

KHOA HỌC - CÔNG NGHỆ

ÁP DỤNG CHỈ TIÊU ĐÁNH GIÁ SAI SỐ ĐỂ NÂNG CAO ĐỘ CHÍNH XÁC CỦA MÔ HÌNH TÍNH TOÁN THỦY ĐỘNG LỰC VÙNG BIỂN HẢI PHÒNG APPLYING ERROR ASSESSMENT CRITERIA TO IMPROVE THE ACCURACY OF HYDRODYNAMIC CALCULATION MODELS OF HAI PHONG SEA AREA

ĐỖ TRUNG KIÊN^{1*}, ĐỖ VĂN CƯỜNG², NGUYỄN MẠNH CƯỜNG²

¹Phòng Quan hệ quốc tế, Trường Đại học Hàng hải Việt Nam

²Khoa Hàng hải, Trường Đại học Hàng hải Việt Nam

*Email liên hệ: dotrungskien@vimaru.edu.vn

Tóm tắt

Độ chính xác của mô hình thủy động lực đóng vai trò rất quan trọng cho dữ liệu đầu vào của các mô hình tràn dầu trên biển. Có hai cách để cải thiện kết quả đầu ra của mô hình: Thay đổi các hệ số, phương trình trong nguyên lý tính toán hoặc tinh chỉnh các điều kiện ban đầu như địa hình, nhiệt độ, độ hội tụ, cách chia lưới,... Ở cách thứ nhất không dễ để đạt được mặc dù hiện nay các phần mềm mô phỏng đều có chế độ mã nguồn mở, tuy nhiên người dùng cần có kiến thức khoa học chuyên sâu được đào tạo một cách bài bản. Như vậy phương pháp thứ hai được sử dụng phổ biến để nâng cao độ chính xác cho mô hình thủy lực. Bài báo giới thiệu các chỉ tiêu đánh giá sai số để tiến hành hiệu chỉnh các điều kiện tính toán ban đầu của mô hình thủy động lực xây dựng bằng phần mềm MIKE. Sau khi hiệu chỉnh, tiến hành kiểm nghiệm đánh giá độ chính xác với số liệu từ trạm Hòn Dấu cho thấy độ tương đồng cao, thể hiện tính chính xác của chương trình mô phỏng tràn dầu do tác giả tự xây dựng.

Từ khóa: Mô hình, thủy lực, tràn dầu, sai số.

Abstract

The precision of the hydrodynamic model is crucial for the input data utilized in oil spill models. There are two primary approaches to enhance the model's output: Modifying the coefficients and equations within the calculation framework or refining the initial conditions, which include factors such as topography, temperature, convergence, and meshing. The first approach, while theoretically beneficial, poses significant challenges; despite the availability of open-source simulation software, users must possess extensive scientific expertise and undergo systematic training. Consequently, the second approach is

more frequently employed to enhance the accuracy of the hydraulic model. This article presents the criteria for error assessment used to calibrate the initial conditions of the hydrodynamic model developed with MIKE software. Following calibration, an accuracy assessment conducted with data from the Hon Dau station reveals a high degree of similarity, thereby validating the effectiveness of the oil spill simulation program created by the author.

Keywords: Models, hydrodynamic, oil spill, error.

1. Đặt vấn đề

Nhìn chung, nghiên cứu về mô phỏng sự cố tràn dầu trên thế giới được triển khai song song thành hai hướng. Thứ nhất, phát triển các mô-đun mô phỏng thương mại có bản quyền nhằm phục vụ tính toán cho các khu vực trên toàn cầu. Thứ hai, các nhà khoa học không ngừng nghiên cứu đồng thời xây dựng các mô hình mô phỏng riêng nhằm dự báo sự cố tràn dầu, đảm bảo phù hợp với đặc điểm địa hình cũng như điều kiện về các vấn đề khí tượng - thủy văn của từng khu vực nghiên cứu.

Trên thế giới và trong nước hiện nay, hai mô hình được sử dụng phổ biến là MIKE và DELFT3D. Mỗi một mô hình đều có những ưu điểm và nhược điểm riêng. Mô hình DELFT3D do Deltares (Hà Lan) phát triển [1] cũng được sử dụng để mô phỏng thủy động lực học và chất lượng nước trong môi trường 2D và 3D. Mô hình MIKE do Viện thủy lực Đan Mạch (DHI) phát triển [2] có giao diện đồ họa trực quan, dễ sử dụng. Tích hợp sẵn nhiều công cụ bao gồm xử lý dữ liệu đầu vào, phân tích kết quả, hiển thị dữ liệu GIS. Được sử dụng rộng rãi trong các dự án quy mô lớn và nghiên cứu khoa học. Hỗ trợ kết nối với phần mềm GIS như ArcGIS và QGIS. MIKE có sử dụng cả lưới phi cấu trúc và có cấu trúc, trong đó lưới phi cấu trúc có dạng tam giác hoặc chữ nhật rất linh hoạt, phù hợp với nhiều dạng địa hình đặc biệt là khu vực ven biển, cửa sông, địa hình phức

tạp. Ngoài ra cũng có thể sử dụng lưới phi cấu trúc để chia vùng cần tạo lưới như khu vực cần chia lưới chi tiết hoặc không cần quá chi tiết nhằm tăng độ chính xác của chương trình mô phỏng thủy động lực.

Trong nước hiện nay cũng có nhiều tác giả sử dụng các phần mềm thương mại như Delft3D hay MIKE để tính toán mô phỏng tràn dầu [3-10]. Một số nghiên cứu trên thế giới tập trung vào các phương trình toán để tìm ra quỹ đạo phát triển của vệt dầu [11-14], tuy nhiên chưa có nghiên cứu nào tự xây dựng chương trình mô phỏng tràn dầu tại vùng biển Hải Phòng có mô hình thủy lực có thể nâng cao độ chính xác nhờ áp dụng các chỉ tiêu đánh giá sai số để hiệu chỉnh các điều kiện biên ban đầu. Ngoài ra các chương trình mô phỏng hiện tại cũng còn khá thiếu số liệu khảo sát thực tiễn để có điều kiện hiệu chỉnh và kiểm định mô hình thủy lực. Mô hình MIKE có ưu điểm độ chính xác cao khi mô phỏng tại khu vực cửa sông, ven biển, địa hình phức tạp và có tích hợp GIS.

2. Tài liệu và phương pháp

2.1. Tài liệu

Các tài liệu nghiên cứu về địa hình được sử dụng trong bài báo bao gồm từ các nguồn sau:

Các dữ liệu về nền và cấu trúc địa hình trên cạn và dưới nước (đáy biển hoặc hải đồ) lấy từ nguồn Cục Đo đạc Bản đồ và Hải quân, với các tỷ lệ 1:25.000, 1:100.000 và 1:500.000, được xuất bản vào các năm 2000, 2005, 2010 và 2015;

Các dữ liệu đáy biển hoặc hải đồ do Bộ Tài nguyên và Môi trường cung cấp, có tỷ lệ 1:50.000, được xuất bản vào các năm 2000 và 2005;

Dữ liệu từ trang GEBCO - có thể tải các tệp bản đồ độ sâu tại các khu vực biển trên toàn cầu, đây là các dạng dữ liệu thống nhất và có độ tin cậy được sử dụng nhiều trong nghiên cứu và khảo sát biển.

Sau khi thu thập các nguồn dữ liệu rời rạc với hệ quy chiếu khác nhau, tác giả tiến hành chuyển đổi về cùng một hệ quy chiếu chung và đồng nhất. Tiếp đó, phần mềm MIKE được sử dụng để xuất lưới tính và bản đồ độ sâu biển, phục vụ cho quá trình tính toán ở các bước tiếp theo.

2.2. Phương pháp

a) Hệ số tương quan R:

Hệ số này là một chỉ số được dùng để thống kê và để đánh giá tiêu chuẩn liên hệ giữa đại lượng chuẩn (X_{net}) và đại lượng so sánh (X_{sim}) dựa trên quan điểm về tỷ lệ độ lớn sai lệch [15]. Công thức tính toán hệ số này được biểu diễn dưới dạng:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n [(X_{net} - X_{mean_net}) * (X_{sim} - X_{mean_sim})]}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (X_{net} - X_{mean_net})^2 * \sum_{i=1}^n (X_{sim} - X_{mean_sim})^2}} \quad (1)$$

$$X_{mean_net} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_{net}; \quad X_{mean_sim} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_{sim}$$

Đây là một chỉ số thống kê dùng để đánh giá sự sai khác trong quan hệ giữa hai đại lượng. Cụ thể:

- Giá trị của hệ số tương quan nằm trong (-1.0; 1.0). Nếu kết quả mô phỏng vượt quá phạm vi này (lớn hơn 1.0 hoặc nhỏ hơn -1), điều đó cho thấy có sai sót trong quá trình đo lường tương quan;

- Khi hệ số tương quan có giá trị âm, điều này biểu thị mối quan hệ nghịch biến giữa hai biến, hay còn gọi là tương quan âm. Nếu giá trị đạt -1, mối quan hệ giữa hai biến là nghịch biến hoàn toàn.

- Hệ số tương quan có giá trị dương thể hiện tương quan đồng biến hoặc tương quan dương (đạt giá trị đồng biến tuyệt đối khi hệ số này bằng 1);

- Tính độc lập được thể hiện khi giá trị của hệ số này bằng 0.

b) Chỉ số trung bình phương sai RMSE (Root Mean Square Error):

Đây là một chỉ số được dùng để đo lường và đánh giá mối quan hệ giữa đại lượng chuẩn (X_{net}) và đại lượng so sánh (X_{sim}) dựa trên phương pháp độ lệch trung bình bình phương [16]. Công thức tính toán chỉ số này được thể hiện dưới dạng:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X_{net} - X_{sim})^2} \quad (2)$$

Với, RMSE là chỉ số đo lường độ lệch trung bình bình phương; X_i và Y_i lần lượt là đại lượng thứ i của biến đo đạc x và biến mô phỏng y ; i là chỉ số thứ tự trong chuỗi dữ liệu từ 1 đến n ; n là tổng số giá trị quan sát của hai biến x và y .

c) Chỉ số NASH:

Chỉ số này có thể được tính bởi phương trình sau [17]:

$$NASH = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (X_{net} - X_{sim})^2}{\sum_{i=1}^n (X_{net} - X_{mean})^2}; \quad X_{mean} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_{net} \quad (3)$$

Trong đó, X_i và Y_i lần lượt là giá trị thứ i của biến đo đạc x và mô phỏng y ; X_{mean} và Y_{mean} là giá trị trung bình của hai biến; i là chỉ số thứ tự trong chuỗi dữ liệu từ 1 đến n ; n là tổng giá trị của x và y .

Bảng 1 dưới đây thể hiện phân loại mức độ chính xác của chỉ số NASH.

Bảng 1. Phân loại mức độ chính xác chỉ số NASH

Chỉ số NASH	0.0 - 0.2	0.2 - 0.4	0.4 - 0.6	0.6 - 0.8	0.8 - 1.0
Mức độ	Rất thấp	Thấp	Trung bình	Cao	Rất cao

Chỉ số NSE phản ánh mức độ tương quan giữa dữ liệu đo đạc và mô phỏng. Về nguyên tắc, giá trị NSE càng tiến gần đến 1 thì mô hình mô phỏng càng đáng tin cậy. Sự biến động của chỉ số NSE được diễn giải như sau:

- $NSE = 1$: Mô hình mô phỏng trùng khớp hoàn toàn với dữ liệu quan sát, thể hiện sự chính xác tuyệt đối.

- $NSE = 0$: Mô hình không có mối quan hệ với dữ liệu đo đạc, tức là không thể hiện được sự tương hỗ. Trường hợp này hiếm khi xảy ra.

- $0 < NSE < 1$: Mô hình có mức độ tương quan với dữ liệu quan sát, nhưng tùy thuộc vào giá trị cụ thể, mức độ chính xác được phân loại như sau:

+ $0,0 < NSE < 0,2$: Mức tương quan rất thấp (rất kém).

+ $0,2 \leq NSE < 0,4$: Mức tương quan thấp (kém).

+ $0,4 \leq NSE < 0,6$: Mức tương quan trung bình.

+ $0,6 \leq NSE < 0,8$: Mức tương quan cao (tốt).

+ $0,8 \leq NSE < 1,0$: Mức tương quan rất cao (rất tốt).

Lưu ý: Để đảm bảo giá trị NSE có độ tin cậy cao, cần sử dụng bộ số liệu có độ dài đủ lớn, phản ánh đầy đủ đặc điểm của yếu tố cần đánh giá. Dữ liệu càng dài và càng chính xác, chỉ số NSE càng có ý nghĩa trong việc đánh giá hiệu suất của mô hình.

d) Chỉ số độ lệch chuẩn PBIAS:

Đây là một chỉ số tổng hợp được dùng để kiểm soát mức độ phù hợp giữa đại lượng quan sát đo đạc thực tế (X_{net}) và đại lượng mô phỏng (X_{sim}). Công thức tính toán chỉ số này được biểu diễn dưới dạng [18]:

$$PBIAS = \left[\frac{\sum_{i=1}^n (X_{net} - X_{sim}) * 100}{\sum_{i=1}^n X_{net}} \right] \quad (4)$$

Trong đó, i là chỉ số thứ tự trong chuỗi dữ liệu từ 1 đến n ; n là tổng giá trị của x và y .

PBIAS đo lường xu hướng các giá trị bình quân của các dòng chảy mô phỏng là lớn hoặc nhỏ hơn so với các dòng chảy quan sát được; giá trị tối ưu là 0,0; các giá trị dương biểu thị độ lệch của mô hình hướng đến việc ước tính thấp hơn (thiên thấp), trong khi các giá trị âm biểu thị độ lệch hướng đến việc ước tính cao hơn (thiên cao) [19].

e) Phương pháp cho mô hình tràn dầu

Nguyên lý mô tả sự truyền tải vật chất thông qua quá trình vận chuyển và phân tán theo phương trình

Langevin. Đối với một chất điểm, quỹ đạo di chuyển của chất điểm theo phương pháp Lagrange làm cơ sở cho phương trình véc tơ tọa độ vị trí $x(t)$ của mỗi phần tử [20], cụ thể:

$$\frac{dx}{dt} = A(x,t) + B(x,t)\xi(t) \quad (5)$$

Trong đó, $A(x,t)$ là véc tơ đã biết biểu diễn những lực tất định làm thay đổi $x(t)$; $B(x,t)$ là véc tơ đã biết tiêu biểu cho lực ngẫu nhiên. $\xi(t)$ là véc tơ bao gồm những số ngẫu nhiên biểu diễn tính chất hỗn loạn của xáo trộn do thủy triều được lấy trung bình trên một phạm vi không gian và thời gian tương đối rộng.

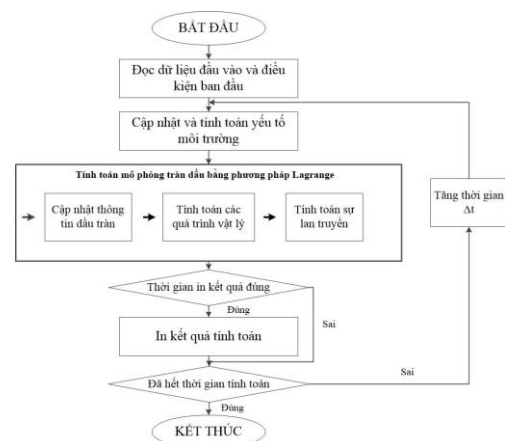
Quá trình bình lưu: Là ảnh hưởng tổng hợp của dòng chảy và gió gây nên chuyển động theo phương ngang của các phần tử. Vận tốc trôi tổng cộng có thể được xác định bằng công thức trọng số sau:

$$U_{tot} = c_w(z)U_w + c_a(z)U_a \quad (6)$$

Với: U_w là véc-tơ vận tốc gió ở mực 10m; U_a là véc-tơ vận tốc dòng chảy tích phân theo độ sâu; c_w hệ số trôi của gió; c_a hệ số trôi dòng chảy bình lưu.

Sơ đồ cấu trúc của chương trình tính toán tràn dầu được biểu diễn trong Hình 1.

3. Kết quả và thảo luận



Hình 1. Chương trình tính toán tràn dầu

3.1. Hiệu chỉnh mô hình

Hình 2 là sơ đồ khối thể hiện các bước hiệu chỉnh để kiểm chứng tính tin cậy của mô-đun thủy động lực bằng các chỉ tiêu đánh giá sai số:

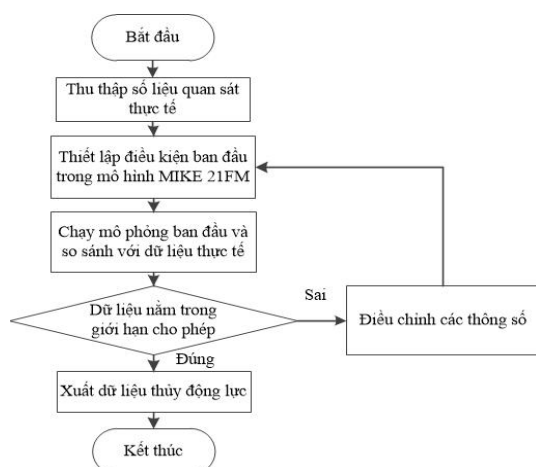
- Bước 1 - Thu thập số liệu quan sát thực tế: Tập hợp các dữ liệu thủy văn như mực nước, lưu lượng, tốc độ dòng chảy, và các thông số liên quan tại khu vực nghiên cứu từ các trạm đo hoặc nguồn dữ liệu đáng tin cậy.

Bảng 2. Đánh giá độ chính xác mực nước (m) của trạm Hòn Dấu (giai đoạn 01/01 đến 16/01/2020)

TT	Tên trạm	Mốc cao độ	Trung bình thực đo	Trung bình tính toán	Chỉ số đánh giá			
					R	RMSE	NASH	PBIAS (%)
1	Trạm Hòn Dấu	Hải đồ	2.020	0.437	0.985	1.628	-2.718	79.390
		Quốc gia	0.160		0.985	0.383	0.795	-160.786

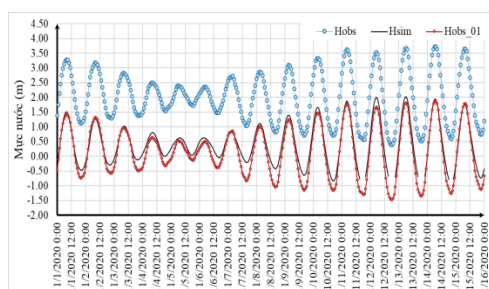
- Bước 2 - Thiết lập điều kiện ban đầu trong mô hình: Nhập vào mô hình các giá trị ban đầu như mực nước, các thông số địa hình, đặc tính đáy, hệ số ma sát,..., đảm bảo rằng các giá trị này phản ánh đúng trạng thái thực tế vào thời điểm bắt đầu mô phỏng.

- Bước 3 - Chạy mô phỏng ban đầu và so sánh với dữ liệu thực tế: Thực hiện mô phỏng với các điều kiện ban đầu đã cài đặt. So sánh kết quả mô phỏng (mực nước, dòng chảy,...) với dữ liệu quan sát thực tế để xác định sai số và sự khác biệt.



Hình 2. Sơ đồ khối quá trình hiệu chỉnh

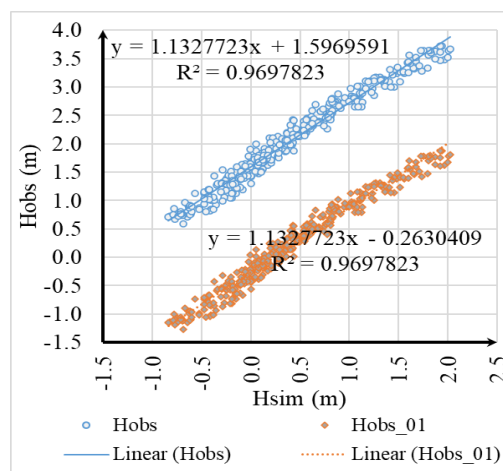
- Bước 4 - Điều chỉnh các thông số: Dựa trên sự chênh lệch giữa mô phỏng và dữ liệu thực tế, điều chỉnh lại các thông số ban đầu (ví dụ: thay đổi mực nước, hệ số ma sát,...) để giảm sai số. Chạy lại mô hình sau mỗi lần điều chỉnh và tiếp tục so sánh cho đến khi sai số giữa kết quả mô phỏng và dữ liệu thực tế nằm trong giới hạn chấp nhận được.



Hình 3. Hiệu chỉnh mực nước tại trạm Hòn Dấu từ 01/01/2020 đến 16/01/2020

Kết quả hiệu chỉnh, khi so sánh giữa số liệu quan trắc từ hải đồ (Hobs), quan trắc theo mốc Quốc gia (Hobs_01) và dữ liệu tính toán mô phỏng (Hsim), cho thấy sự tương đồng cao về cả pha và biên độ (Hình 3). Những kết quả này phản ánh sự ổn định của mô hình mô phỏng, đồng thời khẳng định tính tin cậy của kết quả đưa ra là đáng kể.

Hình 4 biểu thị so sánh tương quan mực nước giữa mô phỏng (Hsim), mực nước quan trắc theo hải đồ (Hobs) và mực nước quan trắc theo trạm Quốc Gia (Hobs_01) theo tọa độ x và y, biên độ chênh lệch khoảng 2m, tuy nhiên về độ biến thiên độ lớn thì có sự tương đồng cao. Chỉ số hệ số tương quan đều lớn hơn 0,95 cho thấy kết quả độ chính xác cao. Bảng 2 thể hiện kết quả trung bình tính toán mô phỏng và thực đo tại trạm Hòn Dấu, đều cho thấy các chỉ tiêu đánh giá sai số đạt yêu cầu như hệ số tương quan đều đạt lớn hơn giá trị 0,95. Chỉ số NASH có độ chính xác ở mức rất cao (< 1). Chỉ số PBIAS cũng thể hiện độ chính xác cao, hệ số RMSE nhỏ hơn 0,5.



Hình 4. So sánh mực nước quan trắc (Hobs) và mô phỏng (Hsim) tại trạm Hòn Dấu (giai đoạn 01/01 đến 16/01/2020)

3.2. Kết quả mô phỏng thủy động lực vào tháng 02/2023

Hình 5 là biểu đồ so sánh các giá trị mực nước mô phỏng (Hsim) và giá trị mực nước quan trắc theo trạm Quốc gia (Hobs_01), kết quả cho thấy các giá trị này có độ tương đồng cao về pha và độ lớn.

Bảng 3 cho thấy kết quả mô phỏng đánh giá độ chính xác tại trạm Hòn Dấu theo các chỉ tiêu đánh giá sai số, trung bình thực đo và trung bình tính toán. Nhìn chung, các chỉ số cho thấy đều đạt độ chính xác cao như chỉ số tương quan đều có giá trị lớn hơn 0,95. Chỉ số NASH có độ chính xác ở mức cao (nằm trong khoảng 0,6-0,8). Chỉ số PBIAS cũng thể hiện độ chính xác cao và còn cho thấy được mức độ thiên cao (< 0). Hệ số RMSE nhỏ hơn 0,5.

Hình 6 và Hình 7 trình bày kết quả mô phỏng thủy động lực trong các pha nước lên và nước xuống. Phân tích kết quả cho thấy các khu vực có vận tốc dòng chảy lớn tập trung chủ yếu ở khu vực ngoài luồng Nam Triệu, cửa Lạch Tray, kênh Cái Tráp và luồng Lạch Huyện. Trong giai đoạn triều cường, vận tốc dòng chảy tương đối nhỏ.

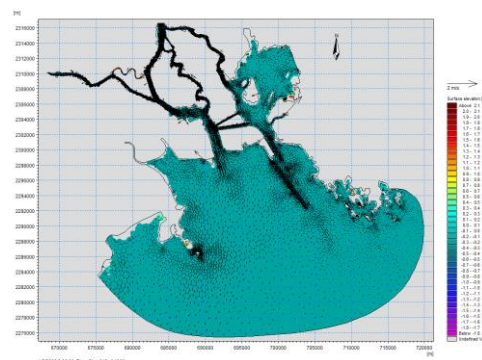
Hướng dòng biến đổi theo chu kỳ dao động của độ cao mực nước với hai xu hướng chính:

Trong kỳ triều cường, do sự xâm nhập của nước biển, dòng chảy chủ yếu di chuyển từ ngoài biển vào trong sông.

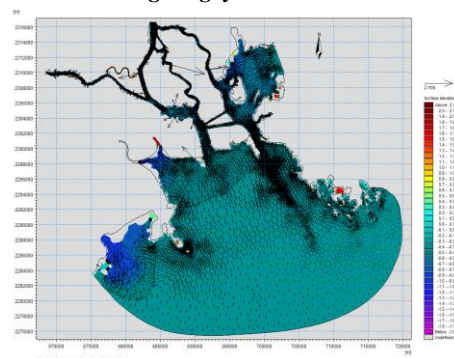
Trong kỳ triều kiệt, dòng chảy có xu hướng ngược lại, chủ yếu từ sông chảy ra biển.

Bên cạnh đó, vận tốc dòng chảy có sự thay đổi theo vị trí: Trong kỳ triều cường, vận tốc tăng dần từ ngoài biển vào sông, trong khi ở kỳ triều kiệt,

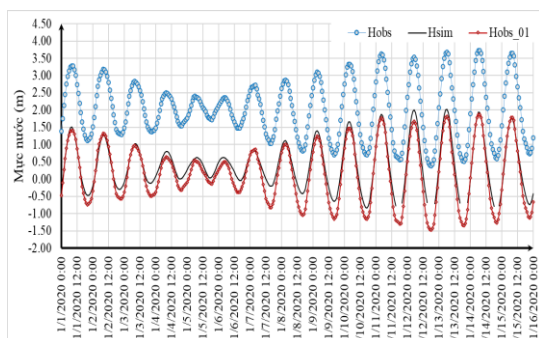
vận tốc giảm dần từ sông ra biển.



Hình 6. Trường mực nước tại kỳ triều kiệt lúc 15 giờ ngày 05/01/2020



Hình 7. Trường mực nước tại kỳ triều cường lúc 01 giờ ngày 15/01/2020



Hình 5. Biểu đồ so sánh mực nước tại trạm Hòn Dấu (giai đoạn 26/02 đến 11/3/2023)

Bảng 3. Đánh giá mực nước tại trạm Hòn Dấu (giai đoạn 26/02 đến 11/3/2023)

TT	Đặc trưng	Trạm Hòn Dấu	
		Chưa hiệu chỉnh	Hiệu chỉnh
1	Trung bình thực đo	1,956	0,096
2	Trung bình tính toán	0,153	
3	Chỉ số đánh giá	R	0,975
4		RMSE	1,695
5		NASH	-4,597
6		PBIAS	92,185 (%)
			-58,606 (%)

Bảng 4. Độ chính xác thống kê khoảng cách của hạt dầu giữa MIKE và tự xây dựng (giai đoạn 26/02 đến 04/3/2023)

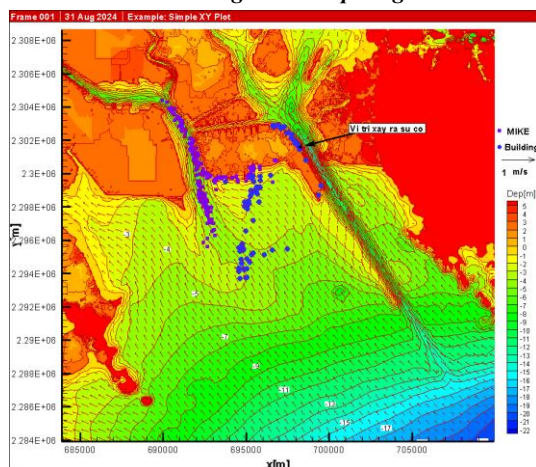
Khoảng cách trung bình từ điểm xảy ra tràn dầu đến vị trí lân cận gần nhất [m].	MIKE	2966.632
	Tự xây dựng	2962.996
Khoảng cách ngắn nhất giữa MIKE và tự xây dựng [m].	Lớn nhất	365.298
	Trung bình	63.647
Chỉ số đánh giá khoảng cách từ điểm tràn dầu đến vị trí gần nhất giữa MIKE và mô hình tự xây dựng.	R	0.999
	RMSE	66.158
	NASH	0.998
	PBIAS (%)	0.123

3.3. Kết quả mô phỏng tràn dầu vào tháng 02/2023

Dựa trên sơ đồ thuật toán về chương trình mô phỏng tràn dầu, tác giả đã xây dựng trên nền tảng ứng dụng bằng ngôn ngữ lập trình Fortran như trong Hình 8. Hình 9 thể hiện kết quả mô phỏng dựa trên một vụ tràn dầu thực tế xảy ra vào 26/2/2023.



Hình 8. Chương trình mô phỏng chính

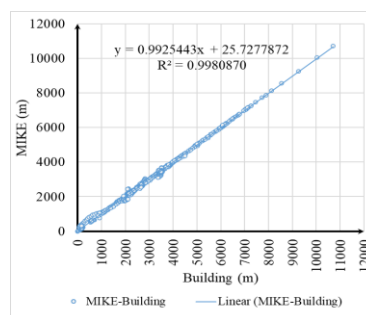


Hình 9. Vệt dầu vào ngày 04/3/2023 (sau 6 ngày)

Kết quả tính toán giữa mô hình MIKE và mô hình tự xây dựng được đánh giá dựa trên vị trí gần nhất, trong đó các so sánh sẽ được thể hiện thông qua các chỉ số đánh giá gồm hệ số R, RMSE, NSE và PBIAS.

Bảng 4 so sánh ba thông số: Khoảng cách trung bình từ điểm xảy ra tràn dầu đến vị trí lân cận gần nhất của MIKE là 2966,632m và tự xây dựng là 2962,996m, như vậy chỉ chênh lệch 3,6m; Khoảng

cách ngắn nhất giữa MIKE và tự xây dựng lần lượt là 365,298m và 63,647m; đối với các chỉ tiêu đánh giá sai số đều đạt yêu cầu như hệ số $R > 0,95$, $NASH = 0,998$ đạt độ chính xác rất cao (0,8-1,0), chỉ số $PBIAS > 0$ ở mức thiên thấp. Hình 10 là đồ thị bậc 1 so sánh tương quan khoảng cách của hạt dầu từ mô hình MIKE và mô hình tự xây dựng, kết quả đồ thị ở dạng tuyến tính cho thấy sự đồng nhất cao giữa hai mô hình.



Hình 10. So sánh tương quan khoảng cách hạt dầu giữa mô hình MIKE và mô hình tự xây dựng (giai đoạn 26/02 đến 04/3/2023)

4. Kết luận

Bài báo đã thực hiện mô phỏng thủy động lực bằng phần mềm MIKE và tràn dầu cho một vụ việc cụ thể vào tháng 02/2023 bằng chương trình tự xây dựng. Kết quả của chương trình thủy động lực được đánh giá độ chính xác thông qua các chỉ tiêu đánh giá sai số và so sánh với dữ liệu từ trạm Hòn Dấu. Đồng thời các chỉ tiêu đánh giá sai số này cũng được áp dụng cho kết quả của chương trình mô phỏng tràn dầu và cho độ chính xác trong giới hạn cho phép. Từ đó giúp nâng cao hiệu quả mô phỏng, nội địa hóa sản phẩm và có thể tăng độ chính xác của mô hình thông qua các số liệu thu thập được từ thực tế.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Deltares (2018). D-WAQ PART, User Manual; Deltares: Delft, Hà Lan.
- [2] MIKE 21 and MIKE 3 Flow Model FM (2014), *Hydrodynamic and Transport Module*, Scientific Documentation, Viện Thủy lực Đan Mạch.
- [3] Nguyễn Quốc Trinh, Nguyễn Quang Vinh (2018), *Nghiên cứu và phát triển mô phỏng dầu tràn ngược thời gian trên khu vực Biển Đông*, Tạp chí Dầu khí, tr.60-68.
- [4] Trần Anh Tú, Lê Đức Cường (2014), *Mô phỏng một số kịch bản tràn dầu khu vực đảo Côn Cỏ*, Tạp chí Khoa học và Công nghệ Biển; Tập 14, Số 2; tr.187-194.

- [5] Nguyễn Hữu Nhân, Huỳnh Kỳ Hạnh (2014), *Thử nghiệm mô hình OILSAS-Công cụ trợ giúp ứng phó sự cố tràn dầu trên vịnh Vân Phong, tỉnh Khánh Hòa*, Tuyển tập Nghiên cứu biển, Tập 20, tr.19-29.
- [6] Đoàn Quang Trí (2016), *Ứng dụng Mike 21 mô phỏng lan truyền dầu trên biển: khu vực nghiên cứu cảng Lạch Huyện, Hải Phòng*, Hội thảo khoa học Quốc gia về Khí tượng, Thủy văn, Môi trường và Biến đổi khí hậu, tr.395-400.
- [7] Đoàn Hà Phong (2021), *Truy xuất nguồn gốc dầu tràn không rõ nguyên nhân bằng công cụ trực tuyến WEBGIS*, Tạp chí Khoa học biến đổi khí hậu, Số 17, tr. 60-65.
- [8] Nguyễn Quang Bình, Nguyễn Công Phong, Vũ Huy Công, Võ Ngọc Dương (2021), *Mô hình thủy động lực học cho khu vực bờ biển Quảng Nam - Đà Nẵng*, Tạp chí Khoa học và Công nghệ (Đại học Đà Nẵng), Số 1, tr.19-23.
- [9] Lê Việt Thắng (2021), *Xây dựng bản đồ nhạy cảm môi trường đối với sự cố tràn dầu ven biển tỉnh Bình Định*, Tạp chí Khoa học và công nghệ (Trường Đại học Công nghiệp TP. Hồ Chí Minh), Số 01, tr.210-221.
- [10] Nguyễn Hải Anh, Dư Văn Toán, Mai Kiên Định, Nguyễn Hoàng Anh, Bùi Thị Thủy (2022), *Xây dựng chỉ số nhạy cảm đường bờ Vịnh Đà Nẵng áp dụng theo hướng dẫn NOAA về chỉ số nhạy cảm môi trường*, Tạp chí Khí tượng thủy văn, Số 741, tr.75-84.
- [11] Cao, Ruichen, et al. (2025), *Oil pollution risks on coastlines in the Eastern China Seas*, Environmental Pollution, Vol.372.
- [12] Ren, Peng, et al. (2025), *Oil spill drift prediction enhanced by correcting numerically forecasted sea surface dynamic fields with adversarial temporal convolutional networks*, IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, pp.1-18.
- [13] Song, Yang, et al. (2024), *Modeling study on oil spill transport in the Great Lakes: The unignorable impact of ice cover*, Journal of Environmental Management, Vol.358.
- [14] Lemos, Angelo, et al. (2024), *Ship route oil spill modeling: a case study of the Northeast Brazil event, 2019*, Applied Sciences, Vol.14(2), 865.
- [15] Kenney J. F. and Keeping E. S., (1962), *Linear Regression and Correlation*, Ch. 15 in Mathematics of Statistics, Pt. 1, 3rd ed. Princeton, NJ: Van Nos-trand, pp.252-285.
- [16] Kenney J. F. and Keeping E. S., (1962), *Root Mean Square*, Sec. 4.15 in Mathematics of Statistics, Pt. 1, 3rd ed. Princeton, NJ: Van Nostrand, pp.59-60.
- [17] Nash J. E., and Sutcliffe J. V. (1970), *River flow forecasting through conceptual models: Part 1. A discussion of principles*, J. Hyd., Vol.10(3), pp.282-290.
- [18] Gundlach E.R. (1987), *Oil holding capacities and removal coefficients for different shoreline types to computer simulate spills in coastal waters*, Proc. of the Oil Spill Conf., pp.451-457.
- [19] Gupta H. V., et al (1999), *Status of automatic calibration for hydrologic models: Comparison with multilevel expert calibration*, J. Hyd. Eng., Vol.4(2), pp.135-143.
- [20] Garcia-Martinez R. and Flores Tovar H. (1999). *Computer modeling of oil spill trajectories with a high accuracy method*, Spill Sci. Technol. Bull., Vol.5 (5-6), pp.323-330.

Ngày nhận bài:	04/03/2025
Ngày nhận bản sửa lần 1:	07/04/2025
Ngày nhận bản sửa lần 2:	08/04/2025
Ngày duyệt đăng:	08/04/2025