

**BỘ XÂY DỰNG**

**BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO**

**TRƯỜNG ĐẠI HỌC HÀNG HẢI VIỆT NAM**



**ĐỒ TRUNG KIẾN**

**NGHIÊN CỨU MÔ PHỎNG VÀ DỰ ĐOÁN  
CHUYỂN ĐỘNG CỦA VỆT DẦU LOANG TẠI  
VÙNG BIỂN VIỆT NAM DỰA TRÊN  
PHƯƠNG PHÁP MÔ PHỎNG 3D**

**Tóm tắt luận án tiến sĩ kỹ thuật**

**Ngành: Khoa học hàng hải; Mã số: 9840106**

**Chuyên ngành: Khoa học hàng hải**

**Hải Phòng - 2025**

Công trình hoàn thành tại Trường Đại học Hàng hải Việt Nam

Người hướng dẫn khoa học 1: PGS.TS. Nguyễn Mạnh Cường

Người hướng dẫn khoa học 2: TS. Đỗ Văn Cường

Phản biện 1: PGS.TS. Nguyễn Xuân Phương

Phản biện 2: PGS.TS. Trần Đình Lân

Phản biện 3: PGS.TS. Nguyễn Đình Thạch

Luận án được bảo vệ trước Hội đồng chấm luận án tiến sĩ cấp Trường  
hợp tại Trường Đại học Hàng hải Việt Nam vào hồi 08 giờ 30 phút ngày  
20 tháng 7 năm 2025

Có thể tìm hiểu luận án tại Thư viện Trường Đại học Hàng hải Việt  
Nam

## MỞ ĐẦU

### 1. Tính cấp thiết của đề tài

Trên thế giới, hàng hải vẫn là ngành giao thông chủ chốt trong vận tải hàng hóa toàn cầu. Trong đó, dầu thô và nhiên liệu vẫn là các mặt hàng được vận chuyển nhiều nhất, điều này dẫn đến những nguy cơ tràn dầu tiềm ẩn khi vận chuyển loại hàng này. Mức độ nghiêm trọng của các sự cố tràn dầu thường phụ thuộc vào: khối lượng và loại dầu tràn, điều kiện môi trường xung quanh, mức độ nhạy cảm của các loài vi sinh vật và đa dạng môi trường sống với dầu, v.v..

Một số ví dụ về những sự cố tràn dầu lớn trên thế giới như: sự cố tràn giếng dầu Ixtoc tại Mexico (1979) với khoảng 3,3 triệu thùng dầu tràn ra biển; sự cố tràn dầu của tàu Exxon Valdez tại Alaska, Hoa Kỳ (1989) với 37.000 tấn dầu tràn; sự cố dầu tràn từ tàu Prestige (2002) với 63.000 tấn tại bờ biển Tây Ban Nha; sự cố tràn dầu của công ty BP tại Vịnh Mexico (2010) với khoảng 4,9 triệu thùng dầu tràn ra biển; sự cố dầu tràn từ tàu Sanchi (2018) gây ra 113.000 tấn dầu tràn ra biển tại Trung Quốc;

Theo thống kê từ ITOPF, nguyên nhân gây ra các vụ tràn dầu trên thế giới chủ yếu đến từ hoạt động của tàu thuyền, như: đâm va, mắc cạn, hư hỏng thân tàu; chiếm tới 52% (đối với các vụ tràn dầu từ 7-700 tấn) và lên tới 74% (đối với các vụ tràn dầu trên 700 tấn).

Việt Nam có khoảng 3.260 km đường bờ biển, với hơn 1 triệu km<sup>2</sup> diện tích vùng biển và khoảng 3.000 đảo lớn nhỏ, nền kinh tế nước ta với 28 tỉnh thành ven biển (dữ liệu trước 01/7/2025) đóng góp hơn một nửa vào tổng thu ngân sách của cả nước. Ngoài ra, với vị trí địa lý nằm trên tuyến đường hàng hải khá nhộn nhịp, do đó mật độ tàu thuyền đi lại trong khu vực không ngừng gia tăng, với số lượng lớn các tàu, đặc biệt là các tàu chở dầu thường xuyên chạy trên các tuyến đường này. Điều này đặt ra thách thức ô nhiễm môi trường ven biển, như dầu, rác thải, vi nhựa và các nguồn gây ô nhiễm khác

Theo Quy hoạch tổng thể phát triển hệ thống cảng biển Việt Nam của Thủ tướng Chính phủ, khu vực phía Bắc điển hình là Hải Phòng (trước hợp nhất 01/7/2025) sẽ được đầu tư trở thành một trong hai cảng biển đặc biệt của Việt Nam, hệ thống cảng biển gồm 4 khu bến chính và bến cảng huyện đảo Bạch Long Vĩ, các bến phao, khu neo đậu chuyển tải, các khu neo đậu tránh, trú bão. Hiện nay, cảng biển Hải Phòng đang có 51 bến cảng trên tổng số 306 bến cảng của Việt Nam. Ngoài ra, Hải Phòng là một trong những trung tâm dự trữ, trung chuyển dầu lớn nhất của cả nước, cung cấp các sản phẩm dầu cho khu vực miền Bắc, có các khu vực kho bồn chứa khối lượng xăng dầu lớn và thường xuyên có các tuyến tàu vận chuyển xăng dầu ra, vào.

Đặc biệt, ngày 04/12/2024 vừa qua, Thủ tướng Chính phủ có Quyết định số 1511/QĐ-TTg về việc thành lập Khu Kinh tế ven biển phía Nam Hải Phòng, trong đó có đầu tư xây dựng cụm cảng Nam Đồ Sơn, với khả năng tiếp nhận tàu container trọng tải 18.000 TEU, tàu tổng hợp đến 200.000 tấn, tàu hàng lỏng/khí đến 150.000 tấn, v.v..

Điều này dẫn đến nguy cơ rất cao các vụ cháy nổ, sự cố tràn dầu trong khu vực Hải Phòng, đặc biệt đến từ các nguyên nhân như: va chạm giữa các tàu trong quá trình vận chuyển, vỡ đường ống dẫn dầu vận chuyển, v.v..

Từ thực tiễn đó, cần thiết xây dựng được một chương trình mô phỏng và dự đoán chuyển động của vệt dầu tại vùng biển nước ta nói chung và Hải Phòng nói riêng để góp phần tự chủ, giảm sự phụ thuộc vào các phần mềm thương mại, nâng cao năng lực nghiên cứu, dự báo tràn dầu trong nước, do đó nghiên cứu sinh (NCS) đề xuất nghiên cứu thực hiện đề tài: ***“Nghiên cứu mô phỏng và dự đoán chuyển động của vệt dầu loang tại vùng biển Việt Nam dựa trên phương pháp mô phỏng 3D”***.

## **2. Mục đích nghiên cứu đề tài**

Xây dựng mô hình mô phỏng sự di chuyển của các hạt dầu trên biển, với quá trình mở rộng và trôi dạt, có tính đến các yếu tố đầu vào như gió, sóng, dòng chảy, nhiệt độ nước biển, các yếu tố địa hình khu vực vùng biển Hải Phòng, đáp ứng được các yêu cầu độ tin cậy thông qua việc điều chỉnh các dữ liệu đầu vào thủy động lực. Mô hình sau đó được nâng cấp dưới dạng 3D thể hiện rõ sự bám dính của vệt dầu vào đường bờ.

## **3. Phương pháp nghiên cứu đề tài**

- *Phương pháp tổng hợp, thống kê*: liệt kê những nghiên cứu đã tồn tại về dự đoán tràn dầu ở trong nước và nước ngoài, đưa ra những ưu nhược điểm của từng phương pháp, từ đó làm rõ thêm tính mới và ưu việt của kết quả nghiên cứu.

- *Phương pháp giải thích*: để trình bày nguyên lý của thuật toán được lựa chọn, diễn giải các phương trình và các thành phần của phương trình để tối ưu hóa chương trình mô phỏng.

- *Phương pháp GIS*: để số hóa và xử lý số liệu địa hình từ các bản đồ địa hình và hải đồ theo các tỷ lệ khác nhau ở vùng cửa sông ven biển Hải Phòng. Các phần mềm GIS cũng được dùng để lồng ghép và đồng bộ số liệu địa hình ở vùng ven biển.

- *Phương pháp tính toán và mô phỏng trên máy tính*: sử dụng mô-đun MIKE Hydrodynamic để tính toán mô phỏng thủy động lực làm yếu tố đầu vào cho mô hình MIKE 21/3 Coupled FM và mô hình tự xây dựng dựa trên phương pháp mô phỏng Lagrange.

- *Phương pháp phân tích và so sánh*: dùng để so sánh kết quả mô phỏng bằng phần mềm thương mại với chương trình do NCS tự xây dựng với các kịch bản, tình huống khác nhau, qua đó phân tích tính tin cậy và kiểm chứng độ chính xác của mô hình tự xây dựng.

- *Phương pháp chuyên gia*: trao đổi, tham vấn ý kiến từ các chuyên gia đầu ngành tại Viện Tài nguyên và Môi trường biển (nay là Viện KHCN Năng lượng & Môi trường), Viện Cơ học, Viện Địa lý, v.v. thuộc Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam.

#### **4. Đối tượng và phạm vi nghiên cứu của đề tài**

- *Đối tượng nghiên cứu*: xây dựng chương trình mô phỏng sự cố tràn dầu trên biển tại vùng biển Việt Nam, cụ thể luận án tập trung vào việc nâng cao độ chính xác của mô hình thủy động lực và mô phỏng 3D vệt dầu loang.

- *Phạm vi nghiên cứu*: mô phỏng và dự đoán chuyển động của vệt dầu loang trên biển, thí điểm tại vùng biển Hải Phòng tại các kịch bản tràn dầu đặt ra năm 2022 và trường hợp tràn dầu thực tế xảy ra năm 2023.

#### **5. Ý nghĩa khoa học và thực tiễn của đề tài**

- *Ý nghĩa khoa học*: Xây dựng được chương trình mô phỏng và dự đoán chuyển động của vệt dầu loang dựa trên phương pháp Lagrange tại khu vực biển Hải Phòng, Việt Nam. Chương trình do NCS tự xây dựng cho kết quả mô phỏng tin cậy, thông qua các chỉ tiêu đánh giá sai số để kiểm soát độ chính xác của kết quả mô phỏng thủy lực, từ đó làm phong phú thêm đóng góp khoa học trong lĩnh vực nghiên cứu về mô phỏng tràn dầu ở trong nước và trên thế giới.

- *Ý nghĩa thực tiễn*: Kết quả nghiên cứu của luận án sẽ góp phần làm đa dạng thêm các chương trình mô phỏng tràn dầu ở trong nước, từng bước làm chủ công nghệ mô phỏng tràn dầu, hỗ trợ ứng phó sự cố tràn dầu.

#### **6. Những điểm đóng góp mới**

Luận án có các đóng góp mới sau đây:

- Xây dựng mô hình mô phỏng tràn dầu dựa trên phương pháp Lagrange, phù hợp với điều kiện tự nhiên vùng biển Việt Nam, thí điểm tại vùng biển Hải Phòng. Mô hình cho phép linh hoạt điều chỉnh các tham số đầu vào thủy động lực và kiểm soát độ tin cậy kết quả đầu ra thông qua các chỉ tiêu đánh giá sai số (Hệ số tương quan - R, Sai số bình phương trung bình - RMSE, độ lệch tương đối - PBIAS và chỉ số Nash-Sutcliffe - NSE) đảm bảo độ tin cậy;

- Kết quả mô phỏng đã được tích hợp hiển thị quang cảnh 3D kết hợp bản đồ địa hình GIS, thể hiện rõ hình ảnh vệt dầu loang và bám dính vào bờ biển. So với các mô hình 2D truyền thống, mô hình 3D do NCS tự xây dựng cho phép nhận diện chính xác khu vực dầu bám dính. Mô hình 3D đảm bảo độ tin cậy và hỗ trợ hiệu quả trong việc ra quyết định ứng phó sự cố.

#### **7. Kết cấu của luận án**

Luận án được trình bày bao gồm 150 trang, 107 hình vẽ, 24 bảng biểu, phần mở đầu và 4 chương, phần kết luận, danh mục các công trình đã công bố liên quan đến đề tài luận án, tài liệu tham khảo và 05 phụ lục.

### **CHƯƠNG 1. TỔNG QUAN TÌNH HÌNH NGHIÊN CỨU CÁC MÔ HÌNH VÀ PHƯƠNG PHÁP MÔ PHỎNG SỰ PHÁT TRIỂN CỦA MÀNG DẦU TRÊN BIỂN**

#### **1.1 Tổng quan tình hình nghiên cứu mô phỏng sự cố tràn dầu trên biển**

Nghiên cứu mô phỏng tràn dầu được khái quát dưới hai hướng chính:

- Sử dụng phần mềm thương mại có bản quyền để tính toán cho tất cả các khu vực trên thế giới;

- Nghiên cứu tự xây dựng bài toán mô phỏng và dự đoán tràn dầu để phù hợp với điều kiện địa hình và tình hình khí tượng thủy, hải văn tại vùng biển nghiên cứu.

## **1.2 Tổng quan các phương pháp mô phỏng đồ họa 3D của màng dầu trên biển**

Từ các thông kê có thể thấy đa phần các nghiên cứu tràn dầu trên thế giới hiện nay cũng chỉ tập trung dưới dạng mô phỏng hình ảnh 2D sau đó tích hợp trên bản đồ số hoặc bản đồ địa hình để thấy được tổng quan của quá trình mô phỏng.

Trên thế giới hiện nay tồn tại hai phương pháp mô phỏng chính là: Phương pháp mô phỏng hình học và Phương pháp mô phỏng vật lý.

### **1.2.1 Mô hình mô phỏng hình học**

Nguyên lý của phương pháp là xây dựng nên mô hình 2D hoặc 3D bằng cách tạo nên các điểm, đường, đoạn thẳng. Sau khi phân tích của vật thể đã được tính toán, xây dựng, một chương trình khác sẽ đảm nhận nhiệm vụ xây dựng tô chất màu cho đối tượng để sao cho đối tượng có hình dáng giống với thực tế nhất.

### **1.2.2 Mô hình mô phỏng vật lý**

Phương pháp vật lý được hình thành do quá trình xét các vật chất dầu cũng được cấu thành từ nhiều chất điểm có kích thước khác nhau. Các hạt vật chất được mô phỏng sự chuyển động bằng phương trình Navier-Stokes. Mô hình mô phỏng vật lý có ưu điểm tính toán chính xác hơn và mô tả chi tiết hơn chất lỏng.

Để giải quyết phương trình Navier-Stokes, hiện nay lại có hai cách tiếp cận phổ biến đó là: Phương pháp Euler và Phương pháp Lagrange.

Trong đó, phương pháp Lagrange có ưu điểm là tính toán nhanh và không phụ thuộc vào độ phân giải của ô lưới tính toán (đặc biệt là ảnh hưởng khuếch tán số không nhiều) như phương pháp Euler; nên hầu hết các phần mềm thương mại hiện nay đều dựa trên lý thuyết hạt Lagrange cho chương trình mô phỏng tràn dầu như: MIKE 21/3 Oil Spill, DELFT3D, MEDSLIK, GNOME, MOHID, ADIOS, v.v..

## **1.3 Tổng quan điều kiện tự nhiên của khu vực nghiên cứu**

Hải Phòng (số liệu trước 01/7/2025) nằm ở hạ lưu của hệ thống sông Hồng và sông Thái Bình, Hải Phòng gồm 05 hệ thống sông chính theo hướng từ Đông Bắc xuống Tây Nam, dẫn đến địa hình bờ biển khu vực Hải Phòng bị ngắt quãng do có các cửa sông đổ ra biển như: cửa Cấm, cửa Lạch Tray, cửa Văn Úc và cửa Thái Bình.

Hải Phòng là một trong những tỉnh thành có số lượng đảo lớn nhất cả nước, riêng quần đảo Cát Bà đã có gần 400 đảo, là khu dự trữ sinh quyển của thế giới với tổng số 2.386 loài sinh vật trên cạn và dưới nước. Trong đó, có 89 loài động vật được ghi trong Sách Đỏ Việt Nam ở các mức độ bảo vệ khác nhau.

Nguồn lợi hải sản của biển Hải Phòng cực kỳ phong phú với đa dạng các loài, hiện có hơn 500 loài/nhóm loài thuộc 10 nhóm sinh thái lớn và nhóm loài khác nhau.

Với vị trí địa lý là cửa ngõ hướng ra biển quan trọng bậc nhất của miền Bắc, Hải Phòng giữ vai trò là một động lực phát triển kinh tế của miền Bắc và cả nước. Giao thương phát triển kinh tế mạnh, cùng hoạt động hàng hải sôi động, do đó vùng biển Hải Phòng tiềm ẩn nguy cơ sự cố gây ô nhiễm môi trường cao, trong đó có tràn dầu.

### **1.3.1 Chế độ nhiệt**

Vùng bị phân hoá thành 2 mùa do sự chi phối của hoàn lưu cực đới: vào thời kỳ mùa Hè tháng 5 đến tháng 9 nóng, nhiệt độ trung bình trên 25°C; vào thời kỳ mùa Đông, tháng 11 đến tháng 4 lạnh, nhiệt độ trung bình dưới 20°C.

### **1.3.2 Chế độ gió**

Khu vực ven biển Hải Phòng nằm trong vành đai nhiệt đới gió mùa châu Á, chịu ảnh hưởng của chế độ khí hậu mang tính chất nhiệt đới gió mùa, như sau:

- Về mùa Đông (tháng 11 đến tháng 3 năm sau), khu vực này chịu ảnh hưởng chủ yếu của khối không khí cực đới biến tính được hình thành từ vùng Xibia (Nga) tràn về phía nam;

- Về mùa Hạ (tháng 5 đến tháng 9), khu vực này chịu ảnh hưởng của các luồng không khí nóng và ẩm từ phía tây và nam tràn qua.

### **1.3.3 Chế độ sóng**

Ở vùng bờ Hải Phòng, nhìn chung sóng không lớn, phụ thuộc vào chế độ gió theo mùa, tốc độ gió và đặc điểm địa hình và hình dạng đường bờ. Sóng hướng chính là đông, đông nam và nam với tần suất xuất hiện lần lượt khoảng 30%, 21,5% và 8%.

### **1.3.4 Thủy triều**

Vùng bờ Hải Phòng có chế độ nhật triều thuần nhất với hầu hết số ngày trong tháng (khoảng 25 ngày) chỉ có một lần nước lớn và một lần nước ròng. Đây là khu vực có biên độ triều thuộc vào loại lớn nhất so với các vùng biển khác của nước ta.

## **1.4 Kết luận chương 1**

Hiện nay, các nghiên cứu mô phỏng tràn dầu trong và ngoài nước chủ yếu theo hai hướng: (1) sử dụng phần mềm thương mại để tính toán; (2) tự xây dựng phần mềm mô phỏng phù hợp với điều kiện địa phương. Các mô hình hiện nay phần lớn thực hiện mô phỏng 2D; các mô hình 3D hiện có chủ yếu mô phỏng theo cột nước, còn hạn chế trong việc trực quan hóa quá trình dầu tiếp xúc và bám dính vào bờ.

Khu vực biển Hải Phòng, có mật độ tàu thuyền ra vào lớn, nhiều kho trung chuyển dầu và đường bờ biển phức tạp, là khu vực điển hình có nguy cơ ô nhiễm cao; đồng thời đại diện tiêu biểu cho điều kiện tự nhiên của các vùng biển Việt Nam. Do đó, khu vực này được NCS lựa chọn làm khu vực nghiên cứu thí điểm. Mô hình do NCS tự nghiên cứu, phát triển có khả năng ứng dụng cho các vùng biển khác tại Việt Nam, khi có đủ các dữ liệu đầu vào cần thiết.

## **CHƯƠNG 2. CƠ SỞ PHƯƠNG PHÁP LUẬN VÀ NGUỒN DỮ LIỆU PHỤC VỤ NGHIÊN CỨU**

### **2.1 Cơ sở phương pháp luận**

Khi một lượng dầu được thải ra môi trường biển, các yếu tố như dòng chảy, sóng, gió, v.v. sẽ tác động mạnh mẽ đến quá trình lan truyền của vết dầu theo hướng dòng chảy và điều kiện động lực học của khu vực. Do đó, nghiên cứu động lực học biển

đóng vai trò then chốt trong việc xác định sự phân bố, truyền tải và dự đoán hướng di chuyển của vệt dầu loang.

Hiện nay, hai mô hình được sử dụng phổ biến là MIKE do Viện thủy lực Đan Mạch (DHI) và DELFT3D do Deltares (Hà Lan) phát triển. Mô hình MIKE có giao diện đồ họa trực quan, thân thiện với người dùng, tích hợp nhiều công cụ hỗ trợ xử lý dữ liệu đầu vào, phân tích kết quả và hiển thị trên nền GIS. MIKE có sử dụng cả lưới có cấu trúc và phi cấu trúc, đặc biệt phù hợp để mô phỏng ở các khu vực địa hình phức tạp như ven biển và cửa sông. Chính vì vậy, NCS lựa chọn sử dụng mô hình MIKE 21/3 Coupled FM với 2 mô-đun chính là Hydrodynamic và ECO Lab/Oil spill mô phỏng và dự đoán khả năng lan truyền dầu tại vùng biển Việt Nam.

### 2.1.1 Mô hình MIKE 21/3 Coupled FM

MIKE 21/3 Coupled FM bao gồm nhiều mô-đun thành phần. Trong luận án, NCS sử dụng kết hợp mô-đun thủy động lực Hydrodynamic và mô-đun tính toán tràn dầu ECO Lab/Oil spill, cho phép mô hình hóa quá trình lan truyền dầu hiệu quả, đồng thời có thể mô phỏng các tình huống sự cố khác nhau để hỗ trợ công tác ứng phó và dự báo.

#### 2.1.1.1 Mô-đun thủy động lực

Mô-đun thủy động lực (Hydrodynamic module – HD) là một thành phần rất quan trọng trong gói phần mềm MIKE 21, được phát triển nhằm mô phỏng các quá trình dòng chảy không ổn định trong vùng nước nông.

Phương trình mô phỏng chuyển động của dòng chảy hai chiều theo phương ngang được xây dựng trên cơ sở tích phân theo chiều đứng của hệ phương trình Navier-Stokes ba chiều, dưới giả thiết dòng chảy tầng mỏng và vận tốc phương đứng không đáng kể. Quá trình tích phân này phản ánh sự bảo toàn khối lượng và động lượng theo chiều thẳng đứng trên toàn bộ lớp nước, từ đó dẫn đến hệ phương trình nước nông hai chiều (2D Shallow Water Equations), có dạng:

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial h\bar{u}}{\partial x} + \frac{\partial h\bar{v}}{\partial y} = hS \quad (2.1)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial h\bar{u}}{\partial t} + \frac{\partial h\bar{u}^2}{\partial x} + \frac{\partial h\bar{u}\bar{v}}{\partial y} = & f\bar{v}h - gh\frac{\partial\eta}{\partial x} - \frac{h}{\rho_o}\frac{\partial P_a}{\partial x} - \frac{gh^2}{2\rho_o}\frac{\partial\rho}{\partial x} \\ & + \frac{\tau_{xx}}{\rho_o} - \frac{\tau_{xy}}{\rho_o} - \frac{1}{\rho_o}\left(\frac{\partial s_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial s_{xy}}{\partial y}\right) + \frac{\partial}{\partial x}(hT_{xx}) + \frac{\partial}{\partial y}(hT_{xy}) + h_{u_s}S \end{aligned} \quad (2.2)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial h\bar{v}}{\partial t} + \frac{\partial h\bar{u}\bar{v}}{\partial x} + \frac{\partial h\bar{v}^2}{\partial y} = & -f\bar{u}h - gh\frac{\partial\eta}{\partial y} - \frac{h}{\rho_o}\frac{\partial P_a}{\partial y} - \frac{gh^2}{2\rho_o}\frac{\partial\rho}{\partial y} \\ & + \frac{\tau_{xy}}{\rho_o} - \frac{\tau_{yy}}{\rho_o} - \frac{1}{\rho_o}\left(\frac{\partial s_{yx}}{\partial x} + \frac{\partial s_{yy}}{\partial y}\right) + \frac{\partial}{\partial x}(hT_{xy}) + \frac{\partial}{\partial y}(hT_{yy}) + h_{v_s}S \end{aligned} \quad (2.3)$$

Trong đó,  $t$  là thời gian;  $x$  và  $y$  là tọa độ Đề các;  $\eta$  là dao động mực nước;  $d$  là độ sâu;  $h=\eta+d$  là độ sâu tổng độ;  $\bar{u}, \bar{v}$  là các thành phần vận tốc trung bình theo phương  $x$  và  $y$ ;  $f=2\Omega\sin\Phi$  là tham số Coriolis, với  $\Omega$  là vận tốc góc quay của Trái

đất,  $\Phi$  là vĩ độ địa lý;  $g$  là gia tốc trọng trường;  $v_t$  là nhớt rối thẳng đứng;  $\rho$  là mật độ nước;  $p_a$  là áp suất khí quyển;  $\rho_0$  là mật độ chuẩn;  $S$  là độ lớn của lưu lượng do các điểm nguồn và  $(u_s, v_s)$  là vận tốc của dòng lưu lượng đi vào miền tính;  $(\tau_{sx}, \tau_{sy})$  và  $(\tau_{hx}, \tau_{hy})$  là các thành phần x,y của ứng suất gió bề mặt và ứng suất đáy.

### 2.1.1.2 Mô-đun tính toán tràn dầu

Mô-đun ECO Lab/ Oil spill được sử dụng để mô phỏng sự biến đổi và di chuyển của dầu bị xả thải hoặc tràn ra hồ, cửa sông, khu vực ven biển hoặc biển khơi. Dầu được mô phỏng dưới dạng các hạt Lagrange, di chuyển cùng với môi trường nước xung quanh và chịu ảnh hưởng của các quá trình phong hóa.

Chuyển động của hạt được xác định bằng:

$$\frac{d\vec{x}}{dt} = \vec{u}(\vec{x}, t) + \vec{u}_w + \vec{u}_{diff} \quad (2.15)$$

Trong đó:  $\vec{x}$  là vị trí của hạt dầu;  $\vec{u}(\vec{x}, t)$  là vận tốc dòng chảy (thu được từ mô hình thủy động học MIKE 21/3 HD);  $\vec{u}_w$  là vận tốc do gió;  $\vec{u}_{diff}$  là thành phần khuếch tán ngẫu nhiên (mô phỏng khuếch tán phân tử và rối).

### 2.1.2 Mô hình truyền tải vật chất ứng dụng đối với dầu tràn

#### 2.1.2.1. Khái quát về phương pháp Lagrange

Phương pháp Lagrange chia vật chất thành các hạt riêng biệt (particles), mỗi hạt có tọa độ và khối lượng cụ thể. Các hạt này di chuyển theo dòng chảy và chịu tác động của các quá trình vật lý, hóa học và sinh học trong môi trường nước.

Một trong những ưu điểm nổi bật của phương pháp Lagrange là khả năng tính toán nhanh khi số lượng hạt còn ở mức thấp, đồng thời không phụ thuộc vào cấu trúc lưới tính toán, qua đó giảm thiểu ảnh hưởng của khuếch tán số.

Phương trình Langevin cho chất điểm (theo Garcia), quỹ đạo của một hạt tại thời điểm  $t+\Delta t$  được mô tả theo véc-tơ như sau:

$$\vec{x}(t + \Delta t) = \vec{x}(t) + \vec{u}(\vec{x}, t) \cdot \Delta t + \vec{u}'(\vec{x}, t) \cdot \Delta t \quad (2.23)$$

Trong đó,  $\vec{x}(t)$  là vị trí của chất điểm tại thời điểm  $t$ ;  $\vec{u}(\vec{x}, t)$  là vận tốc di chuyển của chất điểm;  $\vec{u}'(\vec{x}, t)$  là tốc độ di chuyển phân tán, rối;  $\Delta t$  là bước thời gian.

#### 2.1.2.2. Cơ sở lý thuyết về phương pháp Lagrange

Kế thừa Garcia, NCS mô phỏng quỹ đạo hạt bằng cách sử dụng ba sơ đồ để tìm ra yếu tố hơn kém của các phương pháp. Một trường dòng chảy hai chiều được xem xét:

$$\begin{aligned} X_{n+1} &= X_n + u_{part} \cdot dt + b(t)\xi dt + u' \cdot dt \\ Y_{n+1} &= Y_n + v_{part} \cdot dt + b(t)\xi dt + v' \cdot dt \end{aligned} \quad (2.24)$$

Đối với thành phần phân tán khuếch tán:

- Thời gian từ đầu đến 12 giờ:

$$b(t) = b^* (t / 24)^{0.1} \quad (2.25)$$

- Thời gian lớn hơn 12 giờ:

$$b(t) = b^* (e^{(48-t)/48} - 1.7)^{2.75} \quad (2.26)$$

Trong đó,  $b$  là hệ số phân tán;  $t$  là thời gian (giờ).

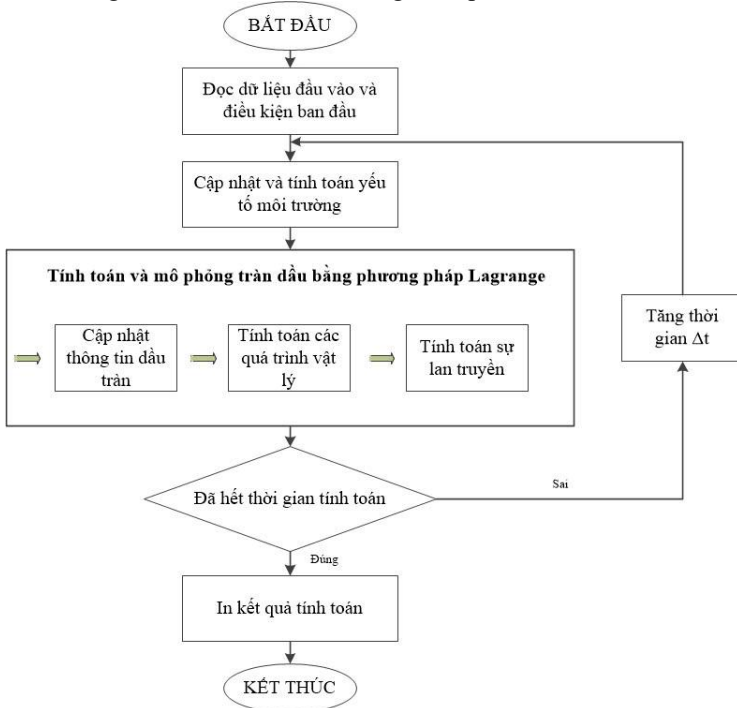
Đối với thành phần quán tính:

$$\begin{aligned} u' &= 0.1(C_c \bar{u} + C_w u_{wx}) \\ v' &= 0.1(C_c \bar{v} + C_w u_{wy}) \end{aligned} \quad (2.27)$$

Trong đó,  $X_{n+1}$  và  $Y_{n+1}$  là vị trí hạt dầu theo trục  $x$  và  $y$  tại thời điểm  $t+dt$ ;  $X_n$  và  $Y_n$  là vị trí hạt dầu theo trục  $x$  và  $y$  tại thời điểm  $t$ ;  $C_c$  và  $C_w$  là hệ số thành phần dòng chảy và gió;  $\bar{u}$  và  $\bar{v}$  là thành phần dòng chảy theo phương  $x$  và  $y$ ;  $u_{wx}$  và  $u_{wy}$  là thành phần gió theo phương  $x$  và  $y$ ;  $u_{part}$  và  $v_{part}$  là vận tốc trôi do dòng chảy gây ra;  $b$  là hệ số phân tán;  $\xi$  là giá trị ngẫu nhiên được xác định biến đổi từ -1 đến 1;  $u'$  và  $v'$  là thành phần quán tính theo phương  $x$  và  $y$  của dòng chảy và gió tại thời điểm  $n+1$ ;  $dt$  là bước thời gian;  $t$  là thời gian (giờ).

### 2.1.2.3 Sơ đồ cấu trúc thuật toán và các chương trình tính toán

Hình 2.1 là sơ đồ thuật toán tổng quát của mô hình mô phỏng dầu tràn. Chương trình gồm chương trình chính và các chương trình phụ trợ.



Hình 2.1. Sơ đồ thuật toán tổng thể đầy đủ

### **2.1.3 Một số chỉ tiêu đánh giá sai số**

Độ chính xác của kết quả quan trắc đo đạc và tính toán được đánh giá bằng một số yếu tố theo các chỉ tiêu sau:

- Hệ số tương quan R;
- Chỉ số trung bình phương sai RMSE;
- Chỉ số NASH;
- Chỉ số độ lệch chuẩn PBIAS.

### **2.2 Nguồn dữ liệu**

Nguồn dữ liệu địa hình; Nguồn dữ liệu khí tượng, thủy, hải văn; Dữ liệu về sự cố tràn dầu

### **2.3 Kết luận chương 2**

NCS đã sử dụng và cải tiến cơ sở lý thuyết của chương trình mô phỏng và dự đoán chuyển động của vệt dầu loang trên biển, sử dụng phương pháp tiếp cận Lagrange. Mô hình do NCS tự xây dựng mô phỏng đồng thời quá trình bình lưu và khuếch tán ngẫu nhiên, tái hiện quỹ đạo của các hạt dầu trong môi trường biến động.

Ngoài ra, mô hình tràn dầu do NCS tự xây dựng có khả năng nâng cao độ chính xác, thông qua điều chỉnh các điều kiện đầu vào của mô hình thủy động lực MIKE, đây là mô hình đã thể hiện tính hiệu quả khi thực hiện mô phỏng tại khu vực cửa sông ven biển. Độ chính xác của mô hình tràn dầu phụ thuộc chủ yếu vào kết quả đầu vào là các tham số tính toán thủy lực. Do đó NCS đã áp dụng các chỉ tiêu đánh giá sai số để đạt được tiêu chí này.

## **CHƯƠNG 3. MÔ PHỎNG SỰ CỐ TRÀN DẦU TRÊN BIỂN BẰNG MÔ HÌNH MIKE 21/3 COUPLED FM**

### **3.1 Dữ liệu địa hình**

Dữ liệu địa hình khu vực biển Hải Phòng và lân cận bao gồm:

- Các bản đồ địa hình UTM hệ tọa độ địa lý VN2000 tỷ lệ 1:25.000, 1:100.000 và 1:500.000 do Cục đo đạc, Bản đồ và Thông tin địa lý Việt Nam (Bộ Nông nghiệp và Môi trường) kế thừa từ dự án nghiên cứu.

- Cơ sở dữ liệu GEBCO của Trung tâm tư liệu Hải dương học Vương quốc Anh (British Oceanographic Data Centre).

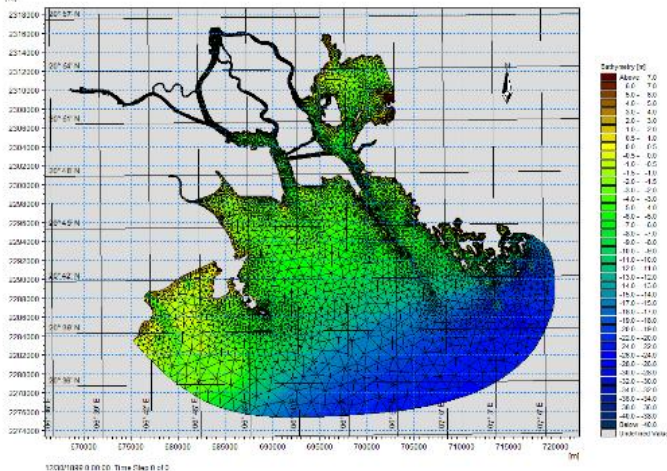
- Cơ sở dữ liệu địa hình toàn cầu ETOPO1 của Trung tâm Tư liệu Địa vật lý Quốc gia Hoa Kỳ NGDC (National Geophysical Data Center).

Sau đó, tiến hành chuyển các dữ liệu địa hình về cùng hệ thống kinh tuyến, vĩ tuyến theo hệ tọa độ UTM 48; dữ liệu độ cao lấy theo mốc cao độ quốc gia. Các dữ liệu này được sử dụng làm đầu vào cho việc tạo lưới tính và trường độ sâu trên mô hình MIKE 21/3 Coupled FM phục vụ cho tính toán ở phần tiếp theo.

### **3.2 Xây dựng miền tính toán và các điều kiện ban đầu cho mô hình thủy động lực**

#### **3.2.1 Miền tính, lưới tính và địa hình**

[12]



12/01/2020 0:00:00 Time Step 0 of 2

### 3.2.2 Điều kiện tính toán mô phỏng và điều kiện ban đầu

Chương trình tính toán với 2 biên nước

### 3.2.2.2 Điều kiện ban đầu

### 3.2.3 Điều kiện biên

- 12

### 3.2.4 Điều kiện đầu vào cho dầu tràn

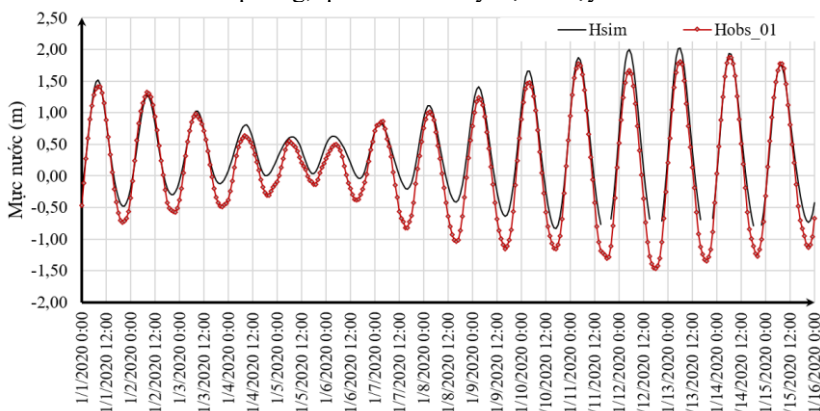
Bảng 3.4. Thông tin lựa chọn của mô hình truyền tải dầu tràn

| TT | Nội dung               | Tham số                                                                                                                             |
|----|------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1  | Các lớp dầu vào        | Đã được chuẩn hóa theo mô hình (DHI Oil Weathering Model 2013)                                                                      |
| 2  | Các nguồn tràn dầu     | Nguồn 1: Khu vực cửa Lạch Huyện gần bến Gót;<br>Nguồn 2: Khu vực cửa Bạch Đằng.                                                     |
| 3  | Kiểu nguồn             | Nguồn tràn dầu 1 lần ở bước tính đầu tiên                                                                                           |
| 4  | Phân tán và khuếch tán | Hệ số khuếch tán ngang là $0,025\text{m}^2/\text{s}$ ;<br>Hệ số phân tán thẳng đứng là $1,0\text{e-}5\text{ m}^2/\text{s}$ .        |
| 5  | Biến đổi trôi          | Sử dụng nguồn dữ liệu từ mô hình thủy động lực                                                                                      |
| 6  | Tương tác nhám đáy     | Sử dụng nguồn dữ liệu từ mô hình thủy động lực                                                                                      |
| 7  | Đầu ra                 | Theo số liệu trường và điểm từng giờ                                                                                                |
| 8  | Đặc tính dầu           | Tổng trọng lượng dầu là 7.700 kg (được chia thành 250 hạt dầu), trong đó bao gồm dầu nhẹ (bay hơi), dầu nặng và các thành phần khác |

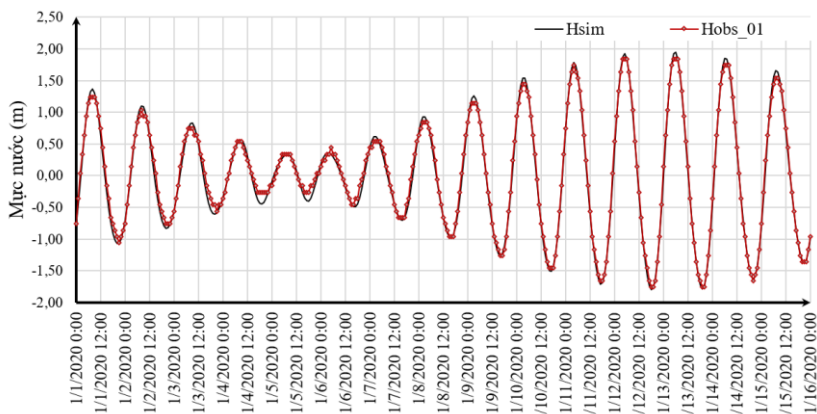
## 3.3 Phân tích và đánh giá kết quả tính toán mô hình thủy động lực MIKE 21 Hydrodynamic

### 3.3.1 Hiệu chỉnh mô hình

Số liệu quan trắc theo hải đồ sau khi được hiệu chỉnh theo mốc Quốc gia (Hobs\_01) sẽ được hiệu chỉnh theo số liệu tính toán mô phỏng (Hsim), kết quả cho thấy sự tương đồng khá cao về pha và biên độ (Hình 3.10 và 3.11), thể hiện sự ổn định của mô hình tính toán mô phỏng, qua đó cho thấy độ tin cậy cao của mô hình.



Hình 3.10. Hiệu chỉnh mực nước tại trạm Hòn Dầu từ 01/01/2020 đến 16/01/2020



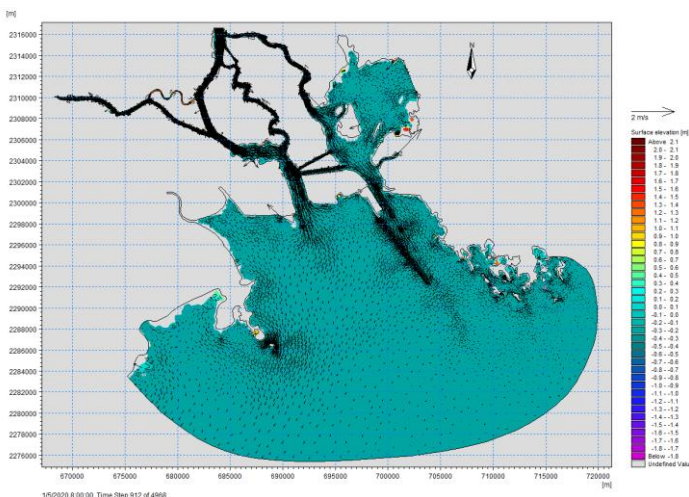
Hình 3.11. Hiệu chỉnh mực nước tại trạm liên tục S1 từ 01/01/2020 đến 16/01/2020

Bảng 3.5 thể hiện kết quả trung bình tính toán mô phỏng và thực đo tại trạm Hòn Dấu và 6 trạm quan trắc liên tục, đồng thời tại các trạm quan trắc đều cho thấy các chỉ tiêu đánh giá sai số đều đạt yêu cầu như hệ số tương quan lớn hơn 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.

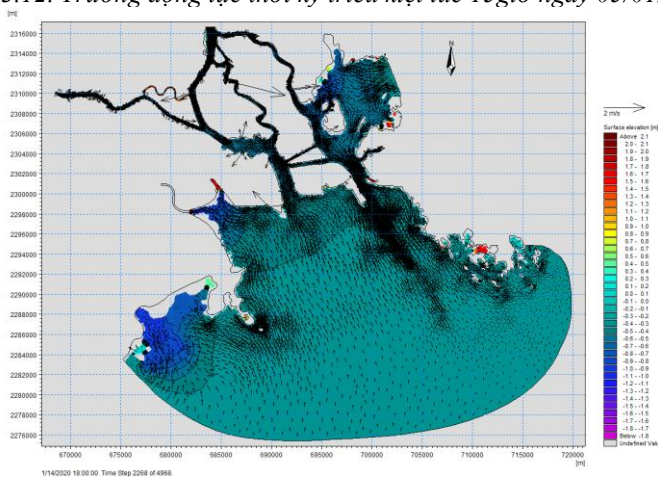
Bảng 3.5. Đánh giá độ chính xác giữa mực nước thực đo và mô phỏng tại trạm Hòn Dấu và trạm liên tục từ 01/01/2020 đến 16/01/2020

| TT | Tên trạm          | Mức cao độ | Trung bình thực đo (m) | Trung bình tính toán (m) | 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  |
| 2  | Trạm liên tục S1  | Hải đồ     | 1,890                  | 0,003                    | 0,997           | 1,889 | -3,547 | 99,851    |
|    |                   | Quốc gia   | 0,030                  |                          | 0,997           | 0,075 | 0,993  | 90,698    |
| 3  | Trạm liên tục S2  | Hải đồ     | 1,890                  | 0,000                    | 0,997           | 1,892 | -3,561 | 99,995    |
|    |                   | Quốc gia   | 0,030                  |                          | 0,997           | 0,080 | 0,992  | 99,692    |
| 4  | Trạm liên tục S3  | Hải đồ     | 1,890                  | 0,000                    | 0,997           | 1,891 | -3,559 | 99,975    |
|    |                   | Quốc gia   | 0,030                  |                          | 0,997           | 0,077 | 0,993  | 98,418    |
| 5  | Trạm liên tục No1 | Hải đồ     | 1,890                  | 0,001                    | 0,997           | 1,891 | -3,556 | 99,944    |
|    |                   | Quốc gia   | 0,030                  |                          | 0,997           | 0,078 | 0,992  | 96,530    |
| 6  | Trạm liên tục No2 | Hải đồ     | 1,890                  | 0,000                    | 0,997           | 1,892 | -3,563 | 100,017   |
|    |                   | Quốc gia   | 0,030                  |                          | 0,997           | 0,080 | 0,992  | 101,035   |
| 7  | Trạm liên tục No3 | Hải đồ     | 1,890                  | -0,002                   | 0,997           | 1,894 | -3,571 | 100,096   |
|    |                   | Quốc gia   | 0,030                  |                          | 0,997           | 0,082 | 0,991  | 106,006   |

Hình 3.12 và 3.13 thể hiện kết quả mô phỏng thủy động lực tại pha nước lên và nước xuống.



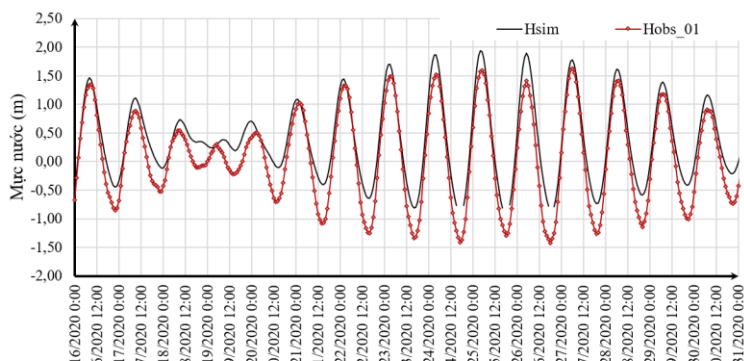
Hình 3.12. Trường động lực thời kỳ triều kiệt lúc 15 giờ ngày 05/01/2020



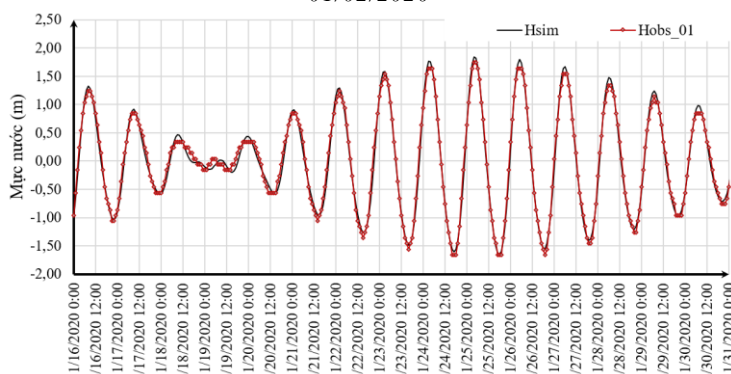
Hình 3.13. Trường động lực thời kỳ triều cường lúc 01 giờ ngày 15/01/2020

### 3.3.2 Kiểm nghiệm mô hình

NCS tiến hành kiểm nghiệm mô hình với bộ thông số đã được hiệu chỉnh ở phần trên và cũng thể hiện độ ổn định của mô hình mô phỏng giữa các số liệu mực nước, tương quan mực nước giữa thực đo (Hobs\_01) và mô phỏng (Hsim), và thể hiện thông qua trích xuất từ mô hình thủy động lực. Qua đó cho thấy kết quả tính toán là tin cậy.



Hình 3.15. So sánh mực nước tại trạm Hòn Dấu giai đoạn từ 16/01/2020 đến 01/02/2020



Hình 3.16. So sánh mực nước tại trạm liên tục S1 giai đoạn từ 16/01/2020 đến 01/02/2020

Bảng 3.6. Đánh giá độ chính xác giữa mực nước thực đo và mô phỏng tại trạm Hòn Dấu và trạm liên tục từ 01/01/2020 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     | 1,933              | 0,404                | 0,983           | 1,554 | -2,845 | 79,530    |
|    |                  | Quốc gia   | 0,073              |                      | 0,983           | 0,392 | 0,756  | -439,170  |
| 2  | Trạm liên tục S1 | Hải đồ     | 1,877              | 0,007                | 0,995           | 1,872 | -4,025 | 99,644    |
|    |                  | Quốc gia   | 0,017              |                      | 0,995           | 0,086 | 0,990  | 60,939    |
| 3  | Trạm liên        | Hải đồ     | 1,877              | 0,001                | 0,994           | 1,878 | -4,056 | 99,938    |

|   |                   |          |       |       |       |       |        |        |
|---|-------------------|----------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|
|   | tục S2            | Quốc gia | 0,017 |       | 0,994 | 0,093 | 0,988  | 93,213 |
| 4 | Trạm liên tục S3  | Hải đồ   | 1,877 | 0,002 | 0,995 | 1,877 | -4,050 | 99,885 |
|   |                   | Quốc gia | 0,017 |       | 0,995 | 0,088 | 0,989  | 87,419 |
| 5 | Trạm liên tục No1 | Hải đồ   | 1,877 | 0,005 | 0,995 | 1,874 | -4,032 | 99,719 |
|   |                   | Quốc gia | 0,017 |       | 0,995 | 0,085 | 0,990  | 69,223 |
| 6 | Trạm liên tục No2 | Hải đồ   | 1,877 | 0,005 | 0,995 | 1,874 | -4,032 | 99,738 |
|   |                   | Quốc gia | 0,017 |       | 0,995 | 0,086 | 0,989  | 71,024 |
| 7 | Trạm liên tục No3 | Hải đồ   | 1,877 | 0,004 | 0,995 | 1,875 | -4,037 | 99,774 |
|   |                   | Quốc gia | 0,017 |       | 0,995 | 0,088 | 0,989  | 74,986 |

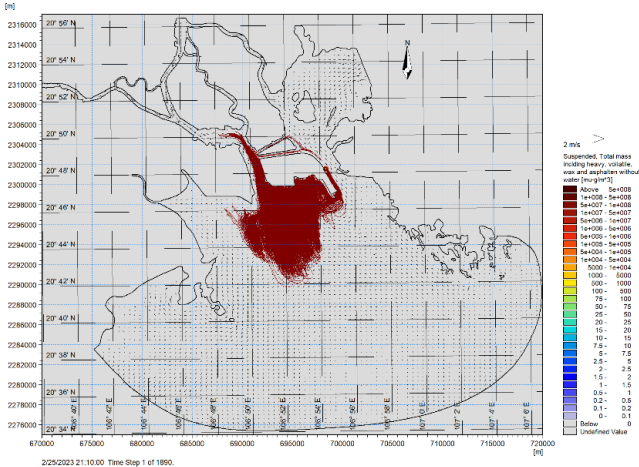
3.3.3 Kết quả tính toán mô phỏng thủy động lực

Từ kết quả hiệu chỉnh mô hình đến kiểm nghiệm mô hình cho thấy độ ổn định và chính xác của mô hình khá tốt, được thể hiện qua các diễn biến đường quá trình mực nước và các chỉ tiêu đánh giá tương quan theo các hệ số R, RMSE, chỉ số NSE và PBIAS. Do đó, luận án tiến hành trình bày kết quả mô phỏng của các tháng đặc trưng cho chế độ gió mùa như tháng 01/2022 gió mùa Đông Bắc, tháng 07/2022 gió Tây Nam và thời điểm xảy ra sự cố tràn dầu thực tế tháng 02/2023.

3.4 Phân tích kết quả tính toán tràn dầu bằng mô-đun tính toán tràn dầu MIKE ECO lab/ Oilspill

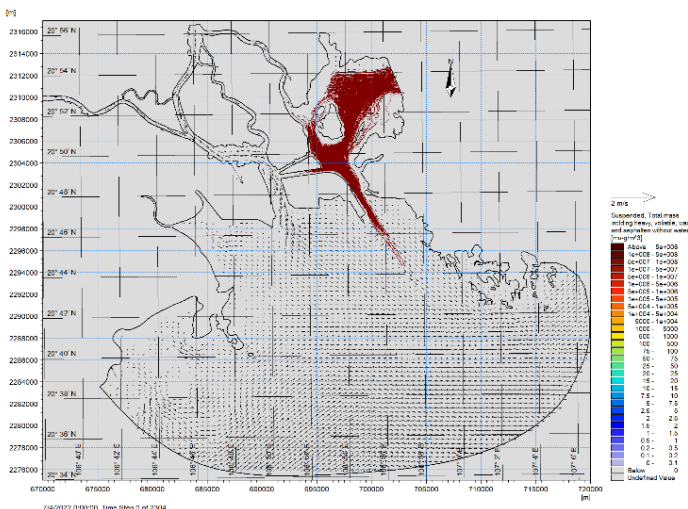
Từ kết quả tính toán mô phỏng đã được trình bày, NCS thực hiện tính tràn dầu theo điều kiện gió mùa điển hình nêu trên và điều kiện kịch bản tràn dầu cụ thể xảy ra vào tháng 2 năm 2023 ở khu vực nghiên cứu. Các kết quả được thể hiện như sau:

3.4.1 Mô phỏng trường hợp tràn dầu thực tế (tháng 02/2023)



Hình 3.22. Trường tổng hợp quỹ đạo di chuyển của các thành phần hạt dầu tràn giai đoạn từ 26/02/2023 đến 11/03/2023





Hình 3.28. Trường tổng hợp quỹ đạo di chuyển của các thành phần hạt dầu tràn giai đoạn từ 04/07/2022 đến 11/07/2022 (tại gần bên Gót)

### 3.4 Kết luận chương 3

Mô hình thủy động lực xây dựng bằng mô-đun MIKE Hydrodynamic đã được hiệu chỉnh và kiểm nghiệm kỹ lưỡng với số liệu quan trắc tại các trạm như Hòn Dấu và 6 trạm liên tục, thông qua việc điều chỉnh điều kiện đầu vào thủy động lực, như: độ hội tụ, độ nhớt, ma sát đáy, v.v.. Kết quả của mô hình thủy động lực được kiểm soát độ chính xác thông qua các chỉ tiêu đánh giá sai số, đảm bảo độ tin cậy.

Đồng thời, NCS đã sử dụng mô-đun MIKE ECO lab/ Oilspill để mô phỏng lan truyền dầu theo ba kịch bản: thời kỳ gió mùa Đông Bắc, thời kỳ gió mùa Tây Nam và trường hợp tràn dầu thực tế năm 2023. Kết quả mô phỏng được sử dụng để đánh giá độ chính xác của mô hình do NCS tự xây dựng ở Chương 4.

## CHƯƠNG 4. MÔ PHỎNG SỰ CỐ TRÀN DẦU DỰA TRÊN PHƯƠNG PHÁP ĐỒ HỌA 3D VÀ SO SÁNH ĐỘ CHÍNH XÁC CỦA MÔ HÌNH

### 4.1. Thiết kế chuẩn bị dữ liệu thủy động lực từ mô hình MIKE

Sử dụng dữ liệu thủy động lực đã được hiệu chỉnh, kiểm nghiệm từ mô hình MIKE 21/3 Coupled FM để làm cơ sở dữ liệu nền, đảm bảo môi trường dùng chung là đồng nhất và chuẩn hóa phục vụ cho công tác so sánh và đánh giá mô phỏng tràn dầu giữa phần mềm thương mại (phần mềm MIKE) và phần mềm tự xây dựng của NCS.

#### 4.1.1 Chuyển đổi miền tính và lưới tính

#### 4.1.2 Chuyển đổi dữ liệu thủy động lực

### 4.2 Chương trình tính toán tràn dầu bằng phương pháp Lagrange

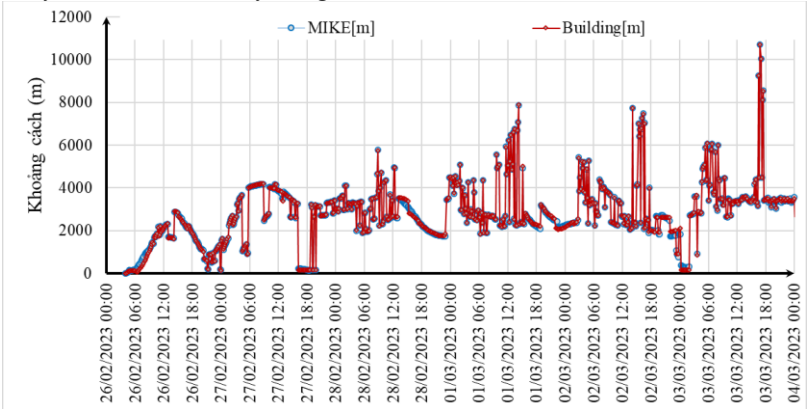
Dựa trên cơ sở và sơ đồ thuật toán của mô hình mô phỏng dầu tràn đã được trình bày ở Chương 2 (Hình 2.1), NCS tiến hành xây dựng chương trình tính toán sử dụng ngôn ngữ lập trình Fortran cho chương trình chính và các chương trình phụ trợ.

**4.3 Kết quả tính toán mô phỏng tràn dầu trong không gian hai chiều (2D) và ba chiều (3D)**

Từ kết quả tính thủy động lực đã được trình bày, luận án này thể hiện kết quả tính tràn dầu giả thiết theo điều kiện gió mùa điển hình nêu trên và thêm phần kết quả điều kiện kịch bản tràn dầu thực tế xảy ra vào tháng 2 năm 2023 ở vùng biển Hải Phòng.

**4.3.1 Kết quả mô phỏng trường hợp tràn dầu thực tế (tháng 02/2023)**

Hình 4.19 thể hiện khoảng cách tương quan giữa các hạt dầu từ mô hình MIKE (đường chấm tròn màu xanh) và mô hình tự xây dựng (đường chấm tròn màu đỏ). Biểu đồ thể hiện khoảng cách giữa các hạt dầu từ hai mô hình khá nhỏ, từ đó cho thấy độ tin cậy của mô hình tự xây dựng.

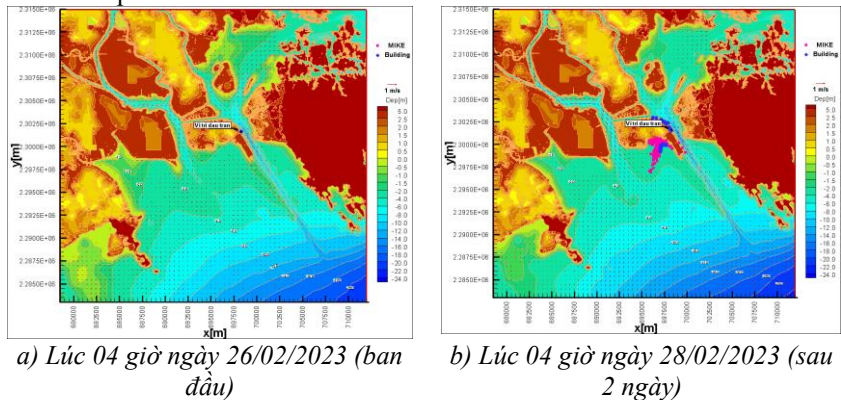


*Hình 4.19. Khoảng cách từ vị trí tràn dầu đến vị trí gần nhất của mô hình MIKE và mô hình tự xây dựng giai đoạn từ 26/02/2023 đến 04/03/2023*

*Bảng 4.1. Độ chính xác thống kê khoảng cách của hạt dầu từ mô hình MIKE và mô hình tự xây dựng giai đoạn từ 26/02/2023 đến 04/03/2023*

|                                                                                                        |            |           |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|-----------|
| Khoảng cách trung bình từ vị trí tràn dầu đến vị trí gần nhất [m]                                      | MIKE       | 2.966,632 |
|                                                                                                        | Building   | 2.962,996 |
| Khoảng cách vị trí gần nhất giữa MIKE và tự xây dựng [m]                                               | Lớn nhất   | 365,298   |
|                                                                                                        | Trung bình | 63,647    |
| Chỉ số đánh giá về khoảng cách từ vị trí tràn dầu đến vị trí gần nhất giữa mô hình MIKE và tự xây dựng | R          | 0,999     |
|                                                                                                        | RMSE       | 66,158    |
|                                                                                                        | NASH       | 0,998     |
|                                                                                                        | PBIAS (%)  | 0,123     |

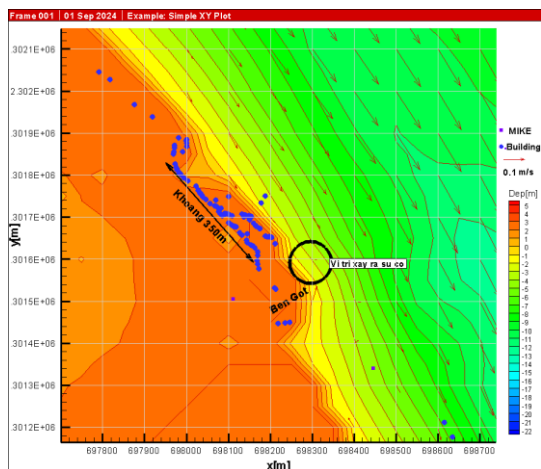
Bảng 4.1 đưa ra cụ thể hơn ba thông số: khoảng cách trung bình từ vị trí tràn dầu đến vị trí gần nhất của MIKE là 2.966,632m và tự xây dựng là 2.962,996m, như vậy chỉ chênh lệch 3,6m; khoảng cách vị trí gần nhất giữa MIKE và tự xây dựng lần lượt là 365,298m và 63,647m; đối với các chỉ tiêu đánh giá sai 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 4.26. Vệt dầu tràn theo vị trí của hạt dầu từ mô hình MIKE (hình vuông màu tím) và mô hình xây dựng (hình tròn màu xanh) từ 26/02/2023 đến 04/03/2023

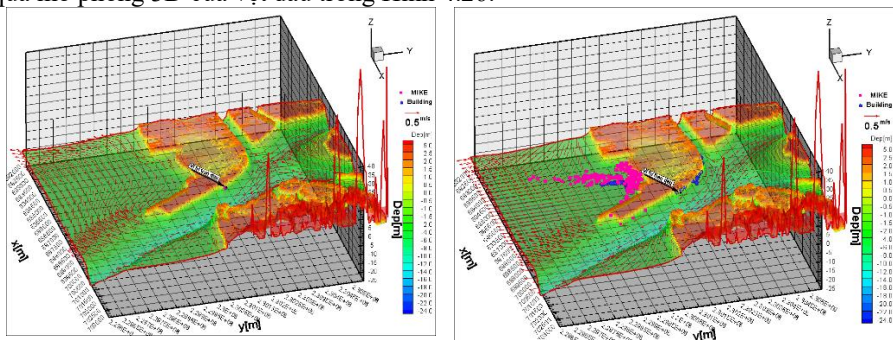
Hình 4.26 thể hiện sự so sánh quỹ đạo vệt dầu tràn theo vị trí của hạt dầu từ mô hình MIKE (hình vuông màu tím) và mô hình xây dựng (hình tròn màu xanh) giai đoạn từ 26/02/2023 đến 04/03/2023 với kịch bản sự cố tràn dầu tại bến Gót, cửa Lạch Huyện. Trong thời gian đầu, quỹ đạo mô phỏng và quỹ đạo MIKE khá tương đồng. Từ ngày 28/2 trở đi, quỹ đạo của chương trình tự xây dựng các hạt dầu có xu hướng dịch chuyển theo hướng Nam lan ra vịnh Hải Phòng nhiều hơn, còn quỹ đạo mô hình MIKE các hạt dầu có xu hướng dịch chuyển theo hướng Nam, lan vào luồng Nam Triệu.

Hình 4.27 thể hiện kết quả mô phỏng vệt dầu ngày 27/2, sau một ngày xảy ra sự cố tràn dầu (ngày 26/2) có hiện tượng bám vào khu vực bến Gót, vệt dầu có chiều dài khoảng 350m. Kết quả này hoàn toàn trùng khớp với dữ liệu thực tế thu thập.



Hình 4.27. Vết dầu tràn bám vào bờ khu vực gần Bến Gót sau một ngày xảy ra sự cố tràn dầu lúc 04 giờ ngày 27/02/2023

Để thể hiện tính mới của nghiên cứu, mô hình do NCS xây dựng đã thực hiện mô phỏng 3D hình ảnh vết dầu tràn theo không gian ba chiều và tiến hành so sánh quỹ đạo di chuyển của hạt dầu từ mô hình MIKE (hình vuông màu tím) và mô hình xây dựng (hình tròn màu xanh) giai đoạn từ 26/02/2023 đến 03/03/2023. Hình 4.28 là kết quả mô phỏng 3D của vết dầu trong Hình 4.26.



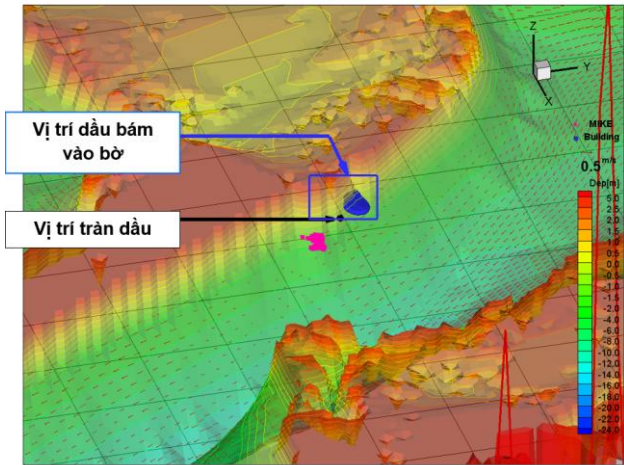
a) Lúc 04 giờ ngày 26/02/2023 (ban đầu)

b) Lúc 04 giờ ngày 28/02/2023 (sau 2 ngày)

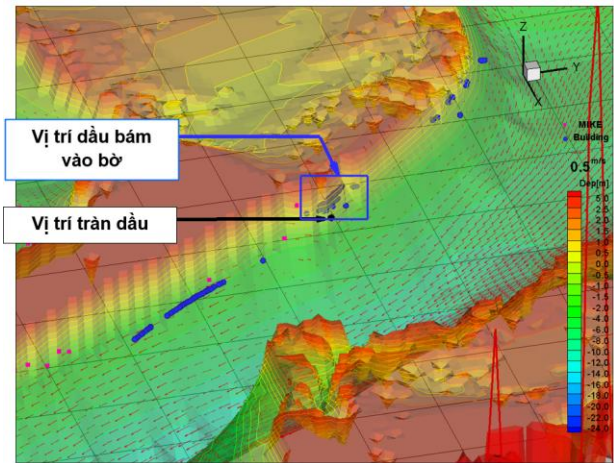
Hình 4.28. Vết dầu tràn theo không gian ba chiều của hạt dầu từ mô hình MIKE (hình vuông màu tím) và mô hình xây dựng (hình tròn màu xanh) từ 26/02/2023 đến 03/03/2023

Hình 4.29 là kết quả mô phỏng quang cảnh 3D hình ảnh vết dầu bám dính vào bờ bến Gót (hình màu xanh mờ) tại hai thời điểm: 2 giờ và 1 ngày sau khi sự cố tràn dầu xảy ra. Hình ảnh mô phỏng 3D cho thấy từ thời điểm 6 giờ sáng ngày 26/2 đến 4 giờ

sáng ngày 27/2 vệt dầu đã lan rộng hơn và bám vào bờ biển sau khi xảy ra sự cố tràn dầu. Mô hình 3D tái hiện một cách trực quan quá trình dầu tràn bám vào bờ, cho phép nhận diện chính xác khu vực dầu bám dính, làm tăng khả năng ứng phó, thu gom dầu và đưa ra quyết định xử lý so với mô hình 2D đơn thuần.



a) Lúc 06 giờ ngày 26/02/2023 (sau 02 giờ)



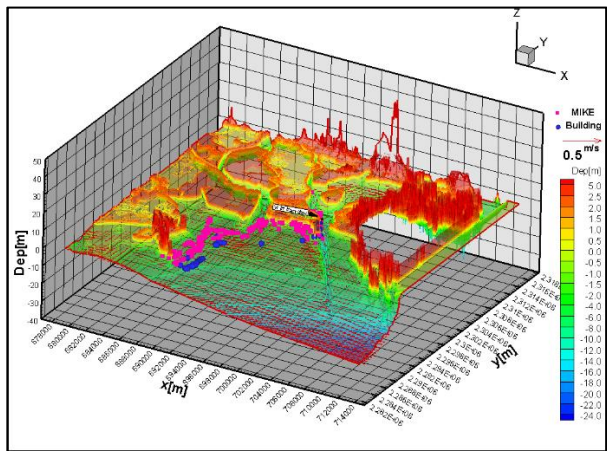
b) Lúc 04 giờ ngày 27/02/2023 (sau 1 ngày)

Hình 4.29. Vệt dầu tràn bám vào bờ khu vực gần Bến Gót

**4.3.2 Kết quả mô phỏng tràn dầu thời kỳ gió mùa Đông Bắc (tháng 01/2022)**

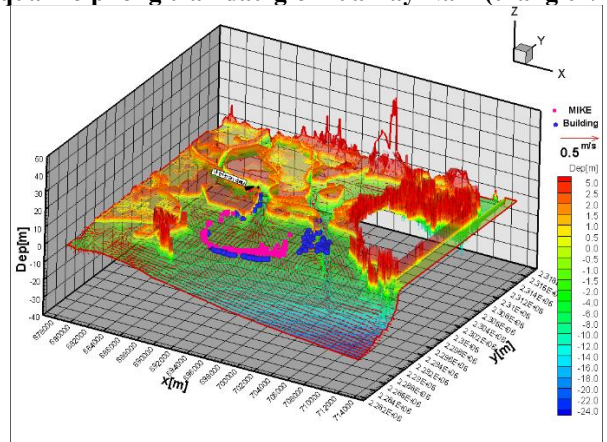
Với gió mùa Đông Bắc, NCS thực hiện mô phỏng với hai kịch bản xảy ra tại Khu bến Gót, cửa Lạch Huyện và Cảng Đình Vũ, cửa Bạch Đằng. Kết quả so sánh đều cho

thấy hướng dịch chuyển của chương trình MIKE và chương trình mô phỏng là tương đồng cao.



Hình 4.38. Vệt dầu tràn 3D từ mô hình MIKE (hình vuông màu tím) và mô hình xây dựng (hình tròn màu xanh) từ 03/01/2022 đến 10/01/2022 (tại bến Gót lúc 07 giờ ngày 10/01/2022)

4.3.3 Kết quả mô phỏng tràn dầu gió mùa Tây Nam (tháng 07/2022)



Hình 4.51. Vệt dầu tràn 3D từ mô hình MIKE (hình vuông màu tím) và mô hình xây dựng (hình tròn màu xanh) từ 04/07/2022 đến 11/07/2022 (tại cảng Đình Vũ lúc 07 giờ ngày 11/07/2022)

NCS thực hiện mô phỏng với hai kịch bản xảy ra tại Khu bến Gót, cửa Lạch Huyện và Cảng Đình Vũ, cửa Bạch Đằng. Kết quả so sánh đều cho thấy hướng dịch chuyển của chương trình MIKE và chương trình mô phỏng là tương đồng cao.

#### **4.4 Kết luận chương 4**

Mô hình tràn dầu do NCS tự xây dựng bằng ngôn ngữ lập trình Fortran, có khả năng nâng cao độ chính xác thông qua điều chỉnh các điều kiện đầu vào của mô hình thủy động lực.

Đặc biệt, mô hình do NCS phát triển, thể hiện ưu thế nổi bật với khả năng mô phỏng 3D vệt dầu kết hợp bản đồ địa hình GIS. Mô hình đã mô phỏng được hình ảnh vệt dầu loang và bám dính vào bờ biển. Tính năng này giúp nhận diện rõ ràng khu vực bị ảnh hưởng, hỗ trợ hiệu quả cho công tác ứng phó và thu gom dầu tràn. Điều này làm nổi bật tính mới và ứng dụng thực tiễn của nghiên cứu so với các mô hình 2D truyền thống.

## KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

### 1. Kết luận

Trên cơ sở các kết quả nghiên cứu thực hiện, trong phạm vi luận án này NCS đã:

1. Kế thừa và cải tiến cơ sở lý thuyết của chương trình mô phỏng, dự đoán chuyển động vệt dầu trên biển theo phương pháp Lagrange. Mô hình tự xây dựng mô phỏng đồng thời quá trình bình lưu và khuếch tán ngẫu nhiên, tái hiện quỹ đạo hạt dầu một cách tin cậy.

2. Mô phỏng thủy động lực bằng mô-đun MIKE Hydrodynamic và kết quả tính toán đã được hiệu chỉnh, kiểm nghiệm với số liệu quan trắc thực tế. Kết quả của mô hình thủy động lực được nâng cao độ chính xác thông qua việc điều chỉnh các tham số đầu vào như độ hội tụ, độ nhớt, ma sát đáy. Độ chính xác của mô hình tràn dầu phụ thuộc chủ yếu vào kết quả tính toán thủy lực, do đó NCS đã áp dụng các chỉ tiêu đánh giá sai số để đạt được tiêu chí này.

3. Mô hình tràn dầu do NCS tự xây dựng có khả năng mô phỏng 3D vệt dầu kết hợp bản đồ địa hình GIS, thể hiện rõ hình ảnh vệt dầu và khu vực bám dính vào bờ. Tính năng này giúp nhận diện chính xác vùng ảnh hưởng, hỗ trợ ứng phó và thu gom, khẳng định tính mới và giá trị ứng dụng so với các mô hình 2D truyền thống.

Kết quả nghiên cứu của luận án hoàn toàn có cơ sở lý luận và thực tiễn để phát triển áp dụng cho các cơ quan quản lý nhà nước chuyên ngành hàng hải, các cảng biển, trung tâm ứng phó sự cố tràn dầu trên biển nghiên cứu và đánh giá tác động của sự cố ô nhiễm tràn dầu xảy ra tại khu vực để giảm thiểu tối đa ảnh hưởng của các vụ ô nhiễm tràn dầu.

### 2. Kiến nghị

Trong tương lai, NCS sẽ tiếp tục nghiên cứu cải tiến chương trình mô phỏng và dự đoán chuyển động của vệt dầu loang có xét đến các giai đoạn phong hóa khác như bay hơi, kết tủa, nhũ tương, v.v.. Đồng thời, nghiên cứu mở rộng kết quả nghiên cứu sự bám dính của vệt dầu đối với các loại kết cấu đường bờ khác nhau.

Bên cạnh đó, NCS sẽ tiếp tục nghiên cứu tự xây dựng phát triển chương trình mô phỏng thủy động lực, từ đó làm cơ sở phát triển hơn nữa chương trình mô phỏng sự cố tràn dầu, từng bước tự chủ và nội địa hóa chương trình mô phỏng sự cố tràn dầu ở trong nước.

## **DANH MỤC CÁC CÔNG TRÌNH KHOA HỌC ĐÃ CÔNG BỐ LIÊN QUAN ĐẾN ĐỀ TÀI LUẬN ÁN**

### **I. Công trình công bố trong nước**

1. Đỗ Trung Kiên, Nguyễn Mạnh Cường, Đỗ Văn Cường. “Nghiên cứu xây dựng mô hình lưới phục vụ tính toán thủy triều khu vực Vịnh Bắc Bộ dựa trên phần mềm MIKE Zero” (Tập chí Giao thông vận tải-ISSN: 2354-0818), Số tháng 7/2022).

2. Đỗ Văn Cường, Trần Gia Ninh, Đỗ Trung Kiên. “Nghiên cứu mô phỏng 3D quá trình chuyển động của màng dầu trên biển dựa trên thuật toán tạo lưới đa giác từ một bề mặt phẳng” (Tập chí Khoa học công nghệ hàng hải-ISSN: 1859-316X, Số 73 – 0/2023, tr. 07-12).

3. Đỗ Văn Cường, Đỗ Trung Kiên, Trần Gia Ninh. “Nghiên cứu lựa chọn chương trình mô phỏng sự cố tràn dầu dựa trên phương pháp hình học tại một khu vực cụ thể” (Tập chí Giao thông vận tải-ISSN: 2354-0818), Số tháng 1/2024).

4. Đỗ Trung Kiên, Nguyễn Mạnh Cường, Đỗ Văn Cường. “Ứng dụng mô hình MIKE 21 FM để mô phỏng thủy triều khu vực vùng biển Vịnh Bắc Bộ” (Hội nghị - Triển lãm quốc tế lần thứ 7 về Điều khiển và Tự động hoá VCCA-2024-ISBN: 978-604-937-357-2), 05/2024).

5. Đỗ Trung Kiên, Đỗ Văn Cường. “Nghiên cứu xây dựng quang cảnh 3D cảng biển bằng phần mềm Unity” (Tập chí Giao thông vận tải -ISSN: 2354-0818, Số tháng 08/2024).

6. Đỗ Trung Kiên, Nguyễn Mạnh Cường, Đỗ Văn Cường. “Nghiên cứu xây dựng chương trình mô phỏng sự cố tràn dầu dựa trên phương pháp đồ họa 3D tích hợp bản đồ số” (Tập chí Giao thông vận tải -ISSN: 2354-0818), Số tháng 12/2024).

7. Đỗ Trung Kiên, Đỗ Văn Cường, Nguyễn Mạnh Cường. “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” (Tập chí Khoa học công nghệ hàng hải-ISSN: 1859-316X, Số 82 – 04/2025, tr. 09-15).

### **II. Công trình công bố quốc tế**

1. Do Trung Kien, Do Van Cuong, Nguyen Manh Cuong. “Research on construction of mesh model to simulate Gulf of Tonkin Sea tidal based on MIKE model” (Proceedings of the 20th Asia Maritime and Fisheries University Forum AMFUF 2022 (ISSN: 2508-5247), Mokpo, Republic of Korea, 2022).

2. Do Van Cuong, Nguyen Xuan Long, Nguyen Manh Cuong, Do Trung Kien. “Research on improving the accuracy of oil spill simulation program: A case study of Hai Phong Sea area” (Scientific Journal of Maritime Research 2025 - ISSN: 1332-0718) - Scopus Q3/ESCI.