

TẠP CHÍ

KHÍ TƯỢNG THỦY VĂN

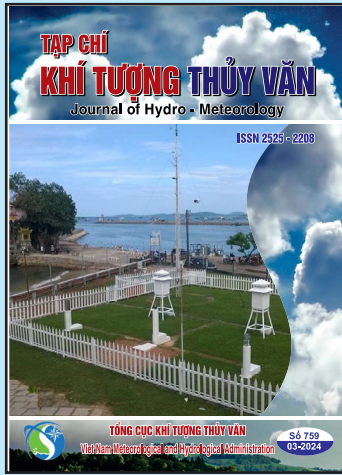
Journal of Hydro - Meteorology

ISSN 2525 - 2208



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

Số 759
03-2024



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

Giấy phép xuất bản

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

Tòa soạn

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

Chế bản và In tại:

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

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

Giá bán: 40.000 đồng

TẠP CHÍ KHÍ TƯỢNG THỦY VĂN SỐ 759 - 3/2024

MỤC LỤC

Bài báo khoa học

- Tô Viết Nam, Phùng Đại Khánh, Đinh Thị Linh:** Kết hợp phương pháp viễn thám GIS và mô hình toán mô phỏng diễn biến đường bờ khu vực cầu Ghềnh, sông Đồng Nai
- Quách Thái Dương, Lê Hoàng Nghiêm, Phạm Thanh Long:** Ứng dụng mô hình chất lượng nước MIKE-ECOLAB mô phỏng chất lượng nước khu vực hạ lưu sông Sài Gòn - Đồng Nai theo các kịch bản biến đổi khí hậu
- Nguyễn Thị Thu Hương, Nguyễn Quang Minh:** Nghiên cứu xây dựng Web-GIS công bố bản đồ nguy cơ lây nhiễm dịch bệnh COVID-19 trên địa bàn thành phố Hà Nội
- Huỳnh Phú, Huỳnh Thị Ngọc Hân, Nguyễn Thị Huệ, Võ Hoàng Khang:** Ứng dụng thuật toán trên nền tảng ngôn ngữ R để nghiên cứu vi nhựa trong nước mặt lục địa, sông Sài Gòn và sông Đồng Nai
- Tô Viết Nam, Khẩu Thị Ly:** Xác định độ thấm của cát bằng phương pháp minh giải ảnh chụp cắt lớp trở kháng điện
- Dương Văn Hưng, Vũ Thị Hoà, Trần Văn Giáp, Võ Văn Hoà, Đoàn Quang Trí:** Ứng dụng mô hình MIKE 11 mô phỏng quá trình xâm nhập mặn vùng ven biển tỉnh Nam Định
- Nguyễn Trọng Nhân, Lê Thiên Bảo:** Xây dựng công cụ và hệ thống giám sát đất nhiễm mặn tại tỉnh Bến Tre
- Trần Thành Đạt, Cao Thị Thu Thảo, Trịnh Trọng Nguyễn, Thái Văn Nam:** Đánh giá rủi ro của formaldehyde trong cá biển đánh bắt xa bờ tại tỉnh Bình Thuận đối với sức khỏe người tiêu dùng

Bài báo khoa học

Kết hợp phương pháp viễn thám GIS và mô hình toán mô phỏng diễn biến đường bờ khu vực cầu Ghềnh, sông Đồng Nai

Tô Việt Nam^{1,2}, Phùng Đại Khánh^{1,2}, Đinh Thị Linh^{3*}

¹ Khoa Kỹ thuật Địa chất & Dầu khí, Trường Đại học Bách khoa Tp.HCM;
tovietnam@hcmut.edu.vn; phungdaikhanh@hcmut.edu.vn

² Đại học Quốc gia Tp.HCM; tovietnam@hcmut.edu.vn; phungdaikhanh@hcmut.edu.vn

³ Đại học Sejong, Seoul, Hàn quốc; dinhthilinh682@gmail.com

*Tác giả liên hệ: dinhthilinh682@gmail.com; +84-987497698

Ban Biên tập nhận bài: 5/11/2023; Ngày phản biện xong: 4/12/2023; Ngày đăng bài: 25/3/2024

Tóm tắt: Việc đánh giá sự thay đổi đường bờ sông trước khi xây kè lấn sông và dự báo sự thay đổi lòng dẫn sông khi có kè là hết sức quan trọng trong công tác quy hoạch và xây dựng cũng như vận hành đô thị. Trong thời gian gần đây, công nghệ viễn thám đã nổi lên như một giải pháp vô cùng hữu ích cung cấp cho chúng ta dữ liệu ảnh theo thời gian và không gian với độ phân giải cao. Bài báo giới thiệu một kết quả nghiên cứu, đánh giá, mô tả diễn biến đường bờ của khu vực cầu Ghềnh sông Đồng Nai từ dữ liệu ảnh viễn thám, sử dụng hệ thống phân tích Digital Shoreline Analysis System (DSAS) trong giai đoạn quá khứ từ năm 1988 đến năm 2016 và mô hình toán MIKE 21C để dự báo diễn biến lòng dẫn trong tương lai. Kết quả nghiên cứu cho thấy tốc độ sạt lở trung bình đạt khoảng 0.6 mét/ năm, tuy nhiên khu vực mũi Cù lao Phó đạt 1.83 mét/ năm. Kết quả diễn biến lòng dẫn ứng với lưu lượng tạo lòng cho thấy khả năng bị xói mạnh gần vị trí trước cầu Ghềnh khi thực hiện dự án cải tạo cảnh qua và phát triển đô thị ven sông Đồng Nai. Kết quả đạt được từ nghiên cứu có thể dùng để dự báo diễn biến lòng dẫn trong tương lai dưới ảnh hưởng của kè sông.

Từ khóa: Phương pháp viễn thám; GIS; Mô hình toán; MIKE 21C; Diễn biến đường bờ.

1. Giới thiệu

Cùng với sự phát triển kinh tế - xã hội, xây dựng cơ sở hạ tầng để phát triển cảnh quan đô thị tại ven sông là một dự án hạ tầng quan trọng tạo cảnh quan xanh cho cư dân thành phố. Tuy nhiên, việc lấn sông sẽ gây ảnh hưởng đến dòng chảy, làm thay đổi chế độ thủy lực của khu vực thực hiện dự án cũng như tác động đến các đoạn bờ khu vực lân cận [1]. Do vậy, việc đánh giá sự thay đổi đường bờ sông trước khi kè lấn sông và dự báo sự thay đổi lòng dẫn sông khi có kè là thực sự cần thiết để có cái nhìn khách quan về sự ảnh hưởng của dự án đến chế độ thủy lực của dòng chảy.

Trước đây, để đánh giá được mức độ bồi, xói của đường bờ theo thời gian, chúng ta phải dựa hoàn toàn vào số liệu đo đạc hiện trường. Tuy nhiên, điểm yếu của phương pháp này là chỉ đo đạc được ở một số vị trí cụ thể, không thể đo đạc được toàn vùng và qua một chuỗi thời gian dài [1, 2].

Trong những năm gần đây, công nghệ viễn thám đã phát triển rất mạnh mẽ và được ứng dụng rộng rãi trong nhiều lĩnh vực khác nhau. Ảnh viễn thám là dữ liệu vô cùng hữu ích, thu thập theo cả thời gian và không gian với độ phân giải cao, có thể theo dõi quan sát được sự thay đổi của thảm thực vật theo thời gian. Việc ứng dụng ảnh viễn thám để theo dõi sự thay đổi đường bờ đã được ứng dụng trong nhiều nghiên cứu bởi vì phương pháp này có thể khắc

phục được nhược điểm của phương pháp thực đo [3–6]. Hiện nay, có nhiều phương pháp được sử dụng để phân tích biến động đường bờ, trong đó hệ thống phân tích đường bờ DSAS (Digital Shoreline Analysis System) được xem là một công cụ hiệu quả được sử dụng rộng rãi. DSAS có thể tích hợp với phần mềm ArcGIS để phân tích thông tin địa lý và tính toán tốc độ thay đổi đường bờ theo cả không gian và thời gian [1–3, 7, 8].

Việc đánh giá diễn biến bờ, xói của đường bờ bằng phương pháp viễn thám và GIS là rất lợi thế bởi hệ thống viễn thám có thể lưu trữ dữ liệu hình ảnh theo lịch sử [9–11], tuy nhiên để có thể dự báo mức độ diễn biến lòng dẫn trong sông, phương pháp mô hình toán, như mô hình thủy lực 2 chiều, là phương pháp thể hiện ưu điểm vượt trội. Đối với đoạn sông cong, đặc trưng như khu vực sông Đồng Nai, mô hình thủy lực MIKE 21C có thể mô phỏng tốt về lòng dẫn [12–15].

Nghiên cứu này là để đánh giá sự biến động của đường bờ trong quá khứ giai đoạn từ 1988 đến 2016 sử dụng ảnh viễn thám và DSAS, và để dự báo diễn biến lòng dẫn cho đoạn sông cong sử dụng mô hình thủy lực hai chiều MIKE 21C cho khu vực sông Đồng Nai đoạn từ cầu Hóa An đến cầu Ghềnh.

2. Dữ liệu sử dụng và phương pháp nghiên cứu

2.1. Khu vực nghiên cứu

Khu vực nghiên cứu nằm trong vùng Dự án cải tạo cảnh quan và phát triển đô thị ven sông Đồng Nai thuộc phường Quyết Thắng, Tp. Biên Hòa, tỉnh Đồng Nai [16] với tổng diện tích 150.939 m² bao gồm: phần diện tích xây dựng mới 102.999 m², phần diện tích cải tạo 47.940 m². Khu vực dự án nằm dọc bờ sông Đồng Nai, khu vực phường Quyết Thắng được bảo vệ bằng tuyến kè.



Hình 1. Khu vực nghiên cứu.






Trên phạm vi thượng và hạ lưu khu vực dự án có các công trình cầu xây dựng trên sông là cầu Hóa An 2, cầu Ghềnh, cầu Rạch Cát, cầu Bửu Hòa và cầu Đồng Nai.

2.2. Cơ sở dữ liệu và quá trình xử lý

2.2.1. Ảnh landsat

Để đánh giá diễn biến thay đổi đường bờ, dữ liệu ảnh landsat theo thời gian được lựa chọn để phục vụ cho nghiên cứu. Hiện nay đối với ảnh vệ tinh Landsat, người ta sử dụng chủ yếu 3 ảnh: Landsat 4-5, Landsat 7 và Landsat 8. Để thuận tiện cho người dùng trong công tác lựa chọn các phương pháp tổ hợp màu đối với các ảnh vệ tinh Landsat, có thể dựa vào bảng tham chiếu chuyển đổi hệ màu giữa ảnh Landsat 5, 7 và Landsat 8 [16]. Trong nghiên cứu này, dữ liệu ảnh landsat từ năm 1988 đến năm 2016 được thu thập và xử lý.

Bảng 1. Tổ hợp band ảnh của Landsat [17].

Mẫu ảnh	Phương pháp tổ hợp	Landsat 7 Landsat 5	Landsat 8
	Color Infrared: Màu hồng ngoại (thực vật)	4, 3, 2	5,4,3
	Natural Color: Màu tự nhiên	3, 2, 1	4,3,2
	False Color: Giả màu phân tích thực vật	5,4,3	6,5,4
	False Color: Giả màu (đô thị)	7,5,3	7,6,4
	False Color: Giả màu (màu tự nhiên với sự thâm nhập khí quyển)	7,4,2	7,5,3

2.2.2. Dữ liệu mô hình thủy lực

Dữ liệu để phục vụ mô phỏng thủy lực bao gồm dữ liệu địa hình, địa chất, dữ liệu khí tượng, thủy văn, bùn cát, dữ liệu mặt cắt sông và dữ liệu khảo sát thực địa.

- Tài liệu địa hình: mặt cắt ngang sông Đồng Nai đoạn từ cầu Hóa An đến cầu Ghềnh từ năm 1982, 2007; tài liệu địa hình đo tháng 9/2008; tài liệu địa hình đo bổ sung tháng 4/2015, 10/2016.

- Tài liệu địa chất: 9/2008 do công ty cổ phần tư vấn đầu tư GEOQ khảo sát tháng 3/2012.

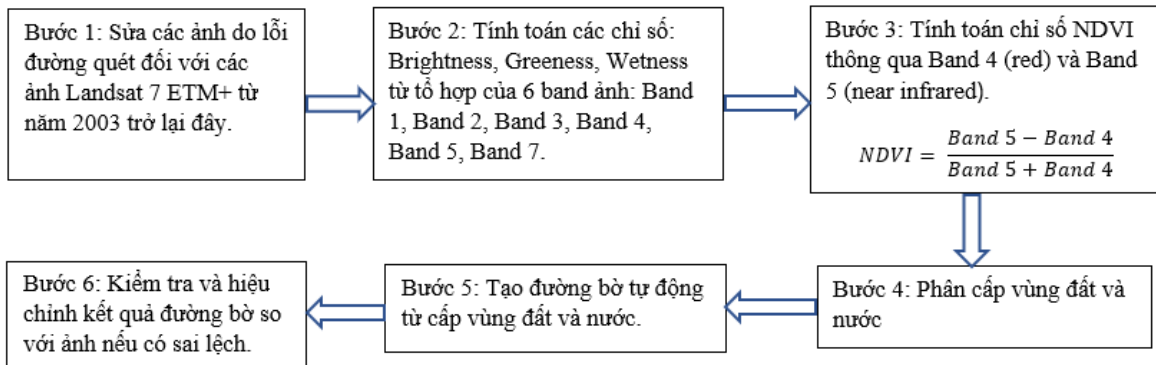
- Số liệu khí tượng thủy văn, bùn cát trên lưu vực sông Đồng Nai.

- Các bản vẽ về khảo sát, quy hoạch tuyến, thiết kế xây dựng hạ tầng trên phạm mặt bằng khu đất lấn ra sông 6/2013 từ Công ty cổ phần tư vấn xây dựng Đồng Nai.
- Bản vẽ mô tả mặt cắt địa chất dọc tuyến công trình từ Công ty cổ phần tư vấn đầu tư GEOQ.

2.3. Phương pháp nghiên cứu

2.3.1. Phương pháp diễn toán đường bờ

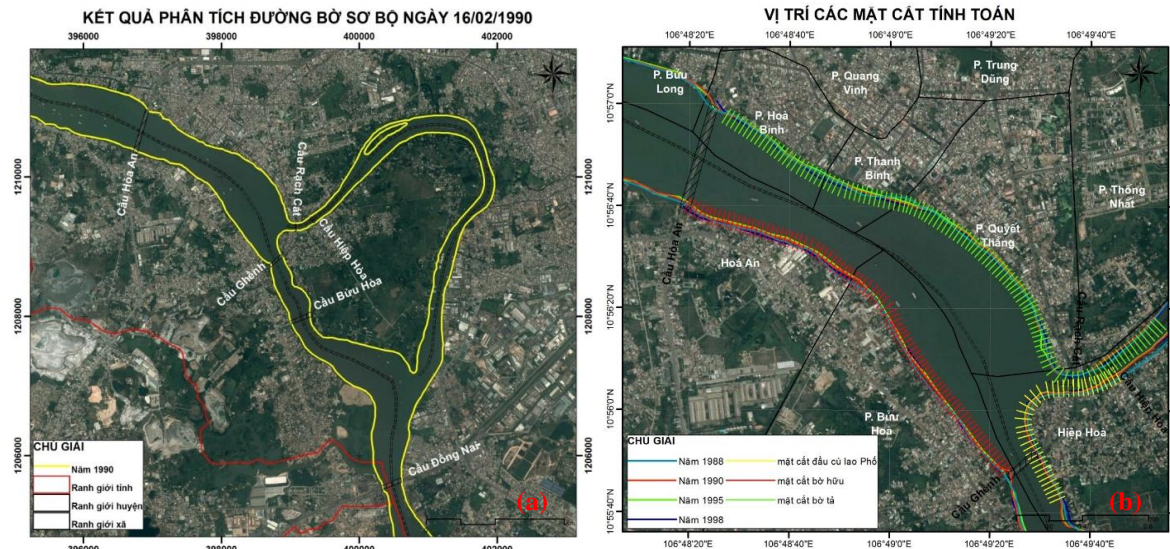
Nghiên cứu [18] đã giới thiệu một phương pháp để chiết tách đường bờ từ Landsat toolbox dựa trên ảnh Landsat TM và ETM+. Landsat toolbox là một công cụ hỗ trợ trên nền của Arcgis, dùng để phục vụ các tính toán liên quan đến ảnh Landsat. Cách chiết tách đường bờ từ ảnh Landsat được thực hiện như trên hình 2.



Hình 2. Sơ đồ các bước thực hiện để chiết tách đường bờ từ ảnh Landsat.

Sau khi trích xuất được đường bờ từ dữ liệu Landsat bằng công cụ DSAS thì ta sẽ tính toán được tỷ lệ dịch chuyển và thay đổi đường bờ. DSAS tạo ra các mặt cắt vuông góc với đường cơ sở với khoảng cách do người sử dụng tự định nghĩa dọc theo đường bờ, các giao điểm mặt cắt của đường bờ với đường cơ sở sẽ được sử dụng để tính toán các số liệu thống kê tỷ lệ thay đổi một cách tự động [19].

Sự dịch chuyển của đường bờ được xác định bằng các đường cơ sở (*baseline*), để DSAS dựa vào đó tính toán sự thay đổi đường bờ theo thời gian. Đường cơ sở được xây dựng với các thông tin do người sử dụng công cụ DSAS lựa chọn, và đóng vai trò là pháp tuyến tại mỗi giao điểm cho những đường cắt ngang (*transect*). Transect là những đường được công cụ DSAS dựng lên theo đặc trưng người sử dụng chọn lựa, các transect này có một đầu xuất phát từ đường cơ sở và cắt ngang qua các đường bờ cần tính toán. Giao điểm bởi các đường



Hình 3. Kết quả chiết tách đường bờ từ ảnh Landsat (a) và vị trí các mặt cắt (b).

transect và các đường bờ sẽ cung cấp một lưới dữ liệu cho DSAS tính toán các thông số phục vụ đánh giá việc thay đổi đường bờ theo thời gian.

Trong phạm vi đoạn sông nghiên cứu, các mặt cắt cách nhau 30 m, ở các vị trí có công trình quan trọng hay các vị trí có khả năng xói, bồi cao thì chia khoảng cách các mặt cắt dày hơn (Hình 3). DSAS có khả năng thực hiện nhiều phương pháp tính toán thống kê khác nhau: *Shoreline Change Envelope (SCE)*, *Net Shoreline Movement (NSM)*, *End - Point Rate (EPR)*, *Linear Regression Rate (LRR)*, *Weighted Linear Regression (WLR)* hoặc *Least Median of Squares (LMS)*. Việc lựa chọn phương pháp thống kê thì phù thuộc vào số lượng và chất lượng đường bờ. Ngoài ra, công cụ hỗ trợ tính toán đường bờ DSAS cũng xét đến các yếu tố như tốc độ bồi xói, khoảng cách thay đổi lớn nhất.

2.3.2. Phương pháp mô hình toán

Viện thủy lực Đan Mạch (DHI) đã giới thiệu bộ mô hình thủy động lực MIKE để tính toán diễn biến hình thái lòng sông 2 chiều, đặc biệt là MIKE 21C cho những đoạn sông cong. Do vậy, nghiên cứu này ứng dụng mô hình MIKE 21C để đánh giá, dự báo mức độ xói, bồi, sạt lở bờ sông và diễn biến lòng dẫn cho đoạn sông từ cầu Ghềnh đến cầu Hóa An của sông Đồng Nai.

a) Mô hình thủy lực 2 chiều (Hydrodynamic)

Mô hình thủy động lực học dùng để mô phỏng mực nước và dòng chảy trong sông bằng cách giải hệ phương trình Saint Venant thông qua các lưới cong. Hệ phương trình này được giải bằng kỹ thuật sai phân ẩn với các biến được định nghĩa trên lưới tính toán so le [15] được mô tả như sau:

$$\frac{\partial p}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial s}\left(\frac{p^2}{h}\right) + \frac{\partial}{\partial n}\left(\frac{pq}{h}\right) + 2\frac{pq}{hRn} + \frac{p^2 - q^2}{hRs} + gh\frac{\partial H}{\partial s} + \frac{g}{C^2}\frac{p\sqrt{p^2 + q^2}}{h^2} = \text{RHS} \quad (1a)$$

$$\frac{\partial q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial s}\left(\frac{pq}{h}\right) + \frac{\partial}{\partial n}\left(\frac{q^2}{h}\right) + 2\frac{pq}{hRs} + \frac{q^2 - p^2}{hRn} + gh\frac{\partial H}{\partial n} + \frac{g}{C^2}\frac{q\sqrt{p^2 + q^2}}{h^2} = \text{RHS} \quad (1b)$$

$$\frac{\partial H}{\partial t} + \frac{\partial p}{\partial s} + \frac{\partial q}{\partial n} - \frac{q}{Rs} + \frac{p}{Rn} = 0 \quad (1c)$$

Trong đó s,n là vị trí trong hệ tọa độ cong; p,q là lưu lượng theo hướng s và n; H là cao trình mực nước; h là độ sâu mực nước; g là gia tốc trọng trường; C là hệ số Chezy; Rs, Rn là bán kính cong của đường s và n; RHS là hệ số Reynold.

b) Mô hình hình thái (Morphology)

Hình thái của lòng dẫn được đặc trưng bởi dòng chảy vòng, vận chuyển bùn cát và thay đổi độ cao đáy lòng sông.

- Dòng chảy vòng là dòng chảy thứ cấp gây ra do sự chênh hướng của ứng suất tiếp đáy bởi dòng sát đáy với dòng chảy chính, là nguyên nhân chính của xói vòng, xói hợp lưu [15]. Sự chênh hướng này được tính như sau:

$$\tan \delta_s = -\beta \frac{h}{R_s} \quad (2)$$

Trong đó δ_s là góc lệch giữa ứng suất tiếp đáy và dòng chính; h là độ sâu dòng chảy; R là bán kính đoạn sông cong; β là hệ số được tính như sau:

$\beta = \alpha \frac{2}{K^2} \left(1 - \frac{\sqrt{g}}{KC}\right)$ với K là hằng số Van Karman, C là số Chezy và α là hằng số kiểm định mô hình.

- Vận chuyển bùn cát trong MIKE 21C được tính toán dựa trên một trong các công thức của Engelund - Hansen, Engelund - Fredsoe, van Rijn hay Meyer - Peter [15].

- Sự thay đổi địa hình đáy sông được tính toán dựa trên lượng bùn cát đáy và bùn cát lơ lửng:

$$(1-n)\frac{\partial z}{\partial t} + \frac{\partial S_x}{\partial x} + \frac{\partial S_y}{\partial y} = \emptyset Si \quad (3)$$

Trong đó S_x và S_y là bùn cát tổng theo phương x và y; n là độ rỗng của bùn cát vận chuyển; z là cao trình đáy; t là thời gian; x,y là tọa độ Đề các; $\emptyset Si$ là bùn cát cung cấp do xói bờ.

Để thiết lập mô hình diễn toán lòng dẫn cho khu vực sông Đồng Nai bằng mô hình MIKE 21C, dữ liệu đầu vào của mô hình đóng vai trò quan trọng vì nó quyết định độ chính xác của mô hình. Các dữ liệu đầu vào của mô hình MIKE 21C có được từ kết quả tính toán mô hình thủy lực MIKE 11 trên hệ thống sông Sài Gòn - Đồng Nai.

Sơ đồ thủy lực tính toán nghiên cứu trong MIKE 11 bao gồm toàn bộ hệ thống sông Đồng Nai Sài Gòn được số hóa với tổng số 269 nhánh sông chính với tổng chiều dài được mô phỏng khoảng 1926,7 km, và 7563 nút tính toán và 707 mặt cắt. Số liệu địa hình và khí tượng thủy văn tại các trạm đo được thu thập, kiểm tra độ chính xác để đảm bảo chất lượng phục vụ cho việc phân tích đánh giá chế độ dòng chảy và vấn đề tiêu thoát lũ trên sông Đồng Nai. Mô hình MIKE 11 được hiệu chỉnh với trận lũ tháng 10/2000 và so sánh với số liệu thực đo để hiệu chỉnh hệ số nhám mô hình thông qua chỉ số kiểm định NASH tương ứng tại trạm đo (Bảng 2).

Bảng 2. Kết quả hiệu chỉnh mô hình MIKE 11.

TT	Trạm kiểm tra	Sông	Hmax (m)			Hmin (m)			Hệ số Nash
			Tính toán	Thực đo	Sai số Hmax (m) (Ttoán-Tđo)	Tính toán	Thực đo	Sai số Hmin (m) (Ttoán-Tđo)	
1	Biên Hòa	Đồng Nai	2,17	2,19	-0,02	-0,67	-0,66	-0,01	0,95
2	Bến Lức	Vàm Cỏ Đông	1,37	1,38	-0,01	-0,2	-0,22	0,02	0,95
3	Thủ Dầu Một	Sài Gòn	1,27	1,26	0,01	-1,53	-1,52	-0,01	0,97
4	Nhà Bè	Nhà Bè	1,38	1,42	-0,04	-1,57	-1,62	0,05	0,87
5	Phú An	Sài Gòn	1,44	1,43	0,01	-1,56	-1,53	-0,03	0,94

Trận lũ tháng 10/2007 là trận lũ điển hình và được lựa chọn để kiểm định mô hình MIKE 11.

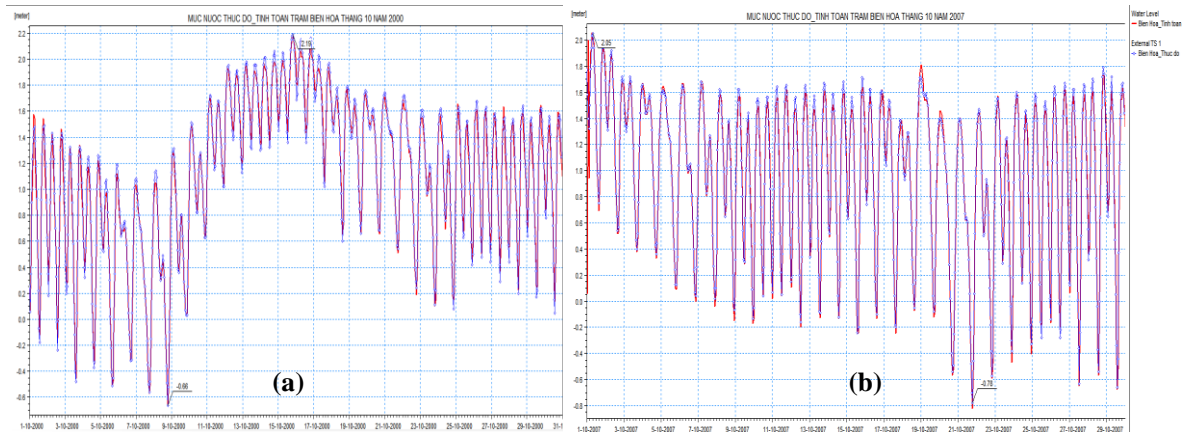
Bảng 3. Kết quả kiểm định mô hình MIKE 11.

TT	Trạm kiểm tra	Hmax (m)			Hmin (m)			Hệ số Nash
		Tính toán	Thực đo	Sai số Hmax (m) (Ttoán-Tđo)	Tính toán	Thực đo	Sai số Hmin (m) (Ttoán-Tđo)	
1	Biên Hòa	2,06	2,05	0,01	-0,82	-0,78	-0,04	0,89
2	Bến Lức	1,41	1,4	0,01	-1,08	-1,06	-0,02	0,97
3	Thủ Dầu Một	1,25	1,24	0,01	-1,38	-1,4	0,02	0,93
4	Nhà Bè	1,42	1,46	-0,04	-2,2	-2,21	0,01	0,96
5	Phú An	1,47	1,49	-0,02	-1,71	-1,72	0,01	0,95

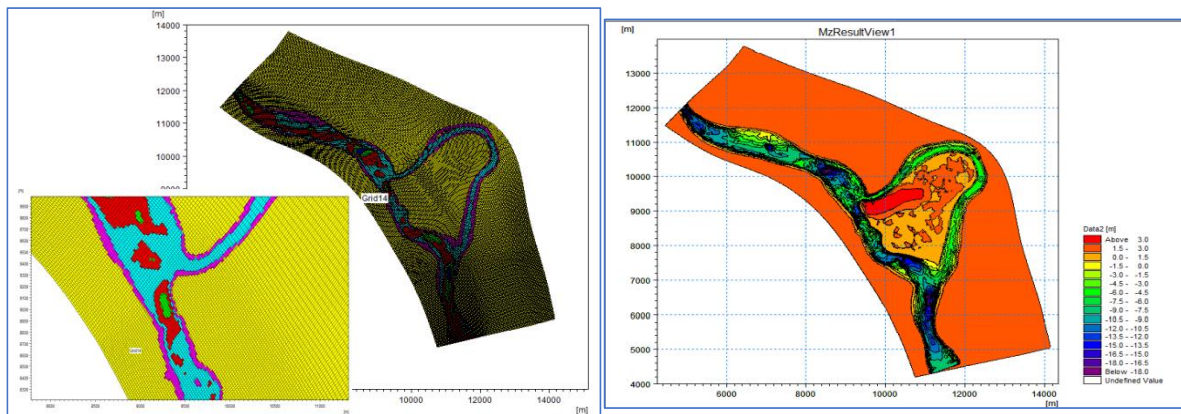
Kết quả kiểm định trận lũ tháng 10/2007 cho thấy sai số giữa tính toán và đo đạc là 0,01÷0,04 m (Bảng 3). Quá trình mực nước lên và xuống giữa quan trắc và mô phỏng là phù hợp và bám sát với nhau, sự chênh lệch giữa đỉnh triều và chân triều là rất ít (Hình 4). Do đó, có thể sử dụng kết quả của mô hình MIKE 11 làm đầu vào cho mô hình hai chiều để đánh giá biến động lòng dẫn khu vực nghiên cứu.

Sau đó, nghiên cứu thực hiện thiết lập mô hình MIKE 21C với lưới tính toán là lưới cong, miền lưới tính toán bao gồm 800×240 ô lưới, Biên vào là phía thượng lưu đoạn sông là quá trình lưu lượng Q-t với bờ phải là phường Tân Hạnh, bờ trái là phường Bửu Long thành phố Biên Hòa, tỉnh Đồng Nai, tại vị trí Bến đò Tân Ba - Bửu Long (cách cầu Hóa An về thượng lưu khoảng 3.300 m). Biên ra phía hạ lưu đoạn sông là quá trình mực nước H-t, bờ phải là phường Long Bình, Quận 9, TP. Hồ Chí Minh. Bờ trái là phường Long Bình, thành phố Biên Hoà, tỉnh Đồng Nai, tại vị trí cách cầu Đồng Nai khoảng 1000 m về phía hạ lưu.

Biên bùn cát được lấy với đường kính hạt $d_{50} = 0,1\text{mm}$; độ rỗng 0,35; tỷ trọng cát 2,65 và thông số Shield tới hạn 0,056.



Hình 3. Kết quả hiệu chỉnh (a) và kiểm định (b) mực nước tại trạm Biên Hòa.



Hình 4. Lưới tính toán và địa hình khu vực nghiên cứu.

3. Kết quả và thảo luận

3.1. Kết quả phân tích đường bờ

Để thuận tiện cho việc phân tích, khu vực nghiên cứu được chia thành 2 khu vực nhỏ tính từ thượng lưu xuống hạ lưu theo 3 giai đoạn từ năm 1990 đến 1999, từ năm 2000 đến 2009 và từ 2010 đến 2016 như sau:

- Khu vực 1: Đoạn từ cầu Hóa An đến ngã ba sông gần khu vực mở rộng bãi ven sông.
- Khu vực 2: Từ ngã sông xuống đến ngã ba nhập lưu của hai nhánh sông

a) Phân tích diễn biến đoạn từ cầu Hóa An đến ngã ba sông.

Đoạn sông từ cầu Hóa An đến ngã ba sông diễn biến đường bờ có sự thay đổi không nhiều, tuy nhiên tại một số vị trí xuất hiện hiện tượng sạt lở.

Trong giai đoạn từ 1990-1999, đối với mùa kiệt tại vị trí mở rộng ngay sau đoạn eo thu hẹp, bờ tả xuất hiện xói với sự dịch chuyển đường bờ lớn nhất là 3,8 mét, tốc độ xói lớn nhất đạt 0,38 m/năm. Bên bờ hữu có bồi nhẹ, tốc độ bồi đạt 0,3 m/năm. Tuy nhiên, đến mùa lũ thì sự dịch chuyển đường bờ hầu như không nhiều. Trước năm 2008, gần khu vực công viên Biên Hòa, tại bờ tả khu vực công viên bị sạt lở, nhưng từ năm 2008 đến nay thì đường bờ tương đối ổn định do có bờ kè bằng cọc bê tông dự ứng lực.

Đặc biệt từ năm 2014-2016, hiện trạng đoạn sông khu vực phường Quyết Thắng đang thực hiện dự án “Cải tạo cảnh quan và phát triển đô thị ven sông Đồng Nai” [16]. Dự án này có quy mô 8,4 ha (84.000 m²), nằm dọc theo sông Đồng Nai với diện tích mở rộng khu bãi ven sông lên tới hơn 7,7 ha, chỉ có hơn 0,6 ha là đất hiện hữu. Dự án này kéo dài hơn 1,3 km từ công viên Nguyễn Văn Trị (đối diện UBND tỉnh Đồng Nai) đến cầu Rạch Cát (P. Quyết

Thắng), và mở rộng bãi ra đoạn hẹp nhất là 30m, còn đoạn rộng nhất khoảng 100m nên đường bờ đoạn sông này có sự dịch chuyển rõ rệt [20]. Sự thay đổi đường bờ trong giai đoạn này có thể gây tác động đến dòng chảy phía dưới hạ lưu.



Hình 5. Sự thay đổi đường bờ tại vị trí dự án.



Hình 6. Sự thay đổi đường bờ qua các năm tại vị trí đầu Cù Lao Phố.

Tại vị trí đầu Cù Lao Phố thuộc phần hạ lưu khu vực mở rộng bãi sông đây là vị trí dòng chảy phân lạch, có hiện tượng xói. Sự dịch chuyển đường bờ lớn nhất trong đoạn này đạt 17,7 m với tốc độ sạt lở là 0,63 m/năm (Hình 6).

Đối với cù lao Phố, do đặc trưng hình thái của đoạn sông phân lạch, lạch phải phát triển mạnh, lạch trái cù lao Phố phát triển yếu, dòng chảy vào lạch chính lớn hơn. Do sự phân chia lưu lượng thay đổi giữa hai lạch dẫn đến sạt lở mạnh ở đầu cù lao Phố.

Từ kết quả tính toán như hình 7 ta thấy khoảng cách dịch chuyển đường bờ lớn nhất trong vòng 28 năm đạt 51,4 m. Điều đó cho thấy, sự biến đổi của dòng chảy phía thượng lưu

tác động lớn đến mũi Cù lao Phố với tốc độ sạt lở trung bình đạt 1,83 m/năm. Đây là tốc độ sạt lở rất lớn, có thể tác động đến hình dạng của cù lao Phố.

b) Phân tích diễn biến đường bờ đoạn từ ngã ba sông xuống dưới đoạn ngã ba nhập lưu.

+ Đối với đoạn từ ngã ba sông xuống dưới ngã ba nhập lưu, vị trí cách cầu Ghềnh khoảng 550m về phía hạ lưu, bờ hữu bị xói với tốc độ bình quân khoảng $\Delta Z=1,1m -1,3m$.

Tại vị trí cách cầu Ghềnh khoảng 170 m về phía hạ lưu, do đặc điểm lòng sông bên bờ tả lòng sông sâu và dốc, phía bờ hữu giai đoạn từ 1990-1999 bị xói với tốc độ lớn nhất đạt 0,6 m/năm. Đến giai đoạn từ năm 2008 đến nay, mức độ thay đổi đường bờ đối với bờ hữu trung bình đạt 0,4 m/năm.

+ Vị trí khu vực Cù Lao Phố cách cầu Ghềnh về phía hạ lưu khoảng 1200 m, phía bờ tả có sự dịch chuyển đường bờ lớn nhất đạt 17,8 m trong vòng 28 năm, tốc độ dịch chuyển đạt 0,63 m/năm.

Dựa trên bản đồ diễn biến lòng dẫn, tiến hành đánh giá, phân tích và xác định một số quy luật diễn biến cần thiết cho từng khu vực cụ thể phục vụ cho công tác dự báo: Tốc độ và quy mô xói bồi hai bên bờ tả và hữu, tốc độ diễn biến xói khu vực cù lao. Quy mô, tốc độ sạt lở bờ và vị trí sạt lở tại khu vực nghiên cứu trong giai đoạn từ 1988 đến 2016, được ghi trong bảng sau:

Bảng 4. Kết quả tính toán bồi, xói của khu vực nghiên cứu.

Vị trí	Bờ sông	Chiều rộng sạt lở sâu vào bờ lớn nhất (m)	Tốc độ sạt lở trung bình (m/năm)
Khu vực đầu Cù Lao Phố thuộc phần hạ lưu khu vực dự án	Tả	17,7	0,63
Khu vực mom Cù Lao Phố		51,4	1,83
Khu vực Cù Lao Phố cách cầu Ghềnh về phía hạ lưu khoảng 550m	Hữu		1,1
Khu vực Cù Lao Phố cách cầu Ghềnh về phía hạ lưu khoảng 1200m	Tả	17,8	0,63
Khu vực thượng lưu cầu Bửu Hòa cách cầu khoảng 100m	Tả	16,3	0,58

3.2. Phân tích diễn biến lòng dẫn từ mô hình thủy lực

3.2.1. Thiết lập phương án tính toán

Nghiên cứu giả thiết các phương án tính toán diễn biến lòng dẫn dựa trên các hiện trạng địa hình khác nhau:

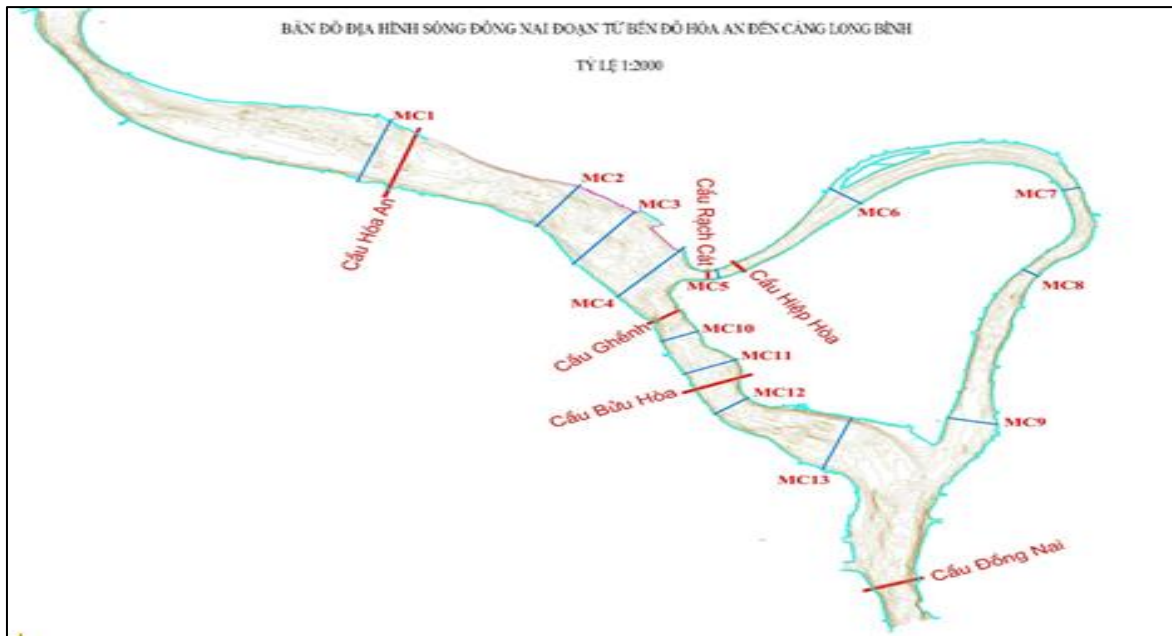
- Hiện trạng số liệu địa hình 2008 do Viện KHTL Miền Nam khảo sát đo đạc từ cầu Hóa An đến cảng Long Bình với tỷ lệ chi tiết 1:5000, trong đoạn nghiên cứu chỉ có 4 cầu là cầu Hóa An, cầu Ghềnh, cầu Rạch Cát và cầu Đồng Nai.

- Hiện trạng lún sông của dự án [16] với số liệu địa hình 2016 do Viện KHTL Miền Nam khảo sát đo đạc từ cầu Hóa An đến cảng Long Bình với tỷ lệ chi tiết 1:2000, trong đoạn nghiên cứu có 6 cầu là cầu Hóa An, cầu Ghềnh, cầu Rạch Cát, cầu Bửu Hòa, cầu Hiệp Hòa và cầu Đồng Nai.

- Đối với lòng dẫn trong sông thì lưu lượng tạo lòng là yếu tố ảnh hưởng nhiều nhất đến lòng dẫn. Vì vậy ta có thể xem xét đến giả thiết tính toán diễn biến lòng dẫn với kịch bản lưu lượng tạo lòng.

3.2.2. Kết quả hiệu chỉnh và kiểm định mô hình hai chiều MIKE 21C

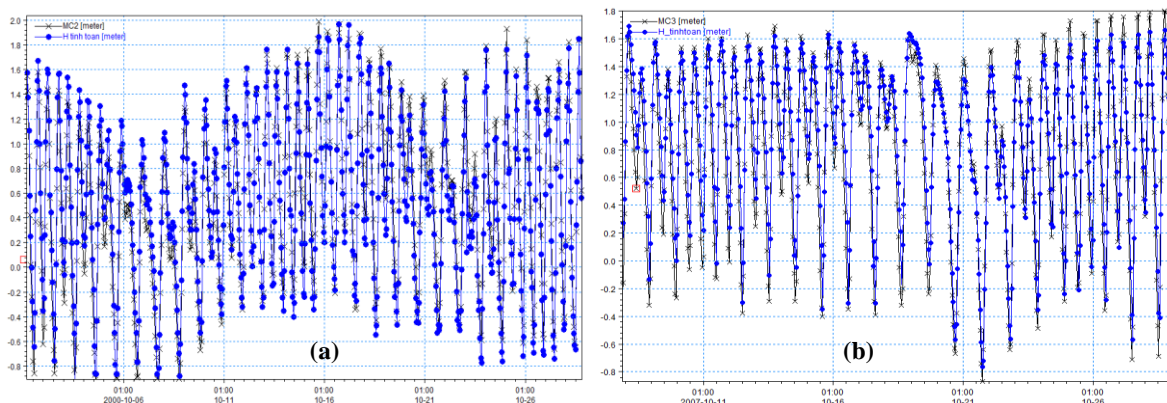
Do điều kiện không có dữ liệu thực đo mực nước tại đoạn sông nghiên cứu vì thế đồ án đã lựa chọn hiệu chỉnh, kiểm định với kết quả mực nước tại một số mặt cắt từ MIKE 11. Trên đoạn sông từ cầu Hóa An đến cầu Ghềnh, nghiên cứu đã lựa chọn hiệu chỉnh kiểm định mực nước với hai mặt cắt 2 và 3 như hình 8.



Hình 7. Bản đồ mặt cắt sử dụng trong mô hình MIKE 21C.

Bảng 5. Kết quả hiệu chỉnh và kiểm định mô hình 2 chiều.

STT	Mặt cắt	Hiệu chỉnh			Kiểm định		
		Δ đỉnh max (m)	Δ chân max (m)	Nash	Δ đỉnh max (m)	Δ chân max (m)	Nash
1	MC2	0,28	0,22	0,94	0,16	0,22	0,93
2	MC3	0,38	0,27	0,92	0,24	0,3	0,91



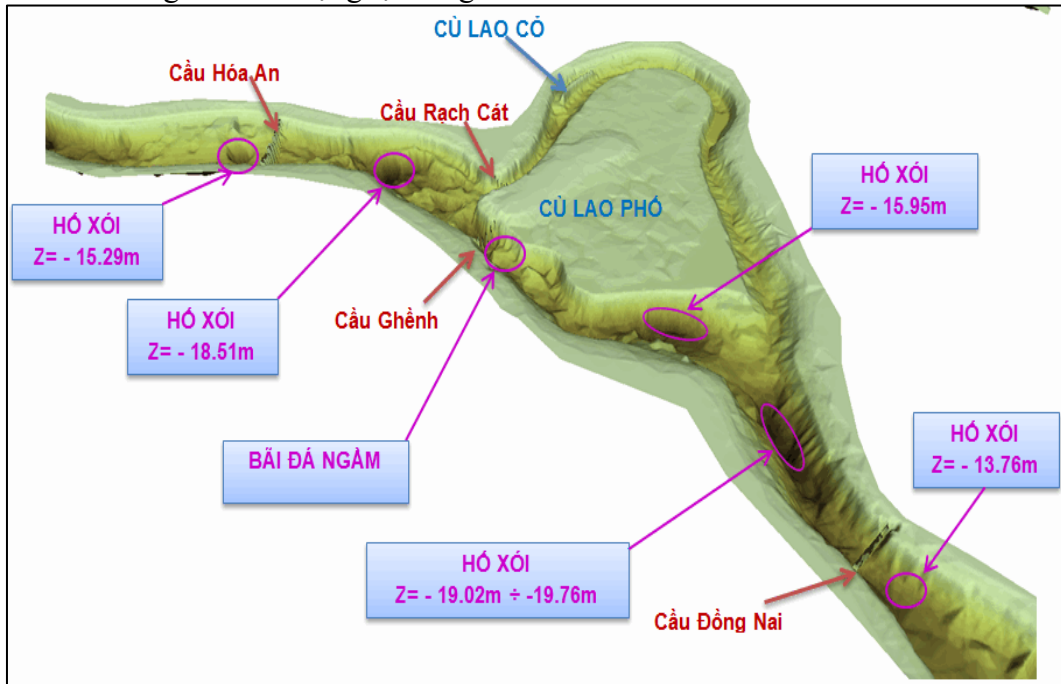
Hình 8. Kết quả hiệu chỉnh mực nước ở mặt cắt 2 (a) và kiểm định mực nước ở mặt cắt 3 (b).

Kết quả hiệu chỉnh và kiểm định mô hình MIKE 21C cho chỉ tiêu Nash khá tốt ($Nash > 0,8$) đỉnh lũ và quá trình mực nước trong cả 2 trường hợp đều khá phù hợp, sai số chênh lệch mực nước lớn nhất đều đảm bảo tiêu chuẩn sai số cho phép. Mực nước và lưu lượng nhỏ nhất mùa lũ chênh lệch không nhiều.

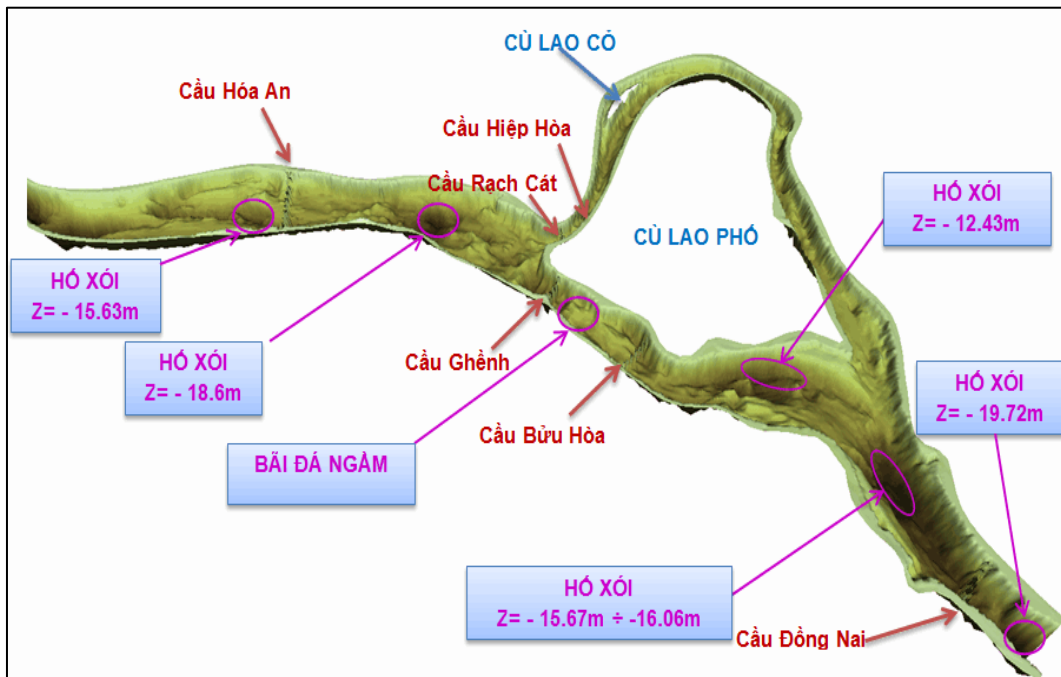
3.2.3. Kết quả diễn biến lòng dẫn ứng với lưu lượng tạo lòng.

Nghiên cứu này đề xuất chọn lưu lượng tạo lòng để đánh giá sự thay đổi lòng dẫn lớn nhất. Việc sử dụng lưu lượng tạo lòng để dự báo diễn biến lòng sông này khá đơn giản tuy nhiên hạn chế của nó là không mô phỏng được sự thay đổi của các cấp dòng chảy khác nhau, sự dao động của mực nước, sự thay đổi về vận tốc và lưu lượng trong năm, những yếu tố gây ảnh hưởng đến sự bồi xói lòng sông. Do vậy kết quả tính toán với hướng này chỉ cho thấy được những thay đổi mang tính trung bình và ý nghĩa của nó chỉ mang tính định hướng về

xu thế diễn biến của đoạn sông. Từ dữ liệu tại trạm thủy văn, lưu lượng tạo lòng được tính toán với $Q_{tl} = 3950 \text{ m}^3/\text{s}$ tương ứng với 3 tháng mùa lũ. Kết quả lòng dẫn theo hiện trạng 2008 và 2016 ứng với lưu lượng tạo lòng:



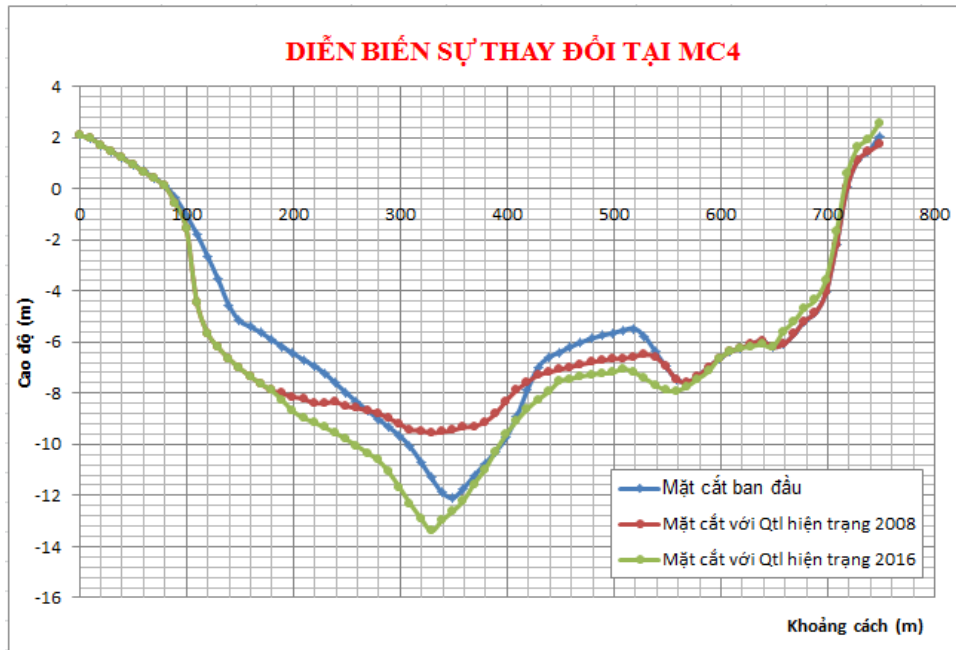
Hình 9. Diễn biến lòng dẫn khu vực nghiên cứu theo hiện trạng 2008.



Hình 10. Diễn biến lòng dẫn khu vực nghiên cứu theo hiện trạng 2016.

So sánh kết quả lòng dẫn giữa hiện trạng 2008 với 2016 ta thấy, thượng lưu vị trí mở rộng bãi ven sông không có sự khác biệt, tuy nhiên phía hạ lưu vị trí công trình đã có sự thay đổi rõ rệt. Ngay phía dưới hạ lưu cầu Bửu Hòa, hiện trạng năm 2008 hố xói sâu 15,95 m, tuy nhiên đến hiện trạng 2016 thì đã có sự bồi lớn, hố xói chỉ còn 12,43 m. Đoạn trước cầu Đồng Nai cũng có xu hướng tương tự như phía dưới hạ lưu cầu Bửu Hòa, năm 2008 là 19,76 m nhưng đến hiện trạng 2016 thì bồi chỉ còn 16,06 m.

Kết quả diễn biến lòng dẫn ứng với lưu lượng tạo lòng cho thấy sự biến đổi mạnh trong lòng dẫn trong vòng 3 tháng mùa lũ. Xem xét tác động của công trình mở rộng bãi ven sông đến sự biến đổi lòng dẫn đoạn sông hạ lưu phía dưới, ta xem xét sự thay đổi tại mặt cắt 4 theo hai hiện trạng 2008 và 2016 ứng với sự biến đổi của lưu lượng tạo lòng, trước và sau khi có công trình.



Hình 11. Diễn biến thay đổi lòng dẫn.

Bảng 6. So sánh sự thay đổi MC4 theo 2 hiện trạng.

Mặt cắt	Các kích bản	Bờ hữu (m)	Lòng sông(m)	Bờ tả(m)
MC4	Hiện trạng 2008	-1.8	+2.3	
	Hiện trạng 2016	-2	-1.4	+0.3

Từ kết quả so sánh giữa 2 kịch bản ứng với 2 hiện trạng 2008 và 2016 tại MC4, bên bờ hữu đều có xu hướng xuất hiện xói, nguyên nhân là do ở vị trí này gần ngay đoạn sông phân lạch, dòng chảy có xu hướng lệch bên bờ hữu để đi vào đoạn phân lạch Rạch Cát, tuy nhiên đối với lòng sông hiện trạng 2008 có xu thế bồi nhẹ nhưng theo hiện trạng 2016 có xu hướng xói. Điều đó cho thấy tác động của công trình ngay đoạn gần ngã ba sông có ảnh hưởng đến lòng dẫn trong sông, đặc biệt là phía hạ lưu [7].

4. Kết luận

Để giúp cho việc đánh giá tính ổn định lòng dẫn sông Đồng Nai dưới tác động của các khu đô thị, các công trình ven sông cần có đánh giá cụ thể diễn biến đoạn sông trong quá khứ, dự báo diễn biến lòng dẫn trong tương lai để xác định hành lang an toàn sạt lở; định hướng quy hoạch và chỉnh trị sông khu vực hạ du sông Đồng Nai Sài Gòn tại các khu vực xói bồi trọng điểm.

Nghiên cứu đã ứng dụng công nghệ ảnh viễn thám để đánh giá đường bờ đoạn từ cầu Hóa An đến cầu Ghềnh trong giai đoạn từ năm 1988 đến nay và ứng dụng mô hình toán MIKE 21C dự báo diễn biến lòng dẫn khu vực sông Đồng Nai đoạn từ cầu Hóa An đến cầu Ghềnh dưới tác động của các khu đô thị mới mở ven sông. Kết quả tính toán cho thấy tại vị trí đầu Cù Lao Phố thuộc phần hạ lưu khu vực mở rộng bãi sông đây là vị trí dòng chảy phân lạch, có hiện tượng xói. Sự dịch chuyển đường bờ lớn nhất trong đoạn này là 17,7 m với tốc độ sạt lở là 0,63 m/năm. Tại vị trí cách cầu Ghềnh khoảng 170 m về phía hạ lưu, do đặc điểm lòng sông bên bờ tả lòng sông sâu và dốc, phía bờ hữu giai đoạn từ 1990-1999 bị xói với tốc

độ lớn nhất là 0,6 m/năm. Đến giai đoạn từ năm 2008 đến nay, sự thay đổi đường bờ đối với bờ hữu trung bình đạt 0,4 m/năm. Khu vực thượng lưu cầu Bửu Hòa cách cầu khoảng 100 m sự dịch chuyển đường bờ lớn nhất trong đoạn này là 17,7 m.

Nghiên cứu cũng đã ứng dụng được mô hình MIKE 21C dự báo diễn biến lòng dẫn khu vực đoạn sông cong đoạn từ cầu Hóa An đến cầu Ghềnh dưới tác động của các khu đô thị mới mở ven sông. Việc hiệu chỉnh và kiểm định bộ thông số của mô hình được thực hiện qua các mặt cắt khác nhau với chỉ số đánh giá sai số Nash đều khá tốt ($> 0,8$). Qua đó đã xây dựng được bộ thông số sơ bộ ban đầu nhằm phục vụ cho bài toán dự báo diễn biến lòng dẫn ứng với hai hiện trạng trước khi có công trình và sau khi có công trình. Nhìn chung kết quả đạt được cho thấy khi mở rộng bãi ven sông thì có ảnh hưởng đối với biến động lòng dẫn trong đoạn sông từ cầu Hóa An xuống đến hạ lưu cầu Đồng Nai.

Nói chung, các phương án tính toán được xây dựng nhằm phục vụ cho công tác khai thác và quản lý của địa phương đặc biệt khu vực dân sinh ven sông Đồng Nai, từ đó có các biện pháp khắc phục để đảm bảo phát triển bền vững kinh tế, xã hội cũng như tài nguyên nước của sông Đồng Nai.

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

Lời cảm ơn: Nhóm nghiên cứu cảm ơn các đồng nghiệp tại các đơn vị nghiên cứu đã tham gia thảo luận và những người dân đã tham gia trả lời phỏng vấn.

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. Tran, T.V.; Xuan, A.T.T.; Nguyen, P.H.; Dahdouh-Guebas, F.; Koedam, N. Application of remote sensing and GIS for detection of long-term mangrove shoreline changes in Mui Ca Mau, Vietnam. *Biogeosciences* **2014**, *11*(14), 3781–3795. Doi:10.5194/bg-11-3781-2014.
2. Thinh, N.A.; Hens, L. A Digital Shoreline Analysis System (DSAS) applied on mangrove shoreline changes along the Giao Thuy coastal area (Nam Dinh, Vietnam) during 2005-2014. *VN J. Earth Sci.* **2017**, *39*(1), 87–96. Doi:10.15625/0866-7187/39/1/9231.
3. Muskananfolo, M.R.; Febrianto, S.S. Spatio-temporal analysis of shoreline change along the coast of Sayung Demak, Indonesia using digital shoreline analysis system. *Reg. Stud. Mar. Sci.* **2020**, *34*, 101060. Doi: 10.1016/j.rsma.2020.101060.
4. Ford, M. Shoreline changes interpreted from multi-temporal aerial photographs and high resolution satellite images: Wotje Atoll, Marshall Islands. *Remote Sens. Environ.* **2013**, *135*, 130–140. Doi: 10.1016/j.rse.2013.03.027.
5. Esmail, M.; Mahmod, W.E.; Fath, H. Assessment and prediction of shoreline change using multi-temporal satellite images and statistics: Case study of Damietta coast, Egypt. *Appl. Ocean Res.* **2018**, *82*, 274–282. Doi: 10.1016/j.apor.2018.11.009.
6. Almonacid-Caballer, J.; Sánchez-García, E.; Pardo-Pascual, J.E.; Balaguer-Beser, A.A.; Palomar-Vázquez, J. Evaluation of annual mean shoreline position deduced from Landsat imagery as a mid-term coastal evolution indicator. *Mar. Geol.* **2016**, *372*, 79–88. Doi: 10.1016/j.margeo.2015.12.015.
7. Mutaqin, B.W. Shoreline changes analysis in kuwaru coastal area, yogyakarta, Indonesia: An application of the digital shoreline analysis system (DSAS). *Int. J. Sustain. Dev. Plan.* **2017**, *12*(7), 1203–1214. Doi:10.2495/SDP-V12-N7-1203-1214.
8. Baig, M.R.I.; Ahmad, I.A.; Tayyab, S.M.; Rahman, A. Analysis of shoreline changes in Vishakhapatnam coastal tract of Andhra Pradesh, India: an application of digital

- shoreline analysis system (DSAS). *Ann. GIS* **2020**, 26(4), 361–376. Doi: 10.1080/19475683.2020.1815839.
9. T. T. Vũ, “Ứng dụng công nghệ viễn thám và GIS nghiên cứu tai biến xói lở , bồi tụ đối ven biển Hải Phòng,” 2012.
 10. N. T. Luan, N. H. Son, and T. T. Tung, “Study on evolution of the cai river estuaries, nha trang using remote sensing data (period 1999-2013),” *J. Water Resour. Environ. Eng.*, vol. 45, no. January 2015, pp. 18–23, 2014.
 11. Đ. Đ. Đăng, “Đánh giá biến động bờ biển khu vực cửa sông Thu Bồn bằng công nghệ viễn thám và GIS,” *Tạp chí viện khoa học Thủy Lợi miền Trung và Tây Nguyên*.
 12. Morianou, G.G.; Kourgialas, N.N.; Karatzas, G.P.; Nikolaidis, N.P. Hydraulic and sediment transport simulation of Koiliaris river using the MIKE 21C model. *Procedia Eng.* **2016**, 162, 463–470. Doi: 10.1016/j.proeng.2016.11.089.
 13. Đăng, H.T. Nghiên cứu tính toán dự báo sạt lở bờ sông dựa trên mô hình MIKE C và phần mềm GEOSLOPE (Áp dụng cho đoạn sông Đuống đoạn từ Đồng Viên đến Đông Đoài). *Tạp chí Khoa học và Công nghệ Thủy lợi* **2011**, 3, 52–55.
 14. Đăng, H.T. Nghiên cứu ứng dụng công nghệ mới - Mike 21C vào đánh giá, dự báo biến động lòng dẫn ở một số trọng điểm thuộc hệ thống sông Hồng. 2008, tr. 21.
 15. Hoàng, V.; Đăng, H.T. Nghiên cứu ứng dụng công nghệ mới - mô hình MIKE 21C vào đánh giá, dự báo biến động lòng dẫn ở một số trọng điểm thuộc hệ thống sông Hồng, miền Bắc. 2014, tr. 21.
 16. UBND tỉnh Đồng Nai. Dự án cải tạo cảnh quan và phát triển đô thị ven sông Đồng Nai thuộc phường Quyết Thắng, Tp. Biên Hòa, tỉnh Đồng Nai, 2014.
 17. Ngọc, L.Đ. Tổ hợp màu để giải đoán ảnh vệ tinh Landsat 7 phục vụ hiệu chỉnh bản đồ địa hình 1:250.000, 2009.
 18. Daniels, R.C. Using ArcMap to Extract Shorelines from Landsat TM & ETM+. *Data Thirty-second ESRI Int. Users Conf. Proc.* 2012, pp. 1–23.
 19. Phong, D.H.; Thục, T.; Hà, L.P.; Anh, N.N. Phân tích biến động đường bờ khu vực Cà Mau bằng ảnh Landsat. Hội thảo khoa học Quốc gia về khí tượng Thủy văn, Môi trường và Biến đổi khí hậu lần thứ XVI, 2014, tr. 270-271.
 20. Viện Thủy lợi và Môi trường. Đánh giá tác động dòng chảy sông Đồng Nai đoạn từ cầu Hóa An tới cầu Ghềnh, 2009.

The combination of GIS remote sensing approach and mathematical modeling methods to describe the shoreline evolution of the Ghenh-bridge area, Dong Nai river

Viet-Nam To^{1,2}, Dai-Khanh Phung^{1,2}, Thi-Linh Dinh^{3*}

¹ Faculty of Geology and Petroleum Engineering, Ho Chi Minh city University of Technology; tovietnam@hcmut.edu.vn; phungdaikhanh@hcmut.edu.vn

² Vietnam National University in Ho Chi Minh city; tovietnam@hcmut.edu.vn; phungdaikhanh@hcmut.edu.vn

³ Sejong University, Seoul, Republic of Korea; dinhthilinh682@gmail.com

Abstract: Assessing changes in river banks before building embankments and predicting changes in river channels when embankments are installed is extremely important in urban planning, construction and operation. In recent times, remote sensing technology has emerged as an extremely useful solution that provides us with spatial and temporal image data with high resolution. This article introduces a result of research, evaluation, and description of the shoreline evolution of the Dong Nai River, Ghenh-bridge area from remote sensing image data, using the Digital Shoreline Analysis System (DSAS) and models of numerical modeling of MIKE 21C in the period from 1988 to 2016 to predict future

reverbed developments. Research results show that the average landslide rate is about 0.6 meters/year, however, the Cu Lao Pho tip area reaches 1.83 meters/year. The results of the evolution of the channel corresponding to the flow creating the channel show the possibility of strong erosion near the location in front of the Ghenh bridge when implementing the project to improve the landscape and develop urban areas along the Dong Nai river. The results obtained from the study can be used to predict future bed development and channel changes under the influence of river embankments.

Keywords: Remote sensing; GIS; Mathematical model; MIKE 21C; Shoreline evolution.

Bài báo khoa học

Ứng dụng mô hình chất lượng nước MIKE-ECOLAB mô phỏng chất lượng nước khu vực hạ lưu sông Sài Gòn - Đồng Nai theo các kịch bản biến đổi khí hậu

Quách Thái Dương^{1*}, Lê Hoàng Nghiêm², Phạm Thanh Long¹

¹ Phân viện Khoa học Khí tượng Thủy văn và Biến đổi khí hậu;
quachthaiduong86@gmail.com; longpham.syhimete@gmail.com

² Đại học Tài nguyên và Môi trường thành phố Hồ Chí Minh;
hoangnghiem@hcmure.edu.vn

*Tác giả liên hệ: quachthaiduong86@gmail.com; Tel.: +84-937854979

Ban Biên tập nhận bài: 8/11/2023; Ngày phản biện xong: 5/12/2023; Ngày đăng bài: 25/3/2024

Tóm tắt: Lưu vực sông Sài Gòn - Đồng Nai có hệ thống sông và kênh rạch dày đặc, tuy nhiên, phần lớn các sông và kênh rạch này đã và đang bị ô nhiễm nghiêm trọng do nước thải từ hoạt động sinh hoạt cũng như từ các khu công nghiệp/khu chế xuất. Đặc biệt là khu vực kênh rạch và vùng hạ lưu sông Sài Gòn - Đồng Nai chảy qua địa phận thành phố Hồ Chí Minh. Bài báo này tập trung đánh giá chất lượng nước mặt khu vực hạ lưu của hệ thống sông Sài Gòn - Đồng Nai là vùng cửa biển vịnh Đồng Tranh có xét tới điều kiện biến đổi khí hậu bằng mô hình MIKE 21 FM Ecolab. Kết quả cho thấy, các sông, kênh rạch gần nội đô cụ thể ở đoạn sông Nhà Bè và Vàm Cỏ Đông có chất lượng nước thấp, các chỉ tiêu hầu như ở mức xấu trừ NH_4^+ và NO_3^- , vùng cửa biển có chất lượng nước ở mức tốt. Ngoài ra ở kịch bản biến đổi khí hậu RCP4.5 cho năm 2025 nồng độ tăng nhưng không đáng kể tại các sông lớn như Nhà Bè, Vàm Cỏ Đông.

Từ khóa: Mô hình MIKE 21FM Ecolab; Chỉ số chất lượng nước; Sông Sài Gòn - Đồng Nai; Biến đổi khí hậu.

1. Giới thiệu

Trên thế giới, việc đánh giá chất lượng nước sông đã có nhiều công trình nghiên cứu và được phân theo các hướng nghiên cứu khác nhau như quan trắc, phân tích chất lượng nước (CLN), sử dụng mô hình tính. Hiện nay, ngoài nghiên cứu CLN bằng phương pháp truyền thống như quan trắc, phân tích đánh giá chất lượng môi trường nước còn có nhiều ứng dụng kết hợp giữa quan trắc, thực nghiệm với mô hình toán hiện đại [1, 2].

Trước thập niên 1960, TPHCM hầu như không gặp phải vấn đề ô nhiễm nguồn nước; tuy nhiên, hệ quả của các hoạt động kinh tế-xã hội, quá trình đô thị hóa nhanh, mạnh không đi đôi phát triển hạ tầng cơ sở đã làm CLN sông, kênh, rạch đô thị suy giảm, tình trạng ô nhiễm, mùi khó chịu diễn ra khá rõ từ thập niên 1990. Sau quá trình đô thị hóa nhanh từ sau giải phóng, diện tích và dân số đô thị đã tăng gần gấp đôi với sự mở rộng của các quận, huyện mới. Phần lớn các quận/huyện của thành phố (1, 3, 5, 10, 11, Bình Thạnh, Thủ Đức) đang đối mặt với thực trạng ô nhiễm nước thường xuyên, có mức rủi ro lớn do vấn nạn xả nước thải và rác thải của rất nhiều các xưởng sản xuất, nhà máy, khu công nghiệp cùng với áp lực gia tăng dân số trong khi diện tích các công trình công cộng, kênh, rạch ngày một thu hẹp. Và thực tế, các sông ngòi, kênh rạch vùng hạ lưu sông SG-ĐN đã phải chịu sức ép về môi trường rất lớn từ khu vực TPHCM. Nghiên cứu [3] đã thăm dò khả năng xử lý nước

trong kênh Tham Lương bằng tảo và các sinh vật có trên địa bàn TPHCM. Nghiên cứu [4] tập trung vào sự biến động hàm lượng oxy hòa tan (DO). Tác giả [5] đã nghiên cứu các cơ sở lý thuyết về thông số biến đổi khí hậu (BĐKH), môi trường và tổng hợp các công trình nghiên cứu trong và ngoài nước liên quan đến các thông số BĐKH, môi trường.

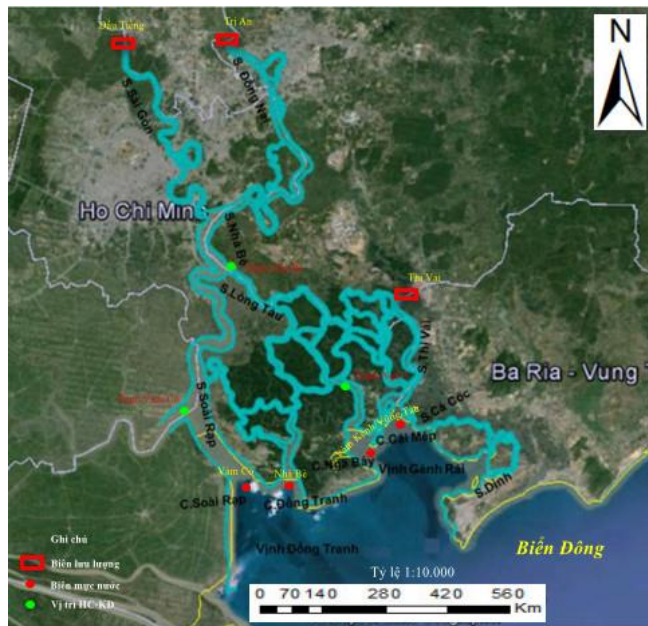
Công tác quan trắc chất lượng môi trường nói chung và CLN nói riêng do Trung tâm Quan Trắc và Phân tích môi trường - Chi Cục bảo vệ môi trường trực thuộc Sở Tài nguyên Môi trường TPHCM thực hiện, hiện nay hệ thống quan trắc chất lượng môi trường nước của TPHCM có 15 trạm quan trắc của các kênh, rạch chính trong nội thành, tần suất quan trắc năm 2001 đến 01/2005, là 02 lần/năm vào mùa khô (tháng 4) và mùa mưa (tháng 9). Từ tháng 01/2005, quan trắc CLN kênh, rạch nội thành tăng tần suất từ 02 lần lên 04 lần/năm (vào các tháng 2, tháng 4, tháng 9 và tháng 11). Từ năm 2014 đến nay, quan trắc chất lượng nước một tháng/lần và quan trắc bùn đáy 01 quý/lần.

MIKE 21FM là gói phần mềm mô phỏng dòng chảy mặt thoáng 2 chiều, sóng, chuyển tải trầm tích, hình thái và các quá trình môi trường. Giao diện thân thiện với người sử dụng, tính toán nhanh chóng và tin cậy trong mô phỏng đã làm cho MIKE 21FM đóng một vai trò quan trọng trong các mô hình ở đất liền, vùng bờ biển và ngoài khơi. Mô đun truyền tải khuếch tán (AD) có chức năng tính toán sự lan truyền của các chất huyền phù hoặc hòa tan (phân hủy) dưới tác động của dòng chảy. Phương trình cơ bản trong mô đun này là phương trình truyền tải khuếch tán. Trong nghiên cứu này, bài toán có liên quan đến các chu trình sinh hóa, do đó không chỉ sử dụng mô đun truyền tải khuếch tán mà còn phải kết hợp với mô đun sinh hóa (Ecolab) để giải quyết vấn đề [6,7].

2. Số liệu sử dụng và phương pháp nghiên cứu

2.1. Phạm vi nghiên cứu

Phạm vi tính toán thủy lực là lưu vực sông Sài Gòn - Đồng Nai, bao gồm sông Sài Gòn (sau hồ Dầu Tiếng, từ Thủ Dầu Một) nhập lưu sông Đồng Nai (sau hồ Trị An, từ Biên Hòa) tại nam Cát Lái tạo thành sông Nhà Bè. Từ cuối Phú Xuân, huyện Nhà Bè, dòng chính chia ra sông Lòng Tàu phía tả ngạn và sông Soài Rạp phía hữu ngạn, nhận nước sông Vàm Cỏ trước khi đổ ra vịnh Đồng Tranh. Đổ vào vịnh Đồng Tranh con có sông Đồng Tranh - nối liền các sông rạch nhỏ ở phần tây huyện Cần Giờ. Sông Lòng Tàu cùng với các sông Gò Gia, sông Thị Vải, sông Thêu, sông Cái Mép (ở phía đông huyện Cần Giờ và các huyện Nhơn Trạch, Long Thành - tỉnh Đồng Nai, huyện Tân Thành - tỉnh Bà Rịa Vũng Tàu) đổ vào vịnh Gành Rái, rồi đổ ra Biển Đông qua mặt cắt Nghinh Phong - Đồng Tranh (Hình 1) [8,9].



Hình 1. Phạm vi tính toán thủy lực.

2.2. Số liệu sử dụng

Dữ liệu kịch bản biến đổi khí hậu và nước biển dâng được kế thừa từ bài báo Lê Ngọc Tuấn (2017) và có tham khảo kịch bản BĐKH năm 2020 của BTNMT. Theo RCP 4.5, đến năm 2025 mức tăng nhiệt độ dao động khoảng 0,45-0,80°C so với nhiệt độ giai đoạn 1986-2005. Lượng mưa trung bình năm tăng dần, mức gia tăng lượng mưa khoảng từ 7,6-10,4%.

Mực nước biển tại khu vực ven biển TP.HCM tăng dần qua các năm cũng như các kịch bản về sự gia tăng nồng độ khí nhà kính trong khí quyển. Đến 2025 tăng khoảng 12cm so với giai đoạn 1986-2005. Bên cạnh đó nghiên cứu thu thập các thông số từ các trạm biên và trạm hiệu chỉnh mô hình chất lượng nước đề cập ở bảng 1.

Bảng 1. Các trạm biên và trạm hiệu chỉnh mô hình chất lượng nước.

STT	Thông số	Trạm biên	Trạm hiệu chỉnh
1	BOD ₅	Nhà Bè	
2	TSS	Tân Thành	
3	NO ₃ ⁻	Vũng Tàu	
4	DO		Cái Mép
5	PO ₄ ³⁻		Đồng Tranh
6	NH ₄ ⁺		Ngã Bảy

2.2. Phương pháp nghiên cứu

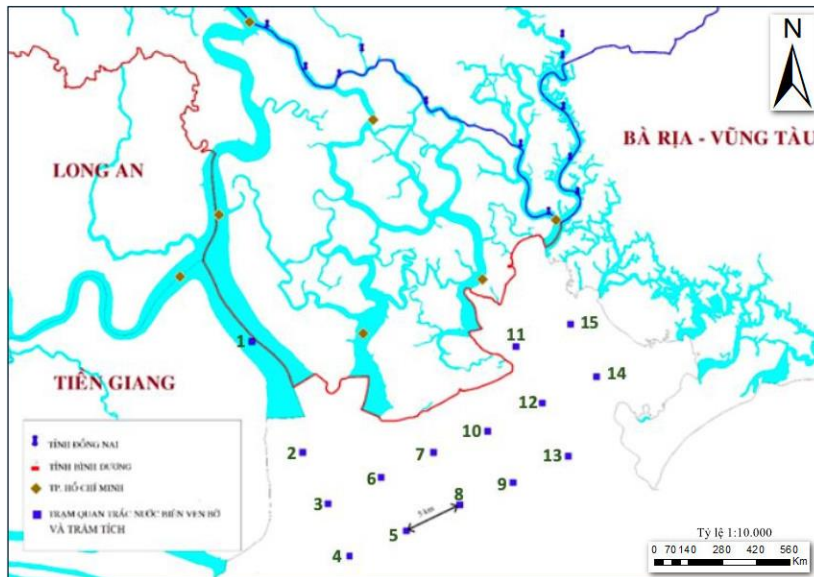
Phương pháp lấy mẫu và phân tích mẫu: Nghiên cứu kế thừa kết quả phân tích, lấy mẫu thực đo từ Chi cục Bảo vệ Môi trường (Sở TN&MT TpHCM) năm 2019 [10,11].

Căn cứ cơ sở khoa học trong việc xác định và lựa chọn vị trí lấy mẫu, tình hình thực tế về hệ thống quan trắc chất lượng nước mặt hiện có tại địa phương, yêu cầu đánh giá của bài báo, nghiên cứu đề xuất lấy mẫu bổ sung như sau:

- Trung tâm khu vực nghiên cứu: 15 mẫu (bước nhảy 5km/mẫu) × 2 đợt triều (chân triều + đỉnh triều) = 30 mẫu (Hình 1). Với các thông số: nhiệt độ, pH, DO, SS, NH₄⁺-N, PO₄³⁻-P, NO₃-N, Coliform, TOC.

- Tại các vị trí phục vụ kiểm định mô hình CLN (Hình 2): 5 vị trí × 1 mẫu/h × 24 h/ngày × 2 ngày đêm = 240 mẫu. Với các thông số: nhiệt độ, DO, SS, NH₄⁺-N, PO₄³⁻-P, NO₃-N, Coliform.

Thời gian lấy mẫu: vào mùa khô (với mục tiêu đánh giá khả năng tiếp nhận) tham khảo theo thông tư số 76/2017/TT-BTNMT.



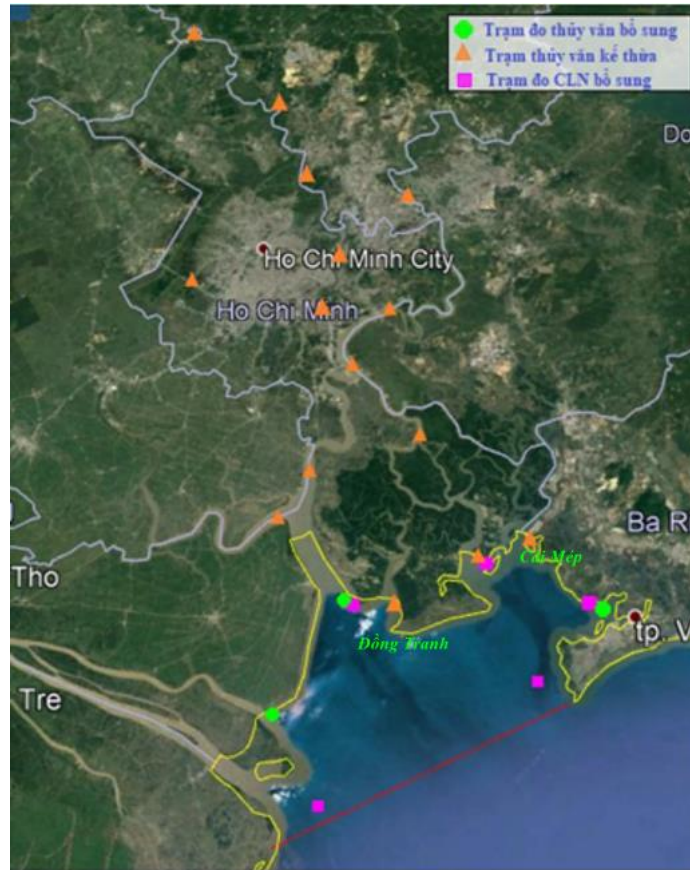
Hình 2. Vị trí quan trắc chất lượng nước mặt.

Phương pháp khảo sát, đo đạc thủy văn phục vụ mô phỏng CLN: Bài báo kế thừa mạng lưới tính toán từ các nghiên cứu trước đây, theo đó, nhu cầu đo đạc thủy văn phục vụ kiểm định mô hình bao gồm: Đo mực nước H (cm), lưu lượng Q (m³/s) tại 03 trạm để hiệu chỉnh và kiểm định mô hình [12].

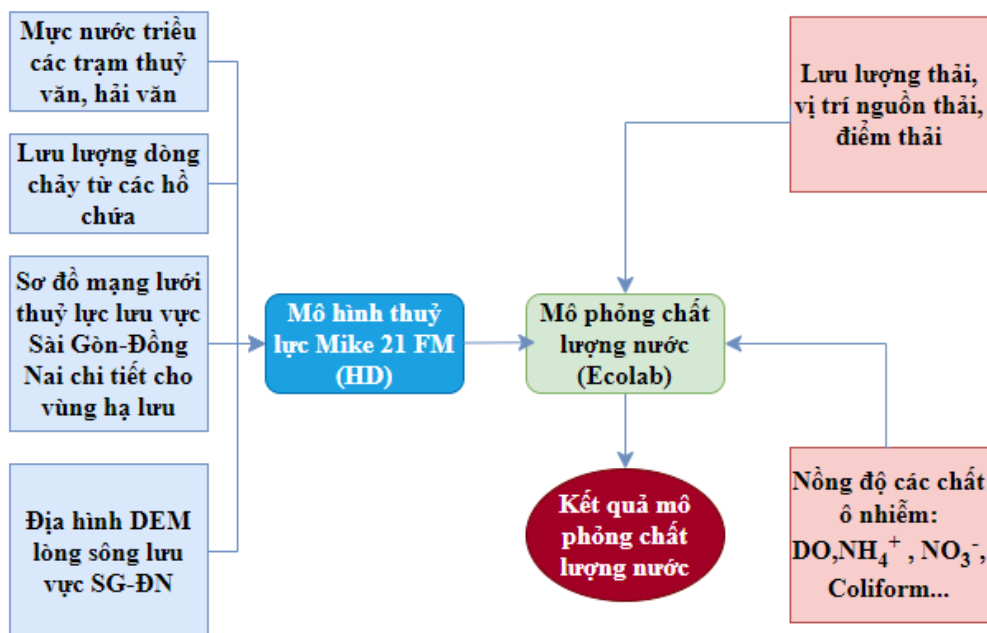
Ngoài ra, số liệu quan trắc tại 15 trạm thủy văn (do Trung tâm Quan trắc Môi trường đo đạc) trong khuôn khổ chương trình quan trắc thủy văn trên lưu vực sông Sài Gòn - Đồng

Nai tại TpHCM của Chi cục Bảo vệ Môi trường (Sở TN&MT TpHCM) cũng được kế thừa phục vụ tính toán: Phú Cường, Bình Phước, Phú An, Hoá An, Cát Lái, Nhà Bè, Bình Điền, Tam Thôn Hiệp, Vàm Sát, Vàm Cỏ, Bến Súc, Thị Tính, Đồng Tranh, Ngã Bảy, Cái Mép.

Đo đạc số liệu mực nước và số liệu chất lượng nước bổ sung trong 1 đợt (mùa kiệt, cùng với thời điểm lấy mẫu nước mặt), trong 48h liên tục (mỗi giờ đo 1 số liệu) cùng thời điểm đo đạc tại 15 trạm thủy văn nêu trên nhằm đồng bộ dữ liệu [13,14].



Hình 3. Vị trí trạm đo thủy văn và chất lượng nước.



Hình 4. Sơ đồ khối thể hiện cấu trúc nghiên cứu.

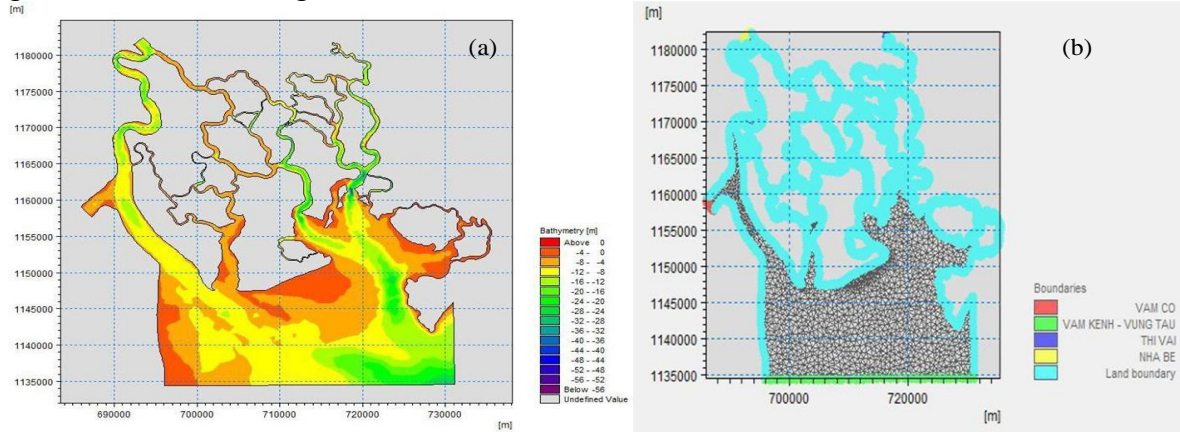
Phương pháp mô hình hóa: Phương pháp mô hình hóa là một trong những phương pháp nghiên cứu chính được áp dụng trong bài báo nhằm mục đích tính toán chế độ thủy văn, thủy lực và lan truyền chất ô nhiễm từ thượng nguồn ra đến cửa sông - tạo cơ sở cho việc tính toán tổng tải lượng tối đa hàng ngày (TMDL) dưới ảnh hưởng của các hoạt động kinh tế - xã hội và Biến đổi khí hậu [15,16].

MIKE 21 là gói phần mềm hàng đầu thế giới trong việc mô phỏng dòng chảy mặt thoáng 2 chiều, sóng, chuyển tải trầm tích, hình thái và các quá trình môi trường. Sự kết hợp của giao diện thân thiện với người sử dụng, tính nhanh chóng và tin cậy trong hoạt động mô phỏng đã làm cho MIKE 21 đóng một vai trò quan trọng thực sự trong các mô hình ở đất liền, vùng bờ biển và ngoài khơi.

Phạm vi tính toán: Tính từ biên Biên Hòa và Thủ Dầu Một ra đến cửa biển (Hình 5).

Thời gian tính toán: hiện trạng (năm 2019), kịch bản BĐKH năm 2025 (RCP4.5) phục vụ tính toán thủy lực, module sinh thái Ecolab.

Thời đoạn tính toán: phục vụ quá trình so sánh số liệu thủy lực và chất lượng nước thực đo và tính toán trong đó thời gian hiệu chỉnh mô hình thủy lực là tháng 3/2017, thời gian kiểm định là tháng 4/2019.



Hình 5. (a) Bản đồ địa hình đáy sông khu vực nghiên cứu cho mô hình Mike 21FM; (b) Chia lưới tam giác cho khu vực tính toán và biên tính toán trong mô hình Mike 21 FM.

Phương pháp tính toán chỉ số chất lượng nước WQI: Chỉ số chất lượng nước (WQI) là một chỉ số được tính toán từ các thông số quan trắc chất lượng nước, dùng để mô tả định lượng về chất lượng nước và khả năng sử dụng của nguồn nước đó; được biểu diễn qua một thang điểm. Thang đo giá trị WQI được chia thành các khoảng nhất định, mỗi khoảng ứng với 1 mức đánh giá chất lượng nước nhất định [17,18]. Công thức tính toán WQI:

$$WQI = \frac{WQI_{pH}}{100} \left[\frac{1}{5} \sum_{a=1}^5 WQI_a \times \frac{1}{2} \sum_{b=1}^2 WQI_b \times WQI_c \right]^{1/3} \quad (1)$$

Trong đó WQI_a là Giá trị WQI đã tính toán đối với 05 thông số: DO, BOD₅, COD, N-NH₄⁺, P-PO₄³⁻; WQI_b là giá trị WQI đã tính toán đối với 02 thông số: TSS, độ đục; WQI_c : Giá trị WQI đã tính toán đối với thông số Tổng Coliform; WQI_{pH} là giá trị WQI đã tính toán đối với thông số pH.

Sau khi tính toán được WQI, sử dụng bảng xác định giá trị WQI tương ứng với mức đánh giá chất lượng nước để so sánh, đánh giá, cụ thể trên bảng 3 [19,20].

Bảng 3. Các mức VN_WQI và sự phù hợp với mục đích sử dụng.

Khoảng giá trị WQI	Chất lượng nước	Thang màu
91-100	Rất tốt	Xanh nước biển
76-90	Tốt	Xanh lá cây
51-75	Trung bình	Vàng
26-50	Xấu	Da cam
10-25	Kém	Đỏ
<10	Ô nhiễm nặng	Nâu

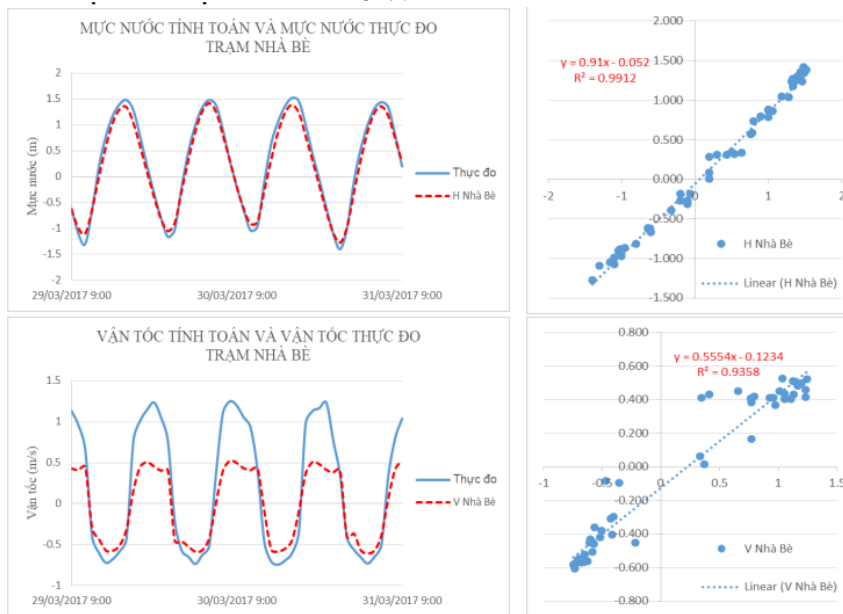
3. Kết quả và thảo luận

3.1. Hiệu chỉnh và kiểm định mô hình MIKE 21FM

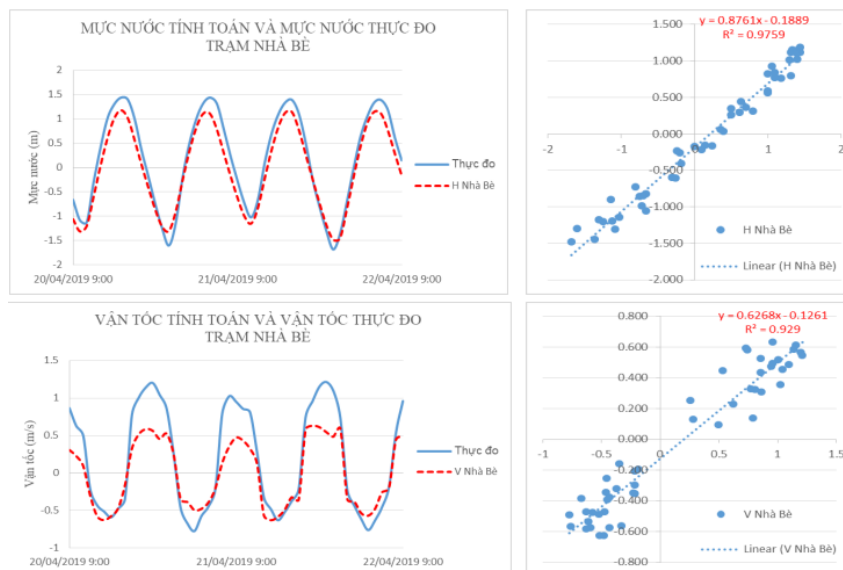
Thời gian tính toán: từ ngày 27/3/2017 9:00 đến ngày 31/3/2017 9:00 sau đó trích dữ liệu trong 3 ngày từ 29/3/2017 9:00 - 31/3/2017 9:00 để hiệu chỉnh mô hình MIKE 21.

Thời gian tính toán 10 ngày từ 16/04/2019 đến 26/04/2019. Sau đó trích thời gian từ 9:00 ngày 20/04/2019 đến 9:00 ngày 22/04/2019 để kiểm định mô hình thủy lực cho vùng nghiên cứu. Sử dụng số liệu mực nước và vận tốc thực đo các trạm Nhà Bè, Cửa Ngã Bảy, Vàm Cỏ để kiểm định.

Kết quả tính toán tương đối phù hợp với kết quả thực đo với chỉ số R^2 ở các trạm ở mức cao trên 0,9. Tuy nhiên, đồ thị mô phỏng thủy lực bằng mô hình MIKE21 cho thấy sai số ở các chân và đỉnh của yếu tố vận tốc tương đối cao ở trạm Nhà Bè trên sông Nhà Bè, kết quả cho thấy rằng sự tác động của thủy triều vùng cửa sông là rất phức tạp, đôi khi xảy ra các hiện tượng cùng 1 mặt cắt sông nhưng có đến 2 hướng dòng chảy ngược nhau. Nhìn chung, sai số là có kiểm soát được, sự hợp lý của pha triều cũng như vận tốc khá tốt, sự phù hợp ở các hệ thống sông nhỏ là rất cao (Bảng 4). Kết quả hiệu chỉnh và kiểm định thủy lực tại trạm Nhà Bè được thể hiện trên hình 6-7.



Hình 6. Kết quả hiệu chỉnh thủy lực tại trạm Nhà Bè.



Hình 7. Kết quả kiểm định thủy lực tại trạm Nhà Bè.

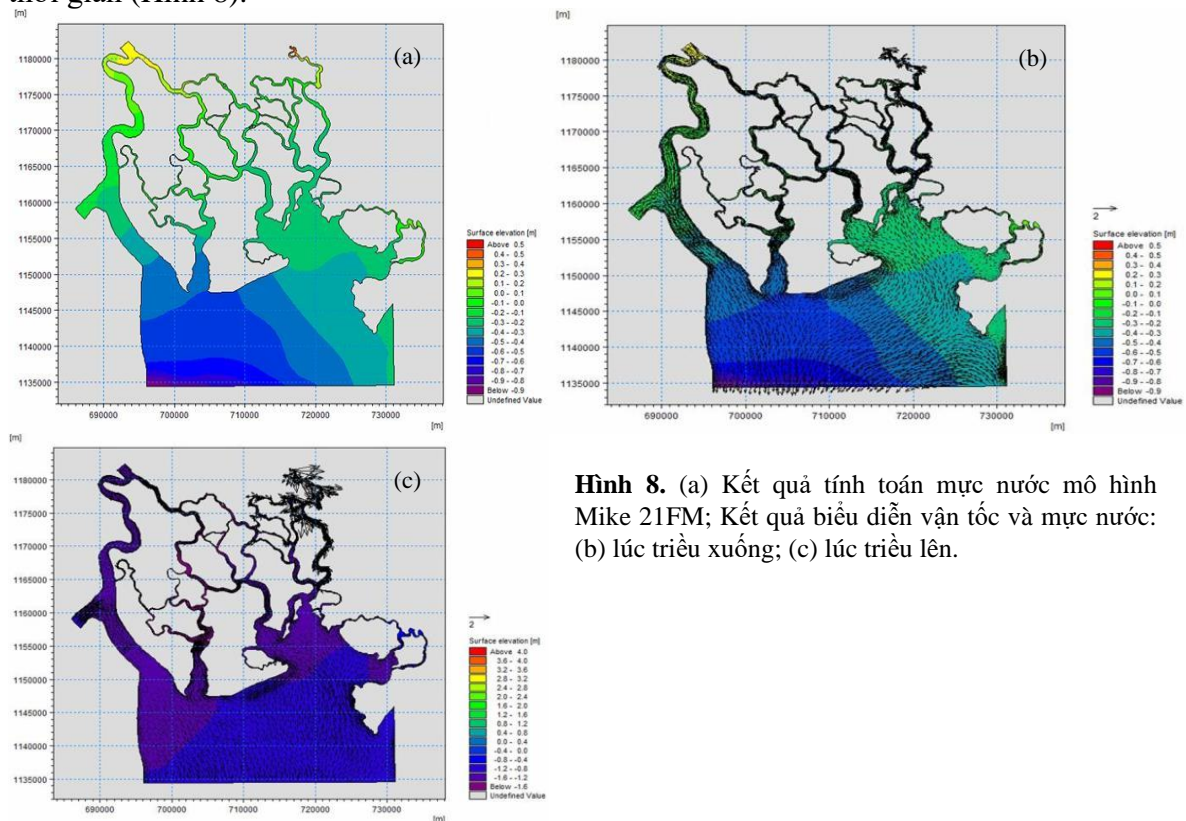
Bảng 4. Chỉ số R² sau khi hiệu chỉnh và kiểm định mô hình MIKE 21.

STT	Tên trạm	Hiệu chỉnh		Kiểm định	
1	Nhà Bè	0,99	0,94	0,98	0,93
2	Vàm Cỏ	0,98	0,93	0,98	0,91
3	Ngã Bảy	0,96	0,93	0,96	0,95

Như vậy, kết quả kiểm định cũng cho thấy hệ số tương quan R² ở mức tốt, điều này cho thấy bộ thông số mô hình sử dụng trong kết quả hiệu chỉnh là tương đối tối ưu và có thể sử dụng để mô phỏng các kịch bản BĐKH.

3.2. Kết quả tính toán mô hình MIKE 21 FM

Sau khi thiết lập mô hình mô phỏng và tiến hành hiệu chỉnh, kiểm định có thể xuất được độ cao địa hình đáy, độ sâu mực nước, lưu tốc dòng chảy tại khu vực nghiên cứu theo thời gian (Hình 8).



Hình 8. (a) Kết quả tính toán mực nước mô hình Mike 21FM; (b) Kết quả biểu diễn vận tốc và mực nước: (b) lúc triều xuống; (c) lúc triều lên.

- Phân bố theo không gian:

Mực nước: biên độ mực nước khu vực này nhìn chung dao động trên dưới 3m cũng khá thuận lợi cho vấn đề trao đổi nước giữa các thủy vực. Mực nước vùng cửa sông và cá vịnh trong khu vực nghiên cứu đều có chung chế độ bán nhật triều không đều, mỗi ngày có 2 lần triều lên (có 2 đỉnh không bằng nhau) và 2 lần xuống (2 lần chân thấp không bằng nhau), hàng tháng có hai kỳ triều cường và hai kỳ triều kém. Trong một năm có 2 lần mực nước triều cao nhất rơi vào khoảng tháng 3-4 và tháng 11 hàng năm.

Vận tốc dòng chảy: do chịu ảnh hưởng của chế độ bán nhật triều không đều nên chế độ dòng chảy cũng thay đổi hướng theo dao động mực nước triều. Vận tốc ở vùng vịnh thường yếu hơn do phân bố rộng và mạnh hơn khi vào các cửa sông; với chế độ dòng chảy thay đổi khi triều lên (vận tốc khu vực này khoảng 0,5-0,7 m/s các khu vực thượng nguồn sông Soài Rạp có thể lên hơn 1m/s) và xuống đã làm cho nước khuếch tán các chất ô nhiễm khá tốt, nước biển tương đối sạch được đẩy vào các sông rạch pha loãng các chất ô nhiễm và kéo ra xa biển khi triều rút. Đây cũng là ưu điểm cho vấn đề tự làm sạch của khu vực vùng vịnh Đồng Tranh, vịnh Gành Rái cũng như khu vực cửa sông Soài Rạp. Diễn biến kết quả vận tốc khu vực nghiên cứu cho thấy vận tốc dòng chảy ở các sông nhỏ là tương đối lớn (từ hơn

1-1,5 m/s) ra đến vùng vịnh vận tốc giảm nên các chất ô nhiễm được mang ra đến đây và chậm khuếch tán hơn nhưng do vùng vịnh có nước biển Đông đi vào với khối lượng rất lớn và tương đối sạch nên sự pha loãng nhanh hơn phía thượng nguồn.

- *Diễn biến theo thời gian:*

Khu vực nghiên cứu có địa hình giáp biển và có hình thái vịnh mở ra phía biển nên chịu tác động của chế độ thủy triều là rất mạnh, hầu như chịu toàn bộ chế độ bán nhật triều không đều nên trong ngày cũng có 2 lần nước lên và 2 lần nước xuống, pha triều cũng tương đối đều và ít bị thay đổi qua các năm; nên tác động của NBD là trực tiếp ảnh hưởng đến mực nước triều nhiều hơn là pha triều. Thời gian truyền triều từ Vũng Tàu vào cửa Soài Rạp vào khoảng 30-45 phút Vì vậy, sự trao đổi nước trong ½ chu kỳ triều là khá nhanh, giúp sự pha loãng chất ô nhiễm khá tốt. Trong một ngày có đến 4 lần thay đổi hướng dòng chảy và hướng được xoay theo chiều kim đồng hồ (do lực coriolis) nên vùng vịnh Đồng Tranh, Gành Rái có khả năng tự làm sạch rất tốt. Đây cũng là một yếu tố đặc biệt phải dùng mô hình 2D như MIKE 21FM mới có thể mô phỏng được hiện tượng này.

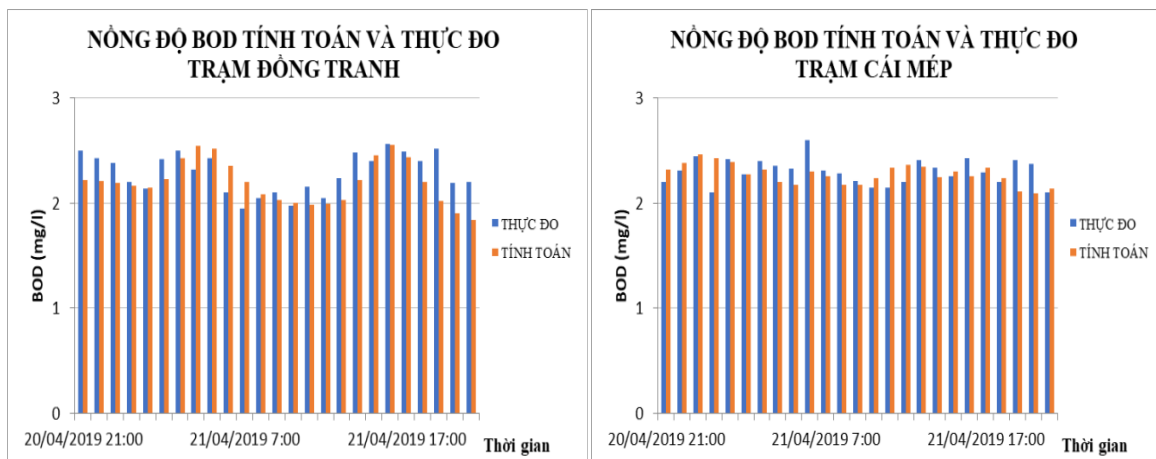
3.3. Kết quả hiệu chỉnh kiểm định mô hình chất lượng nước

Nồng độ các thông số (TSS, BOD₅, DO, NH₄, NO₃, PO₄, Coliform) tính toán và thực đo tại trạm Đồng Tranh và trạm Cái Mép từ 21:00 ngày 20/04/2019 đến 21:00 ngày 21/04/2019 được sử dụng để hiệu chỉnh mô hình. Theo kết quả mô phỏng bộ thông số hiệu chỉnh mô hình nhìn chung là tương đối phù hợp.

Bảng 5. Sai số (%) của mô hình giữa giá trị mô phỏng và thực đo qua các thông số CLN tại 2 vị trí Đồng Tranh và Cái Mép.

Vị trí/Thông số	Đồng Tranh	Cái Mép
TSS	21,13	9,6
DO	1,13	0,82
BOD ₅	0,22	0,28
NH ₄ ⁺	0,002	0,0055
NO ₃ ⁻	0,18	0,088
PO ₄ ³⁻	0,18	0,088
Coliform	4,2	6,67
Nhiệt độ	2,3	1,6
Độ mặn	0,63	1,5

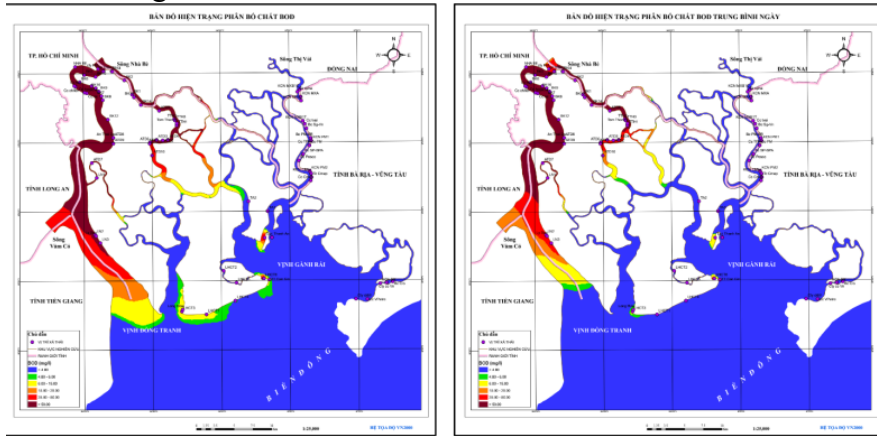
Kết quả kiểm định thông số BOD tại Đồng Tranh và Cái Mép được thể hiện trên hình 9.



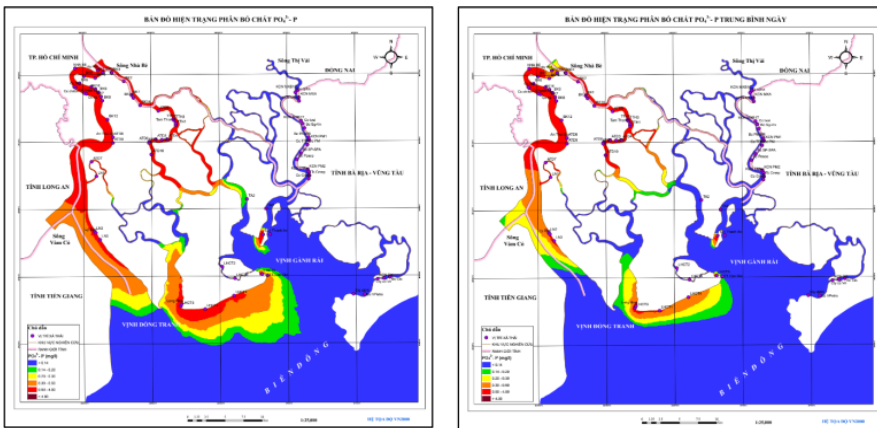
Hình 9. Kết quả điểm định thủy lực tại trạm Nhà Bè.

3.4. Kết quả mô phỏng chất lượng nước hiện trạng năm 2019

Chất lượng nước trên sông Nhà Bè (đoạn hợp lưu của hai sông Đồng Nai và Sài Gòn) bị ô nhiễm rất nặng, chỉ tiêu BOD₅ >50 mg/l; chỉ tiêu PO₄³⁻ là 0,86-0,95 mg/l (Hình 10-11). Các sông, kênh rạch khu vực nội đô chất lượng nước hầu như là từ xấu đến rất nặng điều này cho thấy hiện trạng xả thải đang ở mức báo động, đặc biệt là vào thời đoạn mùa khô các tháng từ 1-4 năm 2019.



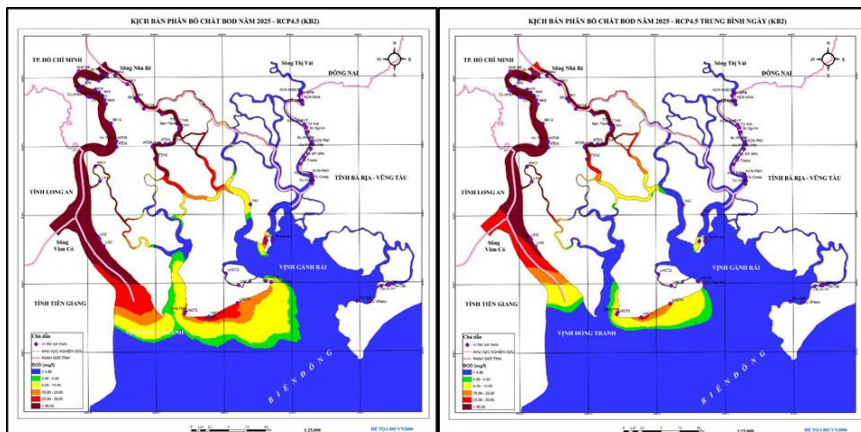
Hình 10. Hiện trạng nồng độ BOD₅ lớn nhất ngày (trái) và trung bình ngày (phải).



Hình 11. Hiện trạng nồng độ PO₄³⁻ lớn nhất ngày (trái) và trung bình ngày (phải).

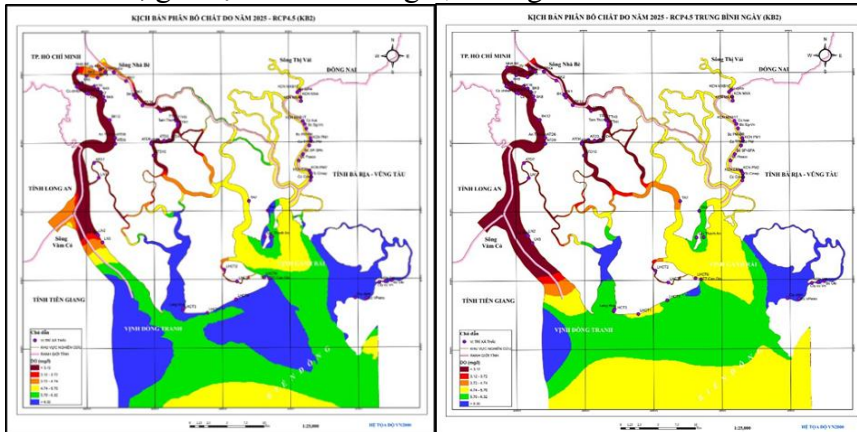
3.5. Kết quả mô phỏng chất lượng nước kịch bản RCP 4.5 năm 2025

Đối với kịch bản phân bố các chất ô nhiễm năm 2025 - RCP 4.5, ta mô phỏng chất lượng nước với kịch bản ô nhiễm của nước thải theo biên nồng độ nước thải tại Nhà Bè tăng 10% so với hiện trạng năm 2019, nồng độ thải dùng trong tính toán là nồng độ được xử lý như hiện trạng, kịch bản tính toán thủy lực theo kịch bản ĐKKH 2025 - RCP 4.5 (Hình 12).



Hình 12. Bản đồ phân bố chất BOD₅ lớn nhất ngày (trái) và trung bình ngày (phải) RCP 4.5 năm 2025.

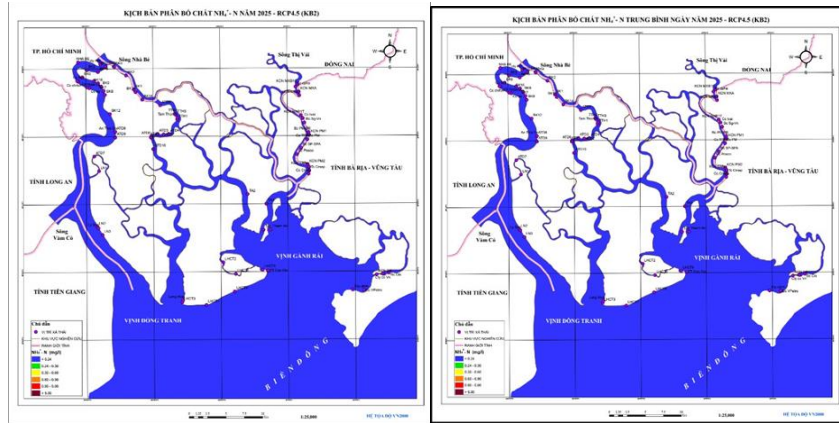
Đoạn trên sông Nhà Bè (đoạn hợp lưu của hai sông Đồng Nai và Sài Gòn) đổ vào sông Soài Rạp, khu vực rạch Vàm Sát (Đồng Tranh - Soài Rạp) và đoạn cửa sông Vàm Cỏ đổ vào sông Soài Rạp (khu vực hạ lưu sông Vàm Cỏ) chất lượng nước bị ô nhiễm rất nặng, chỉ tiêu BOD₅ > 50 mg/l. Mức độ ô nhiễm giảm dần dọc theo sông: vùng hạ lưu sông Soài Rạp chất lượng nước kém, bị ô nhiễm nặng 25-47 mg/l, ra đến gần cửa sông 18-21 mg/l, đoạn cửa sông Sài Gòn chất lượng nước trung bình 7-9 mg/l, có nơi chất lượng nước tốt 5,2-5,5 mg/l. Thượng lưu sông Lòng Tàu (thuộc xã Bình Khánh) chảy xuống đoạn đầu xã Tam Thôn Hiệp chất lượng nước ở đây bị ô nhiễm rất nặng, giá trị chỉ tiêu BOD₅ > 50 mg/l. Khu vực giữa xã Tam Thôn Hiệp chất lượng nước kém, bị ô nhiễm nặng, giá trị chỉ tiêu BOD₅ 26-30 mg/l. Khu vực sông Lòng Tàu (chảy qua xã Tam Thôn Hiệp và xã Long Hòa) chất lượng nước trung bình - xấu, chỉ tiêu BOD₅ từ 14-18 mg/l. Đoạn sông Lòng Tàu đổ vào sông Đồng Tranh (thượng lưu sông Đồng Tranh) chất lượng nước tốt, giá trị BOD₅ khoảng 5-5,7 mg/l. Khu vực phía tây hạ lưu sông Đồng Tranh, chất lượng nước tốt 5,4-5,9 mg/l; khu vực phía đông hạ lưu sông Đồng Tranh chất lượng nước trung bình (6,4-11 mg/l). Khu vực mũi Đồng Tranh chất lượng nước xấu - kém, giá trị BOD₅ khoảng 24-31 mg/l. Vịnh Đồng Tranh chất lượng nước trung bình do ảnh hưởng lan truyền ô nhiễm từ sông Soài Rạp và sông Đồng Tranh, giá trị BOD₅ khoảng 6,5-10 mg/l. Đoạn sông Lòng Tàu đổ về thượng lưu Ngã Bảy chất lượng nước trung bình giá trị BOD₅ từ 9-11 mg/l, ra đến hạ lưu Ngã Bảy 3,3-3,5 mg/l (chất lượng nước rất tốt). Giá trị chỉ tiêu BOD₅ trên sông Thị Vải đến cửa Cái Mép và từ cửa Cái Mép ra đến một phần Vịnh Gành Rái từ 2,2-2,8 mg/l cho thấy chất lượng nước ở đây rất tốt. Khu vực đảo Thạnh An chất lượng bị ô nhiễm rất nặng, giá trị BOD₅ > 50 mg/l. Các cồn cát và bãi bồi ven biển xã Long Hòa chất lượng nước xấu, giá trị BOD₅ 24-35 mg/l, tuy nhiên có một số nơi bị ô nhiễm rất nặng (> 50 mg/l). Khu vực thị trấn Cần Thạnh (đọc bờ Cần Giờ) chất lượng nước trung bình 6,5-8,6 mg/l, mũi vịnh Gành Rái chất lượng nước xấu 16,2-16,8 mg/l. Khu vực phía đông và phía nam vịnh Gành Rái chất lượng nước rất tốt, giá trị BOD₅ khoảng 1,6-2 mg/l.



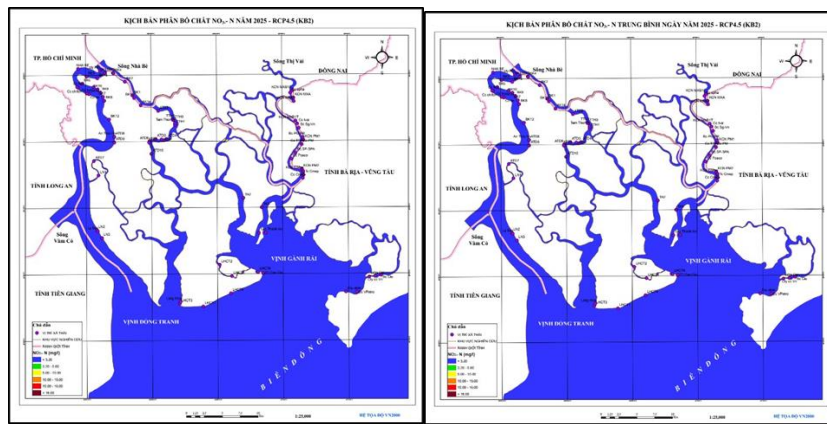
Hình 13. Bản đồ phân bố chất DO lớn nhất ngày (trái) và trung bình ngày (phải) RCP 4.5 năm 2025.

Trên sông Nhà Bè (đoạn hợp lưu của hai sông Đồng Nai và Sài Gòn) chất lượng nước xấu, chỉ tiêu DO 4,5-4,6 mg/l. Đoạn thượng lưu sông Soài Rạp đến thượng lưu rạch Vàm Sát (Đồng Tranh - Soài Rạp) bị ô nhiễm rất nặng, giá trị chỉ tiêu DO < 3,12 mg/l. Đoạn cửa sông Vàm Cỏ đổ vào sông Soài Rạp (khu vực hạ lưu sông Vàm Cỏ) chất lượng nước xấu, chỉ tiêu DO từ 4,1-4,2 mg/l. Mức độ ô nhiễm giảm dần từ đoạn giữa sông Soài Rạp ra đến cửa sông: khu vực hạ lưu sông Soài Rạp chất lượng nước tốt 5,8-6,0 mg/l, vùng cửa sông giá trị DO 6,2-6,35 mg/l. Giá trị chỉ tiêu DO đoạn thượng lưu sông Lòng Tàu (thuộc xã Bình Khánh) khoảng 4,4-4,6 mg/l, chất lượng nước ở đây xấu. Chất lượng nước từ giữa sông Lòng Tàu cho đến khu vực đầu xã Tam Thôn Hiệp bị ô nhiễm rất nặng (giá trị DO 1,2-1,5 mg/l), khu vực giữa xã Tam Thôn Hiệp 1,9-2,7 mg/l, khu vực sông Lòng Tàu (chảy qua xã Tam Thôn Hiệp và xã Long Hòa) chất lượng nước xấu, chỉ tiêu DO từ 4,0-4,2 mg/l.

Giá trị DO đoạn sông Lòng Tàu đổ vào sông Đồng Tranh (thượng lưu sông Đồng Tranh) 7,8-8,1 mg/l, hạ lưu sông và cửa sông Đồng Tranh chất lượng nước rất tốt > 6,86 mg/l. Chất lượng nước khu vực vịnh Đồng Tranh tốt, chỉ tiêu DO 6,1- 6,3 mg/l. Đoạn sông Lòng Tàu đổ về thượng lưu Ngã Bảy 4,9-5,0 mg/l, cửa sông chất lượng nước trung bình 5,0-5,2 mg/l. Giá trị chỉ tiêu DO trên sông Thị Vải đến cửa Cái Mép và từ cửa Cái Mép ra đến một phần Vịnh Gành Rái khoảng 5,3 mg/l cho thấy chất lượng nước ở đây trung bình. Khu vực vịnh Gành Rái chất lượng nước trung bình, chỉ tiêu DO 5,5-5,6 mg/l. Khu vực sông Dinh Bà (thị trấn Cần Thạnh) chất lượng nước bị ô nhiễm rất nặng (2,6-3,0 mg/l), một số nơi có chất lượng nước không tốt, giá trị DO khoảng 3-3,5 mg/l. Khu vực thị trấn Cần Thạnh (đọc bờ Cần Giờ) và các cồn cát, bãi bồi ven biển (xã Long Hòa) chất lượng nước tốt 6 mg/l (Hình 13).



Hình 14. Bản đồ phân bố chất $\text{NH}_4^+\text{-N}$ lớn nhất ngày (trái) và trung bình ngày (phải) RCP 4.5 năm 2025

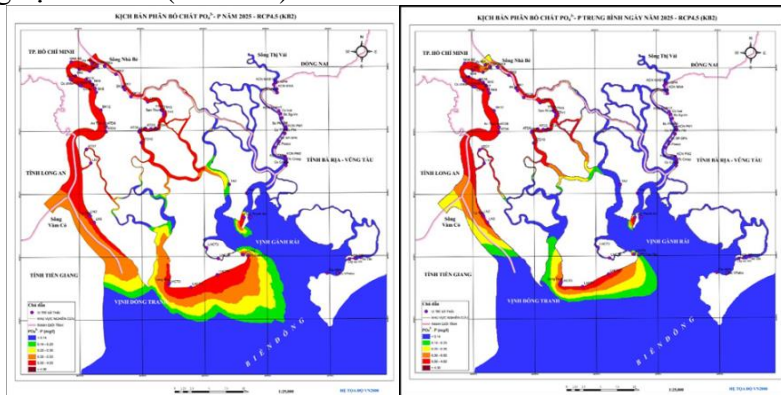


Hình 15. Bản đồ phân bố chất $\text{NO}_3^-\text{-N}$ lớn nhất ngày (trái) và trung bình ngày (phải) RCP 4.5 năm 2025.

Chất lượng nước tại trên các sông Nhà Bè, sông Soài Rạp, sông Vàm Cỏ, sông Đồng Tranh, vịnh Đồng Tranh, Sông Lòng Tàu, sông Ngã Bảy, Sông Thị Vải - Cái Mép và vịnh Gành Rái rất tốt. Đoạn hạ lưu sông Nhà Bè (đoạn hợp lưu của hai sông Đồng Nai và Sài Gòn) chỉ tiêu $\text{NH}_4^+\text{-N}$ khoảng 0,08 mg/l. Trên sông Soài Rạp chỉ tiêu $\text{NH}_4^+\text{-N}$ là 0,03-0,074 mg/l, đoạn cửa sông Vàm Cỏ đổ vào sông Soài Rạp (khu vực hạ lưu sông Vàm Cỏ) 0,055-0,063 mg/l, vùng hạ lưu sông Soài Rạp 0,04 mg/l, vùng cửa sông Soài Rạp 0,041 mg/l. Rạch Vàm Sát (Đồng Tranh - Soài Rạp) chỉ tiêu $\text{NH}_4^+\text{-N}$ khoảng 0,0407 mg/l. Thượng lưu sông Lòng Tàu (thuộc xã Bình Khánh), giá trị chỉ tiêu $\text{NH}_4^+\text{-N}$ đoạn thượng lưu sông Lòng Tàu khoảng 0,075 mg/l, đoạn giữa sông Lòng Tàu khu vực Tam Thôn Hiệp từ 0,035-0,04 mg/l. Đoạn sông Lòng Tàu đổ về phía thượng lưu sông Đồng Tranh ra đến cửa sông Đồng Tranh và đoạn ngoài cửa sông 0,04 mg/l. Vịnh Đồng Tranh 0,038-0,039 mg/l. Đoạn sông Lòng Tàu đổ về thượng lưu Ngã Bảy giá trị $\text{NH}_4^+\text{-N}$ khoảng 0,042-0,043 mg/l và đến hạ

lưu Ngã Bảy 0,043 mg/l. Giá trị chỉ tiêu $\text{NH}_4^+\text{-N}$ trên sông Thị Vải đến cửa Cái Mép và từ cửa Cái Mép ra đến một phần Vịnh Gành Rái từ 0,047-0,068 mg/l. Khu vực vịnh Gành Rái chỉ tiêu $\text{NH}_4^+\text{-N}$ khoảng 0,043-0,047 mg/l. Trên sông Dinh Bà chỉ tiêu $\text{NH}_4^+\text{-N}$ khoảng 0,04mg/l. Trên bản đồ kịch bản phân bố chất $\text{NH}_4^+\text{-N}$ năm 2025 RCP4.5 cho thấy nồng độ chất $\text{NH}_4^+\text{-N}$ khu vực hạ lưu sông Sài Gòn - Đồng Nai rất tốt, chất lượng nước tốt, không bị ô nhiễm (Hình 14).

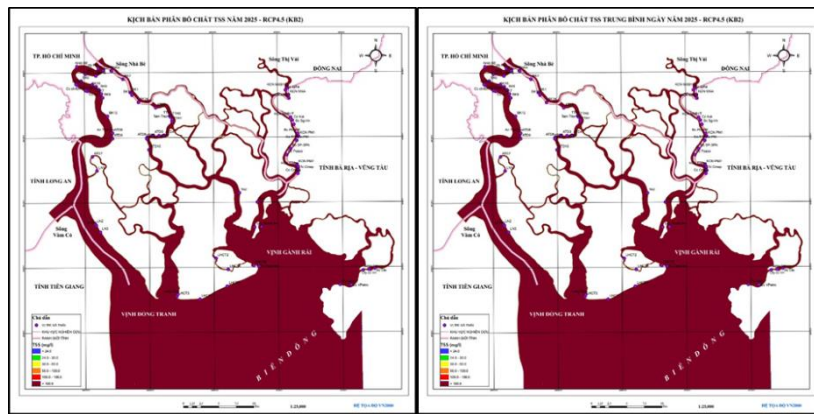
Chất lượng nước tại trên các sông Nhà Bè, sông Soài Rạp, sông Vàm Cỏ, sông Đồng Tranh, vịnh Đồng Tranh, Sông Lòng Tàu, sông Ngã Bảy, Sông Thị Vải - Cái Mép và vịnh Gành Rái rất tốt. Đoạn hạ lưu sông Nhà Bè (đoạn hợp lưu của hai sông Đồng Nai và Sài Gòn) chỉ tiêu $\text{NO}_3^-\text{-N}$ khoảng 0,81-0,86 mg/l. Trên sông Soài Rạp chỉ tiêu $\text{NO}_3^-\text{-N}$ từ 0,65-0,71 mg/l, đoạn cửa sông Vàm Cỏ đổ vào sông Soài Rạp (khu vực hạ lưu sông Vàm Cỏ) khoảng 0,76-0,87 mg/l, vùng hạ lưu sông Soài Rạp 0,55-0,59 mg/l và cửa sông Soài Rạp 0,41-0,46 mg/l. Rạch Vàm Sát (Đồng Tranh - Soài Rạp) chỉ tiêu $\text{NO}_3^-\text{-N}$ khoảng 0,44-0,59 mg/l. Thượng lưu sông Lòng Tàu (thuộc xã Bình Khánh), giá trị chỉ tiêu $\text{NO}_3^-\text{-N}$ từ đoạn thượng lưu sông Lòng Tàu 0,78-0,79 mg/l, đoạn giữa sông Lòng Tàu khu vực Tam Thôn Hiệp 0,50-0,56 mg/l. Đoạn sông Lòng Tàu đổ về phía thượng lưu sông Đồng Tranh 0,058-0,59 mg/l ra đến cửa sông Đồng Tranh 0,52-0,55 mg/l và đoạn ngoài cửa sông 0,46-0,5 mg/l. Ngoài vịnh Đồng Tranh chỉ tiêu $\text{NO}_3^-\text{-N}$ khoảng 0,45-0,47 mg/l. Đoạn sông Lòng Tàu đổ về thượng lưu Ngã Bảy chỉ tiêu $\text{NO}_3^-\text{-N}$ từ 0,43- 0,47 mg/l và ra đến hạ lưu Ngã Bảy 0,46 mg/l. Giá trị chỉ tiêu $\text{NO}_3^-\text{-N}$ ở thượng lưu sông Thị Vải khoảng 0,67 mg/l, đến cửa Cái Mép 0,45-0,50 mg/l và từ cửa Cái Mép ra đến một phần Vịnh Gành Rái 0,45 mg/l. Khu vực vịnh Gành Rái chỉ tiêu $\text{NO}_3^-\text{-N}$ từ khoảng 0,42-0,44 mg/l. Trên sông Dinh Bà chỉ tiêu $\text{NO}_3^-\text{-N}$ khoảng 0,59 mg/l. Trên bản đồ kịch bản phân bố chất $\text{NO}_3^-\text{-N}$ năm 2025 RCP4.5 cho thấy nồng độ chất $\text{NO}_3^-\text{-N}$ khu vực hạ lưu sông Sài Gòn - Đồng Nai rất tốt. Chất lượng nước tốt, không bị ô nhiễm (Hình 15).



Hình 16. Bản đồ phân bố chất $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ lớn nhất ngày (trái) và trung bình ngày (phải) RCP 4.5 năm 2025.

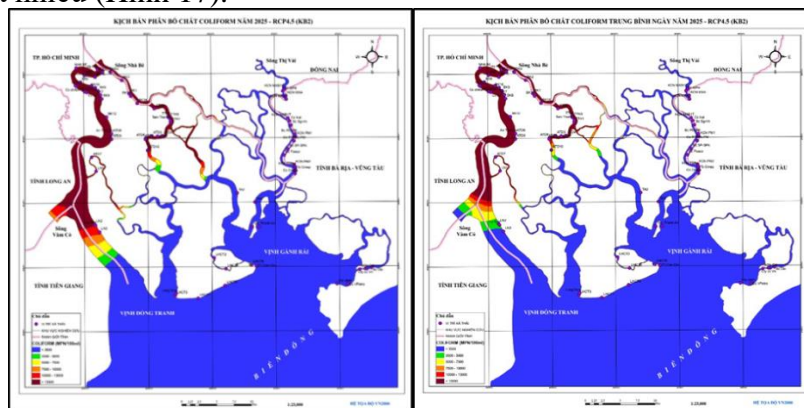
Chất lượng nước trên sông Nhà Bè (đoạn hợp lưu của hai sông Đồng Nai và Sài Gòn) kém, bị ô nhiễm nặng chỉ tiêu $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ là 0,91-0,96 mg/l. Trên sông Soài Rạp chất lượng nước kém bị ô nhiễm nặng, thượng nguồn sông Soài Rạp, giá trị $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ là 0,99 mg/l. Ngoài ra do ảnh hưởng ô nhiễm từ sông Soài Rạp nên thượng lưu rạch Vàm Sát (Đồng Tranh - Soài Rạp) cũng bị ô nhiễm nặng, giá trị chỉ tiêu $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ là 0,94-0,99 mg/l. Đoạn cửa sông Vàm Cỏ đổ vào sông Soài Rạp (khu vực hạ lưu sông Vàm Cỏ) chất lượng nước xấu, chỉ tiêu $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ khoảng 0,42 mg/l. Khu vực hạ lưu sông Soài Rạp 0,3-0,35 mg/l, vùng gần cửa sông chất lượng nước trung bình 0,21-0,26 mg/l. Vùng cửa sông Soài Rạp chất lượng nước tốt 0,16-0,17 mg/l. Thượng lưu sông Lòng Tàu (thuộc xã Bình Khánh) chất lượng nước ở đây bị ô nhiễm nặng, giá trị chỉ tiêu $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ khoảng 0,97-0,98 mg/l. Khu vực xã Tam Thôn Hiệp chất lượng nước kém, bị ô nhiễm nặng với giá trị $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ từ 0,98-0,99 mg/l, đoạn sông Lòng Tàu (chảy qua xã tam Thôn Hiệp và xã Long Hòa) chỉ tiêu $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ từ 0,59-0,63 mg/l. Đoạn sông Lòng Tàu đổ vào sông Đồng Tranh (thượng lưu sông Đồng

Tranh) chất lượng nước trung bình 0,23-0,26 mg/l. Đoạn giữa sông Đòng Tranh chất lượng nước xấu 0,36-0,4 mg/l. Khu vực hạ lưu sông Đòng Tranh: phía tây hạ lưu chất lượng nước trung bình 0,28 mg/l, khu vực phía đông chất lượng nước kém, bị ô nhiễm nặng 0,59-0,63 mg/l. Khu vực mũi Đòng Tranh, cồn cát và các bãi bồi ven biển thuộc xã Long Hòa chất lượng nước trung xấu - kém, chỉ tiêu $PO_4^{3-}-P$ đạt 0,41-0,97 mg/l. Chất lượng nước khu vực vịnh Đòng Tranh trung bình do sự lan truyền $PO_4^{3-}-P$ từ sông Đòng Tranh như các cồn cát, bãi bồi ven biển 0,23-0,27 mg/l, một số nơi có chất lượng nước tốt hơn 0,15-0,18 mg/l. Đoạn sông Lòng Tàu đổ về thượng lưu Ngã Bảy chất lượng nước xấu giá trị $PO_4^{3-}-P$ từ 0,37-0,4 mg/l, ra đến hạ lưu Ngã Bảy 0,09-0,1 mg/l (chất lượng nước rất tốt). Giá trị chỉ tiêu $PO_4^{3-}-P$ trên sông Thị Vải đến cửa Cái Mép và từ cửa Cái Mép ra đến một phần Vịnh Gành Rái từ 0,02-0,021 mg/l cho thấy chất lượng nước ở đây rất tốt. Khu vực vịnh Gành Rái: trên đảo Thanh An và thị trấn Cần Thạnh (đọc bờ Cần Giờ) chất lượng nước xấu - kém, một số nơi ô nhiễm nặng, chỉ tiêu $PO_4^{3-}-P$ từ 0,85-0,88 mg/l. Khu vực phía đông và nam vịnh Gành Rái chất lượng nước rất tốt, chỉ tiêu $PO_4^{3-}-P$ từ 0,025-0,05 mg/l. Sông Dinh Bà chất lượng nước rất tốt, chỉ tiêu $PO_4^{3-}-P$ khoảng 0,02-0,04 mg/l (Hình 16).



Hình 17. Bản đồ phân bố chất TSS lớn nhất ngày (trái) và trung bình ngày (phải) RCP 4.5 năm 2025.

Chất lượng nước tại trên các sông Nhà Bè, sông Soài Rạp, sông Vàm Cỏ, sông Đòng Tranh, vịnh Đòng Tranh, Sông Lòng Tàu, sông Ngã Bảy, Sông Thị Vải - Cái Mép và vịnh Gành Rái đều bị ô nhiễm rất nặng. Cho thấy hàm lượng tổng chất rắn lơ lửng ở khu vực nghiên cứu rất nhiều (Hình 17).



Hình 18. Bản đồ phân bố chất Coliform lớn nhất ngày (trái), trung bình ngày (phải) RCP 4.5 năm 2025.

Chất lượng nước trên sông Nhà Bè (đoạn hợp lưu của hai sông Đòng Nai và Sài Gòn) bị ô nhiễm rất nặng, chỉ tiêu Coliform > 13000 MPN/100ml. Trên sông Soài Rạp chất lượng nước bị ô nhiễm rất nặng, chỉ tiêu Coliform > 13000 MPN/100ml. Ngoài ra do ảnh hưởng ô nhiễm từ sông Soài Rạp nên thượng lưu rạch Vàm Sát (Đòng Tranh - Soài Rạp) cũng bị ô nhiễm rất nặng, giá trị chỉ tiêu BOD5 > 13000 MPN/100ml. Đoạn cửa sông Vàm

Cổ đổ vào sông Soài Rạp (khu vực hạ lưu sông Vàm Cỏ) chất lượng nước xấu - kém, bị ô nhiễm nặng chỉ tiêu Coliform từ 9300-12600 MPN/100ml. Mức độ ô nhiễm giảm dần từ đoạn giữa sông Soài Rạp ra đến cửa sông: khu vực hạ lưu sông Soài Rạp chất lượng nước tốt 3800-4800 MPN/100ml, vùng gần cửa sông chất lượng nước rất tốt 1600-2200 MPN/100ml. Vùng cửa sông Soài Rạp chất lượng nước rất tốt, giá trị Coliform từ 380-530 MPN/100ml. Thượng lưu sông Lòng Tàu (thuộc xã Bình Khánh) cho đến khu vực xã Tam Thôn Hiệp chất lượng nước ở đây bị ô nhiễm rất nặng, giá trị chỉ tiêu Coliform > 1300 MPN/100ml. Khu vực sông Lòng Tàu (chảy qua xã tam Thôn Hiệp và xã Long Hòa) chất lượng nước rất tốt, chỉ tiêu Coliform từ 780-3100 MPN/100ml. Đoạn sông Lòng Tàu đổ vào sông Đồng Tranh (thượng lưu sông Đồng Tranh) chất lượng nước rất tốt 390-620 MPN/100ml. Khu vực hạ lưu sông Đồng Tranh chất lượng nước rất tốt 700-1200 MPN/100ml, tuy nhiên khu vực mũi Đồng Tranh chất lượng nước chỉ đạt ở mức tốt, giá trị Coliform 3900-4300 MPN/100ml. Chất lượng nước khu vực vịnh Đồng Tranh rất tốt, chỉ tiêu Coliform khoảng 150-600 MPN/100ml. Đoạn sông Lòng Tàu đổ về thượng lưu Ngã Bảy chất lượng nước rất tốt 1000-1300 MPN/100ml ra đến hạ lưu Ngã Bảy 85-110 MPN/100ml (chất lượng nước rất tốt). Giá trị chỉ tiêu Coliform trên sông Thị Vải đến cửa Cái Mép và từ cửa Cái Mép ra đến một phần Vịnh Gành Rái 75-120 MPN/100ml cho thấy chất lượng nước ở đây rất tốt. Khu vực đảo Thạnh An có chất lượng nước tốt, giá trị Coliform 500-800 MPN/100ml. Thị trấn Cần Thạnh (dọc bờ Cần Giờ) thuộc vịnh Gành Rái chất lượng nước trung bình - xấu, giá trị Coliform từ 6400-7800 MPN/100ml. Khu vực vịnh Gành Rái chất lượng nước rất tốt 40-160 MPN/100ml (Hình 18).

4. Kết luận

Nghiên cứu đã thiết lập, hiệu chỉnh, kiểm định mô hình mô phỏng thủy lực và chất lượng nước vùng hạ lưu sông Sài Gòn - Đồng Nai. Sau khi xác định miền tính, lưới tính toán tam giác được xây dựng với 5342 nút lưới và 7631 phần tử. Bước thời gian là 30s. Các điều kiện thủy lực, điều kiện biên và điều kiện đầu được lựa chọn thích hợp. Mô hình được hiệu chỉnh bằng số Manning (là 28 m³/s được chọn phù hợp với miền tính) khi so sánh mực nước tính toán và thực đo thông qua chỉ số Nash - Sutcliffe.

Kết quả tính toán mô hình chất lượng nước - Ecolab cho thấy có nhiều sự phụ thuộc vào các yếu tố như kết quả tính toán tải lượng, độ tin cậy các kết quả quan trắc. Đối với nhóm các thông số BOD₅, DO, PO₄³⁻, sai số nhỏ, kết quả mô phỏng đạt độ chính xác cao. Nhóm NH₄⁺-N và NO₃⁻ có độ sai số trung bình, kết quả mô phỏng đạt độ chính xác tương đối. Đối với TSS và Coliform: sai số tương đối lớn, độ chính xác không cao nhưng chấp nhận được.

Chất lượng nước trên sông Nhà Bè (đoạn hợp lưu của hai sông Đồng Nai và Sài Gòn) bị ô nhiễm rất nặng, điển hình là chỉ tiêu BOD và PO₄³⁻. Các sông, kênh rạch khu vực nội đô chất lượng nước hầu như là từ xấu đến rất nặng điều này cho thấy hiện trạng xả thải đang ở mức báo động, đặc biệt là vào thời đoạn mùa khô các tháng từ 1-4 năm 2019.

Như vậy, với kết quả hiệu chỉnh và kiểm định mô hình tính đạt mức tốt thông qua các chỉ số NASH và R², có thể thấy kết quả mô phỏng chất lượng nước khu vực hạ lưu sông Sài Gòn-Đồng Nai đến năm 2025 đã đủ độ tin cậy có các nghiên cứu tiếp theo.

Hạn chế của nghiên cứu là chưa chỉ ra được nguyên nhân cũng như các giải pháp để cải thiện nguồn nước mặt cho khu vực Sài Gòn- Đồng Nai. Sẽ phát triển hướng nghiên cứu tiếp theo như xây dựng bộ công cụ dự báo CLN tự động thay thế cho mô hình truyền thống.

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

Lời cảm ơn: Bài báo hoàn thành nhờ vào kết quả của luận văn thạc sỹ: “Ứng dụng mô hình MIKE mô phỏng chất lượng nước khu vực hạ lưu sông Sài Gòn - Đồng Nai theo các kịch bản biến đổi khí hậu”.

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. Bhargava, D.S. Use of water quality index for river classification and zoning of Ganga River. *Environ. Pollut. Ser. B England*. **1983**, 6, 51–67.
2. Kim, T.T.; Diễm, P.T.M.; An, T.T.T.; Toại, N.C.; Ngọc, P.; Bảy, N.T. Đánh giá chất lượng nước mặt trên hệ thống các sông rạch chính khu vực thành phố Hồ Chí Minh ứng với quy hoạch công nghiệp và phát triển dân cư. *Tạp chí Khoa học và Công nghệ Đại học Đà Nẵng* **2020**, 18(9), 11–16.
3. Trình, L. Nghiên cứu phân vùng chất lượng nước theo các chỉ số chất lượng nước (WQI) và đánh giá khả năng sử dụng các nguồn nước sông, kênh, rạch ở thành phố Hồ Chí Minh, 2006.
4. Kim, T.T.; Diễm, P.T.M.; An, T.T.T.; Toại, N.C.; Ngọc, P.; Bảy, N.T. Đánh giá chất lượng nước mặt trên hệ thống các sông rạch chính khu vực thành phố Hồ Chí Minh ứng với quy hoạch công nghiệp và phát triển dân cư. *Tạp chí Khoa học và Công nghệ Đại học Đà Nẵng* **2020**, 18(9), 11–16.
5. Trình, L.; Hùng, L.Q. Môi trường lưu vực sông Đồng Nai - Sài Gòn. Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật, 2004.
6. Thái, T.H.; Trang, H.T.T.; Thao, N.V.; Phong, L.V.V. Ứng dụng mô hình Mike tính toán thủy lực, chất lượng nước cho lưu vực sông Đồng Nai - Sài Gòn. Viện Khoa học Khí tượng Thủy văn và Môi trường, 2012.
7. DHI. User Manual Mike 21FM/ HD/ AD&ECOLAB.
8. Trình, L. và cs. Nghiên cứu khả năng tiếp nhận tải lượng ô nhiễm do nước thải, khả năng tự làm sạch của các sông Sài Gòn, Đồng Nai, Nhà Bè. Xây dựng cơ sở khoa học, đề xuất các phương án xử lý nước thải và quản lý môi trường các sông lớn tại TPHCM. Sở Khoa học và Công nghệ TPHCM, 1995.
9. Khôi, N.H. Ứng dụng Mike 11 đánh giá chất lượng nước lưu vực sông Đồng Nai. Tập san Khoa học và Công nghệ Quy hoạch thủy lợi Viện Quy hoạch Thủy lợi miền Nam - Bộ Nông nghiệp và PTNT. NXB Nông nghiệp năm 2009.
10. Trình, L.; Lộc, N.B. Nghiên cứu phân vùng chất lượng nước theo các chỉ số chất lượng nước (WQI) và đánh giá khả năng sử dụng các nguồn nước sông, kênh rạch ở vùng thành phố Hồ Chí Minh, 2008.
11. Phương, L.X. Vi sinh vật học môi trường. Chương III - Sự phân bố của vi sinh vật trong môi trường. Đại học Bách Khoa Đà Nẵng, 2008, tr. 119–122.
12. Việt, L.V. Xu thế mực nước trên hạ lưu sông Đồng Nai do mực nước biển dâng.
13. Khải, N.T.; Công, N.C. Đánh giá Hệ số khuyếch tán mặn tại một số vị trí trên dòng chính Mê-kông. Dự án Nghiên cứu xâm nhập mặn Đồng bằng sông Cửu long, Giai đoạn 2 (1985-1987), 2012.
14. Giang, N.B.; Dung, N.T.M. Đánh giá khả năng tiếp nhận chất thải của đầm Cầu Hai, Thừa Thiên Huế, 2012.
15. Công, N.C. Đánh giá các điều kiện xáo trộn của hệ thống sông Mê kông. Dự án Nghiên cứu xâm nhập mặn Đồng bằng sông Cửu long, Giai đoạn 3 (1990-1992), 1992.
16. Hùng, N.Đ. Đánh giá sức tải môi trường sông Tiền và sông Hậu phục vụ quy hoạch nuôi cá tra (*Pangasianodon hypophthalmus*) bền vững trên sông Tiền, sông Hậu. Thư viện Bộ Nông nghiệp và PTNT- DT20101830, 2012.
17. Anh, P.T.; Huy, N.V. Ứng dụng chỉ số WQI đánh giá hiện trạng chất lượng môi trường nước mặt thành phố Đà Lạt. Bản tin khoa học và giáo dục trường Đại học Yersin Đà Lạt, 2013, tr. 13–18.

18. Phùng, N.K. Đánh giá khả năng chịu tải của hệ thống sông, rạch, đất đai tỉnh Vĩnh Long, 2011.
19. Connor and Dobbin. Mechanisms of reaeration in natural stream. *Am. Soc. Civil Eng. Trans.* **1985**, 153, 641.
20. Butterfield. Some function of bacteria in the purification of pollution water. United States Public Health Service, Stream Pollution Investigations, Cincinnati, Ohio, 1939.

Applying the MIKE-ECOLAB water quality model to simulate water quality in the downstream area of Saigon - Dong Nai river according to climate change scenarios

Quach Thai Duong^{1*}, Le Hoang Nghiem², Pham Thanh Long¹

¹ Sub-Institute of HydroMeteorology and climate change; vanhung0494@gmail.com; longpham.sihymete@gmail.com

² Ho Chi Minh City University of Natural Resources and Environment; hoangnghiem@hcmure.edu.vn

Abstract: The Saigon-Dong Nai River basin has a dense system of rivers and canals, however, most of these rivers and canals have been and are being seriously polluted by wastewater from domestic activities as well as from industrial parks/export processing zones. Especially the canal area and the downstream area of the Saigon-Dong Nai River flowing through Ho Chi Minh City. This article focuses on evaluating the surface water quality of the ha pomegranate area of the Saigon-Dong Nai River system, the estuary of Dong Tranh Bay, considering climate change conditions using the MIKE 21 FM Ecolab model. The results show that rivers and canals near the inner city, specifically in the Nha Be and Vam Co Dong River sections, have low water quality, indicators are almost at bad levels except for NH_4^+ and NO_3^- , and the estuary area has poor water quality. The water level is good. In addition, in the RCP4.5 climate change scenario for 2025, concentrations increase but not significantly in large rivers such as Nha Be and Vam Co Dong.

Keywords: MIKE 21FM Ecolab model; Water quality index; Saigon-Dong Nai River; Climate change.

Bài báo khoa học

Nghiên cứu xây dựng Web-GIS công bố bản đồ nguy cơ lây nhiễm dịch bệnh COVID-19 trên địa bàn thành phố Hà Nội

Nguyễn Thị Thu Hương^{1*}, Nguyễn Quang Minh¹

¹ Khoa Trắc địa Bản đồ và Quản lý đất đai, Trường Đại học Mỏ - Địa Chất Hà Nội; nguyenthithuhuongtdpt@humg.edu.vn; nqminh@gmail.com

*Tác giả liên hệ: nguyenthithuhuongtdpt@humg.edu.vn ; Tel.: +84-904802198

Ban Biên tập nhận bài: 5/10/2023; Ngày phản biện xong: 25/11/2023; Ngày đăng bài: 25/3/2024

Tóm tắt: Ngay từ khi dịch bệnh COVID-19 bùng phát trên thế giới, đã có nhiều các nghiên cứu về thành lập bản đồ nguy cơ lây nhiễm dịch bệnh COVID-19. Mục đích chính của các bản đồ này là cung cấp các thông tin cụ thể về mức độ nguy cơ lây nhiễm dịch bệnh COVID-19 trong từng khu vực. Các thông tin này rất hữu ích cho các nhà quản lý quyết định các chính sách, đưa ra các biện pháp phòng chống dịch bệnh hiệu quả và kiểm soát được sự lan truyền của virus SARS-CoV-2. Trong bài báo này, nhóm tác giả đã nghiên cứu xây dựng một Web-GIS công bố về bản đồ nguy cơ lây nhiễm dịch bệnh COVID-19 (CVI Map) trên địa bàn thành phố Hà Nội, là một hệ thống được tham chiếu chéo, tích hợp, cập nhật thường xuyên các dữ liệu và các tính toán, báo cáo hàng ngày về các trường hợp COVID-19 của thành phố Hà Nội, tạo thành một tài nguyên mở toàn diện, từ đó đưa ra các phương pháp thích ứng phù hợp dựa trên điều kiện dân cư, điều kiện sống, hạ tầng, y tế,... Đây cũng là sự chuẩn bị cần thiết để Hà Nội có thể ứng phó với sự xuất hiện của các bệnh truyền nhiễm đường hô hấp cũng như các bệnh truyền nhiễm khác trong tương lai.

Từ khóa: COVID-19; Web-GIS; Bản đồ CVI; QGIS; Hà Nội.

1. Giới thiệu

Hiện nay, mặc dù dịch bệnh COVID-19 đang dần được đẩy lùi tại Việt Nam cũng như trên thế giới, tuy nhiên sự xuất hiện các biến thể khác nhau của virus SARS-CoV-2 vẫn là nguy cơ có thể khiến dịch bệnh bùng phát trở lại. Vì vậy, việc chuẩn bị các thông tin hỗ trợ phòng chống dịch, đặc biệt là bản đồ nguy cơ lây nhiễm dịch bệnh COVID-19 dựa trên dữ liệu không gian là rất cần thiết để đảm bảo Việt Nam có thể sống an toàn với virus SARS-CoV-2. Đối với những người nghiên cứu dữ liệu không gian (geo-spatial data science), một trong những câu hỏi quan trọng là: vậy bệnh dịch sẽ hay xuất hiện ở những chỗ nào? Nguy cơ dịch bệnh ở đâu là lớn nhất? Đã có nhiều nhà khoa học, giới quản lý y tế trên thế giới tìm cách trả lời câu hỏi này để rồi từ đó họ đưa ra các mô hình tính toán chính xác cho phép thành lập các bản đồ nguy cơ lây nhiễm dịch bệnh COVID (COVID-19 Vulnerability Index Map - CVI Map). Các bản đồ này được tạo ra nhằm mục đích đánh giá và phân tích mức độ nguy cơ lây nhiễm của dịch COVID-19 tại từng khu vực và địa điểm khác nhau. Đây là công cụ quan trọng để đưa ra quyết định và triển khai các biện pháp phòng chống dịch hiệu quả. Tuy nhiên, muốn có được dữ liệu và mô hình để thành lập bản đồ CVI-Map cần có những dữ liệu thống kê hết sức chi tiết để từ đó có thể hình dung tại mỗi địa điểm, khu vực có các đặc điểm khác nhau thì bệnh dịch sẽ lây nhiễm như thế nào? Từ bản đồ này sẽ xác định được các khu vực có nguy cơ lây nhiễm nhanh khi có F0 trong cộng đồng, từ đó xác định các khu vực có nguy cơ bùng phát dịch cao, cần ưu tiên phủ Vaccine sớm cũng như có các biện pháp phòng

chống dịch hợp lý. Ngoài ra, việc kiểm soát dịch bệnh COVID-19 cũng đã phát triển các thành tựu với các mục tiêu phát triển (SDGs) về sức khỏe, kinh tế và xã hội, phát triển theo hướng phát triển bền vững [1–4].

Trước đây, sự bùng phát của dịch bệnh COVID-19 và hậu quả của nó trên toàn cầu đã dẫn đến các vấn đề xã hội nghiêm trọng liên quan đến sức khỏe cần được giải quyết như sự hoảng sợ, lo lắng, trầm cảm, phân biệt chủng tộc và không khoan dung [2]. Khi những thay đổi di truyền đối với virus xảy ra theo thời gian, virus SARS-CoV-2 bắt đầu hình thành các dòng di truyền. Giống như một gia đình có cây phả hệ, virus SARS-CoV-2 có thể được lập bản đồ tương tự. Đôi khi các nhánh của cây đó có các thuộc tính khác nhau làm thay đổi tốc độ lây lan của virus, mức độ nghiêm trọng của bệnh tật mà nó gây ra hoặc hiệu quả của các phương pháp điều trị chống lại nó. Các nhà khoa học gọi những virus có những thay đổi này là “biến thể”. Chúng vẫn là SARS-CoV-2, nhưng có thể hoạt động khác. Chính phủ của các quốc gia trên thế giới đã giới thiệu một số can thiệp để giảm khả năng di chuyển của con người và tiếp xúc với xã hội.

Để kiểm soát COVID-19, việc lập các bản đồ và phân tích không gian, hệ thống thông tin địa lý (GIS) cùng với dữ liệu không gian địa lý đóng một vai trò quan trọng, và là một cách thức công nghệ rộng rãi để nắm bắt, chuẩn bị, quản lý, tổng hợp phân tích từ nhiều nguồn dữ liệu [3]. Việc lập các bản đồ và phân tích không gian cũng có thể thực hiện theo dõi, xác định mô hình địa lý lây truyền, phân đoạn không gian để đánh giá tính dễ bị tổn thương và rủi ro, mô hình hóa không gian và trực quan hóa bất kỳ sự kiện nào có thể cung cấp hỗ trợ thông tin không gian nhỏ gọn cho việc ra quyết định, xây dựng các biện pháp và đánh giá tính hiệu quả của sự kiện để ngăn chặn và kiểm soát [4]. Năm 1854, việc lập bản đồ và phân tích không gian đã được sử dụng bởi bác sĩ người Anh John Snow để phát hiện và ngăn chặn dịch tả bùng phát ở London. Kết thúc của nghiên cứu đó đã giúp cứu sống nhiều người và hỗ trợ hình thành một hệ thống quản lý nước và chất thải ở London. Sau đó, nó được theo sau bởi các thành phố khác và tạo ra một sự thay đổi đáng kể về sức khỏe cộng đồng nói chung trên toàn thế giới [5].

Để có thể tạo bản đồ nguy cơ lây nhiễm dịch bệnh, dữ liệu không gian đóng vai trò quan trọng, làm đầu vào cho các mô hình xác định chỉ số nguy cơ bệnh tật [6]. Dựa trên số liệu thống kê về vị trí của các ca mắc COVID-19, có thể tạo ra mối tương quan giữa một số thông tin không gian như mật độ dân số, thu nhập bình quân đầu người, điều kiện sống có nguy cơ bùng phát dịch bệnh, v.v... [7]. Thông tin không gian này có thể được thu thập thông qua các nguồn dữ liệu mở hoặc có thể được xác định gián tiếp bằng các mô hình phân tích không gian thông qua dữ liệu không gian hiện có như phân bố độ che phủ đất, dữ liệu dân số, v.v... [8]. Phân tích tình hình dịch bệnh COVID-19 về không gian và thời gian là rất quan trọng để có thể hiểu rõ được bản chất, mức độ, mô hình địa lý của việc truyền nhiễm, các yếu tố nguy cơ tiềm ẩn, mức độ dễ bị tổn thương và rủi ro, và các điểm nóng về lây nhiễm [9]. Phân tích không gian về sự bùng phát COVID-19 cũng rất quan trọng khi xây dựng được một chính sách toàn diện để kiểm soát các tình huống bất lợi của đại dịch sử dụng các nguồn lực có sẵn. Việc phân tích không gian và thời gian rất quan trọng trong dịch tễ học [9]. Trong hai thập kỷ qua, dịch tễ học đã tham gia và nhận được các phản hồi tốt trong nghiên cứu các ứng dụng trung gian [10] và đã có một số nghiên cứu nhất định được thực hiện trên thế giới liên quan đến việc phân tích COVID-19 trong không gian [4, 11–12]. Đặc biệt, một nghiên cứu toàn diện về bản chất của lan truyền theo không gian, mô hình lây truyền theo không gian địa lý, tính dễ bị tổn thương và mức độ rủi ro cùng với việc phân tích các điểm nóng của COVID-19 đã được công bố trong các nghiên cứu của các nhà khoa học như [7, 13–15].

Cho đến nay, việc lập bản đồ nguy cơ lây nhiễm COVID-19 đã được báo cáo ở nhiều quốc gia trên thế giới bằng nhiều cách tiếp cận khác nhau. Theo [16], một trong những công cụ giúp con người có thể hiểu được căn bệnh này là Hệ thống thông tin địa lý (GIS). GIS cung cấp một khuôn khổ tuyệt vời để tích hợp dữ liệu cụ thể về bệnh tật với các khu dân cư, cơ sở y tế và xã hội cũng như môi trường tự nhiên xung quanh. Nó cũng cung cấp dữ liệu rất

phù hợp để phân tích dữ liệu và hiển thị xu hướng. Theo [17] đã đề xuất phương pháp tiếp cận đa tiêu chí và công nghệ GIS để đánh giá mức độ nguy hiểm của COVID-19 trong quá trình phong tỏa các quận nội thành. Tương tự, MCDA dựa trên GIS đã được sử dụng để thiết lập bản đồ các khu vực dễ bị tổn thương do COVID-19 cho Bờ Tây, Palestine [18]. Ngoài ra, để xác định các khu vực có khả năng dễ bị tổn thương do lây nhiễm COVID-19, có thể hỗ trợ các tổ chức chính phủ duy trì việc quản lý dịch bệnh và ngăn chặn sự lây lan của nó, [19] đã tạo ra bản đồ về tình trạng dễ bị tổn thương của COVID-19 ở Tây Bengal, Ấn Độ thông qua nền tảng GIS và một phương pháp MCDM mờ tích hợp. Mặt khác, phương pháp này cũng được áp dụng trong việc xây dựng mô hình xác định các chỉ số nhạy cảm COVID-19 ở Trung Quốc [20], đánh giá mức độ tổn thương do COVID-19 [21], xác định các chỉ số nhạy cảm COVID-19 do yếu tố xã hội gây nên ở Iran [22], thiết lập bản đồ mức độ nhạy cảm với COVID-19 [23].

Ngoài ra, phương pháp tiếp cận MCDA dựa trên GIS, nghiên cứu [24] đã xác nhận vai trò của ứng dụng hình ảnh vệ tinh, công nghệ viễn thám và dữ liệu không gian địa lý trong việc xác định các đặc điểm và mối quan hệ có liên quan đến mức độ phổ biến và tỷ lệ tử vong của COVID-19 trên toàn cầu. Hơn nữa, nghiên cứu [25] kết luận rằng trong những năm tới, việc áp dụng công nghệ viễn thám sẽ cho phép giám sát và quản lý rủi ro đại dịch toàn cầu hiệu quả hơn nhiều. Hiện nay, công nghệ này đã được ứng dụng rộng rãi trong nghiên cứu về đại dịch COVIDS. Nghiên cứu [26] đã sử dụng công nghệ viễn thám, GIS và phương pháp dựa trên kiến thức địa phương để giải quyết hiệu quả tình trạng lây lan bệnh COVID-19 ở Ấn Độ. Sau khi tham khảo ý kiến của chính quyền địa phương, họ đã phân định không gian các khu vực nguy hiểm khác nhau và các hoạt động được phép ở đó. Ngoài ra, nghiên cứu [27] đã sử dụng hình ảnh vệ tinh để phân tích tình trạng lây nhiễm SARS CoV-2 trong những nhóm dân cư dễ mắc bệnh ở Ecuador. Ngoài ra, sự kết hợp giữa mạng Bayesian và công nghệ GIS còn được sử dụng để xây dựng mô hình phân tích các khu vực dễ bị tổn thương do đại dịch bùng phát ở Bangkok, Thái Lan. Mô hình này được sử dụng để thực hiện phân tích kịch bản đã giúp phát hiện ra các chiến lược quản lý lỗ hổng.

Ở Việt Nam, đã có những nghiên cứu xác định vị trí của các bệnh như sốt rét [28] phân tích địa lý về sự xuất hiện bệnh tiêu chảy do vi khuẩn Shigella ở Việt Nam [29], hay phân bố địa lý sốt xuất huyết ở thành phố Hà Nội [30]. Các nghiên cứu này cho thấy thông tin địa lý/thông tin không gian có thể góp phần nâng cao hiệu quả phòng chống dịch bệnh, bảo vệ tính mạng người dân và đảm bảo an toàn sức khỏe cho Việt Nam. Ngoài ra, công nghệ GIS cũng đã được chứng minh là có hiệu quả trong việc khoanh vùng nguy cơ dịch bệnh COVID-19 để phân cấp mức độ tác động [31]. Bên cạnh đó, để dự báo và khoanh vùng vùng dịch để có thể đưa ra giải pháp chính xác và nhanh nhất [32] áp dụng mô hình hồi quy địa lý cục bộ để đánh giá tình hình dịch trên toàn thành phố, tập trung vào các khu vực được dự báo có mức độ lây nhiễm cao và nguy cơ lây nhiễm rất cao. Tuy nhiên, dịch bệnh COVID-19 là bệnh mới và xuất hiện nhanh nên hầu như chưa có kinh nghiệm cũng như chưa có nhiều nghiên cứu sử dụng dữ liệu không gian để dự báo, xác định nguy cơ dịch bệnh.

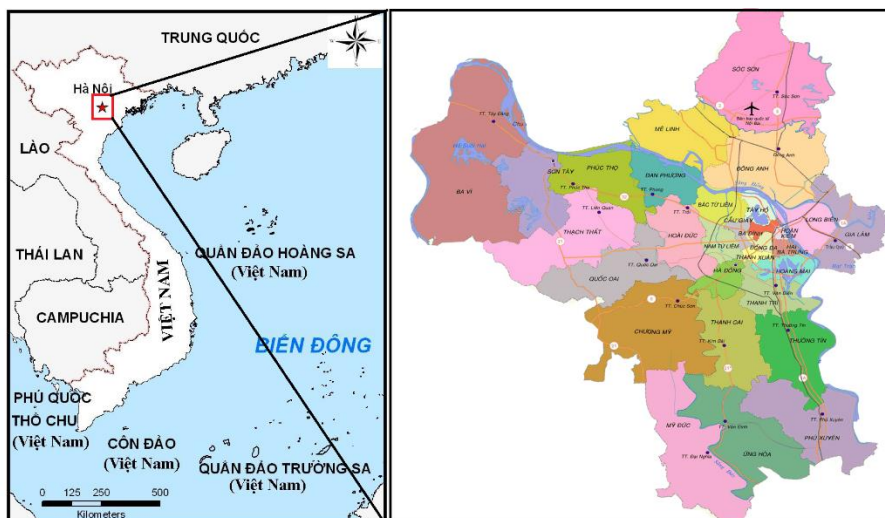
Trong nghiên cứu này, việc xây dựng một Web-GIS công bố về bản đồ nguy cơ lây nhiễm dịch bệnh COVID-19 (CVI Map) trên địa bàn thành phố Hà Nội trên cơ sở xây dựng các mô hình nghiên cứu cho phép xác định các chỉ số nguy cơ dịch bệnh từ dữ liệu không gian, cũng như các mô hình phân tích không gian xác định các thông tin cần thiết cho mô hình dịch tễ học như mật độ dân số, điều kiện sống, thông tin về nhân khẩu học, độ tuổi dân số, v.v. nhằm đánh giá và phân tích mức độ nguy cơ lây nhiễm của dịch bệnh COVID-19 tại từng khu vực và địa điểm khác nhau trên địa bàn thành phố Hà Nội. Trong đó, các bản đồ CVI-Map có thể được cập nhật và điều chỉnh theo thời gian, dựa trên các thông tin mới nhất về dịch bệnh và các yếu tố tác động. Điều này giúp cho quá trình phân tích và sử dụng các dữ liệu không gian trở nên linh hoạt và có khả năng đáp ứng nhanh chóng đối với tình hình dịch bệnh thay đổi. Kết quả của việc xây dựng Web-GIS này có thể cung cấp cho chính quyền và các nhà quản lý y tế những thông tin quan trọng về nguy cơ lây nhiễm

và tốc độ lây lan dịch bệnh trong từng khu vực cụ thể. Điều này giúp họ đưa ra quyết định và triển khai các biện pháp phòng chống dịch hiệu quả cho thành phố Hà Nội, ưu tiên phân phối vaccine, cũng như giành quyền ưu tiên tài nguyên y tế cho các khu vực có nguy cơ cao.

2. Dữ liệu và phương pháp nghiên cứu

2.1. Giới thiệu khu vực nghiên cứu

Thủ đô Hà Nội có vị trí nằm trong khoảng từ 20°53' đến 21°23' vĩ độ Bắc và từ 105°44' đến 106°02' kinh độ Đông. Hà Nội nằm tiếp giáp với các tỉnh Thái Nguyên, Vĩnh Phúc ở phía bắc; Hà Nam, Hòa Bình ở phía nam; các tỉnh Bắc Giang, Bắc Ninh, Hưng Yên ở phía đông và Hòa Bình, Phú Thọ ở phía tây. Đây là trung tâm chính trị, kinh tế, văn hóa, khoa học và kỹ thuật của cả nước [33]. Nằm trong vùng đồng bằng sông Hồng phía Bắc, Hà Nội là vùng có mật độ dân số cao nhất cả nước với dân số năm 2020 là khoảng 8,3 triệu người, năm 2021 là khoảng 8,34 triệu người và năm 2022 là khoảng 8,4 triệu người, sống trên diện tích 3.359,82 km², với mật độ 2.511 người/km², trong đó hơn 8 triệu người sống ở các khu đô thị [34].



Hình 1. Khu vực nghiên cứu.

2.2. Dữ liệu đã sử dụng

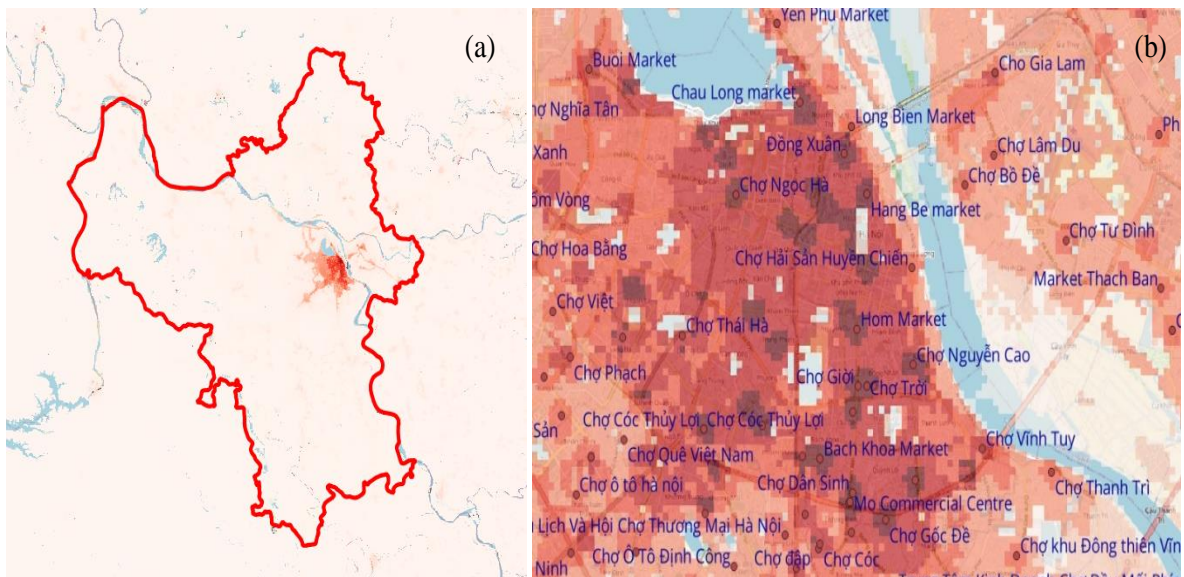
Dữ liệu được sử dụng trong nghiên cứu này bao gồm dữ liệu về các ca nhiễm COVID-19 tại Hà Nội trong khoảng thời gian từ ngày 5/7/2021 đến ngày 22/9/2021 được thu thập tại Trung tâm Kiểm soát bệnh tật Hà Nội (CDC Hà Nội - 70 Nguyễn Chí Thanh, Đống Đa, Hà Nội) và một số dữ liệu không gian cần thiết để xây dựng bản đồ chỉ số nguy cơ dịch bệnh như: dữ liệu thảm phủ đất, dữ liệu dân số và phân bố dân cư, dữ liệu thị trường địa phương, trung tâm thương mại, căn hộ, dữ liệu về các khu công nghiệp, v.v. tại thành phố Hà Nội. Bảng 1 trình bày dữ liệu và nguồn được sử dụng trong nghiên cứu.

Bảng 1. Nguồn và các dữ liệu được sử dụng trong nghiên cứu.

Dữ liệu	Tham số	Nguồn
Dữ liệu dân số	Mật độ dân cư (mật độ nhà trên 1 ha)	https://hub.worldpop.org/geodata World Population năm 2020 độ phân giải 90x90m
Dữ liệu các đối tượng hạ tầng kinh tế xã hội	Các tham số về độ nhạy cảm COVID-19 được xác định từ: Vị trí các ca nhiễm COVID-19	CDC Hà Nội (được thu thập từ 5/7/2021 đến 22/9/2021)

Dữ liệu	Tham số	Nguồn
	Vị trí các chợ dân sinh, trung tâm thương mại, các đơn vị hành chính, các đơn vị dịch vụ, các khu công nghiệp, khu chế xuất, các khu chung cư...	Google Earth
Dữ liệu lớp phủ sử dụng đất	Các tham số của mô hình phân tích không gian	<p>https://www.eorc.jaxa.jp/ (Dữ liệu với độ phân giải 30m được giải đoán từ ảnh vệ tinh do Jaxa cung cấp, 1991- 2019), Sentinel-1 SAR GRD Sentinel-2 MSI Level-2A Sentinel-2 MSI Level-2A Landsat 7 ETM+ (Collection 1) Landsat 5 and 4 TM (Collection 1) Dữ liệu khảo sát mặt đất, dữ liệu điều tra, dữ liệu giải đoán bằng mắt thường từ ảnh vệ tinh (130,000 sites) ALOS PRISM Digital Surface Model (AW3D DSM) đã được tính toán để xác định độ dốc, hướng dốc, và độ cao Các nguồn dữ liệu phụ trợ khác bao gồm khoảng cách đến sông, để bờ biển, hệ thống giao thông và nhà cửa</p>

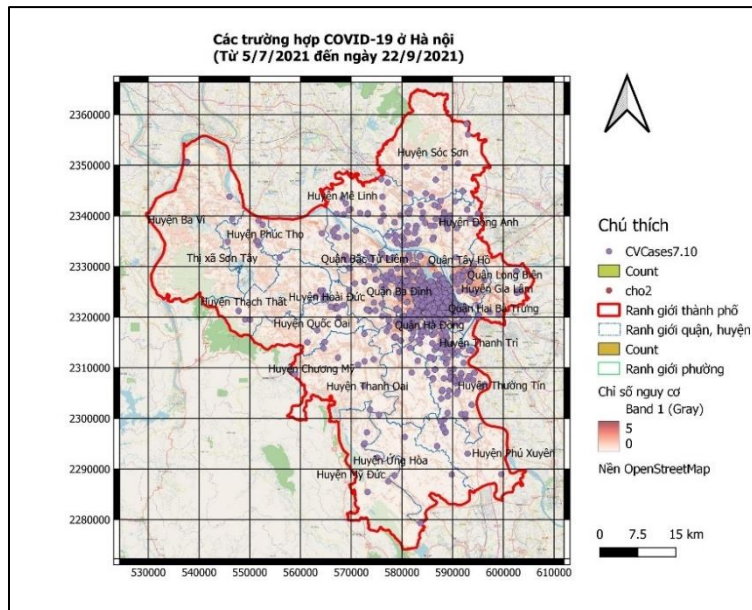
Dữ liệu mật độ dân cư (<http://www.worldpop.org.uk/>). Dữ liệu có độ phân giải 100 m × 100 m và số liệu dân số ước tính trên mỗi điểm ảnh này. Dữ liệu mật độ dân cư được thể hiện như Hình 2a.



Hình 2. (a) Dữ liệu mật độ dân số download được từ <http://www.worldpop.org.uk/>; (b) Dữ liệu chợ dân sinh và trung tâm thương mại.

Dữ liệu vị trí các chợ dân sinh tại Thành phố Hà Nội được xác định từ Google Earth với tổng 240 chợ như trên Hình 2b.

Vị trí của hơn 3500 ca F0 tại thành phố Hà Nội trong khoảng thời gian 5/7/2021 đến ngày 22/9/2021 (do các ca bệnh chỉ có thông tin về địa chỉ, không có thông tin về tọa độ nên nhóm nghiên cứu đã phải tiến hành xác định vị trí các ca nhiễm trên bản đồ một cách thủ công) để đối chứng với kết quả mô hình xác định mức độ nhạy cảm lây nhiễm COVID-19 (Hình 3). Dữ liệu các ca bệnh F0 được cung cấp bởi Trung tâm kiểm soát dịch bệnh Hà Nội (CDC Hà Nội) theo định dạng file excel.



Hình 3. Vị trí được xác định dựa vào địa chỉ của 3500 ca nhiễm COVID-19 ở Hà Nội trong thời gian 5/7/2021 đến ngày 22/9/2021.

2.3. Phương pháp nghiên cứu

Trong quá trình nghiên cứu, chúng tôi đã xây dựng được một bản đồ nguy cơ lây nhiễm dịch bệnh COVID-19 trên cơ sở xây dựng 02 mô hình: mô hình xác định các chỉ số nguy cơ dịch bệnh và mô hình phân tích không gian.

Mô hình nhạy cảm trong khu vực truyền bệnh được xác định dựa trên dữ liệu của Thành phố Hồ Chí Minh được nhóm nghiên cứu của Bùi Hồng Sơn xây dựng dựa trên nghiên cứu, đánh giá về tương quan giữa các yếu tố vị trí địa lý và các đối tượng địa lý với nguy cơ COVID-19 [32]. Theo đó, quy trình xây dựng bản đồ phân vùng nhạy cảm lan truyền bệnh:

1. Lượng hóa các giá trị đặc trưng cho mức độ nhạy cảm của từng ô (cell) kích thước 100 x 100 m (tương đương 01 hecta) bao gồm tổng dân số trong bán kính 500 mét và khoảng cách từ từng cell đến các đối tượng địa lý nhạy cảm, dễ trở thành tâm lan truyền dịch như chợ, siêu thị, chung cư, khu công nghiệp.

2. Xác định các chỉ số nhạy cảm cho từng cell theo công thức sau:

- Đối với dân số xác định chỉ số PopIndex:

$$\text{PopIndex}_i = \text{Pop2020}_i / \text{MaxOfPop2020} \quad (1)$$

Trong đó Pop2020_i là dân số trong vòng 500 mét đối với từng cell và MaxOfPop2020 là giá trị Max của Pop2020 .

- Chỉ số nhạy cảm đối với chợ:

$$\text{ChoIndex}_i = (1000 - \text{Dist2cho}_i) / 1000 \quad (2)$$

- Chỉ số nhạy cảm đối với chung cư, cao ốc:

$$\text{ChungcuIndex}_i = (1000 - \text{Dist2cc}_i) / 1000 \quad (3)$$

Trong đó Dist2cc_i là khoảng cách từng cell đến chung cư.

- Chỉ số nhạy cảm đối với siêu thị, trung tâm thương mại:

$$\text{SieuthiIndex}_i = (1000 - \text{Dist2st}_i) / 1000 \quad (4)$$

Trong đó Dist2st_i là khoảng cách từng cell đến siêu thị.

- Chỉ số nhạy cảm đối với khu công nghiệp, khu chế xuất:

$$\text{KhuCNIndex}_i = (1000 - \text{Dist2cn}_i) / 1000 \quad (5)$$

Trong đó Dist2cn_i là khoảng cách từng cell đến khu công nghiệp (tính theo đường thẳng, không tính theo lộ trình).

Chỉ số nhạy cảm tổng hợp xác định theo công thức sau:

$$SensIndex_i = kp. PopIndex_i + kch. ChoIndex_i + kcc. ChungcuIndex_i + kst.SieuthiIndex_i + kcn.KhuCNIndex_i \tag{6}$$

Trong đó kp, kch, kcc, kst, kcn là các trọng số các yếu tố nhạy cảm dân số, chợ, chung cư, siêu thị, khu công nghiệp...

Do chuỗi số liệu thu thập được chưa đủ lớn, trong thử nghiệm dưới đây kp, kch, kcc, kst, kcn nhận giá trị bằng 1.

Để thuận lợi trong khai thác trực quan, sử dụng giá trị chỉ số nhạy cảm tổng hợp tương đối:

$$CovidSensIndex_i = 100SensIndex_i / MaxOfSensIndex \tag{7}$$

Trong đó MaxOfSensIndex là giá trị lớn nhất trong các giá trị SensIndex của tất cả các cell.

Mô hình này được tạo ra bởi nền tảng phân tích và mô hình nội suy các giá trị chỉ số index cho các grid không có dữ liệu, một hệ thống được thiết kế để hợp lý hóa phân tích thống kê và không gian địa lý phức tạp. Mô hình thực hiện các phương pháp hiện tại và lịch sử để xác định tình trạng các ca bệnh. Mô hình biến các thủ tục lập bản đồ và phân tích khó khăn và tốn thời gian thành các bản đồ, biểu đồ và kết quả đồ họa dễ hiểu.

Mô hình phân tích mức độ nhạy cảm với COVID-19 của [32] là mô hình duy nhất đã xây dựng thành công bản đồ nguy cơ lây nhiễm dịch bệnh COVID-19 tại Việt Nam vào thời kỳ đầu xảy ra dịch bệnh. Trên nền tảng đó, nhóm tác giả đã nghiên cứu cải tiến mô hình của [32] để xây dựng một Web-GIS công bố về bản đồ nguy cơ lây nhiễm dịch bệnh COVID-19 tại Hà Nội bằng cách giảm lược một số tham số của mô hình trên cho phù hợp với các điều kiện về dịch bệnh của Hà Nội. Dữ liệu được trình bày như Hình 6. Để xác định mức độ tương quan giữa mật độ dân số và tỷ lệ nhiễm COVID-19, dữ liệu các ca nhiễm COVID-19 như Hình 6 được sử dụng để xác định mật độ dân số tại các vị trí nhiễm bệnh sử dụng phương pháp phân tích không gian trên phần mềm QGIS.

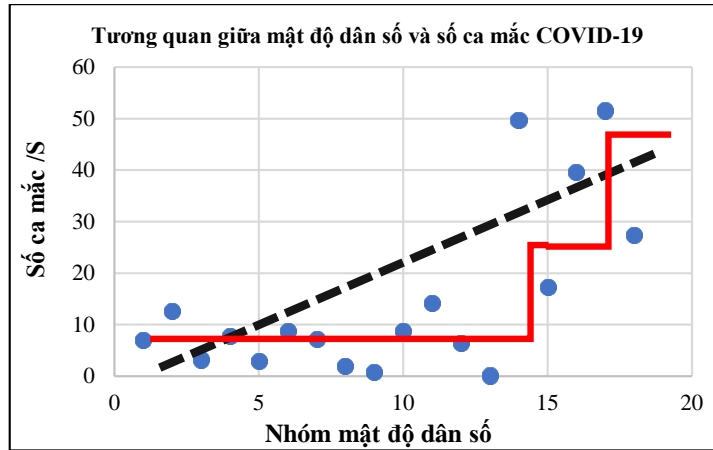
Dữ liệu về mật độ dân số được phân đoạn thành 18 nhóm mật độ từ 0 đến 850 người/ha với bước nhảy 50 người. Số liệu phân tích được trình bày trong Bảng 2. Trong bảng thống kê tổng số lượng ca mắc được định vị tại các vị trí có mật độ dân số từ nhóm 1 đến nhóm 18 và diện tích tương ứng với mỗi nhóm mật độ dân số. Chẳng hạn, nhóm 1 cho thấy có 27041 ca COVID-19 tại các vị trí có mật độ dân số từ 0-50 người/ha trong khi diện tích đất tương ứng với mật độ dân số này là 3815 ha. Vì diện tích đất tương ứng ở mỗi nhóm dân số không đều nhau và việc thống kê đơn thuần số ca mắc theo mật độ dân số sẽ không phản ánh đúng tương quan giữa mức độ nhạy cảm của COVID-19 theo mật độ dân số nên nhóm nghiên cứu đã sử dụng tham số N là tỷ số giữa số ca nhiễm theo mật độ dân số/ diện tích đất có cùng mật độ dân số. Cách làm này sẽ tiêu chuẩn hóa được về tương quan giữa số ca nhiễm theo mật độ dân số.

Bảng 2. Phân nhóm mật độ dân số và số ca mắc theo mật độ dân số.

Nhóm dân số	Mật độ dân số (người/ha)	Số ca mắc	Diện tích (ha)	N (Tỷ lệ ca mắc/S (Diện tích có cùng mật độ dân số))
1	50	27041	3815	7.088073
2	100	16286	1276	12.76332
3	150	7313	2268	3.224427
4	200	9725	1259	7.724384
5	250	15170	5059	2.998616
6	300	12073	1386	8.710678
7	350	11579	1619	7.151946
8	400	8383	4064	2.062746
9	450	10326	13035	0.792175
10	500	11685	1349	8.661972
11	550	14699	1029	14.28474
12	600	20745	3244	6.394883
13	650	19506	178808	0.109089
14	700	9105	183	49.7541

Nhóm dân số	Mật độ dân số (người/ha)	Số ca mắc	Diện tích (ha)	N (Tỷ lệ ca mắc/S (Diện tích có cùng mật độ dân số))
15	750	5407	314	17.21975
16	800	5732	145	39.53103
17	850	3248	63	51.55556
18	900	55	2	27.5

Từ dữ liệu trong Bảng 2 có thể xác định chỉ số nhạy cảm theo mật độ dân số bằng phương pháp hồi quy tuyến tính. Trong đó, đồ thị phân bố và hàm hồi quy được xác định như Hình 4.



Hình 4. Đồ thị phân bố hồi quy tuyến tính để xác định ảnh hưởng của mật độ dân số đến khả năng lây nhiễm COVID-19. Trong đó, đường nét đứt màu đen là đường hồi quy, đường nét liền màu đỏ là đường phân bậc cho mô hình gián lược.

Để giản lược hóa mô hình xác định nhạy cảm COVID-19, nhóm nghiên cứu sử dụng phân bậc để giản lược chỉ số. Các chỉ số nhạy cảm của mật độ dân số sẽ được chia làm 3 mức bao gồm: mức thấp (mật độ dân số từ 0 đến 600 người/ha), nhóm trung bình (mật độ dân số từ 600 đến 700 người/ha) và mức cao (mật độ dân số trên 700 người/ha). Các chỉ số PopIndex sẽ lần lượt nhận các giá trị 1, 2, 3 lần lượt tương ứng với mức nhạy cảm thấp, trung bình và cao.

Một chỉ số khác liên quan đến khoảng cách điểm lây nhiễm, nhóm nghiên cứu cũng tiến hành giản lược chỉ số nghiên cứu bằng cách phân loại chỉ số này thành hai giá trị là không nhạy cảm và nhạy cảm. Khu vực không nhạy cảm là các khu vực có khoảng cách lớn hơn 400 m đến các điểm có nguy cơ lây nhiễm như chợ dân sinh, tương ứng với giá trị ChoIndex_i = 0. Ngược lại, khu vực nhạy cảm sẽ nằm trong bán kính 400 m đến các điểm có nguy cơ lây nhiễm cao có giá trị ChoIndex_i = 1.

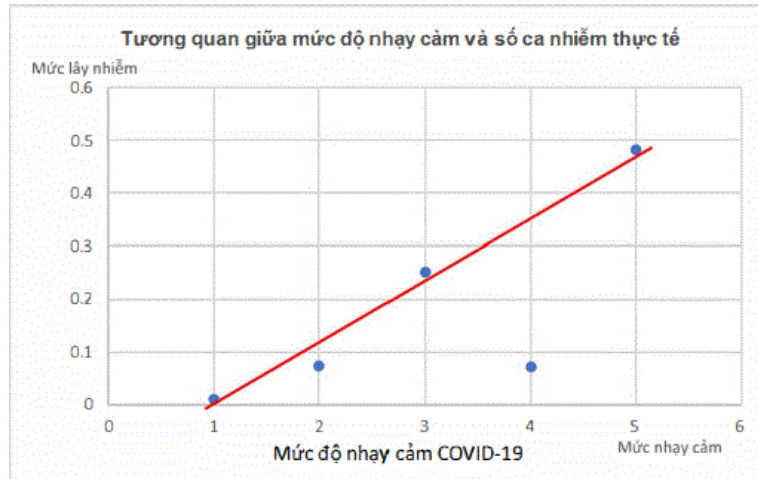
Nhóm nghiên cứu cũng tiến hành xác định giản lược mức độ lây nhiễm đối với các khu vực có điều kiện sinh hoạt không tốt, đó là các khu dân cư có đã được hình thành với thời gian lâu, diện tích nhà ở nhỏ, điều kiện vệ sinh không tốt. Các khu dân cư này thường được hình thành từ trước năm 1995 và để xác định được tương đối vị trí các khu dân cư này có thể sử dụng dữ liệu lớp phủ trong các thời kỳ trước đây, trong đó có xác định các lớp đất xây dựng tương ứng với các vị trí trước năm 1995 ở khu vực thành phố và có mật độ xây dựng cao. Các vị trí có lớp mặt đất trước năm 1995 sẽ có giá trị DKIndex = 1, các khu vực có dân cư không thuộc khu vực trên sẽ có giá trị DKIndex = 0.

Đối với mô hình giản lược, giá trị mức độ nhạy cảm sẽ được xác định bằng:

$$CovidIndex_i = k_p \cdot PopIndex_i + k_{ch} \cdot ChoIndex_i + k_{dk} \cdot DKIndex_i \tag{8}$$

Trong đó, k_p, k_{ch}, k_{dk} là các trọng số của các chỉ số PopIndex, ChoIndex, và DKIndex. Trong mô hình giản lược, các trọng số này đều bằng 1, nghĩa là coi mức độ ưu tiên (quan trọng) của các yếu tố nhạy cảm này là như nhau.

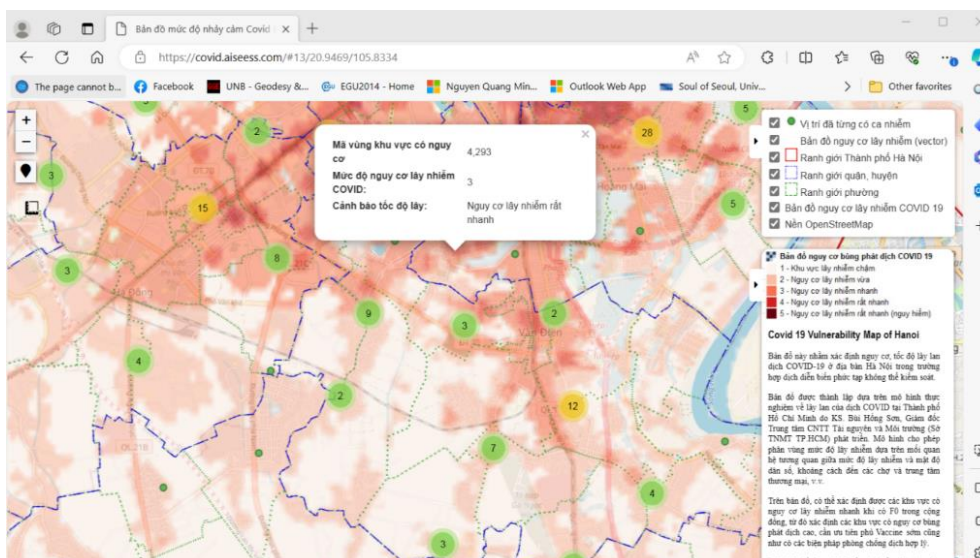
Để có thể xác định tính chính xác của mô hình, nhóm nghiên cứu đã sử dụng chỉ số so sánh là tỷ số giữa số ca mắc bệnh COVID-19 tại mỗi vị trí nhạy cảm trên tổng diện tích theo mỗi mức độ nhạy cảm. So sánh trên Hình 6 và Bảng 3 có thể thấy xu thế chung khi mức độ nhạy cảm tăng thì nguy cơ nhiễm bệnh cũng tăng tỷ lệ thuận với mức độ nhạy cảm. Như vậy, mô hình hoàn toàn có thể sử dụng được để xác định mức độ nhạy cảm (dễ tổn thương) với COVID-19 ở các khu vực khác nhau, từ đó đưa ra các biện pháp đối phó và thích ứng phù hợp.



Hình 6. Xu thế tương quan giữa mức độ lây nhiễm và mức độ nhạy cảm COVID-19. Trong đó, trục tung giá trị mức độ lây nhiễm, trục hoành là các mức độ nhạy cảm COVID-19 trong mô hình giản lược có giá trị từ 1 đến 5. Đường màu đỏ là đường hồi quy.

Hình 6 thể hiện xu thế tương quan tỷ số giữa số ca mắc bệnh COVID-19 tại mỗi vị trí nhạy cảm trên tổng diện tích theo mỗi mức độ nhạy cảm. Trong đó, trục hoành là các mức độ nhạy cảm COVID-19 khác nhau trong mô hình giản lược, có giá trị từ 1 đến 5. Nếu tương quan này theo hướng đồng biến, có nghĩa là giá trị khi mức độ lây nhiễm nhỏ. Khi mức độ lây nhiễm có giá trị thấp thì mô hình được cho là phản ánh đúng nguy cơ lây nhiễm.

Để có thể phổ biến rộng rãi dữ liệu bản đồ nhạy cảm COVID-19, nhóm nghiên cứu đã tiến hành xây dựng bản đồ nhạy cảm COVID-19 trực tuyến. Việc xây dựng được dựa trên công nghệ mã nguồn mở, với thư viện JavaScript Leaflet. Leaflet là một thư viện JavaScript mã nguồn mở cho việc xây dựng một ứng dụng map có tính tương tác. Nó cũng hoạt động hiệu quả trên cả nền tảng máy tính lẫn mobile, có thể được mở rộng với các plugin, ngoài ra nó còn có một trang document API đẹp, đơn giản nhưng dễ đọc.



Hình 7. Bản đồ nhạy cảm COVID-19 (CVI) trực tuyến tại <https://covid.aiseess.com/>.

Để xây dựng Web-GIS này, nhóm nghiên cứu sử dụng một plugin của QGIS là QGIS2Web. Quá trình thực hiện dự án về công bố bản đồ nhạy cảm COVID-19 được thực hiện hoàn toàn trên máy tính để bàn. Sau đó, dự án được đẩy ra thư viện sử dụng các API của Leaflet từ QGIS. Web-GIS công bố bản đồ nhạy cảm COVID-19 của nhóm nghiên cứu được đặt tại địa chỉ: <https://covid.aiseess.com/> (Hình 7). Bản đồ cho phép hiển thị các lớp dữ liệu như lớp dữ liệu về mức độ nhạy cảm COVID-19, lớp dữ liệu các ca mắc COVID-19 tại Hà Nội tại thời điểm từ 5/7/2021 đến ngày 22/9/2021 trên nền OpenStreetMap. Bản đồ trực tuyến cũng cho phép tra cứu mức độ nhạy cảm tại các vị trí, hiển thị số lượng ca nhiễm hiện có tại mỗi khu vực.

4. Kết luận

Nghiên cứu này đã giới thiệu phương pháp xây dựng Web-GIS công bố về bản đồ nguy cơ lây nhiễm dịch bệnh COVID-19 (CVI Map) trên cơ sở xây dựng các mô hình xác định các chỉ số nguy cơ dịch bệnh từ dữ liệu không gian, cũng như các mô hình phân tích không gian xác định các thông tin cần thiết cho mô hình dịch tễ học như mật độ dân số, điều kiện sống, thông tin về nhân khẩu học, độ tuổi dân số, v.v. Kết quả của nghiên cứu đã xây dựng được một Web-GIS công bố về bản đồ nguy cơ lây nhiễm dịch bệnh COVID-19 trên địa bàn thành phố Hà Nội trên cơ sở các dữ liệu thu thập được về các ca nhiễm COVID-19 trong khoảng thời gian từ ngày 5/7/2021 đến ngày 22/9/2021 do CDC Hà Nội cung cấp và một số các dữ liệu không gian của khu vực nghiên cứu.

Trong bối cảnh hiện nay, mặc dù dịch bệnh COVID-19 đã được đẩy lùi tại Việt Nam cũng như trên thế giới nhưng các biến thể của virus SARS-CoV-2 đã xuất hiện và bản chất biến đổi không ngừng của virus này có khả năng làm gia tăng sự kháng thuốc và kháng vaccine đối với một số biến thể, do đó việc theo dõi và đánh giá các nguy cơ lây nhiễm luôn rất quan trọng. Chính vì thế, việc sử dụng Web-GIS và các bản đồ nguy cơ lây nhiễm dịch bệnh COVID-19 vẫn rất cần thiết nhằm giúp cho các nhà quản lý, các cơ quan y tế có thể theo dõi, đánh giá và sẵn sàng ứng phó với dịch bệnh trong tình hình mới.

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

Lời cảm ơn: Nghiên cứu này được thực hiện dưới sự tài trợ của Trường Đại học Mở - Địa Chất Hà Nội thông qua đề tài nghiên cứu khoa học cấp cơ sở có mã số: T22-44. Tập thể nhóm tác giả bài báo xin trân trọng cảm ơn sự tài trợ của Trường Đại học Mở - Địa Chất Hà Nội cho nghiên cứu này.

Lời cam đoan: Tập thể nhóm tác giả cam đoan bài báo này là công trình nghiên cứu của tập thể nhóm 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. UND. Human development report 2015, 2015. Online available: <https://hdr.undp.org/content/human-development-report-2015>.
2. Bodrud-Doza, Md.; Shammi, M.; Bahlman, L.; Towfiqul Islam, A.R.Md.; Rahman, M.M. Psychosocial and Socio-Economic Crisis in Bangladesh Due to COVID-19 Pandemic: A Perception-Based Assessment. *Front Public Health* 2020, 26(8), 341. Doi:10.3389/fpubh.2020.00341.
3. Rahman, M.R.; Islam, A.H.; Islam, M.N. Geospatial modelling on the spread and dynamics of 154 day outbreak of the novel coronavirus (COVID-19) pandemic in Bangladesh towards vulnerability zoning and management approaches. *Model. Earth Syst. Environ.* 2021, 7, 2059–2087.
4. Zhou, P.; Yang, X.L.; Wang, X.G.; Hu, B.; Zhang, L.; Zhang, W.; Si, H.R.; Zhu, Y.;

- Li, B.; Huang, C.L.; Chen, H.D.; Chen, J.; Luo, Y.; Guo, H.; Jiang, R.D.; Liu, M.Q.; Chen, Y.; Shen, X.R.; Wang, X.; Zheng, X.S.; Zhao, K.; Chen, Q.J.; Deng, F.; Liu, L.L.; Yan, B.; Zhan, F.X.; Wang, Y.Y.; Xiao, G.F.; Shi, Z.L. A pneumonia outbreak associated with a new coronavirus of probable bat origin. *Nature* **2020**, *579*(7798), 270–273. Doi:10.1038/s41586-020-2012-7.
5. Brody, C.D.; Romo, R.; Kepecs, A. Basic mechanisms for graded persistent activity: discrete attractors, continuous attractors, and dynamic representations. *Curr. Opin. Neurobiol.* **2003**, *13*(2), 204–211. Doi: 10.1016/s0959-4388(03)00050-3.
 6. Amram, O.S.; Amiri, R.B.; Lutz, B. Rajan.; Monsivais, P. Development of a vulnerability index for diagnosis with the novel coronavirus, COVID-19, in Washington State, USA. *Health Place.* **2020**, *64*, 102377.
 7. Acharya, R.; Porwal, A. A vulnerability index for the management of and response to the COVID-19 epidemic in India: an ecological study. *Lancet Global Health* **2020**, *8*(9), e1142–e1151.
 8. Franch-Pardo, I.B.M.; Napoletano, F.; Verges, R.; Billa, L. Spatial analysis and GIS in the study of COVID-19. A review. *Sci. Total Environ.* **2020**, *739*, 140033.
 9. Andrew, D.; Haggett, C.P. The epidemiological significance of islands. *Health Place* **1995**, *1*(4), 199–209. [https://doi.org/10.1016/1353-8292\(95\)00029-1](https://doi.org/10.1016/1353-8292(95)00029-1).
 10. Kirby, J.N.; Tellegen, C.L.; Steindl, S.R. A meta-analysis of compassion-based interventions: current state of knowledge and future directions. *Behav. Ther.* **2017**, *48*(6), 778–792. Doi: 10.1016/j.beth.2017.06.003.
 11. Fan, L.; Li, D.; Xue, H.; Zhang, L.; Liu, Z.; Zhang, B.; Zhang, L.; Yang, W.; Xie, B.; Duan, X.; Hu, X.; Cheng, K.; Peng, L.; Yu, N.; Song, L.; Chen, H.; Sui, X.; Zheng, N.; Liu, S.; Jin, Z. Progress and prospect on imaging diagnosis of COVID-19. *Chin. J. Acad. Radiol.* **2020**, *3*, 4–13. Doi: 10.1007/s42058-020-00031-5.
 12. Gatto, M.; Bertuzzo, E.; Mari, L.; Miccoli, S.; Carraro, L.; Casagrandi, R.; Rinaldo, A. Spread and dynamics of the COVID-19 epidemic in Italy: Effects of emergency containment measures. *Biol. Sci.* **2020**, *117*(19), 10484–10491. doi: 10.1073/pnas.2004978117.
 13. Ramírez-Aldana, R.; Gomez-Verjan, J.C.; Bello-Chavolla, O.Y.; Garcí'a-Peña. Spatial epidemiological study of the distribution, clustering, and risk factors associated with early COVID-19 mortality in Mexico. *PLoS ONE* **2021**, *16*(7), e0254884. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0254884>.
 14. Huang et al. Clinical features of patients infected with 2019 novel coronavirus in Wuhan, China. *Lancet Global Health* **2020**, *395*(10223), 496. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(20\)30183-5](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(20)30183-5).
 15. Kang, L.; Ma, S.; Chen, M.; Yang, J.; Wang, Y.; Li, R.; Yao, L.; Bai, H.; Cai, Z.; Yang, B.X.; Hu, S.; Zhang, K.; Wang, G.; Ci Ma, C. Impact on mental health and perceptions of psychological care among medical and nursing staff in Wuhan during the 2019 novel coronavirus disease outbreak: A cross-sectional study. *Brain Behav. Immun.* **2020**, *87*, 11–17.
 16. Raju, K.; Rajan, N.; John, S.M.; Kumar, A.R.; Rahiman, B.A.; Sreerenjini, K. Smart fault detection in distribution system. *Int J. Electr. Eng. Technol.* **2020**, *11*(2), 54–61.
 17. Sangiorgio, V.; Parisi, F. A multicriteria approach for risk assessment of Covid-19 in urban district lockdown. *Saf. Sci.* **2020**, *130*, 104862. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2020.104862>.

18. Shadeed, S.; Alawna, S. GIS-based COVID-19 vulnerability mapping in the West Bank, Palestine. *Int. J. Disaster Risk Reduct.* **2021**, *64*, 102483.
19. Malakar, S. Geospatial modelling of COVID-19 vulnerability using an integrated fuzzy MCDM approach: a case study of West Bengal, India. *Model. Earth Syst. Environ.* **2022**, *8(3)*, 3103–3116.
20. Gao, Z.; Jiang, Y.; He, J.; Wu, J.; Xu, J.; Christakos, G. An AHP-based regional COVID-19 vulnerability model and its application in China. *Model. Earth Syst. Environ.* **2022**, 1–14.
21. Wyszynski, M.; Grudziński, M.; Pokonieczny, K.; Kaszubowski, M. The assessment of COVID-19 vulnerability risk for crisis management. *Appl. Sci.* **2022**, *12(8)*, 4090.
22. Moslehi, S.; Dehdashti, A.; Pourmohammadi, B.; Fatemi, F. Main social vulnerability indicators in the COVID-19 pandemic in Iran. *Front. Public Health* **2023**, *11*, 1080137.
23. Sarkar, S.K. COVID-19 susceptibility mapping using multicriteria evaluation. *Disaster medicine and public health preparedness*, **2020**, *14(4)*, 521–537.
24. Dahu, B.M.; Alaboud, K.; Nowbuth, A.A.; Puckett, H.M.; Scott, G.J.; Sheets, L.R. The Role of Remote Sensing and Geospatial Analysis for Understanding COVID-19 Population Severity: A Systematic Review. *Int. J. Environ. Res. Public Health* **2023**, *20(5)*, 4298.
25. Mehmood, K.; Bao, Y.; Mushtaq, S.; Khan, M.A.; Siddique, N.; Bilal, M.; Heng, Z.; Huan, L.; Tariq, M.; Ahmad, S. Perspectives from remote sensing to investigate the COVID-19 pandemic: A future-oriented approach. *Front. Public Health* **2022**, *10*, 938811.
26. Kanga, S.; Sudhanshu, G.; Meraj, M.; Farooq, M.; Nathawat.; Singh, S.K. Reporting the management of COVID-19 threat in India using remote sensing and GIS based approach. *Geocarto Int.* **2022**, *37(5)*, 1337–1344.
27. Toulkeridis, T.; Seqqat, R.; Arias, M.T.; Salazar-Martinez, R.; Ortiz-Prado, E.; Chunga, S.; Vizuetete, K.; Heredia-R, M.; Debut, A. Volcanic Ash as a precursor for SARS-CoV-2 infection among susceptible populations in Ecuador: A satellite Imaging and excess mortality-based analysis. *Disaster Medicine Public Health Preparedness* **2022**, *16(6)*, 2499–2511.
28. Bui, T.Q.; Pham, H.M. Web-based GIS for spatial pattern detection: Application to malaria incidence in Vietnam. *SpringerPlus* **2016**, *5(1)*, 1–14.
29. Kim, D.R.; Ali, M.; Thiem, V.D.; Park, J.K.; von Seidlein, L.; Clemens, J. Geographic analysis of shigellosis in Vietnam. *Health Place* **2008**, *14(4)*, 755–767.
30. Toan, D.T.T.; Hu, W.; Thai, P.Q.; Hoat, L.N.; Wright, P.; Martens, P. Hot spot detection and spatio-temporal dispersion of dengue fever in Hanoi, Vietnam. *Global Health Action* **2013**, *6(1)*, 18632.
31. Canh, K.M.; Son, B.H.; Chon, L.T. GIS app proposed solutions to construction risk of Covid-19 in Thu Duc City. *J. Hydro-Meteorol.* **2022**, *(4)*, 382–388.
32. Sơn, B.H.; Nga, D.T.T.; Chon, L.T. Dự báo khu vực lan truyền nhảy cảm Covid-19 dựa vào phương pháp hồi quy. *Tap chí Khí tượng Thủy văn* **2022**, *EME4*, 149–157.
33. Uy, P.D.; Nakagoshi, N. Application of land suitability analysis and landscape ecology to urban greenspace planning in Hanoi, Vietnam. *Urban For. Urban Greening* **2008**, *7(1)*, 25–40.
34. General Statistics Office. Statistical Yearbook of Vietnam 2019. Statistical Publishing House: Hanoi, Vietnam, 2020.

Research to build a Web-GIS to publish COVID-19 vulnerability index map in Hanoi City

Nguyen Thi Thu Huong^{1*}, Nguyen Quang Minh¹

¹ Faculty of Geomatics and Land Administration, Hanoi University of Mining and Geology, Hanoi, Vietnam; nguyenthithuhuongtdpt@hmg.edu.vn; nqminh@gmail.com

Abstract: Since the COVID-19 epidemic broke out in the world, there have been many studies establishing a map of the risk of COVID-19 infection. The main purpose of these maps is to provide specific information about the level of risk of COVID-19 infection in each area. This information is very useful for managers to decide on policies, devise effective disease prevention measures and control the spread of the virus. In this article, the author has researched and built a Web-GIS published on the COVID-19 infection risk map (CVI Map) in Hanoi city, which is a cross-referenced system, integrates and regularly updates data and calculations and daily reports on COVID-19 cases in Hanoi city, forming a comprehensive open resource, thereby offering appropriate methods. Appropriate response based on population conditions, living conditions, infrastructure, healthcare, etc. This is also necessary preparation for Hanoi to be able to respond to the emergence of respiratory infectious diseases as well as other infectious diseases in the future.

Keywords: COVID-19; Web-GIS; CVI map; QGIS; Hanoi.

Bài báo khoa học

Ứng dụng thuật toán trên nền tảng ngôn ngữ R để nghiên cứu vi nhựa trong nước mặt lục địa, sông Sài Gòn và sông Đồng Nai

Huỳnh Phú¹, Huỳnh Thị Ngọc Hân^{2,3*}, Nguyễn Thị Huệ³, Võ Hoàng Khang⁴

¹ Viện khoa học ứng dụng HUTECH, Trường Đại học Công nghệ TP. Hồ Chí Minh; h.phu@hutech.edu.vn;

² Trường Đại học Tài nguyên và Môi trường Thành phố Hồ Chí Minh; ht nhan_ctn@hcmunre.edu.vn

³ Viện Công nghệ môi trường, Học viện Khoa học và Công nghệ, Viện Hàn lâm Khoa học Công nghệ Việt Nam; nthue2003@gmail.com; ngochanosh@gmail.com

⁴ Khoa Công nghệ thông tin, Trường Đại học Công nghệ TP Hồ Chí Minh, vh.khang@hutech.edu.vn

*Tác giả liên hệ: ht nhan_ctn@hcmunre.edu.vn; Tel.: +84-975397953

Ban Biên tập nhận bài: 5/11/2023; Ngày phản biện xong: 6/12/2023; Ngày đăng bài: 25/3/2024

Tóm tắt: Nghiên cứu dự báo diễn biến phát tán vi nhựa trong nước mặt lục địa bằng ngôn ngữ lập trình R, thuật toán có chức năng mô hình hóa các đặc điểm hình dạng của vi nhựa theo mùa trong năm và mực nước thủy triều trong ngày. Sử dụng nền tảng R để hình thành hàm phân tích tương quan, thành phần chính dữ liệu, xử lý đa cộng tuyến dữ liệu và phân tích cụm nhằm mục đích dự đoán xu hướng hình dạng của vi nhựa trong nước sông trong thời gian gần. Kết quả ứng dụng nghiên cứu cho thấy tất cả các vị trí lấy mẫu trên lưu vực các sông Sài Gòn - Đồng Nai đều đang có mức vi nhựa dạng sợi cao và tăng tịnh tiến theo các năm. Kết quả nghiên cứu là công cụ hiệu quả trong dự đoán diễn biến thay đổi về đặc điểm, hình dạng của vi nhựa dưới tác động của môi trường, theo mùa trong năm, theo thủy triều lên và xuống. Hơn nữa, kết quả nghiên cứu này có thể được sử dụng để điều chỉnh các mô hình phù hợp với dữ liệu được thu thập trong điều kiện liên tục, lượng dữ liệu lưu trữ lớn, độ chính xác cao. Cần có sự chú trọng trong nguồn gốc làm phát sinh vi nhựa để có sự kiểm soát và quản lý kịp thời. Đây là công cụ đóng góp quan trọng trong nghiên cứu vi nhựa trong nước sông Sài Gòn, sông Đồng Nai và sẽ là ứng dụng rộng rãi cho nghiên cứu vi nhựa nước mặt lục địa.

Từ khóa: Phân tích cụm; Phân tích tương quan đa biến; Phân tích thành phần chính; R; Vi nhựa.

1. Giới thiệu

Vi nhựa có mặt khắp nơi và gây ảnh hưởng đến nhiều môi trường, như biển [1], sông, hồ [2], Bắc Cực [3], đất [4] và không khí [5]. Các nghiên cứu đã cho thấy tác động tiêu cực của vi nhựa đối với môi trường và hệ sinh thái [6], đưa ra nhiều luận cứ về nguồn gốc và tác động đến sức khỏe người [7]. Vi nhựa có thể chứa các hóa chất độc hại, chẳng hạn như Phthalate hoặc Ete Diphenyl Polybrominated, đồng thời có khả năng hấp phụ, hấp thụ và giải phóng, phân tán các chất hữu cơ khó phân hủy [8]. Hơn nữa, tốc độ phân hủy nhựa chậm, cần nhiều thời gian và tùy theo điều kiện môi trường vật lý, chúng có thể tồn tại trong môi trường trong nhiều năm, nhiều thế kỷ [9–10].

Phần lớn các kết quả nghiên cứu trước đây đều tập trung vào vi nhựa trong nước biển, trong khi đó môi trường nước ngọt, nước mặt lục địa ít được chú ý [11–12]. Nhưng gần đây,

việc nghiên cứu vi nhựa trong các sông đã được tăng cường [2]. Các phát hiện sự tồn tại của vi nhựa trong các mẫu nước sông đã cho thấy sự phong phú về mật độ của vi nhựa ở sông có mối tương quan với nhau với các yếu tố nhân tạo và mật độ cao hơn thường được phát hiện ở các khu vực có mật độ dân số và tập trung đông dân cư sinh sống. Điều này đã được quan sát và công bố kết quả trong các nghiên cứu khác nhau ở nhiều nơi trên khắp toàn cầu như: Châu Âu [13–16], Châu Á [17–21], Úc [22–23] hoặc Bắc Mỹ [2, 24–25]. Một số nghiên cứu không thể chỉ ra mối tương quan tích cực giữa sự phong phú về mật độ của vi hạt nhựa và mật độ dân số [26–28]. Mặc dù cũng có một số nghiên cứu có thể chỉ ra mối quan hệ rõ ràng giữa mật độ của vi nhựa ngày càng tăng là do mức độ đô thị hóa ngày càng tăng hay sự phát triển của công nghiệp hóa ở các khu vực lưu vực sông [29–30]. Trong khi ở một vài nghiên cứu khác không có mối quan hệ rõ ràng giữa sự thay đổi môi trường nước sông và lượng vi nhựa dồi dào đã được tìm thấy [21, 31]. Một số công bố kết quả điều tra về mật độ của vi nhựa dọc theo sông từ khu vực thưa dân đến nơi tập trung đô thị [18, 21]. Quy mô nghiên cứu các yếu tố khu vực, điều kiện môi trường theo mùa hay thủy triều và địa phương nghiên cứu có thể là nguyên nhân gây ra sự hạn chế như vậy giữa các công bố [2, 27], nhưng nội dung đi sâu vào diễn biến, đặc điểm của vi nhựa trong các yếu tố điều kiện là rất cần thiết để hiểu đầy đủ về chúng.

Cho đến hiện tại, Sông Sài Gòn và sông Đồng Nai vẫn là nguồn cung cấp nước sinh hoạt chính cho người dân 2 bên lưu vực sông. Hệ thống cửa sông Sài Gòn, sau khi chảy qua đô thị lớn là Thành phố Hồ Chí Minh, kết quả phân tích mẫu nước trên kênh Nhiêu Lộc, Thị Nghè cho thấy tổng khối lượng vi nhựa đại diện chiếm 11-43% [32]. Tác giả [33] đã lần đầu tiên công bố kết quả nghiên cứu về mật độ vi nhựa trong nước và trầm tích 2 con sông này đã xuất hiện vi nhựa dạng mảnh, dạng sợi và dạng hạt có kích thước 0,1-5 mm. Trong đó, phần lớn là chủng nhựa PE 51,2%, PP 27,1%, PVC 13,4% và 8,3% là các loại nhựa khác [33–34]. Emilie Strady và cộng sự (2020) cũng đã công bố trong nước sông Sài Gòn có sự xuất hiện của vi nhựa dạng sợi từ 22-251 sợi trong 1 lít nước, không tính đến yếu tố ảnh hưởng như lượng mưa, lưu lượng nước hoặc các yếu tố phi sinh học khác. Ước lượng hàng năm có từ 115×1012 đến 164×1012 vi nhựa dạng sợi được thải ra từ con sông Sài Gòn [35–36].

Ngày nay, khoa học phát triển, nhiều vấn đề môi trường cần được khám phá đã tạo ra một lượng dữ liệu rất lớn từ các số liệu phân tích, hệ thống quan trắc điện tử, hệ thống lưu trữ dữ liệu đa phương tiện và các ứng dụng trong mạng không gian của vạn vật (*Internet of things*). Sự tiến bộ về công nghệ đã giúp các nhà nghiên cứu có thể chuyển từ việc thu, nhận dữ liệu ở mức thấp sang nghiên cứu tích hợp mức cao với khả năng phân tích, nhận dạng, dự đoán các vấn đề [37]. Mô hình học máy là một trong những phương pháp giải quyết vấn đề được đặt ra, nó là một thuật toán quét qua một lượng vô cùng lớn dữ liệu để tìm ra các đặc trưng mẫu hoặc đưa ra dự báo, dự đoán. Có khá nhiều mô hình học máy (*ML - Machine learning*) như: học không giám sát, học có giám sát, học bán giám sát, học sâu,... Với sự bùng nổ của trí thông minh nhân tạo (*AI - Artificial Intelligence*), nhiều nhà phân tích đã cho thấy học sâu (*DL - Deep learning*) là một trong những kỹ thuật thành công nhất để tìm ra các đặc trưng mẫu và đưa ra dự báo. Hiện nay trong ngành môi trường đã có nhiều phương pháp để dự báo lan truyền môi trường như mô hình Gauss tính toán lan truyền trong không khí, mô hình Berliand kỹ thuật, mô hình Suttan hay mô hình Streeter-phelps. Tuy nhiên, hầu hết các mô hình này được xây dựng có bản quyền, hoặc tính toán bởi các công cụ đánh giá và phân tích dữ liệu là phần mềm Excel của Microsoft Office với các hàm số đơn giản, hoặc ứng dụng các phần mềm được lập trình sẵn có như SPSS, Stata, EViews... Hạn chế của các phần mềm này là: i) Không được miễn phí, phiên bản miễn phí lại bị hạn chế sử dụng; ii) Người đánh giá bắt buộc phải phụ thuộc vào điều kiện hay độ tin cậy trong xử lý dữ liệu đã được áp đặt sẵn vào phần mềm từ người xây dựng, những người mà bị hạn chế hiểu biết về lĩnh vực ngành môi trường, đặc biệt là nghiên cứu vấn đề chuyên sâu như vi nhựa; iii) Các phần mềm được xây dựng sẵn chủ yếu phát huy hiệu quả mạnh trong xử lý số liệu đơn thuần

và cho ra các kết quả cụ thể, mang tính rập khuôn, phụ thuộc sự ngẫu nhiên của dữ liệu đầu vào; điều này khá phù hợp đối với lĩnh vực tài chính, tiền tệ nhưng trong nghiên cứu về môi trường cần phải có phương pháp luận của các nhà chuyên môn; iv) Nếu dữ liệu cần xử lý quá nhiều, vượt hạn mức số dòng xử lý cho phép thì các phần mềm trên không thể xử lý được hoặc mức độ tin cậy về kết quả dễ dàng bị tác động.

Trên cơ sở những nội dung được trình bày, mục đích nghiên cứu thực hiện xây dựng thuật toán biểu diễn và học máy trên nền tảng ngôn ngữ R để phục vụ cho vấn đề nghiên cứu diễn biến hình dạng của vi nhựa của sông Sài Gòn và sông Đồng Nai dưới ảnh hưởng của mực nước thủy triều lên, thủy triều xuống và các mùa mưa, mùa khô dọc theo thượng nguồn đến hạ nguồn của các sông và để quan sát sự thay đổi của mức độ mật độ của vi nhựa trong quá trình chuyển đổi từ các vị trí dân cư thưa thớt đến nơi tập trung khu dân cư, đô thị, các thành phố lớn. Từ các kết quả phân tích dữ liệu và ứng dụng đại số hình học bảo giác (*Conformal Geometric Algebra - CGA*) với học máy (*Machine Learning*), nghiên cứu sẽ đưa ra các dự báo về khuynh hướng đặc điểm của vi nhựa theo sự ảnh hưởng bởi các biến yếu tố tác động với độ tin cậy cao trong xử lý số liệu. Kết quả nghiên cứu sẽ giúp các chuyên gia, các nhà quản lý nắm bắt hiện trạng và xu hướng, từ đó quản lý và giảm thiểu vi nhựa trong môi trường nước sông hiệu quả.

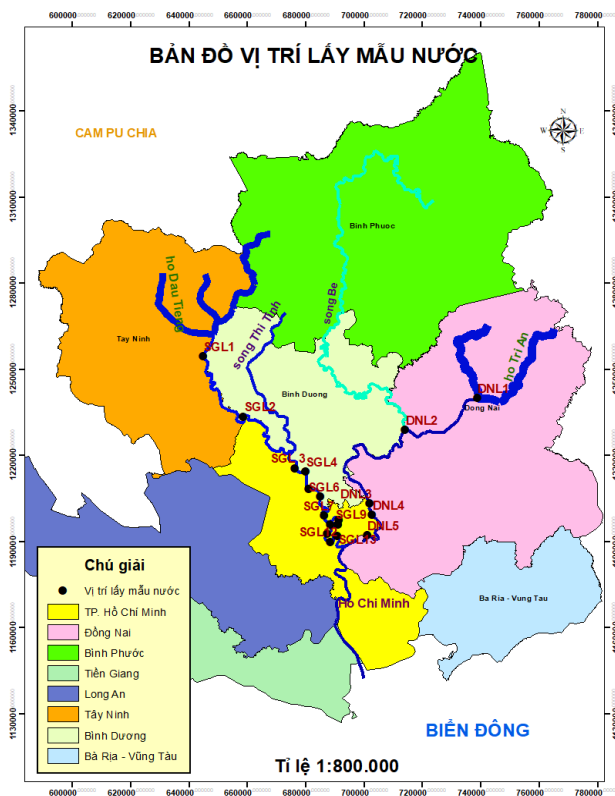
2. Phương pháp nghiên cứu

2.1. Vị trí và phương pháp lấy mẫu

Công tác lấy mẫu nước và các yếu tố về không gian, thời gian được thực hiện tại 18 vị trí trên lưu vực sông Sài Gòn và sông Đồng Nai. Trong đó, 13 vị trí từ hồ Dầu Tiếng đến ngã ba Rạch Kỳ Hà được ký hiệu SGL.1, SGL.2, SGL.3, SGL.4, SGL.5, SGL.6, SGL.7, SGL.8, SGL.9, SGL.10, SGL.11, SGL.12, SGL.13 và 5 vị trí từ hồ Trị An đến cửa sông Đồng Nai-Soài Rạp được ký hiệu DNL.1, DNL.2, DNL.3, DNL.4, DNL.5 (Hình 1).

Mẫu được thu bằng lưới Manta có kích thước mắt lưới 0,3 mm (tỷ lệ diện tích mở của lưới là 39,1%). Diện tích của khung là 0,30 × 0,15 m và cho phép lấy mẫu lớp nước bề mặt cao 30 cm. Tốc độ dòng chảy của sông tại mỗi vị trí lấy mẫu được đo bằng thiết bị đo dòng chảy ADCP cố định (*Workhorse Waves Array*), đồng hồ đo lưu lượng cơ học định hướng). Các phép đo của đồng hồ đo lưu lượng được chuyển đổi thành lượng nước đi qua lưới Manta. Tại mỗi vị trí lưới chắn nước và đồng hồ đo lưu lượng được đặt trong 5 phút xuống sông, nơi chúng được đặt đứng yên. Tại mỗi vị trí, 2 mẫu được lấy lặp lại cách nhau 30 phút.

Công tác lấy mẫu được thực hiện vào lúc thủy triều lên và thủy triều xuống trong ngày, vào mùa mưa và mùa khô trong các năm 2021 và 2022. Các mẫu sau khi lấy qua lưới Manta sẽ được loại bỏ thủ công các tạp chất lớn hơn 5mm như cành cây, lá, vật liệu xây dựng, những mảnh nhựa lớn... Tổng cộng 144 mẫu nước được bảo quản trong các chai thủy tinh tối màu nhằm tránh bị ảnh hưởng nhiệt độ hay ánh sáng môi trường tự nhiên và được vận chuyển đến



Hình 1. Sơ đồ vị trí lấy mẫu.

phòng thí nghiệm Nation Lab và phòng phân tích Viện Môi trường và Kinh tế tuần hoàn Miền Nam (IECES) để phân tích xác định vi nhựa.

2.4. Phương pháp học có giám sát (Supervised Learning)

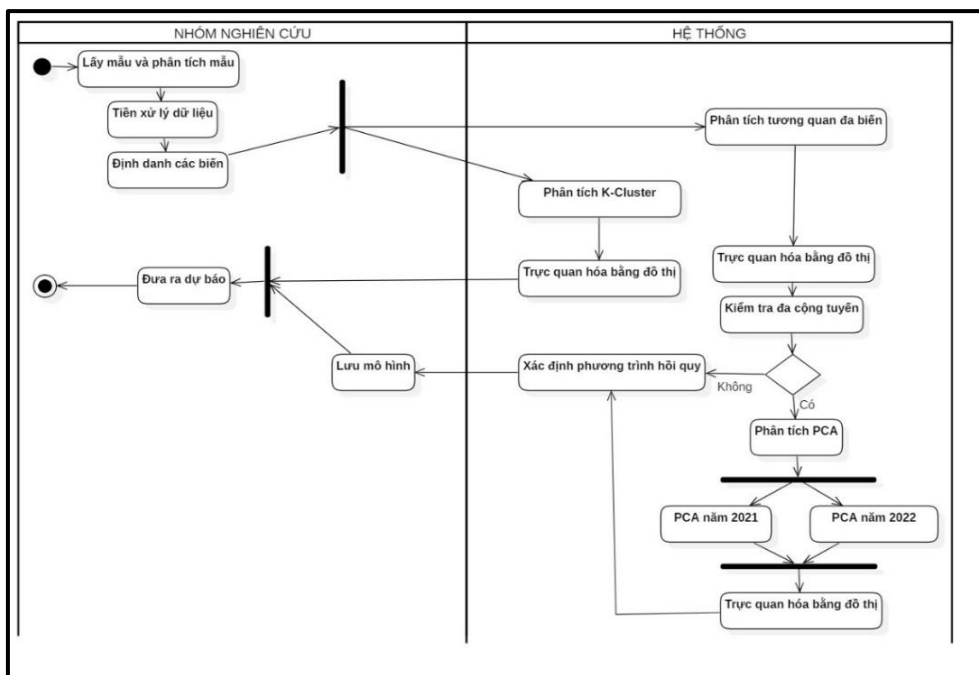
Phương pháp học giám sát là một mô hình hỗ trợ quyết định sử dụng biểu đồ hoặc mô hình của các kết quả có thể xảy ra, bao gồm kết quả sự kiện ngẫu nhiên, dữ liệu vi nhựa và môi trường. Học giám sát (Supervised Learning) là mô hình học máy dự đoán đầu ra của một dữ liệu mới dựa trên các cặp dữ liệu đầu vào cho trước dựa trên 2 thuật toán:

- Cây quyết định (Decision Trees): là số câu hỏi Có/Không tối thiểu được đặt ra để đánh giá xác suất đưa ra quyết định về kết quả là đúng. Cây quyết định cho phép nghiên cứu tiếp cận vấn đề một cách có cấu trúc và có hệ thống để đạt được một kết luận hợp lý.

- Sự phân lớp (Naïve Bayes): là một nhóm các sự phân loại xác suất đơn giản dựa trên việc áp dụng định lý Bayes với các giả định độc lập giữa các tính năng.

Trong Machine Learning (Học Máy), một “data set” (Bộ dữ liệu) là một tập hợp các dữ liệu thực tế hoặc ảo được sử dụng để đào tạo và kiểm tra các mô hình máy học. Data set này thường bao gồm hai phần chính: i) Tập dữ liệu đào tạo (Training Data): Đây là một phần của data set được sử dụng để đào tạo mô hình máy học. Tập dữ liệu này thường bao gồm các cặp (đầu vào, đầu ra) hoặc các mẫu dữ liệu được gán nhãn tương ứng. Trong quá trình huấn luyện, mô hình học từ các mẫu này để có thể thực hiện dự đoán hoặc phân loại dữ liệu mới sau này; ii) Tập dữ liệu kiểm tra (Test Data): Đây là một phần khác của data set được sử dụng để kiểm tra hiệu suất của mô hình học máy sau khi nó đã được đào tạo. Dữ liệu kiểm tra thường không được sử dụng trong quá trình đào tạo, và mô hình không biết trước kết quả của các mẫu này. Dữ liệu kiểm tra giúp đánh giá khả năng tổng quát hóa của mô hình, tức là khả năng của nó trong việc dự đoán dữ liệu mới mà nó chưa từng thấy.

Mục tiêu của mô hình học có giám sát trong ML là tìm ra một hàm số dự báo mà giá trị của chúng khác với “ground truth” là nhỏ nhất. Ground truth ở đây chính là giá trị của biến mục tiêu. Sự sai khác này có được thông qua các hàm mất mát (Loss function). Huấn luyện mô hình học máy thực chất là quy về tìm cực trị của hàm mất mát. Tùy thuộc vào bài toán mà có các dạng hàm mất mát khác nhau. Trong bài toán dự báo nghiên cứu này sử dụng hàm MSE (Mean Square Error) làm hàm mất mát. Hàm số này có giá trị bằng trung bình của tổng bình phương sai số giữa giá trị dự báo và giá trị thực. Sơ đồ mô hình xử lý dữ liệu của nghiên cứu được thể hiện trong Hình 2.



Hình 2. Sơ đồ kiến trúc mô hình xử lý.

Hình 2 đã thể hiện đầy đủ các mô hình Machine learning đã được sử dụng trong nghiên cứu này bao gồm: i) Mô hình hồi quy tuyến tính đa biến: Dùng cho các mẫu trong bảng dữ liệu số, trong nghiên cứu này là bảng tính Excel các dữ liệu về đặc điểm hình dạng vi nhựa. Các mô hình tuyến tính sử dụng đại số để dự đoán mối quan hệ giữa các biến trong các dự báo; ii) Mô hình phân lớp, phân cụm K-Means: Dự đoán cụm các biến gần; iii) Mô hình đồ họa: Dùng trực quan hóa kết quả phân tích, thể hiện dưới dạng biểu đồ một xác suất, hay xu hướng; iv) Cây quyết định/ Rừng ngẫu nhiên: Câu hỏi Có/Không được đặt ra để đánh giá xác suất đưa ra quyết định là đúng.

2.5. Phương pháp hồi quy tuyến tính đa biến

Hồi qui tuyến tính đa biến là phương pháp hồi quy tuyến tính với nhiều biến đầu vào. Trong nghiên cứu này, các biến đầu vào là đặc điểm hình dạng (sợi, mảnh, hạt và dạng khác) của vi nhựa theo mùa và diễn biến của thủy triều. Phương trình hồi quy có dạng:

$$\hat{Y}_i = F(X_1, X_2, \dots, X_k) = \omega_0 + \omega_1 X_{i1} + \omega_2 X_{i2} + \dots + \omega_p X_{ik} = W^T X_i \quad (1)$$

Ở đây ta xem X_i là một vec tơ đại diện cho quan sát thứ i . Cụ thể nó gồm các giá trị (X_1, X_2, \dots, X_k) . Ma trận X có kích thước $n \times k$, trong đó cứ mỗi dòng là một quan sát, và mỗi cột là một biến số. Còn X_i là quan sát thứ i của biến thứ k . Ma trận mở rộng của X được (ký hiệu là \bar{X}), chính là ma trận có thêm vec tơ cột 1 được thêm vào đầu tiên. Lúc này, xét toàn bộ tập dữ liệu, ta được:

$$\hat{Y} = F(X) = \begin{bmatrix} 1 & X_{11} & \dots & X_{1k} \\ 1 & X_{21} & \dots & X_{2k} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1 & X_{n1} & \dots & X_{nk} \end{bmatrix} \quad (2)$$

Vector sai số giữa hiệu $(Y - \hat{Y})$ được biểu diễn thành:

$$E = Y - \hat{Y} = Y - \bar{X}_z \quad (3)$$

Hàm MSE là trung bình của tổng bình phương của các sai số, nó được biểu diễn:

$$\mathcal{L}(Z) = \frac{1}{2n} \sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2 = \frac{1}{2} e^T e = (Y - \bar{X}_z)^T (Y - \bar{X}_z) = \|\bar{X}_z - Y\|_2^2 \quad (4)$$

Biểu thức $\|\bar{X}_z - Y\|_2^2$ là bình phương Norm chuẩn bậc hai (*Euclidean norm*). Bằng cách khai triển đại số tuyến tính sẽ tính được đạo hàm của hàm MSE:

$$\frac{\partial \mathcal{L}(z)}{\partial z} = \bar{X}^T (\bar{X}_z - Y) \quad (5)$$

Phương trình hồi qui có nghiệm là:

$$Z = (\bar{X}^T \bar{X})^{-1} \bar{X}^T Y = (A^{-1} b) \quad (6)$$

$$\text{Rút gọn } A = \bar{X}^T \bar{X} \text{ và } \bar{X}^T Y = b \quad (7)$$

Phương hình hồi qui đa biến có nghiệm khi là khả nghịch.

2.6. Ngôn ngữ R

Ngôn ngữ R là một ngôn ngữ lập trình và môi trường phần mềm dành cho tính toán và đồ họa thống kê. Đây là một bản hiện thực ngôn ngữ lập trình do Ross Ihaka và Robert Gentleman tạo ra [38]. Cho đến nay ngôn ngữ R là do R Development Core Team tiếp tục phát triển. Ngôn ngữ R còn được viết tắt là R. Đây là ngôn ngữ miễn phí với đặc tính nổi trội là mã nguồn mở, hiệu quả mạnh và được hỗ trợ mở rộng và là môi trường tối ưu cho nghiên cứu, thống kê và trình bày dữ liệu, đặc biệt là các tập dữ liệu lớn (Big data). Hiệu quả và sức mạnh của ngôn ngữ lập trình này thông qua các hành vi: i) Chạy các mã code không cần trình biên dịch, hay nói cách khác chính code R là một ngôn ngữ thông dịch (*Interpreted language*); ii) Thực thi mọi phép tính trên vec tơ (*Vectors language*) mà không cần đến vòng lặp mà vẫn có thể dùng bất cứ chức năng (*Function*) nào; iii) Ứng dụng trong việc thống kê dữ liệu (*Statistical language*), có thể đáp ứng hoàn thành tất cả các thuật toán vì bản chất của code R là một loại ngôn ngữ “*turing - language*”. Hay nói cách khác “*turing - language*” là

ngôn ngữ lập trình linh hoạt trong mọi bài toán; iv) Ngôn ngữ R là một mã nguồn mở (*Open-source*) hoàn toàn miễn phí nên sẽ tiết kiệm nhiều chi phí mà vẫn mô phỏng dữ liệu rất hiệu quả.

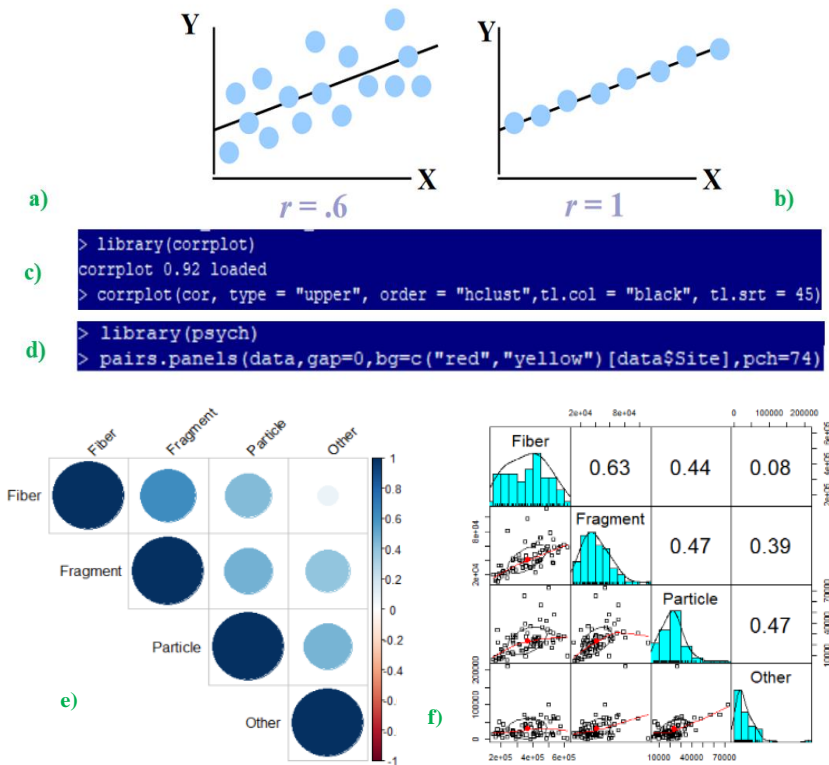
Các gói Package hỗ trợ thống kê tối ưu cùng công nghệ hiện đại, được cập nhật thường xuyên bởi cộng đồng chuyên môn khắp thế giới. Hầu hết các ý tưởng mới đều được ứng dụng trên nền tảng R trước tiên và bất kỳ nhà lập trình nào cũng có thể sử dụng, cải tiến theo các code riêng, các sáng tạo và mục đích riêng. Bên cạnh đó, người dùng R có thể hiểu rõ cách vận hành của chúng thông qua phân tích source code, từ đó tự chủ động thêm tính năng, sửa lỗi, tích hợp sử dụng thêm các ngôn ngữ khác như JAVA, SQL, C, C++... Ngôn ngữ này là một nền tảng độc lập, vì vậy, phù hợp để chạy được trên mọi hệ điều hành. Hệ sinh thái R rất tối ưu và mạnh mẽ, phù hợp nhiều loại dữ liệu nên có các dạng hệ cơ sở dữ liệu phong phú.

2.7. Huấn luyện mô hình

Các gói Package trong R là tập hợp các hàm và bộ dữ liệu do cộng đồng phát triển. Trong môi trường R, các gói này được lưu trữ trong thư mục có tên Library. Thư viện hệ thống trong R (*System library*) có chứa các gói Package quan trọng và đã được cài đặt sẵn hỗ trợ người sử dụng. Trong nghiên cứu này, các gói được sử dụng là Psych (*Corrplot*), Factoextra, Ggbiplot, Magrittr, và Dplyr.

2.8. Phương pháp phân tích tương quan đa biến

Phương pháp này được dùng để đánh giá mối tương quan giữa nhiều biến cùng một lúc. Hệ số tương quan (*Coefficient of correlation*) được ký hiệu trong nghiên cứu này là r và được sử dụng để đo lường độ lớn của mối quan hệ giữa hai biến số. Các Package và Hàm lệnh phân tích tương quan đa biến, xác định r và biểu diễn đồ thị được thể hiện trong Hình 3.

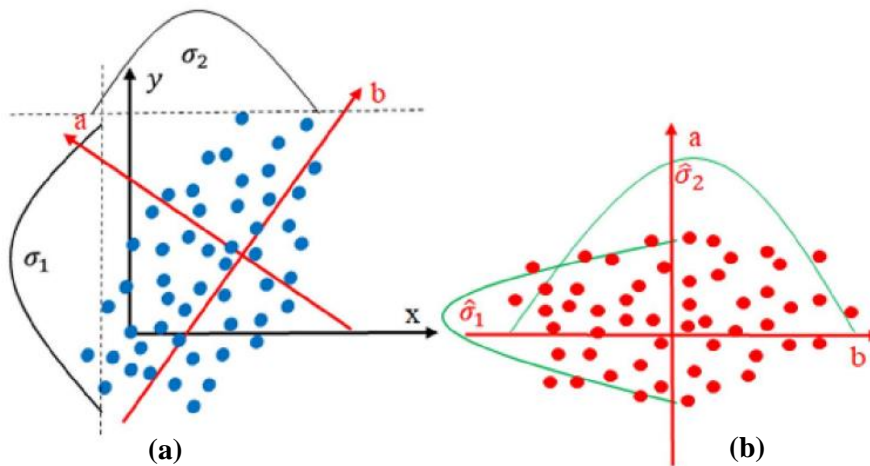


Hình 3. Phân tích tương quan đa biến bằng ngôn ngữ R: a) Mô hình biểu diễn mức tương quan giữa biến X và Y với $r = 0,6$; b) Mô hình biểu diễn mức tương quan hoàn hảo giữa biến X và Y với $r = 1$; c) Hàm phân tích tương quan bằng R với gói Corrplot; d) Hàm phân tích bằng R với gói Psych; e) Đồ thị tương quan được biểu diễn bởi gói Corrplot; f) Đồ thị tương quan được biểu diễn bởi gói Psych.

Trong nghiên cứu này, phương pháp phân tích tương quan đối tượng vi nhựa trên ngôn ngữ R được sử dụng bởi hàm phân tích (*Pairs.panels*) dựa trên Package Psych.

2.9. Phương pháp phân tích thành phần chính

Phân tích thành phần chính (*Principal Components Analysis - PCA*) là hữu ích nhất khi dữ liệu nằm trên hoặc gần với một không gian con tuyến tính của tập dữ liệu. Với loại dữ liệu này, PCA tìm một cơ sở cho không gian con tuyến tính và cho phép bỏ qua các đặc trưng không liên quan. Với một tập dữ liệu được cho, nơi mỗi mẫu dữ liệu có D chiều (tức là D đặc trưng), PCA tính một tập các véc tơ đặc trưng D chiều được giống với các hướng mà có phương sai cực đại của dữ liệu. Các thành phần chính có một số cách sử dụng: (1) Chiếu dữ liệu gốc lên các thành phần chính này; (2) Sử dụng các thành phần chính này để tạo ra các điểm mới. Phương pháp phân tích thành phần chính là một thuật toán thống kê sử dụng phép biến đổi trực giao để biến đổi một tập hợp dữ liệu từ một không gian nhiều chiều sang một không gian mới ít chiều hơn nhằm tối ưu hóa sự biến thiên của dữ liệu (*Maximize the variability*) [38–41]. Hình 4 phát thảo về cách mà dữ liệu được biểu diễn trong không gian mới của PCA.



Hình 4. Biểu diễn dữ liệu trong không gian mới của PCA: (a) Không gian dữ liệu ban đầu; (b) Không gian dữ liệu mới.

Trong không gian dữ liệu ban đầu, Hình 4a với các tập điểm màu xanh được quan sát trong hệ trục xOy , theo mỗi chiều đều có phương sai lớn. Trong không gian dữ liệu mới mới, Hình 4b với tập điểm màu đỏ được quan sát theo hệ trục aOb theo chiều thứ hai có phương sai $\hat{\sigma}_1$ nhỏ hơn so với $\hat{\sigma}_2$. Điều này cho thấy khi chiếu dữ liệu lên trục a sẽ có được các điểm gần nhau và gần với kỳ vọng. Vì vậy, phương pháp phân tích PCA còn được coi là phương pháp giảm chiều của dữ liệu mà vẫn giữ được tổng phương sai còn lại là lớn nhất.

Giả sử cho tập dữ liệu huấn luyện: $X = \{X_i | X_i \in \mathbb{R}^D\}$, $i \in \{1 \dots N\}$. Với X_i là vectơ thuộc không gian D chiều, N là số lượng vectơ trong tập X . Thay vì giữ lại các trục tọa độ của không gian cũ D chiều, PCA xây dựng một không gian mới K chiều với $K < D$, nhưng lại có khả năng biểu diễn dữ liệu tốt trong không gian cũ, nghĩa là đảm bảo độ biến thiên (*Variability*) của dữ liệu trên mỗi chiều mới. Trong không gian mới, PCA sẽ chiếu dữ liệu lên hệ trục mới để xác định phương sai lớn nhất của phép biến đổi. Sau đó, sắp xếp theo thứ tự giảm dần của giá trị riêng ứng với K vectơ riêng lớn nhất. Cuối cùng, chọn K vectơ riêng đầu tiên, gọi là các thành phần chính, để tạo thành một không gian con gần với phân bố của dữ liệu ban đầu. Trong bài báo này, nghiên cứu chọn K vectơ đầu tiên tạo được tổng phương sai lớn hơn 60% để thực hiện nghiên cứu tiếp theo.

Trong nền tảng ngôn ngữ R, để phân tích PCA các đặc tính của vi nhựa theo thời gian và không gian, nghiên cứu sử dụng các hàm R tích hợp `Prcomp()` và `Princomp()`. Nghiên cứu thực hiện dự đoán khuynh hướng biến đổi của các đặc tính vi nhựa trong môi trường nước

sông Sài Gòn và sông Đồng Nai trước sự thay đổi của thủy triều và thời gian vào mùa khô, mùa mưa của năm. Định dạng đơn giản của 2 hàm này là:

```
> Prcomp(x,scale = FALSE)
> Princomp(x,cor = FALSE,scores = TRUE)
## x: là biến ma trận số hay khung dữ liệu
## cor: là một giá trị hợp lý, nếu TRUE, dữ liệu căn giữa và chia tỉ lệ trước khi
được phân tích
## scores: là một giá trị hợp lý, nếu TRUE, tọa độ trên từng PC được tính toán
```

Các kết quả đầu ra được hàm Prcomp() và Princomp() trả về bao gồm: i) Độ lệch chuẩn của các thành phần chính; ii/ Ma trận tải trọng thay đổi (các cột là vectơ riêng); iii/ Các khả biến; iv/ Độ lệch chuẩn của các biến (tỷ lệ áp dụng cho từng biến); v) Tọa độ là các đại lượng tuyến tính hay góc chỉ vị trí của một điểm trong mối quan hệ với một hệ quy chiếu cho trước (quan sát) trên các thành phần chính. Gói Packages được sử dụng cho các hàm này gồm Devtools và Factoextra.

```
> If(!require(devtools))install.packages("devtools")
> Devtools:install_github("kassambara/factoextra")
```

2.10. Phương pháp phân cụm

Phân cụm trong R đề cập đến quá trình nhóm các điểm dữ liệu tương tự lại với nhau dựa trên đặc điểm của chúng. R, ngôn ngữ lập trình cho điện toán thống kê và đồ họa, cung cấp nhiều thuật toán phân cụm khác nhau như K-Means, phân cụm theo cấp bậc. Phân cụm K-Mean là phương pháp phân vùng phổ biến nhất. Nó yêu cầu nhà phân tích chỉ định số lượng cụm cần trích xuất. Biểu đồ tổng bình phương của các nhóm bên trong theo số cụm được trích xuất có thể giúp xác định số cụm thích hợp. Nhà phân tích tìm kiếm điểm uốn cong trong biểu đồ tương tự như phép kiểm tra nền trong phân tích nhân tố.

3. Kết quả nghiên cứu

Toàn bộ tập dữ liệu sẽ được thực hiện tiền xử lý trước khi sử dụng R. Trong quy trình làm sạch tập dữ liệu về vi nhựa, thứ tự của các bước là rất quan trọng. Các bước làm sạch dữ liệu được nghiên cứu thực hiện bao gồm: Nhập dữ liệu, làm sạch hoặc đổi tên cột, loại bỏ trùng lặp, tạo và chuyển đổi cột (ví dụ: mã hóa lại hoặc chuẩn hóa các giá trị), lọc hoặc thêm hàng. Thực hiện tạo dữ liệu:

```
>ThS_HuynhThiNgocHan=data.frame(DangSoi, DangManh, DangHat, DangKhac)
## # A tibble: 5 × 144
##           VịTri   DangSoi   DangManh   DangHat   DangKhac
##           <chr>   <dbl>     <dbl>     <dbl>     <dbl>
## 1 SGL1-High_tide-Dry_season 163969    13613     8331     17271
## 2 SGL2-High_tide-Dry_season 202466    18451     7380     17713
## 3 SGL3-High_tide-Dry_season 212350    25563     8715     43864
## ....
....
```

```
>data(ThS_HuynhThiNgocHan)
```

Kết quả nhập dữ liệu được xuất dưới nền tảng R được biểu diễn trong Hình 5.

Trong bài báo này, nghiên cứu sẽ xây dựng và cung cấp mã R để tính toán và trực quan hóa PCA trong R bằng cách sử dụng hàm Prcomp() và gói Factoextra và thực hiện từng bước:

Bước 1: Tải Package Factoextra để trực quan hóa dữ liệu

```
>library(factoextra)
```

Bước 2: Tính toán PCA

```
> res.pca<-prcomp(ThS_HuynhThiNgocHan,scale=TRUE)
```

Bước 3: Trực quan hóa các giá trị riêng (sơ đồ Scree Plot). Hiển thị tỷ lệ phần trăm phương sai được giải thích bởi từng thành phần chính.

```
> fviz_eig(res.pca)
```

```

R Console

R version 4.2.0 (2022-04-22 ucrt) -- "Vigorous Calisthenics"
Copyright (C) 2022 The R Foundation for Statistical Computing
Platform: x86_64-w64-mingw32/x64 (64-bit)

R is free software and comes with ABSOLUTELY NO WARRANTY.
You are welcome to redistribute it under certain conditions.
Type 'license()' or 'licence()' for distribution details.

Natural language support but running in an English locale

R is a collaborative project with many contributors.
Type 'contributors()' for more information and
'citation()' on how to cite R or R packages in publications.

Type 'demo()' for some demos, 'help()' for on-line help, or
'help.start()' for an HTML browser interface to help.
Type 'q()' to quit R.

> ThS_HuynhThiNgocHan<-data.frame(Fiber, Fragment, Particle, Other)

> data
  Site Fiber Fragment Particle Other
1 SGL1-High_tide-Dry_season 163969 13613 8331 17271
2 SGL2-High_tide-Dry_season 202466 18451 7380 17713
3 SGL3-High_tide-Dry_season 211350 23563 8715 43864
4 SGL4-High_tide-Dry_season 417440 23435 23435 23923
5 SGL5-High_tide-Dry_season 244379 22920 12080 30354
6 SGL6-High_tide-Dry_season 450921 31829 21393 17741
    
```

Hình 5. Nhập và xuất dữ liệu trên giao diện ngôn ngữ R.

Bước 4: Đồ thị của các thành phần. Những thành phần có đặc điểm giống nhau sẽ được nhóm lại với nhau.

```

> fviz_pca_ind (res.pca,
  col.ind="cos2", # Màu sắc theo thuộc tính đại diện
  gradient.cols=c ("#00AFBB", "#E7B800", "#FC4E07"),
  repel=TRUE # Tránh chồng chéo văn bản)
    
```

Bước 5: Đồ thị của các biến. Các biến tương quan dương chỉ về cùng một phía của biểu đồ. Các biến tương quan âm chỉ ra các cạnh đối diện của biểu đồ.

```

>fviz_pca_var (res.pca,
  col.var="contrib", # Màu sắc do đóng góp cho PC
  gradient.cols=c ("#00AFBB", "#E7B800", "#FC4E07"),
  repel=TRUE # Tránh chồng chéo văn bản)
    
```

Bước 6: Vẽ biểu đồ Biplot

```

> fviz_pca_biplot (res.pca,repel = TRUE,
  col.var="#2E9FDF", # Màu biến
  col.ind="#696969" # Màu thành phần)
    
```

Bước 7: Truy cập vào kết quả PCA.

Bước 8: Dự đoán tọa độ của các biến thành phần và biến bổ sung chỉ bằng cách sử dụng thông tin do PCA đã thực hiện trước đó cung cấp. Dữ liệu mới phải chứa các cột (biến) có cùng tên và theo cùng thứ tự với dữ liệu hiện hoạt được sử dụng để tính toán PCA. Sử dụng hàm cơ sở R dự đoán():

```

> ind.sup.coord<-predict(res.pca,newdata=ind.sup)
Sơ đồ thành phần bao gồm cả thành phần bổ sung:
## Sơ đồ các đại diện chính
> p<- fviz_pca_ind (res.pca,repel=TRUE)
## Bổ sung đại diện
> fviz_add (p,ind.sup.coord,color="blue")
    
```

Tọa độ dự đoán của các thành phần có thể được tính toán thủ công như sau: i) Tập trung và chia tỷ lệ dữ liệu thành phần mới bằng cách sử dụng trung tâm và thang đo của PCA; ii) Tính tọa độ dự đoán bằng cách nhân các giá trị tỷ lệ với các vectơ riêng (Loadings) của các thành phần chính.

Bước 9: Các biến định tính/phân loại có thể được sử dụng để tô màu các cá nhân theo nhóm. Biến nhóm phải có cùng độ dài với số lượng thành phần đang hoạt động.

```

> groups<-as.factor(ThS_HuynhThiNgocHan$Competition[1:])
> fviz_pca_ind (res.pca,
  col.ind=groups, # Màu nhóm
  palette=c("#00AFBB", "#FC4E07"),
  addEllipses=TRUE, # Elip tập trung
  ellipse.type="confidence",
    
```



```
legend.title="Groups",
repel=TRUE)
```

Tính toán tọa độ cho các cấp độ của các biến nhóm. Tọa độ của một nhóm nhất định được tính bằng tọa độ trung bình của các thành phần trong nhóm.

```
> library (magrittr) #cho loại %>%
> library (dplyr) # Các loại khác
# 1. Tọa độ riêng
> res.ind<-get_pca_ind (res.pca)
# 2. Tọa độ nhóm
> coord.groups<-res.ind$coord %>%
>coord.groups
```

Tọa độ của một biến định lượng nhất định được tính bằng mối tương quan giữa các biến định lượng và các thành phần chính.

```
# Dự đoán tọa độ và tính Cos2
>quanti.coord <- cor(quanti.sup, res.pca$x)
# Đồ thị các biến bao gồm các biến bổ sung
>p <- fviz_pca_var(res.pca)
```

Kết quả phân tích tương quan đa biến và PCA các đặc tính hình dạng của vi nhựa trong môi trường nước sông Sài Gòn và sông Đồng Nai trên nền tảng R được thể hiện trên Hình 6 và Hình 7. Bên cạnh đó, nghiên cứu sử dụng phương pháp vẽ đồ thị có thể để hình dung ảnh hưởng của độ không đảm bảo tham số trong những dự đoán của mô hình nghiên cứu.

Dựa theo kết quả thu được sau khi phân tích PCA bằng ngôn ngữ R được thể hiện trong Hình 6 đã cho thấy những đóng góp đầu tiên thành phần chính về hình dáng vi nhựa trong năm 2021 thỏa mãn phần trăm giải thích phương sai >10% là PC1(56,6%), PC2(23,8%) và PC3 (12,7%) được biểu diễn trên Hình 6a và Hình 6c. Tuy nhiên, nghiên cứu này chỉ lựa chọn 2 thành phần chính đầu tiên vì tổng 2 thành phần này đã giải thích được toàn bộ 80,5% tập dữ liệu yêu cầu. Các vec tơ màu xanh cho biết mối quan hệ giữa các biến ban đầu (hình dáng MPs) và các thành phần chính, độ dài của vector cho biết độ mạnh của mối tương quan của biến ban đầu với thành phần chính. Theo kết quả phân tích ma trận xoay trong Hình 6a, mối tương quan giữa các hình dáng vi nhựa trong Hình 6d và kết quả giá trị P-Value trong Hình 6b cho thấy rằng: i) Dạng sợi - dạng khác gần như không có mối tương quan ($r = 0,08$) và dạng mảnh - dạng hạt có mối tương quan yếu ($r = 0,47$), các giá trị P-Value < 0,05 (có ý nghĩa thống kê); ii) Ngoài ra, Hình 6a cũng cho thấy dạng mảnh và dạng hạt có mối tương quan với thành phần chính PC1 cao hơn các dạng khác và dạng sợi, ngoài ra trong PC2 thì dạng sợi và dạng khác có mối tương quan cao với thành phần chính này (nhưng giá trị P-Value giữa dạng sợi-dạng khác trong Hình 6b lại cho thấy chúng không có ý nghĩa thống kê P-Value = 0,48).

a) Kết quả phân tích PCA của R; b) Kết quả trình diễn hệ số tương quan và giá trị P-Value của các hình dạng vi nhựa từ R; c) Biểu đồ Scree plot thể hiện phần trăm phương sai mà các thành phần chính giải thích bộ dữ liệu; d) Biểu đồ tương quan đa biến các hình dạng của vi nhựa được tìm thấy; e) Biểu đồ dự báo xu hướng biến đổi của các hình dạng vi nhựa theo PC1 và PC2 (Hình 6).

Từ các phân tích trên, nghiên cứu lựa chọn thực hiện phép trích các hình dáng vi nhựa cho các thành phần chính như sau:

PC1 gồm: Dạng sợi (hệ số xác định là 49%), dạng mảnh (56%) và dạng hạt (52,8%)

PC2 gồm: Dạng khác (74,7%)

Biểu diễn phương trình cho thành phần chính PC1:

$$PC1 = 0,49DangSoi + 0,56DangManh + 0,53DangHạt \quad (8)$$

Biểu diễn phương trình cho thành phần chính PC2:

$$PC2 = 0,75DangKhac \quad (9)$$

```
> print(pc)
Standard deviations (1, ..., p=4):
[1] 1.5049831 0.9764745 0.7116877 0.5244273

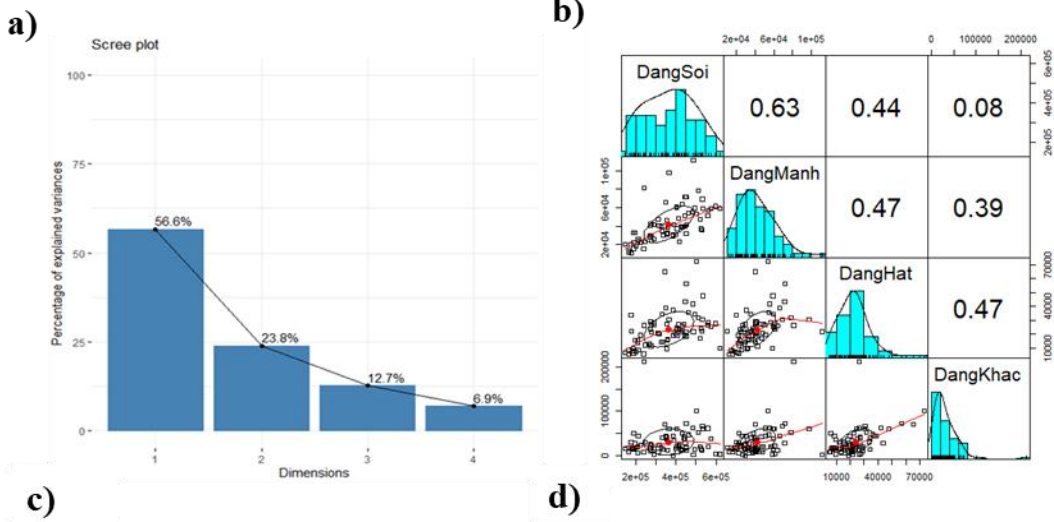
Rotation (n x k) = (4 x 4):
          PC1      PC2      PC3      PC4
DangSoi  0.4900693 -0.6031740  0.03015217 -0.6285730
DangManh 0.5645086 -0.1953144 -0.52973450  0.6021326
DangHat  0.5285401  0.1991835  0.78366503  0.2585351
DangKhac 0.4022530  0.7472344 -0.32301907 -0.4189176

> summary(pc)
Importance of components:
          PC1      PC2      PC3      PC4
Standard deviation  1.5050  0.9765  0.7117  0.52443
Proportion of Variance 0.5662  0.2384  0.1266  0.06876
Cumulative Proportion 0.5662  0.8046  0.9312  1.00000
```

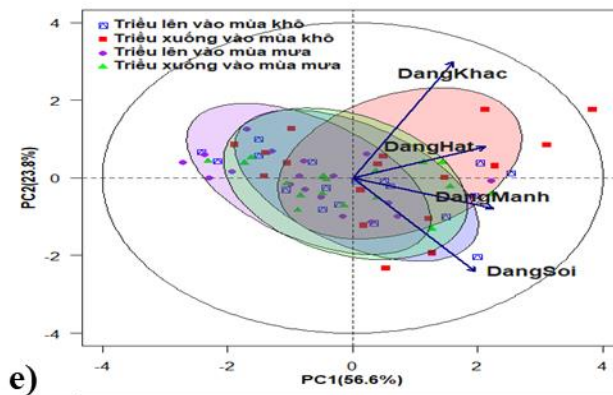
```
Correlation matrix
          DangSoi DangManh DangHat DangKhac
DangSoi   1.00    0.63    0.44    0.08
DangManh  0.63    1.00    0.47    0.39
DangHat   0.44    0.47    1.00    0.47
DangKhac  0.08    0.39    0.47    1.00

Sample Size
[1] 72

Probability values
          DangSoi DangManh DangHat DangKhac
DangSoi   0.00    0        0        0.48
DangManh  0.00    0        0        0.00
DangHat   0.00    0        0        0.00
DangKhac  0.48    0        0        0.00
```



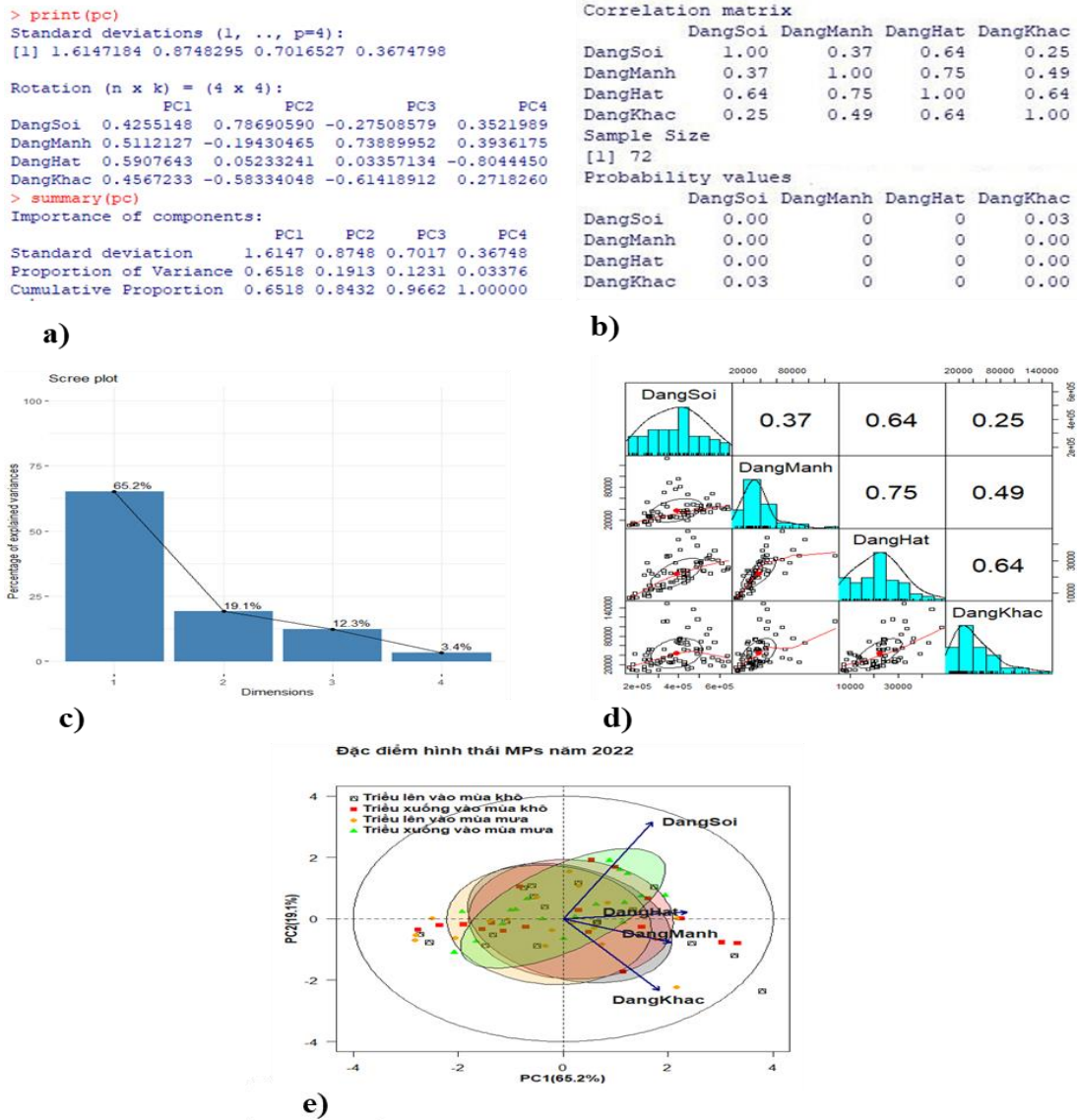
Đặc điểm hình thái MPs năm 2021



Hình 6. Kết quả phân tích tương quan và PCA các đặc điểm về hình dạng của vi nhựa trong môi trường nước sông Sài Gòn - Đồng Nai trong năm 2021.

Hình 6e cho thấy gần như các hình dáng vi nhựa trong các điểm khảo sát trên sông Sài Gòn và sông Đồng Nai đều có liên quan đến thành phần chính đầu tiên. Các vi nhựa bị phân rã ngoài dạng sợi, mảnh, hạt có liên quan đến thành phần chính thứ hai. Các hạt dạng sợi, hạt và bị phân mảnh là các loại vi nhựa chính được tìm thấy trong nước bề mặt lưu vực sông trong cả hai mùa, vào lúc triều lên và xuống trong ngày.

Phân tích tương tự cho năm 2022, Hình 7a và Hình 7c cho thấy những đóng góp đầu tiên thành phần chính về hình dáng vi nhựa trong năm 2022 thỏa mãn phần trăm giải thích phương sai > 10% là PC1 (65,3%), PC2 (19,1%) và PC3 (12,3%). Nghiên cứu này chỉ lựa chọn 2 thành phần chính đầu tiên vì tổng 2 thành phần này đã giải thích được toàn bộ 84,3% tập dữ liệu yêu cầu trong năm 2022 (Hình 7c). Vec tơ hình dáng vi nhựa dạng sợi có chiều dài vượt trội hơn so với năm 2021. Điều này chứng tỏ mức nhiễm vi nhựa dạng sợi trên lưu vực 2 con sông vẫn cao và tăng hơn năm 2021. Kết luận này được khẳng định bởi ý nghĩa thống kê của dữ liệu khảo sát là rất rõ ràng bởi giá trị P-Values hoàn toàn < 0,05 (Hình 7b).



Hình 7. Kết quả phân tích tương quan và PCA các đặc điểm về hình dạng của vi nhựa trong môi trường nước sông Sài Gòn - Đồng Nai trong năm 2022.

a) Kết quả phân tích PCA của R; b) Kết quả trình diễn hệ số tương quan và giá trị P-Value của các hình dạng vi nhựa từ R; c) Biểu đồ Scree plot thể hiện phân trăm phương sai mà các thành phần chính giải thích bộ dữ liệu; d) Biểu đồ tương quan đa biến các hình dạng của vi nhựa được tìm thấy; e) Biểu đồ dự báo xu hướng biến đổi của các hình dạng vi nhựa theo PC1 và PC2.

Để xác định các nhân tố trong 2 thành phần PC1 và PC2, nghiên cứu dựa vào Hình 7a và Hình 7d và lựa chọn kết quả trích hình dạng vi nhựa như sau:

- PC1 gồm: Dạng sợi (hệ số xác định là 43%), dạng mảnh (51%) và dạng khác (46%)
- PC2 gồm: Dạng khác (52%)

Phương trình biểu diễn thành phần chính PC1:

$$PC1 = 0.43DangSoi + 0.51DangManh + 0.46DangKhac \quad (10)$$

Phương trình biểu diễn thành phần chính PC2:

$$PC2 = 0.52DangHat \quad (11)$$

Gần như các hình dáng vi nhựa trong các điểm khảo sát trên sông Sài Gòn, sông Đồng Nai đều có liên quan đến thành phần chính đầu tiên (dạng sợi, mảnh). Các vi nhựa bị phân rã dạng hạt có liên quan đến thành phần chính thứ hai. Các vi nhựa dạng sợi, mảnh và bị phân mảnh là các loại vi nhựa chính được tìm thấy trong nước bề mặt lưu vực sông vào lúc triều

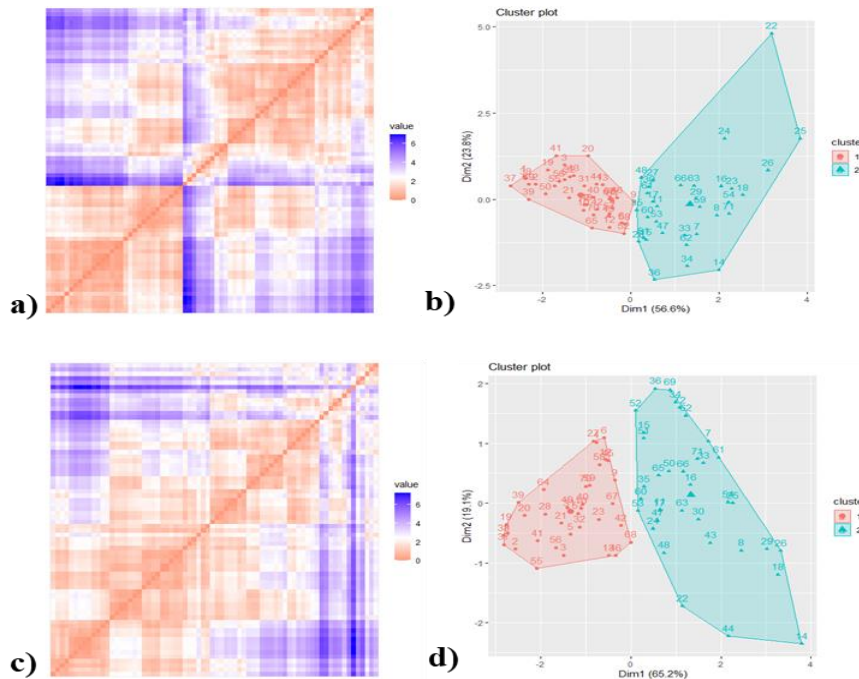
lên và xuống trong ngày, trong cả hai mùa, đặc biệt là vào mùa khô. Trong đó hàm lượng vi nhựa dạng sợi khá cao. Trong Hình 7e, vi nhựa trong triều lên và triều xuống của mùa khô và vào lúc triều lên của mùa mưa đều chịu ảnh hưởng nhiều bởi PC1 (giải thích được 65,3% phương sai) trong khoản giá trị PC1 là từ -2 đến 2 (cụm elip xám, đỏ và cam) và vi nhựa các hình dáng còn lại xuất hiện trong mùa mưa lúc triều xuống chịu ảnh hưởng chính bởi PC2 (giải thích được 19,1% phương sai), có cụm elip màu xanh lá. Ngoài ra, kết quả phân tích PCA cho thấy lưu vực sông Sài Gòn và sông Đồng Nai bị ảnh hưởng bởi các dạng vi nhựa sợi, mảnh nhiều hơn trong cả hai mùa của năm 2022. Hàm lượng vi nhựa dạng sợi từ các nguồn phát sinh ảnh hưởng lưu vực các sông rất cao.

Như vậy, trong 2 năm 2021-2022, mức nhiễm vi nhựa dạng sợi, mảnh khá vượt trội hơn các dạng khác trong cả các mùa của năm, năm 2022 cao hơn năm 2021. Cần có sự chú trọng trong nguồn gốc làm phát sinh vi nhựa dạng này để có sự kiểm soát và quản lý kịp thời.

Để khám phá những địa điểm lấy mẫu có đặc điểm hình dáng vi nhựa tương tự nhau, một phân tích cụm được tiến hành dựa trên hình dáng của vi nhựa trung bình trong mùa khô và mùa mưa (Hình 8).

```
# Chuẩn bị dữ liệu
>ThS_HuynhThiNgocHan<-na.omit(ThS_HuynhThiNgocHan) #Danh sách xóa thiếu
>ThS_HuynhThiNgocHan<-scale(ThS_HuynhThiNgocHan) #Chuẩn hóa các biến
# Xác định số cụm
> get_clust_tendency (df, n=15,graph=T)
> cl$hopkins
# Chỉ số Hopkins (-1:1) cho thấy có thể phân nhóm được không, càng gần 1 thì khả năng phân nhóm tốt
> print (cl$plot)
```

Các vị trí lấy mẫu được chia thành 2 nhóm trong cả 2 mùa của năm 2021 gồm 2 cụm mùa cơ bản là màu xanh dương và màu đỏ với chỉ số Hopkins = 0,76 (dữ liệu khá thích hợp để phân tích cụm) và K-Cluster tối ưu là 2 (nghiên cứu chọn phân nhóm các vị trí lấy mẫu thành 2 cụm để quan sát). Có sự khác biệt tương đối rõ rệt trong phân loại các vị trí lấy mẫu.



Hình 8. Kết quả phân tích cụm dựa trên hình dáng của vi nhựa trong 2 năm 2021 - 2022: a) Hình minh họa mối liên kết theo màu của 2 cụm (xanh dương và đỏ) trong năm 2021; b) Biểu đồ cụm năm 2021 của 18 vị trí khảo sát trên các sông Sài Gòn và sông Đồng Nai; c) Hình minh họa mối liên kết theo màu của 2 cụm (xanh dương và đỏ) năm 2022; b) Biểu đồ cụm (cluster plot) vào năm 2022 của 18 vị trí khảo sát trên các sông Sài Gòn và sông Đồng Nai.

Các vị trí thuộc nhóm màu xanh dương và nhóm màu đỏ có chung đặc điểm về hình dạng vi nhựa, chịu ảnh hưởng bởi PC1 giải thích 56,6% phương sai gồm dạng sợi (hệ số xác định là 49%), dạng mảnh (56%) và dạng hạt (53%). Các phân loại đặc điểm hình dáng vi nhựa tại địa điểm lấy mẫu cho các cụm khác nhau được trình diễn trong Hình 7b. Tương tự như vậy, vào năm 2022, vị trí lấy mẫu được chia thành 2 cụm màu cơ bản là màu xanh dương và màu đỏ với chỉ số Hopkins = 0,78 và K-Cluster tối ưu là 2. Có sự khác biệt tương đối rõ rệt trong phân loại các vị trí lấy mẫu. Các vị trí thuộc nhóm màu xanh dương và nhóm màu đỏ có chung đặc điểm về hình dạng vi nhựa, chịu ảnh hưởng bởi PC1 giải thích 65,2% phương sai gồm dạng sợi (hệ số xác định là 43%), dạng mảnh (51%) và dạng khác (46%). Các phân loại đặc điểm hình dáng vi nhựa tại địa điểm lấy mẫu cho các cụm khác nhau được trình diễn trong Hình 8.

Kết luận về kết quả phân tích cụm đã đáp ứng phù hợp với kết quả PCA về hình dáng MPs. Tất cả các vị trí lấy mẫu trên lưu vực các sông Sài Gòn - Đồng Nai đều đang có mức MPs dạng sợi cao và tăng tịnh tiến theo năm. Kết quả nghiên cứu đặc điểm của hình dạng vi nhựa theo mùa và thủy triều bằng ngôn ngữ R có thể đạt được môi trường xử lý lượng dữ liệu lớn, đưa ra được các kết quả đồ thị thể hiện trực quan rõ ràng về dữ liệu nghiên cứu, đồng thời với phương pháp Machine learning, các dữ liệu được xử lý phối hợp nhiều mô hình đưa ra được kết quả với độ tin cậy cao hơn mà hiện nay các phương pháp mô hình khác chưa thực hiện được. Nếu dữ liệu các năm được thêm và bổ sung vào tệp dữ liệu, số mẫu tăng tịnh tiến, hệ thống sẽ tự học và tự phân tích đưa ra kết quả về diễn biến hình dạng vi nhựa trong tương lai, nhiều kết quả nghiên cứu sẽ đạt độ chính xác về dự báo càng tối ưu. Phương pháp này rất phù hợp và cần được phát triển trong vấn đề xử lý dữ liệu lớn của môi trường, như đánh giá tệp dữ liệu tịnh tiến về các yếu tố gây tổn thương và ô nhiễm để dự báo mức độ biến đổi khí hậu. Đặc biệt, việc dùng phương pháp dự báo với tệp dữ liệu có số dòng mẫu tăng tịnh tiến ở mức cao (Big data) bằng ngôn ngữ R đối với các chất “ô nhiễm mới” như vi nhựa là vô cùng quan trọng trong công việc nghiên cứu, bởi vì sự tạo thành các chất này (thời gian phân rã chất thải nhựa thành vi nhựa) lại cần độ dài thời gian lớn, đôi khi vượt quá tuổi thọ loài người.

4. Kết luận

Ứng dụng thành công phương pháp phân tích dữ liệu thực tế để dự báo diễn biến đặc điểm hình dạng vi nhựa trong môi trường nước sông Sài Gòn và sông Đồng Nai trên nền tảng ngôn ngữ R là kết quả nghiên cứu hiệu quả trong lĩnh vực nghiên cứu về vi nhựa hiện nay. Một trong những khía cạnh thách thức nhất của việc xây dựng phương pháp dự báo trên nền tảng R là cần phải xác định package nào được sử dụng trong trường hợp cụ thể. Trong kết quả xây dựng được, nghiên cứu đã cung cấp được ít nhất các package đặc biệt được thiết kế riêng cho mục đích phân tích tương quan, phân tích thành phần chính và phân tích cụm hiệu quả, trình diễn các biểu đồ diễn giải kết quả phân tích một cách rõ ràng các đặc tính hình dạng của vi nhựa theo mùa và theo mực nước thủy triều. Phương pháp xây dựng thuật toán giảm chiều dữ liệu và phân cụm trên R dự đoán khuynh hướng đặc điểm hình dạng của vi nhựa trong nước mặt lục địa sông Sài Gòn và sông Đồng Nai đã giải quyết được nhu cầu về một công cụ đánh giá với độ tin cậy cao, xử lý được vấn đề đa cộng tuyến trong dữ liệu thực nghiệm, xử lý được thư viện dữ liệu lớn và hoàn toàn tránh được chi phí tài chính cho bản quyền từ các phần mềm được bán sẵn trên thị trường. Ngoài ra, phương pháp này có thể được lập trình các hàm đồ họa, đưa ra các hình ảnh, biểu đồ hiển thị phong phú, giải thích rõ ràng các nội dung mà các nhà chuyên môn môi trường, các nhà nghiên cứu vi nhựa có thể luận giải được trong khám phá dữ liệu nghiên cứu vi nhựa. Bên cạnh đó, hạn chế trong kết quả đạt được của nghiên cứu là dữ liệu quan sát vi nhựa trên 2 lưu vực sông còn ít, chỉ mới thu thập được trong 2 năm là 2021 và 2022 bởi vì “chất ô nhiễm” mới này hiện nay gần như chỉ mới được nghiên cứu ở mức độ phát hiện, đánh giá về mật độ. Chính lượng dữ liệu còn hạn chế làm giảm độ tin cậy khi phân tích bằng các mô hình ML của ngôn ngữ R mặc dù độ chính

xác của phương pháp rất cao. Các mã code, gói Package luôn cần phải được điều chỉnh thích hợp khi cập nhật hệ điều hành máy tính và các phiên bản của R.

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

Lời cảm ơn: Nghiên cứu này được thực hiện dưới sự tài trợ của dự án nghiên cứu Viện Môi trường và Kinh tế tuần hoàn Miền Nam (IECES).

Lời cam đoan: Các tác giả đảm bảo rằng bài viết này là công trình của các tác giả, chưa được xuất bản ở nơi khác, không được sao chép từ nghiên cứu trước đó; không có xung đột lợi ích trong nhóm tác giả.

Tài liệu tham khảo

1. Avio, C.G.; Gorbi, S.; Regoli, F. Plastics and microplastics in the oceans: from emerging pollutants to emerged threat. *Mar. Environ. Res.* **2017**, *128*, 2–11. <https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2016.05.012>.
2. Talbot, R.; Chang, H. Microplastics in freshwater: a global review of factors affecting spatial and temporal variations. *Environ. Pollut.* **2022**, *292*, 118393. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.118393>.
3. Peeken, I.; Primpke, S.; Beyer, B.; Gutermann, J.; Katlein, C.; Krumpfen, T.; Bergmann, M.; Hehemann, L.; Gerdts, G. Arctic sea ice is an important temporal sink and means of transport for microplastic. *Nat. Commun.* **2018**, *9*, 1505. <https://doi.org/10.1038/s41467-018-03825-5>.
4. Nizzetto, L.; Bussi, G.; Futter, M.N.; Butterfield, D.; Whitehead, P.G. A theoretical assessment of microplastic transport in river catchments and their retention by soils and river sediments. *Environ. Sci. Process Impacts.* **2016**, *18*, 1050–1059. <https://doi.org/10.1039/c6em00206d>.
5. Bergmann, M.; Mützel, S.; Primpke, S.; Tekman, M.B.; Trachsel, J.; Gerdts, G. White and wonderful? Microplastics prevail in snow from the alps to the arctic. *Sci. Adv.* **2019**, *5*, eaax1157. <https://doi.org/10.1126/sciadv.aax1157>.
6. Windsor, F.M.; Tilley, R.M.; Tyler, C.R.; Ormerod, S.J. Microplastic ingestion by riverine macroinvertebrates. *Sci. Total Environ.* **2019**, *646*, 68–74. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.07.271>.
7. Phu, H.; Han, H.T.N.; Thao, N.L. Plastic waste, microplastics in the Saigon – Dong Nai river basin, the risk of impacts on the health of people. *J. Hydrometeorol.* **2022**, *736(1)*, 14–27.
8. Crawford, C.B.; Quinn, B. *Microplastic Pollutants*, first ed. Elsevier. 2017. <https://doi.org/10.1016/C2015-0-04315-5>.
9. Born, M.P.; Brüll, C. From model to nature - A review on the transferability of marine (micro-) plastic fragmentation studies. *Sci. Total Environ.* **2022**, *811*, 151389. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.151389>.
10. Chamas, A.; Moon, H.; Zheng, J.; Qiu, Y.; Tabassum, T.; Jang, J.H.; Abu-Omar, M.; Scott, S.L.; Suh, S. Degradation rates of plastics in the environment. *ACS Sustainable Chem. Eng.* **2020**, *8*, 3494–3511. <https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.9b06635>.
11. Blettler, M.C.M.; Abrial, E.; Khan, F.R.; Sivri, N.; Espinola, L.A. Freshwater plastic pollution: recognizing research biases and identifying knowledge gaps. *Water Res.* **2018**, *143*, 416–424. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2018.06.015>.
12. Eerkes-Medrano, D.; Thompson, R. Occurrence, fate, and effect of microplastics in freshwater systems. In: Zeng, E.Y. (Ed.). *Microplastic Contamination in Aquatic Environments*. 2018, 95–132. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813747-5.00004-7>.
13. Dris, R.; Gasperi, J.; Rocher, V.; Saad, M.; Renault, N.; Tassin, B. Microplastic contamination in an urban area: a case study in Greater Paris. *Environ. Chem.* **2015**, *12(5)*, 592–599. <https://doi.org/10.1071/EN14167>.

14. Liu, F.; Olesen, K.B.; Borregaard, A.R.; Vollertsen, J. Microplastics in urban and highway stormwater retention ponds. *Sci. Total Environ.* **2019**, *671*, 992–1000. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.03.416>.
15. Lechner, A.; Keckeis, H.; Lumesberger-Loisl, F.; Zens, B.; Krusch, R.; Tritthart, M.; Glas, M.; Schludermann, E. The Danube so colourful: a potpourri of plastic litter outnumbers fish larvae in Europe's second largest river. *Environ. Pollut.* **2014**, *188*, 177–181. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2014.02.006>.
16. Mani, T.; Hauk, A.; Walter, U.; Burkhardt-Holm, P. Microplastics profile along the rhine river. *Sci. Rep.* **2015**, *5*, 17988. <https://doi.org/10.1038/srep17988>.
17. Irfan, M.; Qadir, A.; Mumtaz, M.; Ahmad, S.R. An unintended challenge of microplastic pollution in the urban surface water system of Lahore, Pakistan. *Environ. Sci. Pollut. Res. Int.* **2020**, *27*, 16718–16730. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-08114-7>.
18. Chen, H.L.; Gibbins, C.N.; Selvam, S.B.; Ting, K.N. Spatio-temporal variation of microplastic along a rural to urban transition in a tropical river. *Environ. Pollut.* **2021**, *289*, 117895. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.117895>.
19. Lin, C.T.; Chiu, M.C.; Kuo, M.H. Effects of anthropogenic activities on microplastics in deposit-feeders (Diptera: chironomidae) in an urban river of Taiwan. *Sci. Rep.* **2021**, *11*, 400. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-79881-z>.
20. Kameda, Y.; Yamada, N.; Fujita, E. Source- and polymer-specific size distributions of fine microplastics in surface water in an urban river. *Environ. Pollut.* **2021**, *284*, 117516. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.117516>.
21. Lahens, L.; Strady, E.; Kieu-Le, T.C.; Dris, R.; Boukerma, K.; Rinnert, E.; Gasperi, J.; Tassin, B. Macroplastic and microplastic contamination assessment of a tropical river (Saigon River, Vietnam) transversed by a developing megacity. *Environ. Pollut.* **2018**, *236*, 661–671. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.02.005>.
22. Su, L.; Sharp, S.M.; Pettigrove, V.J.; Craig, N.J.; Nan, B.; Du, F.; Shi, H. Superimposed microplastic pollution in a coastal metropolis. *Water Res.* **2020**, *168*, 115140. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2019.115140>.
23. Leterme, S.C.; Tuuri, E.M.; Drummond, W.J.; Jones, R.; Gascooke, J.R. Microplastics in urban freshwater streams in Adelaide, Australia: a source of plastic pollution in the Gulf St Vincent. *Sci. Total Environ.* **2023**, *856*, 158672. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.158672>.
24. Baldwin, A.K.; Corsi, S.R.; Mason, S.A. Plastic debris in 29 great lakes tributaries: relations to watershed attributes and hydrology. *Environ. Sci. Technol.* **2016**, *50*, 10377–10385. <https://doi.org/10.1021/acs.est.6b02917>.
25. Yonkos, L.T.; Friedel, E.A.; Perez-Reyes, A.C.; Ghosal, S.; Arthur, C.D. Microplastics in four estuarine rivers in the Chesapeake Bay, U.S.A. *Environ. Sci. Technol.* **2014**, *48*, 14195–14202. <https://doi.org/10.1021/es5036317>.
26. Corcoran, P.L.; Belontz, S.L.; Ryan, K.; Walzak, M.J. Factors controlling the distribution of microplastic particles in benthic sediment of the thames river, Canada. *Environ. Sci. Technol.* **2020**, *54*, 818–825. <https://doi.org/10.1021/acs.est.9b04896>.
27. Dikareva, N.; Simon, K.S. Microplastic pollution in streams spanning an urbanisation gradient. *Environ. Pollut.* **2019**, *250*, 292–299. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.03.105>.
28. Wong, G.; L'owemark, L.; Kunz, A. Microplastic pollution of the Tamsui River and its tributaries in northern Taiwan: spatial heterogeneity and correlation with precipitation. *Environ. Pollut.* **2020**, *260*, 113935.
29. Ma, C.Y.; Sheu, Y.T.; Hsia, K.F.; Dong, C.D.; Chen, C.W.; Huang, Y.C.; Kao, C.M. Development of water and sediment quality management strategies for an urban river basin: a case study in Taiwan. *J. Water Supply Res. Technol. Aqua.* **2018**, *67*, 810–823. <https://doi.org/10.2166/aqua.2018.084>.
30. Schell, T.; Hurley, R.; Nizzetto, L.; Rico, A.; Vighi, M. Spatio-temporal distribution of microplastics in a Mediterranean river catchment: the importance of wastewater as an

- environmental pathway. *J. Hazard Mater.* **2021**, 420, 126481. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.126481>.
31. Wang, T.; Wang, J.; Lei, Q.; Zhao, Y.; Wang, L.; Wang, X.; Zhang, W. Microplastic pollution in sophisticated urban river systems: combined influence of land-use types and physicochemical characteristics. *Environ. Pollut.* **2021**, 287, 117604. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.117604>.
 32. Lahens, L.; Strady, E.; Kiêu, L.; Dris, R. Macroplastic and microplastic contamination assessment of a tropical river (Saigon River, Vietnam) transversed by a developing megacity. *Environmental Pollution.* **2018**, 236, 661–671. Doi:10.1016/j.envpol.2018.02.005.
 33. Phú, H.; Hân, H.T.N.; Thảo, N.L.; Đông, Đ.V.; Hân T.G. Nghiên cứu mức độ ô nhiễm vi nhựa trong nước và trầm tích sông Sài Gòn – Đồng Nai. *Tap chí Khí tượng thủy văn* **2021**, 731, 69–81. Doi:10.36335/VNJHM.2021(731).69-81.
 34. Phu, H.; Han, H.T.N.; Hue, N.T. Developing a circular economy from plastic waste and identifying microplastics in drinking and domestic water supplies in Ho Chi Minh City and Southeast provinces. The 3rd International Conference on Environment, Resources and Earth Sciences (ICERES 2023). Green and Nature-based Solutions for Environmental Sustainability and Resources Management. Ho Chi Minh City University of Technology, Vietnam National University-Ho Chi Minh City, October 21st, 2023.
 35. Strady, E.; Dang, T.H.; Dao, T.D.; Dinh, H.N.; Do, T.T.D.; Duong, T.N.; Duong, T.T.; Hoang, D.A.; Kieu-Le, T.C.; Le, T.P.Q.; Mai, H.; Trinh, D.M.; Nguyen, Q.H.; Tran-Nguyen, Q.A.; Tran, Q.V.; Truong, T.N.S.; Chu, V.H.; Vo, V.C. Baseline assessment of microplastic concentrations in marine and freshwater environments of a developing southeast Asian country, Viet Nam. *Mar. Pollut. Bull.* 2021, 162, 111870.
 36. Liu, D.H.; Wang, J.J. A PCA-LSTM model for stock index prediction. Proceeding of the 2018 International Conference on Electrical, Control, Automation and Robotics (ECAR 2018), 2018.
 37. Smith, L.I. A tutorial on Principal Components Analysis, February 26, 2002.
 38. Michael, E.; Christopher, T.; Bishop, M. Probabilistic principal component analysis. *J. Royal Stat. Soc. Ser. B*, **1999**, 61(3), pp. 611–622.
 39. Jolliffe, I.T. Principal component analysis, New York: 2nd Edn. Springer Verlag, 2002.
 40. Trục tuyến: <http://gentleman.fhcr.org/> (Truy cập ngày 30 tháng 11 năm 2023).

Applying algorithm based on the R language platform to study microplastics in continental surface water, Saigon River and Dong Nai River

Huynh Phu¹, Huynh Thi Ngoc Han^{2,3*}, Nguyen Thi Hue³, Vo Hoang Khang⁴

¹ HUTECH Institute of Applied Sciences; HUTECH University; h.phu@hutech.edu.vn

² Hochiminh City University of Nature Resources & Environment; htnhan_ctn@hcmunre.edu.vn

³ Institute of Environmental Technology, Vietnam Academy of Science and Technology; nthue2003@gmail.com; ngochanosh@gmail.com

⁴ Faculty of Information Technology; HUTECH University; vh.khang@hutech.edu.vn

Abstract: The study has developed an algorithm to predict the spread of microplastics in continental surface water using the R programming language. The algorithm has the functions of modeling, correlation analysis, principal component analysis, data multicollinearity processing and cluster analysis of shape characteristics of microplastics according to the season of the year and the tidal water level of the day. Research results have shown that sampling locations in the Saigon River and Dong Nai River all have high density of fibrous microplastics and increase year by year. The research results are an

effective tool in predicting changes in the shape characteristics of microplastics according to the seasons of the year and the high and low tides of the day. Furthermore, this result can be used to adapt models to data collected under continuous conditions, large amounts of stored data, and high accuracy. From there, it is the basis to pay more attention to the source of microplastics and have timely control and management. This is an important contributing tool in the study of microplastics in water of the Saigon River and Dong Nai River, and will be widely applied to the study of microplastics in continental surface water.

Keywords: Cluster analysis; Multivariate correlation analysis; Principal component analysis; R; Microplastics.

Bài báo khoa học

Xác định độ thấm của cát bằng phương pháp minh giải ảnh chụp cắt lớp trở kháng điện

Tô Việt Nam^{1,2*}, Khấu Thị Ly^{1,2}

¹ Khoa Kỹ thuật Địa chất & Dầu khí, Trường Đại học Bách khoa Tp.HCM;
tovietnam@hcmut.edu.vn; ly.khaudc@hcmut.edu.vn

² Đại học Quốc gia Tp.HCM; tovietnam@hcmut.edu.vn; ly.khaudc@hcmut.edu.vn

*Tác giả liên hệ: tovietnam@hcmut.edu.vn; Tel.: +84-984383038

Ban Biên tập nhận bài: 8/11/2023; Ngày phản biện xong: 11/12/2023; Ngày đăng bài: 25/3/2024

Tóm tắt: Kỹ thuật chụp cắt lớp trở kháng điện (*Electrical impedance tomography - EIT*) đã được ứng dụng rộng rãi trong một số ngành kỹ thuật. Nhưng trong lĩnh vực địa chất, địa kỹ thuật vẫn còn có ít nghiên cứu ứng dụng EIT. Ưu điểm của kỹ thuật này là có thể cung cấp thông tin về đối tượng nghiên cứu mà không cần phải phá hủy mẫu. Bài báo này giới thiệu một nghiên cứu thực nghiệm ứng dụng EIT trong việc xác định độ thấm của 3 mẫu cát ở điều kiện phòng thí nghiệm bằng việc minh giải ảnh chụp cắt lớp trở kháng điện (EIT). Kết quả minh giải ảnh EIT cho thấy độ thấm của 3 mẫu cát có giá trị lần lượt là 16,30 m/d; 49,46 m/d và 11,94 m/d có sai khác lần lượt là 2,00%, 2,81% và 4,02% so với độ thấm của 3 mẫu cát này nếu được xác định bằng thí nghiệm Darcy. Kết quả này cho thấy tiềm năng của việc ứng dụng EIT trong việc xác định độ thấm của đất đá nói riêng và các tính chất khác của đất đá nói chung trong lĩnh vực địa chất và địa kỹ thuật.

Từ khóa: Ảnh chụp cắt lớp trở kháng điện; EIT; Độ thấm của cát.

1. Giới thiệu

Trong những năm gần đây, ứng dụng của các phương pháp điện được tăng cường đáng kể và sử dụng rộng rãi trong nhiều lĩnh vực. Các phương pháp điện thể hiện sự tin cậy và giá thành hợp lý, dễ thực hiện và đặc biệt là không làm phá hủy mẫu đối với các thử nghiệm hiện trường.

Điện trở suất là một trong những thông số quan trọng của đất và có mối tương quan với những thông số khác. Do đó, nếu chúng ta có thể đo đạc được thông số điện trở suất thì chúng ta có thể xác định được nhiều tính chất khác của đất đá. Trong thời gian gần đây, kỹ thuật chụp cắt lớp trở kháng, EIT, được quan tâm, ứng dụng và cải thiện hiệu quả trong lĩnh vực địa chất nói chung và địa kỹ thuật nói riêng. EIT [1] là một trong những kỹ thuật được ứng dụng rộng rãi trong khảo sát địa vật lý để xác định điện trở suất của đất thông qua việc sử dụng thuật toán tái tạo để tạo ảnh trở kháng từ những vùng khác nhau của mẫu. Và từ việc minh giải ảnh chụp cắt lớp trở kháng điện này ta có thể đánh giá được các tính chất của đất đá như độ thấm.

Năm 2003, nghiên cứu [2] về ảnh điện và kiểm tra điện trở suất trong phòng thí nghiệm để khảo sát các đặc tính địa kỹ thuật của trầm tích sét Pusan. Các thử nghiệm hiện trường và thí nghiệm trong phòng cũng được thực hiện, nghiên cứu cho thấy rằng ảnh điện được ứng dụng hiệu quả để lập bản đồ các mỏ đất sét Pusan và các kết quả trong phòng rất khớp với các kết quả hiện trường. Nhóm nghiên cứu cũng nhận thấy rằng có mối tương quan giữa điện trở suất của đất với các thông số như hàm lượng hữu cơ, độ ẩm, khối lượng đơn vị,...

Tương tự như nghiên cứu trên, vào năm 2019, tác giả [3] nghiên cứu về các tính chất của đất dựa trên độ dẫn điện. Nghiên cứu được thực hiện với đất phèn tự nhiên và với các điều kiện về nồng độ muối và độ pH khác nhau. Kết quả nghiên cứu cho thấy khi nồng độ muối tăng thì điện trở suất của đất giảm và độ pH có ảnh hưởng đáng kể đến các ứng xử của đất, họ nhận thấy rằng mối quan hệ giữa độ pH và điện trở suất của đất là tuyến tính.

Năm 2005, một nghiên cứu về việc kiểm tra tính đồng nhất của mẫu cát trong phòng thí nghiệm bằng kỹ thuật cắt lớp trở kháng, được thực hiện bởi [4]. Nghiên cứu đã chứng minh rằng kỹ thuật này có thể phát hiện được các dị thường trong mẫu cát, kể cả hình dạng của các dị thường cũng được thể hiện một cách khá chính xác. Và nhóm nghiên cứu nhận thấy rằng kỹ thuật này đáng tin cậy có thể được áp dụng rộng rãi trong lĩnh vực Địa kỹ thuật.

Ngoài ra, đã có một số nghiên cứu ứng dụng kỹ thuật chụp cắt lớp trở kháng điện được thực hiện, chẳng hạn như nghiên cứu ứng dụng kỹ thuật chụp cắt lớp điện để xác định hàm lượng nước xâm nhập bờ kè chắn lũ [5], hay nghiên cứu xác định thành phần thạch học trong lỗ khoan [6], nghiên cứu các đặc trưng dưới đất của một công trình xây dựng ở Nam Kinh, Trung Quốc [7], nghiên cứu tương quan thực nghiệm giữa các thông số địa kỹ thuật là giới hạn chảy, giới hạn dẻo và điện trở suất [8], nghiên cứu sạt trượt lở đất [9], nghiên cứu các đặc tính của đất [10] hoặc nghiên cứu để đánh giá ảnh hưởng của thảm thực vật và độ ẩm bề mặt đến điều kiện vận hành của đường sắt cũng được chỉ ra trong các tài liệu [11].

Trước đây, để đo độ thấm của các mẫu đất ta thường dùng thí nghiệm Darcy [12]. Tuy nhiên, thí nghiệm Darcy đòi hỏi thiết bị cồng kềnh và chỉ có thể đạt kết quả nhanh chóng khi các mẫu đất có độ thấm tương đối lớn. Cách tiếp cận bằng kỹ thuật EIT để đo độ thấm khắc phục được các nhược điểm trên của thí nghiệm Darcy, đồng thời nó còn có thể xác định tính chất của các mẫu đất đá mà không phá hủy mẫu. Cắt lớp trở kháng (EIT) là một kỹ thuật cho phép ước tính sự phân bố không gian của độ dẫn điện trong một đối tượng từ các phép đo trở kháng tại ranh giới xung quanh của nó. Các điện cực được phân bố xung quanh đối tượng và cách đều nhau. Dòng điện có thể được cung cấp liên tiếp qua các cặp điện cực khác nhau và điện áp tương ứng được đo liên tiếp ở các cặp điện cực còn lại. Bằng cách này có thể tái tạo một hình ảnh trở kháng của đối tượng.

Có vài phương pháp đo ảnh trở kháng điện khác nhau như phương pháp đo lân cận [13], phương pháp Cross [14], phương pháp thích ứng [15, 16] hay phương pháp đối lập [17]. Mỗi phương pháp đo trở kháng đều tồn tại một hoặc một vài hạn chế nhất định. Cụ thể, hạn chế của phương pháp đo lân cận là phân bố dòng không đều, điện áp ở cặp điện cực kích dòng lớn và càng nhỏ dần về phía các điện cực đối diện (chỉ khoảng 2,5% so với cặp điện cực kích dòng), nên độ chính xác không cao [13]. Phương pháp Cross đã cải thiện phần nào nhược điểm của phương pháp lân cận, tuy nhiên vẫn có sự chênh lệch điện áp giữa các cặp điện cực nên độ nhạy cũng không cao [14]. Phương pháp thích ứng có sự phân bố dòng đồng đều nên cho kết quả chính xác nhất [15, 16], tuy nhiên, đòi hỏi phải sử dụng nhiều bộ tạo dòng điện độc lập, nên chi phí đo đạc sẽ rất cao. Do đó, phương pháp đối lập, dễ thực hiện và có độ nhạy cao, cho kết quả với độ chính xác cao được sử dụng trong nghiên cứu này. Phép đo trở kháng bằng phương pháp đối lập được [17] đề xuất. Đã có một số nghiên cứu [5, 7, 8-10] đánh giá các đặc tính của đất thông qua điện trở suất, tức là tìm ra được mối tương quan giữa điện trở suất và các thông số của đất như độ rỗng, độ ẩm, độ thấm,.... Tuy nhiên, muốn sử dụng các mối tương quan này thì cần có một hệ thống cơ sở về lý thuyết và thực nghiệm để chứng minh rằng các tương quan này là phù hợp để có thể áp dụng đối với điều kiện địa chất ở trong nước nói chung và một khu vực, công trình cụ thể nói riêng. Nghiên cứu này bước đầu được thực hiện với cát, và xem xét độ tin cậy của kết quả để có thể tiến hành mở rộng thực hiện nghiên cứu với các loại đất khác trong tương lai, nhằm cung cấp một hệ thống đầy đủ các cơ sở để áp dụng phương pháp này ngoài thực tế.

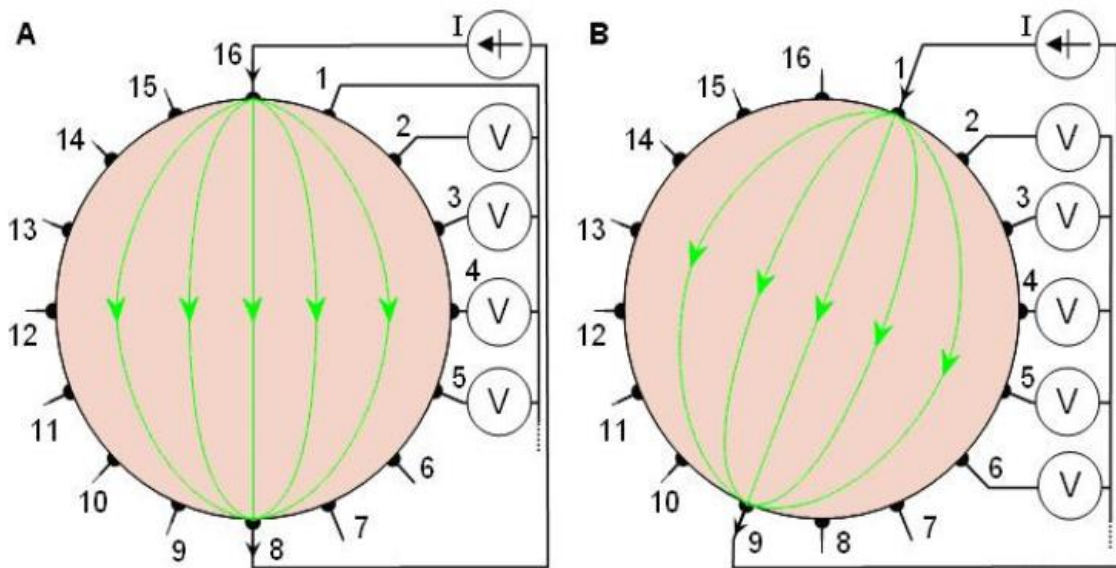
Nghiên cứu này giới thiệu một thiết kế thiết bị thí nghiệm ứng dụng kỹ thuật EIT để chụp cắt lớp ảnh trở kháng điện của mẫu đất cát trong phòng thí nghiệm. Và từ kết quả thí nghiệm này, xây dựng mô hình tương quan hồi quy giữa độ thấm và điện trở suất của các mẫu đất

cát, từ mô hình tương quan xây dựng được, nghiên cứu có thể đánh giá được độ thấm của mẫu đất cát mà cần xác định độ thấm.

2. Phương pháp nghiên cứu và thiết kế thí nghiệm

2.1. Phương pháp đối lập đo trở kháng

Phương pháp đối lập đo trở kháng [17] được minh họa trong Hình 1. Trong phương pháp này, dòng được truyền qua hai điện cực đối diện nhau (điện cực 16 và 8 trong Hình 1A). Điện cực liền kề điện cực được truyền dòng được dùng như điện áp tham chiếu. Điện áp được đo từ tất cả những điện cực khác trừ những điện cực dòng và điện cực tham chiếu (điện cực 16, 8 và 1) sẽ bao gồm 13 phép đo điện áp. Sau đó, thay đổi cặp điện cực đối diện nhau từ cặp điện cực 16 và 8 thành cặp điện cực đối diện là cặp 1 và 9 như Hình 1B ta lại đo được 13 thông số điện áp khác. Lặp lại quá trình thay đổi cặp điện cực đối diện nhau từ 1 và 9 sang cặp 2 và 10 cho đến cuối cùng là cặp điện cực 7 và 15, ta sẽ có tổng cộng 104 điểm dữ liệu.



Hình 1. Phương pháp đo đối lập.

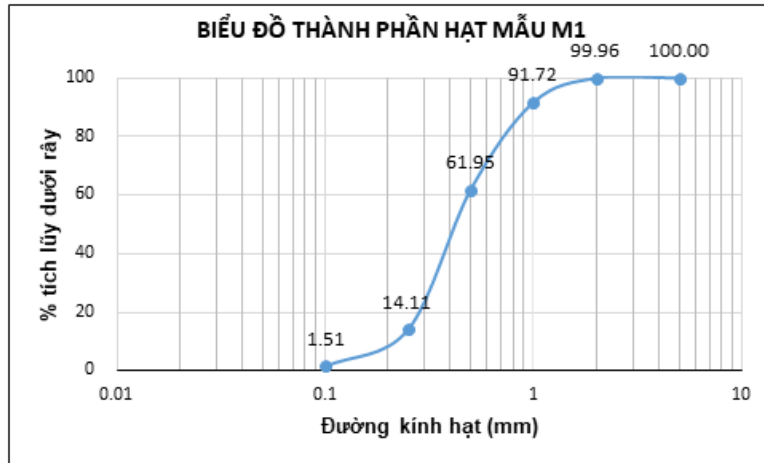
2.2. Dữ liệu mẫu cát dùng cho thí nghiệm

Thí nghiệm được tiến hành cho 3 mẫu đất cát, ký hiệu là M1, M2 và M3, mà thành phần cấp phối hạt của các mẫu được nhóm tác giả xác định trong phòng thí nghiệm như sau:

Kết quả thí nghiệm xác định thành phần hạt và biểu đồ thành phần hạt của mẫu M1 được thể hiện trong bảng 1, hình 2.

Bảng 1. Kết quả thí nghiệm xác định thành phần hạt mẫu M1.

m = 467,16g			
Rây (mm)	Khối lượng đất trên rây (g)	Hàm lượng tích lũy trên rây (%)	Hàm lượng tích lũy dưới rây (%)
2	0,18	0,04	99,96
1	38,48	8,28	91,72
0,5	139,09	38,05	61,95
0,25	223,51	85,89	14,11
0,1	5,83	98,49	1,51
<0,1	6,48	99,87	0,13

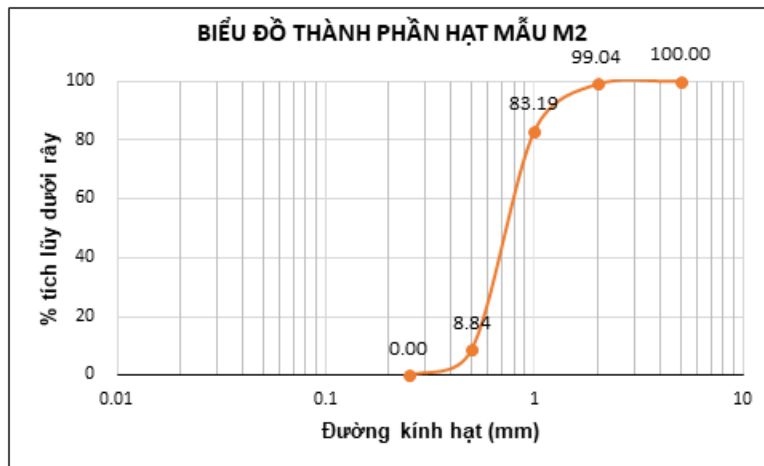


Hình 2. Biểu đồ thành phần hạt của mẫu M1.

Kết quả thí nghiệm xác định thành phần hạt và biểu đồ thành phần hạt của mẫu M2 được thể hiện trong bảng 2, hình 3.

Bảng 2. Kết quả thí nghiệm xác định thành phần hạt mẫu M2.

m = 463,78g			
Rây (mm)	Khối lượng đất trên rây (g)	Hàm lượng tích lũy trên rây (%)	Hàm lượng tích lũy dưới rây (%)
2	4,46	0,96	99,04
1	73,48	16,81	83,19
0,5	344,82	91,16	8,84
0,25	41,02	100,00	0,00

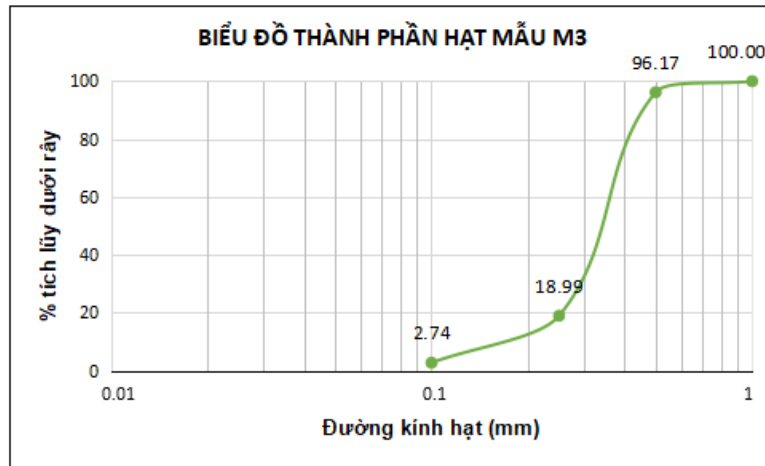


Hình 3. Biểu đồ thành phần hạt mẫu M2.

Kết quả thí nghiệm xác định thành phần hạt và biểu đồ thành phần hạt của mẫu M3 được thể hiện trong bảng 3, hình 4.

Bảng 3. Kết quả thí nghiệm xác định thành phần hạt mẫu M3.

m = 457,25g			
Rây (mm)	Khối lượng đất trên rây (g)	Hàm lượng tích lũy trên rây (%)	Hàm lượng tích lũy dưới rây (%)
0,5	17,49	3,83	96,17
0,25	352,94	81,01	18,99
0,1	74,28	97,26	2,74
<0,1	12,5	99,99	0,01



Hình 4. Biểu đồ thành phần hạt mẫu M3.

2.3. Thiết bị và quy trình thí nghiệm

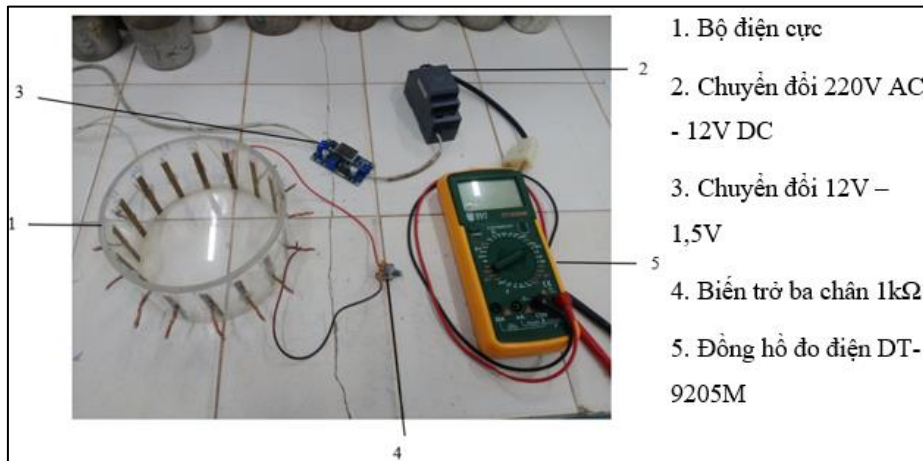
2.3.1. Mô tả thiết bị thí nghiệm

Thiết bị thực hiện thí nghiệm gồm: bộ điện cực, bộ adapter chuyển đổi dòng điện xoay chiều thành dòng điện một chiều và điều chỉnh dòng điện, một biến áp và một đồng hồ đo điện vạn năng (Hình 5).

Bộ điện cực gồm 16 điện cực bằng đồng với kích thước dài 60mm × rộng 6mm × dày 1mm được hàn cách đều quanh một ống nhựa rỗng trong suốt kín đáy với đường kính 150mm, cao 100mm và dày 5mm. Các điện cực được nối ra ngoài bằng dây đồng.

Bộ chuyển đổi và điều chỉnh gồm adapter chuyển đổi dòng điện xoay chiều thành dòng điện một chiều 24V, bo mạch hạ áp 24V thành 1,5V và một biến trở ba chân 1kΩ.

Đồng hồ đo điện vạn năng DT-9205M gồm các tính năng đo dòng điện, hiệu điện thế một chiều, xoay chiều và điện trở.



Hình 5. Thiết bị thí nghiệm cắt lớp trở kháng.

2.3.2 Quy trình thí nghiệm

Thí nghiệm được thực hiện cho 3 mẫu cát ký hiệu lần lượt là M1, M2 và M3 theo các bước được mô tả bên dưới đây bao gồm:

Bước 1: Kiểm tra thiết bị: bộ điện cực, bộ adapter chuyển đổi dòng xoay chiều thành dòng một chiều và đồng hồ đo điện.

Bước 2: Đổ cát vào ống mẫu cho đến khi ngập các điện cực.

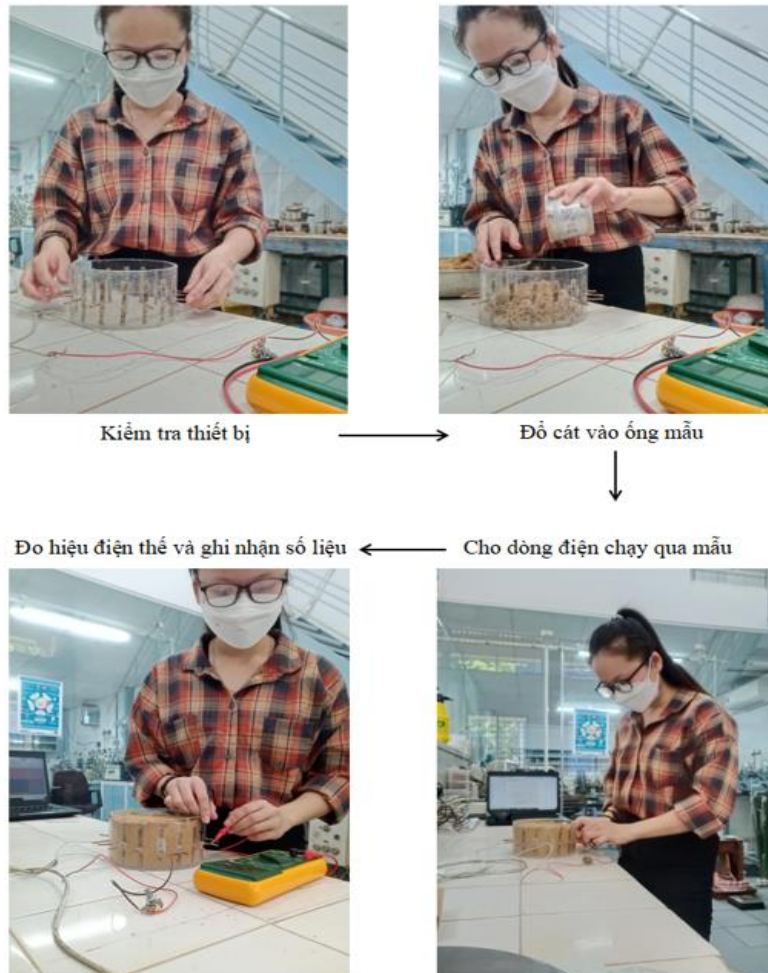
Bước 3: Dùng dao gạt bằng mặt và cho dòng điện chạy qua mẫu.

Bước 4: Đo hiệu điện thế và ghi nhận số liệu. Tác giả thực hiện đo theo phương pháp đối lập được trình bày ở mục 2.1. Ban đầu, dòng điện được đưa vào điện cực 1 và 9, lần lượt đo hiệu điện thế ở các cặp điện cực 2-3, 2-4, 2-5, 2-6, 2-7, 2-8 và 10-11, 10-12, 10-13, 10-14, 10-15. Sau đó đổi vị trí kích dòng và thực hiện tương tự.

Bảng 4 bên dưới thể hiện thứ tự kích dòng và đo hiệu điện thế trên các cặp điện cực của thí nghiệm. Hình 6 bên dưới mô tả quy trình thí nghiệm được thực hiện bởi một thành viên trong nhóm tác giả.

Bảng 4. Thứ tự kích dòng và đo hiệu điện thế.

Kích dòng		Đo hiệu điện thế				
1-9	2-3	2-4	2-5	2-6	2-7	2-8
	10-11	10-12	10-13	10-14	10-15	10-16
2-10	3-4	3-5	3-6	3-7	3-8	3-9
	11-12	11-13	11-14	11-15	11-16	11-1
3-11	4-5	4-6	4-7	4-8	4-9	4-10
	12-13	12-14	12-15	12-16	12-1	12-2
4-12	5-6	5-7	5-8	5-9	5-10	5-11
	13-14	13-15	13-16	13-1	13-2	13-3
5-13	6-7	6-8	6-9	6-10	6-11	6-12
	14-15	14-16	14-1	14-2	14-3	14-4
6-14	7-8	7-9	7-10	7-11	7-12	7-13
	15-16	15-1	15-2	15-3	15-4	15-5
7-15	8-9	8-10	8-11	8-12	8-13	8-14
	16-1	16-2	16-3	16-4	16-5	16-6
8-16	9-10	9-11	9-12	9-13	9-14	9-15
	1-2	1-3	1-4	1-5	1-6	1-7



Hình 6. Quá trình thực hiện thí nghiệm của nhóm tác giả.

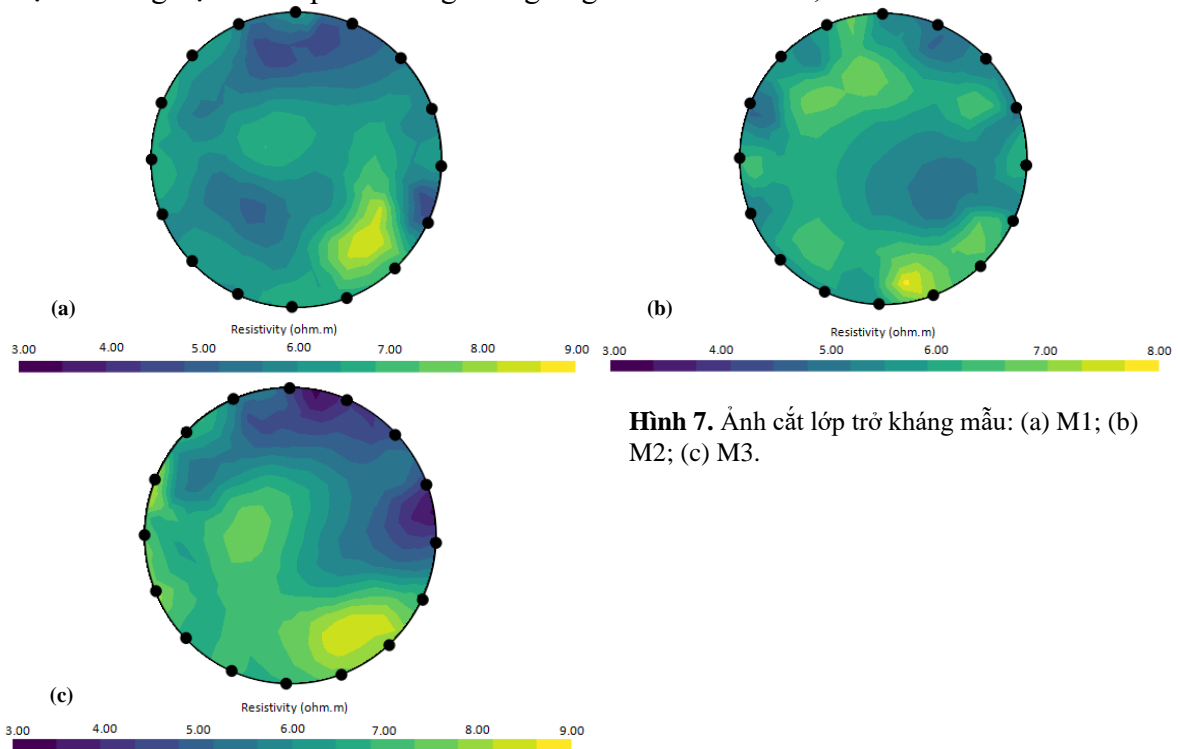
2.3.3. Tạo ảnh chụp cắt lớp trở kháng điện

Để tạo ảnh cắt lớp trở kháng điện, nhóm nghiên cứu đã sử dụng kết hợp 2 phần mềm mã nguồn mở là GMSH v.4.9.5 [18] và ResIPy v3.3.3. Trong đó GMSH là phần mềm cho phép tạo lưới phân tử hữu hạn 2D và 3D, trong khi đó ResIPy là một công cụ phân tích, mô hình hóa địa vật lý.

3. Kết quả và thảo luận

3.1. Kết quả ảnh chụp cắt lớp trở kháng điện

Hình 7a-7c bên dưới đây là kết quả ảnh chụp cắt lớp trở kháng được tái tạo từ các số liệu đo được ở thí nghiệm cắt lớp trở kháng tương ứng với các mẫu M1, M2 và M3.



Hình 7. Ảnh cắt lớp trở kháng mẫu: (a) M1; (b) M2; (c) M3.

Dựa trên các ảnh chụp cắt lớp trở kháng của các mẫu M1, M2 và M3 trong các hình 7a-7c ở trên ta có thể thấy mẫu M1 và M3 có điện trở suất phân bố trong phạm vi 3,00 đến 9,00 $\Omega.m$. Riêng mẫu M2 điện trở suất có phần thấp hơn và biến thiên trong khoảng 3,0-8,0 $\Omega.m$. Điện trở suất trung bình của mẫu M1 là 5,23 $\Omega.m$; của mẫu M2 là 4,89 $\Omega.m$ và của mẫu M3 là 5,36 $\Omega.m$.

3.2. Xác định tương quan giữa điện trở suất và độ thấm của mẫu

Theo [19, 20] mối quan hệ giữa độ thấm và điện trở suất của đất có thể được miêu tả bằng phương trình:

$$\log(k) = a \times \rho + b \tag{1}$$

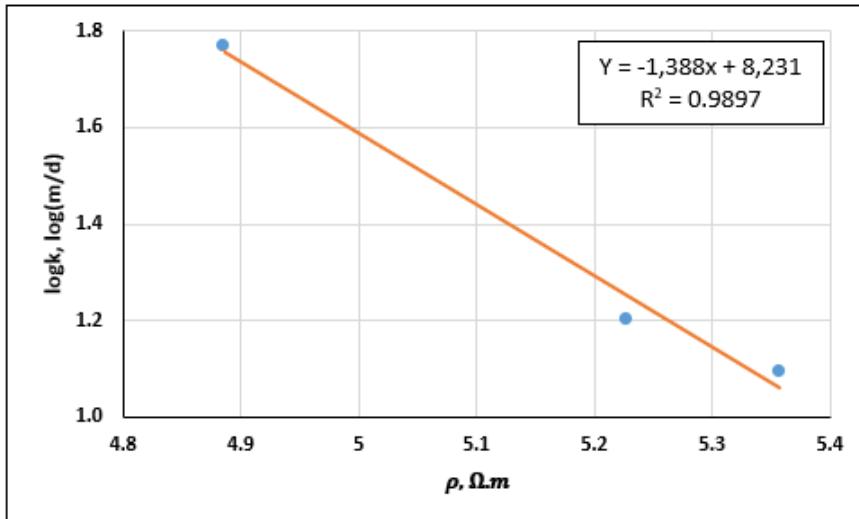
Trong đó k là độ thấm của đất; ρ là điện trở suất; a và b là hai hệ số.

Từ kết quả thí nghiệm thấm và thí nghiệm cắt lớp trở kháng, nghiên cứu xác định được các hệ số a và b trong phương trình (1) như hình 8.

Từ hình 8, ta có thể thấy hệ số a = -1,338 và b = 8,231. Như vậy mối tương quan giữa điện trở suất và độ thấm của mẫu cát được thể hiện qua phương trình:

$$\log k = -1,338 \times \rho + 8,231 \tag{2}$$

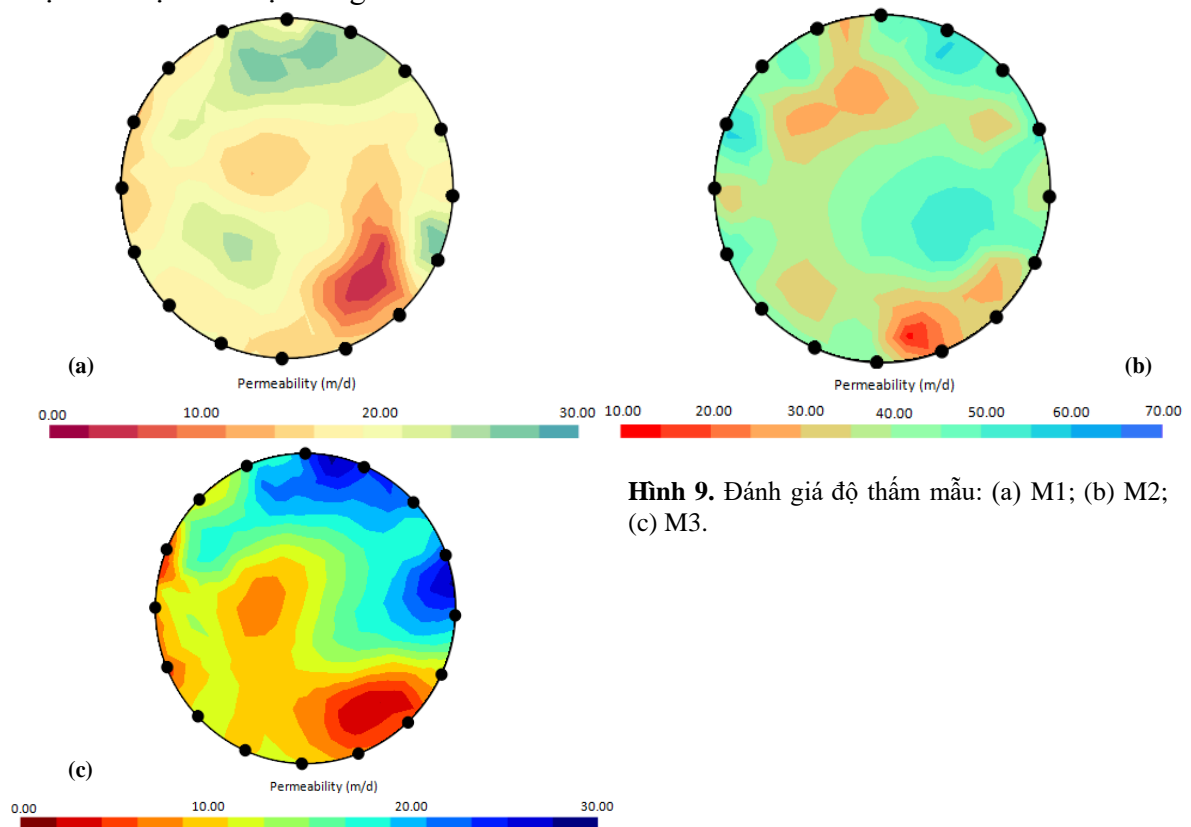
Với hệ số tương quan $R^2 = 0,9897$.



Hình 8. Tương quan giữa điện trở suất và độ thấm.

3.3. Đánh giá độ thấm của mẫu từ ảnh chụp cắt lớp trở kháng điện

Từ phương trình tương quan (2), nghiên cứu có thể xác định được độ thấm cho từng mẫu dựa vào kết quả cắt lớp trở kháng. Kết quả đánh giá độ thấm cho các mẫu M1, M2 và M3 được thể hiện lần lượt trong các hình 9a-9c.



Hình 9. Đánh giá độ thấm mẫu: (a) M1; (b) M2; (c) M3.

Từ các kết quả đánh giá độ thấm của các mẫu cát M1, M2 và M3 trong hình 9a-9c ở trên, ta có thể thấy độ thấm của mẫu M1 và M3 dao động trong khoảng 0,0-30,0 m/d, độ thấm của mẫu M2 biến thiên từ 10,0-70,0 m/d, độ thấm trung bình của mẫu M1 là 16,30 m/d, mẫu M2 là 49,46 m/d và mẫu M3 là 11,31 m/d.

Cũng với các mẫu cát M1, M2 và M3 ở trên nếu ta xác định độ thấm theo thí nghiệm Darcy và so sánh kết quả với phương pháp minh giải ảnh chụp cắt lớp trở kháng điện ta được kết quả tổng hợp trong bảng 5.

Bảng 5. So sánh kết quả độ thấm.

	Độ thấm theo thí nghiệm thấm Darcy (m/d)	Độ thấm đánh giá thông qua ảnh chụp cắt lớp trở kháng (m/d)	Sai khác (%)
Mẫu M1	15,98	16,30	2,00
Mẫu M2	50,89	49,46	2,81
Mẫu M3	12,44	11,94	4,02

Từ bảng 5 ta thấy sai khác của độ thấm khi đánh giá thông qua ảnh chụp cắt lớp trở kháng so với khi xác định từ thí nghiệm thấm Darcy của ba mẫu lần lượt là 2,00%; 2,81% và 4,02%. Như vậy kết quả độ thấm khi đánh giá thông qua minh giải ảnh chụp cắt lớp trở kháng điện là khá tương đương so với phương pháp Darcy. Điều này thể hiện tính tin cậy của phương pháp này.

So với các nghiên cứu đã trình bày ở mục 1, kết quả thí nghiệm ứng dụng của kỹ thuật chụp ảnh cắt lớp trở kháng đạt được trong nghiên cứu thực nghiệm này đạt được độ tin cậy và tính chính xác cao khi so sánh với các thí nghiệm truyền thống.

4. Kết luận

Nghiên cứu này lần đầu tiên ở trong nước, đã giới thiệu được một bộ công cụ thí nghiệm trong phòng ứng dụng phương pháp chụp ảnh cắt lớp trở kháng điện để xác định độ thấm của cát. Mô hình thí nghiệm này có thể được ứng dụng rộng rãi để xác định độ thấm cho các loại đất đá khác.

Nghiên cứu này cũng đã giới thiệu được một cách tiếp cận đánh giá độ thấm của mẫu cát dựa trên sự minh giải ảnh chụp cắt lớp trở kháng điện của mẫu cát. Trong quá trình này, các mô hình tương quan giữa điện trở suất và độ thấm cũng được xây dựng.

Do độ tin cậy và tính chính xác cao đã được thể hiện trong việc ứng dụng EIT trong nghiên cứu này và trong các nghiên cứu ứng dụng EIT khác đã trình bày trong mục 1, nên kỹ thuật EIT có đầy đủ tiềm năng ứng dụng trong lĩnh vực địa kỹ thuật và địa chất thủy văn, đặc biệt là trong điều kiện ở trong nước.

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

Lời cảm ơn: Nhóm nghiên cứu cảm ơn các đồng nghiệp tại các đơn vị nghiên cứu đã tham gia thảo luận và đóng góp ý kiến.

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. Brown, B.H. Electrical impedance tomography (EIT): A review. *J. Med. Eng. Technol.* **2003**, 27(3), 97–108.
2. Giao, P.H.; Chung, S.G.; Kim, D.Y.; Tanaka, H. Electric imaging and laboratory resistivity testing for geotechnical investigation of Pusan clay deposits. *J. Appl. Geophys.* **2003**, 52(4), 157–175. Doi:10.1016/S0926-9851(03)00002-8.
3. Zohra-Hadjadj, F.; Laredj, N.; Maliki, M.; Missoum, H.; Bendani, K. Laboratory evaluation of soil geotechnical properties via electrical conductivity. *Revista Facultad de Ingenieria* **2019**, 90, 101–112. Doi:10.17533/UDEA.REDIN.N90A11.
4. Borsic, A.; Comina, C.; Foti, S.; Lancellotta, R.; Musso, G. Imaging heterogeneities with electrical impedance tomography: Laboratory results. *Geotechnique* **2005**, 55(7), 539–547. Doi:10.1680/geot.2005.55.7.539.
5. Amabile, A.; de Carvalho Faria Lima Lopes, B.; Pozzato, A.; Benes, V.; Tarantino, A. An assessment of ERT as a method to monitor water content regime in flood embankments: The case study of the Adige River embankment. *Phys. Chem. Earth*

- 2020**, 120, 102930. Doi:10.1016/j.pce.2020.102930.
6. Ishak, M.F. et al. Interrelationship between borehole lithology and electrical resistivity for geotechnical site investigation. *Phys. Chem. Earth* **2022**, 128, 103279. Doi:10.1016/j.pce.2022.103279.
 7. Liu, X.; Shen, J.; Yang, M.; Cai, G.; Liu, S. Subsurface characterization of a construction site in Nanjing, China using ERT and CPTU methods. *Eng. Geol.* **2022**, 299, 106563. Doi:10.1016/j.enggeo.2022.106563.
 8. Mohammed, M.A.; Senosy, M.M.; Abudeif, A.M. Derivation of empirical relationships between geotechnical parameters and resistivity using electrical resistivity tomography (ERT) and borehole data at Sohag University site, upper Egypt. *J. African Earth Sci.* **2019**, 158, 103563. Doi:10.1016/j.jafrearsci.2019.103563.
 9. Orozco, A.F.; Bücken, M.; Steiner, M.; Malet, J.P. Complex-conductivity imaging for the understanding of landslide architecture. *Eng. Geol.* **2018**, 243, 241–252. Doi:10.1016/j.enggeo.2018.07.009.
 10. Sudha, K.; Israil, M.; Mittal, S.; Rai, J. Soil characterization using electrical resistivity tomography and geotechnical investigations. *J. Appl. Geophys.* **2009**, 67(1), 74–79. Doi:10.1016/j.jappgeo.2008.09.012.
 11. Holmes J. et al. 4D electrical resistivity tomography for assessing the influence of vegetation and subsurface moisture on railway cutting condition. *Eng. Geol.* **2022**, 307, 106790. Doi:10.1016/j.enggeo.2022.106790.
 12. Lage, J.L.; Antohe, B.V. Darcy's experiments and the deviation to nonlinear flow regime. *J. Fluids Eng. Trans. ASME* **2000**, 122(3), 619–625. Doi:10.1115/1.1287722.
 13. Brown, B.H.; Seagar, A.D. The sheffield data collection system. *Clin. Phys. Physiol. Meas.* **1987**, 8A, 91–97.
 14. Adam, E.E.B.; Sathesh, Survey on medical imaging of electrical impedance tomography (EIT) by variable current pattern methods. *J. ISMAC* **2021**, 3(2), 82–95. Doi:10.36548/jismac.2021.2.002.
 15. Gisser, D.G.; Isaacson, D.; Newell, J.C. Current topics in impedance imaging. *Clin. Phys. Physiol. Meas.* **1987**, 8 Suppl A, 39–46.
 16. Newell, J.C. State of the art in impedance imaging. *Int. Conf. Electr. Bio-Impedance*, 1995.
 17. Hua, P.; Webster, J.G.; Tompkins, W.J. Effect of the measurement method on noise handling and image quality of eit imaging. *IEEE/Eng. Med. Biol. Soc. Annu. Conf.* **1987**, 1429–1430.
 18. Geuzaine, C.; Remacle, J.F. Gmsh Reference Manual, 2022.
 19. Ward, S.H. Geotechnical and Environmental Geophysics. *Geotech. Environ. Geophys.* 1990, pp. 398. Doi:10.1190/1.9781560802785.
 20. Juandi, M.; Syahril, S. Empirical relationship between soil permeability and resistivity, and its application for determining the groundwater gross recharge in Marpoyan Damai, Pekanbaru, Indonesia. *Water Pract. Technol.* **2017**, 12(3), 660–666. Doi:10.2166/wpt.2017.069.

An estimation of the permeability of sand by interpreting electrical impedance tomography images

To Viet Nam^{1,2*}, Khau Thi Ly^{1,2}

¹ Faculty of Geology and Petroleum Engineering, Ho Chi Minh city University of Technology; tovietnam@hcmut.edu.vn; ly.khaudc@hcmut.edu.vn

² Vietnam National University in Ho Chi Minh city; tovietnam@hcmut.edu.vn; ly.khaudc@hcmut.edu.vn

Abstract: Electrical impedance tomography (EIT) has been widely applied in a number of engineering industries. However, in the field of geology and geotechnical engineering, there are still few studies applying EIT. The advantage of this technique is that it can provide information about the research object without having to destroy the sample. This article introduces an experimental study applying EIT in the evaluation of the permeability of 3 sand samples under laboratory conditions by interpreting electrical impedance tomography (EIT) images. The results of EIT image interpretation show that the permeability of the 3 sand samples is 16.30 m/d; 49.46 m/d and 11.94 m/d respectively and have a difference of by 2.00%, 2.81% and 4.02% respectively compared to the permeability of these 3 sand samples if determined by the Darcy test. This result shows the potential of applying EIT in determining the permeability of soil and rock in particular and other properties of soil and rock in general in the field of geology and geotechnical engineering.

Keywords: Electrical impedance tomography; EIT; Sand permeability.

Bài báo khoa học

Ứng dụng mô hình MIKE 11 mô phỏng quá trình xâm nhập mặn vùng ven biển tỉnh Nam Định

Dương Văn Hưng¹, Vũ Thị Hoà^{1*}, Trần Văn Giáp¹, Võ Văn Hoà², Đoàn Quang Trí³

¹ Đai Khí tượng Thủy văn tỉnh Nam Định; hungkttv@gmail.com; vuhoakhtn@gmail.com; trangiap2010@gmail.com

² Đai Khí tượng Thủy văn Khu vực Đồng bằng và Trung du Bắc Bộ, Tổng cục Khí tượng Thủy văn; vovanhoa80@yahoo.com

³ Trung tâm Thông tin và Dữ liệu khí tượng thủy văn, Tổng cục Khí tượng Thủy văn; doanquangtrikttv@gmail.com

*Tác giả liên hệ: vuhoakhtn@gmail.com; Tel.: +84-973121678

Ban Biên tập nhận bài: 5/11/2022; Ngày phản biện xong: 13/12/2023; Ngày đăng bài: 25/3/2024

Tóm tắt: Đồng bằng châu thổ sông Hồng là một trong những khu vực có ngành nông nghiệp chủ đạo, hiện nay các khu vực ven biển Nam Định đang ngày càng bị đe dọa bởi hiện tượng xâm nhập mặn ngày càng kéo dài và trầm trọng. Nghiên cứu đã ứng dụng mô hình MIKE 11 mô phỏng thủy lực, quá trình xâm nhập mặn vùng ven biển tỉnh Nam Định với kết quả hiệu chỉnh năm 2022 và kiểm định cho năm 2023 cho kết quả tương đối phù hợp với chỉ số NASH đạt 0,70-0,78, hệ số tương quan $R^2 = 0,8-0,92$. Kết quả mô phỏng theo 02 kịch bản ứng với tần suất kiệt 90% và tần suất triều 10%; tần suất kiệt 95% và tần suất triều 5% cho thấy hệ thống sông thuộc tỉnh Nam Định đang có hiện tượng nồng độ mặn cao, mặn xâm nhập càng ngày càng lấn sâu vào nội đồng.

Từ khóa: Mô hình MIKE 11; Xâm nhập mặn; Nam Định.

1. Giới thiệu

Trên thế giới đã có rất nhiều nghiên cứu về diễn biến xâm nhập mặn. Nghiên cứu về ảnh hưởng của nước biển dâng (NBD) đến xâm nhập mặn (XNM), tác giả [1] đã có nghiên cứu điển hình ở cửa sông Dương Tử, Trung Quốc. Nghiên cứu này đã sử dụng mô hình vận chuyển mặn và thủy động lực học ba chiều, với lưới không cấu trúc có độ phân giải cao và độ nhám của đáy thay đổi theo không gian, được áp dụng để định lượng ảnh hưởng của NBD. Nghiên cứu xác định các yếu tố chính của mô hình XNM tại lưu vực sông Dagou, Vịnh Giao Châu, nghiên cứu [2] nhận định rằng XNM là một quá trình tương tác phức tạp giữa nước ngầm - nước biển và nó chịu ảnh hưởng của nhiều yếu tố từ bề mặt đến lòng đất. Xâm nhập mặn là một trong những vấn đề lớn ở vùng cửa sông Indus, Pakistan. Trong nghiên cứu [3] mô hình số trị FVCOM được xây dựng để nghiên cứu sự biến thiên theo mùa của dòng chảy và độ mặn trong sông. Có thể nhận thấy hiện nay trên thế giới, các mô hình toán phục vụ tính toán mô phỏng quá trình XNM đã rất phát triển, cho phép các nhà nghiên cứu có thể tìm hiểu nguyên nhân, tính toán, dự báo các quá trình diễn biến XNM. Các mô hình mô phỏng quá trình tương tác thủy lực 1-2-3 chiều hoàn toàn có thể đưa vào áp dụng tính toán mô phỏng XNM nước mặt [3].

Tại Việt Nam, nhằm mục tiêu đánh giá nguy cơ XNM các sông chính tỉnh Đồng Nai trong bối cảnh biến đổi khí hậu (BĐKH). Tác giả [4] đã xây dựng các kịch bản đánh giá với mức phát thải khí nhà kính cao (A1FI) cho các thời kỳ 2013, 2020 và 2030. Nghiên cứu đánh giá

Tap chí Khí tượng Thủy văn **2024**, 759, 75-86; doi:10.36335/VNJHM.2024(759).75-86 <http://tapchikttv.vn>

giá ảnh hưởng của BĐKH đến XNM trên địa bàn tỉnh Vĩnh Long. Tác giả [5] đã xây dựng các kịch bản tính toán bao gồm: XMN ở điều kiện hiện tại, theo kịch bản thải khí nhà kính trung bình (B2) và cao (A1FI) cho năm 2020 và 2030. Phương pháp mô hình toán (MIKE 11) kết hợp phương pháp GIS được sử dụng trong tính toán. Nghiên cứu [6] đánh giá tác động của các hồ đập thủy điện ở thượng nguồn sông Mê Công đến xâm nhập mặn ở đồng bằng sông Cửu Long. Trên hệ thống sông Vu Gia - Thu Bồn, tác giả [6–10] đã nghiên cứu xây dựng công nghệ dự báo dòng chảy cạn, XNM cho hệ thống sông. Phương pháp chính trong nghiên cứu là sử dụng các mô hình toán. Đánh giá ảnh hưởng của XNM đến hạ lưu lưu vực sông Cả trong bối cảnh BĐKH. Tác giả [11–12] đã ứng dụng mô hình thủy lực MIKE 11 kết hợp công cụ viễn thám GIS trong việc mô phỏng tính toán tình hình XNM khu vực hạ lưu sông Cả ứng với hai kịch bản RCP4.5 và RCP8.5...

Nam Định là một tỉnh nằm ở phía nam của Đồng Bằng Bắc Bộ, là một tỉnh có sản lượng lương thực, các sản phẩm nông, lâm nghiệp, thủy - hải sản đặc sản có giá trị xuất khẩu cao và lớn trong khu vực (khoảng hơn 200.000 ha); đặc biệt là các đặc sản về lúa, hoa, cây cảnh, thủy, hải sản,... và cũng là vùng chịu ảnh hưởng nặng nề của biến đổi khí hậu mà cụ thể là nước biển dâng và xâm nhập mặn; đặc biệt là các huyện ven biển của tỉnh như: Giao Thủy, Hải Hậu, Nghĩa Hưng và một số huyện khác như: Xuân Trường, Trực Ninh, Nam Trực...

Trong những năm gần đây quá trình sự thay đổi chế độ dòng chảy, xâm nhập mặn tại vùng cửa các sông trong khu vực như: sông Hồng, sông Đáy, sông Ninh Cơ có sự thay đổi lớn và diễn biến rất phức tạp, nhất là trong mùa cạn (vụ Đông Xuân): Độ mặn vùng cửa sông cao, mặn xâm nhập vào trong sông rất sâu, có nơi xâm nhập sâu vào trong sông tới gần 40 km (độ mặn 1‰), mặn xâm nhập ngược từ sông này sang sông khác, dòng chảy thay đổi gây ra tác động của xâm nhập mặn tới các khu vực cửa sông và sâu trong sông, ... gây khó khăn cho công tác dự tính, dự báo việc lấy nước phục vụ sản xuất, đặc biệt là sản xuất nông nghiệp.

Những năm gần đây, trên thế giới và một số tỉnh của Việt Nam đã sử dụng nhiều phương pháp dự báo, cảnh báo xâm nhập mặn dưới tác động của biến đổi khí hậu như sử dụng mô hình toán [13, 14], xây dựng công cụ dự báo dựa trên nền tảng GIS [15], các dạng bản đồ cảnh báo và phân vùng nguy cơ nhiễm mặn,... các công cụ này giúp ích rất lớn đối với các nhà quản lý có thể ra quyết định trong lúc diễn ra các hiện tượng ngập úng cực đoan. Hiện nay, tỉnh Nam Định dựa trên các bản tin dự báo khí tượng thủy văn của Đài tỉnh để đưa ra các nhận định, cảnh báo mặn mà chưa có cơ sở khoa học nên nhiều khu vực vẫn chịu tác động mạnh của xâm nhập mặn. Do vậy, để có thể giảm thiểu tác động của xâm nhập mặn đến tình hình kinh tế - xã hội của tỉnh cần có những công cụ hỗ trợ trong công tác cảnh báo xâm nhập mặn là việc cấp bách hiện nay.

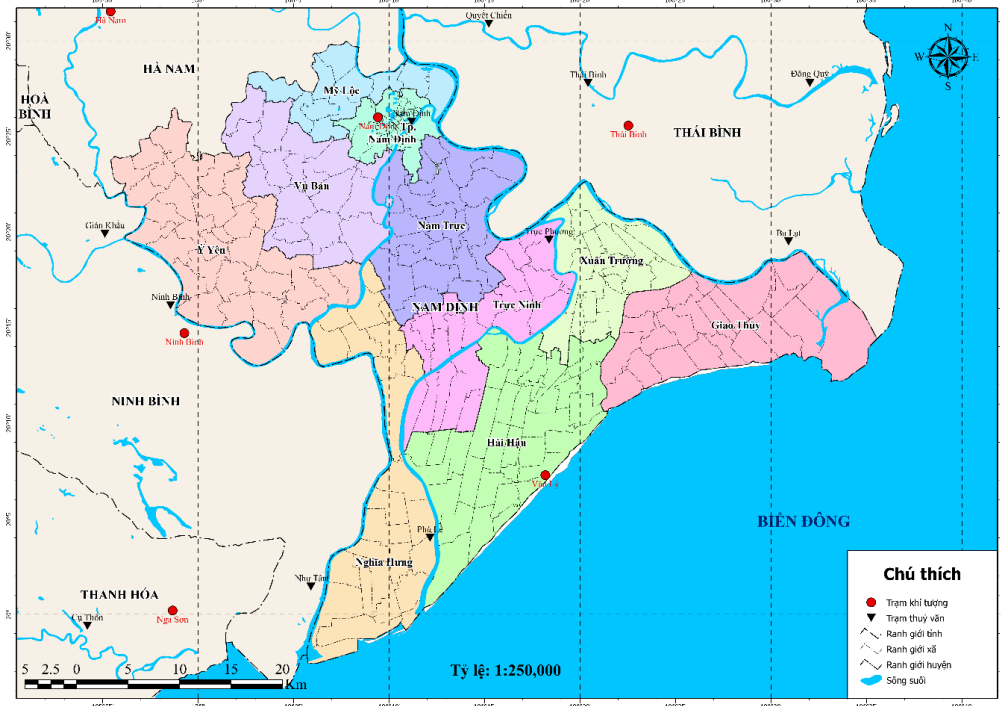
Trên thế giới và tại Việt Nam đã có nhiều phương pháp được sử dụng để mô phỏng quá trình xâm nhập mặn bằng các mô hình thủy lực như: Mô hình HEC- RAS của Mỹ, mô hình TELEMAC của Pháp mô hình SWMM của Cơ quan bảo vệ môi trường Mỹ, Mô hình Time-Lag của Thụy Điển. Tuy nhiên, nguyên nhân gây xâm nhập mặn cho địa bàn tỉnh hết sức đa dạng: do thiếu hụt nguồn nước ngầm trầm trọng; do triều cường, gió mùa Đông Bắc, ... vì vậy, nghiên cứu đã lựa chọn mô hình MIKE 11 để tính toán lan truyền chất, mô phỏng quá trình xâm nhập mặn; Bộ mô hình MIKE đã và đang ứng dụng thành công trên một số lưu vực sông ở Việt Nam như: sông Hồng, sông Mã, sông Bến Hải, sông Hương,.. và một số nước trên thế giới. Hiện nay, Tổng cục Khí tượng Thủy văn đã có bản quyền bộ mô hình MIKE và đã trang bị cho Đài Khí tượng Thủy văn khu vực Đồng bằng và Trung du Bắc Bộ [16–18].

Mục đích nghiên cứu: (1) Ứng dụng được mô hình MIKE 11 mô phỏng quá trình thủy lực, quá trình xâm nhập mặn khu vực ven biển Nam Định; (2) Mô phỏng quá trình xâm nhập mặn theo 02 kịch bản ứng với tần suất kiệt 90% và tần suất triều 10%; tần suất kiệt 95% và tần suất triều 5% cho hệ thống sông thuộc tỉnh Nam Định.

2. Số liệu và phương pháp nghiên cứu

2.1. Giới thiệu khu vực nghiên cứu

Tỉnh Nam Định nằm ở tọa độ địa lý: 106°12' kinh độ Đông, 20°24' vĩ độ Bắc. Tỉnh Nam Định có hệ thống sông ngòi khá dày đặc với mật độ sông vào khoảng 0,5-0,7 km/km² (Hình 1). Chế độ mực nước: Mực nước trung bình năm: 1,52 m; Mực nước cao nhất: 5,77 m; Mực nước thấp nhất: -0,4 m; Lưu lượng: Trung bình: 896 m³/s; Lớn nhất: 6,650 m³/s; Nhỏ nhất: 0 m³/s (nước ngừng chảy); Độ dốc trung bình sông: 0,0012; Cao độ đáy sông: -0,6 m đến -0,8 m; Mực nước báo động theo các cấp trên sông Đào: Cấp I: +3,2 m; Cấp II: +3,9 m; Cấp III: +4,4 m; Mực nước báo động theo các cấp trên sông Hồng đoạn qua Nam Định: Cấp I: +3,8 m; Cấp II: +4,8 m; Cấp III: +5,8 m.



Hình 1. Bản đồ mạng trạm KTTV tỉnh Nam Định.

2.2. Số liệu thu thập

Căn cứ yêu cầu số liệu đầu vào của mô hình và điều kiện số liệu quan trắc trên lưu vực, nghiên cứu sử dụng các số liệu:

- Các lớp dữ liệu bản đồ: ranh giới, mạng lưới sông suối.
- Số liệu khí tượng, thủy văn, mặn các trạm (Bảng 1): Khí tượng Nam Định, thủy văn Nam Định, thủy văn Phú Lễ, thủy văn Như Tân, thủy văn Ba Lạt, hải văn Hòn Dấu.
- Số liệu mặt cắt sông Hồng, sông Đào, sông Ninh Cơ, sông Đáy.

Bảng 1. Thông tin các trạm khí tượng thủy văn.

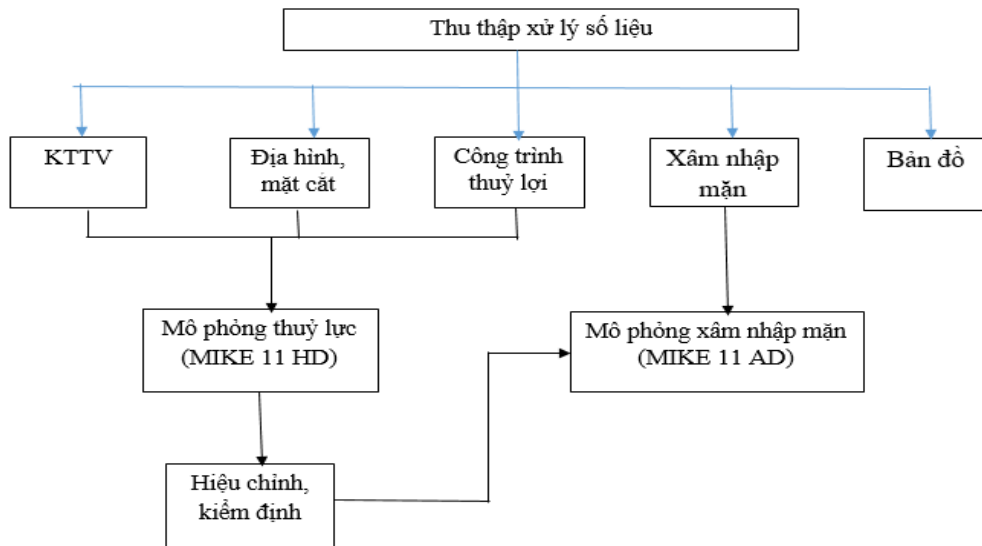
STT	Tên trạm	Yếu tố				Loại trạm
		H (m)	Q (m ³ /s)	X (mm)	S (‰)	
1	Nam Định			x		Trạm khí tượng
2	Nam Định	x	x			Trạm TV cấp 1
3	Phú Lễ	x			x	Trạm TV cấp 3
4	Như Tân	x			x	Trạm TV cấp 3
5	Ba Lạt	x			x	Trạm TV cấp 3
6	Hòn Dấu	x			x	Trạm hải văn
6	Hòn Dấu	x			x	Trạm hải văn

Trong đó H: Mực nước; Q: Lưu lượng; X: lượng mưa; S: Độ mặn.

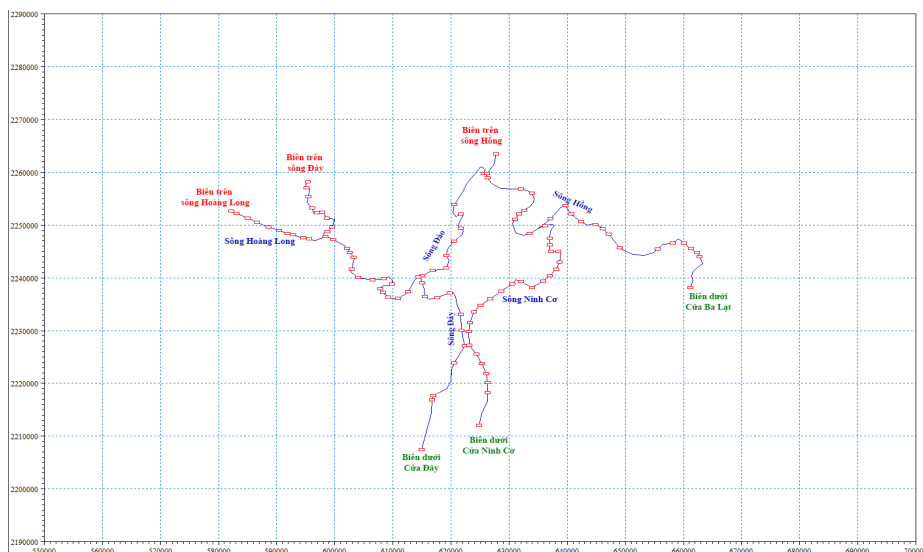
2.3. Phương pháp nghiên cứu

2.3.1 Giới thiệu mô hình

Nghiên cứu sử dụng mô hình MIKE 11 để mô phỏng tính toán xâm nhập mặn vùng ven biển tỉnh Nam Định. Ngoài ra, nghiên cứu cũng kết hợp với phương pháp phân tích, tích toán tần suất thiết kế để mô phỏng với quá trình xâm nhập mặn theo các tần suất. MIKE 11 là một phần mềm thương mại chuyên dụng mô phỏng lưu lượng, chất lượng nước và vận chuyển bùn cát ở cửa sông, sông, hệ thống tưới, kênh dẫn và các hệ thống dẫn nước khác. MIKE 11 là công cụ lập mô hình động lực một chiều, thân thiện với người sử dụng nhằm phân tích chi tiết, thiết kế, quản lý và vận hành cho sông và hệ thống kênh dẫn đơn giản và phức tạp. Mô đun mô hình thủy động lực (HD) là một phần trung tâm của hệ thống lập mô hình MIKE 11 và hình thành cơ sở cho hầu hết các mô đun bao gồm: dự báo lũ, tải khuếch tán, chất lượng nước và các mô đun vận chuyển bùn cát. Mô đun MIKE 11 HD giải các phương trình tổng hợp theo phương đứng để đảm bảo tính liên tục và bảo toàn động lượng (phương trình Saint Venant) [16–18]. Sơ đồ cấu trúc nghiên cứu để mô phỏng tính toán xâm nhập mặn được thể hiện trên hình 2.



Hình 2. Sơ đồ cấu trúc mô phỏng xâm nhập mặn.

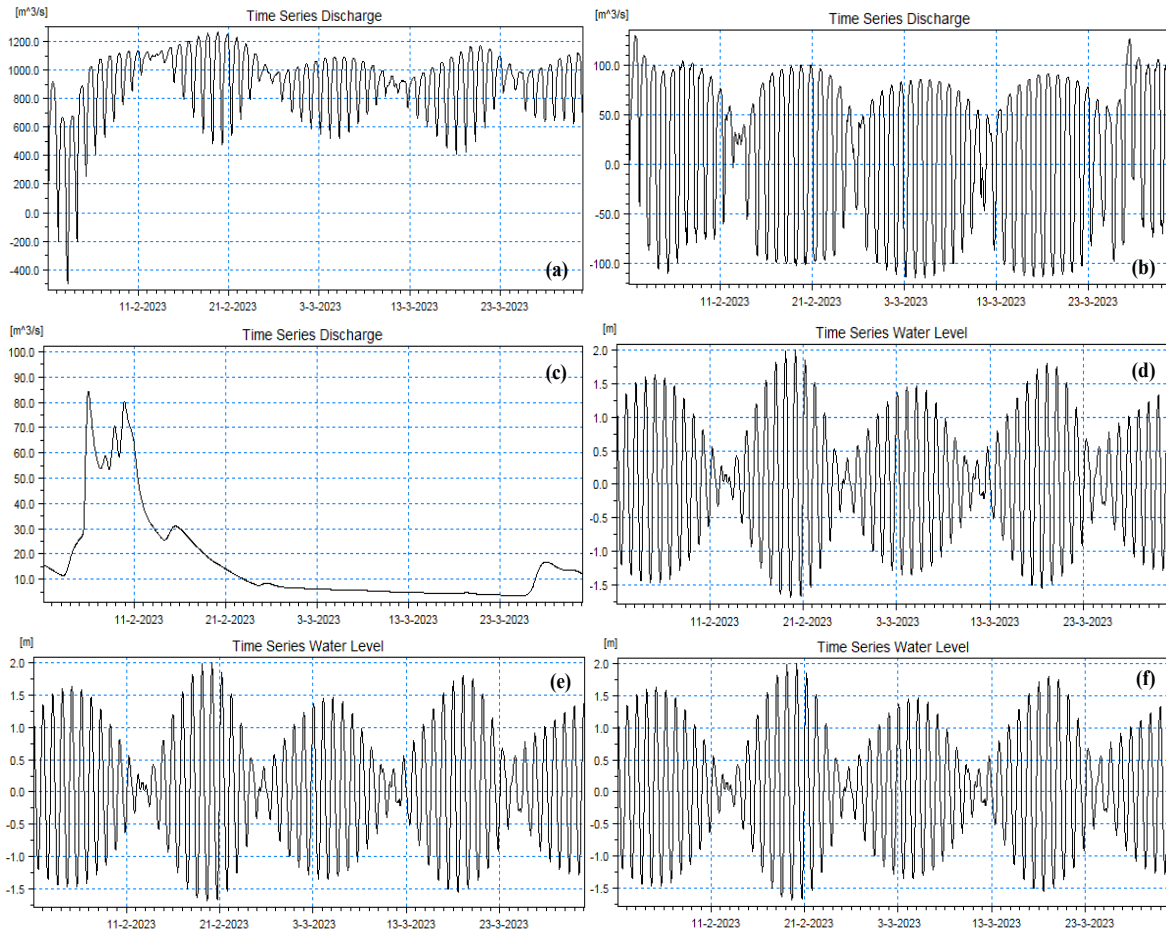


Hình 3. Mạng lưới sông tỉnh Nam Định mô phỏng trong MIKE 11.

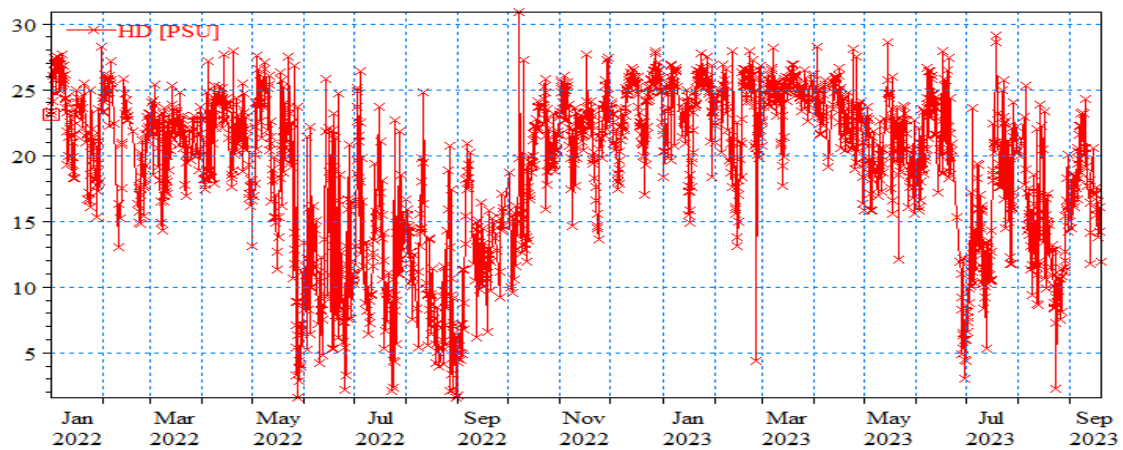
2.3.2. Thiết lập mô hình mô phỏng xâm nhập mặn

Thiết lập sơ đồ thủy lực mạng lưới sông khu vực nghiên cứu trong MIKE 11 được thể hiện trên hình 3. Trong đó có 03 biên lưu lượng phía trên được lấy trên 03 sông: Hồng, Đáy và Hoàng Long, 03 biên mực nước phía dưới tại các vị trí cửa sông: Cửa Ba Lạt, Cửa Ninh Cơ và Cửa Đáy.

Các biên trên được lấy từ kết quả mô phỏng thủy lực từ hệ thống sông Hồng - Thái Bình [19] đã được cập nhật mật cắt và hiệu chỉnh kiểm định lại với năm 2022 và năm 2023 (Hình 4). Số liệu đo mặn lấy theo số liệu mặn quan trắc lại trạm Hòn Dấu (Hình 5).



Hình 4. Lưu lượng biên trên tại: a) sông Hồng, b) sông Đáy, c) sông Hoàng Long; mực nước biên dưới tại: d) sông Hồng, e) sông Ninh Cơ, f) sông Đáy.



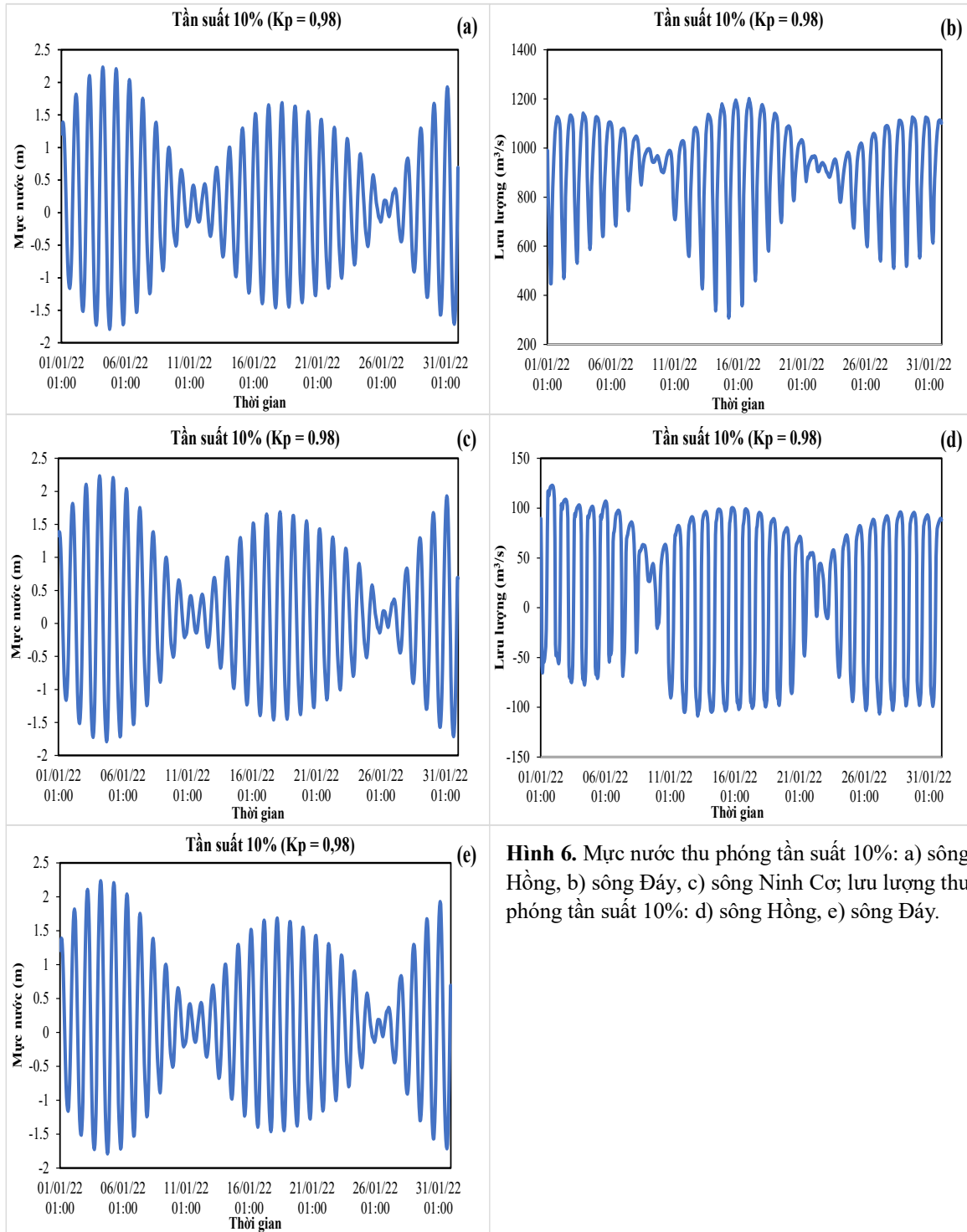
Hình 5. Số liệu đo mặn trạm Hòn Dấu.

2.2.3. Kịch bản tần suất tính toán

Hai kịch bản xây dựng để mô phỏng xâm nhập mặn tỉnh Nam Định như sau:

- Kịch bản 1: Tần suất kiệt 90% và tần suất triều 10%.
- Kịch bản 2: Tần suất kiệt 95% và tần suất triều 5%.

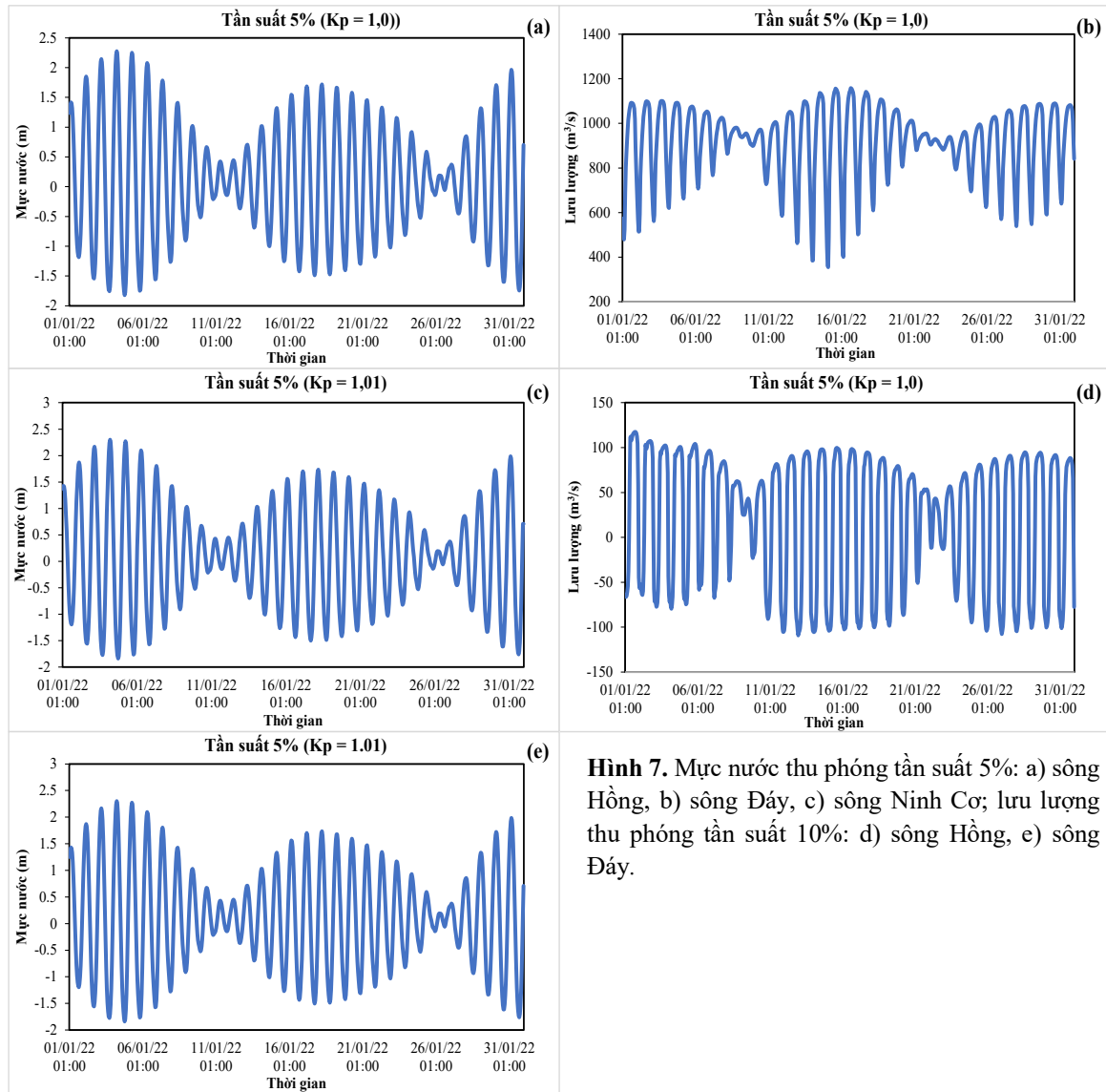
Số liệu biên dưới được thu phỏng theo tần suất 10% tại các cửa sông được thể hiện trên hình 6.



Hình 6. Mực nước thu phỏng tần suất 10%: a) sông Hồng, b) sông Đáy, c) sông Ninh Cơ; lưu lượng thu phỏng tần suất 10%: d) sông Hồng, e) sông Đáy.

Trong các kịch bản, giá trị mặn tại các biên trên được giả thiết bằng 0‰ và biên mặt tại các vị trí ngoài biển được giả thiết đồng nhất là 30‰ - Căn cứ theo số liệu khảo sát đo mặn tại trạm hải văn Hòn Dấu nồng độ mặn lớn nhất là 30‰ (Hình 5).

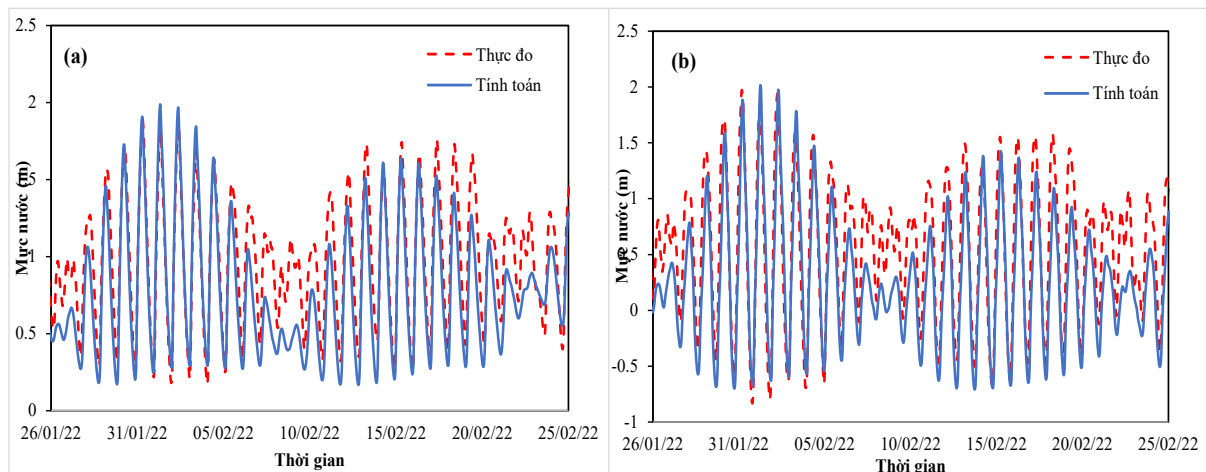
Số liệu biên dưới được thu phỏng theo tần suất 5% tại các cửa sông được thể hiện trên hình 7.



Hình 7. Mực nước thu phóng tần suất 5%: a) sông Hồng, b) sông Đáy, c) sông Ninh Cơ; lưu lượng thu phóng tần suất 10%: d) sông Hồng, e) sông Đáy.

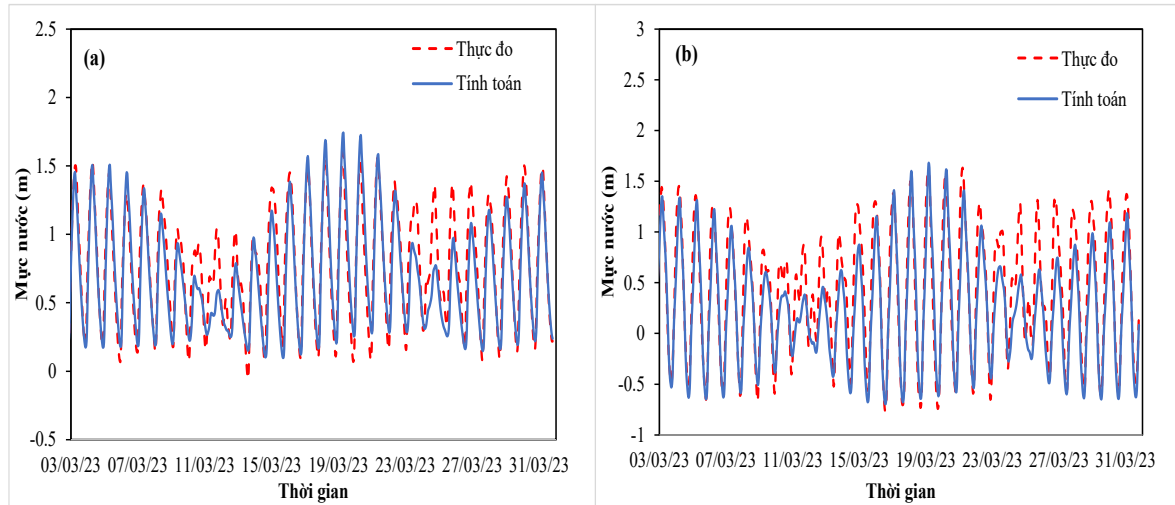
3. Kết quả và thảo luận

Mô hình thủy lực mùa cạn cho hệ thống sông tỉnh Nam Định được hiệu chỉnh với số liệu thực đo tại trạm thủy văn Nam Định và trạm thủy văn Phú Lễ năm 2022, kết quả hiệu chỉnh mô hình thể hiện trong hình 8.



Hình 8. Kết quả hiệu chỉnh tại trạm thủy văn: a) Nam Định, b) Phú Lễ.

Sau khi hiệu chỉnh tìm bộ thông số mô hình, báo cáo kiểm định lại bộ thông số với số liệu năm 2023, hình 9 là kết quả kiểm định mô hình MIKE 11 tại trạm thủy văn Nam Định và trạm thủy văn Phú Lễ.



Hình 9. Kết quả kiểm định tại trạm thủy văn: a) Nam Định, b) Phú Lễ.

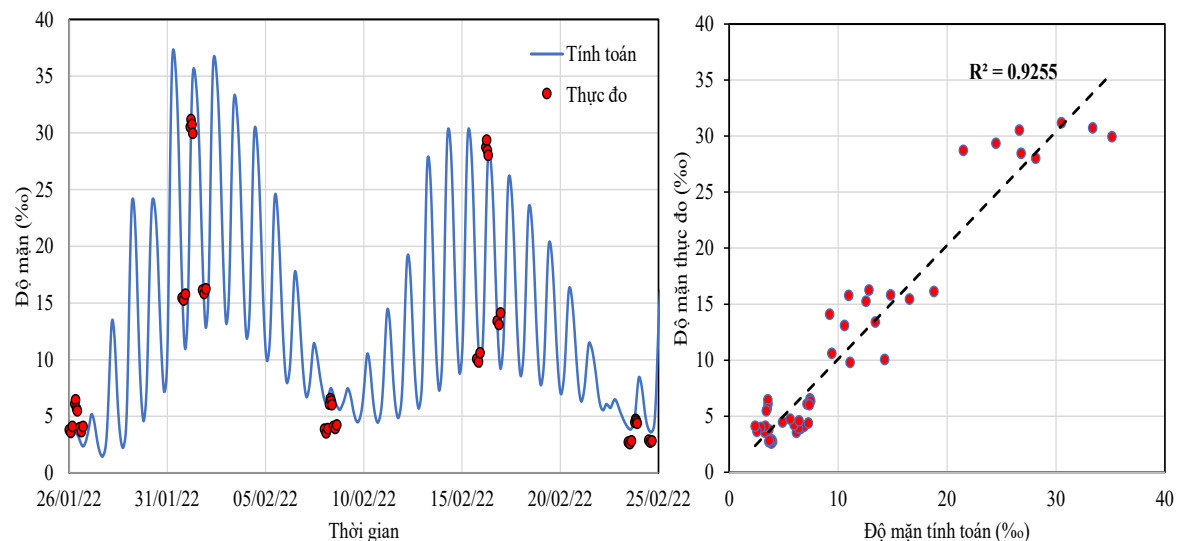
Bảng 2 thống kê chỉ tiêu đánh giá kết quả hiệu chỉnh và kiểm định mô hình thủy lực.

Bảng 2. Hệ số Nash hiệu chỉnh và kiểm định mô hình thủy lực.

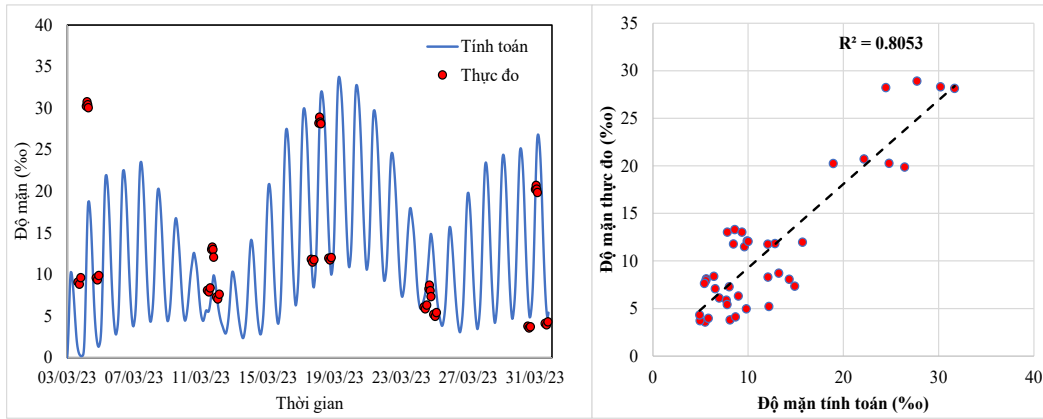
STT	Tên trạm	Hiệu chỉnh	Kiểm định
1	Nam Định	0,72	0,81
2	Phù Lễ	0,70	0,78

Kết quả hiệu chỉnh hệ số Nash đạt trên 0,70 và kết quả kiểm định hệ số Nash trên 0,78. Có thể nhận thấy bộ thông số mô hình thủy lực tương đối phù hợp cho khu vực nghiên cứu. Sau khi tìm được bộ thông số thủy lực, bài báo tiến hành thiết lập thông số AD mô phỏng lan truyền mặn cho khu vực nghiên cứu.

Mô hình lan truyền mặn cho hệ thống sông tỉnh Nam Định được hiệu chỉnh với số liệu thực đo mặn tại trạm Phú Lễ năm 2022 và kiểm định với số liệu năm 2023, kết quả thể hiện trong các hình 10-11.

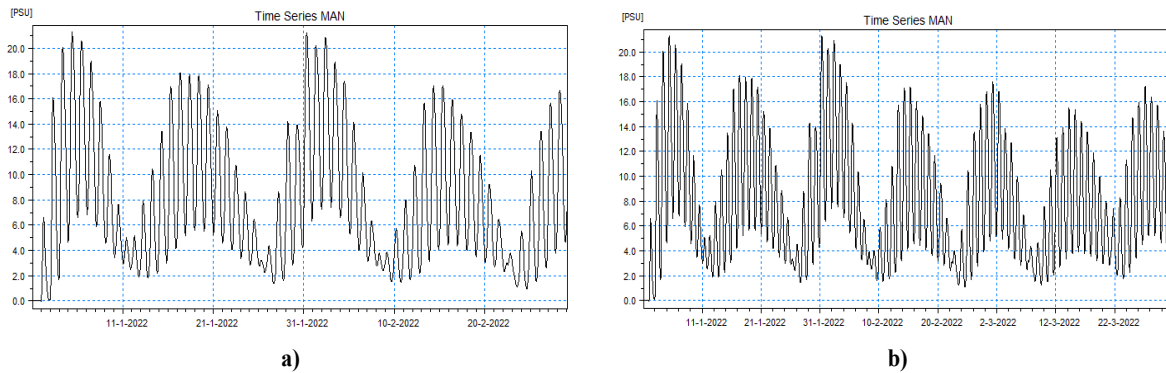


Hình 10. Kết quả hiệu chỉnh mặn tại trạm thủy văn Phú Lễ.

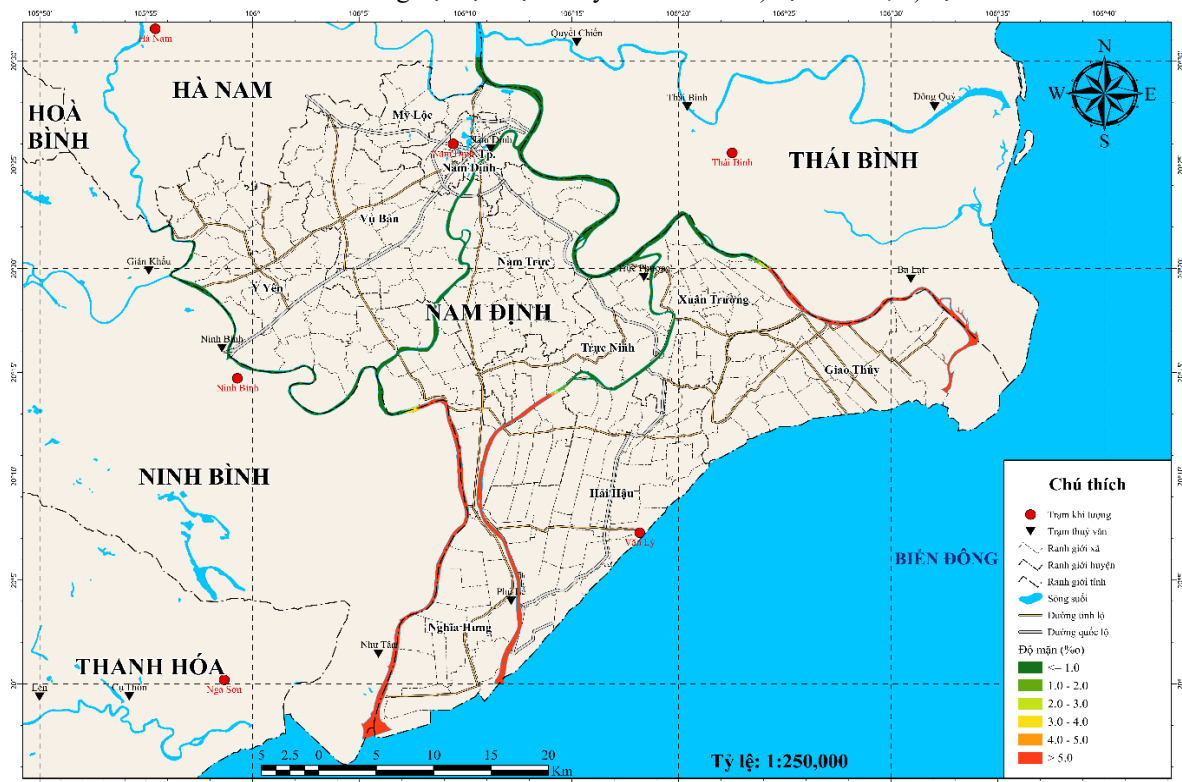


Hình 11. Kết quả kiểm định tại trạm thủy văn Phú Lễ.

Kết quả so sánh số liệu mặn thực đo và tính toán năm 2022 và 2023 tại trạm Phú Lễ cho thấy R^2 từ 0,8 đến 0,9. Có thể nhận thấy nghiên cứu đã tìm được bộ thông số mặn phù hợp cho khu vực tính toán. Sau khi tìm được bộ thông số mô hình XNM, nghiên cứu tiến hành mô phỏng theo 2 kịch bản đã thiết lập phía trên. Kết quả diễn biến nồng độ XNM theo 2 kịch bản được thể hiện trong các Hình 12-14.

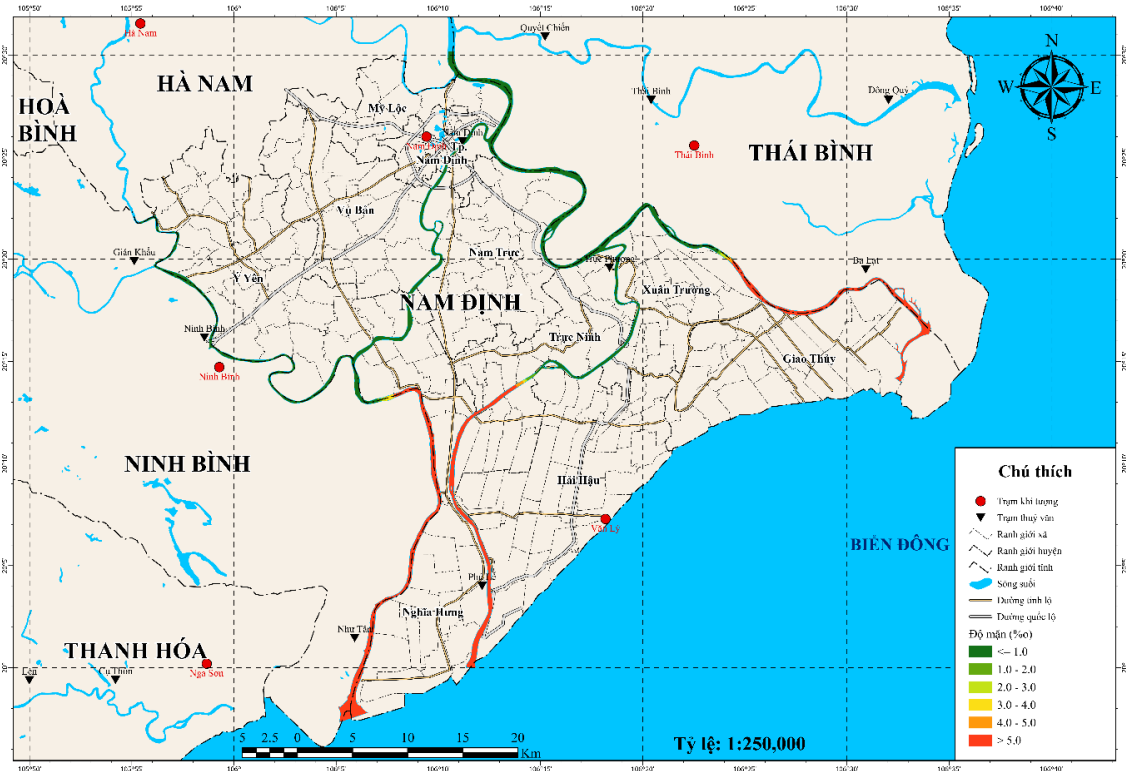


Hình 12. Diễn biến nồng độ mặn trạm thủy văn Phú Lễ: a) kịch bản 1; b) kịch bản 2.



Hình 13. Bản đồ ranh giới XNM kịch bản 1.

Sau khi mô phỏng ra nồng độ XMN theo 2 kịch bản tần suất, nghiên cứu ứng dụng công nghệ GIS biên tập bản đồ XNM theo 2 kịch bản, hình 13-14 là kết quả bản đồ XNM khu vực nghiên cứu.



Hình 14. Bản đồ ranh giới XNM kịch bản 2.

Có thể nhận thấy ranh giới XNM của kịch bản 2 tăng so với kịch bản 1. Trên sông Ninh Cơ ranh giới XNM kịch bản 1 là 23,7 km; kịch bản 2 là 25,4 km. Trên sông Đáy ranh giới XNM kịch bản 1 là 25,2 km; kịch bản 2 là 28,4 km. Trên sông Hồng ranh giới XNM kịch bản 1 là 22,3 km; kịch bản 2 là 23,7 km.

4. Kết luận

Nghiên cứu ứng dụng phương pháp mô hình toán thủy văn MIKE 11 để mô phỏng quá trình xâm nhập mặn vùng ven biển tỉnh Nam Định đã được hiệu chỉnh và kiểm định tốt với hệ số NASH đạt yêu cầu, dao động từ 0,80 - 0,83 đảm bảo độ tin cậy trong điều kiện hạn chế về số liệu thủy văn, mặn. Kết quả cho thấy, các kịch bản đã mô phỏng rất sát quá trình xâm nhập mặn vùng ven biển. Ở cả 2 kịch bản đều cho thấy xu thế xâm nhập mặn tăng mạnh so với thời kỳ trước, kết quả này cũng khá tương đồng với kết quả nghiên cứu [20]. Trong đó, xu thế mực nước biển dâng cao lên mà lưu lượng ở trên thượng nguồn tăng không nhiều. Vì vậy, lượng nước đổ về trên các nhánh sông của sông Hồng như sông Đáy, Ninh Cơ, sông Đào không nhiều nên tình hình xâm nhập mặn ngày càng lấn sâu vào trong sông. Kết quả cho thấy xu thế xâm nhập mặn trên hệ thống sông thuộc tỉnh Nam Định không những tăng đáng kể về độ mặn mà còn gia tăng khoảng cách lấn sâu vào nội đồng.

Việc mô phỏng quá trình xâm nhập vùng ven biển tỉnh Nam Định, là một trong những cơ sở hỗ trợ cho công tác quản lý, định hướng khai thác, sử dụng và phát triển bền vững nguồn tài nguyên nước cho tỉnh Nam Định.

Đóng góp của tác giả: Xây dựng ý tưởng nghiên cứu: V.T.H., Đ.Q.T., V.V.H.; Lựa chọn phương pháp nghiên cứu: D.V.H., V.T.H., Đ.Q.T., Xử lý và tính toán số liệu tần suất: T.V.G., V.V.H.; Thiết lập mô hình và tính toán: T.V.G., D.V.H., V.T.H.; Viết bản thảo bài báo: V.T.H., Đ.Q.T.

Lời cảm ơn: Bài báo hoàn thành nhờ vào một phần kết quả của nhiệm vụ khoa học: “Nghiên cứu đề xuất hệ thống cảnh báo, dự báo sớm rủi ro do xâm nhập mặn gây ra tại tỉnh Nam Định”.

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

Tài liệu tham khảo

1. Chen, W.; Chen, K.; Kuang, C.; Zhu, D.; He, L.; Mao, X.; Liang, H.; Song, H. Influence of sea level rise on saline water intrusion in the Yangtze River Estuary, China. *Appl. Ocean Res.* **2016**, *54*, 12–25. doi: 10.1016/j.apor.2015.11.002.
2. Zeng, X.; Dong, J.; Wang, D.; Wu, J.; Zhu, X.; Xu, S.; Zheng, X.; Xin, J. Identifying key factors of the seawater intrusion model of Dagu river basin, Jiaozhou Bay. *Environ. Res.* **2018**, *165(9)*, 425–430. doi: 10.1016/j.envres.2017.10.039.
3. Wang, J.; Li, L.; He, Z.; Kalhor, N.A.; Xu, D. Numerical modelling study of seawater intrusion in Indus River Estuary, Pakistan. *Ocean Eng.* **2019**, *184(5)*, 74–84, doi: 10.1016/j.oceaneng.2019.05.029.
4. Phùng, N.K.; Bậy, N.T.; Kim, T.T.; Tuấn, L. N. Nguy cơ xâm nhập mặn các sông chính tỉnh Đồng Nai trong bối cảnh biến đổi khí hậu và nước biển dâng. *Tap chí Khí tượng Thủy văn* **2017**, *6*, 18–28.
5. Phùng, L.T.; Phùng, N.K.; Nam, B.C.; Hoàng, T.X.; Tuấn, L.N. Ảnh hưởng của biến đổi khí hậu đến xâm nhập mặn ở tỉnh Vĩnh Long. *Tap chí khoa học biến đổi khí hậu* **2017**, *2(6)*, 61–69.
6. Vinh, G.V.; Dũng, Đ.V.; Hải, N. H.; Đức, N.N. Nghiên cứu đánh giá tác động của các hồ đập thủy điện ở thượng nguồn sông Mê công đến xâm nhập mặn ở đồng bằng sông Cửu Long. *Tap chí Khí tượng Thủy văn* **2018**, *1*, 29–35.
7. Bảo, Đ.P. Xây dựng công nghệ dự báo dòng chảy cạn, xâm nhập mặn cho hệ thống sông Vu Gia - Thu Bồn. *Tap chí Khí tượng Thủy văn* **2017**, *3*, 48–55.
8. Sơn, H.T.; Lan, V.T.T.; Tuấn, H.N. Diễn biến xâm nhập mặn vùng hạ lưu hệ thống sông Vu Gia - Thu Bồn. *Tap chí Khí tượng Thủy văn* **2018**, *686*, 37–45.
9. Tri, D.Q.; Thai, T.H. Adaptation to Climate Change on the Saltwater Intrusion in Estuaries. LAP LAMBERT Academic Publishing, OmniScriptum GmbH & Co. KG, BahnhofstraBe 28, 66111 Saarbrücken Germany, 2017, pp. 60. ISBN: 978-3-330-02908-8.
10. Thai, T.H.; Dai, H.V.; Tri, D.Q. Application Couple Model in Saltwater Intrusion Forecasting in Estuary. LAP LAMBERT Academic Publishing, OmniScriptum GmbH & Co. KG, BahnhofstraBe 28, 66111 Saarbrücken Germany, 2017, pp. 124. ISBN: 978-3-659-82088-5.
11. Hiền, N.T. Đánh giá ảnh hưởng của xâm nhập mặn đến hạ lưu sông Cà trong bối cảnh biến đổi khí hậu. *Tap chí Khí tượng Thủy văn* **2020**, *709(1)*, 13–24. doi: 10.36335/vnjhm.2020(709).13-24.
12. Tri, D.Q.; Tuyet, Q.T.T. Effect of Climate change on the Salinity Intrusion: Case Study Ca River Basin, Vietnam. *J. Clim. Change* **2016**, *2(1)*, 91–101. <http://dx.doi.org/10.3233/JCC-160010>.

13. Tri, D.Q.; Don, N.C.; Ching, C.Y.; Mishra, P.K. Modeling the influence of river flow and salinity intrusion processing in the Mekong river estuary, Vietnam. *Lowland Technol. Int.* **2014**, 16(1), 14–25.
14. Trí, Đ.Q. Ứng dụng mô hình MIKE 11 mô phỏng và tính toán xâm nhập mặn cho khu vực Nam Bộ. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* **2016**, 671, 39–46.
15. Hải, Đ.V.; Huệ, L.T.; Trí, Đ.Q. Nghiên cứu ứng dụng mô hình hóa xây dựng phần mềm dự báo lũ, xâm nhập mặn sông Cửu Long hiển thị kết quả dự báo mặn lên Google Earth. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* **2020**, 710, 33–42. doi: 10.36335/vnjhm.2020(710).33-42.
16. DHI Water & Environment. MIKE 11 A modelling system for Rivers and Channels, User Guide, 2014.
17. Denmark Hydraulic institute (DHI). MIKE 11 Reference Manual, 2014, pp. 90.
18. Denmark Hydraulic institute (DHI). MIKE 11 User Manual, 2014, pp. 90.
19. Trục tuyến: https://namdinh.gov.vn/portal/Pages/dieu_kien_tu_nhien.aspx
20. Đào, N.V. Nghiên cứu đánh giá rủi ro xâm nhập mặn khu vực ven biển Thái Bình - Nam Định ứng với các kịch bản mực nước triều và nước biển dâng. Luận án tiến sĩ kỹ thuật, Trường Đại học Thủy lợi, 2023.

Applying the MIKE 11 model to simulate the process of saltwater intrusion in the coastal area of Nam Dinh province

Duong Van Hung¹, Vu Thi Hoa^{1*}, Tran Van Giap¹, Vo Van Hoa², Doan Quang Tri³

¹ Nam Dinh Province Center Hydro-meteorological Center; hungkttv@gmail.com; vuhoakhtn@gmail.com; trangiap2010@gmail.com

² Northern Delta and Midland regional Hydro-Meteorological Center, Vietnam Meteorological and Hydrological Administration; vovanhoa80@yahoo.com

³ Information and Data Center, Vietnam Meteorological and Hydrological Administration; doanquangtrikttv@gmail.com

Abstract: The Red River Delta is one of the areas with the main agricultural industry. Currently, the coastal areas of Nam Dinh province are increasingly threatened by the phenomenon of increasingly saltwater intrusion. The study applied the MIKE 11 model to simulate hydraulics and the saltwater intrusion process in the coastal area of Nam Dinh province with calibration results in 2022 and calibration results in 2023. The results show that are relatively consistent with the NASH criteria arrangement from 0.70-0.78, correlation coefficient $R^2 = 0.8-0.92$. Results according to two scenarios corresponding to low frequency of 90% and tidal frequency of 10%; The low frequency of 95% and the frequency of tides of 5% show that the river system in Nam Dinh province is experiencing high salinity levels, with salinity intrusion increasingly penetrating into the interior of the field.

Keywords: MIKE 11; Saltwater intrusion; Nam Dinh province.

Bài báo khoa học

Xây dựng công cụ và hệ thống giám sát đất nhiễm mặn tại tỉnh Bến Tre

Nguyễn Trọng Nhân^{1*}, Lê Thiên Bảo¹

¹ Đại Học Tài Nguyên và Môi Trường Thành Phố Hồ Chí Minh;
ntnhan@hcmunre.edu.vn; ltbao@hcmunre.edu.vn

*Tác giả liên hệ: ntnhan@hcmunre.edu.vn; Tel.: +84-353164470

Ban Biên tập nhận bài: 5/11/2023; Ngày phản biện xong: 14/12/2023; Ngày đăng bài: 25/3/2024

Tóm tắt: Đất nhiễm mặn là một trong những nguyên nhân gây ảnh hưởng mạnh mẽ đến chất lượng đất trồng, điển hình tại các khu vực giáp biển của tỉnh Bến Tre. Để giám sát quá trình đất nhiễm mặn xảy ra trên diện rộng, nghiên cứu này ứng dụng lập trình GIS để xây dựng công cụ tự động giúp phân vùng nhiễm mặn trong đất bằng phương pháp nội suy IDW trên các điểm đo mặn. Kết quả thành lập bản đồ đất nhiễm mặn cho thấy, phương pháp nội suy IDW được sử dụng khá hiệu quả để mô phỏng bề mặt mặn với hệ số xác định giữa giá trị đo mặn và giá trị nội suy là $R^2 = 0,81$. Bên cạnh đó, mức độ nhiễm mặn cao tập trung tại các huyện ven biển và diện tích đất mặn toàn tỉnh chiếm 41,4% trên tổng diện tích tự nhiên. Nhằm kịp thời đưa ra cảnh báo về mức độ ảnh hưởng bởi mặn, trang WebGIS được xây dựng với chức năng tra cứu và cung cấp số liệu thống kê đất mặn cho từng huyện, cũng như xác định khu vực có mức độ nhiễm mặn cao tại tỉnh Bến Tre.

Từ khóa: Công cụ; Độ mặn; IDW; GIS; WebGIS.

1. Giới thiệu

Đất nhiễm mặn là một trong những yếu tố ảnh hưởng đến sự tăng trưởng của cây trồng. Để giám sát đất nhiễm mặn các nhà nghiên cứu trong và ngoài nước đã áp dụng nhiều phương pháp khác nhau và mang lại hiệu quả cho từng khu vực. Cụ thể, phương pháp cảm ứng điện từ (*EMI - Electromagnetic induction*) được sử dụng dựa vào giá trị độ dẫn điện *E_{Ca}* (*Apparent Electrical Conductivity*) để xác định độ mặn trong đất tại vùng phía bắc của biển Caspian giáp Nga và Kazakhstan. Mặc dù đem lại kết quả nhanh chóng nhưng không thể đánh giá chính xác kết quả đo khi độ ẩm thấp [1–3] do độ dẫn điện phụ thuộc vào độ mặn của đất, độ xốp và hạt phù sa trong đất [4]. Độ dẫn điện của đất bị ảnh hưởng bởi các đặc tính hoá lý bao gồm muối hoà tan, hàm lượng khoáng chất, hàm lượng nước trong đất ... Tận dụng đó, phương pháp đo *E_{Ca}* được sử dụng để thành lập các bản đồ giám sát các đặc tính thổ nhưỡng, trong đó có giám sát độ mặn của đất đánh giá chất lượng đất nông nghiệp [5]. Cùng với sự phát triển của công nghệ viễn thám, các kênh phổ của ảnh vệ tinh mang thông tin của các đối tượng trên bề mặt Trái Đất cho phép gián tiếp xác định mức độ đất nhiễm mặn thông qua các chỉ số thực vật như chỉ số *EVI - Enhanced Vegetation Index*, áp dụng tại Western San Joaquin Valley (*California*) cho thấy chỉ số *EVI* đánh giá tốt trong việc thành lập bản đồ đất nhiễm mặn dựa vào sự phát triển của thực vật tại khu vực này [6]. Sự kết hợp các chỉ số thực vật, chỉ số mặn với phương pháp *E_{Ca}* đo độ dẫn điện để xây dựng các mô hình hồi quy là một phương pháp hữu ích trong giám sát chất lượng đất như ứng dụng chỉ số *CRSI (Canopy Response Salinity Index)* tại Lezíria Grande, Portugal có mối tương quan cao với $r = -0,787$ và hệ số xác định $R^2 > 0,6$ [7]. Tuy nhiên, tùy vào địa lý của từng khu vực sẽ

có thảm thực vật khác nhau cũng như khác biệt về sự tác động của các yếu tố tự nhiên như địa hình, lượng mưa, nhiệt độ, thổ nhưỡng, sông ngòi ... đã phần nào gây khó khăn trong việc chọn lựa chỉ số viễn thám để giám sát độ mặn. Bên cạnh đó, GIS được xem như là một công cụ quan trọng trong phân tích không gian hỗ trợ xây dựng bề mặt liên tục trên diện rộng nhờ vào các thuật toán nội suy như IDW (*Inverse Distance Weighted*) được sử dụng khá hiệu quả tại East of Nile Delta (*Egypt*) trong giám sát độ mặn của đất, song song đó, để đảm bảo độ chính xác cần xem xét nồng độ tổng lượng muối độc hại và thành phần hóa học của muối [8].

Bên cạnh đó, một số nghiên cứu trong nước cũng tiến hành đánh giá hạn mặn ảnh hưởng đến đất nông nghiệp tại huyện Ba Tri tỉnh Bến Tre, nghiên cứu này đã sử dụng thuật toán nội suy IDW các điểm đo mặn để phân vùng đất nhiễm mặn và phân ngưỡng chịu mặn của cây lúa. Kết quả đánh giá cho thấy, đất nhiễm mặn với ngưỡng $EC \geq 2dS/m$ lan rộng hầu hết khu vực nghiên cứu [9]. Thuật toán Machine Learning cũng được áp dụng trong phân vùng mức độ nhiễm mặn tại Bến Tre trên ảnh vệ tinh Sentinel 1 như nghiên cứu khảo sát xây dựng các mô hình Multilayer Perceptron Neural Networks (MLP-NN), Radial Basis Function Neural Networks (RBF-NN), Gaussian Processes (GP), Support Vector Regression (SVR), và Random Forests. Trong đó, mô hình Gaussian Processes là mô hình tốt nhất để phân vùng đất nhiễm mặn với sai số RMSE = 2,885, MAE = 1,897 và hệ số tương quan $r = 0,808$ [10]. Mặt khác, kết quả nghiên cứu khác cho rằng thuật toán Random Forest với phân cực VV phù hợp phân vùng mức độ đất nhiễm mặn ($R^2 = 0,830$) [11]. Tuy nhiên, việc nghiên cứu khả năng sử dụng các thuật toán tiên tiến còn hạn chế về mặt thời gian khảo sát các mô hình để tìm ra mô hình tối ưu nhất và phụ thuộc nhiều vào bộ mẫu dữ liệu. Để giám sát hiệu quả cần xây dựng một hệ thống WebGIS truy cập trực tuyến thể hiện sự phân bố không gian vùng nhiễm mặn như trong nghiên cứu xây dựng hỗ trợ quản lý và khai thác công trình thủy lợi tại Bến Tre được phát triển bằng công nghệ mã nguồn mở GeoServer đã sử dụng kết quả nội suy các trạm quan trắc độ mặn để theo dõi mức độ mặn theo thời gian thu thập [12]. Nghiên cứu khác xây dựng Earth Engine Apps giám sát đất nhiễm mặn cũng cung cấp các chức năng truy vấn thông tin vùng nhiễm mặn, thống kê diện tích và được publish miễn phí nhưng tính bảo mật không đảm bảo [11]. Xuất phát từ những phân tích trên cho thấy các phương pháp nghiên cứu đều có ưu và nhược điểm riêng nhưng song song đó, để giám sát vùng nhiễm mặn một cách tự động và nhanh chóng, nghiên cứu này tiến hành xây dựng công cụ tự động thực hiện nội suy bề mặt đất nhiễm mặn trên diện rộng với mật độ điểm dày để làm cơ sở dữ liệu cho công tác xây dựng hệ thống WebGIS giám sát đất nhiễm mặn bằng công nghệ mã nguồn mở.

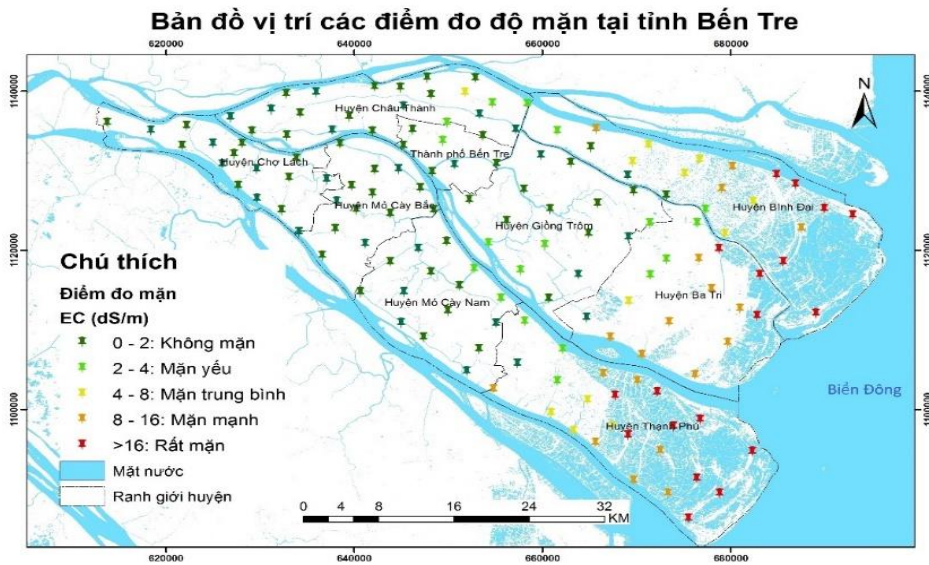
Do một số điều kiện tự nhiên bất lợi, Bến Tre trở thành một trong những tỉnh thường xuyên xảy ra các đợt hạn mặn khốc liệt tại đồng bằng Sông Cửu Long [10–11]. Hầu hết các huyện của Bến Tre có địa hình thấp với độ cao trung bình so với mặt nước biển là 1-2 m. Hệ thống sông ngòi dày đặc (Hình 1) đã phần nào tạo điều kiện thuận lợi cho nước biển dễ dàng xâm nhập sâu vào đất liền làm suy yếu độ phì nhiêu của đất và tăng nồng độ ion muối trong đất đẩy mạnh quá trình đất nhiễm mặn trên diện rộng. Bên cạnh đó, Bến Tre mang khí hậu nhiệt đới gió mùa và mùa khô thường kéo dài từ tháng 12 đến tháng 4 và mùa mưa từ tháng 5 đến tháng 11 với nhiệt độ trung bình là 27°C và lượng mưa trung bình hằng năm từ 1200 mm đến 1500 mm [10]. Dân số tại Bến Tre vào năm 2022 là 1.298.006 người và 89,75% dân cư tập trung đông đúc ở khu vực nông thôn và giáp biển [13], chủ yếu sinh sống bằng các hoạt động sản xuất nông nghiệp và nuôi trồng thủy hải sản. Diện tích tự nhiên của tỉnh là 2360,2 km² với 75,4% tổng diện tích là đất nông nghiệp bao gồm đất trồng lúa, đất nuôi trồng thủy sản và đất khác [10,14]. Vào mùa khô giai đoạn 2015–2016, độ mặn đột ngột tăng cao với 4‰ và xâm nhập rất sâu vào nội đồng với thiệt hại ước tính cho ngành nông nghiệp là 1.800 tỉ đồng. Không dừng lại ở đó, tỉnh Bến Tre lại tiếp tục đối mặt với đợt hạn mặn khốc liệt nhất trong lịch sử vào mùa khô giai đoạn 2019-2020 với độ mặn tăng 2‰ trên diện rộng bao phủ cả tỉnh trong thời gian dài và có thời điểm tăng trên 5‰ ước tính giá trị thiệt hại khoảng 1.660 tỉ đồng cho ngành nông nghiệp của tỉnh [15]. Đất nhiễm mặn được xem là vấn

đề đáng quan tâm trong bối cảnh biến đổi khí hậu toàn cầu hiện nay. Chính vì vậy, bài báo nghiên cứu theo hướng xây dựng công cụ phân vùng nhiễm mặn tại tỉnh Bến Tre một cách tự động và xây dựng hệ thống WebGIS cung cấp thông tin về mức độ nhiễm mặn cho người dân kịp thời chuyển đổi cơ cấu mùa vụ, cơ cấu cây trồng và tăng cường hệ thống canh tác nhằm thích nghi với hạn mặn.

2. Số liệu sử dụng và phương pháp nghiên cứu

2.1. Số liệu sử dụng

Nghiên cứu sử dụng dữ liệu độ mặn trong đất bao gồm 150 điểm (hay độ dẫn điện - EC, đơn vị dS/m) được lấy mẫu đất trực tiếp ngoài thực địa (Hình 1) vào mùa khô tháng 4/2018 ở độ sâu từ 0-30 cm tại các huyện của tỉnh Bến Tre do Viện Địa Lý Tài Nguyên TP. Hồ Chí Minh thực hiện.



Hình 1. Vị trí các điểm đo mặn và ranh giới tỉnh Bến Tre.

2.2. Phương pháp thực hiện

Nghiên cứu sử dụng các điểm độ mặn thông qua đo độ dẫn điện EC của đất với độ sâu các mẫu từ 0-30 cm nhằm xác định mức độ đất nhiễm mặn tại Bến Tre. Ứng dụng công nghệ GIS hỗ trợ phân tích không gian xây dựng bề mặt liên tục đất nhiễm mặn trên diện rộng bằng thuật toán nội suy IDW (*Inverse Distance Weighted*). Đây là một kỹ thuật nội suy bề mặt đơn giản và phổ biến với khả năng tính trung bình trọng số khoảng cách của những điểm đã biết giá trị trong vùng lân cận với mỗi pixel giúp xác định giá trị của các điểm chưa biết [16–17]. Công thức tính trọng số (1):

$$Z_0 = \frac{\sum_{i=1}^N Z_i * d_1^{-n}}{\sum_{i=1}^N d_1^{-n}} \quad (1)$$

Trong đó Z_0 là giá trị ước tính; Z_i là giá trị điểm đo; d_1 là khoảng cách của điểm mẫu để ước tính; N là hệ số xác định trọng số dựa trên khoảng cách [9].

Để giải quyết nhanh chóng bài toán GIS, bài báo đã lập trình với ngôn ngữ Python - một ngôn ngữ lập trình máy tính bậc cao được sử dụng rộng rãi trong các ứng dụng Web, phát triển phần mềm, khoa học dữ liệu và học máy. Trên nền tảng GIS, Python được tích hợp trong phần mềm ArcMap Desktop hỗ trợ xây dựng công cụ xử lý và phân tích dữ liệu GIS.

Bên cạnh đó, hệ thống WebGIS giám sát đất nhiễm mặn được xây dựng bằng công nghệ mã nguồn mở GeoServer có vai trò là cầu nối trung gian giữa cơ sở dữ liệu (*database*) với Web Server cho phép kết nối dữ liệu không gian địa lý có sẵn đến Web. Nghiên cứu được tiến hành theo 2 giai đoạn và mô tả theo quy trình hình 2.

Một là sử dụng ngôn ngữ lập trình Python kết hợp thư viện ArcPy để xây dựng công cụ thực hiện tự động nội suy và phân vùng bề mặt mặn. Dựa trên giá trị của các mẫu khảo sát điểm đo mặn dày đặc và có sự phân bố không gian đồng đều trên toàn khu vực Bến Tre, nghiên cứu tiến hành sử dụng 70% tổng điểm để xây dựng bề mặt liên tục đất nhiễm mặn bằng thuật toán IDW. Bên cạnh đó, để phân vùng nhiễm mặn nghiên cứu căn cứ vào giá trị phân ngưỡng độ mặn trong đất của một số nghiên cứu trong và ngoài nước [6,9–11,18] cho thấy đất không nhiễm mặn nằm trong khoảng $EC < 2$ dS/m, còn lại là đất bị nhiễm mặn theo các mức độ khác nhau như mặn yếu: $2 \leq EC < 4$ dS/m, mặn trung bình: $4 \leq EC < 8$ dS/m, mặn nhiều: $8 \leq EC < 16$ dS/m và rất mặn: $EC \geq 16$ dS/m.

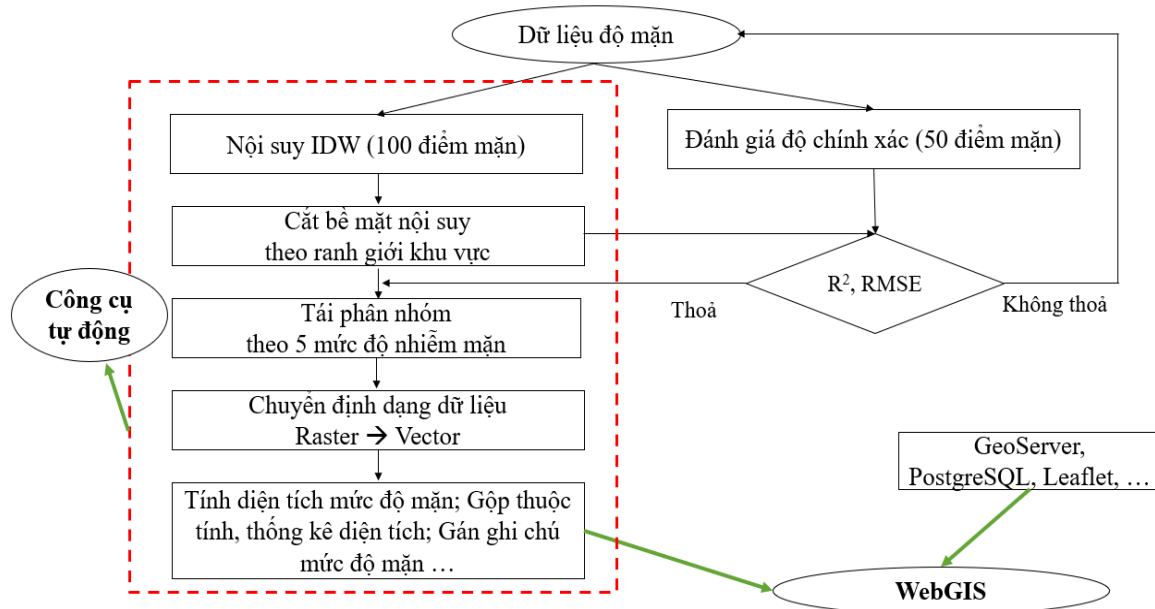
Để xử lý và phân tích dữ liệu tự động, nghiên cứu sử dụng các hàm và module được tích hợp trong thư viện Arcpy là một thư viện tích hợp giữa GIS và ngôn ngữ lập trình Python cung cấp nhiều tính năng xử lý tự động như hiển thị, truy vấn và phân tích dữ liệu không gian địa lý [19]. Ngoài ra, nghiên cứu sử dụng phần mềm PythonWin để soạn thảo đoạn code nhờ sự tích hợp thư viện ArcPy đã hỗ trợ người dùng xử lý và phân tích dữ liệu bằng các hàm/module. Sau đó, tiến hành xây dựng công cụ trong hộp Toolbox.tbx bao gồm đặt tên công cụ, thêm đoạn code và thiết lập các thông số cho dữ liệu đầu vào và đầu ra tương ứng theo kiểu dữ liệu mặc định. Cuối cùng kiểm tra chạy thử công cụ và hiển thị công cụ lên thanh menu bar hoặc thêm vào ArcToolbox để lưu công cụ. Cụ thể trong nghiên cứu này đã sử dụng một số hàm và được thực hiện theo các bước như sau (Bảng 1).

Bảng 1. Hàm xử lý, phân tích dữ liệu của thư viện Arcpy qua các bước thực hiện.

Bước thực hiện	Hàm/Module
1. Nhập dữ liệu đầu vào các điểm đo mặn	<code>GetParameterAsText(index)</code>
2. Nội suy IDW theo giá trị độ mặn	<code>Idw_3d(in_point_features,z_field,out_raster,cell_size)</code>
3. Cắt bề mặt nội suy theo ranh giới	<code>gp.ExtractByMask_sa(in_raster, in_mask_data, out_raster)</code>
4. Tái phân nhóm và gán ID = 1,2,3,4,5 cho từng mức độ mặn	<code>gp.Reclassify_sa(in_raster,reclass_field,remap,reclassify)</code>
5. Chuyển đổi dữ liệu Raster sang Vector	<code>RasterToPolygon_conversion(in_raster, out_polygon_features...)</code>
6. Chồng lớp giữa vector mặn với ranh giới huyện để lấy thông tin thuộc tính tên huyện	<code>Intersect_analysis(in_features;in_features..., out_feature_class)</code>
7. Thêm cột “dientich” và tính diện tích vùng nhiễm mặn	<code>AddField_management(in_table,field_name, field_type, {field_precision}, {field_scale} ...)</code> <code>CalculateField_management(in_table,field, expression, {expression_type}, {code_block}).</code> Trong đó: expression sử dụng hàm <code>shape.area</code> để tính diện tích (với đơn vị mặc định: m ²)
8. Gộp đối tượng theo thuộc tính (tên huyện, mã ID mức độ mặn) và thống kê diện tích	<code>Dissolve_management(in_features, out_feature_class, {dissolve_field;dissolve_field...}, {statistics_fields;statistics_fields...}, {multi_part})</code>
9. Thêm cột (text) “mucdoman” thể hiện mức độ đất nhiễm mặn	<code>AddField_management(in_table, field_name, field_type, {field_precision}, {field_scale}...)</code>
10. Gán tự động cho từng loại đất mặn theo ID bằng cách xây dựng hàm và kết hợp với điều kiện <i>if</i> thực hiện trong cột “mucdoman” (bước 9)	<pre>def class(x): if x == 1: return "Không mặn" elif x == 2: return "Mặn yếu" elif x == 3: return "Mặn trung bình" elif x == 4: return "Mặn nhiều" else: return "Rất mặn"</pre>

Mặt khác, còn lại 30% điểm mặn được sử dụng để đánh giá kết quả nội suy bằng hệ số xác định R^2 là một trong những chỉ số thống kê để đánh giá chất lượng mô hình không gian. Giá trị R^2 nằm trong khoảng [0;1] càng về gần giá trị 1 chứng tỏ thuật toán có độ tin cậy cao. Ngoài ra nghiên cứu này còn sử dụng căn bậc hai của sai số toàn phương trung bình (*RMSE* - *Root Mean Square Error*) để cho thấy giá trị sai lệch giữa tập giá trị đo thực tế và giá trị được xác định từ thuật toán mô phỏng [11].

Hai là, xây dựng hệ thống WebGIS bằng công nghệ mã nguồn mở GeoServer cho phép kết nối dữ liệu không gian địa lý có sẵn tới Web nhờ sử dụng chuẩn mở OGC (*Open Geospatial Consortium*), hỗ trợ chia sẻ và chỉnh sửa dữ liệu và nhiều tiện ích khác [20, 21]. Kết hợp với thư viện Leaflet cho phép hiển thị dữ liệu bản đồ nhanh chóng, xây dựng các chức năng tương tác với bản đồ như phóng to thu nhỏ, di chuyển bản đồ, định vị, thể hiện tỉ lệ, tọa độ địa lý,... Để xây dựng cơ sở dữ liệu (CSDL), nghiên cứu sử dụng hệ quản trị cơ sở dữ liệu quan hệ đối tượng PostgreSQL cung cấp phần mở rộng PostGIS có khả năng hỗ trợ các đối tượng không gian địa lý để thực hiện các chức năng truy vấn, phân tích không gian [22]. Nhờ đó, thuận lợi cho việc trích xuất dữ liệu dễ dàng từ CSDL bằng các lệnh SQL kết hợp PHP và JavaScript. Bên cạnh đó, giao diện Web được thiết kế và xây dựng bằng ngôn ngữ HTML, CSS và thư viện Bootstrap giúp tạo ra giao diện dễ sử dụng và thân thiện với người dùng.

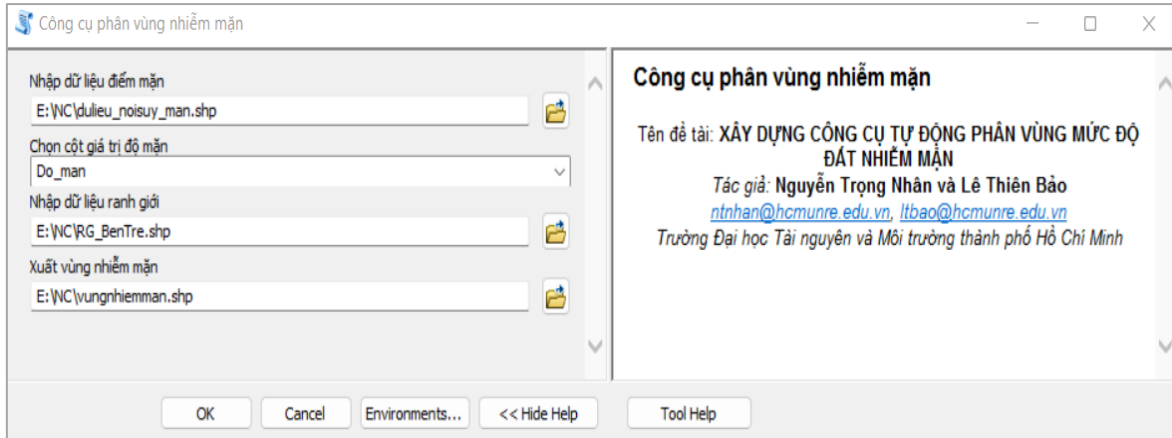


Hình 2. Quy trình thực hiện.

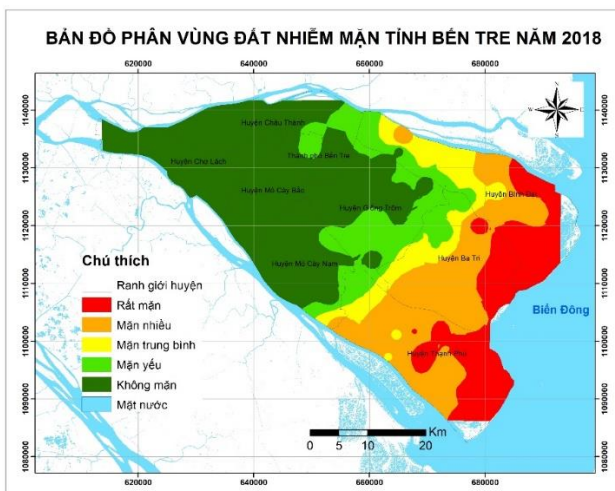
3. Kết quả và thảo luận

3.1. Kết quả xây dựng công cụ tự động phân vùng nhiễm mặn

Nhờ vào sự hỗ trợ của thư viện ArcPy, nghiên cứu đã thành công xây dựng công cụ có chức năng phân vùng đất nhiễm mặn một cách tự động được thể hiện qua hình 3. Giao diện của công cụ được thiết kế đơn giản và dễ sử dụng vì có mô tả nội dung cho từng dữ liệu đầu vào và đầu ra. Trong đó, yêu cầu cho đầu vào bao gồm dữ liệu các điểm đo mặn có chứa trường thuộc tính giá trị độ mặn (hay độ dẫn điện EC) với định dạng (*.shp) và ranh giới huyện (*.shp) để cắt bề mặt nội suy. Sản phẩm đầu ra với phần dữ liệu không gian là vùng nhiễm mặn có định dạng (*.shp) được thể hiện màu tự động theo 5 mức độ mặn (Hình 4) và phần dữ liệu thuộc tính (Hình 5) thể hiện diện tích độ mặn được thống kê tự động theo từng huyện (qua bước 7,8 trong bảng 1). Đồng thời, kết quả này cũng là cơ sở dữ liệu để xây dựng WebGIS cung cấp thông tin về mức độ mặn.



Hình 3. Công cụ tự động phân vùng nhiễm mặn.

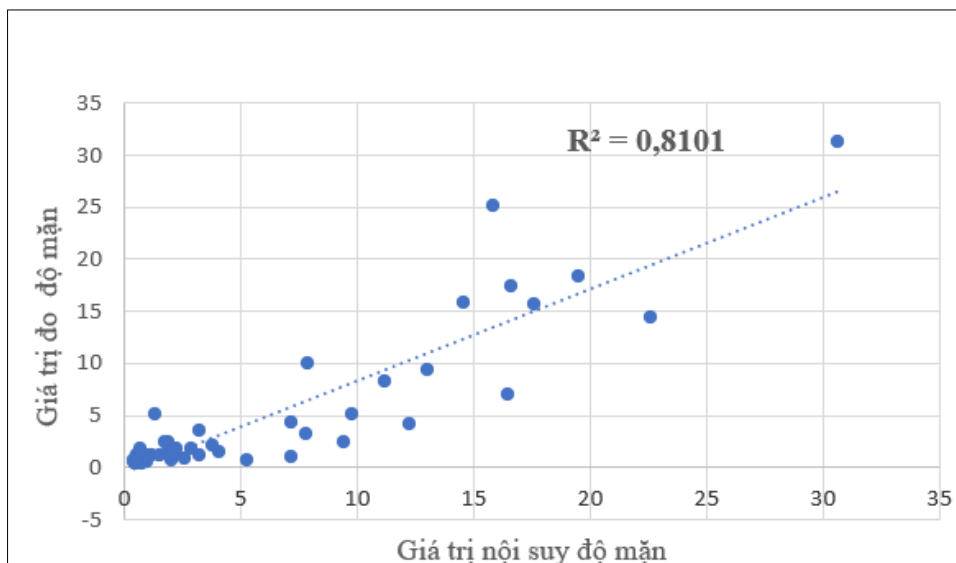


Hình 4. Bản đồ phân vùng đất nhiễm mặn.

FID	Shape *	qidcode	tenhuyen	mucdoman	DienTich
0	Polygon	2	Ba Tri	Mặn yếu	45,339
1	Polygon	3	Ba Tri	Mặn trung bình	54,585
2	Polygon	4	Ba Tri	Mặn nhiều	174,761
3	Polygon	5	Ba Tri	Rất mặn	78,196
4	Polygon	1	Ben Tre	Không mặn	56,74
5	Polygon	2	Ben Tre	Mặn yếu	15,195
6	Polygon	1	Binh Dai	Không mặn	3,819
7	Polygon	2	Binh Dai	Mặn yếu	55,908
8	Polygon	3	Binh Dai	Mặn trung bình	91,707
9	Polygon	4	Binh Dai	Mặn nhiều	93,15
10	Polygon	5	Binh Dai	Rất mặn	128,952
11	Polygon	1	Chau Thanh	Không mặn	180,898
12	Polygon	2	Chau Thanh	Mặn yếu	31,939
13	Polygon	1	Cho Lach	Không mặn	164,656
14	Polygon	1	Giong Trom	Không mặn	175,636
15	Polygon	2	Giong Trom	Mặn yếu	130,703
16	Polygon	3	Giong Trom	Mặn trung bình	5,897
17	Polygon	1	Mo Cay Bac	Không mặn	166,201
18	Polygon	1	Mo Cay Nam	Không mặn	191,765
19	Polygon	2	Mo Cay Nam	Mặn yếu	28,164
20	Polygon	3	Mo Cay Nam	Mặn trung bình	7,793
21	Polygon	4	Mo Cay Nam	Mặn nhiều	3,562
22	Polygon	1	Thanh Phu	Không mặn	0,006
23	Polygon	2	Thanh Phu	Mặn yếu	25,126
24	Polygon	3	Thanh Phu	Mặn trung bình	27,213
25	Polygon	4	Thanh Phu	Mặn nhiều	193,947
26	Polygon	5	Thanh Phu	Rất mặn	150,327

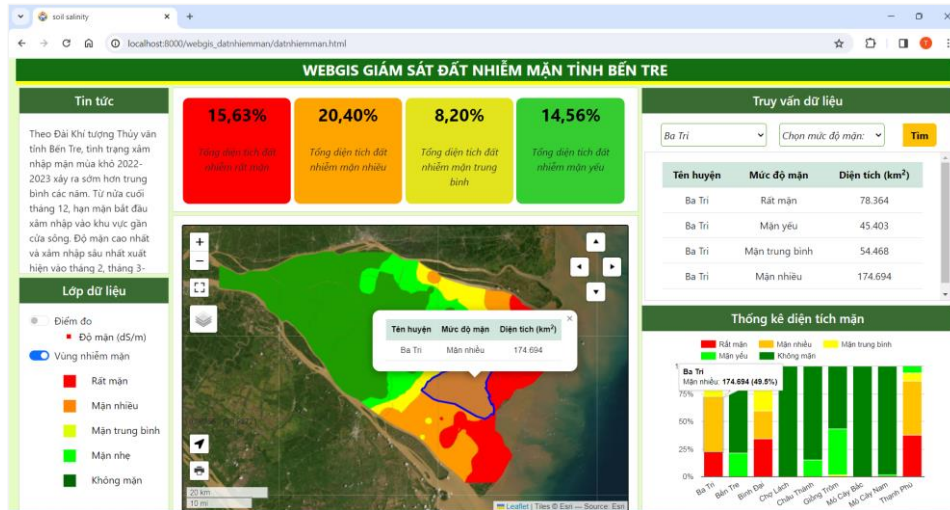
Hình 5. Bảng thống kê diện tích mặn.

Qua trích xuất giá trị các điểm mặn được nội suy bằng thuật toán IDW kết hợp với các điểm đo độ mặn ngoài thực tế, nghiên cứu đã xây dựng biểu đồ Scatter (Hình 6) cho thấy giữa giá trị mặn nội suy và giá trị đo có mối quan hệ tương quan thuận với hệ số xác định $R^2 = 0,81$ và sai số RMSE = 3,291. Điều này khẳng định rằng thuật toán IDW giúp nội suy bề mặt mặn đem lại kết quả khá hiệu quả và đồng thời chứng minh tính khả thi của công cụ trên.



Hình 6. Mối quan hệ giữa giá trị nội suy và đo mặn.

3.2. Kết quả xây dựng WebGIS giám sát vùng nhiễm mặn



Hình 7. Giao diện WebGIS giám sát đất nhiễm mặn.

WebGIS đã được xây dựng và thử nghiệm chạy trên localhost để giám sát vùng nhiễm mặn khu vực tỉnh Bến Tre thể hiện qua hình 7. Về giao diện WebGIS: phía bên trái chứa mục tin tức về dự báo tình hình nhiễm mặn; quản lý các lớp dữ liệu (bật tắt layer để xem bản đồ). Phần chính giữa chứa con số thống kê về phần trăm diện tích theo các mức độ mặn và bên dưới là thể hiện các lớp bản đồ chính, bản đồ nền và các chức năng tương tác. Phía bên phải bao gồm phân truy vấn dữ liệu và biểu đồ thống kê diện tích mặn qua các huyện. Về chức năng WebGIS bao gồm: thứ nhất là nhóm chức năng quản lý dữ liệu cho phép người dùng bật tắt để xem bản đồ cũng như các lớp dữ liệu khác, bên cạnh đó, còn hỗ trợ hiển thị thông tin mặn khi click vào bản đồ chính. Thứ hai là nhóm chức năng truy vấn dữ liệu mặn theo từng huyện hoặc từng mức độ mặn, mặt khác, hỗ trợ chế độ tự động di chuyển và phóng to đối tượng trên bản đồ khi thực hiện click vào kết quả của bảng truy vấn. Thứ ba là chức năng tương tác bản đồ như phóng to thu nhỏ và di chuyển bản đồ, xem toàn màn hình. Ngoài ra, biểu đồ cột được xây dựng để thống kê diện tích mặn theo từng huyện, cho thấy huyện Thạnh Phú, Bình Đại, Ba Tri là một trong những huyện có diện tích mặn cao vì khu vực này giáp biển có hệ thống sông ngòi chằng chịt, địa hình thấp cũng phần nào đẩy mạnh quá trình nước biển dâng và xâm nhập sâu vào nội đồng.

4. Kết luận

Kết quả thực nghiệm cho thấy, công cụ tự động nội suy và thống kê diện tích mặn theo từng huyện thực hiện một cách nhanh chóng bằng ngôn ngữ lập trình Python và thư viện ArcPy. Bản đồ phân vùng đất nhiễm mặn được nội suy bằng thuật toán IDW mang lại kết quả tin cậy với hệ số xác định $R^2 = 0,81$ và sai số RMSE = 3,329. Đồng thời, WebGIS cũng được xây dựng để cung cấp thông tin về mức độ nhiễm mặn và phân bố không gian. Qua đó cho thấy việc xây dựng công cụ bằng ứng dụng GIS là một tiền đề giúp tự động hoá quy trình thực hiện và cũng như xây dựng WebGIS sẽ giúp ích cho công tác quản lý và giám sát tài nguyên và môi trường trong bối cảnh biến đổi khí hậu hiện nay.

Mặc dù nghiên cứu vẫn còn tồn tại một số hạn chế như công cụ chưa thực hiện tự động đánh giá độ chính xác sau khi nội suy. Tuy nhiên, nghiên cứu đã chứng minh được sự tiện ích khi xây dựng được công cụ tự động phân vùng đất nhiễm mặn và thực nghiệm tại Bến Tre. Bên cạnh đó, quá trình nội suy đất nhiễm mặn còn phụ thuộc nhiều vào các điểm đo mặn và chỉ giám sát tại một thời điểm nhất định. Vì vậy, cần ứng dụng lập trình GIS xây dựng mô hình hồi quy để dự báo mức độ đất nhiễm mặn một cách tự động nhằm kịp thời cảnh báo cho dân địa phương chuyển đổi cơ cấu cây trồng thích nghi với hạn mặn dài lâu.

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

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. Konyushkova, M.V. Digital mapping of soils in solonetz complexes northern Caspian region. *Russ. Acad. Sci.* **2014**, 631(4), 640–646. (In Russian).
2. Pankova, E.I.; Konyushkova, M.V.; Gorokhov, I.N. On the problem of soil salinity assessment and the method large scale digital mapping salted soils. *Ecosyst.: Ecol. Dyn.* **2017**, 1(1), 26–54. (In Russian).
3. Vargas, R.; Pankova, E.I.; Balyuka, S.A.; Krasilnikov, P.V.; Khasankhanovo, G.M. Guide management of saline soils. Food and Agriculture Organization of the United Nations and Lomonosov Moscow State University, 2017, pp. 3–6. (In Russian).
4. Metternicht, G.I.; Zinck, J.A. Remote sensing of soil salinity: Potentials and constraints. *Remote Sens. Environ.* **2003**, 85, 1–20.
5. Corwin, D.L.; Lesch, S.M. Apparent soil electrical conductivity measurements in agriculture. *Comput Electron. Agric.* **2005**, 46, 11–43.
6. Scudiero, E.; Corwin, D.L.; Anderson, R.G.; Yemoto, K.; Clary, W.; Wang, Z.L.; Skaggs, T.H. Remote sensing is a viable tool for mapping soil salinity in agricultural lands. *Calif. Agric.* **2017**, 71(4), 231–238.
7. Tiago, B.; Nádia, C.; Ana, R.O.; Ana, M.P.; Hanaa, D.; Lucian, S.; Mohammad, F.; Maria, C.G. Soil salinity assessment using vegetation indices derived from Sentinel-2 multispectral data application to Lezíria Grande, Portugal. *Agric. Water Manage.* **2020**, 241, 106387.
8. Hammam, A.A.; Mohamed, E.S. Mapping soil salinity in the East Nile Delta using several methodological approaches of salinity assessment. *Egypt. J. Remote Sens. Space Sci.* **2020**, 125–131.
9. Vũ, T.T.; Bảo, L.T.; Nhân, N.T.; Khánh, N.V.; Tuấn, Đ.M.; Nhất, T.T. Đánh giá thiệt hại tiềm năng diện tích đất trồng lúa do hạn mặn năm 2018 ở khu vực huyện Ba Tri, tỉnh Bến Tre. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* **2023**, 749, 1–11.
10. Hoa, P.V.; Jang, N.V.; Bình, N.A.; Hai, L.V.H.; Pham, T.D.; Hasanlu, M.; Tien, B. Mapping soil salinity using SAR Sentinel-1 data and advanced machine learning algorithms: a case study in the Ben Tre Province of the Mekong Delta (Vietnam). *Remote Sens.* **2019**, 11(2), 128.
11. Nhân, N.T.; Tùng, L.H. Ứng dụng thuật toán Machine Learning trên điện toán đám mây Google Earth Engine phục vụ xây dựng WEBGIS giám sát độ mặn trong đất tỉnh Bến Tre. *Kỷ yếu hội thảo ứng dụng GIS toàn quốc*, 2022, tr. 381–387.
12. Trần, T.B. Xây dựng ứng dụng hỗ trợ quản lý và khai thác công trình thủy lợi tỉnh Bến Tre ứng phó với biến đổi khí hậu. Đề tài hợp tác với Bộ, Ngành và Địa phương cấp Viện Hàn lâm KHCNVN. 2019.
13. Cục thống kê tỉnh Bến Tre. Niên giám thông kê Bến Tre năm 2022. 2023.
14. Thuong, V.T.; Duy, X.T.; Soe, W.M.; Huang, C.Y.; Hoa, V.P.; Tung, H.L.; Tien M.T.V. Examining spatiotemporal salinity dynamics in the Mekong River Delta using Landsat time series imagery and a spatial regression approach. *Sci. Total Environ.* **2019**, 687, 1087–1097.
15. Ủy ban nhân dân tỉnh Bến Tre. Kế hoạch phòng chống, ứng phó hạn mặn tỉnh Bến Tre đến năm 2025. Quyết định số 5731/KH-UBND ngày 30/10/2020.
16. Oanh, N.T. Ứng dụng GIS và thuật toán nội suy đánh giá chất lượng môi trường không khí tại tỉnh Đồng Nai. Đại Học Nông Lâm TP. Hồ Chí Minh. 2014.

17. Hormoz, S.; Ziari, Y. To compare two interpolation methods: IDW, Kriging for Providing propertie (Area) surface interpolation map land price district 5, municipality of Tehran area1. Strategic Integration of Surveying Services, FIG Working Week. Hong Kong SAR, China, 2007, pp. 13–17.
18. Brown, J.W.; Hayward, H.E.; Richards, A.; Bernstein, L.; Hatcher, J.T.; Reeve, R.C.; Richards, L.A. Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. United States Department of Agriculture. *Agric. Handbook* **1954**.
19. ESRI. Arcpy. Truy cập ngày 10/11/2023 tại link <https://www.esri.com/en-us/arcgis/products/arcgis-python-libraries/libraries/arcpy>.
20. Phép, P.T. Ứng dụng công nghệ WebGIS mã nguồn mở phục vụ công tác quảng bá du lịch. In Khóa luận tốt nghiệp. Đại Học Nông Lâm TP. Hồ Chí Minh. 2013.
21. Bình, Đ.T.; Thành, N.S.; Hùng, N.N.; Dương, Đ.V. Ứng dụng WebGIS mã nguồn mở trong quản lý tài nguyên: Nghiên cứu điển hình tại khu vực Quỳnh Hợp, Nghệ An. *Tap chí Khoa học Tài nguyên và Môi Trường* **2020**, 23, 70–79.
22. Thanh, L.V.; Quang, T.C.; Minh, V.Q.; Lê, T. Ứng dụng công nghệ WebGIS quản lý dữ liệu thủy lợi tại thành phố Cần Thơ. *Tap chí Khoa học Trường Đại học Cần Thơ* **2014**, 39–37.

Building tools and systems for monitoring saline soil in Ben Tre province

Nguyen Trong Nhan^{1*}, Le Thien Bao¹

¹ Ho Chi Minh University of Natural Resources and Environment;
ntnhan@hcmunre.edu.vn; ltbao@hcmunre.edu.vn

Abstract: Soil salinity is one of the causes that strongly affects the quality of cultivated land, typically in coastal areas of Ben Tre province. In order to monitor the process of soil salinization occurring on a large scale, this study applies GIS programming to build an automatic tool to help partition the soil salinity by IDW interpolation on salinity measurement points. The results of mapping saline soils show that the IDW algorithm is used quite effectively to simulate the saline surface with the coefficient of determination between the measured salinity value and the interpolated value of $R^2 = 0,81$. In addition, the high level of salinity is concentrated in the coastal districts and the province's saline soil area accounts for 41.4% of the total natural area. Therefore, the project also builds a WEBGIS system with the function of looking up and providing statistics on saline soil for each district and as well as identifying areas with high levels of salinity in order to promptly issue warnings about saline intrusion affected by salinity.

Keywords: Tools; Salinity; IDW; GIS; WebGIS.

Bài báo khoa học

Đánh giá rủi ro của formaldehyde trong cá biển đánh bắt xa bờ tại tỉnh Bình Thuận đối với sức khỏe người tiêu dùng

Trần Thành Đạt¹, Cao Thị Thu Thảo², Trịnh Trọng Nguyễn³, Thái Văn Nam^{3*}

¹ Trường Cao đẳng Công Thương Thành phố Hồ Chí Minh (HITC);
dattranthanh9@gmail.com

² Phòng Tài nguyên và Môi trường Huyện Tánh Linh, Tỉnh Bình Thuận;
thuthao1007@gmail.com

³ Viện Khoa Học Ứng Dụng HUTECH, Trường Đại học Công nghệ Thành phố Hồ Chí Minh; tt.nguyen@hutech.edu.vn; tv.nam@hutech.edu.vn

*Tác giả liên hệ: tv.nam@hutech.edu.vn; Tel.: +84-945007990

Ban Biên tập nhận bài: 12/11/2023; Ngày phản biện xong: 18/12/2023; Ngày đăng bài: 25/3/2024

Tóm tắt: Nghiên cứu được thực hiện nhằm đánh giá hàm lượng formaldehyde trong các mẫu cá nục và cá ngừ được tiêu thụ tại các cảng và chợ tại Bình Thuận. Các mẫu cá được xác định hàm lượng formaldehyde bằng cách axit hóa bằng axit phosphoric rồi đem chưng cất. Formaldehyde được giải phóng dưới dạng hòa tan trong dịch cất và được phát hiện bằng phản ứng hiện màu với thuốc thử là axit cromotropic. Hàm lượng formaldehyde trong các mẫu cá biển (cá nục và cá ngừ) tại các cảng và chợ dân sinh của Bình Thuận dao động từ 2,77-4,38 mg/kg. Các mẫu cá tại chợ dân sinh có hàm lượng formaldehyde cao hơn các mẫu cá tại cảng. Kết quả nghiên cứu về mức độ rủi ro gây ung thư cho thấy các mức độ rủi ro sức khỏe đối với người dân tại các khu vực nghiên cứu dao động từ $2,23 \times 10^{-4}$ đến $3,53 \times 10^{-4}$ thuộc trong khoảng rủi ro mắc bệnh ung thư cao ($10^{-4} \leq R < 10^{-2}$) do đó cần có các biện pháp giảm thiểu nguy cơ ảnh hưởng đến sức khỏe, đặc biệt là khi phơi nhiễm kéo dài. Thương số rủi ro của ảnh hưởng không gây ung thư HQ < 1 cho thấy hàm lượng formaldehyde trong cá không có khả năng gây ra tác dụng phụ đối với con người khi tiêu thụ cá biển.

Từ khóa: Bình Thuận; Cá biển; Đánh giá rủi ro; Formaldehyde; Người tiêu dùng.

1. Đặt vấn đề

Cá biển là loại thực phẩm giàu axit béo Omega-3 và là nguồn protein động vật rẻ tiền có nhiều lợi ích cho sức khỏe con người [1–4]. Tuy nhiên, quá trình bảo quản cá biển đánh bắt xa bờ không đúng cách có thể làm thay đổi thành phần của cá, tiềm ẩn nhiều rủi ro gây hại cho sức khỏe con người, đặc biệt là rủi ro gây ung thư do sự xuất hiện của formaldehyde, đây là chất được Cơ quan Nghiên cứu Ung thư Quốc tế (IARC) xếp vào nhóm 1 là chất gây ung thư cho con người [5]. Theo [6], nhiều nhà sản xuất và kinh doanh cá cố tình thêm formaldehyde vào để làm chất bảo quản chống hư hỏng sản phẩm. Hàm lượng nhỏ formaldehyde không gây hại cho sức khỏe con người, tuy nhiên, nếu phơi nhiễm chúng trong thời gian dài, tích tụ đến một liều lượng thích hợp có thể gây ra các vấn đề về sức khỏe từ nhỏ đến nghiêm trọng như nôn mửa, hôn mê và có thể tử vong khi dùng liều lượng lớn formaldehyde [5, 7–10].

Trên thế giới đã có một số nghiên cứu về đánh giá rủi ro sức khỏe của một số thực phẩm bị nhiễm formaldehyde cụ thể là cá và hải sản [11–15]. Năm 2013, nghiên cứu [13] được thực hiện nhằm đánh giá rủi ro khi tiêu thụ các loại cá thương mại khác nhau bị nhiễm formaldehyde. Nghiên cứu này cho thấy có phát hiện hàm lượng formaldehyde trong các mẫu

cá phân tích với hàm lượng formaldehyde của 7 loại cá thương mại nằm trong khoảng 2,38-2,95 µg/g đối với tươi sống; 2,08-2,35 µg/g đối với cá luộc và 2,28-2,49 µg/g đối với cá chiên. Tuy nhiên, hàm lượng formaldehyde trong tất cả các loài cá và các trường hợp cá vẫn thấp hơn lượng quy định trong Đạo luật Thực phẩm Malaysia (1985) và Quy định Thực phẩm Malaysia (1985) rằng giá trị giới hạn tối đa đối với formaldehyde trong cá và các sản phẩm cá là 5 mg/kg. Kết quả đánh giá rủi ro cho thấy không có ảnh hưởng xấu nào đến sức khỏe con người liên quan đến việc tiêu thụ cá bị nhiễm formaldehyde. Năm 2018, Suwanarung đã phân tích hàm lượng formaldehyde bị ô nhiễm trong hải sản và thịt đông lạnh tại chợ Somdet, tỉnh Kalasin, Thái Lan. Kết quả nghiên cứu cho thấy phát hiện tất cả các mẫu đều bị nhiễm formaldehyde với hàm lượng formaldehyde trong cá thu, mực giòn, thịt gà đông lạnh, cá Saba, cá Shishamo, sứa, sò, nghêu, mực, tôm, tôm thẻ chân trắng và cá dolly lần lượt là 288; 228 293; 77; 282; 180; 120; 48; 229; 294; 295 và 293 mg/L [15]. Gần đây, năm 2022, nghiên cứu [16] đã được thực hiện để đánh giá mức độ formaldehyde trong các mẫu thịt và cá được sản xuất trong nước và nhập khẩu từ các cửa hàng thịt nằm trong đô thị Enugu, Bang Enugu ở Nigeria. Hàm lượng formaldehyde trung bình trong các mẫu cá thu ngựa nhập khẩu, cá thu nhập khẩu, cá mè sản xuất trong nước lần lượt là $12,16 \pm 0,01$; $114,22 \pm 10,25$; $106,02 \pm 8,42$ µg/g. Mức độ trung bình của formaldehyde trong các mẫu cá nằm trong đô thị Enugu đều vượt quá giới hạn cho phép được khuyến nghị, gây nguy cơ nghiêm trọng đối với sức khỏe, đặc biệt là khi phơi nhiễm kéo dài. Trong khi đó, tại Việt Nam hiện vẫn chưa có một nghiên cứu định lượng nào nhằm xác định hàm lượng formaldehyde trong cá biển và đánh giá rủi ro sức khỏe người tiêu dùng khi sử dụng cá biển nhiễm formaldehyde.

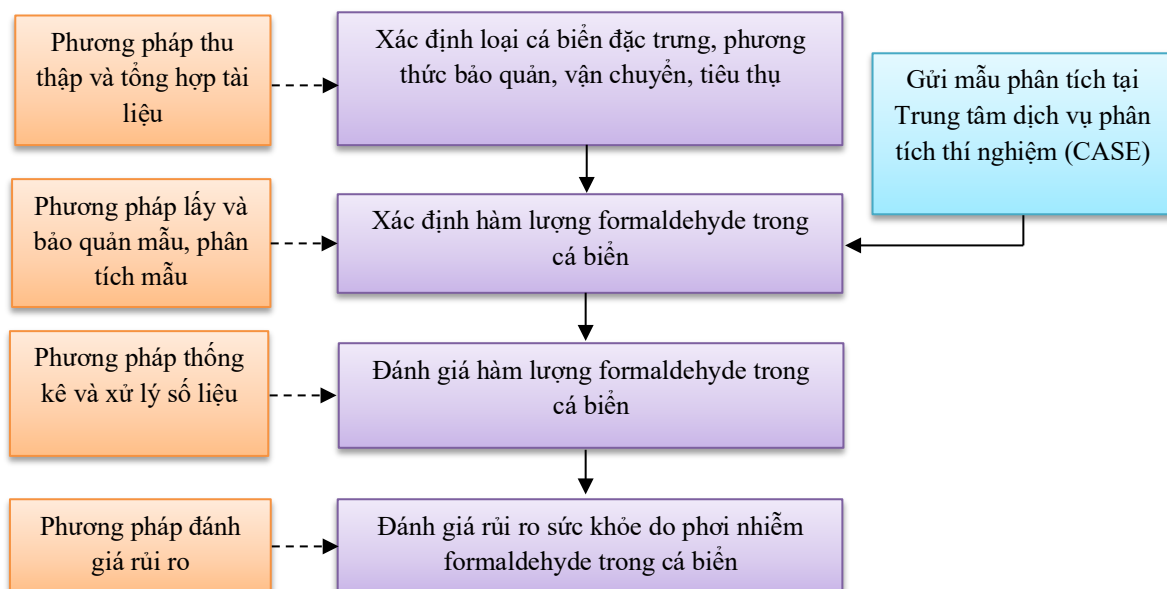
Khu vực miền trung là nơi cung cấp hải sản, cá biển với sản lượng lớn, một trong những tỉnh thành phố lớn có thể nói đến đó là tỉnh Bình Thuận. Bình Thuận là tỉnh duyên hải Nam Trung Bộ có chiều dài bờ biển 192 km kéo dài từ mũi Đá Chẹt giáp Cà Ná thuộc Ninh Thuận đến bãi bồi Bình Châu thuộc địa phận tỉnh Bà Rịa - Vũng Tàu [17].

Mục tiêu của nghiên cứu này nhằm đánh giá hàm lượng formaldehyde trong các sản phẩm cá biển tại Bình Thuận từ đó đánh giá phơi nhiễm ảnh hưởng đến sức khỏe con người. Kết quả nghiên cứu này sẽ giúp bổ sung dữ liệu, cũng như cảnh báo về mức độ ảnh hưởng đối với sức khỏe do việc tiêu thụ sản phẩm cá biển bị nhiễm ormaldehyde.

2. Phương pháp nghiên cứu và tài liệu thu thập

2.1. Sơ đồ nghiên cứu

Sơ đồ nội dung nghiên cứu được trình bày trong Hình 1.



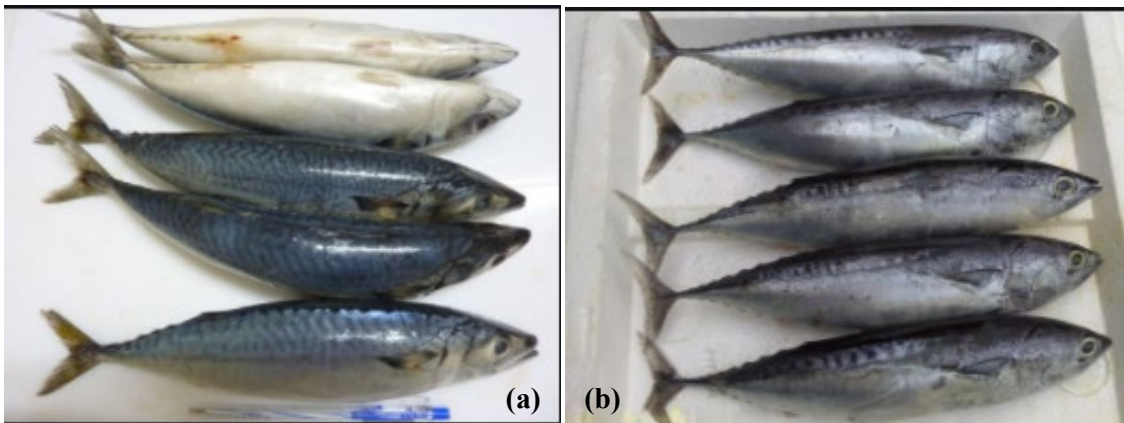
Hình 1. Sơ đồ nghiên cứu.

Các loại cá biển đặc trưng, phương thức bảo quản cá khi đánh bắt xa bờ, vận chuyển và tiêu thụ cá biển tại khu vực Bình Thuận được xác định để làm cơ sở cho việc lấy mẫu. Tổng cộng 14 mẫu cá (7 mẫu cá nục và 7 mẫu cá ngừ) tại 7 vị trí khác nhau, trải đều trên toàn bộ khu vực tỉnh Bình Thuận (tại 3 cảng cá và 4 chợ đầu mối/dân sinh) được lựa chọn lấy mẫu. Cá biển được lấy ngay khi tàu cá cập bến để đánh giá hàm lượng formaldehyde có thể có trong cá nhằm mục đích bảo quản khi đánh bắt xa bờ hoặc do tiểu thương thêm vào khi bán tại các chợ đầu mối/dân sinh. Nếu formaldehyde có trong mẫu cá tại cảng thì khi đưa đến các chợ, hàm lượng sẽ thay đổi như thế nào? Các mẫu cá biển sẽ được gửi phân tích tại Trung tâm dịch vụ phân tích thí nghiệm CASE để xác định và đánh giá hàm lượng formaldehyde. Dựa trên kết quả đã có, tiến hành đánh giá rủi ro sức khỏe của người dân khi sử dụng các loài cá có chứa formaldehyde.

2.2. Phương pháp thực hiện

a) Phương pháp lấy mẫu hiện trường, bảo quản mẫu

Phương pháp lấy mẫu: Áp dụng theo tiêu chuẩn TCVN 12386:2018 Thực phẩm - Hướng dẫn chung lấy mẫu [18]. Chọn 2 mẫu cá nục và cá ngừ để phân tích, 2 loại cá nục và cá ngừ được mua từ các cảng biển.



Hình 2. Mẫu cá nục (a) và các ngừ (b).

Cách lấy mẫu: Chuẩn bị 14 túi ni lông đã được vô trùng để bảo quản mẫu. Tại mỗi điểm lấy mẫu, tiến hành mua 5 mẫu cá nục và 5 mẫu cá ngừ tại 5 chỗ bán khác nhau của một điểm lấy mẫu. Sau đó, lấy 5 mẫu cá nục hoặc 5 mẫu cá ngừ cắt lát và trộn lẫn gộp lại thành 1 mẫu (1 loại cá) đồng nhất tại một điểm lấy mẫu. Mẫu cá sau đó được bảo quản trong tủ đông trong 24 giờ và gửi mẫu phân tích hàm lượng formaldehyde tại Trung tâm dịch vụ phân tích thí nghiệm (CASE).



Hình 3. (a) Mẫu cá nục được cắt lát và (b) Mẫu cá ngừ được cắt lát.

Khu vực lấy mẫu: Khu vực 7 vị trí lấy mẫu được trình bày trong Bảng 1 và Hình 4.

Bảng 1. Các vị trí được lấy mẫu.

STT	Vị trí	Ký hiệu mẫu	
		Cá nục	Cá ngư
1	Cảng cá Mũi Né	NBT1	GBT1
2	Cảng cá Lagi	NBT2	GBT2
3	Cảng cá Hàm Tân	NBT3	GBT3
4	Chợ dân sinh Phan Thiết	NBT4	GBT4
5	Chợ dân sinh Lagi	NBT5	GBT5
6	Chợ dân sinh Hàm Tân	NBT6	GBT6
7	Chợ dân sinh Tánh Linh	NBT7	GBT7



Hình 4. Bản đồ vị trí lấy mẫu.

Bảo quản mẫu: Mẫu cá sau khi lấy được bảo quản theo theo tiêu chuẩn TCVN 12386:2018 Thực phẩm - Hướng dẫn chung lấy mẫu [18].

b) Phương pháp phân tích formaldehyde

Mẫu cá được gửi phân tích tại Trung tâm dịch vụ phân tích thí nghiệm (CASE) theo tiêu chuẩn quốc gia TCVN 8894:2012 về Bánh phở và các sản phẩm tương tự - Xác định formaldehyde - Phương pháp định tính và bán định lượng [19].

c) Phương pháp đánh giá rủi ro sức khỏe

Trong nghiên cứu này, đánh giá rủi ro sức khỏe được tiến hành để xác định tiềm năng nguy cơ (đánh giá khả năng gây hại) sức khỏe con người do việc ăn các sản phẩm cá biển đánh bắt xa bờ tại Bình Thuận. Quá trình đánh giá rủi ro được thực hiện thông qua 4 bước: nhận biết mối nguy hại, tìm ra liều lượng đáp ứng, đánh giá nguy cơ phơi nhiễm và mô tả đặc tính rủi ro.

Đánh giá nguy cơ phơi nhiễm:

Phương trình đánh giá phơi nhiễm đối với thủy sản bị ô nhiễm qua đường tiêu hóa như sau:

$$ING_{sf} = \frac{C_{fm} \times FIR \times CF \times FI \times ABS_s \times EF \times ED}{BW \times AT} \quad (1)$$

Trong đó ING_{sf} : Liều lượng phơi nhiễm đối với thủy sản bị ô nhiễm qua đường tiêu hóa (mg/kg.ngày); C_{fm} : Nồng độ formaldehyde trong cá biển đánh bắt xa bờ đánh bắt tại Bình Thuận (mg/m³); FIR : Tốc độ tiêu thụ cá trung bình (g/ngày); CF : Hệ số chuyển đổi (10⁻³ kg/g); FI : Phần được tiêu hóa từ nguồn ô nhiễm (100% được tiêu hóa); ABS_s : Phần trăm lượng chất được hấp thụ trong dạ dày, hệ số hấp thụ (%). Nghiên cứu này áp dụng giá trị $ABS_s = 100\%$; EF : Tần số phơi nhiễm (ngày/năm); ED : Thời gian phơi nhiễm (năm); BW : Trọng lượng cơ thể (kg); AT : Thời gian trung bình phơi nhiễm (ngày).

Các giá trị thông số có liên quan trong phương trình (1) được tổng hợp từ kết quả quá trình khảo sát thực tế và kế thừa một số giá trị tham khảo từ các nguồn tài liệu tham khảo tin cậy làm cơ sở tính toán đánh giá rủi ro tiềm năng phơi nhiễm formaldehyde trong cá nục, cá ngừ qua đường tiêu hóa:

Các thông số kế thừa từ các nghiên cứu trước: $CF = 10^{-3}$ kg/g; $FI = 100\%$; $ABS_s = 100\%$; $AT = 70$ năm = 1.481.900 ngày.

Các thông số từ kết quả nghiên cứu của nghiên cứu này: C_{fm} : lấy từ kết quả phân tích formaldehyde trong cá nục, cá ngừ tại các vị trí lấy mẫu; FIR : tính tổng của từng lượng cá biển ăn trong mỗi bữa ăn nhân với tỷ lệ % của khối lượng đó (nhiều hơn 500g thì giả định là 600g); ED : lấy tuổi trung bình của 100 người khảo sát (năm); BW : lấy khối lượng trung bình của 100 người khảo sát (kg); EF : tính tổng của từng mức độ ngày tiêu thụ cá biển trong một tuần nhân với tỷ lệ % của mức độ đó (trong đó, nhiều hơn 2 ngày thì giả định tần suất là 3 ngày).

Mô tả đặc tính rủi ro: sẽ có 2 dạng bao gồm ảnh hưởng gây ung thư thể hiện Bảng 2 và ảnh hưởng không gây ung thư thể hiện thông số HQ (thông số rủi ro không gây ung thư) trong Bảng 3 [20].

Ảnh hưởng gây ung thư:

Do formaldehyde là chất gây ung thư, nguy cơ mà mỗi cá nhân phát triển bệnh ung thư trong suốt thời gian phơi nhiễm cả đời được tính toán bằng cách sử dụng số liệu về lượng hấp thụ dự đoán (ING_{sf}) và thông tin liều lượng - đáp ứng của formaldehyde. Đối với lượng hấp thụ thấp, giả định rằng mối quan hệ giữa liều lượng - đáp ứng sẽ là tuyến tính. Như vậy, mức độ rủi ro gây ung thư được tính bằng cách sử dụng phương trình sau:

$$Risk = ING_{sf} \times SF_0 \quad (2)$$

Trong đó $Risk$: Mức độ rủi ro gây ung thư; ING_{sf} : Lượng hóa chất đi vào cơ thể mỗi ngày của một người bị nhiễm độc mãn tính sống trên 70 năm (mg/kg.ngày); SF_0 : Hệ số độc rủi ro gây ung thư đối với nhân tố đi qua đường miệng (mg/kg.ngày)⁻¹.

Bảng 2. Thang đánh giá rủi ro gây ung thư.

STT	Risk (mức độ rủi ro gây ung thư)	Nguy cơ mắc ung thư
1	$R < 10^{-6}$	Rủi ro mắc bệnh ung thư thấp, có thể chấp nhận được.
2	$10^{-6} \leq R < 10^{-4}$	Rủi ro mắc bệnh ung thư trung bình, có thể có hoặc không có quyết định giảm thiểu rủi ro và những quyết định này phải dựa trên nghiên cứu bổ sung.
3	$10^{-4} \leq R < 10^{-2}$	Rủi ro mắc bệnh ung thư cao, cần có biện pháp giảm thiểu.
4	$R \geq 10^{-2}$	Rủi ro ung thư rất cao, bắt buộc phải có biện pháp giảm thiểu ngăn ngừa rủi ro.

Ảnh hưởng không gây ung thư:

Không giống như các mức độ rủi ro gây ung thư, mức độ rủi ro không gây ung thư được đánh giá bằng cách so sánh nồng độ tiếp xúc trong một thời gian cụ thể với liều lượng tham chiếu (RfD) có nguồn gốc, thời gian tiếp xúc tương tự. Tỷ lệ này được gọi là thương số rủi ro của ảnh hưởng không gây ung thư và được thể hiện như sau:

$$HQ = \frac{E}{RfD} \tag{3}$$

Trong đó HQ: Thương số rủi ro của ảnh hưởng không gây ung thư; E: Liều lượng hóa chất phơi nhiễm (= INGsf) (mg/kg.ngày); RfD: Liều lượng ô nhiễm đặc trưng tham chiếu (mg/kg.ngày).

Nếu $HQ > 1$: chất không gây ung thư i đang xét có khả năng ảnh hưởng bất lợi đến sức khỏe khi phơi nhiễm.

Nếu $HQ < 1$: chất không gây ung thư i không có tác động gì đến đối tượng phơi nhiễm.

Bảng 3. Thang đánh giá rủi ro gây ung thư.

STT	Risk (Mức độ rủi ro không gây ung thư)	Nguy cơ mắc ung thư
1	$HQ > 1$	Chất không gây ung thư i đang xét có khả năng ảnh hưởng bất lợi đến sức khỏe khi phơi nhiễm.
2	$HQ < 1$	Chất không gây ung thư i không có tác động gì đến đối tượng phơi nhiễm.

3. Kết quả và thảo luận

3.1. Kết quả khảo sát hàm lượng formaldehyde trong cá biển tại Bình Thuận

Hàm lượng formaldehyde trong cá nục và cá ngừ tại 7 điểm lấy mẫu ở Bình Thuận được trình bày trong Bảng 5.

Bảng 5. Kết quả phân tích hàm lượng formaldehyde có trong cá biển tại Bình Thuận.

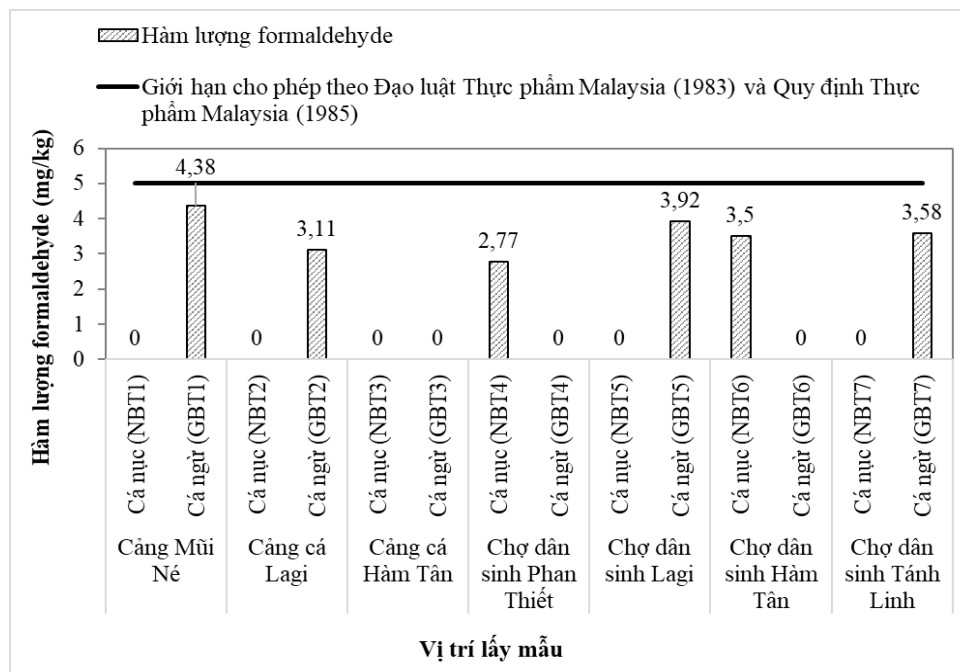
Địa điểm	Ký hiệu mẫu	Loại cá	Hàm lượng formaldehyde (mg/kg)
Cảng Mũi Né	NBT1	Cá nục	Không phát hiện MDL = 0,5
	GBT1	Cá ngừ	Phát hiện 4,38
Cảng cá Lagi	NBT2	Cá nục	Không phát hiện MDL = 0,5
	GBT2	Cá ngừ	Phát hiện 3,11
Cảng cá Hàm Tân	NBT3	Cá nục	Không phát hiện MDL = 0,5
	GBT3	Cá ngừ	Không phát hiện MDL = 0,5
Chợ dân sinh Phan Thiết	NBT4	Cá nục	Phát hiện 2,77
	GBT4	Cá ngừ	Không phát hiện MDL = 0,5
Chợ dân sinh Lagi	NBT5	Cá nục	Không phát hiện MDL = 0,5
	GBT5	Cá ngừ	Phát hiện 3,92
Chợ dân sinh Hàm Tân	NBT6	Cá nục	Phát hiện 3,5
	GBT6	Cá ngừ	Không phát hiện MDL = 0,5

Địa điểm	Ký hiệu mẫu	Loại cá	Hàm lượng formaldehyde (mg/kg)
Chợ dân sinh Tánh Linh	NBT7	Cá nục	Không phát hiện MDL = 0,5
	GBT7	Cá ngừ	Phát hiện 3,58

Kết quả ở Bảng 5 cho thấy, formaldehyde đều được phát hiện trong các mẫu cá (cá nục hoặc cá ngừ) ngoại trừ mẫu thu tại cảng cá Hàm Tân là không phát hiện. Trong đó, mẫu GBT1 (cảng cá Mũi Né) được phát hiện có hàm lượng cao nhất là 4,38 mg/kg, mẫu NBT4 (chợ dân sinh Phan Thiết) có hàm lượng được phát hiện thấp nhất là 2,77 mg/kg. Mức độ khác nhau của formaldehyde ở các loài cá phụ thuộc vào mức độ trimethylamine-oxide TMAO và phản ứng với giảm dimethylamine TMAO thành formaldehyde và DMA thu được từ thủy sản đông lạnh [21]. Formaldehyde cũng có thể được thêm vào như một chất bảo quản trong quá trình lưu trữ khi đánh bắt xa bờ hay khi bán tại các chợ [16].

3.2. Đánh giá hàm lượng formaldehyde có trong các mẫu cá tại tỉnh Bình Thuận

Hàm lượng formaldehyde trong các mẫu cá nục và cá ngừ tại 7 điểm lấy mẫu của Bình Thuận được trình bày trong Hình 5.



Hình 5. Biểu đồ thể hiện hàm lượng formaldehyde trong cá nục và cá ngừ tại Bình Thuận.

Hàm lượng formaldehyde giữa các mẫu cá nục tại cảng và chợ tại tỉnh Bình Thuận (Hình 5) cho thấy, các mẫu NBT1 (Cảng cá Mũi Né); NBT2 (Cảng cá Lagi); NBT3 (Cảng cá Hàm Tân); NBT5 (Chợ dân sinh Lagi); NBT7 (chợ dân sinh Tánh Linh) không phát hiện formaldehyde với MLD của phương pháp là 0,5 mg/kg. Mẫu cá nục NBT4 tại chợ dân sinh Phan Thiết và NBT6 tại chợ dân sinh Hàm Tân có phát hiện formaldehyde hàm lượng tại 2 điểm lần lượt 2,77 và 3,5 mg/kg. Kết quả này thấp hơn so với mức cho phép do Đạo luật Thực phẩm Malaysia (1983) và Quy định Thực phẩm Malaysia (1985) quy định rằng giới hạn tối đa với formaldehyde trong cá và các sản phẩm là 5 mg/kg [22]. So với nghiên cứu [13] (hàm lượng formaldehyde của 4 loại cá thương mại tươi nằm trong khoảng 2,38 đến 2,95 µg/g) thì hàm lượng formaldehyde trong cá nục tại vị trí chợ dân sinh Hàm Tân (NBT6) cao hơn 1,17-1,47 lần, vị trí chợ dân sinh Phan Thiết (NBT4) có hàm lượng formaldehyde tương đồng, trong khi đó các vị trí còn lại trong nghiên cứu này có hàm lượng formaldehyde thấp hơn.

Dựa trên kết quả hình 5 cho thấy có phát hiện formaldehyde trong mẫu cá ngừ tại các chợ và cảng của Bình Thuận. Cụ thể, mẫu hàm lượng formaldehyde cao nhất trong mẫu cá ngừ GBT1 tại cảng Mũi Né (4,48 mg/kg), tiếp đến là GBT5 tại chợ dân sinh Lagi, GBT7 tại chợ dân sinh Tánh Linh và GBT2 tại cảng cá Lagi với hàm lượng formaldehyde lần lượt là 3,92; 3,58 và 3,11 mg/kg. Kết quả này thấp hơn so với mức cho phép do Đạo luật Thực phẩm Malaysia (1983) và Quy định Thực phẩm Malaysia (1985) quy định rằng giới hạn tối đa với formaldehyde trong cá và các sản phẩm là 5 mg/kg [22]. Ba mẫu cá ngừ còn lại đều không phát hiện formaldehyde với MDL của phương pháp là 0,5 mg/kg. So với nghiên cứu [13] (hàm lượng formaldehyde của 4 loại cá thương mại tươi nằm trong khoảng 2,38 đến 2,95 µg/g) thì hàm lượng formaldehyde trong cá ngừ tại vị trí Cảng Mũi Né (GBT1) cao hơn 1,48-2,95 lần, vị trí Chợ dân sinh Lagi (GBT5) có hàm lượng formaldehyde cao hơn 1,33-1,65 lần, vị trí Chợ dân sinh Tánh Linh (GBT7) có hàm lượng formaldehyde cao hơn 1,21-1,50 lần và vị trí Cảng cá Lagi (GBT2) có hàm lượng formaldehyde cao hơn 1,05-1,31 lần, trong khi đó các vị trí còn lại trong nghiên cứu này có hàm lượng formaldehyde thấp hơn.

So sánh hàm lượng formaldehyde trong các mẫu cá nục và cá ngừ tại Bình Thuận cho thấy các mẫu cá ngừ được phát hiện có hàm lượng formaldehyde nhiều hơn các mẫu cá nục. Cụ thể hàm lượng formaldehyde trung bình được phát hiện trong các mẫu cá ngừ là 3,75 mg/kg cao gấp 1,2 lần so với hàm lượng formaldehyde trung bình được phát hiện trong cá nục là 3,14 mg/kg.

Hàm lượng formaldehyde tại các chợ dân sinh có xu hướng cao hơn so với các mẫu cá tại cảng. Cụ thể tại cảng cá Lagi, phát hiện hàm lượng formaldehyde có trong mẫu cá ngừ là 3,11 mg/kg thì tại chợ dân sinh Lagi phát hiện hàm lượng có trong mẫu cá ngừ là 3,92 mg/kg tăng lên 1,26 lần (vì cảng cá Lagi cách chợ dân sinh Lagi khoảng 1,6 km nên các loại cá biển được bán tại chợ Lagi chủ yếu được lấy từ cảng Lagi về); tại cảng cá Hàm Tân, trong mẫu cá ngừ thì không phát hiện thấy có hàm lượng formaldehyde (MDL=0,5), trong khi tại chợ Tánh Linh thì phát hiện có hàm lượng formaldehyde trong mẫu cá ngừ là 3,58 mg/kg. Còn trong mẫu cá nục cũng không phát hiện có hàm lượng formaldehyde nhưng trong khi đó tại chợ Hàm Tân thì hàm lượng formaldehyde được phát hiện trong mẫu cá nục là 3,5 mg/kg (tại chợ Hàm Tân và chợ Tánh Linh thì các mẫu cá chủ yếu được lấy từ cảng Hàm Tân). Kết quả của nghiên cứu này thấp hơn rất nhiều so với hàm lượng formaldehyde có trong 5/10 mẫu cá ở Hồng Kông, lên tới 170-570 mg/kg [23] nhưng khá tương đồng với hàm lượng formaldehyde được tìm thấy trong 60 loài thủy sản ở Thủ đô Kumasi, Ghana được phân tích với nồng độ từ 0,174 đến 3,710 mg/kg [24].

3.2 Đánh giá rủi ro sức khỏe khu vực khảo sát người dân

Tiến hành tính liều lượng phơi nhiễm đối với cá biển bị nhiễm formaldehyde qua đường tiêu hóa. Gồm các khu vực: cảng Mũi Né, cảng cá Lagi, chợ dân sinh Phan Thiết, chợ dân sinh Lagi, chợ dân sinh Hàm Tân, chợ dân sinh Tánh Linh.

Bảng 5. Liều lượng phơi nhiễm đối với cá biển bị nhiễm formaldehyde qua đường tiêu hóa.

Khu vực lấy mẫu	Nồng độ HCHO (mg/kg)	ING _{sf} × 10 ⁻³ (mg/kg.ngày)
Cảng Mũi Né	4,38	7,75
Cảng cá Lagi	3,11	5,51
Chợ dân sinh Phan Thiết	2,77	4,9
Chợ dân sinh Lagi	3,92	6,94
Chợ dân sinh Hàm Tân	3,5	6,2
Chợ dân sinh Tánh Linh	3,58	6,34
Trung bình 6 khu vực	3,54	6,27

* Mô tả đặc tính rủi ro:

- Ảnh hưởng gây ung thư: Đối với các chất gây ung thư, nguy cơ mà mỗi cá nhân phát triển bệnh ung thư trong suốt thời gian phơi nhiễm cả đời được tính toán bằng cách sử dụng số liệu về lượng hấp thụ dự đoán (ING_{sf}) và thông tin liều lượng - đáp ứng của formaldehyde.

Bảng 6. Mức độ rủi ro sức khỏe formaldehyde gây ra đối với người tiếp xúc.

Khu vực lấy mẫu	Nồng độ HCHO (mg/kg)	$ING_{sf} \times 10^{-3}$ (mg/kg.ngày)	Mức độ rủi ro (Risk $\times 10^{-4}$)
Cảng Mũi Né	4,38	7,75	3,53
Cảng cá Lagi	3,11	5,51	2,51
Chợ dân sinh Phan Thiết	2,77	4,9	2,23
Chợ dân sinh Lagi	3,92	6,94	3,16
Chợ dân sinh Hàm Tân	3,5	6,2	2,82
Chợ dân sinh Tánh Linh	3,58	6,34	2,88

Thông qua mức độ rủi ro sức khỏe của formaldehyde trên cho thấy hàm lượng formaldehyde được phát hiện tại các khu vực có khoảng giá trị khá gần nhau. So với thang đánh giá rủi ro thì mức độ rủi ro của các khu vực phát hiện formaldehyde đều lớn hơn 10^{-4} ($10^{-4} \leq R < 10^{-2}$). Khoảng này thuộc trong khoảng rủi ro mắc bệnh ung thư cao, cần có biện pháp giảm thiểu. Trong đó, ở cảng Mũi Né phát hiện hàm lượng formaldehyde cao nhất trong các khu vực lấy mẫu với hàm lượng 4,38 mg/kg, mức độ rủi ro $3,53 \times 10^{-4}$ và chợ dân sinh Phan Thiết phát hiện hàm lượng formaldehyde thấp nhất trong các khu vực lấy mẫu với nồng độ 2,77 mg/kg, mức độ rủi ro $2,23 \times 10^{-4}$ đều thuộc mức độ rủi ro gây ung thư cao, cần có biện pháp giảm thiểu. So với kết quả trong nghiên cứu [24] thì hàm lượng formadehyde trong các mẫu dao động từ 0,174 đến 3,710 mg/kg, thấp hơn so với các mẫu cá ở Bình Thuận nhưng mức độ rủi ro sức khỏe đối với người sử dụng ở Kumasi lại cao hơn so với người dân ở Bình Thuận, với mức độ rủi ro là $4,233 \times 10^{-4}$ và $3,661 \times 10^{-3}$ mg/kg BW.ngày (thuộc mức rủi ro cao) do người dân ở đây sử dụng lượng cá biển nhiều hơn so với người dân ở Bình Thuận.

- Ảnh hưởng không gây ung thư: Mức độ rủi ro không gây ung thư được đánh giá bằng cách so sánh nồng độ tiếp xúc trong một thời gian cụ thể với liều lượng tham chiếu (RfD) có nguồn gốc, thời gian tiếp xúc tương tự.

Bảng 7. Thương số rủi ro của ảnh hưởng không gây ung thư.

Khu vực lấy mẫu	$ING_{sf} \times 10^{-3}$ (mg/kg/ngày)	HQ
Cảng Mũi Né	7,75	0,03875
Cảng cá Lagi	5,51	0,02755
Chợ dân sinh Phan Thiết	4,9	0,0245
Chợ dân sinh Lagi	6,94	0,0347
Chợ dân sinh Hàm Tân	6,2	0,031
Chợ dân sinh Tánh Linh	6,34	0,0317

Qua kết quả tính thương số rủi ro của ảnh hưởng không gây ung thư cho thấy thương số rủi ro của ảnh hưởng không gây ung thư HQ đều nhỏ hơn 1 đối với chất không gây ung thư; do đó không có tác động gì đến đối tượng phơi nhiễm. Trên thực tế, giá trị ADI (0,2 mg/kg/ngày) là đủ để đảm bảo sự an toàn của người tiêu dùng.

4. Kết luận

Qua kết quả phân tích hàm lượng formaldehyde trong cá biển của 7 khu vực tại tỉnh Bình Thuận cho thấy hàm lượng formaldehyde được phát hiện trong các mẫu cá nục và cá ngừ tại các cảng và chợ từ 2,77-4,38 mg/kg. Trong đó, hàm lượng formaldehyde được phát hiện cao nhất là ở cảng Mũi Né (4,38 mg/kg), thấp nhất là ở chợ Phan Thiết (2,77 mg/kg) và ở cảng

Hàm Tân thì không phát hiện formaldehyde trong các mẫu cá. Hàm lượng formaldehyde phát hiện có trong các mẫu cá không vượt giá trị cho phép theo quy định trong Đạo luật Thực phẩm Malaysia (1983) và Quy định thực phẩm Malaysia (1985) quy định rằng giới hạn tối đa với formaldehyde trong cá và các sản phẩm là 5 mg/kg. Kết quả nghiên cứu về mức độ rủi ro gây ung thư cho thấy các mức độ rủi ro sức khỏe đối với người dân tại các khu vực nghiên cứu dao động từ $2,23 \times 10^{-4}$ đến $3,53 \times 10^{-4}$ thuộc trong khoảng rủi ro mắc bệnh ung thư cao ($10^{-4} \leq R < 10^{-2}$), cần có biện pháp giảm thiểu. Giá trị ước tính hàng ngày đối với formaldehyde trong cá nục và cá ngừ nằm trong khoảng $4,9 \times 10^{-3}$ đến $7,75 \times 10^{-3}$ mg/kg.ngày và thấp hơn mức tiêu thụ hàng ngày có thể chấp nhận được là 0,15 và 0,2 mg/kg.ngày do tổ chức Y tế Thế giới đề xuất Tổ chức và Cơ quan Bảo vệ Môi trường Hoa Kỳ về lượng formaldehyde tiêu thụ, tương ứng. Thương số rủi ro của ảnh hưởng không gây ung thư HQ < 1 cho thấy hàm lượng formaldehyde trong cá không có khả năng gây ra tác dụng phụ đối với con người khi tiêu thụ cá biển.

Hiện nghiên cứu mới chỉ khảo sát 2 loại cá và chỉ ở khu vực tỉnh Bình Thuận. Hướng nghiên cứu thời gian tới sẽ khảo sát, đánh giá hàm lượng formaldehyde ở nhiều mẫu cá phổ biến như cá com, cá đù,... và mở rộng khu vực lấy mẫu ở các tỉnh duyên hải miền trung như: Phú Yên, Khánh Hòa, Bình Định, Đà Nẵng,...

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

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. Morris, M.C.; Evans, D.A.; Tangney, C.C.; Bienias, J.L.; Wilson, R.S. Fish consumption and cognitive decline with age in a large community study. *Arch. Neurol.* **2005**, *62*(12), 1849–1853.
2. Kris-Etherton, P.M.; Harris, W.S.; Appel, L.J. American Heart Association. Nutrition Committee. Fish consumption, fish oil, omega-3 fatty acids, and cardiovascular disease. *Circ.* **2002**, *106*(21), 2747–2757.
3. Daniels, J.L.; Longnecker, M.P.; Rowland, A.S.; Golding, J. ALSPAC Study Team. University of Bristol Institute of Child Health. Fish intake during pregnancy and early cognitive development of offspring. *Epidemiology.* **2004**, *15*(4), 394–402.
4. Mozaffarian, D.; Rimm, E.B. Fish intake, contaminants, and human health: evaluating the risks and the benefits. *JAMA* **2006**, *296*(15), 1885–1899.
5. Protano, C. et al. The carcinogenic effects of formaldehyde occupational exposure: A systematic review. *Cancers* **2021**, *14*(1), 165.
6. Otuh, P.I.; Ogunro, B.; Etim, E. Formaldehyde Levels in Imported Frozen Poultry Meat in Ibadan, Nigeria: Its Public Health Implications. *J. Vet. Pub. Hlth.* **2013**, *11*(1), 11–17.
7. Kim, K.H.; Jahan, S.; Lee, J.T. Exposure to formaldehyde and its potential human health hazards. *J. Environ. Sci. Health C Environ. Carcinog. Ecotoxicol. Rev.* **2011**, *29*, 277–299.
8. Zain, S.M.S.M.; Azmi, W.N.F.W.; Veloo, Y.; Shaharudin, R. Formaldehyde Exposure, Health Symptoms and Risk Assessment among Hospital Workers in Malaysia. *JEP.* **2019**, *10*(06), 861–879.
9. Inci, M.; Zararsız, I.; Davarci, M.; Gorur, S. Toxic effects of formaldehyde on the urinary system. *Turk. J. Urol.* **2013**, *39*(1), 48–52.
10. Abdu, H.; Kinfu, Y.; Agalu, A. Toxic effects of formaldehyde on the nervous system. *IJAAP.* **2014**, *3*(3), 49–59.

11. Rahman, M.B. et al. An update on formaldehyde adulteration in food: sources, detection, mechanisms, and risk assessment. *Food Chem.* **2023**, 427, 136761.
12. Hoque, Md.S. et al. Evaluation of artificially contaminated fish with formaldehyde under laboratory conditions and exposure assessment in freshwater fish in Southern Bangladesh. *Chemosphere* **2018**, 195, 702–712.
13. Siti Aminah, S; Zailina, H.; Fatimah, A.B. Health risk assessment of adults consuming commercial fish contaminated with formaldehyde. *Public Health Nutr.* **2013**, 3(1), 52–58.
14. Bhowmik, S.; Begum, M.; Alam, A.N. Seasonal variations of formaldehyde and risk assessment of marketed fish contaminated with formaldehyde: fish and food safety issue. Proceedings of 3rd AFSA Conference on Food Safety and Food Security, 2016, pp. 50–54.
15. Suwanaruang, T. Formalin contaminated in seafood and frozen meat at Somdet Market, Kalasin Province. *Environ. Prot.* **2018**, 9(12), 1286–1293.
16. Aniobi, C.C.; Ofor, C.R.; Akagha, I.C.; Okeke, O.; Okoro, M.U. Formalin levels in locally produced and imported meat and fish samples from meat shops situated within Enugu metropolis, Enugu State, Nigeria. *Discovery.* **2022**, 58(318), 524–529.
17. Sở Nông nghiệp và Phát triển Nông thôn tỉnh Bình Thuận. Báo cáo số 951/BC-SNNPTNT ngày 25/12/2019 về tình hình đánh bắt thủy hải sản trên địa bàn tỉnh Bình Thuận năm 2019.
18. Tiêu chuẩn quốc gia. TCVN 12386:2018 về Thực phẩm - Hướng dẫn chung về lấy mẫu. 2018.
19. Bộ Y tế. TCVN 8894:2012 - Bánh phở và các sản phẩm tương tự - Xác định formaldehyde- phương pháp định tính và bán định lượng. 2012.
20. Nguyễn Thu Ngọc Diệp và cộng sự. Đánh giá thực trạng sử dụng hàn the, Formol, chất tẩy trắng, phẩm màu trong thực phẩm tại các chợ bán lẻ trên thị trường thành phố Hồ Chí Minh năm 2008. *Tap chí Y học Thành phố Hồ Chí Minh* **2008**, 12(4), 320–324.
21. Ariyani, F.; Anissah, U.; Indra Januar, H.; Rohmad Barokah, G.; Putri, A. The effect of formaldehyde addition on the distribution of trimethylamine oxide (TMAO) and trimethylamine (TMA) in marine and freshwater fish organs. Proceedings of the 16th Joint Conference on Chemistry (JCC 2021), 2022, pp. 2553.
22. Jeyasanta, I.; Jamila, P. Quality characteristics including formaldehyde content in selected Sea foods of Tuticorin, southeast coast of India. *Int. Food Res. J.* **2018**, 25, 293–302.
23. Food and Environmental Hygiene Department. Targeted food surveillance on formaldehyde in noodlefish. The Government of the Hong Kong Special Administrative Region. 2023.
24. Asare-Donkor, N.; Adaagoam, R.; Voegborlo, R.; Adimado, A. Risk Assessment of Kumasi Metropolis Population in Ghana through Consumption of Fish Contaminated with Formaldehyde. *J. Toxicol.* **2018**, 2018, 1–7.

Risk assessment of formaldehyde in offshore fish caught in Binh Thuan province on consumer health

Tran Thanh Dat¹, Cao Thi Thu Thao², Trinh Trong Nguyen³, Thai Van Nam^{3*}

¹ Ho Chi Minh City Industrial and Trade College (HITC); dattranthanh9@gmail.com

² Department of Natural Resources and Environment of Tanh Linh District, Binh Thuan Province; thuthao1007@gmail.com

³ HUTECH Institute of Applied Sciences, HUTECH University, Ho Chi Minh City, Vietnam; tt.nguyen@hutech.edu.vn; tv.nam@hutech.edu.vn

Abstract: The research aimed to assess the formaldehyde levels in samples of mackerel and tuna consumed at ports and markets in Binh Thuan. The fish samples underwent determination of formaldehyde levels through acidification using phosphoric acid followed by distillation. Formaldehyde was released and dissolved in the distillate and detected through a color reaction with the chromotropic acid reagent. The formaldehyde content in marine fish samples (mackerel and tuna) from ports and local markets in Binh Thuan ranged from 2.77 to 4.38 mg/kg. Fish samples from local markets exhibited higher formaldehyde levels compared to those from ports. The study's findings regarding the cancer risk levels indicated varying health risks for residents in the researched areas, ranging from 2.23×10^{-4} to 3.53×10^{-4} , falling within the range of high cancer risk ($10^{-4} \leq R < 10^{-2}$). Therefore, there is a need for measures to reduce the risk of health impact, especially with prolonged exposure. The hazard quotient (HQ) for the non-carcinogenic impact being < 1 suggests that the formaldehyde content in fish is unlikely to cause adverse effects on human consumers when consuming marine fish.

Keywords: Binh Thuan Province; Consumers; Formaldehyde; Risk assessment; Seafood.

Table of content

- 1 Nam, T.V.; Khanh, P.D.; Linh, D.T. The combination of GIS remote sensing approach and mathematical modeling methods to describe the shoreline evolution of the Ghenh-bridge area, Dong Nai River. *J. Hydro-Meteorol.* **2024**, 759, 1–15.
- 16 Duong, Q.T.; Nghiem, L.H.; Long, P.T. Applying the MIKE-ECOLAB water quality model to simulate water quality in the downstream area of Saigon - Dong Nai River according to climate change scenarios. *J. Hydro-Meteorol.* **2024**, 759, 16–31.
- 32 Huong, N.T.T.; Minh, N.Q. Research to build a Web-GIS to publish COVID-19 vulnerability index map in Hanoi City. *J. Hydro-Meteorol.* **2024**, 759, 32–45.
- 46 Phu, H.; Han, H.T.N.; Hue, N.T.; Khang, V.H. Applying algorithm based on the R language platform to study microplastics in continental surface water, Saigon River and Dong Nai River. *J. Hydro-Meteorol.* **2024**, 759, 46–63.
- 64 Nam, T.V.; Ly, K.T. An estimation of the permeability of sand by interpreting electrical impedance tomography images. *J. Hydro-Meteorol.* **2024**, 759, 64–74.
- 75 Hung, D.V.; Hoa, V.T.; Giap, T.V.; Hoa, V.V.; Tri, D.Q. Applying the MIKE 11 model to simulate the process of saltwater intrusion in the coastal area of Nam Dinh Province. *J. Hydro-Meteorol.* **2024**, 759, 75–86.
- 87 Nhan, N.T.; Bao, L.T. Building tools and systems for monitoring saline soil in Ben Tre Province. *J. Hydro-Meteorol.* **2024**, 759, 87–95.
- 96 Dat, T.T.; Thao, C.T.T.; Nguyen, T.T.; Nam, T.V. Risk assessment of formaldehyde in offshore fish caught in Binh Thuan Province on consumer health. *J. Hydro-Meteorol.* **2024**, 759, 96–107.