

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
2. TS. Đỗ Văn Cường

Phản biện 1:

Phản biện 2:

Phản biện 3:

Luận án sẽ được bảo vệ trước Hội đồng chấm luận án tiến sĩ cấp Trường họp tại Trường Đại học Hàng hải Việt Nam vào hồi ... giờ ... phút ngày ... tháng ... 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,...

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 ITOPI, 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 một triệu km² diện tích vùng biển và khoảng 3.000 đảo lớn nhỏ, nền kinh tế nước ta với 28 tỉnh thành ven biển 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 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,...

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,...

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 tại 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 đề xuất vấn đề nghiên cứu luận án: ***“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

Luận án xây dựng mô hình mô phỏng quá trình 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 chính xác về mặt toán học, đồng thời mô hình có thể nâng cao độ chính xác thông qua việc điều chỉnh các dữ liệu đầu vào thủy động lực; bên cạnh đó, quang cảnh khu vực mô phỏng cũng được nâng cấp dưới dạng 3D.

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 tỷ lệ 1:100.000 và 1:25.000 ở vùng cửa sông ven biển Hải Phòng. Các phần mềm GIS cũng được dùng để lồng ghép số liệu địa hình ở vùng ven biển.

- *Phương pháp tính toán và mô phỏng trên máy tính*: sử dụng mô-đun MIKE Hydraudynamic 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 nghiên cứu sinh 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.

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

- *Đối tượng nghiên cứu*: thực hiện mô phỏng một sự cố tràn dầu trên biển tại vùng biển Việt Nam. Từ đó đánh giá, so sánh tính chính xác của mô hình mô phỏng với các chương trình mô phỏng thương mại đã được kiểm chứng.

- *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. Chương trình do nghiên cứu sinh tự xây dựng có thể dự đoán được một cách chính xác chuyển động của vệt dầu loang, 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 nội địa hóa các chương trình mô phỏng tràn dầu ở trong nước, góp phần từng bước làm chủ công nghệ mô phỏng tràn dầu, có thể nâng cao độ chính xác thông qua việc điều chỉnh các tham số đầu vào của chương trình tính toán thủy động lực.

6. Những điểm đóng góp mới

Luận án có các đóng góp mới sau đây:

- Luận án đã xây dựng mô hình mô phỏng tràn dầu dựa trên phương pháp Lagrange, phù hợp với điều kiện tự nhiên vùng biển Việt Nam, cụ thể 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;

- Ngoài ra, 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 mang lại độ chính xác 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 149 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 1 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:

- 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 và hải văn tại vùng biển nghiên cứu;

- Phát triển phần mềm thương mại có bản quyền để tính toán cho tất cả các khu vực trên thế giới.

Tuy nhiên, thực chất các mô hình thương mại cũng có sự kế thừa các nghiên cứu tự xây dựng, sau đó cải tiến và tinh chỉnh các thông số để cho ra kết quả phù hợp.

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

Từ các thống 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 vùng biển tiến hành nghiên cứu

Hải Phòng 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 sông 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 vùng bờ 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

Chương 1 đã tổng quan toàn diện tình hình nghiên cứu mô phỏng tràn dầu trên thế giới và trong nước, từ đó phân tích đặc điểm và ứng dụng của các phần mềm, mô hình và phương pháp mô phỏng hiện hành, từ các công cụ thương mại đến các mô hình mã nguồn mở.

Chương 1 đã làm rõ hai hướng mô phỏng chính là hình học và vật lý, cùng hai phương pháp tiêu biểu là Euler và Lagrange, qua đó khẳng định tính phù hợp của phương pháp Lagrange cho mục tiêu mô phỏng các tình huống cần phản ứng nhanh sau sự cố môi trường.

CHƯƠNG 2. CƠ SỞ PHƯƠNG PHÁP LUẬN VÀ CƠ SỞ 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... sẽ tác động mạnh mẽ đến quá trình lan truyền của vệt 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 (hình tam giác hoặc chữ nhật), đặc biệt phù hợp để mô phỏng ở các khu vực địa hình phức tạp như ven biển và cửa sông. Chính vì vậy, nghiên cứu sinh 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 là một hệ thống mô hình tính toán dòng chảy hai chiều và ba chiều sử dụng lưới tam giác phi cấu trúc, bao gồm nhiều mô-đun thành phần. Trong luận án, nghiên cứu sinh 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 Hydrodynamics

Mô-đun thủy động lực học (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:

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

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

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

Trong đó, t là thời gian; x và y là tọa độ Đề các; η 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 Ω là vận tốc góc quay của Trái đất, Φ là vĩ độ địa lý; g là gia tốc trọng trường; v_t là nhớt rối thẳng đứng; ρ là mật độ nước; p_a là áp suất khí quyển; ρ_o 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; (τ_{sx}, τ_{sy}) và (τ_{bx}, τ_{by}) 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 ECO Lab/ Oil spill

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; Δt là bước thời gian.

2.1.2.2. Cơ sở lý thuyết về phương pháp Lagrange

Kế thừa Garcia, nghiên cứu sinh mô phỏng quỹ đạo hạt bằng cách sử dụng ba sơ đồ để tìm ra yếu tố hơn kém của các cách thức. 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 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).

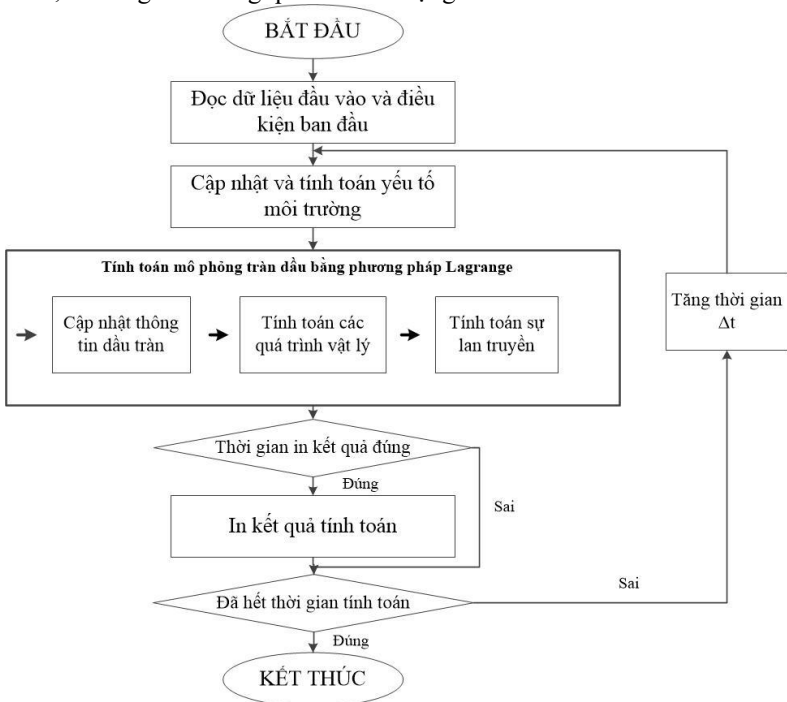
Đối với thành phần quán tính:

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

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; $\square$ 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 $n+1$; g là gia tốc trọng trường; dt là bước thời gian; t là thời gian (giờ).

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

Hình 2.1 là sơ đồ thuật toán tổng quát của mô hình mô phỏng dầu tràn. Cấu trúc chương trình gồm chương trình chính và các chương trình phụ trợ làm giảm độ cồng kềnh, dễ dàng hơn trong quá trình sử dụng.



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 (Root Mean Square Error);
- Chỉ số NASH;
- Chỉ số độ lệch chuẩn PBIAS.

2.2 Cơ sở dữ liệu

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

2.3 Kết luận chương 2

Chương 2 đã trình bày đầy đủ cơ sở phương pháp luận và cơ sở dữ liệu phục vụ cho quá trình xây dựng và vận hành mô hình mô phỏng sự cố tràn dầu tại vùng biển ven bờ Việt Nam. Trong đó, luận án lựa chọn mô hình MIKE 21/3 Coupled FM làm nền tảng chính cho mô phỏng thủy động lực học và lan truyền dầu loang, với sự tích hợp hai mô-đun Hydrodynamic và ECO Lab/Oil Spill.

Phần mô phỏng truyền tải dầu sử dụng phương pháp tiếp cận Lagrange. Trong đó, phương trình Langevin được áp dụng để mô phỏng đồng thời quá trình bình lưu và khuếch tán ngẫu nhiên, tái hiện chính xác quỹ đạo của các hạt dầu.

Bên cạnh đó, để đảm bảo độ tin cậy của kết quả mô phỏng, chương trình tích hợp các chỉ tiêu đánh giá sai số phổ biến như hệ số tương quan R, chỉ số RMSE, chỉ số NASH và PBIAS. Chương này cũng đã tổng hợp toàn bộ cơ sở dữ liệu đầu vào phục vụ mô phỏng, bao gồm: địa hình đáy biển, dữ liệu khí tượng, thủy văn, hải văn,...

CHƯƠNG 3. THỰC HIỆN MÔ PHỎNG SỰ CỐ TRÀN DẦU TRÊN BIỂN BẮNG 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 VN 2000 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).

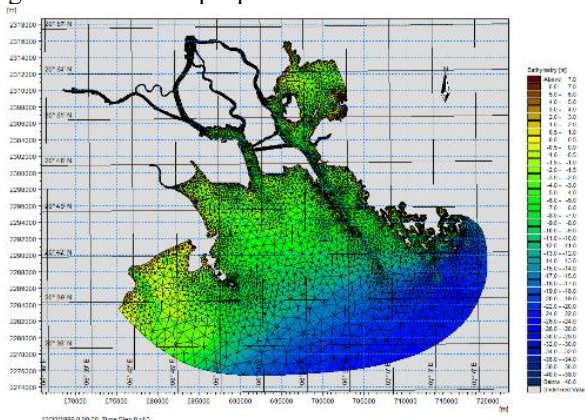
- Cơ sở dữ liệu địa hình toàn cầu ETOPO1 của Trung tâm Tư liệu Địa vật lý Quốc gia Hoa Kỳ NGDC (National Geophysical Data Center).

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

Miền tính toán đặt ra trong mô hình là khu vực vùng biển Hải Phòng được giới hạn bởi kinh độ là 106037.2' E và 107006.6' E, vĩ độ giới hạn là 20034.1' N và 20056.4' N trong hệ thống trắc đạc UTM-48. Lưới tính toán là lưới tam giác phi cấu trúc, trong đó khu vực cửa Cấm, cửa Do Nghi, các khu vực cảng Hải Phòng là khu vực có nguy cơ cao xảy ra ô nhiễm tràn dầu sẽ được tạo lưới chi tiết hơn với diện tích tối đa của mỗi ô là 1.5 km² cho toàn miền. Vùng nghiên cứu bao gồm 14.522 nút và 24.851 phần tử, trong đó góc nhỏ nhất cho phép là 32⁰.



Hình 3.1. Miền tính và lưới tính

Để tạo lưới cho mô hình thủy động lực (Hydrodynamics), thì lưới cần phải được làm mịn (mesh smoothing) nhiều lần sau khi tạo và trước khi nội suy phép đo độ sâu.

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

3.2.2.1 Điều kiện tính toán mô phỏng

Chương trình tính toán với 2 biên nước là Cửa Cấm và Do Nghi, biên bờ, biên biển và vịnh Hạ Long. Sau đó, lựa chọn các điều kiện tính toán cho mô-đun tràn dầu. Chương trình thực hiện trích xuất dữ liệu thủy động lực tại 6 trạm liên tục: S1, S2, S3, N1, N2, N3 và tại trạm Hòn Dấu với các tọa độ theo vị trí X,Y trong hệ tọa độ VN2000.

3.2.2.2 Điều kiện ban đầu

Trong mô hình, nghiên cứu sinh lựa chọn bước thời gian là 30 giây với 46.080 bước trong vòng 15 ngày. Đối với điều kiện lựa chọn độ hội tụ CFL = 0.85 cũng hoàn toàn phù hợp với điều kiện tính toán.

3.2.3 Điều kiện biên

- Số liệu khí tượng là từ nguồn số liệu tái phân tích toàn cầu ERA5 của Châu Âu (ECMWF).

- Số liệu biên sông là sử dụng mực tại trạm Cửa Cấm và trạm Do Nghi; số liệu biên biển và vịnh Hạ Long sử dụng số liệu dự tính thủy triều từ mô hình MIKE.

3.2.4 Điều kiện đầu vào cho dầu tràn

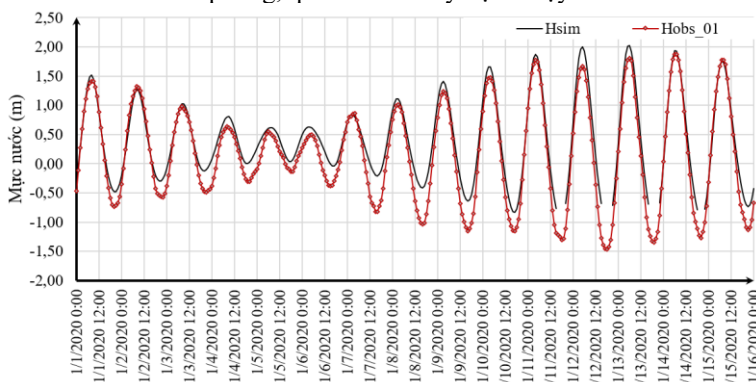
Bảng 3.4. Thông tin lựa chọn của mô hình truyền tải dầu tràn

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; Nguồn 2: Khu vực cửa Bạc 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 $0,025\text{m}^2/\text{s}$; 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, trong đó bao gồm dầu nhẹ (bay hơi), dầu nặng và các thành phần khác

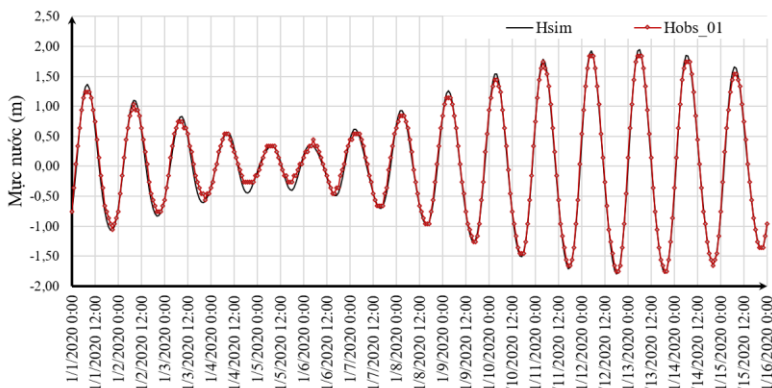
3.3 Phân tích và đánh giá kết quả tính toán mô hình thủy động lực MIKE

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



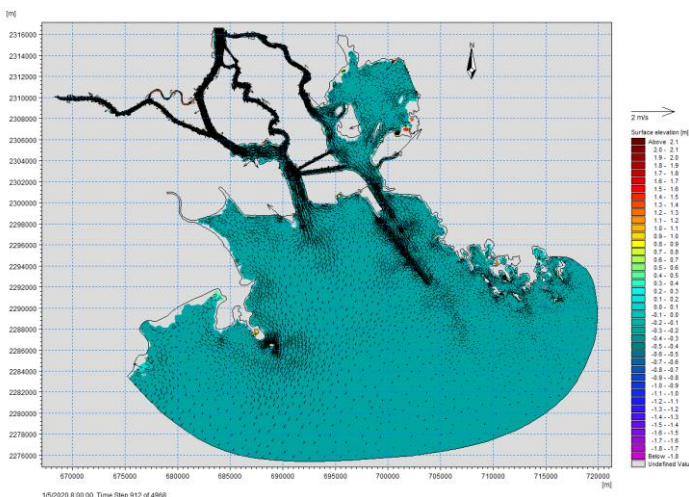
Hình 3.11. Hiệu chỉnh mực nước tại trạm liên tục S1 từ 01/01/2020 đến 16/01/2020

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.

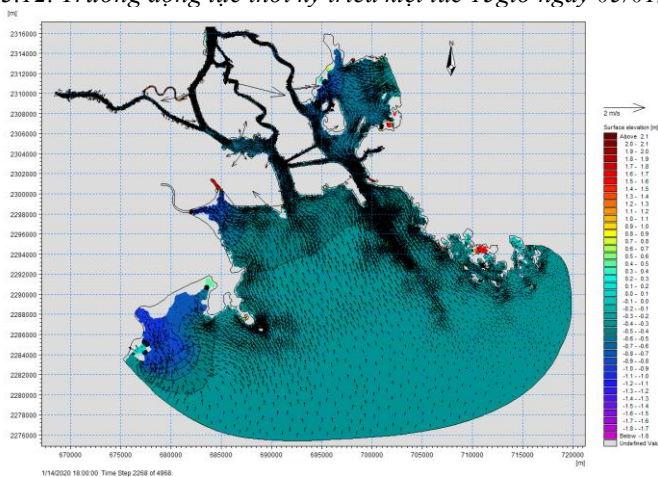
Bảng 3.5. Đánh giá độ chính xác giữa mực nước thực đo và mô phỏng tại trạm Hòn Dấu và trạm liên tục từ 01/01/2020 đến 16/01/2020

TT	Tên trạm	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
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.



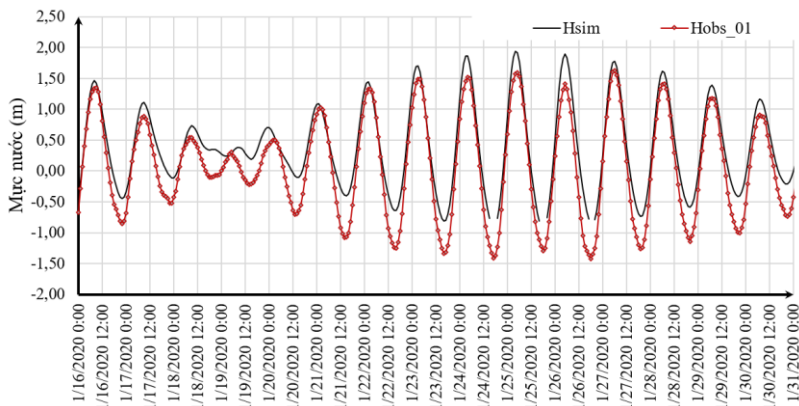
Hình 3.12. Trường động lực thời kỳ triều kiệt lúc 15 giờ ngày 05/01/2020



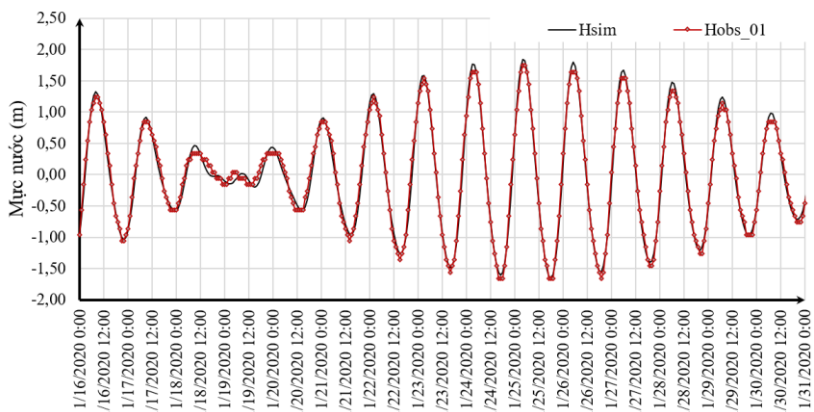
Hình 3.13. Trường động lực thời kỳ triều cường lúc 01 giờ ngày 15/01/2020

3.3.2 Kiểm nghiệm mô hình

Nghiên cứu sinh 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 tục S2	Hải đồ	1.877	0.001	0.994	1.878	-4.056	99.938
		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 Kết quả tính toán mô phỏng thủy động lực

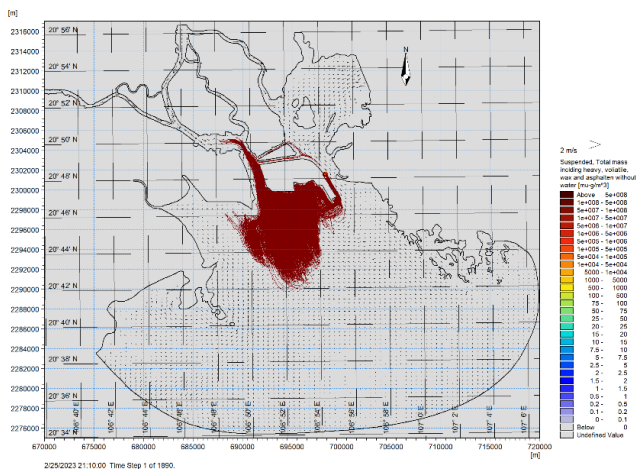
Từ kết quả hiệu chỉnh mô hình đến kiểm nghiệm mô hình cho thấy độ ổn định và chính xác của mô hình khá tốt, được thể hiện qua các diễn biến đường quá trình mực nước và các chỉ tiêu đánh giá tương quan theo các hệ số R, RMSE, chỉ số NSE và PBIAS. Do đó, luận án tiến hành trình bày kết quả mô phỏng của 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, Luận án này thể hiện kết quả tính tràn dầu đồng thời theo điều kiện gió mùa điển hình nêu trên và thêm phân kết quả 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 thể hiện tổng hợp quỹ đạo di chuyển của các thành phần hạt dầu từ 26/02/2023 đến 11/03/2023. Dưới tác động của ngoại cảnh, vệt dầu chủ yếu tập trung tại khu vực luồng Nam Triệu và luồng Lạch Huyện.

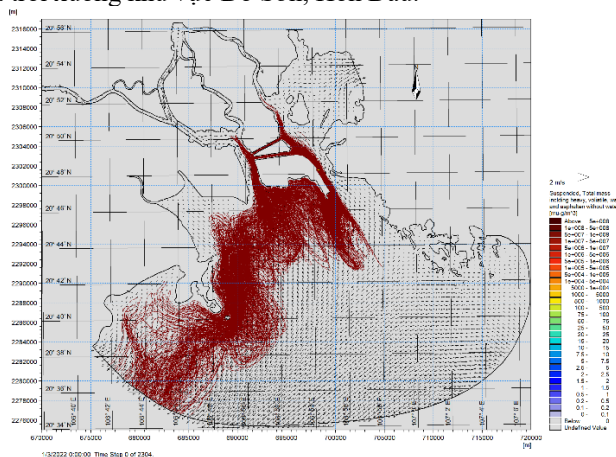


Hình 3.22. Trường tổng hợp quỹ đạo di chuyển của các thành phần hạt dầu tràn giai đoạn từ 26/02/2023 đến 11/03/2023

3.4.2 Mô phỏng tràn dầu thời kỳ gió mùa Đông Bắc (tháng 01/2022)

Tại thời kỳ gió Đông Bắc tháng 01/2022, nghiên cứu sinh thực hiện mô phỏng cho hai kịch bản xảy ra sự cố tràn dầu: tại bến Gót và tại Cảng Đình Vũ.

Hình 3.24 thể hiện tổng hợp quỹ đạo di chuyển của các thành phần hạt dầu từ đối với kịch bản xảy ra sự cố tràn dầu tại bến Gót, vệt dầu từ khu vực bến cảng Lạch Huyện, trôi dạt chủ yếu theo hướng Nam và Tây Nam ảnh hưởng tới khu vực luồng Nam Triệu và trôi xuống khu vực Đồ Sơn, Hòn Dấu.

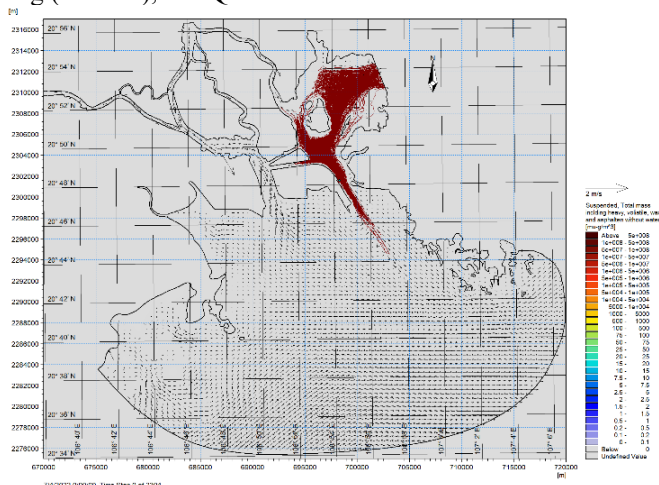


Hình 3.24. Trường tổng hợp quỹ đạo di chuyển của các thành phần hạt dầu tràn giai đoạn từ 03/01/2022 đến 19/01/2022 (tại gần bến Göt)

3.4.3 Mô phỏng tràn dầu thời kỳ gió mùa Tây Nam (tháng 07/2022)

Đối với thời kỳ gió mùa Tây Nam, nghiên cứu sinh cũng thực hiện mô phỏng đối với hai kịch bản sự cố tràn dầu xảy ra tại bến Gót và cảng Đình Vũ.

Hình 3.28 thể hiện tổng hợp quỹ đạo di chuyển của các thành phần hạt dầu trong kịch bản tràn dầu tại bến Gót. vệt dầu từ khu vực bến cảng Lạch Huyện trôi dạt chủ yếu theo hướng Bắc và Tây Bắc ảnh hưởng tới khu vực luồng Lạch Huyện, kênh Hà Nam, đảo Cống (Cát Hải), đảo Quả Xoài...



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 bến Gót)

3.4 Kết luận chương 3

Trong chương này, nghiên cứu sinh đã xây dựng thành công mô hình mô phỏng sự cố tràn dầu trên biển bằng phần mềm MIKE 21/3 Coupled FM.

Mô hình thủy động lực đã được hiệu chỉnh và kiểm nghiệm kỹ lưỡng với số liệu quan trắc tại các trạm như Hòn Dấu, S1, S2... Kết quả cho thấy các chỉ số đánh giá sai số ($R > 0,95$; $RMSE < 0,5$; NSE và $PBIAS$ đạt yêu cầu) đã phản ánh độ phù hợp cao giữa kết quả mô phỏng và thực tế, khẳng định tính ổn định và độ tin cậy của mô hình.

Trên cơ sở đó, nghiên cứu sinh đã tiến hành mô phỏng lan truyền vệt dầu theo ba kịch bản điển hình: thời kỳ gió mùa Đông Bắc, Tây Nam và trường hợp tràn dầu thực tế năm 2023. Các kết quả mô phỏng thể hiện rõ sự phân bố không gian và xu hướng di chuyển của dầu theo điều kiện thủy văn – khí tượng tại khu vực nghiên cứu, cho phép đánh giá chính xác mức độ và khu vực bị ảnh hưởng.

Kết quả đạt được trong chương này không chỉ khẳng định hiệu quả ứng dụng mô hình MIKE 21/3 Coupled FM trong dự báo lan truyền dầu tràn, mà còn là nền tảng quan trọng để phát triển và kiểm nghiệm mô hình do nghiên cứu sinh xây dựng trong Chương 4.

CHƯƠNG 4. THỰC HIỆN MÔ PHỎNG SỰ CỐ TRẦN 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 sản phẩm thủy động lực đã thực hiện tính toán mô phỏng tràn dầu bằng mô hình MIKE 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 đã được chuẩn hóa, thương mại hóa (phần mềm MIKE) và sản phẩm nghiên cứu xây dựng của nghiên cứu sinh.

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

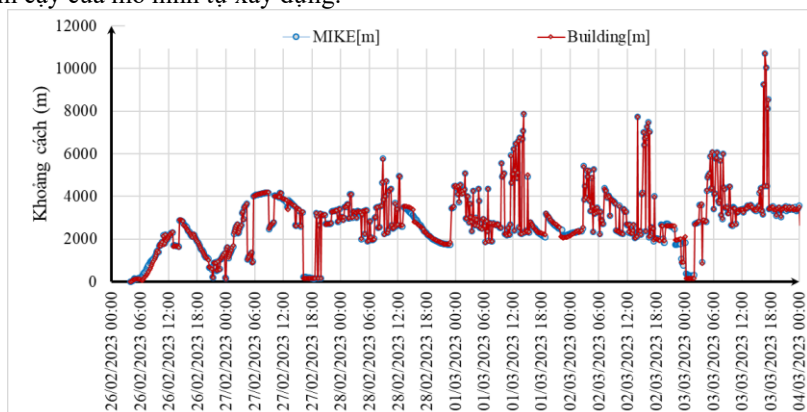
Dựa trên cơ sở và sơ đồ thuật toán của mô hình mô phỏng dầu tràn đã được trình bày ở Chương 2 (Hình 2.1), NCS tiến hành xây dựng chương trình tính toán sử dụng ngôn ngữ lập trình Fortran cho chương trình chính và các chương trình phụ trợ.

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.



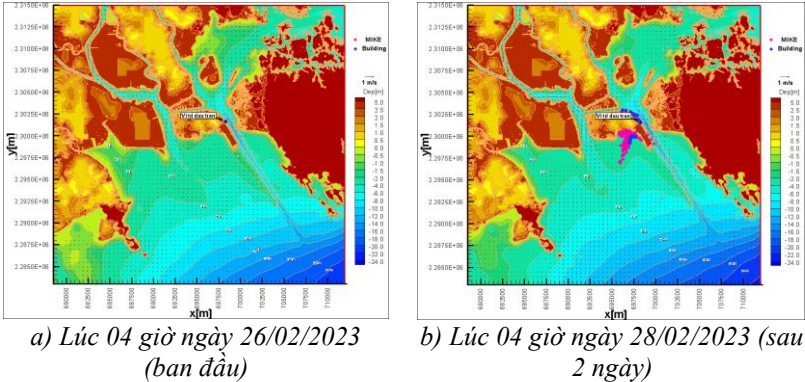
Hình 4.19. Khoảng cách từ vị trí tràn dầu đến vị trí gần nhất của mô hình MIKE và mô hình tự xây dựng giai đoạn từ 26/02/2023 đến 04/03/2023

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	2966.632
	Building	2962.996
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

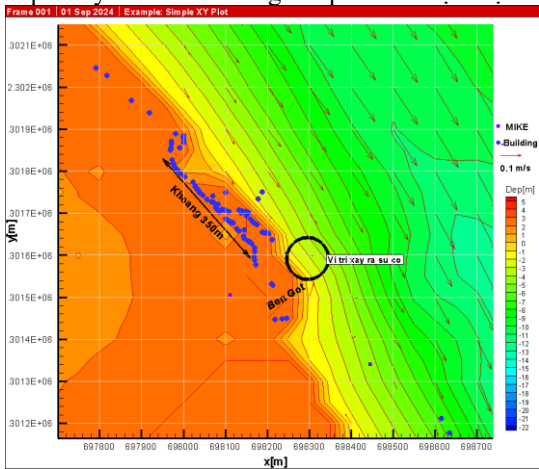
Bảng 4.1 đưa ra cụ thể hơn ba thông số: khoảng cách trung bình từ vị trí tràn dầu đến vị trí gần nhất của MIKE là 2966.632m và tự xây dựng là 2962.996m, như vậy chỉ chênh lệch 3.6m; khoảng cách vị trí gần nhất giữa MIKE và tự xây dựng lần lượt là 365.298m và 63.647m; đối với các chỉ tiêu đánh giá sai 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 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.



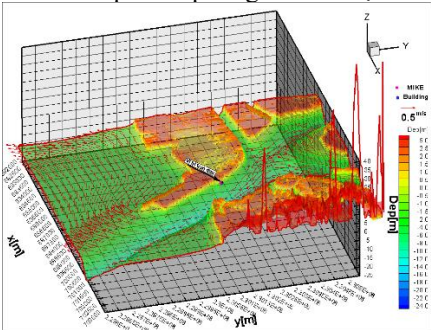
Hình 4.26. Vệt dầu tràn theo vị trí của hạt dầu từ mô hình MIKE (hình vuông màu tím) và mô hình xây dựng (hình tròn màu xanh) từ 26/02/2023 đến 04/03/2023

Hình 4.27 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.

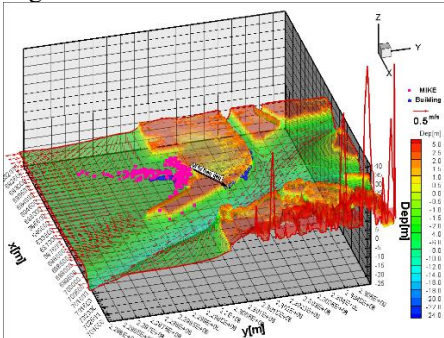


Hình 4.27. Vệt dầu tràn bám vào bờ khu vực gần Bến Gót sau một ngày xảy ra sự cố tràn dầu lúc 04 giờ ngày 27/02/2023

Để thể hiện tính mới của nghiên cứu, mô hình do nghiên cứu sinh xây dựng đã thực hiện mô phỏng 3D hình ảnh vệt 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 vệt dầu trong Hình 4.26.



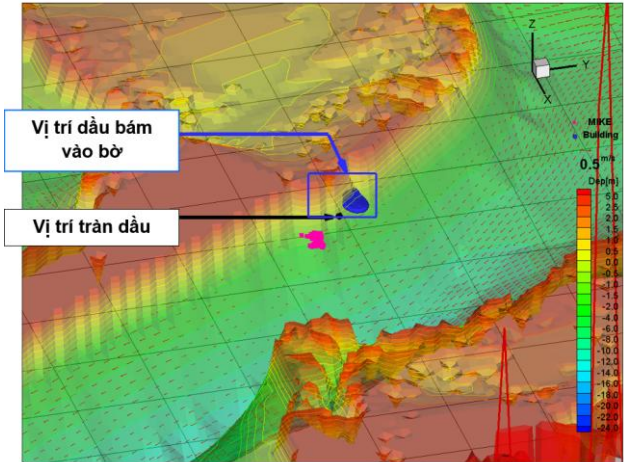
a) Lúc 04 giờ ngày 26/02/2023 (ban đầu)



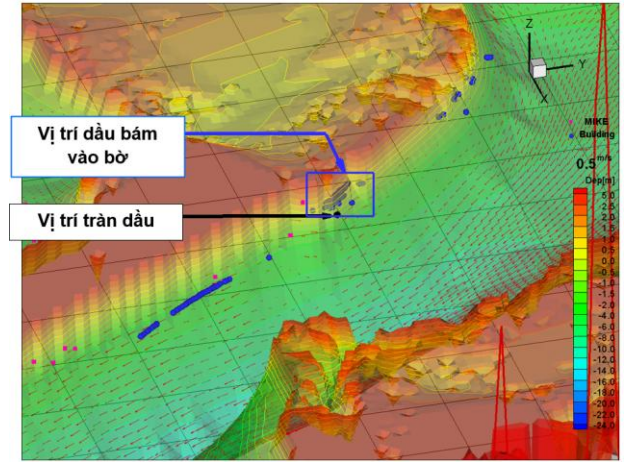
b) Lúc 04 giờ ngày 28/02/2023 (sau 2 ngày)

Hình 4.28. Vệt 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 vệt 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)

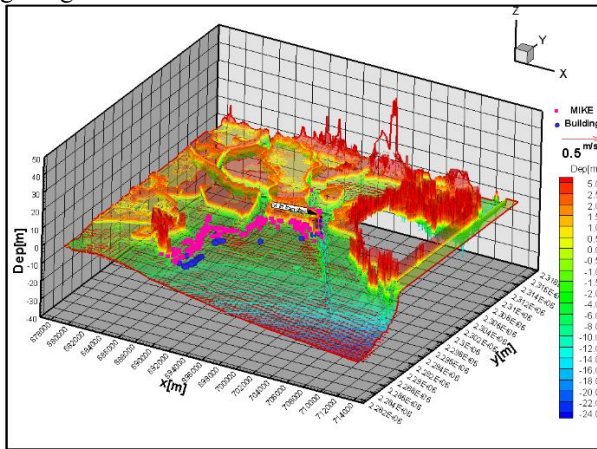


b) Lúc 04 giờ ngày 27/02/2023 (sau 1 ngày)

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

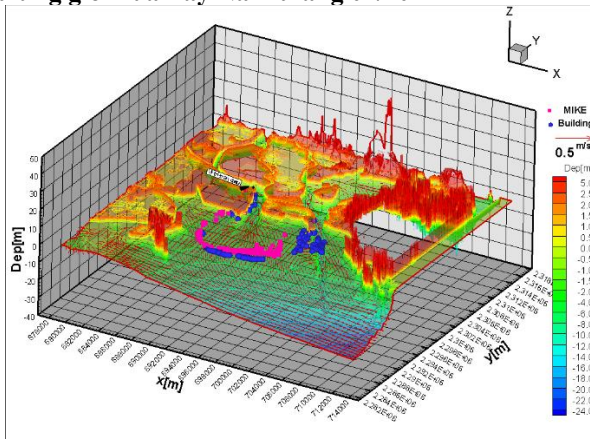
4.3.2 Kết quả mô phỏng tràn dầu thời kỳ gió mùa Đông Bắc tháng 01/2022

Với gió mùa Đông Bắc, nghiên cứu sinh 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 Đặc trưng 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)

Nghiên cứu sinh 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

Trong Chương 4, nghiên cứu sinh đã xây dựng và triển khai mô hình mô phỏng sự cổ tràn dầu bằng ngôn ngữ lập trình Fortran, áp dụng cho các kịch bản thực tế và giả định tại vùng biển Hải Phòng. Mô hình được phát triển dưới cả hai dạng 2D và 3D, cho phép mô phỏng không gian quỹ đạo lan truyền và nồng độ vết dầu theo thời gian.

Các kết quả mô phỏng được so sánh với phần mềm thương mại MIKE 21 Coupled FM thông qua các chỉ tiêu đánh giá sai số như R, RMSE, NSE và PBIAS. Kết quả cho thấy sự tương đồng cao giữa hai mô hình về pha, biên độ và xu hướng lan truyền vết dầu. Sai số giữa các kết quả là nhỏ và nằm trong giới hạn cho phép.

Đặc biệt, mô hình tự phát triển thể hiện ưu thế nổi bật với khả năng mô phỏng quang cảnh 3D, trực quan hóa sinh động quá trình lan rộng và bám dính của dầu 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 nghiên cứu sinh đã:

1. Trình bày được tổng quan về các công trình nghiên cứu tràn dầu trong nước và trên thế giới hiện nay để đưa ra những mặt hạn chế của những mô hình này, từ đó làm cơ sở để thực hiện luận án này.

2. Trên cơ sở nghiên cứu về điều kiện tự nhiên và đặc điểm tình hình nguy cơ xảy ra sự cố ô nhiễm dầu tại Việt Nam và vùng biển Hải Phòng, nghiên cứu sinh đã lựa chọn không gian mô phỏng tại vùng biển Hải Phòng, mô hình tính toán và dự đoán các yếu tố thủy động lực và tính toán tràn dầu, kết quả mô phỏng được đánh giá qua các chỉ tiêu đánh giá sai số.

3. Xây dựng các bước quá trình mô phỏng thủy động lực và mô hình mô phỏng tràn dầu bằng các mô-đun trong mô hình MIKE 21/3 Coupled FM. Mô hình được xây dựng dựa trên các sự cố tràn dầu đã xảy ra trên thực tế và giả định tại các đặc trưng điều kiện thời tiết, thủy hải văn khác nhau.

4. Để kiểm chứng độ chính xác của mô hình, nghiên cứu sinh đã vận dụng nhiều phương pháp để thu thập dữ liệu thực tế, trên cơ sở đó xây dựng được một mô hình tính toán và dự đoán hướng di chuyển của vệt dầu loang trên biển dưới dạng 3D có tích hợp bản đồ số trực quan hóa sinh động quá trình lan rộng và bám dính của dầu vào bờ biển. Mô hình được so sánh với kết quả của mô hình MIKE và các dữ liệu thu thập được về các sự cố tràn dầu thực tế xảy ra năm 2023. Kết quả cho thấy độ tương đồng cao giữa mô hình do nghiên cứu sinh tự xây dựng, kết quả tính toán bởi mô hình MIKE và hướng di chuyển thực tế của vệt dầu.

Kết quả nghiên cứu của đề tài luận án hoàn toàn có cơ sở lý luận và thực tiễn để 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

Chương trình mô phỏng và dự đoán chuyển động của vệt dầu loang trên biển dưới dạng 3D do nghiên cứu sinh xây dựng mới chỉ xét đến các quá trình lan truyền cơ học, quá trình bình lưu, khuếch tán mà chưa xét đến các giai đoạn phong hóa khác như bay hơi, kết tủa, nhũ tương, v.v. Chương trình mô phỏng tràn dầu tự xây dựng vẫn sử dụng các dữ liệu mô phỏng thủy lực được trích xuất từ mô-đun MIKE 21 Hydrodynamic, trong các nghiên cứu tiếp theo nghiên cứu sinh sẽ tiếp tục phát triển chương trình mô phỏng thủy động lực tự xây dựng, từ đó làm cơ sở phát triển hơn nữa chương trình mô phỏng sự cố tràn dầu, từng bước đưa kết quả của luận án ứng dụng vào thực tiễn, tự chủ trong nghiên cứu xây dựng 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” (Tạp 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 đẳng thế” (Tạp 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” (Tạp 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” (Tạp 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” (Tạp 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” (Tạp 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).