hoạt động tắm biển và du lịch [5]. Tương tự, nghiên cứu [6] đã cố gắng điều chỉnh cách bố trí giảm dòng chảy giữa các khoảng trống và phía sau đê. Tại nhiều khu vực bờ biển thực hiện giải pháp này cho thấy hiệu quả giảm xói mòn, gây bồi tụ trong thời gian ngắn [7–11]. Hiệu quả của giải pháp này cũng đã được chứng minh tại khu vực bờ biển huyện Thạnh Phú, tỉnh Bến Tre. Sau chỉ một năm triển khai, đã ghi nhận sự bồi tụ đáng kể, điều này không chỉ giúp giảm thiểu sự xói mòn mà còn bảo vệ hệ sinh thái ven biển và cung cấp lợi ích bền vững cho địa phương. Kết quả nghiên cứu cho khuyến nghị phạm vi đặt công trình khá rộng từ 1,0 đến 1,5 lần chiều dài sóng nước sâu [12]. Vì vậy, cần phải nghiên cứu bố trí không gian cho từng vùng bờ biển để đảm bảo hiệu quả về mặt kỹ thuật cũng như kinh tế, cụ thể đối với bờ biển huyện Ba Tri. Do đó, trong bài báo này nghiên cứu chi tiết tác động của bố trí không gian công trình đê giảm sóng đến chế độ thủy động lực bằng phương pháp mô hình toán bằng phần mềm Mike (Bộ mô hình MIKE21/3 Coupled FM) để lựa chọn phương án bố trí không gian tối ưu tại bờ biển Ba Tri, tỉnh Bến Tre bằng kết cấu đê giảm sóng mềm Geotube.



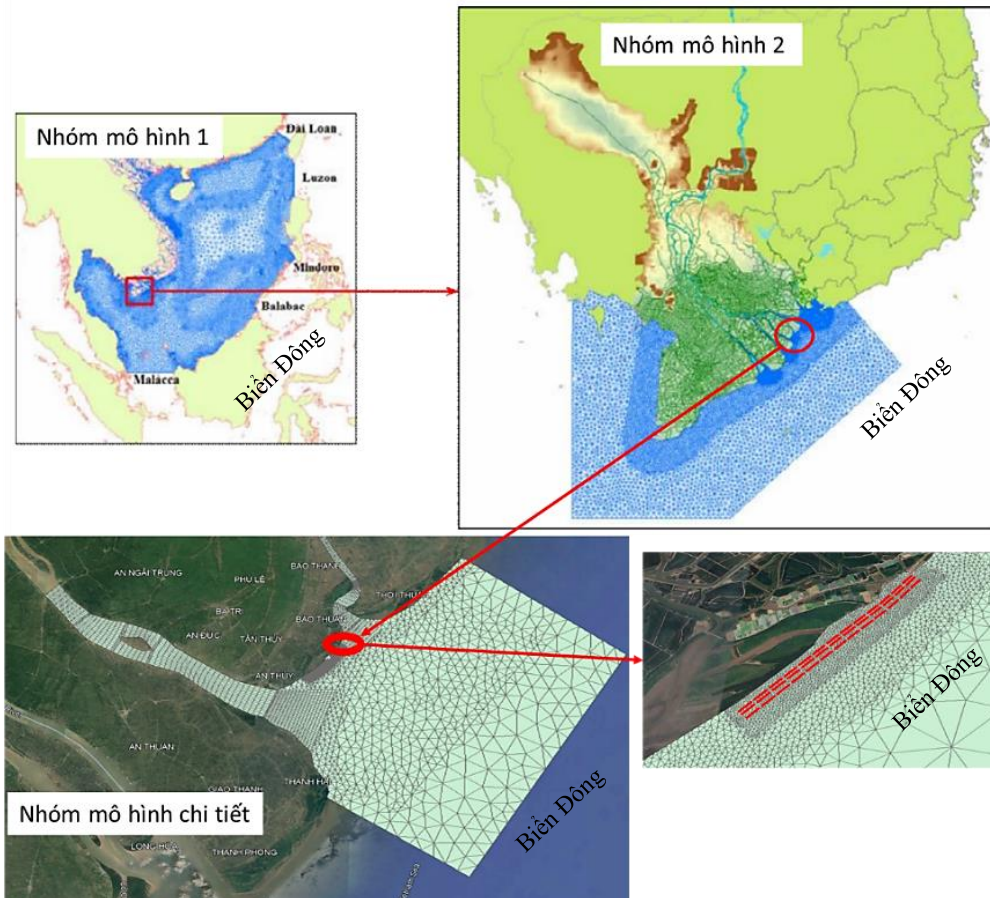
Hình 1. Diễn biến đường bờ biển huyện Ba Tri tỉnh Bến Tre giai đoạn 2014-2023.

2. Phương pháp nghiên cứu và kịch bản mô phỏng

2.1. Phương pháp nghiên cứu và thiết lập mô hình

Nghiên cứu sử dụng phương pháp mô hình toán bằng phần mềm Mike (Bộ mô hình MIKE21/3 Coupled FM) với 2 mô đun kết hợp giữa các mô đun tính toán mực nước, dòng chảy (Mike21 HD FM), mô đun tính toán sóng (Mike21 SW FM) với lưới phi cấu trúc (phần

tử hữu hạn) phù hợp tốt với đường bờ và địa hình đáy phức tạp và đặc biệt trong việc bố trí không gian công trình dạng đê giảm sóng.



Hình 2. Phương pháp thiết lập mô hình nghiên bờ biển huyện Ba Tri (Bến Tre).

Phương pháp thiết lập mô hình nghiên tính toán chế độ thủy động lực cho bờ biển huyện Ba Tri (Bến Tre) (Hình 2). Trong đó, nhóm mô hình 1 và nhóm mô hình 2 cho ĐBSCL được thiết lập và kiểm định bởi [13, 14]. Mục đích của nhóm mô hình 1 là mô phỏng chế độ dòng chảy (thủy triều, dòng chảy ven bờ) và chế độ sóng nhằm cung cấp biên mở phía biển cho các mô hình với phạm vi nhỏ hơn (nhóm mô hình 2). Nhóm mô hình 2 bao gồm các mô hình: 1D cho hệ thống sông kênh Mekong và Sài Gòn - Đồng Nai, và 2D cho vùng nghiên cứu mở rộng phía biển từ Bà Rịa - Vũng Tàu đến Campuchia. Kết quả của mô hình này được dùng để trích xuất biên cho mô hình nghiên cứu chi tiết (nhóm mô hình chi tiết). Mô hình chi tiết xây dựng vùng nghiên cứu từ huyện Bình Đại đến huyện Thạnh Phú tỉnh Bến Tre nhằm đánh giá chế độ thủy động lực học chi tiết hiện trạng vùng nghiên cứu từ đó tìm ra ảnh hưởng của tác động công trình tới chế độ thủy động lực học vùng công trình bảo vệ.

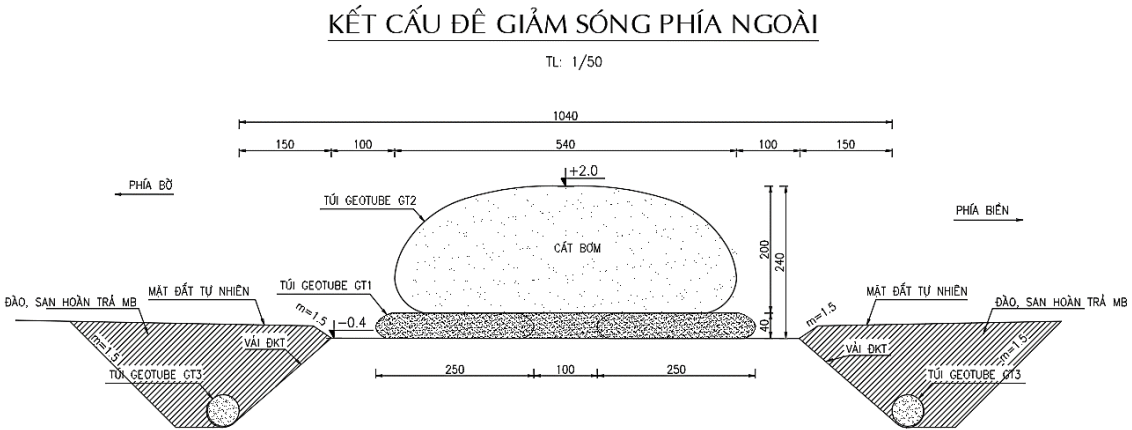
2.2 Các kịch bản mô phỏng tính toán

Mục đích của nghiên cứu để đánh giá chế độ thủy động lực tại vùng bờ biển huyện Ba Tri, tỉnh Bến Tre gây ra nguyên nhân xói lở và nghiên cứu bố trí không gian công trình phù hợp đáp ứng yêu cầu đảm bảo về khả năng giảm sóng gây bồi. Giải pháp bảo vệ chống xói lở khu vực bờ biển huyện Ba Tri tỉnh Bến Tre là kết cấu đê giảm sóng túi Geotube, tuyến công trình bố trí song song với bờ, thông số dự kiến mô phỏng như sau:

| | |
|--------------------------------------|----------|
| Cao trình đỉnh đê giảm sóng mô phỏng | : +1,5 m |
| Chiều dài mỗi đoạn đê | : 150 m |
| Khoảng cách giữa cách đê | : 20 m |
| Kịch bản bố trí công trình: | |

Bảng 1. Các kịch bản công trình đề xuất trong nghiên cứu tại vùng biển huyện Ba Tri.

| STT | Tên kịch bản | Thông số kỹ thuật tuyến đê song song bờ | | | Năm khí hậu tính toán |
|-----|-----------------------------|---|-----------------------|------------------|-----------------------|
| | | Chiều dài tuyến (m) | Khoảng cách từ bờ (m) | Cao trình đê (m) | |
| 1 | Hiện trạng | | | | năm 2014 - năm 2025 |
| 2 | PA1 | 2000 | 120 | 1,5 | |
| 3 | PA2 | 2000 | 150 | 1,5 | |
| 4 | PA3 | 2000 | 180 | 1,5 | |
| 5 | PA4 (công trình thử nghiệm) | 150 | 120 | 1,5 | |



Hình 3. Cắt ngang điển hình hình kết cấu đê giảm sóng.

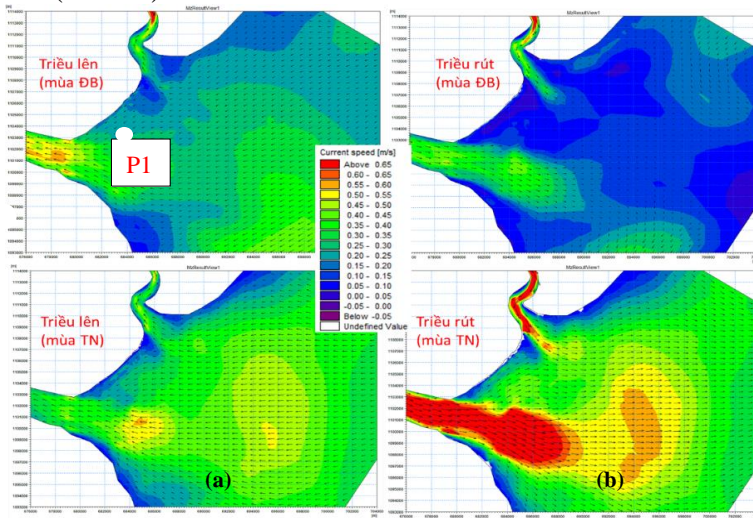
3. Kết quả và thảo luận

3.1. Hiệu chỉnh và kiểm định mô hình

Các mô hình thiết lập được hiệu chỉnh và kiểm định với số liệu thực đo, trong đó, các mô hình lớn được thiết lập và đã được kiểm định bởi [13, 14].

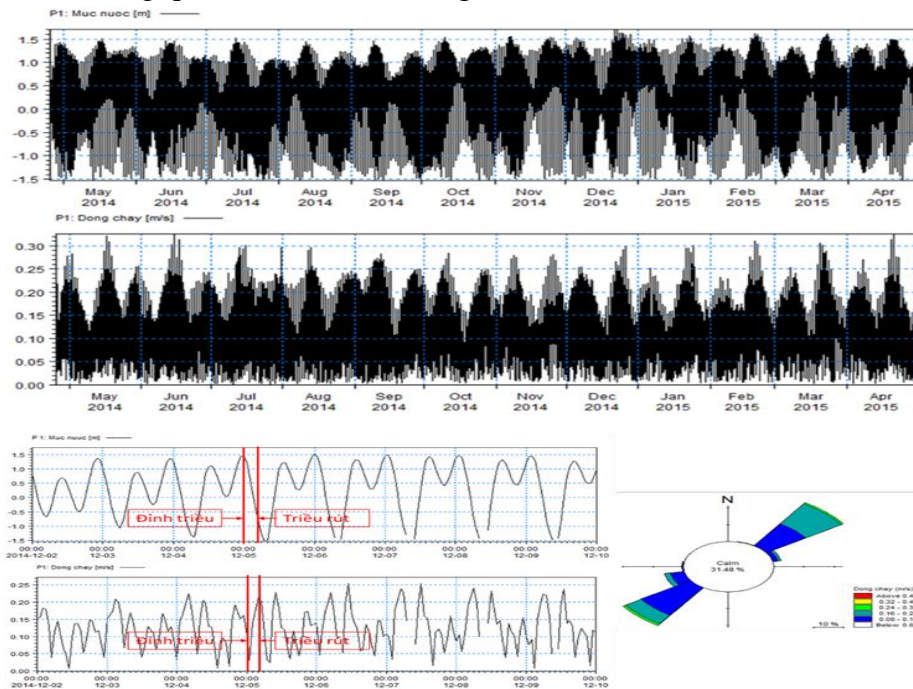
3.2. Kết quả nghiên cứu dòng chảy ven biển huyện Ba Tri

Kết quả cho thấy dòng chảy ven biển huyện Ba Tri có giá trị lớn ở khu vực cửa sông, đặc biệt trong mùa gió Tây Nam tương ứng với thời gian lũ thượng nguồn khi triều rút, vận tốc dòng chảy khu vực cửa sông là trên 0,65 m/s, mùa Đông Bắc vận tốc dòng chảy chỉ khoảng 0,4-0,5 m/s (Hình 4).



Hình 4. Phân bố trường dòng chảy tổng hợp tại khu vực ven biển huyện Ba Tri, tỉnh Bến Tre mùa Đông Bắc và Tây Nam khi triều lên (a) và khi triều xuống (b).

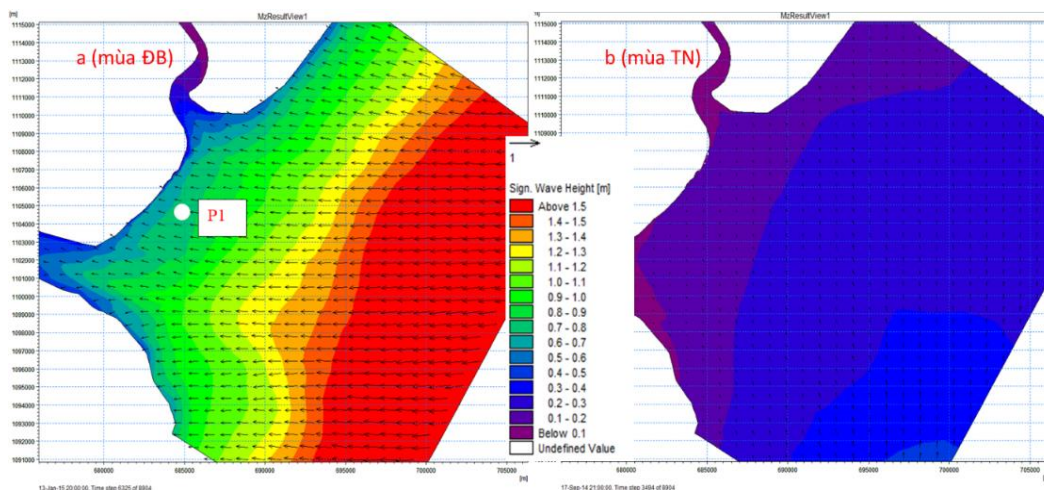
Huyện Ba Tri (Bến Tre) chịu chi phối mạnh chế độ triều biển Đông, thuộc dạng bán nhật triều không đều, chế độ dòng chảy cửa sông. Theo số liệu quan trắc cũng như kết quả tính toán của mô hình cũng như các số liệu các trạm thực đo gần khu vực này, biên độ triều trong vùng nghiên cứu khá lớn: từ 3,0 -3,5 m trong thời kỳ triều cường và từ 1,0 ÷ 1,5 m trong thời kỳ triều kém. Hình 3 trình bày kết quả mô phỏng trường dòng chảy tổng hợp tại thời điểm triều rút và triều lên, đường quá trình lưu tốc và mực nước tổng hợp tại vị trí P1 tại Hình 5 cho thấy dòng chảy tại bờ biển chịu ảnh hưởng chính của chế độ thủy triều, dòng chảy tại khu vực Ba Tri không quá lớn, khi triều xuống đạt 0,25 m/s.



Hình 5. Quá trình mực nước và dòng chảy từ tháng 5/2014 đến tháng 4/2015.

3.3. Kết quả mô phỏng chế độ sóng

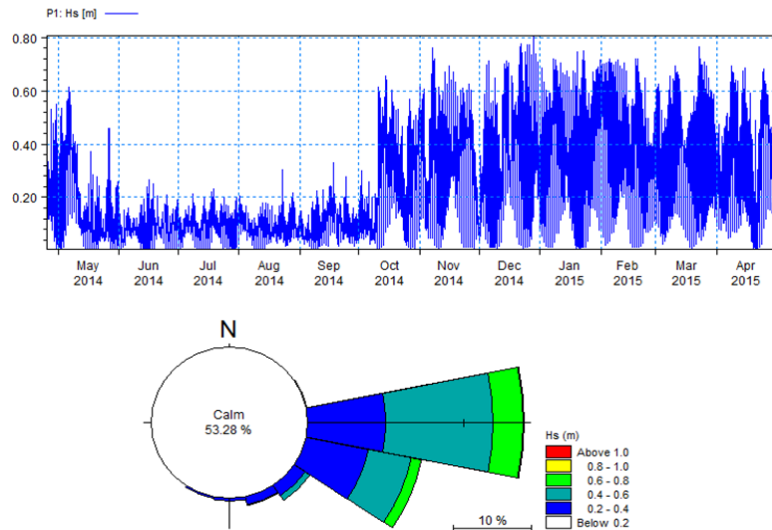
Hình 6 trình bày kết quả tính toán vùng nghiên cứu chi tiết cho năm khí hậu 2014-2015. Chế độ sóng theo mùa ở vị trí P1 ven biển Ba Tri, tỉnh Bến Tre có hai mùa rõ rệt, mùa gió Tây Nam từ tháng 5 đến giữa tháng 10, mùa gió Đông Bắc từ tháng 11 đến tháng 4 năm sau. Vào mùa gió Tây Nam chiều cao sóng trong thời kỳ này ven biển Tây là khoảng 0,3-0,6 m, trong khi đó con số này trong thời kỳ gió mùa Đông Bắc khoảng 0,7-1,5 m.



Hình 6. Phân bố trường sóng vùng nghiên cứu chi tiết đặc trưng cho (a) mùa gió Đông Bắc và (b) mùa gió Tây Nam (phía dưới lần lượt là các biểu đồ chiều cao sóng có nghĩa tại vị trí P1 có thể hiện thời điểm trích xuất trường sóng tương ứng ở trên).

Tần suất xuất hiện sóng lớn thời kỳ gió mùa Đông Bắc là rất lớn, hướng sóng gần như trực diện bờ. Chính vì vậy, đây là một trong những nguyên nhân chính gây xói lở bờ biển vùng này. Sóng hoạt động yếu hơn trong thời kỳ gió mùa Tây Nam.

Kết quả tính toán cho thấy hướng sóng chủ yếu là hướng Đông và Đông Nam, trong đó hướng Đông là chính (5). Hướng sóng tạo thành với đường bờ có hướng xiên góc xuống phía Nam tạo nên dòng chảy ven bờ theo hướng Bắc Nam là nguyên nhân chính gây ra xói lở tại khu vực tính toán (Hình 7).

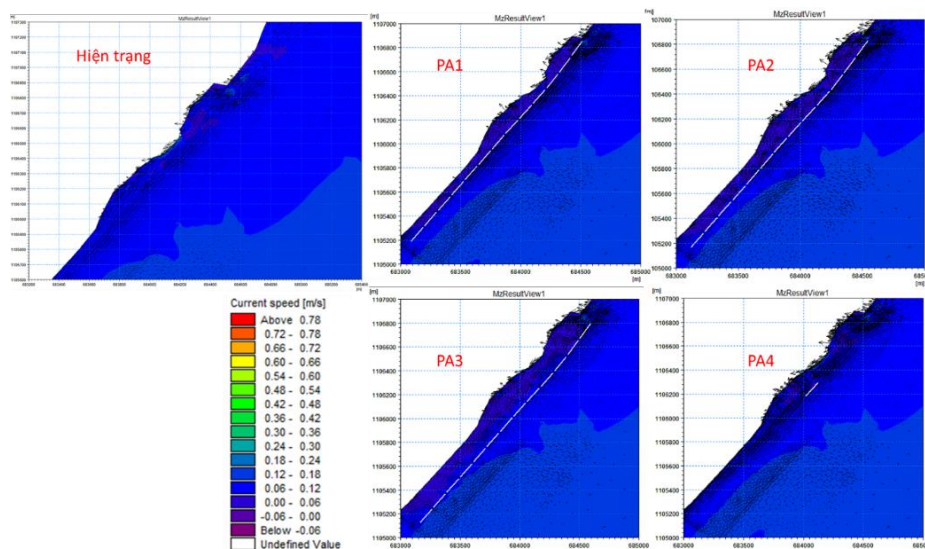


Hình 7. Diễn biến chiều cao sóng tại khu vực nghiên cứu mùa Tây Bắc và Đông Nam.

3.4. Kết quả tính toán đánh giá hiệu quả suy giảm dòng chảy và sóng của đê giảm sóng túi Geotube

3.4.1. Kết quả phân tích hiệu quả suy giảm dòng chảy

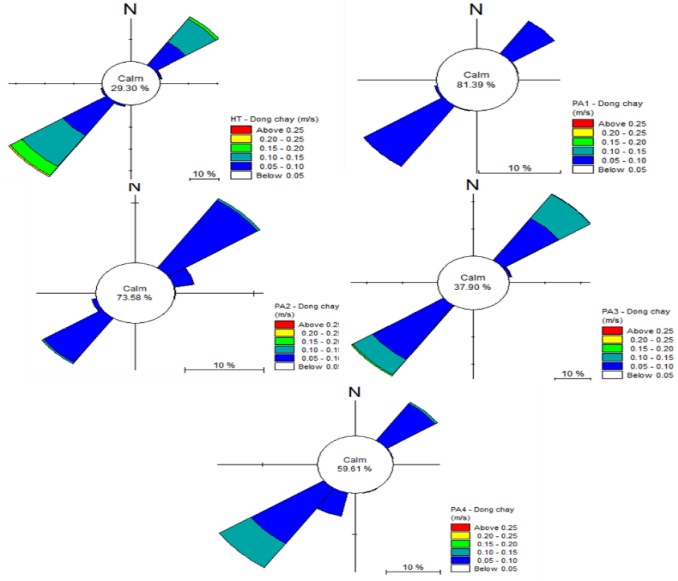
Kết quả tính toán thể hiện trong Hình 8 và Hình 9 cho thấy hiệu quả giảm lưu tốc dòng chảy tại khu vực Ba Tri theo từng kịch bản tính toán. So sánh các kịch bản PA1, PA2 và PA3 khi bố trí cùng tuyến công trình dài 2 km, với các khoảng cách bờ và khoảng hở khác nhau thì cho hiệu quả khác nhau. Kết quả hoa dòng chảy vùng ven bờ trích xuất tại điểm P1 (Hình 6) cho thấy phương án 1 cho kết quả tốt nhất, tốc độ dòng chảy ven bờ được khống chế không vượt quá 0,1 m/s, tỷ lệ dòng chảy nhỏ hơn 0,05m/s chiếm 81,39%, tăng 52,09% so với phương án hiện trạng, tăng 7,81% so với phương án 2 và 43,49% so với phương án 3. Phương án 1 và 2 là cho kết quả gần giống nhau, dòng chảy ven bờ trong hai kịch bản này chỉ còn khoảng 0,3 m/s so với hiện trạng con số này là 0,6 m/s. Phương 3 là cho hiệu quả thấp nhất, tuy nhiên tỷ lệ dòng chảy nhỏ hơn 0,05m/s đạt 37,9%, tăng 8,6% so với Phương án hiện



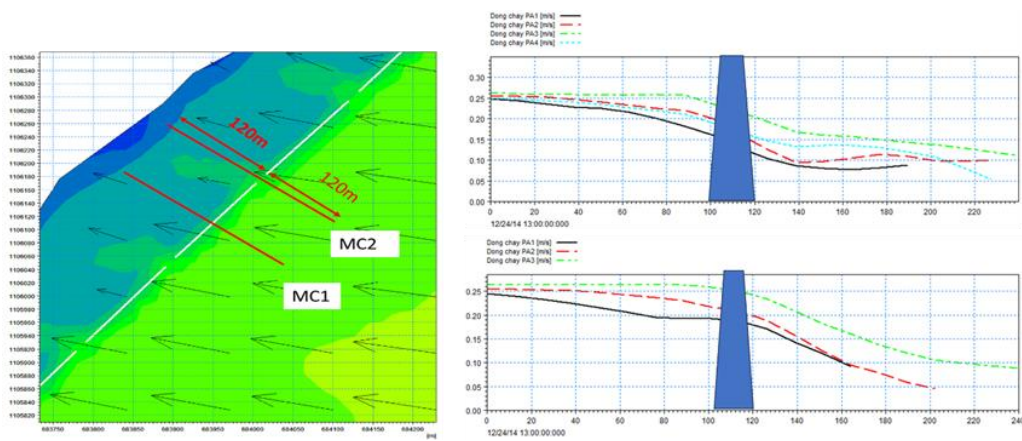
Hình 8. Phân bố trường dòng chảy tại khu vực dự án theo các kịch bản tính toán.

trạng. Như vậy, giải pháp túi Geotube bố trí không gian theo phương án PA1,PA2,PA4 đáp ứng yêu cầu về suy giảm dòng chảy với mức độ lặn của dòng chảy > 50%, tạo điều kiện gây bồi phía sau công trình.

Cho thấy trực quan hiệu quả suy giảm dòng chảy khi đưa các phương án công trình, kết quả được trích từ 2 mặt cắt MC1 (giữa đoạn đê) và mặt cắt MC2 (giữa khoảng hồ). Dòng chảy có hướng xiên góc với công trình theo hướng Đông Bắc-Tây Nam và tốc độ khoảng 0,25 m/s, khi đi qua công trình tốc độ dòng chảy chỉ còn khoảng 0,1 m/s (Hình 10).

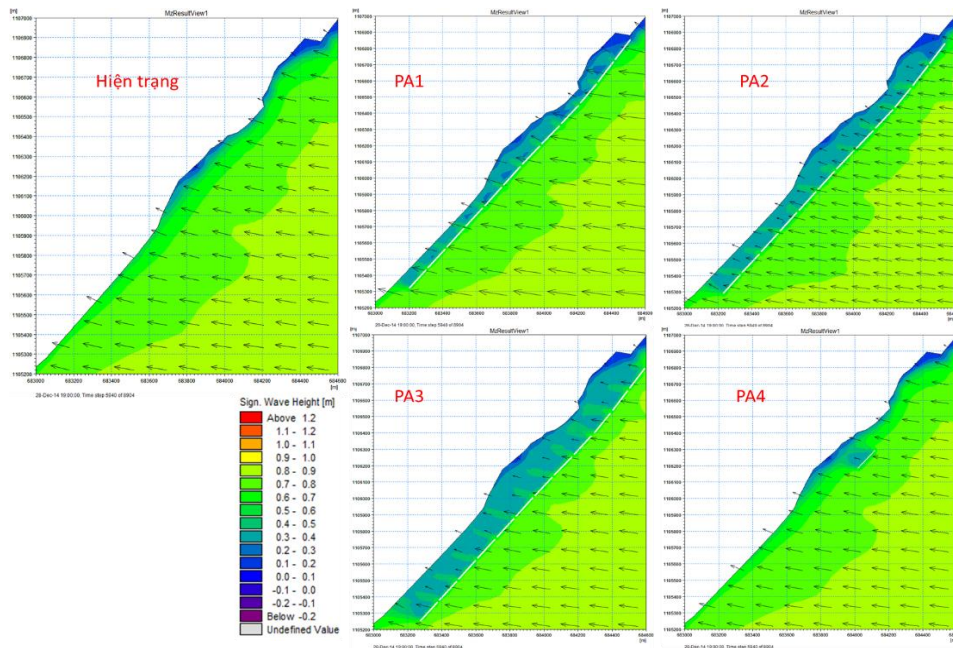


Hình 9. Hoa dòng chảy tại khu vực dự án theo các kịch bản tính toán.



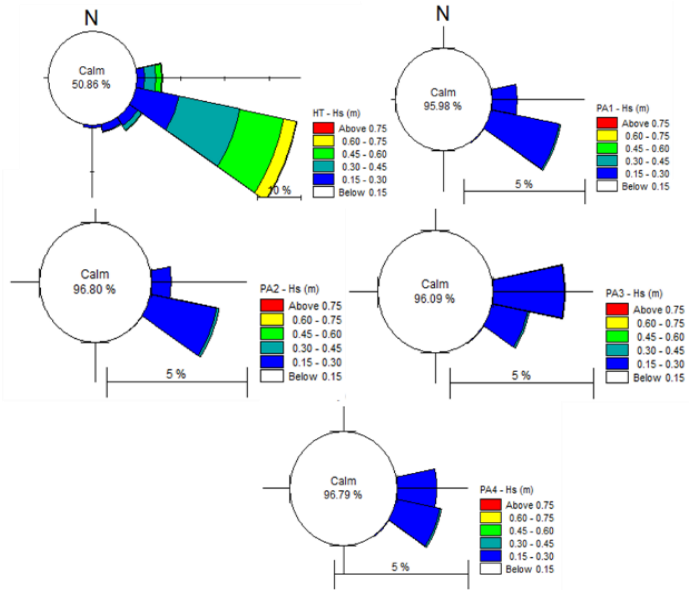
Hình 10. So sánh đường quá trình dòng chảy tổng hợp ven bờ giữa các kịch bản tính toán tại MC1 và MC2.

3.4.2. Kết quả phân tích hiệu quả giảm sóng của công trình



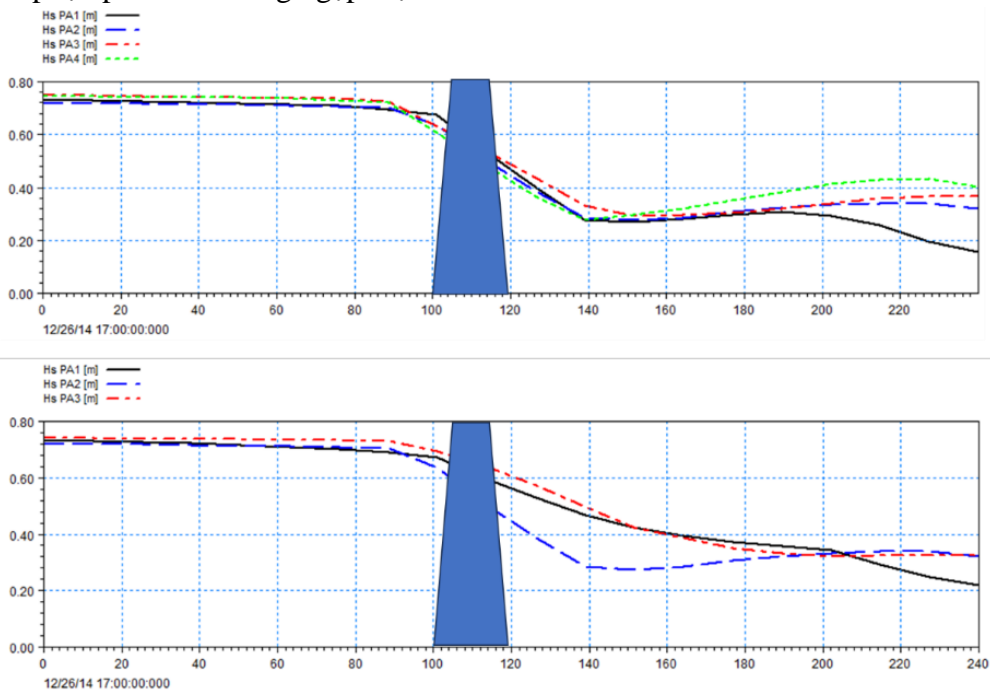
Hình 11. Kết quả tính toán chiều cao sóng theo các kịch bản tính toán.

Để xem xét hiệu quả giảm sóng giữa các kịch bản tuyến công trình như đã trình bày, tiến hành phân tích các kết quả tính toán theo các kịch bản. Hướng sóng gần như vuông góc với bờ ở tất cả các kịch bản. Kết quả hoa sóng vùng ven bờ trích xuất tại điểm P1 (Hình 12) cho thấy các phương án khi bố trí công trình đều cho hiệu quả giảm sóng tốt, tỷ lệ chiều cao sóng nhỏ hơn 0,15 m đều đạt trên 95% so với phương án hiện trạng con số này chỉ đạt 50,86%. Kết quả chiều cao sóng (Hình 10) theo các kịch bản cho thấy, khi đi qua công trình thì tại mặt cắt MC1 (giữa đoạn đê) và MC2 (giữa khoảng hở) đều cho hiệu quả giảm sóng tốt, chiều cao sóng giảm từ 0,8 m trước công trình xuống còn dưới 0,4 m sau công trình (Hình 13). Giá trị chiều cao sóng lớn nhất phía sau công trình đối với từng kịch bản công trình tổng hợp tại Bảng 2 cho thấy việc bố trí tuyến công trình từ 120-150 m đáp ứng yêu cầu khôi phục phát triển rừng ngập mặn.



Hình 12. Hoa sóng theo các kịch bản tính toán.

Kết quả chiều cao sóng (Hình 10) theo các kịch bản cho thấy, khi đi qua công trình thì tại mặt cắt MC1 (giữa đoạn đê) và MC2 (giữa khoảng hở) đều cho hiệu quả giảm sóng tốt, chiều cao sóng giảm từ 0,8 m trước công trình xuống còn dưới 0,4 m sau công trình (Hình 13). Giá trị chiều cao sóng lớn nhất phía sau công trình đối với từng kịch bản công trình tổng hợp tại Bảng 2 cho thấy việc bố trí tuyến công trình từ 120-150 m đáp ứng yêu cầu khôi phục phát triển rừng ngập mặn.



Hình 13. Đường quá trình chiều cao sóng các kịch bản tính toán tại MC1 và MC2.

Bảng 2. Tổng hợp giá trị chiều cao sóng phía sau công trình.

| STT | Tên kịch bản | Chiều cao sóng phía bờ (m) | Giá trị cho phép (m) | Kết luận |
|-----|-----------------------------|----------------------------|----------------------|-------------------|
| 2 | PA1 | 0,2 | | Đạt yêu cầu |
| 3 | PA2 | 0,3 | | Đạt yêu cầu |
| 4 | PA3 | 0,4 | < 0,4 | Không đạt yêu cầu |
| 5 | PA4 (công trình thử nghiệm) | 0,38 | | Đạt yêu cầu |

4. Kết luận

Mô hình vùng nghiên cứu chi tiết huyện Ba Tri, tỉnh Bến Tre đã được thiết lập và tính toán với kịch bản hiện trạng và các phương án tuyến công trình. Kết quả tính toán cho thấy khu vực chịu tác động của chế độ thủy động lực biển Đông như chế độ sóng, triều và tác động dòng chảy thượng nguồn. Những tác động này là nguyên chính gây ra xói lở thoái lui đường bờ biển, đặc biệt tác động xói lở do sóng biển trong thời kỳ gió mùa Đông Bắc, chiều cao sóng khoảng 0,7-1,5 m, tần suất xuất hiện sóng lớn nhiều nhất trong năm, hướng sóng gần như trực diện với bờ là những tác nhân chính gây ra xói lở.

Báo cáo đã nghiên cứu ảnh hưởng của phương án bố trí tuyến công trình giảm sóng bằng ống Geotube bảo vệ chống xói lở bờ biển đối với chế độ thủy động lực học vùng bờ biển này. Kết quả nghiên cứu bằng mô hình toán cho thấy hiệu quả suy giảm dòng chảy của các phương án xây dựng công trình giảm hơn 50% so với kịch bản hiện trạng. Đối với việc suy giảm sóng để đáp ứng yêu cầu trồng rừng (chiều cao sóng sau công trình < 0,4 m) chỉ có phương án bố trí công trình PA1, PA2 và PA4 đảm bảo yêu cầu. Qua nghiên cứu cho kiến nghị tuyến công trình đê giảm sóng bảo vệ cho bờ biển huyện Ba Tri tỉnh Bến Tre nên bố trí cách bờ từ 120-150 m đáp ứng yêu cầu thực tiễn về giảm sóng và suy giảm dòng chảy ven bờ, có khả năng triển khai nhân rộng trong thực tế.

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

Lời cảm ơn: Nghiên cứu này được tài trợ bởi Sở Khoa học và Công nghệ tỉnh Bến Tre trong đề tài theo Hợp đồng số 487/HĐ-SKHCN.

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

Tài liệu tham khảo

1. Sơn, V.H.; Thanh, N.T.; Hoàng, T.M. Đánh giá chỉ số dễ bị tổn thương bờ biển tỉnh Bến Tre. Kỷ yếu Hội nghị: Nghiên cứu cơ bản trong “Khoa học Trái đất và Môi trường, Publishing House for Science and Technology, Vietnam Academy of Science and Technology (Publications)”. **2020**, tr. 412–415. doi: 10.15625/vap.2019.000168.
2. Pham, H.T.H.; Bui, L.T. Mechanism of erosion zone formation based on hydrodynamic factor analysis in the Mekong Delta coast, Vietnam. *Environ. Technol. Innov.* **2023**, *30*. doi: 10.1016/j.eti.2023.103094.
3. Masucci, G.D.; Acierno, A.; Reimer, J.D. Eroding diversity away: Impacts of a tetrapod breakwater on a subtropical coral reef. *Aquat Conserv.* **2020**, *30(2)*, 290–302. doi: 10.1002/aqc.3249.
4. Frihy, O.E.; El Banna, M.M.; El Kolfat, A.I. Environmental impacts of Baltim and Ras El Bar shore-parallel breakwater systems on the Nile delta littoral zone, Egypt. *Environ. Geology* **2004**, *45(3)*, 381–390. doi:10.1007/s00254-003-0886-y.
5. Ferrari, M.; Carpi, L.; Pepe, G.; Mucerino, L.; Schiaffino, C.F.; Brignone, M.; Cevasco, A. A geomorphological and hydrodynamic approach for beach safety and sea bathing risk estimation. *Sci. Total Environ.* **2019**, *671*, 1214–1226. doi: 10.1016/j.scitotenv.2019.03.378.
6. Candelieri, A.; Archetti, F. Identifying typical urban water demand patterns for a reliable short-term forecasting - The ice water project approach. *Procedia Eng.* **2014**, 1004–1012. doi: 10.1016/j.proeng.2014.11.218.
7. Nugroho, D.; Yovita, I.V.; Sufyan, A.; Mahabrur, D.; Rudhy, A. The application of semi-submersible geotextile tubes for coastal protection in Pamekasan, Madura. *IOP*

- Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.* **2021**, 860(1), 012100. doi: 10.1088/1755-1315/860/1/012100.
8. Sulaiman, D.M.; Bachtiar, H.; Taufiq, A.; Hermanto. Beach profile changes due to low crested breakwaters at Sigandu beach, Central Java. *Procedia Eng.* **2015**, 116, 510–519. doi: 10.1016/j.proeng.2015.08.320.
 9. Sulaiman, R.B.R.; Mohidin, F.S.M. Establishment of Shoreline Buffer Zone through Rehabilitation of Degraded Coastal Mangroves. *MATEC Web Conf. EDP Sci.* **2018**, 203, 01019. doi: 10.1051/mateconf/201820301019.
 10. Oh, Y.I.; Shin, E.C. Using submerged geotextile tubes in the protection of the E. Korean shore. *Coastal Eng.* **2006**, 53(11), 879–895. doi: 10.1016/j.coastaleng.2006.06.005.
 11. Saengsupavanich, C.; Ariffin, E.H.; Yun, L.S.; Pereira, D.A. Environmental impact of submerged and emerged breakwaters. *Heliyon* **2022**, 8(12), e12626. doi: 10.1016/j.heliyon.2022.e12626.
 12. Tiêu chuẩn Quốc gia. TCVN 12261:2018 Công trình thủy lợi - Kết cấu bảo vệ bờ biển.
 13. Khang, N.D.; Hùng, L.M.; Thắng, T.Đ. Kiểm nghiệm việc sử dụng mô hình MIKE21 SW-FM mô phỏng chế độ sóng biển Đông. *Tap chí Khoa học và Công nghệ Thủy lợi* **2011**, 3, 15–21.
 14. Khang, N.D.; Hoàng, T.B. Chế độ vận chuyển bùn cát vùng ven biển ngoài các cửa sông Mekong và Đồng Nai. *Tap chí Khoa học và Công nghệ Thủy lợi* **2015**, 25, 86–99.
 15. Hồng, L.X.; An, M.T.; Hòa, H.C. Đặc điểm hiện trạng bồi tụ, xói lở bờ biển và cửa sông từ Vũng Tàu đến Hà Tiên. *Tap chí khoa học Đại học Quốc gia Hà Nội Khoa học Tự nhiên và Công nghệ* **2004**, 4, 73–81.
 16. Chương, L.T.; Hoàng, T.B. Chế độ thủy thạch động lực khu vực cửa sông, ven biển vùng đồng bằng sông Cửu Long. *Tap chí Khoa học và Công nghệ Thủy lợi* **2017**, 40, 10–22.
 17. Thai, T.D.; Long, B.H. Study and application of Symphonie model to compute the hydrodynamic processes in the East Sea. *Tap chí Khoa học và Công nghệ biển* **2019**, 19(4A), 1–15. doi: 10.15625/1859-3097/19/4a/14610.
 18. Hoàng, T.B.; Khang, N.D. Tác động của tuyến đê biển Vũng Tàu-Gò Công lên chế độ thủy động lực các khu vực lân cận. *Tap chí Khoa học và Công nghệ Thủy lợi* **2012**, 12, 5–17.
 19. Khang, N.D.; Hùng, L.M.; Thắng, T.Đ. Kiểm nghiệm việc sử dụng mô hình MIKE21 SW-FM mô phỏng chế độ sóng biển Đông. *Tap chí Khoa học và Công nghệ Thủy lợi* **2011**, 3, 15–21.
 20. Hải, H.Q.; Tuyền, N.N. Xói mòn bờ biển Cần Giờ, thành phố Hồ Chí Minh trong điều kiện biến đổi khí hậu toàn cầu. *Tap chí phát triển Khoa học & Công nghệ* **2011**, 14, 17–27.
 21. Loc, N.X.; Duc, D.D.; Anh, T.N.; Tung, T.T. Establishing a model for the deep water wave of Vietnam East Sea for calculating detailed hydrodynamics in coastal area. *VNU J. Sci.: Earth Environ. Sci.* **2021**, 37(3), 39–49. doi: 10.25073/2588-1094/vnuees.4680.
 22. Nhân, T.T.; Hùng, P.M.; Tuyên, P.T.H. Ứng dụng mô hình toán để nghiên cứu đặc điểm thủy động lực và dự báo bồi tụ, xói lở lòng dẫn sông, kênh chính trên địa bàn tỉnh hậu giang. *Tap chí Khoa học và Công nghệ Thủy lợi* **2023**, 76, 1–7.
 23. Hùng, N.T.; Minh, N.Q.; Cương, V.Đ. Nghiên cứu sự biến động theo mùa của chế độ thủy động lực khu vực cửa sông ven biển lưu vực sông Mã. *Tap chí Khoa học và Công nghệ Việt Nam.* **2016**, 4, 32–39.
 24. Viện Khoa học Thủy lợi miền Nam. Báo cáo khảo sát thủy hải văn và bùn cát. Đề tài cấp Nhà nước “Nghiên cứu biến động của chế độ thủy thạch động lực vùng cửa sông ven biển chịu tác động của Dự án đê biển Vũng Tàu - Gò Công” thực hiện năm 2011 - 2014.

25. Viện Khoa học Thủy lợi miền Nam. Báo cáo tổng kết đề tài “Nghiên cứu đánh giá tổng thể quá trình xói lở và dự báo diễn biến bờ biển đồng bằng sông Cửu Long phục vụ đề xuất giải pháp nhằm ổn định vùng ven biển” thực hiện năm 2020.
26. Viện Khoa học Thủy lợi miền Nam. Báo cáo tổng kết đề tài “Nghiên cứu giải pháp hợp lý và công nghệ thích hợp phòng chống xói lở, ổn định dải bờ biển và các cửa sông Cửu Long, đoạn từ Tiền Giang tới Sóc Trăng” thực hiện năm 2022.
27. Viện Khoa học Thủy lợi miền Nam. Báo cáo tổng kết đề tài “Nghiên cứu giải pháp hợp lý và công nghệ thích hợp phòng chống xói lở, ổn định dải bờ biển đoạn từ Sóc Trăng tới Cà Mau” thực hiện năm, 2022.

Research on the influence of spatial arrangement of breakwaters on the hydrodynamic regime at the coast of Ba Tri district, Ben Tre province

Phuong Chien Tran^{1*}, Van Dung Nguyen¹, Dinh Chinh Nguyen¹, Anh Kien Le¹, Van Son Nguyen¹, Hoan Thanh Mai², Hong Vu Duong³, Van Tan Lam⁴, Bich Luy Tran⁴

¹ Institute of Tropical Technology and Environmental Protection;

phuongchien0604@gmail.com; dunghvktqsk48@gmail.com; 2ndchinh@gmail.com; anhkienle@gmail.com; sonvittep@gmail.com

² Southern Institute of Water Resources Research; thanhmh23@wru.vn

³ People’s Committee of Ba Tri District; hongvutnmtbatri@gmail.com

⁴ Ben Tre Department of Science and Technology; lvtan.skhn@bentre.gov.vn; tbluy.skhn@bentre.gov.vn

Abstract: This article presents research results on the characteristics of the hydrodynamic regime in the Ba Tri coastal area, Ben Tre province and the influence of the spatial arrangement of soft breakwaters on the hydrodynamic regime dynamics on this coast. Analysis method using the MIKE21-FM mathematical model on the basis of data compiled from different reliable sources to calculate hydrodynamic regime including water level, current and monsoon wave for 1 year monsoon period from 2014-2015. Calculation results show that the area is affected by the hydrodynamic regime of the East Sea. The monsoon wave regime in the coastal area of Ba Tri, Ben Tre province has two distinct seasons, the southwest monsoon season from May to mid-October, and the northeast monsoon season from November to April of the following year. During the southwest monsoon season, the wave height during this period along the West Coast is about 0.3-0.6 m, while in the northeast monsoon, the wave height is about 0.7-1.5 m. The frequency of high waves occurring mainly during the Northeast monsoon period, the wave direction is almost direct or oblique to the shoreline, creating coastal currents that cause erosion on the North shore of the Ba Tri district coastline. This article has studied the effects of the spatial arrangement of soft breakwater on the hydrodynamic regime of the beach to select the optimal spatial arrangement. The results show that the construction route is located 120-150 m from the coast to effectively reduce waves and currents, meeting the technical requirements for the project's function of reducing waves and causing sedimentation.

Keywords: Mike 21; Breakwaters; Geotube; Coastal erosion; Ba Tri, Ben Tre.

Bài báo khoa học

Đánh giá hiện trạng phát sinh và quản lý chất thải nguy hại phòng thí nghiệm tại Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, Đại học Quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh

Võ Ngọc Diệu Thy¹, Lê Ngọc Tuấn^{1*}

¹ Trường Đại học Khoa học Tự nhiên - Đại học Quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh;
vongocdieuthy@gmail.com; lntuan@hcmus.edu.vn

*Tác giả liên hệ: lntuan@hcmus.edu.vn; Tel.: +84-908391379

Ban Biên tập nhận bài: 30/5/2024; Ngày phản biện xong: 17/7/2024; Ngày đăng bài: 25/12/2024

Tóm tắt: Hoạt động nghiên cứu khoa học tại các phòng thí nghiệm (PTN) thường tạo ra nhiều loại chất thải nguy hại (CTNH) với độc tính và mức độ nguy hiểm đáng kể, đặt ra những thách thức lớn trong việc quản lý an toàn và bền vững các loại chất thải này. Nghiên cứu nhằm mục tiêu đánh giá hiện trạng phát sinh và công tác quản lý CTNH phòng thí nghiệm nội vi Trường Đại học Khoa học tự nhiên, ĐHQG-HCM. Trên cơ sở thu thập dữ liệu, điều tra khảo sát và xử lý số liệu, nghiên cứu ước tính tổng lượng CTNH phát sinh khoảng 8,8 tấn/năm (tương ứng 3,9 tấn/năm và 4,9 tấn/năm tại cơ sở 1 và cơ sở 2), trong đó, nhóm hóa chất thải và hỗn hợp chất thải có thành phần nguy hại (mã số CTNH 19 05 02) chiếm tỉ lệ cao (51-68%). Nhận thức và thái độ của sinh viên về quản lý CTNH PTN được đánh giá ở mức tốt và tích cực, tuy nhiên hành vi phân loại CTNH vẫn chưa được thực hiện triệt để. Bên cạnh đó, công tác quản lý nội vi CTNH PTN cơ bản đã tuân thủ các quy định pháp luật về quản lý CTNH mặc dù vẫn tồn tại một số khía cạnh cần cải thiện trong lưu trữ, vận chuyển nội vi và tập kết tập trung CTNH... Trên cơ sở phân tích các điểm mạnh, điểm yếu, cơ hội và thách thức trong hoạt động quản lý CTNH PTN (phát sinh CTNH, quản lý hành chính, quản lý kỹ thuật), các giải pháp nhằm nâng cao hiệu quả công tác quản lý nội vi CTNH PTN tại Trường Đại học Khoa học tự nhiên, ĐHQG-HCM được đề xuất, phục vụ như một mô hình điểm để nhân rộng và áp dụng tại các cơ sở nghiên cứu và giảng dạy khoa học khác.

Từ khóa: Chất thải nguy hại; Quản lý chất thải nguy hại; Phòng thí nghiệm.

1. Đặt vấn đề

Theo Luật Bảo vệ môi trường của Việt Nam năm 2020, CTNH là chất thải chứa yếu tố độc hại, phóng xạ, lây nhiễm, dễ cháy, dễ nổ, gây ăn mòn, gây nhiễm độc hoặc có đặc tính nguy hại khác [1]. Hiện nay, cùng với sự gia tăng về nhu cầu giảng dạy, nghiên cứu và học tập, các PTN ngày càng thải ra nhiều CTNH, làm gia tăng nguy cơ ảnh hưởng đến sức khỏe của người học, cán bộ giảng dạy và nghiên cứu. Đáng chú ý, các PTN trong lĩnh vực học thuật tại các tổ chức giáo dục thường có xu hướng gây nên mức độ nguy hại cao hơn so với các PTN công nghiệp do thiếu sự kiểm soát đầy đủ về an toàn hóa chất [2-8].

Các nghiên cứu về CTNH được tiếp cận ở nhiều vấn đề và phạm vi: hiện trạng phát sinh và dự báo khối lượng CTNH [9-10], pháp luật Việt Nam trong quản lý CTNH [11, 12]... Tuy nhiên, các nghiên cứu về CTNH phát sinh từ PTN ở Việt Nam còn hạn chế trong khi các kế hoạch quản lý chất thải tại các trường đại học ở các nước phát triển đã bắt đầu từ hơn 20 năm trước, kể cả việc xây dựng chính sách, thể chế [13]. Nhìn chung, những nghiên cứu đánh

giá công tác quản lý CTNH PTN có thể chia thành các nhóm như sau: nhóm nghiên cứu về hiện trạng phát sinh [8, 14, 15] và công tác quản lý kỹ thuật - bao gồm phân loại [14, 16–18], thu gom, lưu trữ [14, 15, 20], xử lý [14, 18, 20], chuyển giao [14, 16, 18, 20]; nghiên cứu về an toàn trong PTN - bao gồm huấn luyện về quản lý CTNH [19], an toàn lao động [2, 19]; và nhóm nghiên cứu về nhận thức, thái độ và hành vi quản lý CTNH [14, 16–20].

Nghiên cứu này nhằm mục tiêu đánh giá hiện trạng phát sinh CTNH từ các PTN -lần đầu tiên triển khai tại Trường Đại học Khoa học tự nhiên, ĐHQG-HCM; đánh giá nhận thức, thái độ và hành vi của người học về quản lý CTNH PTN; đánh giá công tác quản lý nội vi CTNH PTN; trên cơ sở đó, đề xuất các giải pháp nâng cao hiệu quả quản lý, góp phần xây dựng môi trường học tập, giảng dạy và nghiên cứu an toàn, tuân thủ các quy định pháp luật về quản lý CTNH.

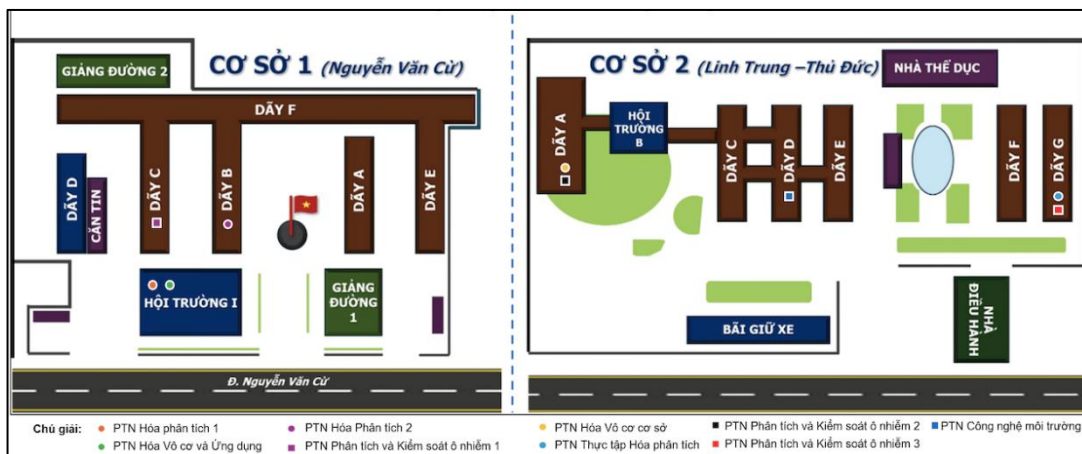
Đối tượng nghiên cứu: là CTNH (rắn và lỏng) phát sinh từ PTN nghiên cứu khoa học (mã phân loại được thể hiện trong Bảng 1).

Bảng 1. Mã phân loại chất thải nguy hại phòng thí nghiệm [21].

| Mã chất thải | Tên chất thải | Mã EC | Mã Basel | | Tính chất nguy hại chính | Trạng thái tồn tại |
|--------------|--|----------|----------|-----|--------------------------|--------------------|
| | | | (A) | (Y) | | |
| 19 05 02 | Hoá chất và hỗn hợp hoá chất phòng thí nghiệm thải có các thành phần nguy hại | 16 05 06 | A4150 | Y14 | Đ, ĐS | Rắn/lỏng |
| 19 05 03 | Hoá chất vô cơ thải bao gồm hoặc có các thành phần nguy hại (trừ các loại nêu tại nhóm mã 02, 13, 14 và 15) | 16 05 07 | A4140 | | Đ, ĐS | Rắn/lỏng |
| 19 05 04 | Hoá chất hữu cơ thải bao gồm hoặc có các thành phần nguy hại (trừ các loại nêu tại nhóm mã 03, 13, 14 và 15) | 16 05 08 | A4140 | | Đ, ĐS | Rắn |
| 19 05 06 | Hóa chất thải bỏ khác với các loại trên | 16 05 09 | | | | Rắn |
| 18 01 03 | Bao bì nhựa cứng (đã chứa chất khi thải ra là CTNH) thải | 15 01 11 | A4130 | | Đ, ĐS | Rắn |
| 18 01 04 | Bao bì cứng (đã chứa chất khi thải ra là CTNH) thải bằng các vật liệu khác (như composit) | 15 01 11 | A4130 | | Đ, ĐS | Rắn |
| 16 01 06 | Bóng đèn huỳnh quang và các loại thủy tinh hoạt tính thải | 20 01 21 | A1030 | Y29 | Đ, ĐS | Rắn |

Ghi chú: Đ là độc; ĐS là độc sinh thái.

Phạm vi nghiên cứu: là các PTN thuộc Trường Đại học Khoa học tự nhiên, ĐHQG-HCM ở cơ sở 1 (Nguyễn Văn Cừ) và cơ sở 2 (Linh Trung - Thủ Đức) (Hình 1), một trong những trường đầu ngành về nghiên cứu khoa học cơ bản, khoa học công nghệ và ứng dụng ở miền Nam Việt Nam, trung bình hàng năm tuyển sinh khoảng 2500 sinh viên, trong đó, hơn 50% số sinh viên tham gia các học phần liên quan đến PTN.

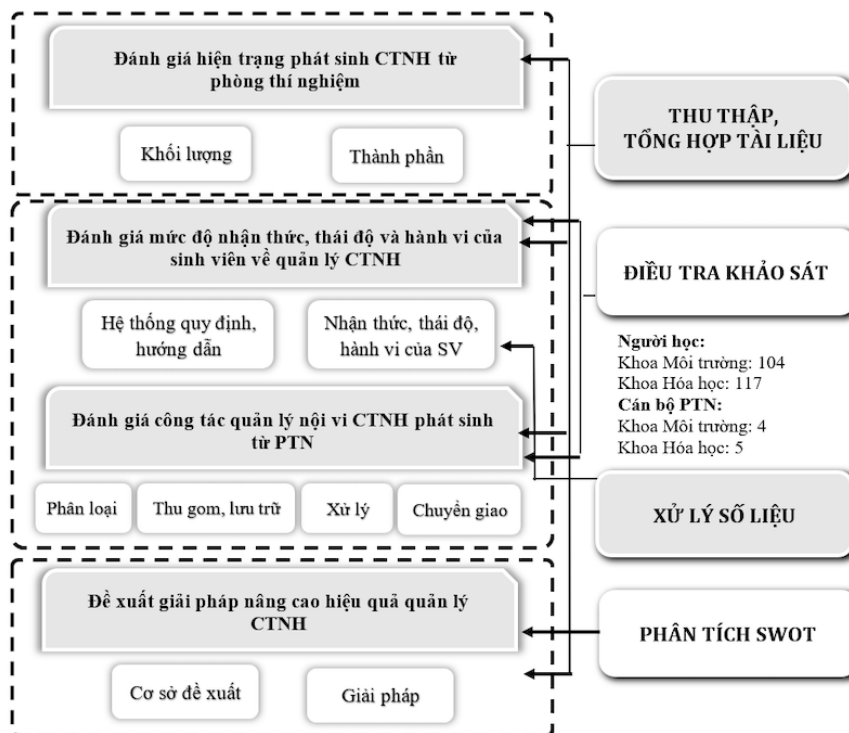


Hình 1. Sơ đồ phối cảnh khuôn viên Trường Đại học Khoa học tự nhiên và vị trí nghiên cứu thí điểm.

Việc đánh giá công tác quản lý CTNH nội vi được tiến hành tại các PTN thuộc Khoa Môi trường (gồm Phân tích và Kiểm soát Ô nhiễm 1, 2, 3; Công nghệ môi trường) và Khoa Hóa học (gồm Hóa vô cơ cơ sở; Hóa vô cơ và ứng dụng; Hóa phân tích 1, 2; Thực tập Hóa phân tích) - nơi thường xuyên sử dụng các hóa chất có độc tính, nguy hiểm và tạo ra chất thải nguy hại mỗi ngày, đặc biệt là hóa chất thải.

2. Phương pháp nghiên cứu

Khung định hướng nghiên cứu được mô tả ở Hình 2.



Hình 2. Khung định hướng nghiên cứu.

2.1. Phương pháp thu thập dữ liệu

Các tài liệu, số liệu cần thiết phục vụ nghiên cứu được thu thập tại Phòng Quản trị thiết bị của Trường, các PTN liên quan của các khoa..., bao gồm: Số liệu về các PTN đang hoạt động có phát sinh CTNH; Tình hình hoạt động của các PTN; Khối lượng CTNH phát sinh trong giai đoạn 2023-2024; hoạt động chuyển giao CTNH cho đơn vị chức năng để xử lý,...

2.2. Phương pháp điều tra, khảo sát

- Đối tượng khảo sát: cán bộ quản lý 09 PTN và người học.
- Hình thức khảo sát: phỏng vấn trực tiếp thông qua phiếu khảo sát.
- Cỡ mẫu khảo sát đối với người học: được ước tính theo công thức của Cochran [22]:

$$n = Z^2 \frac{p(1-p)}{e^2} \quad (1)$$

Trong đó, n là kích thước mẫu cần xác định; Z là giá trị tra bảng phân phối Z dựa vào độ tin cậy lựa chọn; p là tỷ lệ ước lượng cỡ mẫu n thành công; e là sai số cho phép (dao động từ 0,01-0,1).

Trong nghiên cứu này, với khoảng tin cậy 95%, giá trị Z là 1,96; p là 0,5; sai số cho phép e đối với cỡ mẫu khảo sát (i) tổng sinh viên, (ii) sinh viên Khoa Hóa học, và (iii) sinh viên Khoa Môi trường lần lượt là 0,066, 0,09 và 0,096; theo đó, cỡ mẫu khảo sát tương ứng là 221, 117 và 104.

- Nội dung khảo sát: Đối với người học, khảo sát nhận thức về nhận diện CTNH, rủi ro từ CTNH, lợi ích của việc quản lý CTNH và quy định pháp luật liên quan; thái độ hướng đến sự phù hợp trong quản lý CTNH PTN; hành vi phân loại CTNH và tuân thủ nội quy về quản lý CTNH PTN. Đối với cán bộ quản lý PTN, khảo sát hoạt động giảm thiểu, phân loại, lưu trữ, xử lý nội vi, chuyển giao CTNH và an toàn PTN.

2.3. Phương pháp xử lý số liệu

Phần mềm Excel được áp dụng để thống kê, xử lý, tính toán các dữ liệu liên quan:

- Khối lượng CTNH phát sinh trung bình tháng giai đoạn 2023-2024 được tính theo công thức (2):

$$m_{tb} = \frac{m_1 + m_2 + m_3}{T} \quad (2)$$

Trong đó m_{tb} là khối lượng CTNH trung bình tháng (kg/tháng); m_1, m_2, m_3 lần lượt là khối lượng CTNH chuyển giao vào đợt 2 năm 2023, đợt 1 năm 2024 và đợt 2 năm 2024 (kg); T là tổng số tháng tính từ mốc thời gian sau khi chuyển giao CTNH đợt 1 năm 2023 đến đợt 2 năm 2024 cho đơn vị chức năng xử lý.

- Nhận thức của người học về quản lý CTNH: Dựa vào kết quả điều tra từ phiếu khảo sát, đánh giá theo thang 0-10, phân thành 4 mức độ: Rất tốt ($\bar{D}_{NT} \geq 8,5$), Tốt ($7 \leq \bar{D}_{NT} < 8,5$), Khá ($5 \leq \bar{D}_{NT} < 7$), Chưa đạt ($\bar{D}_{NT} < 5$).

- Thái độ của người học về quản lý CTNH: Tương tự, phân thành 3 mức độ: Rất tích cực ($\bar{D}_{TD} \geq 7,5$), Tích cực ($5 \leq \bar{D}_{TD} < 7,5$), Chưa tích cực ($\bar{D}_{TD} < 5$).

- Hành vi phân loại CTNH của người học: thống kê tỉ lệ (%) có hoặc không thực hiện kèm theo các yếu tố ảnh hưởng đến hành vi.

2.4. Phương pháp phân tích SWOT

Phân tích các điểm mạnh, điểm yếu, cơ hội và thách thức trong hoạt động quản lý CTNH PTN theo 3 khía cạnh: phát sinh CTNH, quản lý hành chính, quản lý kỹ thuật - làm cơ sở đề xuất các giải pháp nâng cao hiệu quả công tác quản lý nội vi CTNH PTN tại Trường Đại học Khoa học tự nhiên, ĐHQG-HCM.

3. Kết quả và thảo luận

3.1. Đánh giá hiện trạng phát sinh CTNH PTN

Bảng 2 cho thấy, tổng lượng CTNH phát sinh khoảng 8,8 tấn/năm (tương ứng 3,9 tấn/năm và 4,9 tấn/năm tại cơ sở 1 và cơ sở 2), không bao gồm lượng chất thải lỏng không được kiểm soát và khí thải. Hệ số phát sinh trung bình tháng tại cơ sở 1 và 2 lần lượt khoảng 350 kg và 447 kg (do phần lớn các PTN được bố trí ở cơ sở 2). Trong đó, các loại CTNH đáng quan tâm gồm:

- CTNH mã 19 05 02 (Hóa chất và hỗn hợp hóa chất PTN có các thành phần nguy hại phát sinh nhiều nhất, dao động từ 51-68%. Thành phần chủ yếu là nhóm các dung dịch axit, bazơ thải có nồng độ cao, dư lượng các hoá chất sử dụng, lượng cặn sau phản ứng mang một trong những tính chất nguy hại (như dễ cháy dễ nổ, ăn mòn...), hỗn hợp các dung dịch sau khi thí nghiệm có chứa thành phần kim loại nặng, các thuốc thử như $K_2Cr_2O_7$ (chất có thể gây ung thư)...

- CTNH mã 18 01 04 (Bao bì cứng thải bằng các vật liệu khác - không phải nhựa) cũng khá phổ biến, dao động từ 32-46%, chủ yếu là các chai lọ thủy tinh, dụng cụ chứa lượng dư hoá chất nguy hại, hóa chất quá hạn sử dụng,...

- Ngoài ra, nước thải phát sinh từ PTN chủ yếu là các dung dịch sau pha loãng có chứa hoá chất gốc, nồng độ chất ô nhiễm không đáng kể và phần lớn được xử lý chung với nước thải sinh hoạt.

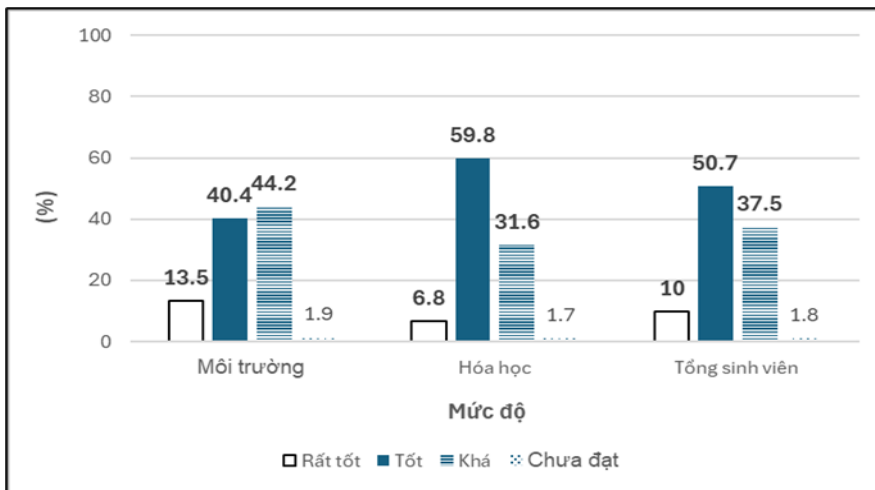
Bảng 2. Khối lượng và thành phần CTNH PTN phát sinh giai đoạn 2023-2024.

| Mã CTNH | Tên chất thải | Thành phần | Trạng thái tồn tại | Khối lượng (kg) | | | | | | | |
|------------------------------|---|---|--------------------|-----------------|--------------|--------------|--------------|--------------|---------------|--------------|--------------|
| | | | | Cơ sở 1 | | | | Cơ sở 2 | | | |
| | | | | 2023 | | 2024 | | 2023 | | 2024 | |
| Đợt 1 | Đợt 2 | Đợt 1 | Đợt 2 | Đợt 1 | Đợt 2 | Đợt 1 | Đợt 2 | | | | |
| 19 05 02 | Hóa chất và hỗn hợp hóa chất có các thành phần nguy hại | Các hợp chất hữu cơ và vô cơ độc hại như axit (H ₂ SO ₄ , HCl...), kiềm (NaOH, NH ₄ OH...), dung môi hữu cơ, thuốc thử phân tích (K ₂ CR ₂ O ₇), kim loại nặng | Rắn hoặc lỏng | 840 61,1% | 510 54,3% | 800 56,4% | 830 55,4% | 599 67,8% | 1350 60,6% | 669 50,6% | 703 51,5% |
| 18 01 03 | Bao bì cứng thái bằng nhựa | Bao bì cứng đã chứa chất khí thải ra là CTNH (chai lọ, dụng cụ chứa lượng dư hoá chất nguy hại, hóa chất quá hạn sử dụng...) | Rắn | 0 0,0% | 40 4,2% | 59 4,2% | 47 3,1% | 0 0,0% | 90 4,0% | 52 3,8% | 28 2,1% |
| 18 01 04 | Bao bì cứng thái bằng các vật liệu khác | Bao bì cứng đã chứa chất khí thải ra là CTNH (chai lọ, dụng cụ chứa lượng dư hoá chất nguy hại, hóa chất quá hạn sử dụng...) | Rắn | 535 38,9% | 390 41,5% | 560 39,4% | 620 41,5% | 285 32,2% | 790 35,4% | 600 45,4% | 630 46,2% |
| 16 01 06 | Bóng đèn huỳnh quang thái | | Rắn | 0 0,0% | 0 0,0% | 0 0,0% | 0 0,0% | 0 0,0% | 0 0,0% | 2 0,2% | 3 0,2% |
| TỔNG (kg) | | | | 1375 | 940 | 1419 | 1497 | 884 | 2230 | 1323 | 1364 |
| Trung bình tháng (kg) | | | | 350,5 | | | | 447 | | | |

3.2. Đánh giá mức độ nhận thức, thái độ và hành vi của người học về quản lý CTNH PTN

3.2.1. Nhận thức về CTNH PTN

Nhìn chung, nhận thức của người học hiện ở mức tốt (trung bình điểm nhận thức đạt 7,2/10). Hình 3 cho thấy, hơn 60% số người học được khảo sát có mức độ nhận thức từ mức tốt trở lên, cụ thể đối với sinh viên khoa Môi trường và Hoá học lần lượt là 54% và 67%.



Hình 3. Mức độ nhận thức về CTNH PTN của người học (%).

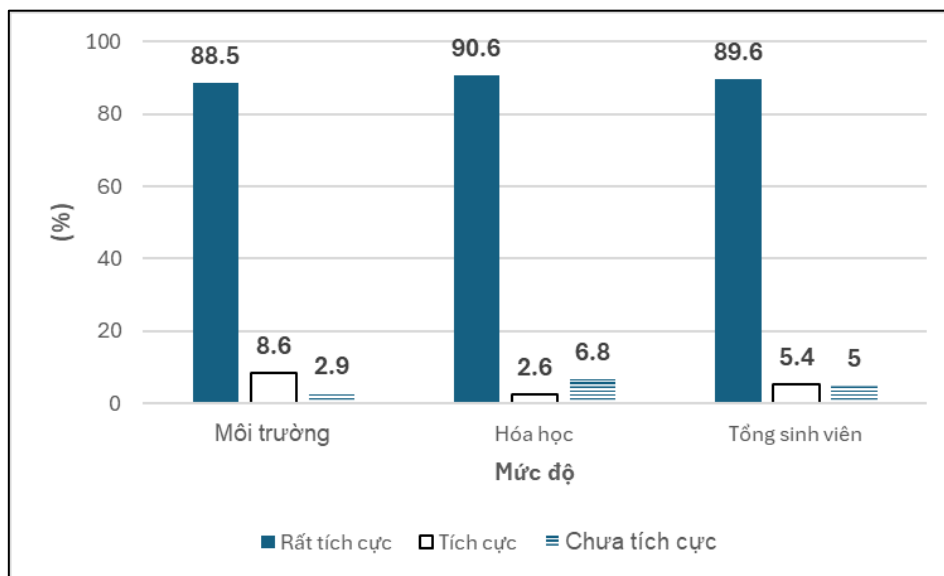
Kết quả khảo sát chỉ ra một số khía cạnh cần được cải thiện như sau: (1) Khoa Môi trường: tăng cường các hoạt động đào tạo, hướng dẫn và cung cấp thêm thông tin cho người học trong PTN về nhận diện CTNH, lợi ích của việc quản lý CTNH và các quy định pháp luật liên quan; (2) Khoa Hóa học: nhận diện CTNH, các quy định pháp luật liên quan đến quản lý CTNH PTN (Bảng 3).

Bảng 3. Kết quả khảo sát nhận thức về CTNH PTN của người học.

| Kiến thức | Mô tả | Tỉ lệ trả lời đúng (%) | | | | | |
|-------------------------------|-------------------------------|------------------------|-------|---------|-------|----------------|-------|
| | | Môi trường | | Hóa học | | Tổng sinh viên | |
| | | 100% | ≥ 75% | 100% | ≥ 75% | 100% | ≥ 75% |
| Nhận diện CTNH | Tính chất | 1,8 | 25,8 | 10,0 | 33,9 | 11,8 | 59,7 |
| | Biển báo | 21,7 | 41,6 | 26,2 | 42,1 | 48,0 | 83,7 |
| | Nguồn phát sinh | 37,1 | - | 42,1 | - | 79,2 | - |
| Rủi ro của CTNH | Sức khỏe | 16,7 | 39,8 | 30,8 | 48,4 | 47,5 | 88,2 |
| | Môi trường | 43,0 | 45,7 | 48,4 | 50,2 | 91,4 | 95,9 |
| Lợi ích của việc quản lý CTNH | | 11,8 | 25,3 | 26,2 | 37,6 | 38,0 | 62,9 |
| Quy định pháp luật | Vai trò của CBQL và người học | 0,9 | 32,6 | 0,5 | 43,9 | 1,4 | 76,5 |
| | Hệ thống văn bản pháp luật | 13,1 | 15,4 | 6,3 | 6,8 | 19,5 | 22,2 |
| | Phân loại CTNH | 0,0 | 45,2 | 0,5 | 50,7 | 0,5 | 95,9 |

3.2.2. Thái độ về quản lý CTNH PTN

Thái độ của người học được đánh giá là rất tích cực (trung bình điểm thái độ đạt 9/10) bên cạnh 5% số người được khảo sát có thái độ chưa tích cực (Hình 4). Bảng 4 thể hiện 10 khía cạnh khảo sát và 04 mức độ thể hiện thái độ. Kết quả cho thấy, một số khía cạnh cần lưu tâm nhằm cải thiện thái độ của người học -tạo cơ sở thay đổi tích cực hành vi quản lý CTNH PTN như sau: Khoa Môi trường: TD1, TD2, TD5, TD6, TD8 và TD10; Khoa Hóa học: TD2 và TD6.



Hình 4. Thái độ của người học về quản lý chất thải nguy hại phòng thí nghiệm (%).

Bảng 4. Kết quả khảo sát thái độ của người học về quản lý chất thải nguy hại phòng thí nghiệm (%).

| Khía cạnh | Khoa Môi trường | | | | Khoa Hóa học | | | | Tổng sinh viên | | | |
|--|-----------------|------|-----|------|--------------|------|-----|------|----------------|------|-----|------|
| | (1) | (2) | (3) | (4) | (1) | (2) | (3) | (4) | (1) | (2) | (3) | (4) |
| Nên có hình thức báo cáo rõ ràng về thông tin phát sinh, phân loại, lưu giữ và chuyên giao (TD1) | 0,0 | 20,2 | 1,9 | 77,9 | 0,0 | 13,7 | 2,6 | 83,8 | 0 | 16,7 | 2,3 | 81 |
| Nên tách riêng CTNH và chất thải rắn thông thường (TD2) | 0,0 | 25,0 | 0,0 | 75,0 | 0,0 | 20,5 | 2,6 | 76,9 | 0 | 22,6 | 1,4 | 76 |
| Nên có tiêu chí, hướng dẫn phân loại CTNH phù hợp (TD3) | 0,0 | 8,7 | 1,0 | 90,4 | 0,0 | 12,8 | 0,9 | 86,3 | 0 | 10,9 | 0,9 | 88,2 |

| Khía cạnh | Khoa Môi trường | | | | Khoa Hóa học | | | | Tổng sinh viên | | | |
|--|-----------------|-------------|-----|------|--------------|-------------|-----|------|----------------|------|-----|------|
| | (1) | (2) | (3) | (4) | (1) | (2) | (3) | (4) | (1) | (2) | (3) | (4) |
| Nên sử dụng thùng chứa CTNH phù hợp theo quy định, có dán nhãn cảnh báo (TD4) | 1,0 | 9,6 | 0,0 | 89,4 | 1,7 | 7,7 | 0,9 | 89,7 | 1,4 | 8,6 | 0,4 | 89,6 |
| Nên thường xuyên kiểm tra thùng chứa và nhãn dán nếu lưu trữ trong thời gian dài (TD5) | 1,0 | 19,2 | 0,0 | 79,8 | 1,7 | 13,7 | 1,7 | 82,9 | 1,4 | 16,3 | 0,9 | 81,4 |
| Nên chứa lượng CTNH với khối lượng không quá 90% dung tích thùng chứa (TD6) | 2,9 | 31,7 | 0,0 | 65,4 | 0,9 | 18,8 | 0,9 | 79,5 | 1,8 | 24,9 | 0,4 | 72,9 |
| Nên có khu vực dành riêng cho lưu trữ CTNH (TD7) | 1,0 | 17,3 | 0,0 | 81,7 | 0,9 | 7,7 | 0,0 | 91,5 | 0,9 | 12,2 | 0 | 86,9 |
| Nên xác định rõ thời gian lưu trữ chất thải trong PTN (TD8) | 1,9 | 25,0 | 0,0 | 73,1 | 0,9 | 12,0 | 2,6 | 84,6 | 1,4 | 18,1 | 1,4 | 79,1 |
| Nên có hướng dẫn hoặc biện pháp giảm thiểu phát sinh chất thải trong PTN (TD9) | 0,0 | 7,7 | 1,0 | 91,3 | 1,7 | 9,4 | 1,7 | 87,2 | 0,9 | 8,6 | 1,4 | 89,1 |
| Nên chuyển giao CTNH cho đơn vị có chức năng xử lý theo đúng quy định của pháp luật (TD10) | 1,0 | 29,8 | 1,0 | 68,3 | 0,0 | 16,2 | 2,6 | 81,2 | 0,4 | 22,6 | 1,8 | 75,2 |

(1): Hoàn toàn không đồng ý (2): Trung lập (3): Không hoàn toàn đồng ý (4): Hoàn toàn đồng ý.

Bên cạnh đó, kết quả khảo sát cũng cho thấy 79% người học sẵn sàng tiếp nhận các thông tin về quản lý CTNH (thông qua các hoạt động tập huấn, truyền thông). Trong đó, nhu cầu thông tin tập trung vào các khía cạnh về an toàn phòng thí nghiệm (66%), nhận diện và phân loại CTNH (63%), ý thức và vai trò của cá nhân trong quản lý CTNH (37%) - đóng góp cơ sở cho việc thiết kế các biện pháp cải thiện phù hợp và hiệu quả.

3.2.3. Hành vi phân loại CTNH PTN

Bảng 5 cho thấy, việc phân loại CTNH của người học tại PTN nhìn chung chưa triệt để - xấp xỉ 50% số người được khảo sát không thực hiện hoạt động này. Các nguyên chính được ghi nhận bao gồm: không biết phân loại (53%), không được hướng dẫn kỹ thuật (49%), đã thực hiện nhưng không duy trì (28%) và không biết có quy định phân loại CTNH (27%).

Ngoài ra, các yếu tố có khả năng ảnh hưởng đến hành vi phân loại CTNH của người học cũng được chỉ ra, bao gồm thói quen (73%), nhận diện thành phần CTNH (70%), hướng dẫn kỹ thuật (54%) và trang thiết bị (40%) được đánh giá ở mức độ rất ảnh hưởng.

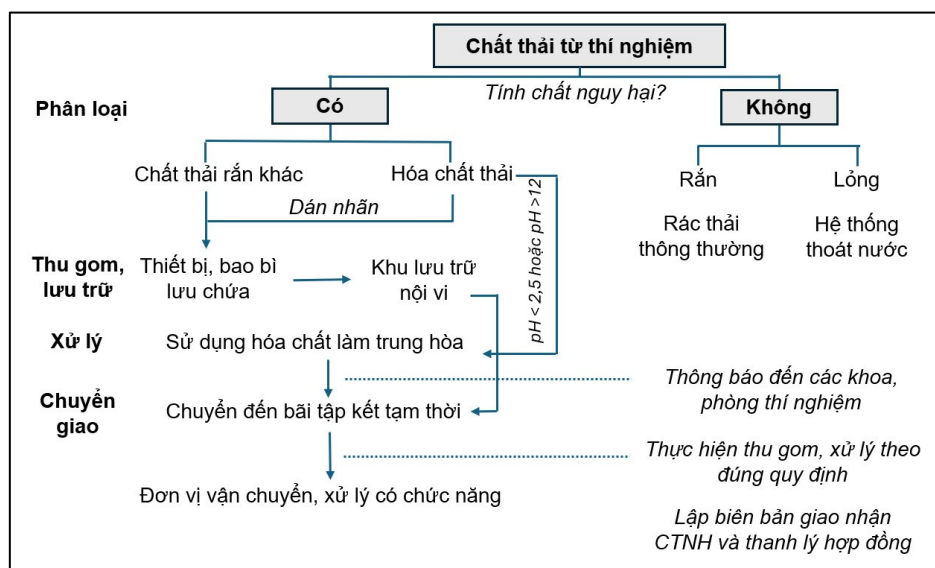
Bảng 5. Kết quả khảo sát hành vi phân loại CTNH của người học và các yếu tố ảnh hưởng (%).

| Có phân loại | | | Các yếu tố ảnh hưởng đến hành vi phân loại CTNH | | | | | | | | | |
|-----------------|------|------|---|--------------|------|------|------------|------|------|---------------|------|------|
| | | | Yếu tố | Ít ảnh hưởng | | | Trung bình | | | Rất ảnh hưởng | | |
| MT | HH | Tổng | | MT | HH | Tổng | MT | HH | Tổng | MT | HH | Tổng |
| 44,2 | 56,4 | 50,7 | Hướng dẫn | 6,5 | 1,5 | 3,6 | 43,5 | 40,9 | 42,0 | 50,0 | 57,6 | 54,4 |
| | | | Thiết bị | 10,9 | 7,6 | 8,9 | 50,0 | 51,5 | 50,9 | 39,1 | 40,9 | 40,2 |
| | | | Thói quen | 4,3 | 3,0 | 3,6 | 19,6 | 25,8 | 23,2 | 76,1 | 71,2 | 73,2 |
| | | | Thành phần | 0,0 | 3,0 | 1,8 | 17,4 | 36,4 | 28,6 | 82,6 | 60,6 | 69,6 |
| Không phân loại | | | Nguyên nhân không thực hiện phân loại CTNH | | | | | | | | | |
| MT | HH | Tổng | MT | HH | Tổng | MT | HH | Tổng | MT | HH | Tổng | |
| 55,8 | 43,6 | 49,3 | Không biết có quy định phân loại | 31,0 | 21,6 | 26,6 | | | | | | |
| | | | Không biết phân loại | 48,3 | 58,8 | 53,2 | | | | | | |
| | | | Không được hướng dẫn | 56,9 | 39,2 | 48,6 | | | | | | |
| | | | Đã từng phân loại, nhưng không duy trì | 36,2 | 17,6 | 27,5 | | | | | | |
| | | | Cảm thấy không cần thiết | 0,0 | 7,8 | 3,7 | | | | | | |

(MT: Khoa Môi trường; HH: Khoa Hóa học; Tổng: Tổng số sinh viên khảo sát).

3.3. Đánh giá công tác quản lý CTNH PTN

Hình 5 mô tả khái quát quy trình quản lý nội vi CTNH PTN tại trường Đại học Khoa học Tự nhiên, ĐHQG-HCM.



Hình 5. Quy trình quản lý nội vi CTNH PTN [23].

3.3.1. Công tác quản lý nội vi phòng thí nghiệm

Bảng 6 tóm tắt kết quả khảo sát về công tác quản lý nội vi CTNH PTN.

Nhìn chung, công tác quản lý nội vi CTNH phòng thí nghiệm của Trường cơ bản đã tuân thủ các quy định pháp luật về quản lý CTNH. Tuy nhiên, một số khía cạnh cần quan tâm cải thiện như sau:

- Phân loại, thu gom, lưu trữ: không có biển dấu hiệu cảnh báo, phòng ngừa phù hợp với loại CTNH được lưu giữ; không quy định thời gian lưu trữ CTNH trong PTN.
- Vận chuyển nội vi: hạn chế thiết bị, phương tiện chuyên dụng.
- Giảm thiểu, xử lý sơ bộ: việc xử lý sơ bộ CTNH chỉ được thực hiện ở một số PTN, chủ yếu bằng phương pháp trung hòa pH của chất thải.

Bảng 6. Công tác quản lý nội vi chất thải nguy hại phòng thí nghiệm.

| Tiêu chí | Khoa Môi trường | Khoa Hóa học |
|--|---|--|
| 1. Phân loại, thu gom, lưu trữ nội vi | | |
| Chất thải rắn | Phân thành hóa chất thải có đặc tính nguy hại, hóa chất thải thông dụng và chất thải rắn thông thường. Dụng cụ thủy tinh thải, mảnh vỡ được tách riêng ra thùng lưu chứa riêng. Hoạt động phân loại được phổ biến đến sinh viên trong PTN | Phân theo mức độ tương đồng về tính chất: chất thải hữu cơ (chuẩn thuốc trừ sâu) và vô cơ (kim loại nặng như Hg, As...); theo trạng thái tập hợp (rắn và lỏng). |
| Khí thải | Có hệ thống tủ hút hóa chất có sinh các hơi, khí như acid hoặc dung môi. Tuy nhiên, các khí sinh ra từ các phản ứng vẫn chưa được kiểm soát. | |
| Nước thải | Dung dịch còn sót lại trong các dụng cụ thí nghiệm (như pipet, erlen, becher...) hoặc các hỗn hợp dung dịch hóa chất nồng độ thấp (đã được pha loãng), không ảnh hưởng nhiều đến sức khỏe và môi trường nên không cần xử lý sơ bộ trước khi thải vào hệ thống thoát nước của các PTN. | Chất thải lỏng được xem xét phân thành 2 nhóm: - Các hóa chất lỏng có nồng độ cao hoặc có các chất nguy hiểm được thu gom vào thùng thu hồi hóa chất vô cơ/hữu cơ. - Các hóa chất thông dụng đã được pha loãng, dung dịch còn sót lại trong các dụng cụ thí nghiệm ở nồng độ thấp... được phép thải vào hệ thống thoát nước của các PTN. |

| Tiêu chí | Khoa Môi trường | Khoa Hóa học |
|---|--|---|
| Bao bì, thiết bị lưu chứa Thu gom, lưu trữ Khu vực lưu chứa | CTNH nhìn chung được lưu chứa trong loại bao bì an toàn, không bị hư hỏng, rách vỡ. Tuy nhiên, còn tồn tại tình trạng các bao bì mềm không được buộc kín hoặc bao bì cứng không có nắp đậy nhằm bảo đảm ngăn chất thải rò rỉ hoặc bay hơi. Không có dấu hiệu cảnh báo CTNH (có kích thước tối thiểu 30 cm mỗi chiều) theo Tiêu chuẩn Việt Nam. Có sử dụng các thiết bị có kết cấu cứng chịu được va chạm, không hư hỏng, biến dạng, rách vỡ bởi trọng lượng chất thải trong quá trình sử dụng. (Không có thông tin) | Không sử dụng các thiết bị có kết cấu cứng chịu được va chạm, không hư hỏng, biến dạng, rách vỡ bởi trọng lượng chất thải trong quá trình sử dụng. 2/5 PTN được khảo sát cho biết chất thải lỏng, bùn thải dạng nhão hoặc chất thải có các thành phần nguy hại dễ bay hơi chứa trong bao bì cứng không vượt quá 90% dung tích hoặc mức chứa cao nhất cách giới hạn trên của bao bì là 10 cm. Đã phân chia khu vực lưu trữ CTNH tách biệt với khu lưu trữ chất thải thông thường; bảo đảm không chảy tràn chất lỏng ra bên ngoài khi có sự cố rò rỉ, đổ tràn; trang bị đầy đủ các thiết bị phòng cháy chữa cháy theo quy định. Tuy nhiên, không có biển dấu hiệu cảnh báo, phòng ngừa phù hợp với loại CTNH được lưu giữ; không quy định thời gian lưu trữ CTNH trong PTN. |
| 2. | Vận chuyển CTNH nội vi (vận chuyển CTNH từ các PTN đến nơi tập kết tạm thời của Trường) | |
| | Chỉ có một số các thùng/thiết bị chứa được di chuyển bằng xe đẩy chuyên dụng. Phần lớn CTNH được người học hoặc cán bộ quản lý PTN xách tay đến khu vực tập kết tạm thời của Trường khi có thông báo. | |
| 3. | Giảm thiểu, xử lý CTNH | |
| Giảm thiểu Xử lý | Có quy định đảm bảo hóa chất thí nghiệm được sử dụng với liều lượng thích hợp. Phần lớn các PTN có thực hiện các biện pháp giảm thiểu CTNH như sử dụng thuốc thử, hóa chất thay thế ít độc hại hơn; có biện pháp cách ly với các loại (hoặc nhóm) CTNH khác có khả năng phản ứng hóa học với nhau. Sinh viên có sự hiểu biết và sử dụng đúng hóa chất, quy trình, không lãng phí và có hệ thống quản lý thực hành tốt trong PTN. Hầu như không biết hoặc không thực hiện kiểm soát lượng CTNH phát sinh. Xử lý chủ yếu bằng phương pháp trung hòa (sử dụng các loại hóa chất khác với mục đích giảm tính axit/bazo, dễ cháy/nổ...). | Chỉ 2/5 PTN được khảo sát đảm bảo sinh viên có sự hiểu biết và sử dụng đúng hóa chất, quy trình, không lãng phí để giảm được lượng hóa chất đầu vào cũng như chất thải đầu ra. PTN ghi lại loại và số lượng hóa chất (kiểm soát hàng tồn kho) và CTNH. Lượng hóa chất thải nguy hại thường được xử lý bằng bazo (Na_2CO_3) hoặc axit (CH_3COOH) để hỗn hợp về pH ≈ 7 , sau đó được thu gom, lưu trữ và/hoặc chuyển giao. |
| 4. | An toàn phòng thí nghiệm | |
| | Người học đều được yêu cầu trang bị đồ bảo hộ (áo blouse, khẩu trang, bao tay, mắt kính...) và được cung cấp các kiến thức liên quan đến rủi ro do hóa chất, CTNH, tai nạn PTN... | |

3.3.2. Công tác chuyển giao CTNH PTN

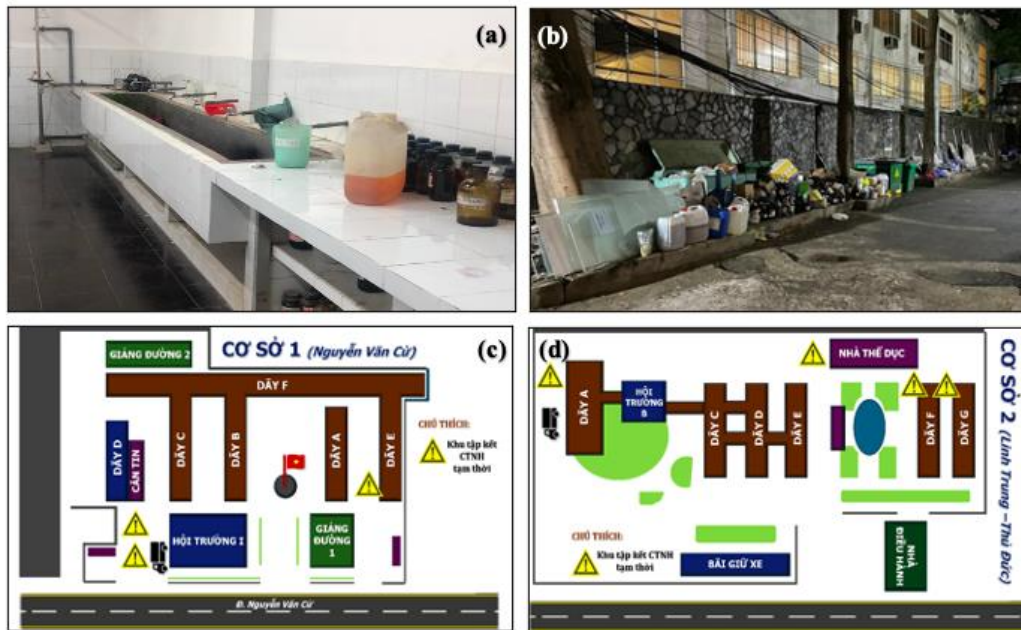
CTNH từ các PTN được đưa đến khu vực tập kết tạm thời (1-2 ngày) theo thông báo của Nhà trường (Hình 6) và chuyển giao cho đơn vị có chức năng vận chuyển - xử lý (Công ty TNHH MTV Môi trường Đô Thị Tp.HCM) với tần suất 2 lần/năm: vào tháng 7, 10/2023 và tháng 1, 5/2024. Sau đó, nhân viên của đơn vị vận chuyển - xử lý sẽ thực hiện việc cân khối lượng từng loại chất thải, đối chiếu với mã chất thải đã được xác định, ghi biên bản giao nhận và vận chuyển đến nơi xử lý theo quy định.

Tuy nhiên, các hoạt động tại khu vực tập kết CTNH cần được cải thiện nhằm cách ly với các hoạt động thường ngày của người học, khu lưu trữ chất thải sinh hoạt; tránh rơi vãi, lây lan, rò rỉ CTNH ra môi trường xung quanh; đồng thời cần tăng cường công tác vệ sinh sau khi kết thúc quá trình chuyển giao CTNH,...

3.4. Đề xuất giải pháp nâng cao hiệu quả quản lý chất thải nguy hại

Trên cơ sở phân tích các điểm mạnh, điểm yếu, cơ hội và thách thức trong hoạt động quản lý CTNH PTN theo 3 khía cạnh: phát sinh CTNH, quản lý hành chính, quản lý kỹ thuật (Bảng

7), các giải pháp nhằm nâng cao hiệu quả công tác quản lý nội vi CTNH PTN tại Trường Đại học Khoa học tự nhiên, ĐHQG-HCM được đề xuất và tóm tắt ở Bảng 8.



Hình 6. Địa điểm lưu chứa CTNH: (a) Khu vực lưu trữ nội vi PTN; (b) và (c) Khu vực tập kết tạm thời tại Cơ sở 1 (Nguyễn Văn Cừ); (d) Khu vực tập kết tạm thời tại Cơ sở 2 (Linh Trung).

Bảng 7. Khung phân tích SWOT.

| Khía cạnh | Điểm mạnh (S) | Điểm yếu (W) | Cơ hội (O) | Thách thức (T) |
|--------------------|--|--|---|--|
| Phát sinh CTNH | <ul style="list-style-type: none"> - Khối lượng phát sinh ít. - Có thông kê khối lượng, thành phần phát sinh. - Có các biện pháp phân loại tại nguồn. | <ul style="list-style-type: none"> - Khối lượng CTNH gia tăng theo nhu cầu đào tạo. - Thành phần chất thải phức tạp, khó kiểm soát. | - | <p>Các hoá chất mới liên tục được sử dụng trong các nghiên cứu khoa học.</p> |
| Quản lý hành chính | <ul style="list-style-type: none"> - Có quy định, quy trình quản lý CTNH (Hình 5). - Có sự chia sẻ thông tin nội vi trong quản lý CTNH PTN. - Có bộ phận chuyên trách về quản lý CTNH. - Nhận thức và thái độ của người học về quản lý CTNH ở mức tốt. - Đội ngũ cán bộ quản lý (CBQL) PTN có chuyên môn về quản lý CTNH. | <ul style="list-style-type: none"> - Các quy định về quản lý CTNH chưa được chi tiết và cụ thể hóa đối với nguồn phát thải là PTN. - Cơ chế phối hợp quản lý CTNH giữa các đơn vị liên quan chưa thực sự hiệu quả. - Chưa có cơ chế giám sát và đánh giá thường xuyên. - Kiến thức về nhận diện và quy định pháp luật về CTNH của người học còn hạn chế. - Lực lượng CBQL khá ít và còn một số hạn chế (đặc biệt về các quy định pháp luật). - Hành vi phân loại, lưu giữ CTNH chưa được thực hiện triệt để, công tác dán nhãn CTNH chưa được thực hiện. | <p>Hệ thống các văn bản pháp quy liên quan đến quản lý CTNH ngày càng hoàn thiện.</p> | <ul style="list-style-type: none"> - Chi phí đầu tư cho các hoạt động quản lý CTNH cao - Khó kiểm soát hoàn toàn việc tuân thủ các quy trình kỹ thuật CTNH của người học. - Cập nhật thường xuyên và kịp thời các đổi mới trong quy định pháp luật về quản lý CTNH. |
| Quản lý kỹ thuật | <p>Có cơ sở vật chất, trang thiết bị cơ bản phù hợp:</p> <ul style="list-style-type: none"> - PTN được trang bị các thiết bị, dụng cụ thu gom, lưu trữ CTNH. - Có khu vực lưu giữ chất thải riêng biệt trong PTN, đảm bảo các điều kiện an toàn. | <ul style="list-style-type: none"> - Chưa có sổ sách theo dõi thông tin phát sinh CTNH của các PTN. - Còn hạn chế các thiết bị, phương tiện chuyên dụng phục vụ phân loại, thu gom, vận chuyển chất thải đến nơi tập kết tạm thời. - Chưa bố trí khu vực lưu trữ CTNH tập trung. | <p>Có đơn vị thu gom, vận chuyển, xử lý CTNH đáp ứng các yêu cầu của pháp luật.</p> | <p>Nhu cầu mở rộng PTN và khu vực lưu trữ CTNH.</p> |

Bảng 8. Định hướng giải pháp nâng cao hiệu quả quản lý CTNH PTN.

| Nhóm | Giải pháp chung | Giải pháp cụ thể | Đối tượng áp dụng |
|------------------------|--|--|-------------------|
| Quy định, hướng dẫn | Kiểm tra, giám sát. | Tăng cường kiểm tra kiến thức, hành vi về quản lý CTNH PTN [24]. | CBQL Người học |
| | Phổ biến các quy định về quản lý CTNH. | Cập nhật và tăng cường phổ biến quy định về quản lý CTNH của Trường. | CBQL |
| | Phối hợp giữa các bên liên quan. | Tăng cường phối hợp, chia sẻ thông tin giữa các bên liên quan trong quản lý CTNH PTN [24]. | |
| Kỹ thuật | Theo dõi tình hình phát sinh CTNH PTN. | Lập sổ theo dõi, lưu giữ hồ sơ quản lý CTNH cho từng PTN. | CBQL |
| | Cải thiện hệ thống quản lý kỹ thuật CTNH. | - Bố trí khu vực lưu trữ CTNH tập trung; nâng cấp hệ thống thu gom, lưu trữ, chuyển giao CTNH đáp ứng các yêu cầu của pháp luật. - Tăng cường giảm thiểu CTNH tại nguồn. | |
| Tập huấn, truyền thông | Truyền thông nâng cao nhận thức, thái độ và hành vi về quản lý CTNH PTN. | Tổ chức các buổi sinh hoạt, tập huấn, truyền thông về quản lý CTNH PTN [25]. | Người học |
| | Nâng cao năng lực quản lý kỹ thuật. | Xây dựng sổ tay hướng dẫn quản lý CTNH PTN [26]. Triển khai các chương trình đào tạo và phát triển chuyên môn cho cán bộ, nhân viên đảm nhiệm công tác quản lý CTNH (kiến thức pháp luật, kỹ thuật thu gom, vận chuyển, lưu giữ an toàn và xử lý sự cố... [15, 25]. | CBQL |

4. Kết luận

Thông qua việc xây dựng khung đánh giá công tác quản lý nội vi CTNH PTN với tổ hợp các tiêu chí về quản lý kỹ thuật (giảm thiểu, phân loại, thu gom, lưu trữ, xử lý, chuyển giao CTNH) và công tác đào tạo về quản lý CTNH PTN, nghiên cứu đã tiến hành đánh giá hiện trạng phát sinh và công tác quản lý CTNH PTN nội vi Trường Đại học Khoa học tự nhiên, ĐHQG-HCM.

Bằng phương pháp thu thập tài liệu, điều tra khảo sát và xử lý số liệu, ước tính tổng lượng CTNH phát sinh khoảng 8,8 tấn/năm (tương ứng 3,9 tấn/năm và 4,9 tấn/năm tại cơ sở 1 và cơ sở 2), trong đó, nhóm hóa chất thải và hỗn hợp chất thải có thành phần nguy hại (mã số CTNH 19 05 02) chiếm tỉ lệ cao (51-68%). Bên cạnh đó, nhận thức, thái độ, hành vi của người học về quản lý CTNH PTN cũng được phân tích, đánh giá, tạo cơ sở đề xuất các giải pháp nâng cao hiệu quả quản lý CTNH PTN tại khu vực nghiên cứu.

Các kết quả trên là tiền đề cho những nghiên cứu chuyên sâu hơn về hệ thống quản lý CTNH PTN nội vi các cơ sở giáo dục, nghiên cứu nói chung. Tuy nhiên, để tăng độ tin cậy cho các tính toán, dự báo, kiến nghị các nghiên cứu tiếp theo nên mở rộng khung thời gian theo dõi, khảo sát khối lượng, thành phần CTNH phát sinh cũng như phạm vi tiếp cận nghiên cứu (PTN thuộc các ngành đào tạo khác).

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

Lời cảm ơn: Nghiên cứu được thực hiện với sự hợp tác và hỗ trợ của Khoa Môi trường, Khoa Hoá học và Phòng Quản trị Thiết bị - Trường Đại học Khoa học tự Nhiên, ĐHQG-HCM.

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. Quốc hội. Luật số 72/2020/QH14 ngày 17/11/2020 ban hành Luật Bảo vệ môi trường. 2020.

2. Abbas, M. Chemical safety in academic laboratories: an exploratory factor analysis of safe work practices & facilities in a university. *J. Saf. Stud.* **2016**, *2(1)*, 1–14.
3. Salazar-Escoboza, M.A.; Laborin-Alvarez, J.F.; Alvarez-Chavez, C.R.; Noriega-Orozco, L.; Borbon-Morales, C. Safety climate perceived by users of academic laboratories in higher education institutes. *Saf. Sci.* **2020**, *121*, 93–99.
4. Peplow, M.; Marris, E. How dangerous is chemistry?. *Nature* **2006**, *441(7093)*, 560–561.
5. Langerman, N. Laboratory safety?. *J. Chem. Health Saf.* **2009**, *16(3)*, 49–50.
6. Meyer, A.T. How About Safety and Risk Management in Research and Education. *Procedia Eng.* **2012**, 854–864. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2012.07.478>.
7. Mugivhisa, L.L.; Baloyi, K.; Olowoyo, O.J. Adherence to safety practices and risks associated with toxic chemicals in the research and postgraduate laboratories at Sefako Makgatho Health Sciences University, Pretoria, South Africa. *Afr. J. Sci. Innovation Dev.* **2020**, *13(6)*, 747–756.
8. Hassanvand, M.S.; Naddafi, K.; Nabizadeh, R.; Momeniha, F.; Mesdaghinia, A.; Yaghmaeian, K. Hazardous waste management in educational and research centers: a case study. *Toxicol. Environ. Chem.* **2011**, *93(8)*, 1636–1642.
9. Le, T.N. The study of actual state and prediction of industrial solid waste-hazardous waste quantity until 2020 in Ho Chi Minh City. *Sci. Technol. Dev. J.* **2009**, *12(9)*, 88–97.
10. Hương, V.T.Q. Đánh giá hiện trạng quản lý chất thải nguy hại và đề xuất kế hoạch quản lý chất thải nguy hại cho tỉnh Hải Dương. Luận án tiến sĩ, Trường Đại học Bách Khoa Hà Nội. 2015.
11. Lê, K.N. Vấn đề thực thi pháp luật về quản lý chất thải nguy hại ở Việt Nam hiện nay. *Tap chí Khoa học Đại học Quốc gia Hà Nội* **2011**, *27(2)*, 126–133.
12. Hiếu, B.K. Hoàn thiện pháp luật về quản lý chất thải nguy hại. *Tap chí Khoa học và Kinh tế Phát Triển Trường Đại học Nam Cần Thơ* **2024**, *(29)*, 21–32.
13. de Vega, C.A.; Ojeda-Benítez, S.; Ramírez-Barreto, M.E. Mexican educational institutions and waste management programmes: a University case study. *Resour. Conserv. Recycl.* **2003**, *39(3)*, 283–296.
14. Endris, S.; Tamir, Z.; Sisay, A. Medical laboratory waste generation rate, management practices and associated factors in Addis Ababa, Ethiopia. *Plos One* **2022**, *17(4)*, e0266888. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0266888>.
15. Magriotis, Z.M.; Saczk, A.A.; Salgado, H.M.R.; Rosa, I.A. Chemical waste management in educational institutions. *J. Environ. Sci. Sustainable Dev.* **2021**, *4(1)*, 160-176.
16. Letho, Z.; Yangdon, T.; Lhamo, C.; Limbu, C.B.; Yoezer, S.; Jamtsho, T.; Tshering, D. Awareness and practice of medical waste management among healthcare providers in National Referral Hospital. *PloS One* **2021**, *16(1)*, e0243817. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0243817>.
17. Hussein, H.A. Assessment of laboratory waste management and laboratory staff awareness in Khartoum State. *Syst. Rev. Pharm.* **2022**, *13(9)*, 606–609.
18. Singh, T.; Ghimire, T.R.; Agrawal, S.K. Awareness of biomedical waste management in dental students in different dental colleges in Nepal. *Biomed Res. Int.* **2018**, *2018(1)*, 1742326. <https://doi.org/10.1155/2018/1742326>.
19. Leung, A.H.H. Laboratory safety awareness, practice, attitude, and perception of tertiary laboratory workers in Hong Kong: A pilot study. *ACS Chem. Health Saf.* **2021**, *28(4)*, 250–259.
20. Taneerat, P.; Sridang, P. Guidelines on Management of Hazardous Waste Generated from Science Laboratories at Faculty of Science and Technology, Nakhon Si Thammarat Rajabhat University. 2023.

21. Bộ Tài nguyên và Môi trường. Thông tư số 02/2022/TT-BTNMT ngày 10/01/2022 quy định chi tiết thi hành một số điều của Luật Bảo vệ môi trường. 2022.
22. Cochran, W.G. Sampling Techniques, 2nd Ed., New York: John Wiley and Sons, Inc. 1963.
23. Trường Đại học Khoa học tự nhiên, ĐHQG-HCM. Quyết định số 1176/QĐ-KHTN ngày 14/8/2019 về việc ban hành Quy trình xử lý hóa chất, chất thải nguy hại Phòng thí nghiệm thuộc Trường Đại học Khoa học tự nhiên. 2019.
24. Fagihi, Y.A. The level of awareness of safety measures practiced in school laboratories among pre-service science teachers at Najran University. *J. Educ. Issues*. **2018**, 4(1), 107–121.
25. Abdul Wahab, N.A.; Nabilah, F.; Isa, N. Hazard identification, Risk Assessment and Risk Control (HIRARC) on laboratory waste disposal in chemistry laboratory. *J. Acad.* **2022**, 10, 194–203.
26. Abou-Ellela, S.I.; Ibrahim, H.S. Management of laboratory hazardous wastes: Experience from Egypt. 2014.

Assessing the current status of laboratory hazardous waste generation and management at the University of Science, Vietnam National University Ho Chi Minh City

Vo Ngoc Dieu Thy¹, Le Ngoc Tuan^{1*}

¹ University of Science (VNU-HCM); vongocdiethy@gmail.com; lntuan@hcmus.edu.vn

Abstract: Scientific research activities in laboratories often create many types of hazardous waste (HW) on a small scale but with significant toxic and dangerous properties, raising major challenges for the safe and sustainable management of these types of waste. This work aimed to evaluate the current status of generation and management of laboratory hazardous waste (LHW) at the University of Science, Vietnam National University Ho Chi Minh City. On the basis of data collection, investigation and data processing, the study estimated the total amount of hazardous waste generated to be about 8.8 tons/year (corresponding to 3.9 and 4.9 tons/year at facilities 1 and 2), in which, the group of waste chemicals and waste mixtures with hazardous components (hazardous waste code 19 05 02) accounted for a high proportion (51-68%). Students' awareness and attitudes about LHW management were generally good and positive, but the act of classifying LHW had not been thoroughly implemented. In addition, the internal management of LHW had basically complied with legal regulations on hazardous waste management although there were still some aspects that need improvement in storage, internal transportation, and hazardous waste collection location, etc. Based on analysis of strengths, weaknesses, opportunities and challenges in LHW management activities (hazardous waste generation, administrative management, technical management), solutions to improve the effectiveness of internal management of LHW at the University of Science, Vietnam National University Ho Chi Minh City were proposed, serving as a pilot model for replication and application at other scientific research and teaching facilities.

Keywords: Hazardous waste; Hazardous waste management; Laboratory.

Bài báo khoa học

Nghiên cứu quá trình sinh trưởng và năng suất chè vụ đông tại khu trồng chè ở Hòa Lạc, Thạch Thất, Hà Nội

Phạm Thị Thu Hà^{1*}, Vũ Đình Tuấn¹, Nguyễn Lê Xuân Hưng¹, Phạm Anh Hùng¹, Phạm Hùng Sơn¹, Lê Quỳnh Mai¹, Trần Thị Minh Hằng¹, Phạm Thị Việt Anh¹, Nguyễn Mạnh Khải¹, Trần Thiệu Cường¹, Lưu Minh Loan¹, Đoàn Thị Nhật Minh¹

¹ Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, Đại học Quốc Gia Hà Nội, 334 Nguyễn Trãi, Thanh Xuân, Hà Nội; phamthithuha.hus@gmail.com; vudinhluan@hus.edu.vn; nguyenlexuanhung_t65@hus.edu.vn; phamanhhung@hus.edu.vn; phamhungson@hus.edu.vn; lequynhmai80@gmail.com; hangttm@hus.edu.vn; phamthivietanh@hus.edu.vn; nguyenmanhkhai@hus.edu.vn; tranthienquong@hus.edu.vn; luuminhloan@hus.edu.vn; dtnminh@hus.edu.vn

*Tác giả liên hệ: phamthithuha.hus@gmail.com; Tel.: +84-948813688

Ban Biên tập nhận bài: 29/6/2024; Ngày phản biện xong: 9/8/2024; Ngày đăng bài: 25/12/2024

Tóm tắt: Nghiên cứu này đánh giá quá trình sinh trưởng và năng suất của cây chè trồng tại Đại học Quốc gia Hà Nội, Hòa Lạc. Nghiên cứu được bố trí tại khu vườn chè Hòa Lạc, theo khối ngẫu nhiên hoàn toàn đầy đủ (RCBD), thực hiện với 3 công thức thí nghiệm: CT1 (đối chứng, canh tác truyền thống của người dân), CT2 (phân hữu cơ + phân bón lá Organomix với tỉ lệ 1:500), CT3 (phân hữu cơ + phân bón lá Organomix với tỉ lệ 1:300), với 3 lần lặp lại, trên diện tích 360 m². Kết quả nghiên cứu cho thấy việc sử dụng phân bón hữu cơ và phân bón lá Organomix với tỷ lệ và cách bón phù hợp (phun cả lá và gốc) đã góp phần cải thiện tốc độ tăng trưởng chiều dài thân cây, chiều rộng tán, đường kính gốc và chỉ số diện tích lá của cây chè. Chỉ số SPAD (phản ánh gián tiếp hàm lượng diệp lục có trong lá) không có sự khác biệt nhiều giữa các công thức. Năng suất và các yếu tố cấu thành năng suất của cây chè cao nhất ở CT3, gấp 1,45 lần năng suất ở CT2 và 1,5 lần so với CT1 (ĐC). Chỉ tiêu hóa lý và hàm lượng kim loại nặng trong chè khô tại 3 công thức đều đạt theo tiêu chuẩn quy định trong TCVN 11041-6:2018 và QCVN 8-2:2011.

Từ khóa: Cây chè; Phân bón Organomix; Sinh trưởng; Năng suất; Hòa Lạc.

1. Giới thiệu

Cây chè (*Camellia sinensis* O. Kuntze) là cây công nghiệp lâu năm có nguồn gốc ở vùng nhiệt đới nóng ẩm - đóng vai trò cực kỳ cấp thiết trong nhiều mặt của cuộc sống con người [1]. Cây chè không chỉ là một loại cây trồng quan trọng mà còn là nguồn cung cấp một trong những loại thức uống phổ biến nhất và yêu thích trên toàn thế giới - trà. Với hàng trăm năm lịch sử, cây chè đã trở thành biểu tượng văn hóa và kinh tế của nhiều quốc gia, đặc biệt là ở các vùng núi cao với điều kiện khí hậu phù hợp như Ấn Độ, Trung Quốc, Nhật Bản và Việt Nam. Cây chè không chỉ cung cấp trà, mà còn là một nguồn thu nhập quan trọng cho hàng triệu người dân trên khắp thế giới, đặc biệt là trong các cộng đồng nông thôn. Việc trồng chè không chỉ tạo ra việc làm cho người dân mà còn đóng góp vào phát triển kinh tế và xã hội của các khu vực nông thôn.

Việt Nam là một trong những nước có điều kiện thích hợp cho cây chè phát triển, với tổng diện tích trồng chè trên 130.000 ha. Lịch sử trồng chè của nước ta đã có từ lâu, cây chè cho năng suất sản lượng tương đối ổn định và có giá trị kinh tế, tạo việc làm cũng như thu

nhập hàng năm cho người lao động, đặc biệt là các tỉnh trung du và miền núi. Ngành chè đã cung cấp khoảng 1,5 triệu việc làm cho người Việt Nam. Tuy nhiên, theo nghiên cứu hiệu quả lợi nhuận trung bình của nông dân trồng chè là khoảng 74%, cho thấy 26% lợi nhuận bị mất do kém hiệu quả [2]. Các nhà nghiên cứu và chuyên gia nông nghiệp luôn tìm kiếm cách tối ưu hóa sản xuất chè, cải thiện chất lượng và năng suất, đồng thời giảm thiểu tác động tiêu cực lên môi trường. Cây chè còn là cây lâu năm, trồng một lần cho thu hoạch nhiều lần, trong thời gian dài từ 40-50 năm, đầu tư trồng chè cao hơn nhiều lần so với các cây trồng ngắn ngày khác. Hiện nay, vẫn còn tình trạng sử dụng thuốc bảo vệ thực vật và thuốc trừ sâu đem lại sản phẩm trà kém chất lượng và không được đảm bảo vệ sinh an toàn thực phẩm [3]. Các nghiên cứu về chè trên thế giới và Việt nam cho thấy đất trồng chè có xu hướng bị axit hóa, việc trồng chè trong thời gian dài và lạm dụng phân bón vô cơ gây ra môi trường đất chua [4-6], làm sụt giảm, thất thoát các chất dinh dưỡng cần thiết cho cây chè [7], chè thành phẩm vẫn còn dư lượng thuốc trừ sâu, phân bón hóa học do quá trình chăm bón chưa đúng cách dẫn đến hiệu quả lợi nhuận trồng chè của người dân chưa cao [2, 8, 9]. Do vậy, mọi người đang ngày càng quan tâm đến các giải pháp sản xuất hữu cơ bởi sản phẩm hữu cơ được đảm bảo an toàn đến sức khỏe người tiêu dùng [10].

Trong thời gian gần đây, những nghiên cứu về quá trình sinh trưởng của cây chè và ảnh hưởng của phân bón tăng lên khá nhiều, cho thấy tầm quan trọng của nhận thức về lợi ích và tác hại khi sử dụng phân bón tổng hợp cho cây chè. Nhận thấy tiềm năng có lợi của phân chuồng, [11] đã nghiên cứu so sánh tác động bền bỉ từ bể khí sinh học của phân heo (F1), phân ủ từ phân gà (F2) và phân bón hữu cơ từ tàn dư hải sản (F3) với phân bón hóa học (CK) cho thấy các loại phân hữu cơ này đều cải thiện mật độ chồi, chất lượng chồi và năng suất lá tươi, tăng từ 18,32% đến 32,38%, 9,02% đến 13,47%, và 8,58% đến 17,83% so với CK. Chất lượng trà cũng được cải thiện với hàm lượng polyphenol và tỷ lệ phenol/amonia giảm, trong khi hàm lượng axit amin tự do, caffeine và chất chiết xuất trong nước tăng. Hàm lượng Cu và Zn tăng, trong khi Pb, Cd và Cr giảm. Trong số đó, phân lỏng từ khí sinh học lợn (F1) đã đem lại kết quả tốt nhất.

Nghiên cứu [12] đã đánh giá tác động của phân chuồng cừu. Nghiên cứu đã sử dụng phân chuồng cừu với các liều lượng khác nhau trong 5 năm liên tiếp để xử lý đất trồng chè bị axit hóa. Kết quả cho thấy giá trị pH của đất đã đạt được 5,96 pH khi sử dụng phân chuồng cừu liên tục từ năm 2018 đến 2022. Phân chuồng cừu đã cải thiện năng suất chè, chất lượng trà, và các chỉ số hóa học của đất. Hàm lượng polyphenol trong trà đã tăng từ 223,15 mg/g lên 281,26 mg/g trong vòng ba năm giúp cải thiện mùi thơm và hương vị đặc trưng của lá trà. Ngoài ra, quá trình chuyển hóa nitơ trong đất, đặc biệt là nitơ amoni - yếu tố chính ảnh hưởng đến năng suất và chất lượng trà - đã tăng lên 11,87 mg/kg.

Ở Việt Nam có nhiều nghiên cứu cho thấy lợi ích thực tế của việc sử dụng công thức phân bón kết hợp với lượng phân và cách bón thích hợp để chè đạt được năng suất, hiệu quả kinh tế cao, chất lượng chè thành phẩm tốt hơn [13-17]. Trong nghiên cứu về giống chè LDP1 tại huyện Đại Từ, nghiên cứu [17] đã đánh giá ảnh hưởng của phân bón hữu cơ vi sinh đến các chỉ tiêu sinh trưởng như mật độ búp, trọng lượng búp, chiều dài búp, năng suất lứa hái... Sau một năm thực hiện, nghiên cứu đã thu được kết quả bước đầu như sau: 06 công thức sử dụng phân bón đều làm độ dày tán chè tăng so đối chứng, riêng mật độ búp chè tăng so đối chứng 18,6%, năng suất chè tăng và giảm tỷ lệ mù xòe, ngoại hình và màu nước chè cải thiện rõ rệt so với đối chứng.

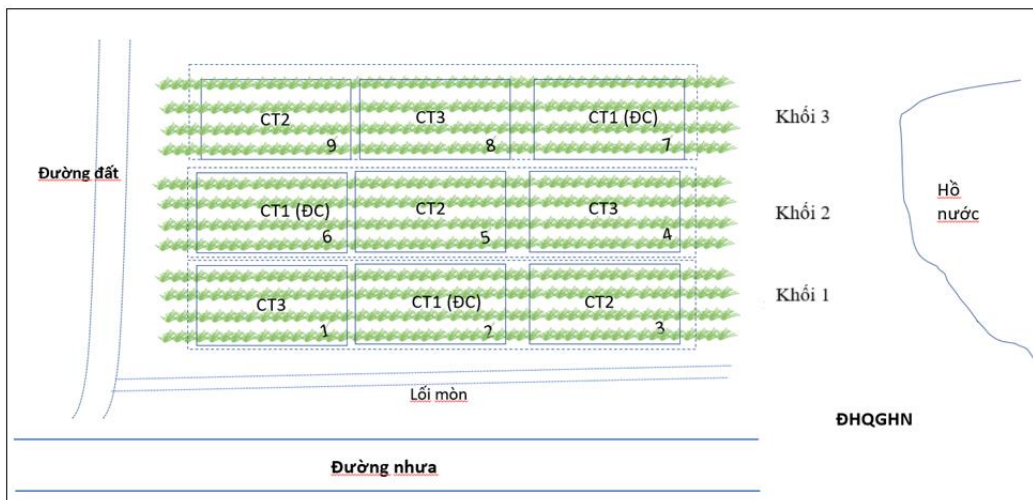
Ở Hà Nội, khu vực trồng chè ở Đại học Quốc gia Hà Nội (ĐHQG HN) tại Hòa Lạc, huyện Thạch Thất đã 33 năm tuổi với giống chè PH1 [18]. Qua khảo sát sơ bộ cho thấy hiện trạng đất trồng đã bị suy thoái do công tác chăm sóc chè chưa đúng kỹ thuật và chăm bón chưa hợp lý, dẫn đến năng suất và chất lượng chè không cao, đặc biệt vào vụ đông. Vì vậy, nghiên cứu này đã sử dụng phân bón hữu cơ và phân bón lá Organomix trong quá trình canh tác chè để đánh giá quá trình sinh trưởng, năng suất và chất lượng chè vụ đông tại khu trồng chè Đại học Quốc Gia Hà Nội, Hòa Lạc và có so sánh với canh tác theo phương pháp truyền

thống của người dân. Kết quả nghiên cứu là cơ sở đề xuất các giải pháp phát triển chè sạch theo định hướng hữu cơ giúp nâng cao năng suất, sản lượng và chất lượng chè, góp phần bảo vệ môi trường, sức khỏe người dân.

2. Phương pháp nghiên cứu

2.1. Phương pháp bố trí thí nghiệm

Khu vực thí nghiệm là vườn chè ở Đại học Quốc gia Hà Nội, Hòa Lạc thuộc huyện Thạch Thất, giống chè PH1, cây chè 33 năm tuổi, với diện tích 360 m² chia thành 09 ô thí nghiệm, diện tích mỗi ô thí nghiệm 40 m². Chia khu đất theo chiều dọc thành ba hàng, khoảng cách giữa mỗi hàng là 1,5 m, khoảng cách giữa các cây là 60 cm. Nghiên cứu được bố trí theo khối ngẫu nhiên hoàn toàn đầy đủ (RCBD), thực hiện với 03 công thức thí nghiệm, với 03 lần lặp lại (Hình 1). Thời gian nghiên cứu trong giai đoạn vụ đông (từ tháng 10/2023-1/2024).



Hình 1. Sơ đồ bố trí thí nghiệm.

(CT1: Đối chứng: phân bón thực hành như người dân, NPK liều lượng 460 kgN, 88 kg P₂O₅, và 90 kgK₂O cho 1 ha; CT2: phân hữu cơ + phân bón lá Organomix với tỉ lệ 1:500; CT3: phân hữu cơ + phân bón lá Organomix với tỉ lệ 1:300).

Bón phân: Phân bón dùng bao gồm phân hữu cơ, và phân bón lá Organomix trong giai đoạn từ tháng 3/2023 đến tháng 3/2024, cụ thể:

- Phân NPK cho CT1 bao gồm loại NPK-S (5:10:3:8) 2 lần bón/năm, liều lượng 500 kg/ha; NPK-S (12:5:10:14) 3 lần/năm liều lượng 750 kg/ha, Urea 3 lần/năm với 250 kg/ha. Phân hữu cơ cho CT2 và CT3 bao gồm phân bò ủ cùng với bột 15 tấn/ha (tháng 4/2023), bón phân gà ủ 12,5 tấn/ha (tháng 8/2023), và phân hữu cơ vi sinh Voi xanh được bón vào tháng 10/2023 với liều lượng 15 tấn/ha.

- Phân bón lá Organomix là phân bón chelate dạng lỏng Organomix được đăng kí bởi Agro Galaxy A.E và Zao "Petrochem", Nga. Phân Organomix được phun lên lá và gốc vào các đợt tháng 4/2023, tháng 8/2023, tháng 10/2023, mỗi lần phun trong một đợt cách nhau khoảng 2 tuần.

2.2. Xác định một số chỉ tiêu sinh trưởng, năng suất và chất lượng chè

- Các chỉ tiêu sinh trưởng: Bao gồm các chỉ tiêu như đường kính thân cây, chiều cao thân cây, chiều rộng tán, chỉ số SPAD (đặc trưng cho hàm lượng chất diệp lục trong lá), đo vào 4 giai đoạn phát triển của cây chè (giai đoạn búp chè hình thành, phát triển, chín và thu hoạch búp chè), để xem sự thay đổi qua các giai đoạn và các chỉ tiêu chiều dài búp, chỉ số diện tích lá đo vào thời điểm thu hoạch. Số lượng cây lấy mẫu đo đặc là 2-3 cây/1 ô thí nghiệm (do cây chè ở khu vực nghiên cứu có tuổi đời cao nên mỗi ô thí nghiệm chỉ có từ 2-3 cây chè).

- Các chỉ tiêu năng suất: Bao gồm các chỉ tiêu như khối lượng búp 1 tôm 2 lá, mật độ búp và năng suất thực thu được đo tại lúc thu hoạch để đánh giá năng suất của mùa vụ.

- Các chỉ tiêu chất lượng: Các chỉ tiêu được xác định bao gồm chất chiết, chất xơ, tro tan trong nước, catechin TS, polyphenol; hàm lượng kim loại nặng trong trà (As, Cd, Pb, Hg). Chất chiết được xác định theo TCVN 5610:2007, Chất xơ (TCVN 5714:2007), Tro tan trong nước (TCVN 5084:2007), Catechin TS (TCVN 9745-2:2013), Polyphenol (TCVN 9745-1:2013). As xác định theo TCVN 7770: 2007, Cd (TCVN 7768-1:2007), Pb (TCVN 7766: 2007), Hg (TCVN 7604:2007). Các chỉ tiêu chất lượng được phân tích tại Phòng thí nghiệm Trung tâm - Viện khoa học kỹ thuật nông lâm nghiệp miền núi phía Bắc - xã Phú Hộ - thị xã Phú Thọ - tỉnh Phú Thọ

2.3. Phương pháp xử lý số liệu

Các số liệu thu thập được sẽ phân tích và xử lý bằng phần mềm Excel, phương pháp phân tích phương sai (ANOVA) bằng chương trình IRRISTAT 5.0.

Sử dụng Excel để nhập dữ liệu, tính toán giúp theo dõi sự thay đổi cây chè qua các giai đoạn cũng như so sánh sự khác biệt giữa các công thức thí nghiệm.

Sử dụng phân tích ANOVA để tìm sự khác biệt có ý nghĩa thống kê (nếu có) giữa các công thức. Dùng LSD_{0.05} (Least significant difference): Sự sai khác nhỏ nhất có ý nghĩa để so sánh với độ chính xác được chọn là 95%. Nếu $|x_i - x_j| > LSD_{0.05}$ thì kết quả có sự sai khác có ý nghĩa và ngược lại là không sai khác (với x_i là giá trị trung bình của công thức i và x_j là giá trị trung bình của công thức j). Dựa vào kết quả tính toán, đưa ra nhận xét về quá trình sinh trưởng và năng suất cây chè tại vườn chè ĐHQGHN, Hòa Lạc.

3. Kết quả và thảo luận

3.1. Quá trình sinh trưởng của cây chè trồng tại ĐHQGHN, Hòa Lạc

a) Chiều cao thân cây

Chiều cao thân cây chè qua các giai đoạn phát triển được thể hiện ở Bảng 1.

Bảng 1. Chiều cao thân cây chè qua các giai đoạn phát triển.

| CT | Chiều cao thân cây (cm) | | | |
|---------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------|-----------------------------|
| | Giai đoạn búp chè hình thành | Giai đoạn búp chè phát triển | Giai đoạn búp chè chín | Giai đoạn thu hoạch búp chè |
| CT1 (ĐC) | 81,11 ^a | 82,33 ^a | 83,89 ^a | 84 ^a |
| CT2 | 81,67 ^a | 82,44 ^a | 83,89 ^a | 84,78 ^a |
| CT3 | 82,56 ^a | 83,56 ^a | 85 ^a | 85,78 ^a |
| CV% | 1,4 | 1,2 | 1,0 | 1,5 |
| LSD _{0,05} | 3,96 | 4,03 | 3,43 | 2,89 |

Kết quả từ Bảng 1 cho thấy tốc độ tăng trưởng của thân cây tỷ lệ thuận với tỷ lệ phân bón, mặc dù sự phát triển không quá rõ rệt. Cây chè ở CT3, được bón với tỷ lệ 1:300 có tốc độ sinh trưởng cao hơn so với cây ở CT2 bón với tỷ lệ 1:500. Cụ thể, chiều cao của cây chè CT3 phát triển nhanh hơn khoảng 0,8 cm/cây trong giai đoạn búp chè hình thành và 1 cm trong giai đoạn thu hoạch chè. So sánh sự phát triển chiều cao thân của cây chè ở CT3 với cây chè ở CT1 (đối chứng), từ giai đoạn búp chè hình thành đến lúc thu hoạch, cây ở CT3 tăng trưởng khoảng 3,22 cm/cây. Trong khi đó, cây chè ở CT1 có chiều cao ban đầu là 81,11 cm và tăng lên 84 cm ở giai đoạn thu hoạch búp chè, chỉ tăng trưởng 2,89 cm trong cả giai đoạn. Đánh giá chiều cao thân cây ở cả ba công thức cho thấy tốc độ sinh trưởng tăng đều. CT3 có mức độ sinh trưởng cao nhất, tiếp theo là CT2, và CT1 đối chứng có tốc độ tăng trưởng chiều cao thân cây thấp nhất.

b) Chiều rộng tán

Thân và cành chè tạo nên khung tán của cây chè. Sự sinh trưởng của thân, cành chè có liên quan chặt đến năng suất và sản lượng chè. Với số lượng thích hợp và cân đối ở trên tán mà chè cho ra sản lượng cao [1]. Chiều rộng tán cây chè qua các giai đoạn phát triển được thể hiện ở Bảng 2.

Bảng 2. Chiều rộng tán chè qua các giai đoạn phát triển.

| CT | Chiều rộng tán (cm) | | | |
|---------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------|-----------------------------|
| | Giai đoạn búp chè hình thành | Giai đoạn búp chè phát triển | Giai đoạn búp chè chín | Giai đoạn thu hoạch búp chè |
| CT1 (ĐC) | 94,44 ^a | 95,28 ^a | 96 ^a | 99,11 ^a |
| CT2 | 102,39 ^a | 103,83 ^a | 104,5 ^a | 104,83 ^a |
| CT3 | 109,78 ^a | 111,83 ^a | 113,5 ^a | 115,33 ^a |
| CV% | 12,6 | 13,0 | 13,6 | 12,2 |
| LSD _{0,05} | 21,50 | 20,82 | 22,01 | 18,98 |

Kết quả nghiên cứu cho thấy tốc độ sinh trưởng của tán cây chè tăng đều theo thời gian. Vào ngày thứ 2 của giai đoạn búp chè hình thành, chiều rộng tán của cây chè ở CT3 lớn hơn cây chè ở CT1 (đối chứng) 15,34 cm và lớn hơn cây chè ở CT2 7,39 cm. Khi so sánh cây chè ở CT1 (đối chứng) với cây chè ở CT2 nhận thấy tốc độ tăng trưởng tán của cây chè ở CT1 nhanh hơn. Chiều rộng tán thay đổi ở CT1 là 4,67 cm, trong khi ở CT2 là 2,44 cm sau bốn giai đoạn. Mặc dù tốc độ tăng trưởng chậm hơn, việc bón phân với tỉ lệ 1:500 tại CT2 đã giúp cây chè phát triển tốt ngay từ đầu giai đoạn búp chè hình thành, với chiều rộng tán tại CT2 đạt 102,39 cm, lớn hơn 17 cm so với cây chè tại CT1. Trong quá trình quan sát cây chè ở CT3, nhận thấy chiều rộng tán tăng đều từ 0,87 đến 2,67 cm trong mỗi giai đoạn phát triển. Kết quả cho thấy bón phân Organomix vào gốc có thể thúc đẩy phát triển tán chè, có thể do phân vi lượng và các hoạt chất trong phân bón lỏng kích thích bộ rễ, giúp rễ hấp thụ khoáng chất nhanh chóng và trực tiếp, từ đó thân và cành chè phát triển mạnh mẽ hơn.

c) Đường kính gốc

Đường kính gốc là một chỉ tiêu quan trọng phản ánh khả năng sinh trưởng, vận chuyển các chất được tốt [14]. Đường kính gốc qua các giai đoạn phát triển được thể hiện ở Bảng 3.

Bảng 3. Đường kính gốc chè qua các giai đoạn phát triển.

| CT | Chiều rộng tán (cm) | | | |
|---------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------|-----------------------------|
| | Giai đoạn búp chè hình thành | Giai đoạn búp chè phát triển | Giai đoạn búp chè chín | Giai đoạn thu hoạch búp chè |
| CT1 (ĐC) | 6,96 ^a | 7,02 ^a | 7,12 ^a | 7,11 ^a |
| CT2 | 7,32 ^a | 7,42 ^{ab} | 7,52 ^{ab} | 7,48 ^a |
| CT3 | 7,7 ^a | 7,81 ^b | 7,92 ^b | 7,9 ^a |
| CV% | 8,9 | 8,8 | 8,8 | 9,0 |
| LSD _{0,05} | 0,84 | 0,75 | 0,75 | 0,80 |

Qua bảng 3, khác với sự phát triển của chiều cao và độ rộng tán, đường kính gốc có sự thay đổi nhưng không đáng kể. Cây chè ở cả 3CT trong vụ chè chỉ thay đổi trong khoảng 0,2 cm/cây. Tuy nhiên, ở giai đoạn búp chè phát triển và búp chè chín, đường kính gốc lại có ý nghĩa thống kê ở mức 95%, cho thấy bón phân Organomix theo tỉ lệ khác nhau đã có những ảnh hưởng rõ rệt. Ở giai đoạn thu hoạch chè, đường kính gốc chè ở CT3 lớn hơn cây chè ở CT1 đối chứng là 0,79 cm và cây chè ở CT2 là 0,42 cm. Các thí nghiệm được thực hiện trên giống chè trên 30 tuổi nên đường kính không có sự phát triển rõ ràng.

d) Chỉ số SPAD và chỉ số diện tích lá LAI của cây chè

Đặc điểm lá của cây chè có liên quan mật thiết đến khả năng sử dụng ánh sáng của cây cũng như liên quan đến sự tích lũy vật chất của cây. Diệp lục là sắc tố chính có vai trò quan trọng nhất trong quang hợp. Vì vậy, khi hàm lượng diệp lục trong lá tăng sẽ làm tăng khả năng quang hợp dẫn đến làm tăng sự sinh trưởng, phát triển và tăng năng suất cây trồng [15].

Bảng 4. Chỉ số SPAD và chỉ số diện tích lá của cây chè.

| CT | Chỉ số SPAD | | | | Chỉ số diện tích lá (m ² lá/m ² đất) |
|---------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------|-----------------------------|--|
| | Giai đoạn búp chè hình thành | Giai đoạn búp chè phát triển | Giai đoạn búp chè chín | Giai đoạn thu hoạch búp chè | |
| CT1 (ĐC) | 53,72 ^a | 55,04 ^a | 55,69 ^a | 49,37 ^a | 1,29 ^a |
| CT2 | 52,52 ^a | 53,91 ^a | 52,21 ^a | 47,26 ^a | 2,09 ^b |
| CT3 | 54,3 ^a | 55,82 ^a | 55,49 ^a | 46,56 ^a | 1,42 ^{ab} |
| CV% | 5,9 | 5,4 | 3,0 | 9,7 | 17,7 |
| LSD _{0,05} | 7,99 | 7,57 | 7,98 | 8,31 | 0,51 |

Qua kết quả ở bảng 4, cho thấy trong ba giai đoạn từ lúc búp chè hình thành đến lúc chín, chỉ số SPAD trong lá chè không có sự thay đổi đáng kể, dao động trong khoảng từ 52 đến 55. Tuy nhiên, đến giai đoạn thu hoạch, chỉ số SPAD giảm nhanh xuống khoảng 46 đến 49.

Chỉ số diện tích lá (LAI) được đo ở giai đoạn thu hoạch cho thấy sự khác biệt rõ rệt giữa ba công thức. CT2 có chỉ số LAI cao nhất, đạt 2,09 m² lá/m² đất, theo sau là CT3, và CT1 có chỉ số LAI thấp nhất. Kết quả này chỉ ra rằng bón phân Organomix với tỉ lệ 1:500 cho kết quả chỉ số diện tích lá (LAI) cao hơn so với việc bón với tỉ lệ 1:300. Ngược lại, CT1 (đối chứng), không sử dụng phân bón Organomix, có chỉ số diện tích lá (LAI) thấp nhất, chỉ đạt 1,29 m² lá/m² đất.

3.2. Năng suất và các yếu tố cấu thành năng suất của chè tại ĐHQGHN, Hòa Lạc

Năng suất và các yếu tố cấu thành năng suất của cây chè tại ĐHQGHN, Hòa Lạc được thể hiện ở Bảng 5.

Bảng 5. Năng suất và các yếu tố cấu thành năng suất của cây chè.

| CT | Trọng lượng búp (g/búp) | Mật độ búp (búp/m ²) | Chiều dài búp (cm) | Năng suất thực thu (kg/ha) |
|---------------------|-------------------------|----------------------------------|--------------------|----------------------------|
| CT1 (ĐC) | 0,63 ^a | 837,33 ^a | 4,7 ^a | 1166,67 ^a |
| CT2 | 0,84 ^b | 778,67 ^b | 4,98 ^b | 1233,33 ^a |
| CT3 | 1,05 ^c | 1002,67 ^c | 5,33 ^c | 1800 ^a |
| CV% | 35,3 | 13,4 | 8,9 | 34,8 |
| LSD _{0,05} | 0,05 | 24,13 | 0,04 | 579,86 |

(Các chỉ tiêu năng suất và các yếu tố cấu thành năng suất trong một công thức nghiệm là giá trị trung bình của 3 lần lặp lại).

Bảng 5 đánh giá năng suất thực thu của vụ chè Đông và các yếu tố cấu thành năng suất. 3 yếu tố về trọng lượng, mật độ và chiều dài búp đều có sự khác biệt có ý nghĩa thống kê ở mức 95% giữa các CT. Trong 3 CT thì cây chè tại CT3 có trọng lượng búp chè lớn nhất với 1,05 g/búp, gấp lần lượt là 1,25 và 1,66 lần CT2 và CT1. CT1 có trọng lượng búp thấp nhất là 0,63 g/búp.

Hai yếu tố khác là mật độ búp và chiều dài búp ở 3 CT cũng có ý nghĩa thống kê ở mức 95%. Mật độ búp chè tại CT3 so với CT2 cao gấp 1,21 lần và có chiều dài búp lớn hơn 0,35 mm. Điều này chứng tỏ bón phân Organomix với tỉ lệ 1:300 giúp cho búp chè có chất lượng cao hơn. Đây cũng là kết quả của quá trình sinh trưởng ổn định, đồng thời phản ánh khả năng tích lũy chất dinh dưỡng và nước của cây chè nhờ bón phân vào cả gốc và lá.

Yếu tố quan trọng cần đánh giá là năng suất thực thu của cây chè. Cây chè tại CT3 cho năng suất cao gấp 1,45 lần so với cây chè tại CT2 và cao gấp 1,5 lần so với CT1 (đối chứng). Kết quả cho thấy hiệu quả cao hơn khi sử dụng phân bón Organomix ở tỉ lệ 1:300 so với tỉ lệ 1:500, có thể liên quan đến đặc điểm tính chất đất và độ tuổi lâu đời cây chè trong khu vực. Việc bón phân Organomix cũng đem lại năng suất thực thu cao vượt trội hơn so với phương pháp canh tác truyền thống của người dân. Kết quả này cũng tương đồng với một số nghiên cứu chứng minh bón phân hữu cơ làm tăng năng suất, chất lượng chè [14], nhất là bón phân hữu cơ trong thời gian đủ dài [19].

3.3. Đánh giá chất lượng chè sau khi thu hoạch

a) Chỉ tiêu hóa, lý của chè Hòa Lạc

Một số chỉ tiêu hóa, lý của chè Hòa Lạc được thể hiện ở Bảng 6.

Bảng 6. Một số chỉ tiêu hóa, lý của chè Hòa Lạc.

| Ký hiệu mẫu | Chỉ tiêu hóa, lý của chè | | | | |
|---------------------|-----------------------------|--------------------------|-------------------------------------|------------------------------|-----------------------------|
| | Chất chiết (g/100g chè khô) | Chất xơ (g/100g chè khô) | Tro tan trong nước (g/100g chè khô) | Catechin TS (g/100g chè khô) | Polyphenol (g/100g chè khô) |
| CT1 | 44,30 | 5,67 | 73,30 | 14,15 | 17,38 |
| CT2 | 43,88 | 6,03 | 71,20 | 13,86 | 16,60 |
| CT3 | 42,19 | 5,48 | 70,66 | 14,02 | 17,12 |
| TCVN 9740:2013 [20] | 32 | 16,5 | 45 | 7 | 11 |

Bảng 6 cho thấy một số chỉ tiêu hóa, lý của chè Hòa Lạc (Chất chiết, chất xơ, tro tan trong nước, catechin TS và Polyphenol) đều đạt tiêu chuẩn được quy định trong TCVN 9740:2013. Sự chênh lệch về chất lượng giữa các mẫu chè tại 3CT là không đáng kể, và tất cả đều đạt được khối lượng chất chiết đạt mức tối thiểu. Chất chiết của chè bao gồm đường, axit amin và nhiều chất hòa tan như chất khoáng đều có ảnh hưởng tốt đến sức khỏe. Theo nghiên cứu, chất chiết từ trà có tác dụng cải thiện dung nạp glucose và giảm tăng cân do vậy khối lượng chất chiết dao động từ 42,19-44,3 g/100g đảm bảo rằng sản phẩm cuối cùng có chất lượng cao [21].

Khối lượng chất xơ của lá chè tại 3CT đều duy trì dưới ngưỡng tối đa. Đặc biệt, ở CT3, có chỉ số thấp nhất là 5,48 g/100g, chủ yếu do tỷ lệ lá non chưa phát triển cao. Điều này làm cho sản phẩm trà ở CT3 có chất lượng cao, với hàm lượng xơ thấp giúp đảm bảo giảm năng lượng tiêu thụ trong ngày - yếu tố quan trọng đối với người ăn kiêng [22]. Chỉ tiêu về tro tan trong nước cũng là một yếu tố không thể bỏ qua trong việc đánh giá chất lượng chè. Tro tan trong nước phản ánh sự hòa tan của các chất trong chè khi được pha. Việc duy trì hàm lượng tro tan trong nước trên mức tối thiểu 45 g/100g đảm bảo rằng chất lượng cho sản phẩm trà [23].

Catechin TS là chất có khả năng chống oxy hóa, chống ung thư và có tính đề kháng cao. Một số loại catechin như EGC, EGCG,... hỗ trợ hiệu quả trong các thử nghiệm ức chế các tác nhân gây ung thư, điều trị các bệnh tim mạch, phòng ngừa bệnh xơ vữa động mạch. Do những lợi ích của Catechin nên người ta cho rằng chè xanh có thể giúp chống lão hóa mô, kéo dài tuổi thọ cho con người. Hàm lượng Catechin TS có trong mẫu đạt trên mức tối thiểu 7 g/100g đảm bảo chất lượng cho trà [24].

Polyphenol từ chè có tác dụng đối với bệnh ung thư, tim mạch, cao huyết áp, đường ruột,... và có tác dụng làm chậm quá trình lão hóa, giảm béo, tăng tuổi thọ. Polyphenol từ chè còn được sử dụng trong công nghiệp thực phẩm để thay thế các chất oxy hóa tổng hợp. Giống với hàm lượng Catechin TS, hàm lượng Polyphenol đạt mức tối thiểu theo TCVN 9740:2013 đảm bảo hiệu quả đối với sức khỏe người tiêu dùng của sản phẩm trà [25].

b) Chỉ tiêu về hàm lượng kim loại nặng trong trà Hòa Lạc

Bảng 7. Một số chỉ tiêu về hàm lượng kim loại nặng trong trà ở Hòa Lạc.

| Ký hiệu mẫu | Chỉ tiêu | | | |
|------------------------|----------|----------|----------|----------|
| | As mg/kg | Cd mg/kg | Pb mg/kg | Hg mg/kg |
| CT1 | 0,52 | 0,098 | 0,84 | KPH |
| CT2 | KPH | KPH | 0,75 | KPH |
| CT3 | 0,15 | 0,107 | 0,68 | KPH |
| QCVN 8-2:2011/BYT [26] | 1,0 | 1,0 | 2,0 | 0,05 |

Kết quả phân tích kim loại nặng trong lá chè đã cho thấy hàm lượng các chất này đều đạt theo QCVN 8-2:2011/BYT. Việc sử dụng bón phân hữu cơ Organomix cho cây chè ở CT3

đã có xu hướng giảm hàm lượng As và Pb so với cây chè tại CT1 (đối chứng). Hàm lượng As đã giảm từ 0,52 mg/kg xuống còn 0,15 mg/kg và hàm lượng Pb giảm từ 0,84 mg/kg xuống 0,68 mg/kg (Bảng 7). Điều đó giúp đảm bảo chất lượng sản phẩm trà là an toàn đối với sức khỏe người tiêu dùng. Tuy nhiên, đây là nghiên cứu với kết quả bước đầu khi sử dụng phân bón Organomix trên cây chè, do đó cần có thêm các nghiên cứu tiếp theo để bổ sung chuỗi số liệu đủ dài và xem xét động thái hấp thụ kim loại nặng để có thể đưa ra nhận định đầy đủ hơn về vai trò của phân bón lá vào gốc đối với việc hấp thụ kim loại nặng của cây chè.

4. Kết luận

Kết quả cho thấy bón phân Organomix và phân hữu cơ cho hiệu quả tích cực trên cây chè vụ đông được trồng tại Hòa Lạc, Hà Nội thông qua các chỉ tiêu sinh trưởng (chiều cao cây, chiều rộng tán, đường kính gốc, chỉ số SPAD, chỉ số diện tích lá), chỉ tiêu năng suất và các yếu tố cấu thành năng suất ở các công thức thí nghiệm CT2 và CT3 đều cao hơn so với công thức đối chứng (CT1), trong đó CT3 với tỉ lệ phân: nước (1:300) cho hiệu quả cao nhất (năng suất cao hơn 1,45 lần CT2 và 1,5 lần công thức đối chứng).

Chỉ tiêu hóa lý và hàm lượng kim loại nặng trong lá chè ở cả 3 công thức đều đạt theo tiêu chuẩn quy định trong TCVN 11041-6:2018 và QCVN 8-2:2011, đảm bảo về chất lượng và an toàn cho người tiêu dùng. Cây chè tại CT3 được bón với tỷ lệ 1:300 cho cả gốc và lá đã giúp giảm hàm lượng xơ thô và hàm lượng kim loại nặng trong sản phẩm.

Kết quả của nghiên cứu là cơ sở khoa học cho thấy hiệu quả của việc sử dụng phân bón lá Organomix và phân hữu cơ khi canh tác chè, giúp đề xuất các giải pháp phát triển chè sạch theo định hướng hữu cơ góp phần bảo vệ môi trường và tạo ra sản phẩm chè sạch an toàn cho người tiêu dùng.

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

Lời cảm ơn: Nghiên cứu này được tiến hành trong khuôn khổ đề tài QG.23.59 của Đại học Quốc Gia Hà Nội. Tập thể tác giả xin trân trọng 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. Khương, L.T.; Chung, H.V.; Anh, Đ.N. Giáo trình cây chè. Nhà xuất bản Nông nghiệp. 1999.
2. Bắc, H.V.; Nanseki, T.; Chomei, Y. Hiệu quả lợi nhuận của nông dân trồng chè: Nghiên cứu điển hình về các trang trại an toàn và thông thường ở miền Bắc Việt Nam. *Tap chí Môi trường, phát triển và bền vững* **2019**, 21, 1695–1713.
3. Khanh, N.T. Đánh giá ảnh hưởng của sử dụng hóa chất bảo vệ thực vật đến sức khỏe người chuyên canh chè tại Thái Nguyên và hiệu quả của các biện pháp can thiệp. Luận văn Tiến sĩ Y học, Đại học Thái Nguyên. 2010.
4. Mihir, K.P.; Haldar, D.; Debnath, B. Global tea production and business opportunity. *Technological Advancements in Product Valorization of Tea Waste*, Elsevier, 2023, pp. 1–18.

5. Xiang, Y.; Ni, K.; Shi, Y.Z.; Yi, X.Y.; Zhang, Q.F.; Fang, L.; Ma, L.F.; Ruan, J. Effects of long-term nitrogen application on soil acidification and solution chemistry of a tea plantation in China. *Agric. Ecosyst. Environ.* **2018**, 252, 74–82.
6. FAOSTAT. Food and agriculture data. 2023. Available online: <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>.
7. Qiang, X.; Hu, K.; Wang, X.; Wang, D.; Knudsen, M.T. Carbon footprint and primary energy demand of organic tea in China using a life cycle assessment approach. *J. Cleaner Prod.* **2019**, 233, 182–192.
8. Anh, N.T.; Thê, N.T. Hiệu quả và áp dụng sản xuất chè hữu cơ: Bằng chứng từ huyện Vị Xuyên, tỉnh Hà Giang, Việt Nam. *Tap chí Khoa học Châu Á - Thái Bình Dương* **2019**, 3, 201–217.
9. Peng, Y.; Wu, L.; Wang, D.; Fu, J.; Shen, C.; Li, X.; Zhang, L.; Zhang, L.; Fan, L.; Wenyan, H. Soil acidification in Chinese tea plantations. *Sci. Total Environ.* **2020**, 715, 136963.
10. Linh, T.T.M. Khảo sát quy trình sản xuất chè xanh hữu cơ tại Công ty Cổ phần NTEA Thái Nguyên. Khóa luận tốt nghiệp, Trường Đại học Nông Lâm. 2020.
11. Liu, S.X.; Ding, F.H.; Liu, Q.L. Effects of different organic fertilizers on yield, quality and safety of tea. *J. Henan Agric. Sci.* **2017**, 45(12), 45–48.
12. Ye, J.; Wang, Y.; Kang, J.; Chen, Y.; Hong, L.; Li, M.; Jia, Y.; Wang, Y.; Jia, X.; Wu, Z.; Wang, H. Effects of long-term use of organic fertilizer with different dosages on soil improvement, nitrogen transformation, tea yield and quality in acidified tea plantations. *Plants* **2023**, 12(1), 122.
13. Quảng, N.V.; Tâm, N.T.; Nhung, L.T.C.; Mai, N.T.T. Ảnh hưởng của phân hữu cơ sinh học đến năng suất và chất lượng chè nguyên liệu búp tươi của giống chè Kim Tuyên tại Lâm Đồng. *Tap chí Khoa học công nghệ Nông nghiệp Việt Nam* **2016**, 11(72), 60 - 66.
14. Thảo, H.M.; Mỹ, N.T.C.; Tuấn, N.N.M. Nghiên cứu sử dụng phân bón để nâng cao năng suất, chất lượng nguyên liệu búp cho sản xuất trà matcha tại Phú Thọ. *Tap chí Khoa học và công nghệ, Đại học Hùng Vương* **2021**, 23(2), 69–75.
15. Thu, H.T.L.; Vinh, N.Đ.; Ngọc, Đ.V. Ảnh hưởng của phân bón lá và đốn đến năng suất, chất lượng nguyên liệu chế biến chè Ôlong tại Phú Thọ. *Tap chí Khoa học và Phát triển* **2013**, 11(4), 492–500.
16. Toàn, T.Q.; Tùng, N.T.; Đức, N.T.; Hoan, Đ.C.; Hương, N.T. Ảnh hưởng của phân bón nhả chậm tới năng suất và hiệu quả kinh tế của cây chè kinh doanh tại huyện tại huyện Đồng Hỷ, Thái Nguyên. *Tap chí Khoa học công nghệ* **2017**, 161(1), 45–49.
17. Huế, P.T.; Vân, P.T.T. Khảo nghiệm phân bón vi lượng đất hiếm trên cây chè tại xã Minh Tiến, huyện Đại Từ, tỉnh Thái Nguyên. *Tap chí Công thương* **2022**, 7, 384–389.
18. Đại học Quốc gia Hà Nội . Báo cáo đánh giá tác động môi trường, xã hội, Dự án Phát triển các trường Đại học Quốc gia Việt Nam - Tiểu dự án Đại học Quốc gia Hà Nội, 2018, tr. 34–45.
19. Ye, J.; Wang, Y.; Wang, Y.; Hong, L.; Jia, X.; Kang, J.; Lin, S.; Wu, Z.; Wang, H. Improvement of soil acidification in tea plantations by long-term use of organic fertilizers and its effect on tea yield and quality. *Front. Plant Sci.* **2022** 13, 1055900.
20. TCVN 9740:2013: Tiêu chuẩn quốc gia về chè xanh.
21. Liu, J.; Hao, W.; He, Z.; Kwek, E.; Zhao, Y.; Zhu, H.; Liang, N.; Ma, K.Y.; Lei, L.; He, W.S.; Chen, Z.Y. Beneficial effects of tea water extracts on the body weight and gut microbiota in C57BL/6J mice fed with a high-fat diet. *Food Funct* **2019**, 10(5), 2847–2860.

22. Carter, B.E.; Drewnowski, A. Beverages containing soluble fiber, caffeine, and green tea catechins suppress hunger and lead to less energy consumption at the next meal. *Appetite* **2012**, *59*(3), 755–761.
23. Aroyeun, S.O. Crude fibre, water extracts, total ash, caffeine and moisture contents as diagnostic factors in evaluating green tea quality. *Ital. J. Food Sci.* **2013**, *25*(1), 70–75.
24. Hà, Đ.T. Nghiên cứu công nghệ tách các catechin từ chè xanh (*Camellia Sinensis L.*), chuyên hóa tạo dẫn xuất o-acetyl catechin và khảo sát hoạt tính dọn gốc tự do của chúng. Luận án Tiến sĩ, Viện Hóa học Công nghiệp Việt Nam. 2017.
25. Sơn, V.H. Nghiên cứu công nghệ khai thác tổ hợp polyphenol từ lá chè xanh Việt Nam và ứng dụng trong sản xuất thực phẩm chức năng. Luận án Tiến sĩ, Trường Đại học Bách Khoa Hà Nội. 2011.
26. QCVN 8-2:2011/BYT: Quy định về giới hạn ô nhiễm chì trong thực phẩm. 2011.

Research on the growth process and productivity of winter tea in growing area in Hoa Lac, Thach That, Hanoi

Pham Thi Thu Ha^{1*}, Vu Dinh Tuan¹, Nguyen Le Xuan Hung¹, Pham Anh Hung¹, Pham Hung Son¹, Le Quynh Mai, Tran Thi Minh Hang¹, Pham Thi Viet Anh¹, Nguyen Manh Khai¹, Tran Thien Cuong¹, Luu Minh Loan¹, Dang Thi Nhat Minh¹

¹ University of Science, Vietnam National University, Hanoi, 334 Nguyen Trai, Thanh Xuan, Ha Noi; phamthithuha.hus@gmail.com; vudinh tuan@hus.edu.vn; nguyensexuanhung_t65@hus.edu.vn; phamanhhung@hus.edu.vn; phamhungson@hus.edu.vn; lequynh mai80@gmail.com; hangttm@hus.edu.vn; phamthivietanh@hus.edu.vn; nguyensexuanhinh@hus.edu.vn; tranthien cuong@hus.edu.vn; luuminhloan@hus.edu.vn; dtnminh@hus.edu.vn

Abstract: This study evaluates the growth process and yield of tea plants grown at Vietnam National University, Hanoi, Hoa Lac. The research was conducted in the Hoa Lac tea garden, arranged in a completely randomized block design (RCBD), with three experimental treatments: CT1 (control, traditional cultivation by local farmers), CT2 (organic fertilizer + Organomix foliar fertilizer at a ratio of 1:500), and CT3 (organic fertilizer + Organomix foliar fertilizer at a ratio of 1:300), each with three replications, on an area of 360 m². The research results show that using Organomix fertilizer at the appropriate ratio and fertilization method (spray both leaves and roots) has contributed to improve the growth rate of stem length, canopy width, trunk diameter, and the leaf area index of tea plants. There was no difference in the SPAD index (indirectly reflects the chlorophyll content in leaves) among the treatments. Productivity and yield components of tea plants are highest in CT3, 1.45 times higher than CT2 and 1.5 times higher than CT1 (Control). The physicochemical indicators and heavy metal content in tea leaves in all three treatments met the standards specified in TCVN 11041-6:2018 and QCVN 8-2:2011.

Keywords: Tea plants; Organomix fertilizer; Growth; Productivity; Hoa Lac.

Table of content

- 1 Duong, P.T. Evaluating the concentrations of Zn and Cu in beblood surface ediments of the Cua Tieu and Cua Dai river estuaries. *J. Hydro-Meteorol.* **2024**, 768, 1–9.
- 10 Quang, V.N.; Ha, N.V.; Trong, T.D. Real-time monitoring and combined analysis of construction displacement using GNSS and acceleration sensors. *J. Hydro-Meteorol.* **2024**, 768, 10–20.
- 21 Nam, N.D.; Thang, V.V.; Thuc, T.D. Experimental research on data assimilation in forecasting sudden changes in storm intensity and trajectory in the East Sea using the HWRf model. *J. Hydro-Meteorol.* **2024**, 768, 21–33.
- 34 Long, T.T.; Phu, N.T.; Huy, L.M.; Nhan, L.T. Experimental development of a smart irrigation system integrated with IoT sensors and artificial intelligence for urban green areas. *J. Hydro-Meteorol.* **2024**, 768, 34–44.
- 45 Nam, N.T.T. Long-term observation of heat index in Ho Chi Minh City from 1990 to 2023. *J. Hydro-Meteorol.* **2024**, 768, 45–53.
- 54 Chien, T.P.; Dung, N.V.; Chinh, N.D.; Kien, L.A.; Son, N.V.; Thanh, M.H.; Vu, D.H.; Tan, L.V.; Luy, T.B. Research on the influence of spatial arrangement of breakwaters on the hydrodynamic regime at the coast of Ba Tri district, Ben Tre Province. *J. Hydro-Meteorol.* **2024**, 768, 54–64.
- 65 Thy, V.N.D.; Tuan, L.N. Assessing the current status of laboratory hazardous waste generation and management at the University of Science, Vietnam National University Ho Chi Minh City. *J. Hydro-Meteorol.* **2024**, 768, 65–77.
- 78 Ha, P.T.T.; Tuan, V.D.; Hang, L.X.; Hung, P.A.; Son, P.H.; Mai, L.Q.; Hang, T.T.M.; Anh, P.T.V.; Khai, N.M.; Cuong, T.T.; Loan, L.M.; Minh, D.T.N. Research on the growth process and productivity of winter tea in growing area in Hoa Lac, Thach That, Hanoi. *J. Hydro-Meteorol.* **2024**, 768, 78–87.