

BỘ XÂY DỰNG

BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO

TRƯỜNG ĐẠI HỌC HÀNG HẢI VIỆT NAM

ĐỖ TRUNG KIÊN

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

LUẬN ÁN TIẾN SĨ KỸ THUẬT

NGÀNH: KHOA HỌC HÀNG HẢI;

MÃ SỐ: 9840106

CHUYÊN NGÀNH: KHOA HỌC HÀNG HẢI

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

2. TS. Đỗ Văn Cường

HẢI PHÒNG - 2025

BỘ XÂY DỰNG

BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO

TRƯỜNG ĐẠI HỌC HÀNG HẢI VIỆT NAM

ĐỖ TRUNG KIÊN

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

LUẬN ÁN TIẾN SĨ KỸ THUẬT

NGÀNH: KHOA HỌC HÀNG HẢI;

MÃ SỐ: 9840106

CHUYÊN NGÀNH: KHOA HỌC HÀNG HẢI

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

2. TS. Đỗ Văn Cường

HẢI PHÒNG - 2025

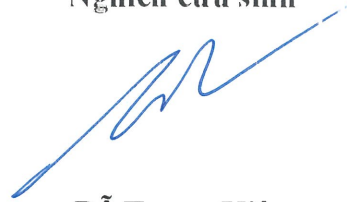
LỜI CAM ĐOAN

Tên tôi là Đỗ Trung Kiên, là người viết luận án tiến sĩ “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”. Tôi xin cam đoan đây là nghiên cứu của bản thân tôi, nội dung của luận án là ý tưởng và thể hiện tư duy của chính bản thân tác giả.

Kết quả của luận án, tài liệu được tham khảo, công trình khoa học nêu ra trong luận án đều được chỉ rõ về nguồn gốc, xuất xứ và đảm bảo yếu tố trung thực./.

Hải Phòng, ngày 10 tháng 6 năm 2025

Nghiên cứu sinh



Đỗ Trung Kiên

LỜI CẢM ƠN

Trong quá trình thực hiện bản luận án này, tác giả đã nhận được sự tạo điều kiện, giúp đỡ từ các cơ quan, phòng ban thuộc Trường Đại học Hàng hải Việt Nam.

Tác giả cũng gửi lời cảm ơn tới Khoa Hàng hải và Viện Đào tạo Sau đại học, các giảng viên, nhà nghiên cứu, chuyên gia đã cung cấp những đóng góp ý kiến, chia sẻ kiến thức, kinh nghiệm quý giá và chính xác nhất.

Tác giả xin trân trọng gửi lời cảm ơn tới PGS.TS. Nguyễn Mạnh Cường, nguyên Trưởng Khoa Hàng hải, Trường Đại học Hàng hải Việt Nam và TS. Đỗ Văn Cường, Phó trưởng Bộ môn Luật hàng hải, Khoa Hàng hải, Trường Đại học Hàng hải Việt Nam đã tận tình, kịp thời đưa ra những hướng dẫn, định hướng đối với nội dung của bản luận án này.

Đồng thời, tác giả cũng gửi lời cảm ơn tới chuyên gia trong các hội đồng, các nhà khoa học trong và ngoài trường đã đến, góp ý, chỉnh sửa để cho bản luận án của tôi được hoàn thiện và hoàn thành đúng tiến độ được đề ra.

Xin gửi lời cảm ơn đến gia đình, người thân, bạn bè của tác giả trong suốt thời gian thực hiện luận án đã ở bên cạnh, động viên, chia sẻ những khó khăn, thử thách để tôi đi đến buổi bảo vệ cuối cùng luận án./.

Hải Phòng, ngày 16 tháng 6 năm 2025

Nghiên cứu sinh



Đỗ Trung Kiên

MỤC LỤC

MỤC LỤC.....	iii
DANH MỤC CÁC CHỮ VIẾT TẮT VÀ KÝ HIỆU	vii
DANH MỤC CÁC HÌNH	ix
DANH MỤC CÁC BẢNG	xv
MỞ ĐẦU	1
1. Tính cấp thiết của luận án.....	1
2. Mục đích nghiên cứu của luận án	4
3. Phương pháp nghiên cứu của luận án.....	5
4. Đối tượng và phạm vi nghiên cứu của luận án	5
5. Ý nghĩa khoa học và thực tiễn của luận án.....	6
6. Các đóng góp mới của luận án.....	6
7. Bố cục của luận án	7
CHƯƠNG 1 TỔNG QUAN TÌNH HÌNH NGHIÊN CỨU CÁC MÔ HÌNH VÀ PHƯƠNG PHÁP MÔ PHỎNG SỰ PHÁT TRIỂN CỦA MÀNG DẦU TRÊN BIỂN.....	8
1.1 Tổng quan tình hình nghiên cứu mô phỏng sự cố tràn dầu trên biển	8
1.1.1 Tổng quan tình hình nghiên cứu trên thế giới	9
1.1.2 Tổng quan tình hình nghiên cứu trong nước	12
1.2 Tổng quan các phương pháp mô phỏng đồ họa 3D của màng dầu trên biển	14
1.2.1 Mô hình mô phỏng hình học	16
1.2.2 Mô hình mô phỏng vật lý.....	19
1.3 Tổng quan điều kiện tự nhiên của vùng biển tiến hành nghiên cứu	25
1.3.1 Chế độ nhiệt	27
1.3.2 Chế độ gió	28
1.3.3 Chế độ sóng.....	30
1.3.4 Thủy triều	32

1.4 Kết luận chương 1.....	33
CHƯƠNG 2 CƠ SỞ PHƯƠNG PHÁP LUẬN VÀ CƠ SỞ DỮ LIỆU PHỤC VỤ NGHIÊN CỨU	34
2.1 Cơ sở phương pháp luận	34
2.1.1 Mô hình MIKE 21/3 Coupled FM.....	35
2.1.2 Mô hình truyền tải vật chất ứng dụng đối với dầu tràn.....	46
2.1.3 Một số chỉ tiêu đánh giá sai số	53
2.2 Cơ sở dữ liệu	56
2.2.1 Cơ sở dữ liệu địa hình.....	56
2.2.2 Cơ sở dữ liệu khí tượng.....	58
2.2.3 Cơ sở dữ liệu thủy văn	60
2.2.4 Cơ sở dữ liệu hải văn	61
2.2.5 Dữ liệu về sự cố tràn dầu.....	64
2.3 Kết luận chương 2.....	67
CHƯƠNG 3 THỰC HIỆN MÔ PHỎNG SỰ CỐ TRÀN DẦU TRÊN BIỂN BÀNG MÔ HÌNH MIKE 21/3 COUPLED FM.....	68
3.1 Dữ liệu địa hình.....	68
3.2 Xây dựng miền tính toán và các điều kiện ban đầu cho mô hình thủy động lực	68
3.2.1 Miền tính, lưới tính và địa hình	68
3.2.2 Điều kiện tính toán mô phỏng và điều kiện ban đầu	71
3.2.3 Điều kiện biên	76
3.2.4 Điều kiện đầu vào cho dầu tràn.....	78
3.3 Phân tích và đánh giá kết quả tính toán mô hình thủy động lực MIKE 21 Hydrodynamics	79
3.3.1 Hiệu chỉnh mô hình	79
3.3.2 Kiểm nghiệm mô hình.....	83
3.3.3 Kết quả tính toán mô phỏng thủy động lực.....	85

3.4 Phân tích kết quả tính toán tràn dầu bằng mô-đun tính toán tràn dầu MIKE ECO lab/ Oilspill	88
3.4.1 Mô phỏng trường hợp tràn dầu thực tế (tháng 02/2023)	88
3.4.2 Mô phỏng tràn dầu thời kỳ gió mùa Đông Bắc (tháng 01/2022)	91
3.4.3 Mô phỏng tràn dầu thời kỳ gió mùa Tây Nam (tháng 07/2022)	94
3.5 Kết luận chương 3.....	97
CHƯƠNG 4 THỰC HIỆN MÔ PHỎNG SỰ CỐ TRÀN DẦU DỰA TRÊN PHƯƠNG PHÁP ĐỒ HỌA 3D VÀ SO SÁNH ĐỘ CHÍNH XÁC CỦA MÔ HÌNH.....	98
4.1. Thiết kế chuẩn bị dữ liệu thủy động lực từ mô hình MIKE.....	98
4.1.1 Chuyển đổi miền tính và lưới tính.....	98
4.1.2 Chuyển đổi dữ liệu thủy động lực	101
4.2 Chương trình tính toán tràn dầu bằng phương pháp Lagrange.....	107
4.3 Kết quả tính toán mô phỏng tràn dầu trong không gian hai chiều (2D) và ba chiều (3D)	113
4.3.1 Kết quả mô phỏng trường hợp tràn dầu thực tế (02/2023)	114
4.3.2 Kết quả mô phỏng tràn dầu thời kỳ gió mùa Đông Bắc (01/2022)	124
4.3.3 Kết quả mô phỏng tràn dầu thời kỳ gió mùa Tây Nam (07/2022)	130
4.4 Kết luận chương 4.....	136
KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ	138
1. Kết luận.....	138
2. Kiến nghị	139
CÔNG TRÌNH NGHIÊN CỨU ĐÃ CÔNG BỐ.....	140
TÀI LIỆU THAM KHẢO	142
PHỤ LỤC	150
I. Báo cáo thống kê số vụ, số lượng dầu tràn và hóa chất rò rỉ trên biển, diện tích bị ảnh hưởng (Chương 2).....	150
II. Kết quả tính toán mô hình tràn dầu MIKE 21/3 Couple Model FM (Chương 3)	153

1. Hiệu chỉnh mô hình thủy động lực	153
2. Kiểm nghiệm mô hình thủy động lực	156
3. Trường hợp tràn dầu thực tế (tháng 02/2023).....	159
4. Trường hợp mô phỏng tràn dầu thời kỳ gió mùa Đông Bắc.....	162
5. Trường hợp mô phỏng tràn dầu thời kỳ gió mùa Tây Nam	168
III. Kết quả mô phỏng tràn dầu bằng phần mềm tự xây dựng.....	174
1. Trường hợp tràn dầu thực tế (tháng 02/2023).....	174
2. Trường hợp mô phỏng tràn dầu thời kỳ gió mùa Đông Bắc.....	178
3. Trường hợp mô phỏng tràn dầu thời kỳ gió mùa Tây Nam	182
IV. Chuyển đổi miền tính và lưới tính từ mô hình MIKE	187
V. Chương trình mô phỏng tràn dầu.....	191

DANH MỤC CÁC CHỮ VIẾT TẮT VÀ KÝ HIỆU

<i>STT</i>	<i>Chữ viết tắt</i>	<i>Giải thích</i>
1.	3D	Ba chiều (Three Dimension)
2.	2D	Hai chiều (Two Dimension)
3.	ABM	Phương pháp Adams-Bashfold-Moulton
4.	ADI	Phương pháp ẩn hướng xen kẽ (Alternating-direction implicit method)
5.	AMM	Phương pháp Adams Moulton
6.	CFD	Tính toán động lực học chất lưu (Computational Fluid Dynamics)
7.	CFL	Điều kiện hội tụ theo CFL (Courant Friedrichs Lewy)
8.	CUDA	Kiến trúc thiết bị hợp nhất cho tính toán (Compute Unified Device Architecture)
9.	DHI	Viện Thủy lực Đan Mạch (Danish Hydraulic Institute)
10.	DO	Dầu diesel (Diesel Oil)
11.	ECMWF	Trung tâm Dự báo thời tiết hạn vừa Châu Âu (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts)
12.	ETOPO1	Địa hình toàn cầu phân giải 1 phút (Earth Topography - 1 Minute)
13.	FO	Dầu thô (Fuel Oil)
14.	GEBCO	Tổ chức liên chính phủ về Biểu đồ Độ sâu tổng quát của đại dương (The General Bathymetric Chart of the Oceans)
15.	GIS	Hệ thống thông tin địa lý (Geographic Information Systems)
16.	GPGPU	Tính toán đa năng trên bộ xử lý đồ họa (General-Purpose Graphics Processing Unit)
17.	GTVT	Giao thông vận tải
18.	ITOPF	Liên đoàn quốc tế Chống ô nhiễm của Chủ tàu dầu (International Tanker Owners Pollution Federation)
19.	LBM	Phương pháp Boltzmann dạng lưới (Lattice Boltzmann Methods)
20.	MIKE OS	Mô-đun lan truyền dầu do sự cố tràn dầu của MIKE (MIKE Oil Spill)

21.	MPS	Moving Particle Semi-implicit
22.	NOAA	Cơ quan Quản lý Khí quyển và Đại dương Quốc gia Hoa Kỳ (National Oceanic and Atmospheric Administration)
23.	NSE	Chỉ số hiệu quả mô hình Nash Sutcliffe (Nash Sutcliffe Efficiency)
24.	OILMAPDEEP	Giải pháp dầu tràn ở trên bề mặt biển (Deep water blowout model)
25.	OSCAR	Mô hình ứng phó và phòng ngừa sự cố tràn dầu (Oil Spill Contingency and Response Model)
26.	PBIAS	Chỉ số độ lệch chuẩn (Percent Bias)
27.	RMSE	Chỉ số trung bình phương sai (Root Mean Square Error)
28.	RK	Phương pháp Runge-Kutta

DANH MỤC CÁC HÌNH

<i>Số hình</i>	<i>Tên hình</i>	<i>Trang</i>
1	Nguyên nhân gây ra sự cố tràn dầu trên thế giới	2
1.1	Các quá trình chuyển hóa của dầu sau khi tràn ra môi trường	8
1.2	Hiện thị hình ảnh vết dầu bằng cách chia lưới hình học	17
1.3	Nguyên lý mô phỏng chất lỏng dựa trên phương pháp vật lý	20
1.4	Sơ đồ, vị trí các sông khu vực Hải Phòng	26
1.5	Hoa gió tại trạm Hòn Dấu giai đoạn 2014 – 2023	29
1.6	Hoa sóng tại trạm Hòn Dấu giai đoạn 2014 – 2023	32
2.1	Sơ đồ thuật toán tổng thể đầy đủ	50
2.2	Xử lý thông tin	51
2.3	Cập nhật và xử lý thông tin điều kiện các yếu tố môi trường	51
2.4	Quá trình bình lưu và khuếch tán	52
2.5	Xử lý thông tin đầu ra của mô hình	53
2.6	Vị trí địa lý khu vực nghiên cứu vùng ven bờ Hải Phòng	56
2.7	Hình ảnh phân bố thông tin dữ liệu địa hình đáy biển	58
2.8	Biến trình tốc độ gió trạm Khí tượng Hòn Dấu giai đoạn từ tháng 1/2020 đến tháng 12/2023	59
2.9	Biến trình tốc độ gió toàn cầu của ERA5 của Châu Âu (ECMWF) tại vị trí 107° 00'E – 20° 30'N giai đoạn từ tháng 1/2020 đến tháng 12/2023	59
2.10	Biến trình mực nước trạm Thủy văn Cửa Cấm giai đoạn từ tháng 1/2020 đến tháng 12/2023	60
2.11	Biến trình mực nước trạm Thủy văn Do Nghi giai đoạn từ tháng 1/2020 đến tháng 12/2023	61
2.12	Biến trình mực nước trạm Hải văn Hòn Dấu giai đoạn từ tháng 1/2020 đến tháng 12/2022	61
2.13	Sơ đồ vị trí các trạm đo liên tục giai đoạn tháng 1/2020	62
2.14	Biến trình mực nước trạm S1 giai đoạn tháng 1/2020	63
2.15	Biến trình mực nước trạm S2 giai đoạn tháng 1/2020	63
2.16	Biến trình mực nước trạm S3 giai đoạn tháng 1/2020	63
2.17	Biến trình mực nước trạm No.1 giai đoạn tháng 1/2020	63
2.18	Biến trình mực nước trạm No.2 giai đoạn tháng 1/2020	64
2.19	Biến trình mực nước trạm No.3 giai đoạn tháng 1/2020	64
3.1	Miền tính và lưới tính	69
3.2	Lưới được tạo ra sau khi làm mịn 20 lần	70
3.3	Thiết lập các điều kiện ban đầu cho khu vực mô phỏng	70
3.4	Lựa chọn các mô-đun để tính toán	71

3.5	Lựa chọn các điều kiện tính toán cho mô-đun thủy động lực	72
3.6	Lựa chọn các điều kiện tính toán cho mô-đun tràn dầu	72
3.7	Sơ đồ về vị trí trích xuất dữ liệu thủy động lực	73
3.8	Nguyên lý xác định điều kiện hội tụ	75
3.9	Dự đoán thủy triều của MIKE 21 Flow Model FM tại các biên	78
3.10	Hiệu chỉnh mực nước tại trạm Hòn Dấu từ 01/01/2020 đến 16/01/2020	79
3.11	Hiệu chỉnh mực nước tại trạm liên tục S1 từ 01/01/2020 đến 16/01/2020	79
3.12	Tương quan mực nước giữa thực đo (Hobs_01) và mô phỏng (Hsim) từ 01/01/2020 đến 16/01/2020 (a) trạm Hòn Dấu; (b) trạm liên tục S1	80
3.13	Trường động lực thời kỳ triều kiệt lúc 15 giờ ngày 05/01/2020	82
3.14	Trường động lực thời kỳ triều cường lúc 01 giờ ngày 15/01/2020	82
3.15	Kiểm nghiệm mực nước tại trạm Hòn Dấu từ 16/01/2020 đến 31/01/2020	83
3.16	Kiểm nghiệm mực nước tại trạm liên tục S1 từ 16/01/2020 đến 31/01/2020	83
3.17	Tương quan mực nước giữa thực đo (Hobs_01) và mô phỏng (Hsim) từ 16/01/2020 đến 31/01/2020 (a) trạm Hòn Dấu; (b) trạm liên tục S1	84
3.18	Kiểm nghiệm mực nước tại trạm Hòn Dấu từ 03/01/2022 đến 19/01/2022	85
3.19	Kiểm nghiệm mực nước tại trạm Hòn Dấu từ 04/07/2022 đến 20/07/2022	86
3.20	Kiểm nghiệm mực nước tại trạm Hòn Dấu từ 26/02/2023 đến 11/03/2023	87
3.21	Vệt dầu tràn và vị trí của hạt dầu (hình tròn nhỏ) từ 26/02/2023 đến 11/03/2023	90
3.22	Trường tổng hợp quỹ đạo di chuyển của các thành phần hạt dầu tràn từ 26/02/2023 đến 11/03/2023	91
3.23	Vệt dầu tràn và vị trí của hạt dầu (hình tròn nhỏ) từ 03/01/2022 đến 19/01/2022 (tại bến Gót lúc 07 giờ ngày 18/01/2022)	92
3.24	Trường tổng hợp quỹ đạo di chuyển của các thành phần hạt dầu tràn từ 03/01/2022 đến 19/01/2022 (tại bến Gót)	92

3.25	Vệt dầu tràn và vị trí của hạt dầu (hình tròn nhỏ) từ 03/01/2022 đến 19/01/2022 (tại cảng Đình Vũ lúc 07 giờ ngày 18/03/2022)	93
3.26	Trường tổng hợp quỹ đạo di chuyển của các thành phần hạt dầu tràn từ 03/01/2022 đến 19/01/2022 (tại cảng Đình Vũ)	93
3.27	Vệt dầu tràn và vị trí của hạt dầu (hình tròn nhỏ) từ 04/07/2022 đến 11/07/2022 (tại bến Gót lúc 07 giờ ngày 11/07/2022)	94
3.28	Trường tổng hợp quỹ đạo di chuyển của các thành phần hạt dầu tràn từ 04/07/2022 đến 11/07/2022 (tại bến Gót)	95
3.29	Vệt dầu tràn và vị trí của hạt dầu (hình tròn nhỏ) từ 04/07/2022 đến 19/07/2022 (tại cảng Đình Vũ lúc 07 giờ ngày 19/07/2022)	96
3.30	Trường tổng hợp quỹ đạo di chuyển của các thành phần hạt dầu tràn từ 04/07/2022 đến 19/07/2022 (tại cảng Đình Vũ)	96
4.1	Chuyển tệp từ “.dfs1” sang “.dfs2” trong mô-đun MIKE Zero	98
4.2	Các trường giá trị sẽ xuất khi chuyển sang tệp “.dfs2”	99
4.3	Miền tính, lưới tính và trường địa hình khu vực nghiên cứu	100
4.4	Chuyển định dạng mã hóa nội dung trong tệp “.dfs2” của phần mềm MIKE sang tệp “.txt” của mã “ASCII”	100
4.5	Trường mực nước	101
4.6	Trường độ sâu khu vực nghiên cứu	102
4.7	Trường dòng chảy theo kinh hướng (U) khu vực nghiên cứu	103
4.8	Trường dòng chảy theo vĩ hướng (V) khu vực nghiên cứu	104
4.9	Trường gió theo kinh hướng (U) khu vực nghiên cứu	105
4.10	Trường gió theo vĩ hướng (V) khu vực nghiên cứu	106
4.11	Chương trình tính toán mô phỏng tràn dầu chính	107
4.12	Chương trình đọc thông tin đầu vào	108
4.13	Chương trình con về đọc dữ liệu về điều kiện tính toán	109
4.14	Chương trình đọc thông tin địa hình	110
4.15	Chương trình đọc thông tin dầu tràn	110
4.16	Chương trình con về cập nhật và xử lý các yếu tố môi trường	111
4.17	Chương trình con về tính toán bình lưu và khuếch tán các hạt dầu	112
4.18	Chương trình con in kết quả tính toán	113
4.19	Khoảng cách từ vị trí tràn dầu đến vị trí gần nhất của mô hình MIKE và mô hình tự xây dựng từ 26/02/2023 đến 04/03/2023	114

4.20	Tương quan khoảng cách của hạt dầu từ mô hình MIKE và mô hình tự xây dựng từ 26/02/2023 đến 04/03/2023	115
4.21	Biến trình khoảng cách vị trí gần nhất giữa mô hình MIKE và mô hình tự xây dựng từ 26/02/2023 đến 04/03/2023	115
4.22	Biến trình khoảng cách từ vị trí tràn dầu đến vị trí nồng độ dầu lớn nhất của mô hình MIKE, mô hình tự xây dựng và khoảng cách giữa hai vị trí này từ 26/02/2023 đến 04/03/2023	116
4.23	Biến trình nồng độ dầu lớn nhất của mô hình MIKE và mô hình tự xây dựng từ 26/02/2023 đến 04/03/2023	117
4.24	Tương quan khoảng cách từ vị trí tràn dầu đến vị trí nồng độ lớn nhất giữa mô hình MIKE và mô hình tự xây dựng từ 26/02/2023 đến 04/03/2023	118
4.25	Tương quan nồng độ lớn nhất giữa mô hình MIKE và mô hình tự xây dựng từ 26/02/2023 đến 04/03/2023	118
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	120
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	120
4.28	Vệt dầu tràn 3D 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	122
4.29	Vệt dầu tràn bám vào bờ khu vực gần Bến Gót	123
4.30	Biến trình khoảng cách từ vị trí tràn dầu đến vị trí gần nhất của mô hình MIKE và mô hình tự xây dựng từ 03/01/2022 đến 11/01/2022 (tại bến Gót)	124
4.31	Tương quan khoảng cách từ vị trí tràn dầu đến vị trí gần nhất giữa mô hình MIKE và mô hình tự xây dựng từ 03/01/2022 đến 11/01/2022 (tại bến Gót)	124
4.32	Biến trình khoảng cách vị trí gần nhất giữa mô hình MIKE và mô hình tự xây dựng từ 03/01/2022 đến 11/01/2022 (tại bến Gót)	125
4.33	Biến trình khoảng cách từ vị trí tràn dầu đến vị trí nồng độ dầu lớn nhất của mô hình MIKE mô hình tự xây dựng và khoảng cách giữa hai vị trí này từ 03/01/2022 đến 11/01/2022 (tại bến Gót)	125
4.34	Biến trình nồng độ dầu lớn nhất của mô hình MIKE và mô hình tự xây dựng từ 03/01/2022 đến 11/01/2022 (tại bến Gót)	126

4.35	Tương quan khoảng cách từ vị trí tràn dầu đến vị trí nồng độ lớn nhất giữa mô hình MIKE và mô hình tự xây dựng từ 03/01/2022 đến 11/01/2022 (tại bến Gót)	127
4.36	Tương quan nồng độ lớn nhất giữa mô hình MIKE và mô hình tự xây dựng từ 03/01/2022 đến 11/01/2022 (tại bến Gót)	127
4.37	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 03/01/2022 đến 10/01/2022 (tại bến Gót lúc 07 giờ ngày 10/01/2022, sau 7 ngày)	128
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)	128
4.39	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 03/01 đến 13/01/2022 (tại cảng Đình Vũ lúc 07 giờ ngày 10/01/2022)	129
4.40	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 03/01/2022 đến 10/01/2022 (tại cảng Đình Vũ lúc 07 giờ ngày 10/01/2022)	129
4.41	Biến trình khoảng cách từ vị trí tràn dầu đến vị trí gần nhất của mô hình MIKE và mô hình tự xây dựng từ 04/07/2022 đến 12/07/2022 (tại bến Gót)	130
4.42	Tương quan khoảng cách từ vị trí tràn dầu đến vị trí gần nhất giữa mô hình MIKE và mô hình tự xây dựng từ 04/07/2022 đến 12/07/2022 (tại bến Gót)	130
4.43	Biến trình khoảng cách vị trí gần nhất giữa mô hình MIKE và mô hình tự xây dựng từ 04/07/2022 đến 12/07/2022 (tại bến Gót)	131
4.44	Biến trình khoảng cách từ vị trí tràn dầu đến vị trí nồng độ dầu lớn nhất của mô hình MIKE mô hình tự xây dựng và khoảng cách giữa hai vị trí này từ 04/07/2022 đến 12/07/2022 (tại bến Gót)	131
4.45	Biến trình nồng độ dầu lớn nhất của mô hình MIKE và mô hình tự xây dựng từ 04/07/2022 đến 12/07/2022 (tại bến Gót)	132
4.46	Tương quan khoảng cách từ vị trí tràn dầu đến vị trí nồng độ lớn nhất giữa mô hình MIKE và mô hình tự xây dựng từ 04/07/2022 đến 12/07/2022 (tại bến Gót)	132
4.47	Tương quan nồng độ lớn nhất giữa mô hình MIKE và mô hình tự xây dựng từ 04/07/2022 đến 12/07/2022 (tại bến Gót)	132

4.48	Vết 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 04/07/2022 đến 11/07/2022 (tại bến Gót lúc 07 giờ ngày 11/07/2022)	134
4.49	Vết 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 bến Gót lúc 07 giờ ngày 11/07/2022)	134
4.50	Vết 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 04/07/2022 đến 11/07/2022 (tại cảng Đình Vũ lúc 07 giờ ngày 11/07/2022)	135
4.51	Vết 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)	136

DANH MỤC CÁC BẢNG

Số bảng	Tên bảng	Trang
1	Thống kê các vụ tràn dầu trung bình (7-700 tấn) và lớn (>700 tấn) từ năm 1970 đến 2024	1
1.1	Nhiệt độ không khí trung bình nhiều năm tại Trạm Hòn Dấu	27
1.2	Tần suất gió tại trạm Hòn Dấu giai đoạn 2014-2023	28
1.3	Vận tốc gió và độ cao sóng trung bình tương ứng nhiều năm tại khu vực Hòn Dấu	30
1.4	Tần suất sóng trạm Hòn Dấu giai đoạn 2014 – 2023	31
1.5	Mức nước triều đặc trưng tại trạm Hòn Dấu trong nhiều năm (1960 - 2007)	33
2.1	Thông tin về trạm khí tượng – hải văn Hòn Dấu	58
2.2	Thông tin về trạm thủy văn	60
2.3	Thông tin về một số trạm liên tục	62
3.1	Thông tin về vị trí trích xuất dữ liệu thủy động lực	73
3.2	Thông tin lựa chọn tính toán mô phỏng	74
3.3	Thông tin lựa chọn của mô hình thủy động lực	75
3.4	Thông tin lựa chọn của mô hình truyền tải dầu tràn	78
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	80
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	84
3.7	Đánh giá độ chính xác giữa mực nước thực đo và mô phỏng tại trạm Hòn Dấu từ 03/01/2022 đến 19/01/2022	86
3.8	Đánh giá độ chính xác giữa mực nước thực đo và mô phỏng tại trạm Hòn Dấu từ 04/07/2022 đến 20/07/2022	87
3.9	Đánh giá độ chính xác giữa mực nước thực đo và mô phỏng tại trạm Hòn Dấu từ 26/02/2023 đến 11/03/2023	88
4.1	Độ chính xác thống kê khoảng cách của hạt dầu từ mô hình MIKE và mô hình tự xây dựng từ 26/02/2023 đến 04/03/2023	115
4.2	Độ chính xác thống kê khoảng cách từ vị trí tràn dầu đến vị trí nồng độ lớn nhất và nồng độ lớn nhất giữa mô hình MIKE và mô hình tự xây dựng từ 26/02/2023 đến 04/03/2023	117

4.3	Độ chính xác thống kê khoảng cách từ vị trí tràn dầu đến vị trí gần nhất giữa mô hình MIKE và mô hình tự xây dựng từ 03/01/2022 đến 11/01/2022 (tại bến Gót)	124
4.4	Độ chính xác thống kê khoảng cách từ vị trí tràn dầu đến vị trí nồng độ lớn nhất và nồng độ lớn nhất giữa mô hình MIKE và mô hình tự xây dựng từ 03/01/2022 đến 11/01/2022 (tại bến Gót)	126
4.5	Độ chính xác thống kê khoảng cách từ vị trí tràn dầu đến vị trí gần nhất giữa mô hình MIKE và mô hình tự xây dựng từ 04/07/2022 đến 12/07/2022 (tại bến Gót)	130
4.6	Độ chính xác thống kê khoảng cách từ vị trí tràn dầu đến vị trí nồng độ lớn nhất và nồng độ lớn nhất giữa mô hình MIKE và mô hình tự xây dựng từ 04/07/2022 đến 12/07/2022 (tại bến Gót)	132

MỞ ĐẦU

1. Tính cấp thiết của luận án

Trên thế giới, hàng hải luôn 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. Các nhà quản lý và các công ty dầu khí phải tốn một lượng kinh phí không hề nhỏ để thực hiện ngăn ngừa và giảm tác hại của dầu khi có sự cố tràn dầu xảy ra. 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,...

Ô nhiễm dầu không chỉ xảy ra trên mặt biển, mà còn có thể ở các vùng nước sâu hơn, dẫn đến những tác động nghiêm trọng đến môi trường. Hiện nay, công tác khai thác dầu, cũng như lắp đặt đường ống tại vùng nước sâu ngày càng tăng, dẫn đến những rủi ro như: rò rỉ dầu ngẫu nhiên từ giếng dầu, vỡ đường ống,...

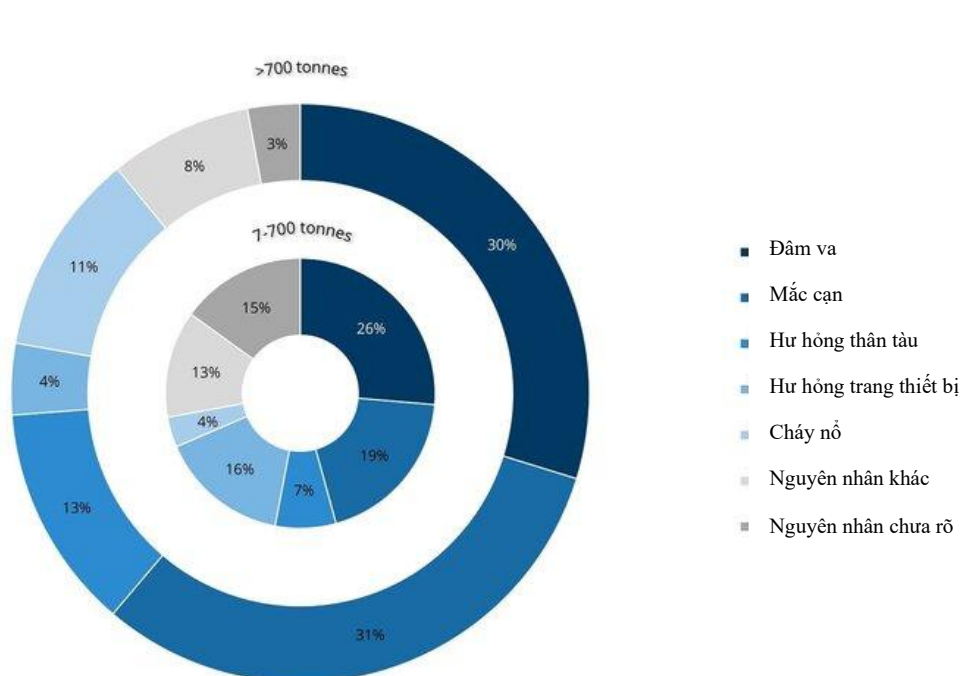
Bảng 1. Thống kê các vụ tràn dầu trung bình (7-700 tấn) và lớn (>700 tấn) từ năm 1970 đến 2024 [1]

Thời gian	7-700 tấn	Trên 700 tấn
1970–1979	543	245
1980–1989	360	94
1990–1999	281	77
2000–2009	149	32
2010–2019	45	18
2020-2024	26	11

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 Atlantic Empress tại Tobago, Tây Ấn (1979) với 287.000 tấn dầu tràn; sự cố tràn dầu của tàu Exxon Valdez tại Alaska, Hoa Kỳ (1989) với 37.000 tấn dầu tràn; sự cố tràn dầu của tàu ABT Summer tại Angola (1991)

với 260.000 tấn dầu tràn ra; 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), được thể hiện chi tiết trong hình sau:



Hình 1. Nguyên nhân gây ra sự cố tràn dầu trên thế giới [1]

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 từ Châu Á sang Châu Đại Dương, nối liền Thái Bình Dương và Ấn Độ Dương, 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. Do vậy, Việt Nam có nhiều điều kiện thuận lợi để phát triển mối quan hệ thương mại với thế giới và khu vực, đặc biệt là các khu vực Đông Nam Á và Thái Bình Dương. Đây là một lợi thế, nhưng đồng thời cũng gây ra những áp lực đáng kể lên môi trường, các hệ sinh thái và đa dạng sinh học. Các thách thức đặt ra đó là sự ô nhiễm môi trường ven biển, như dầu, rác thải, vi nhựa và các nguồn gây ô nhiễm khác [2].

Theo Quy hoạch tổng thể phát triển hệ thống cảng biển Việt Nam của Thủ tướng Chính phủ: Mục tiêu đến năm 2030, hệ thống cảng biển cả nước đáp ứng thông qua lượng hàng hóa từ 1.249 đến 1.494 triệu tấn (trong đó hàng container từ 46,3 đến 54,3 triệu TEU, chưa bao gồm hàng trung chuyển quốc tế); hành khách từ 17,4 đến 18,8 triệu lượt khách; Tầm nhìn đến năm 2050, hệ thống cảng biển đáp ứng nhu cầu thông qua hàng hóa với tốc độ tăng trưởng bình quân khoảng từ 4,2 đến 4,8%/năm; hành khách tăng trưởng bình quân khoảng từ 1,2 đến 1,3 %/năm [3].

Ngoài ra, hoạt động thăm dò và khai thác dầu khí trên thềm lục địa nước ta cũng làm gia tăng lượng dầu thải hàng năm vào biển. Có thể thấy rằng, nguy cơ ô nhiễm dầu tại bờ biển nước ta ngày một gia tăng, có thể gây ra những thiệt hại rất lớn cho môi trường, hệ sinh thái nếu không được ứng phó kịp thời.

Cũng theo quy hoạch 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 [3]. Hiện nay, cảng biển Hải Phòng đang có 51 bến cảng trên tổng số 306 bến cảng của Việt Nam [4]. 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,... [3].

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,....

Ngoài các điều kiện khách quan, nghiên cứu sinh cũng có điều kiện thuận lợi hơn khi thu thập các dữ liệu về địa hình, khí tượng, thủy văn, hải văn, tràn dầu tại khu vực vùng biển Hải Phòng so với các khu vực khác tại Việt Nam. Tại các vùng biển khác, nếu có điều kiện thu thập các dữ liệu trên thì hoàn toàn có thể triển khai thực hiện mô phỏng và dự đoán tràn dầu.

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 của luận án

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 của luận án

Luận án sử dụng kết hợp các phương pháp phân tích, tổng hợp, thống kê; giải thích; tính toán và mô phỏng thực hiện bởi máy tính; phương pháp kiểm nghiệm đánh giá độ chính xác của mô hình với phần mềm thương mại và trường hợp tràn dầu thực tế. Cụ thể như sau:

- Phương pháp tổng hợp, thống kê: những nghiên cứu đã thực hiện về mô phỏng và dự đoán tràn dầu ở trong nước và trên thế giới, từ đó chỉ ra những hạn chế của các nghiên cứu đã thực hiện, để làm nổi bật tính mới của luận án.

- 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: với phần mềm thương mại và sự cố tràn dầu thực tế đã xảy ra.

4. Đối tượng và phạm vi nghiên cứu của luận án

- 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 luận án

- 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 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. Các đóng góp mới của luận án

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. Bố cục của luận án

Để thực hiện các vấn đề nghiên cứu, nghiên cứu sinh trình bày bố cục thành 4 chương như sau:

Chương 1. Tổng quan tình hình nghiên cứu các mô hình và phương pháp mô phỏng sự phát triển của màng dầu trên biển

Đưa ra các phân tích tổng quan về tình hình nghiên cứu mô phỏng tràn dầu và các phương pháp nhằm thực hiện mô phỏng ở trong nước, cũng như trên thế giới để làm cơ sở lý luận và lựa chọn phương pháp thực hiện mô phỏng.

Chương 2. Cơ sở phương pháp luận và cơ sở dữ liệu phục vụ nghiên cứu

Trình bày cơ sở phương pháp luận nhằm thực hiện nghiên cứu và cơ sở dữ liệu để nghiên cứu. Từ đó làm tiền đề để thực hiện mô phỏng ở các chương tiếp theo.

Chương 3. Thực hiện mô phỏng sự cố tràn dầu trên biển bằng mô hình MIKE 21/3 Coupled FM

Để thực hiện so sánh kiểm chứng khả năng tin cậy của mô hình tràn dầu, nghiên cứu sinh đã thực hiện mô phỏng thủy động lực bằng mô-đun thủy động lực Hydrodynamic, sau đó tiến hành mô phỏng các kịch bản sự cố tràn dầu trên biển bằng mô-đun tính toán tràn dầu ECO Lab/ Oil spill.

Chương 4. Thực hiện mô phỏng sự cố tràn dầu dựa trên phương pháp đồ họa 3D và so sánh độ chính xác của mô hình

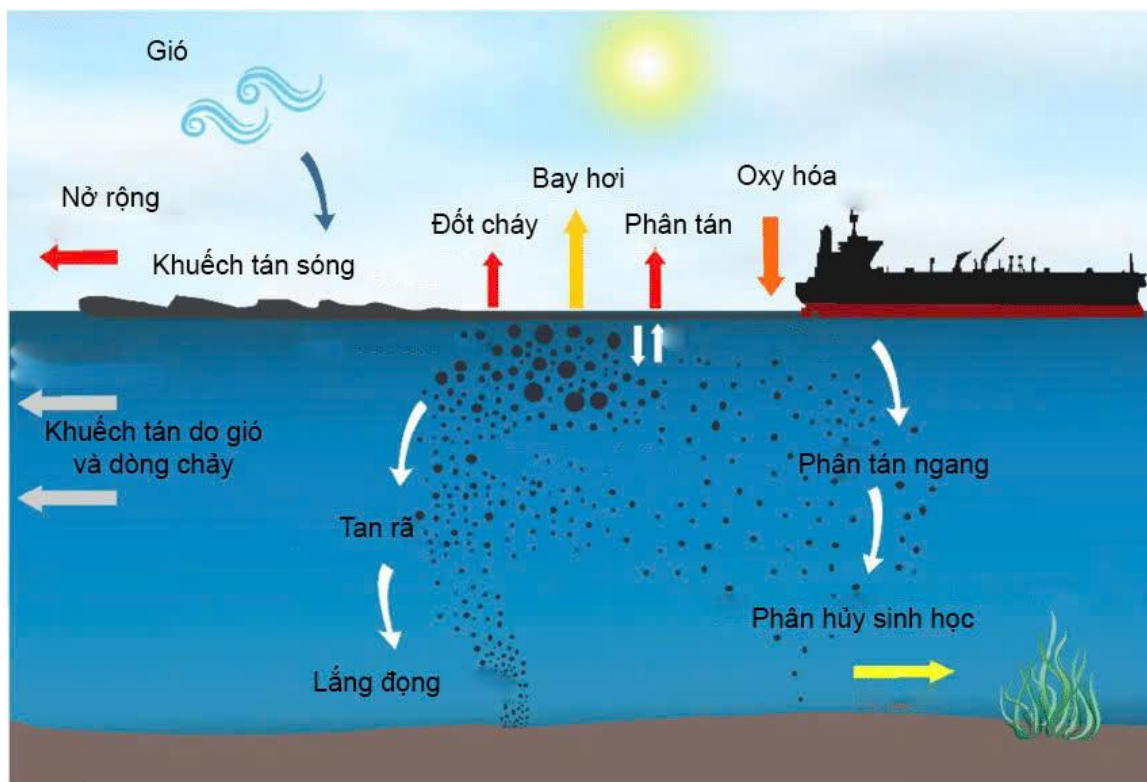
Kết quả mô phỏng chương trình tính toán thủy động lực bằng mô hình MIKE 21/3 Coupled FM được sử dụng làm dữ liệu đầu vào của mô hình tràn dầu tự xây dựng. Đồng thời tiến hành phân tích, so sánh kết quả mô phỏng 3D và kết quả mô phỏng với chương trình MIKE đảm bảo chính xác, tin cậy.

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

Đặc tính của dầu sau khi trôi nổi trong môi trường biển phụ thuộc vào một loạt các diễn biến vật lý, hóa học và vi sinh học được xác định chủ yếu bởi cả tính chất của dầu rò rỉ và các điều kiện môi trường, khí tượng thủy văn (sóng, gió, dòng hải lưu, bức xạ mặt trời,...), và các đặc điểm của vụ tràn dầu (tức thời/liên tục, bề mặt/nước sâu). Vòng đời và đặc tính của sự cố tràn dầu sẽ bị ảnh hưởng dưới tác động của các quá trình phong hóa dầu: lan truyền dầu, bay hơi, nhũ hóa, hòa tan, oxy hóa quang, phân hủy sinh học và lắng đọng, và các quá trình vận chuyển vật lý, như vận chuyển và khuếch tán, phân tán, và tái tạo bề mặt.



Hình 1.1 Các quá trình chuyển hóa của dầu sau khi tràn ra môi trường [5]

1.1.1 Tổng quan tình hình nghiên cứu trên thế giới

Vấn đề nghiên cứu mô phỏng tràn dầu nhìn chung được khái quát dưới hai hướng chính: phát triển phần mềm thương mại có bản quyền để tính toán cho tất cả các khu vực trên thế giới và 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. Tuy có hai hướng nghiên cứu chính như vậy, nhưng 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.

Xét về góc độ thời gian và tính logic của khoa học, các nghiên cứu tự xây dựng mô phỏng tràn dầu ra đời từ trước. Bắt đầu những năm 60 của thế kỷ trước, Fay [6] đã đưa ra các học thuyết về mô phỏng tràn dầu dựa trên các tiến trình lực hấp dẫn, lực quán tính, độ nhớt và sức căng dầu bề mặt. Tuy nhiên kết quả dựa trên lý thuyết của Fay cho thấy sự tiến triển của màng dầu chậm hơn so với thực tế, cũng như chưa xét đến ảnh hưởng của gió, dòng và trên môi trường mặt nước yên tĩnh. Lehr [7] đã phát triển lý thuyết mô phỏng tràn dầu có tính đến ảnh hưởng của các yếu tố ngoại cảnh và coi màng dầu dưới dạng Elip. Chen và cộng sự [8] đã tiến hành mô phỏng một vụ tràn trên sông Dương Tử bằng các hạt dầu chuyển động 3 chiều được sử dụng cho mô hình ứng phó tràn dầu khẩn cấp. Geng và cộng sự [9] đã nghiên cứu tác động của sóng lên chuyển động của các giọt dầu, minh họa rằng độ khuếch tán xoáy nhỏ giảm nhanh theo độ sâu dẫn đến sự lan truyền theo chiều ngang lớn và ngược lại. Kết quả cho thấy rằng các mô hình vận chuyển hai chiều có thể đang ước tính quá cao tốc độ lan truyền của dầu. Simecek-Beatty và Lehr [10] đã sử dụng các mô hình tuần hoàn Langmuir để ước tính sự hợp nhất của các vệt dầu và sửa đổi các tham số hóa lan truyền dầu hiện có bằng cách ước tính hiệu chỉnh diện tích bề mặt lan truyền do hiệu ứng Langmuir.

Một số mô hình tràn dầu thương mại được sử dụng rộng rãi nhất, có khả năng dự báo quỹ đạo và số phận của dầu tràn trên bề mặt và/hoặc dưới biển sâu là:

- CDOG (Comprehensive Deepwater Oil and Gas model) là mô hình tràn dầu được phát triển bởi Yapa và Li [11], sau đó được Zheng và cộng sự chỉnh sửa, cải tiến [12]. Mô hình này tập trung vào việc mô phỏng các quá trình liên quan đến dầu khí phát sinh từ các công trình ngầm dưới biển sâu, bao gồm cả hành vi lan truyền và biến đổi trong môi trường biển. CDOG mô tả chi tiết sự biến động ba chiều (3D) của dòng chảy không ổn định, chịu ảnh hưởng bởi các yếu tố như mật độ, độ mặn và nhiệt độ nước biển.. CDOG không chỉ được ứng dụng trong các nghiên cứu lý thuyết mà còn được triển khai trong các tình huống ứng cứu tràn dầu thực tế. Tính ứng dụng cao của mô hình đã thu hút sự quan tâm của nhiều cơ quan chính phủ Hoa Kỳ như Cơ quan Quản lý Khoáng sản (MMS), Cục Quản lý Đại dương và Khí quyển Quốc gia (NOAA), cũng như các tập đoàn dầu khí, trong việc thử nghiệm và đánh giá hiệu quả mô hình đối với các sự cố ngoài thực địa.

- OILMAPDEEP [13, 14, 15] là mô hình mô phỏng tràn dầu dưới biển sâu, được phát triển bởi Applied Science Associates (ASA) nhằm ước tính hình dạng và quá trình vận chuyển của dầu trong các sự cố tràn dầu dưới đáy biển. Mô hình này hỗ trợ mô phỏng cả trong khu vực ven bờ và ngoài khơi, cung cấp khả năng phân tích toàn diện các tình huống tràn dầu phức tạp. OILMAPDEEP tích hợp một chương trình chuyên dụng mô phỏng lớp dầu phân tán phía trên và một mô-đun hạt theo phương pháp Lagrange..

- OSCAR là một điển hình của mô hình ba chiều để thiết lập các dự án ứng phó sự cố tràn do dầu, do SINTEF phát triển [16,17]. Mô hình này tính toán hình dạng và ảnh hưởng của sự cố tràn dầu trên lớp mặt hoặc khối dầu phun ra từ các công trình giàn khoan ngầm. Quá trình trôi dạt và hình dạng của

lớp dầu trên bề mặt được mô phỏng không chỉ thông qua các mô hình thủy động lực, gió và sự khuếch tán hỗn loạn mà còn thông qua các chương trình tính toán phong hóa, ví như lan truyền, bốc hơi, phân tán dọc, ngang, nhũ tương, hòa tan dầu và sự bay hơi. Qua đó, OSCAR đã đạt được hiệu quả trong ứng phó sự cố tràn dầu, cũng như trong lập kế hoạch và hoạt động ứng phó.

- OILMAP [18] đã được phát triển bởi ASA cũng như SIMAP, và được viết trên cùng nền tảng mã nguồn. Mặc dù, OILMAP là mô hình ứng phó tràn dầu ba chiều và lập kế hoạch dự phòng. Mô hình này xử lý cả sự giải phóng hydrocarbon tại các lớp mặt và giữa, đồng thời đưa ra các thuật toán cho sự lan truyền dầu, sự bay hơi, nhũ tương, trôi dạt dầu vào bờ biển, lắng xuống nền đáy biển và tương tác dầu-băng (oil-ice interaction).

- GNOME (general NOAA operational modeling environment) được biết đến như một mô hình tràn để dự đoán hình dạng và tiến trình di chuyển của vật chất ô nhiễm và dịch chuyển của dầu từ các tác nhân bên ngoài như gió, dòng hải lưu, thủy triều và gia tăng diện tích [19]. Nó được công bố rộng rãi để sử dụng cho nền tảng mở, các cơ quan quản lý giảm thiểu tác động rộng lớn hơn.

- Mô hình vận chuyển hạt OILTRANS [20] dựa trên mô hình vận chuyển hạt LTRANS v.2, được phát triển bởi North và những người khác [21]. Mô-đun hình dạng vệt dầu của OILTRANS tính các quá trình vận chuyển, sự chuyển động và các quá trình khác với mô hình metocean hoạt động hiện đại.

- MEDSLIK-II [22, 23] có đặc điểm của mô hình tràn dầu tiền thân MEDSLIK của nó. Với đặc tính là mã nguồn mở cho các vụ tràn dầu lớp mặt trong nước biển và được ra đời để dự báo quá trình vận chuyển và tính toán khác của vệt dầu và để thể hiện sự dịch chuyển của một hạt nổi, sử dụng công thức Lagrange, kết hợp với mô hình lưu thông đại dương Euler. Tập các hạt bị phân tách bởi các yếu tố nhiễu loạn môi trường, được hình thành thông qua phương pháp ngẫu nhiên sử dụng sơ đồ đi bộ ngẫu nhiên.

- Delft3D-PART, do Deltares phát triển, là chương trình con của phần mềm thủy lực Delft3D nhằm tính toán sự vận chuyển và dịch chuyển của các vật chất trong môi trường nước biển, bộ mô hình dòng chảy tích hợp dưới dạng 2D/3D của Delft3D-FLOW (chương trình tính thủy động lực học) [24]. Sơ đồ kiểm soát hạt tuân theo phương pháp đi bộ ngẫu nhiên, được gọi là "phương pháp Monte Carlo". Hơn nữa, Delft3D-PART cung ứng hai chương trình con: đánh dấu, mô phỏng các vật chất để phân hủy bảo toàn hoặc bậc một, và tính tràn dầu, mô phỏng các vụ tràn với các phần tử nổi và phân tán. Mặt khác, quá trình này có sự liên quan đến sự đối lưu của dầu nổi với gió và dòng chảy bề mặt, sự phân tán của dầu do sóng gây ra, sự tỏa hơi của dầu lớp mặt, nhũ tương, tiến trình bám vào bờ biển và các trầm tích dưới đáy.

- MIKE là một chương trình mô phỏng máy tính được giới thiệu bởi Viện Thủy lực Đan Mạch (DHI) [25]. Gói chương trình thương mại này bao gồm rất nhiều các chương trình con để tính toán theo các chức năng như: MIKE Zero để tính toán lưới, MIKE Hydro để tính toán thủy lực tại các lưu vực sông, MIKE 21 tính toán thủy động lực học, MIKE Flood tính toán ngập lụt, MIKE 21/3 tích hợp để giải quyết bài toán vận chuyển trầm tích, tràn dầu,...

1.1.2 Tổng quan tình hình nghiên cứu trong nước

Nghiên cứu tràn dầu ngày càng được tiếp nối từ những công trình đã được tiếp cận từ những năm 60 của thế kỉ trước. Các nghiên cứu đã vẽ nên cục diện bức tranh về nghiên cứu tràn dầu một cách khá đầy đủ và chi tiết; tuy nhiên, ở một góc độ nào đó các công trình trong nước không tránh khỏi những vấn đề mà đến nay vẫn cần có các nhà khoa học đào sâu nghiên cứu.

Vũ Duy Vĩnh [26] đã thực hiện nghiên cứu các vấn đề liên quan đến ô nhiễm môi trường tại khu vực cửa Cẩm, sông Bạch Đằng. Dữ liệu sử dụng trong nghiên cứu bao gồm các dữ liệu địa hình tại cửa Cẩm và khu vực lân cận; Các dữ liệu liên quan khí tượng, dữ liệu thủy, hải văn, dữ liệu độ mặn và các dữ liệu

phục vụ tính toán khác. Về phương pháp, sử dụng phần mềm Delft3D có hai mô-đun quan trọng là Delft3d-Flow và mô-đun Delft3d-Part. Đây là các công cụ đóng vai trò chính trong chương trình mô phỏng sự cố tràn dầu tại Bạch Đằng, Hải Phòng.

Dur Văn Toán [27] đề xuất một chương trình tính toán tại môi trường khu vực Đông Nam Bộ. Nét chính của phương pháp được thể hiện thông qua chương trình mô phỏng toán cho bài toán lan truyền sóng và cho dòng chảy tại vùng Đông Nam Bộ. Đầu ra của chương trình được tích hợp các thông số độ sâu, gió, sóng, mực nước, với dữ liệu đầu vào được giả định cho 150 tấn tràn liên tục trong 5 tiếng.

Nguyễn Quốc Trinh [28] trong nghiên cứu của mình đã thực hiện bài toán tính toán cho mô hình tràn dầu ngược tại khu vực Biển Đông với việc khảo sát tại nhiều điểm và nguồn tràn khác nhau. Để thực hiện được việc này, tác giả đã tính toán xuôi rồi giả thuyết cho bài toán ngược để tìm ra nguồn tràn với độ chính xác đạt yêu cầu. Các yếu tố thủy động lực cũng đóng vai trò rất quan trọng cho kết quả của bài toán lan truyền dầu.

Trần Anh Tú [29] sử dụng mô hình Delft3D cho bài toán lan truyền dầu tại khu vực đảo Cồn Cỏ với nhiều kịch bản khác nhau tại các mùa trong năm.

Trần Duy Kiều [30] lại sử dụng mô hình MIKE cho việc mô phỏng sự cố tràn tại khu vực đảo Phú Quốc. Mô hình MIKE cũng được sử dụng khá phổ biến cho việc nghiên cứu này.

Đoàn Quang Trí [31] lại đạt được mục đích mô phỏng thông qua mô hình MIKE 21 dưới dạng mô hình số 2D để tính toán lan truyền dầu trên biển tại cảng Lạch Huyện, Hải Phòng.

Nguyễn Hữu Nhân [32] đã thực hiện xây dựng mô hình tràn dầu tích hợp trên bản đồ số 2D bằng phương pháp Euler và Lagrange có tên gọi là mô hình quản trị tràn dầu ra biển ven bờ và cửa sông OilsAS.

Nguyễn Thị Thúy Hằng [33] cũng áp dụng mô hình MIKE để phân tích và dự báo các yếu tố tràn dầu tại cảng Container Long Sơn. Kết quả trong nghiên cứu này cũng thể hiện dưới dạng số trị 2D.

Bên cạnh đó, nghiên cứu sinh cũng tìm hiểu thêm gói phần mềm do nhóm tác giả của Viện Cơ học, thuộc Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam đã nghiên cứu, xây dựng và bản quyền hóa. Trong khi Viện Cơ học sử dụng mô hình dòng chảy ba chiều (u, v, w) kết hợp với các quá trình loang dầu, bay hơi và phương pháp ngẫu hành (random walk), thì mô hình của nghiên cứu sinh đơn giản hóa bằng cách sử dụng mô hình thủy động lực hai chiều (u, v), không xét đến quá trình bay hơi, nhằm giảm đáng kể thời gian tính toán. Cách tiếp cận này giúp phù hợp với yêu cầu ứng phó nhanh trong các tình huống sự cố tràn dầu khẩn cấp - khi dầu chủ yếu phân bố trên mặt biển và ít có khả năng khuếch tán vào cột nước. Về mặt công thức mô phỏng loang dầu, cả hai phương pháp đều sử dụng nền tảng tương đồng. Tuy nhiên, khác biệt cốt lõi nằm ở cách tính toán sự lan truyền: Viện Cơ học áp dụng phương pháp ngẫu hành, trong khi nghiên cứu sinh phát triển mô hình dựa trên phương pháp phần tử rời rạc Lagrange, cho phép theo dõi trực tiếp chuyển động của từng hạt dầu theo thời gian. Ngoài ra, cách tiếp cận này còn tạo điều kiện cho việc truy vết ngược nguồn phát tán, nhờ khả năng tái hiện chuyển động của từng hạt dầu trong quá khứ một cách linh hoạt và hiệu quả.

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

Từ các thông kê trên 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. Ngoài ra, hiện nay công ty Transas cũng phát triển mô phỏng kết hợp cả mô hình số học sau đó đưa dữ liệu hiển thị hình ảnh 3D lên trên màn

hình của phòng mô phỏng để có thể hiển thị trực quan sinh động. Tuy nhiên mô hình của họ chỉ đơn giản là việc dán hình ảnh mang họa tiết bề mặt (texture) của màng dầu lên trên bề mặt biển, mà chưa thực hiện được quá trình phân tách của màng dầu trên biển.

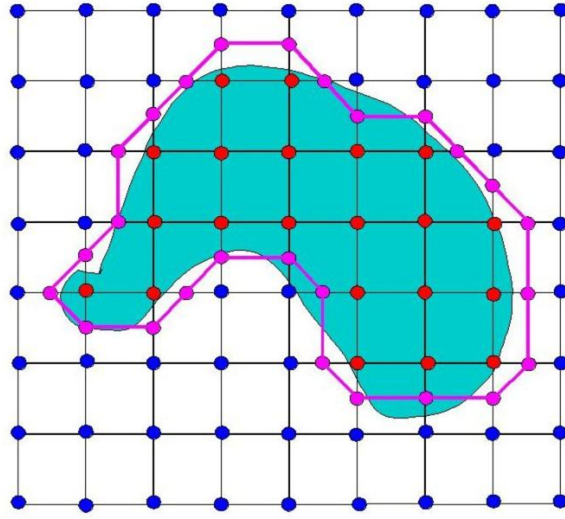
Đối với quá trình hiển thị và mô phỏng hình ảnh của màng dầu trên biển nói riêng và chất lỏng nói chung, thì đây luôn là một bài toán khó và tương đối phức tạp đối với các nhà nghiên cứu trong và ngoài nước. Sở dĩ như vậy vì dầu ở trong môi trường nước biển không chỉ chịu tác động bởi chính các yếu tố nội tại bên trong bản thân nó, mà còn bị ảnh hưởng bởi các yếu tố thời tiết, môi trường nước biển, điều kiện gió, dòng chảy, nhiệt độ, v.v. Một chương trình mô phỏng tối ưu sẽ phải thỏa mãn được các yêu cầu này một cách thực sự nghiêm ngặt, trong đó hai vấn đề quan trọng nhất đó là tính chính xác chuyển động và tuân thủ yếu tố thời gian thực. Hình ảnh màng dầu chuyển động được xây dựng dựa trên các mô hình toán học biểu diễn sự biến đổi cơ học và phong hóa của màng dầu. Quá trình biến đổi cơ học chủ yếu gồm có các quá trình nở rộng và trôi dạt, ngoài ra có thể kể đến quá trình phân tán màng dầu thành các phần nhỏ hơn trên biển. Quá trình phong hóa là sự biến đổi các đặc tính của màng dầu về mặt lý – hóa học, đây là bài toán phức tạp và thường xảy ra sau khi màng dầu đã tồn tại được một thời gian đủ lớn trong môi trường nước biển, có thể kể đến như quá trình bay hơi, ngưng tụ, kết tủa, khuếch tán,... Từ sự tổng kết các đề tài và thực tiễn trên thế giới, nghiên cứu sinh nhận thấy đây là vấn đề khó giải quyết nhất của một chương trình mô phỏng đồ họa 3D màng dầu trên biển dưới góc độ phương pháp đồ họa máy tính.

Mô hình mô phỏng tràn dầu chỉ có thể được giải quyết nếu xác định được phương pháp và mô hình mô phỏng. Trên thế giới hiện nay tồn tại hai phương pháp chính nhằm để giải quyết vấn đề này đó là: phương pháp mô phỏng hình học và phương pháp mô phỏng vật lý. Nếu như phương pháp mô phỏng hình

học ra đời từ trước và đặt nền móng cho các mô hình mô phỏng sơ khai tràn dầu trên biển mạnh mẽ từ thập niên 60 của thế kỷ trước với những mô hình của Fay, khi đó ông coi màng dầu đơn giản dưới dạng hình tròn tăng dần về mặt diện tích trong môi trường nước biển với các yếu tố đầu vào giả thiết được lấy từ những thử nghiệm thực tế. Ngược lại, mô hình mô phỏng vật lý áp dụng cho mô phỏng hình dạng của vết dầu chỉ được quan tâm thích đáng trong thời gian gần đây và chỉ tập trung cho một số ngành khoa học và lĩnh vực đặc thù như CFD hay trong lĩnh vực điện ảnh để mô phỏng các hiệu ứng khói, lửa, nước. Trong phạm vi nghiên cứu, nghiên cứu sinh sẽ trình bày các cách tiếp cận để mô phỏng được hình dạng của chất lỏng dầu tại môi trường biển.

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. Khi cấu trúc phần cứng chưa phát triển như ngày nay, thì phương pháp hình học tỏ ra khá hiệu quả vì đáp ứng được ngay khả năng kết xuất hình ảnh ra màn hình mà không tốn quá nhiều tài nguyên máy tính. Ngoài ra, để mô phỏng không cần quá chi tiết các đối tượng như tòa nhà, hay sóng biển trong phòng mô phỏng hàng hải, cũng thường thấy phương pháp này được ứng dụng rất nhiều. Trong y tế, phương pháp hình học cũng được sử dụng cho các bức ảnh chụp cộng hưởng từ, cắt lớp để tìm ra các dị vật, hoặc điểm bất thường trong cấu trúc xương sọ hoặc các bộ phận khác một cách chính xác. Hình vẽ dưới đây thể hiện nguyên lý của phương pháp Marching Square để vẽ nên các vật thể có chỉ số đẳng trị như nhau.



Hình 1.2. Hiển thị hình ảnh vệt dầu bằng cách chia lưới hình học

Fay [6] là nhà khoa học đầu tiên đặt những viên gạch cho phong trào nghiên cứu tràn dầu trên thế giới. Các thực nghiệm của ông đã mở ra những tranh cãi cho các nhà khoa học đi sâu vào tìm hiểu và nghiên cứu vấn đề sau này và đạt được nhiều thành tựu sau này. Với những người đi đầu sẽ không tránh khỏi các thiếu sót, thậm chí là bỏ qua rất nhiều các yếu tố môi trường, một trong những cơ sở quan trọng tạo nên độ chính xác của chương trình. Fay chỉ đơn giản coi màng dầu chuyển động và mở rộng diện tích dưới môi trường nước yên tĩnh và không có các tác nhân của sóng, gió, dòng chảy. Do đó màng dầu đơn giản chỉ là các hình tròn to ra về diện tích. Việc tính toán diện tích đơn giản thông qua tính toán bán kính theo thời gian t :

$$\begin{cases} r_1(t) = K_1(\Delta g V t^2)^{\frac{1}{4}} \\ r_2(t) = K_2\left(\frac{\Delta g V t^2}{\nu^{1/2}}\right)^{\frac{1}{6}} t^{\frac{1}{4}} \\ r_3(t) = K_3\left(\frac{\sigma^2 t^3}{\rho^2 \nu}\right)^{\frac{1}{4}} \end{cases} \quad (1.1)$$

Trong đây, $\Delta = (\rho_w - \rho_o) / \rho_w$, ρ_o và ρ_w là tỷ trọng dầu và nước biển; g là gia tốc trọng trường; $r_1(t), r_2(t), r_3(t)$ là bán kính dầu trong các pha; σ là sức căng bề mặt, $\sigma = \delta_{wa} - \delta_{ao} - \delta_{ow}$, δ_{wa} và δ_{ao} và δ_{ow} là hiệu số sức căng bề mặt giữa nước

và không khí, nước và dầu, dầu và nước; ν là hệ số nhớt động học; t là bước thời gian; V là thể tích dầu tràn; K_1, K_2, K_3 là các hằng số được xác định bằng thực nghiệm, thường chọn $K_1 = 1.14, K_2 = 0.98 \sim 1.5, K_3 = 0.13 \sim 2.3$.

Lehr [34] đã tiếp tục các kết quả mà Fay đã đạt được, ông coi màng dầu phát triển trong môi trường nước biển dưới dạng hình elip và có tính đến các yếu tố ngoại cảnh như gió, dòng chảy. Diện tích của dầu được hình thành dựa trên tính toán các bán trục lớn và nhỏ của elip đó:

$$\begin{cases} Q = C_1 \left[(\rho_w - \rho_o) / \rho_o \right]^{\frac{1}{3}} V^{\frac{1}{3}} t^{\frac{1}{4}} \\ R = Q + C_2 W^{4/3} t^{3/4} \\ A = \frac{\pi}{4} QR \end{cases} \quad (1.2)$$

Với, Q là bán trục chính của elip; R là bán trục phụ của elip; ρ_o và ρ_w là tỷ trọng của dầu và nước biển; V là thể tích dầu tràn ban đầu; W là vận tốc gió; A là diện tích màng dầu; C_1, C_2 là các hệ số thực nghiệm, phụ thuộc vào loại và đặc tính của dầu, thường chọn $C_1 = 1.1, C_2 = 0.03$.

Blokker [35] lại tính đến ảnh hưởng của trọng lực và thể tích dầu, ông đã bỏ qua một số các yếu tố hình thành nên sự chuyển động và các phát triển nội tại của màng dầu.

$$D = \left[D_0^3 + \frac{24K_r}{\pi} (d_w - d_o) \frac{d_o}{d_w} V t \right]^{\frac{1}{3}} \quad (1.3)$$

Với, D là đường kính ban đầu của màng dầu; d_o và d_w là tỷ trọng của nước biển và dầu; K là hằng số Blokker, phụ thuộc vào các loại dầu khác nhau.

SURF [36] là một mô hình được ra đời với nâng cấp theo hướng để đánh giá các yếu tố ảnh hưởng của dầu tràn. Với giả thiết vệt dầu dưới dạng các khối trụ (V là thể tích dầu) có bán kính r và phương trình giãn nở tại trạng thái cân bằng như sau:

$$\frac{\partial^2 r}{\partial t^2} = \frac{3V\Delta g}{2\pi r^3} + \frac{3\pi\sigma r}{\rho_o V} - 2.62817 \frac{\rho_w r \sqrt{v_w}}{\rho_o V} \frac{dr}{dt} \quad (1.4)$$

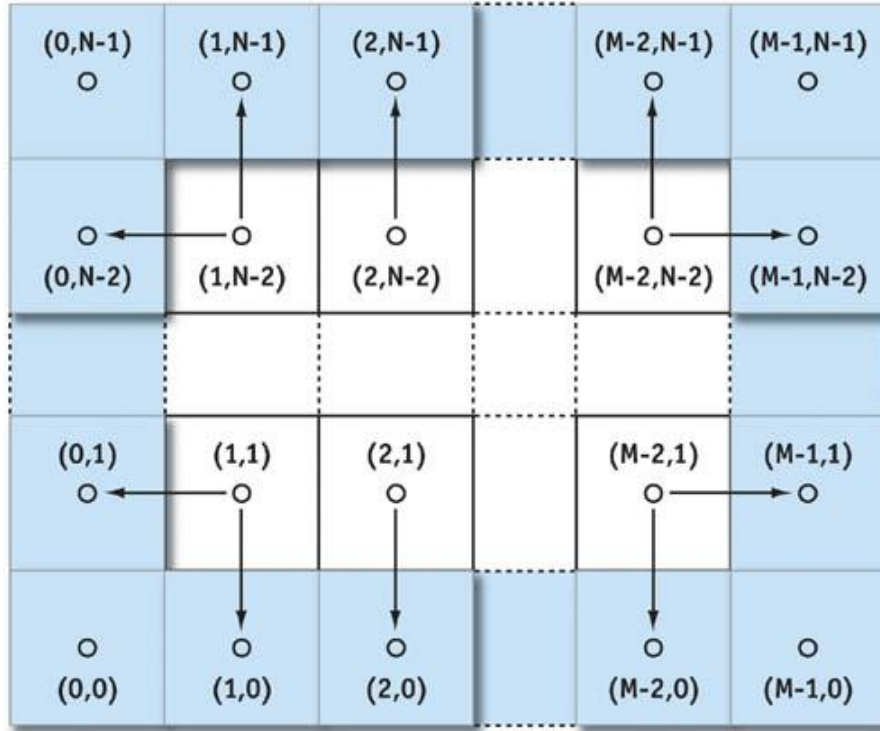
Trong đó các tham số của (1.4) giống với (1.1).

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 chất điểm này cũng có những đặc tính riêng và chịu tác động của yếu tố môi trường, ngoại cảnh. Và các nhà khoa học đã dựa trên tính toán đó để mô phỏng sự chuyển động của các hạt vật chất đó bằng phương trình Navier-Stoke, đây là phương trình được đặt tên theo hai nhà khoa học có công hiến trong việc giải phương trình chất lưu không nén được. Cơ sở của phương pháp được tính toán dựa trên trường vec-tơ của các hạt, sự chuyển động của hạt tính toán thông qua các chỉ số vec-tơ vận tốc, gia tốc hạt.

Ngoài ra, các hạt dầu cũng bị ảnh hưởng của các hạt dầu xung quanh lên chúng. Ngoài tính toán ảnh hưởng của môi trường, cũng cần tính toán ảnh hưởng của các vật chất xung quanh mà ta gọi là trường vec-tơ, ở đây là các trường vec-tơ có hướng. Từ đó chương trình sẽ tính toán được các luồng dịch chuyển của chất lưu theo không gian và thời gian nhất định.

Các trường vec-tơ được biểu diễn trong các hệ tọa độ không gian 2 chiều hoặc 3 chiều hoặc n chiều. Giá trị này được tính toán sao cho tại vị trí $x = (x, y)$, biểu diễn được một vận tốc có liên quan tại thời điểm t , $u(x, t) = (u(x, t), v(x, t), w(x, t))$, như trong Hình 1.3.



Hình 1.3. Nguyên lý mô phỏng chất lỏng dựa trên phương pháp vật lý [37]

Yếu tố quyết định trong tính toán chất lưu như đã nói ở trên là xác định chính xác vận tốc của chất điểm theo một thời gian t nào đó. Và phương trình Navier-Stokes sau khi giải sẽ tính toán được gradient vận tốc của các chất điểm khi chịu tác động của ngoại lực. Đây là một tác nhân quan trọng trong chương trình tính toán các hạt chất lưu để đảm bảo sự chuyển động giống với các vật chất thực ngoài thực tế nhất.

Với sự phát triển của các thế hệ phần cứng máy tính như ngày nay, việc giải phương trình Navier-Stokes ở tốc độ cao là khả thi. Minh chứng là ngày càng nhiều chương trình mô phỏng ứng dụng trong các lĩnh vực giải trí đáp ứng được tính chân thực ngày càng cao phục vụ thị hiếu người dùng. Các kỹ thuật này có thể kể đến như GPGPU trong CUDA để tăng khả năng tính toán của chương trình mô phỏng.

$$\frac{\partial u}{\partial t} = -\nabla p + \nabla T + f \quad (1.5)$$

$u(x,t)$ là vận tốc; $p(x,t)$ là áp suất vô hướng; T tương ứng các lực biến dạng trong chất lỏng; f là các lực khác như trọng lực, lực quán tính; ∇ là gradient của các số vô hướng.

Mô hình mô phỏng vật lý có ưu điểm tính toán chính xác hơn và mô tả chi tiết hơn chất lỏng. Tuy nhiên số lượng các phép tính lớn cũng đặt ra thách thức với việc đáp ứng khả năng chuyển động uyển chuyển của vật thể. Công nghệ hiện nay ra đời để đi giải đáp vấn đề này.

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.

1.2.2.1 Phương pháp Euler

Phương pháp Euler là một phương pháp dựa trên lưới và phương trình Navier-Stokes cho chất lỏng không thể nén được sử dụng phổ biến được đưa ra dưới đây:

$$\text{Phương trình khối lượng: } \nabla \cdot u = 0 \quad (1.6)$$

$$\text{Phương trình động lượng: } \frac{\partial u}{\partial t} = (-u \cdot \nabla)u + \nu \nabla^2 u - \frac{\nabla p}{\rho} + f \quad (1.7)$$

Trong đó, ρ là tỷ trọng; p là áp suất; f độ lớn của lực; u là vận tốc; ν là hệ số nhớt động học.

Phương pháp Euler rời rạc hóa phương trình (1.7) thành lưới và sau đó tính toán sự thay đổi trạng thái của từng nút lưới cố định. Kass và Miller [38] đã đưa ra phương trình tuyến tính nước nông hai chiều để giải trường độ cao. Chen và cộng sự [39] đã sử dụng phương trình Navier-Stokes hai chiều để giải trường vận tốc bề mặt và phương trình Bernoulli áp suất để giải trường độ cao biểu thị mặt nước và mô phỏng tác động của các vật thể chuyển động và các chướng ngại vật khác lên dòng chảy. Ưu điểm của việc sử dụng tính toán trường độ cao là toàn bộ mô phỏng là hai chiều, tránh việc tính toán ba chiều phức tạp và tốn thời gian nhưng hiệu quả không lý tưởng. Forster [40] đã sử dụng phương

trình Navier-Stokes ba chiều để mô phỏng chuyển động của chất lỏng, MAC (Marker và Cells) để giải chất lỏng, nhưng do định dạng rõ ràng nên bước thời gian phải đáp ứng điều kiện CFL (Courant Friedrichs Lewy), để làm cho toàn bộ phép tính hội tụ.

Một số nghiên cứu áp dụng phương pháp Euler có thể kể đến như:

- Nguyễn Hữu Nhân [41] trong mô hình OILSAS xây dựng mô hình số trị lan truyền và phong hóa dầu tràn theo phương pháp Euler.

- Nguyễn Quốc Trinh [28] đã xây dựng mô hình mô phỏng sự cố tràn dầu theo phương pháp Euler ở Biển Đông có xét các yếu tố môi trường như đối lưu, khuếch tán ngang và các quá trình phong hóa khác nhau.

- Đặng Thị Nhân [42] đã sử dụng mô hình Delft3D, một công cụ dựa trên phương pháp Euler, để mô phỏng sự lan truyền của dầu trong khu vực biển Cần Giờ.

- Trần Mạnh Cường [43] đã sử dụng mô hình ROMS (Regional Ocean Modeling System) dựa trên phương pháp Euler để mô phỏng dòng chảy và lan truyền dầu tràn trong khu vực vịnh Bắc Bộ.

- Tkalic [44-45], một mô hình đa pha Euler được đề xuất để biểu diễn dòng chảy dầu với các công thức nhất quán về mặt vật lý. Động lực học của dầu được tính bằng phương trình Navier–Stokes lấy trung bình trên độ dày của vết dầu loang và nồng độ dầu trong cột nước được điều chỉnh bởi phương trình đối lưu–khuếch tán.

- Agrawal và Dakshinamoorthy [46] đánh giá ảnh hưởng của sóng và chuyển động thủy triều trong quỹ đạo của váng dầu ở vùng nước nông bằng cách sử dụng mô hình Euler với ba pha (không khí, nước và dầu).

- Raznahan [47] cũng sử dụng mô hình Euler ba pha để nghiên cứu sự cố tràn dầu gần bờ dưới tác động của dòng nước, sóng và nhiệt độ. Các công trình liên quan đến mô phỏng CFD về rò rỉ dầu đường ống ngầm dưới tác động của

dòng nước và sóng đã được tiến hành bằng cách sử dụng phương pháp tiếp cận Euler cho các pha không khí, dầu và nước [48-49] hoặc dòng chảy Euler cho không khí và nước và các hạt rời rạc Lagrange cho dầu tràn [50].

- Sarhadi [51] triển khai mô hình tràn dầu Euler sử dụng phương pháp thể tích hữu hạn với biên ướt-khô, hệ thống lưới so le để mô tả quá trình phong hóa của dầu như lan rộng, bốc hơi, hòa tan và nhũ tương hóa.

1.2.2.2 Phương pháp Lagrange

Phương pháp coi các hạt là rời rạc và thực hiện mô phỏng chuyển động của các phần tử hạt rời rạc nhau, sử dụng các phương trình Navier-Stokes được biểu diễn lại như dưới đây:

$$\frac{Du}{Dt} = \nu \nabla^2 u - \frac{\nabla p}{\rho} + f \quad (1.8)$$

Đây là một cách biểu diễn khác của phương trình trên:

$$a_i = \frac{du_i}{dt} = \frac{f_i}{\rho_i} \quad (1.9)$$

Với a_i là gia tốc của hạt thứ i^{th} ; u là vận tốc hạt thứ i^{th} ; f_i là lực tổng hợp của hạt; ρ_i là mật độ vị trí của các hạt.

Phương pháp Lagrange sử dụng để tính toán lực của từng hạt tương đối độc lập và tính toán vị trí của các hạt này tại thời điểm tiếp theo thông qua tích phân. Các nghiên cứu hiện nay chỉ ra rằng phương pháp Lagrange đã tiến đến một mức độ nhất định. Stam [52] lần đầu tiên giới thiệu phương pháp SPH (thủy động lực học hạt mịn) để mô phỏng một số hiện tượng khí. Premoze và cộng sự [53] đã sử dụng phương pháp MPS (Moving Particle Semi-implicit) để mô phỏng các loại dòng chảy khác nhau, biến phương trình Navier-Stokes thành dạng tương tác của các hạt chuyển động. Li và cộng sự [54] đã đưa phương pháp lưới Boltzmann (LBM) vào lĩnh vực đồ họa, lĩnh vực này không theo dõi mọi hạt thực nhưng mô tả sự phát triển của hàm phân bố hạt.

Có nhiều công trình nghiên cứu về mô phỏng tràn dầu bằng phương pháp Lagrange trên toàn thế giới. Dưới đây là một số ví dụ:

- Beegle-Krause [55] đã khai thác các cấu trúc mạch lạc Lagrange (LCS) để tính toán các hạt trôi dạt phục vụ tìm kiếm cứu nạn và mô hình tràn dầu trên biển.

- Li Shihan [56] đã sử dụng phương pháp Lagrange có cải tiến hàm thời tiết để mô phỏng cho khu vực thềm lục địa Scotian, nằm ở phía tây nam Nova Scotia, Canada. Mô hình này được tích hợp để xây dựng nên mô hình tràn dầu MOHID.

- Spaulding [57] đã lựa chọn hệ số phân tán để sử dụng trong các mô hình vận chuyển dầu tràn Lagrange nhằm bảo toàn động lực dòng chảy và rào cản vận chuyển cơ bản.

- Guo và cộng sự [58] đã đề xuất một mô hình sửa đổi tính toán xác suất tràn dầu và áp dụng vào vụ tai nạn ở Cảng Đại Liên. Mô hình này tính toán dựa trên quỹ đạo hạt dầu được xây dựng bởi phương pháp Lagrange.

- Fearon và cộng sự [59] mô phỏng sự cố phun dầu ở vùng nước sâu trong dòng hải lưu Agulhas bằng phương pháp Lagrange.

- Jaebeen Lee [60] đã phát triển và xác thực mô hình dựa trên học sâu (LSTM). Để mô phỏng dầu tràn, váng dầu được coi là một cụm các hạt Lagrange và di chuyển trong hàng trăm giây được thu thập dựa trên vận tốc nước và hạt.

- Danial Ghaderi [61] đã lập bản đồ đánh giá rủi ro bờ biển do tràn dầu ở khu vực phía đông kênh Qeshm. Mô hình GNOME được phát triển bởi NOAA đã được sử dụng, công cụ này đóng vai trò như một trình mô phỏng mô hình quỹ đạo Lagrange.

- Nguyễn Hữu Nhân [62] trong mô hình OILSAS cũng xây dựng mô hình số trị lan truyền và phong hóa dầu tràn theo phương pháp Lagrange.

- Đoàn Quang Trí [63] đã sử dụng phương pháp theo dõi hạt Lagrange mô phỏng sự phân tán của sự cố tràn dầu gần đảo Cát Bà để xây dựng bản đồ chỉ số nhạy cảm môi trường (ESI) ứng phó khẩn cấp với sự cố tràn dầu ven biển.

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. Hiện nay, hầu hết các phần mềm thương mại 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,...

1.3 Tổng quan điều kiện tự nhiên của vùng biển tiến hành nghiên cứu

Việt Nam nằm ở cực Đông Nam của bán đảo Đông Dương. Phía Nam giáp với vịnh Thái Lan, phía đông vịnh Bắc Bộ và biển Đông, phía Bắc giáp Trung Quốc và phía Tây giáp Lào và Campuchia. Việt Nam có diện tích phần đất liền khoảng 331 nghìn km², hình chữ S trải dài từ kinh tuyến 102°10' E đến 109°26' E và từ vĩ tuyến 8°27' N đến 23°23' N và có hai quần đảo Hoàng Sa, Trường Sa. Với đường bờ biển dài 3.260km (không kể các đảo) và có nội thủy, lãnh hải, vùng tiếp giáp lãnh hải, vùng đặc quyền kinh tế và thềm lục địa rộng lớn do đó rất thuận lợi để phát triển cảng biển và vận tải biển quốc tế.

Nằm tại vùng Đông Bắc Đồng bằng sông Hồng, Hải Phòng là thành phố trực thuộc Trung ương, là đô thị loại I, nằm trong hệ tọa độ địa lý 20°30'39"N - 21°01'15"N và 106° 23'39" E - 107°08'39"E. Về phía Bắc và Đông Bắc, Hải Phòng giáp tỉnh Quảng Ninh dọc theo sông Đá Bạc và Bạch Đằng, phía Tây Bắc giáp Hải Dương, Tây Nam giáp Thái Bình dọc theo Sông Hoá, sông Thái Bình và phía Đông Nam giáp vịnh Bắc Bộ. Thành phố Hải Phòng có diện tích đất tự nhiên 1507 km², chiếm 0,47% của cả nước [64].



Hình 1.4 Sơ đồ, vị trí các sông khu vực Hải Phòng [65]

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 (Hình 1.4) với chiều dài qua địa phận Hải Phòng như sau: Bạch Đằng (khoảng 32 km), Cẩm (khoảng 25 km), Lạch Tray (khoảng 35 km), Văn Úc (khoảng 33 km) và Thái Bình (khoảng 31 km) [65]. Với mạng lưới sông dày đặc, dẫn đến địa hình bờ biển khu vực Hải Phòng bị ngắt quãng do có các cửa sông đổ ra biển như: cửa Cẩm, 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 [66].

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. Trong đó, nhóm cá đáy có số loài cao nhất (234 loài), tiếp theo là nhóm cá rạn san hô (117 loài), cá nổi (86 loài), nhóm giáp xác (47 loài),... [66]

Với vị trí địa lý là cửa ngõ hướng ra biển quan trọng bậc nhất của miền Bắc, đặc biệt là Vùng Bắc Bộ, cùng với tiềm năng tài nguyên phong phú, 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 xảy ra cố 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. Nền nhiệt độ không khí trung bình năm dao động trong khoảng 23°C-24°C khá đặc trưng cho vùng nhiệt đới. Nhiệt độ cũng thay đổi theo mùa và theo chế độ gió: giá trị trung bình mùa Hè là 27,9°C; mùa Đông là 19,8°C; cực đại 36,8°C vào tháng 8 và cực tiểu 6,5°C vào tháng 1. Chênh lệch nhiệt độ giữa hai mùa là 8°C - 10°C và dao động nhiệt độ giữa ngày và đêm là 5°C - 6°C. [64].

Bảng 1.1. Nhiệt độ không khí trung bình nhiều năm tại Trạm Hòn Dấu

Đơn vị : °C

Tháng	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Năm
T.bình	16,8	16,8	19,2	22,8	27,0	28,5	29,0	28,4	27,6	25,3	22,3	19,0	23,6
Cực đại	27,2	27,5	29,6	32,5	35,0	37,8	38,0	38,6	34,6	34,0	32,3	29,6	38,6
Cực tiểu	6,5	7,1	9,6	13,0	16,5	19,2	19,9	21,5	18,6	16,6	12,6	6,9	6,5

[Nguồn: Đài KTTV khu vực Đông Bắc]

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, cụ thể như sau [65]:

- 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. Mùa đông hướng gió thịnh hành là đông nam, bắc và đông, các hướng khác chiếm tần suất rất nhỏ. Vận tốc gió trung bình đạt 3,2 - 3,7m/s. Hàng tháng trung bình có 3 - 4 đợt gió mùa đông bắc, kéo dài từ 5 - 7 ngày, gây ra mưa nhỏ, vận tốc gió những ngày đầu đạt đến cấp 5 - 6 (tương đương 8 - 13m/s), vận tốc gió lớn nhất có thể đạt tới 25 - 30m/s, sau đó giảm dần;

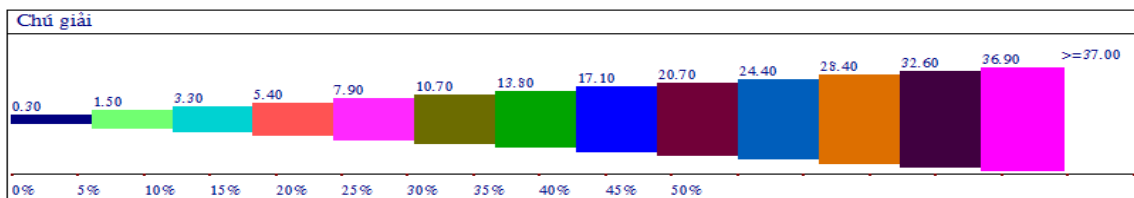
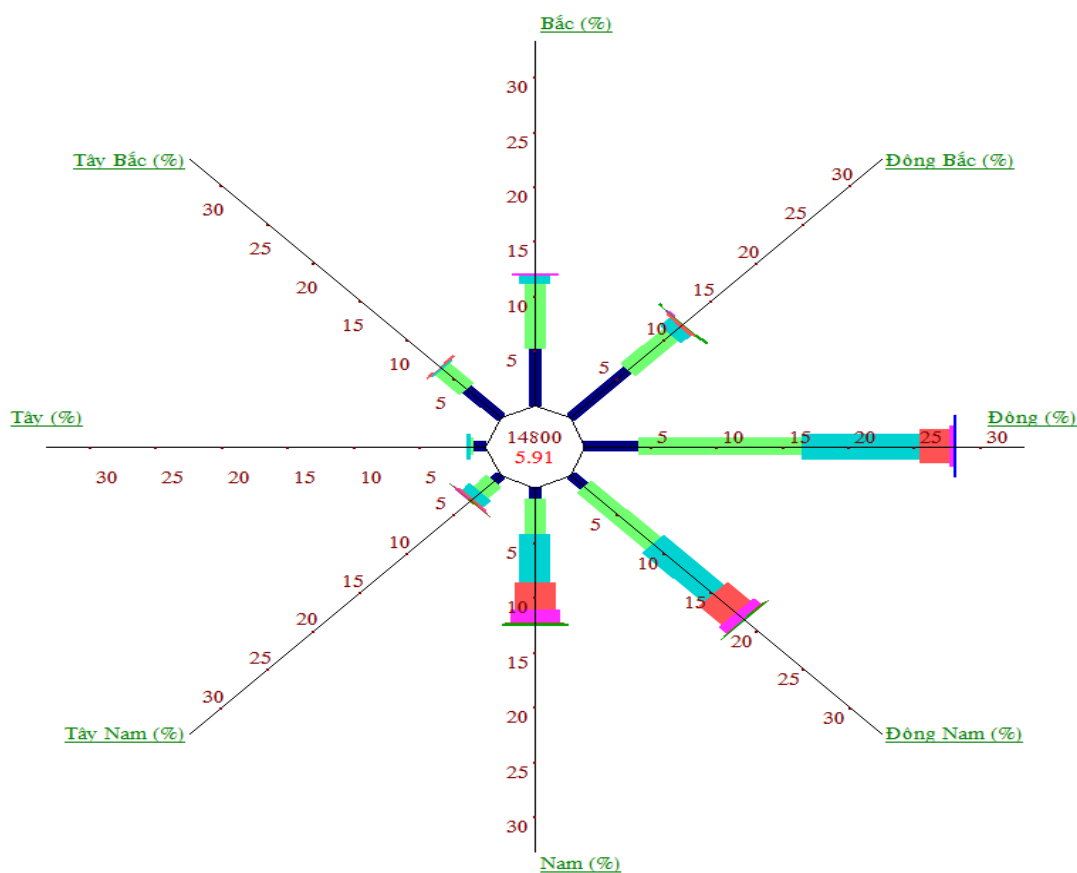
- Về mùa Hạ (tháng 5 đến tháng 9), khu vực này chịu ảnh hưởng của các luồng không khí nóng và ẩm từ phía tây và nam tràn qua. Hướng gió thịnh hành chủ yếu là đông, đông nam và nam. Tốc độ gió trung bình đạt 3,5 - 4,0m/s, cực đại đạt 20 - 25m/s. Trong mùa hạ đôi khi xuất hiện các đợt gió tây nam tuy có tốc độ nhỏ nhưng mang lại thời tiết khô nóng.

- Trong thời kỳ chuyển tiếp khí hậu (tháng 4 và tháng 10), sự chi phối của các khối không khí gió mùa giảm, thường xuất hiện sự hoạt động mạnh của gió biển - đất (breeze) với vận tốc khoảng cấp 3 - cấp 4, ban ngày có gió thổi từ biển vào đất liền, ban đêm có gió thổi ngược lại từ đất liền ra biển.

Bảng 1.2. Tần suất gió tại trạm Hòn Dấu giai đoạn 2014-2023

Hướng	N		NE		E		SE		S		SW		W		NW		Tổng		SDB
Khoảng (m/s)	n	p%	n	p%	n	p%	n	p%	n	p%	n	p%	n	p%	n	p%	n	p%	f%
Lặng																	874	5,910	100
0,30-1,50	765	5,170	914	6,176	611	4,128	215	1,453	160	1,081	111	0,750	144	0,973	552	3,730	3472	23,461	94,096
1,60-3,30	881	5,950	674	4,554	1832	12,378	1089	7,358	477	3,223	212	1,432	46	0,311	381	2,574	5592	37,780	70,635
3,40-5,40	111	0,750	161	1,088	1332	9,000	956	6,459	656	4,432	129	0,872	2	0,014	21	0,142	3368	22,757	32,855
5,50-7,90	6	0,040	25	0,169	323	2,182	367	2,480	374	2,527	23	0,155	0	0,000	2	0,014	1120	7,567	10,098

8,00-10,70	1	0,010	1	0,007	53	0,358	122	0,824	172	1,162	3	0,020	0	0,000	0	0,000	352	2,381	2,531
10,80-13,80	0	0,000	0	0,000	2	0,014	3	0,020	10	0,068	1	0,007	0	0,000	0	0,000	16	0,109	0,150
13,90-17,10	0	0,000	1	0,007	0	0,000	1	0,007	3	0,020	0	0,000	0	0,000	0	0,000	5	0,034	0,041
17,20-20,70	0	0,000	0	0,000	1	0,007	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	1	0,007	0,007
20,80-24,40	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0,000
24,50-28,40	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0,000
28,50-32,60	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0,000
32,70-36,90	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0,000
>=37,00	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0,000
Tổng	1764	11,920	1776	12,001	4154	28,067	2753	18,601	1852	12,513	479	3,236	192	1,298	956	6,460	14800	100,000	
Cực đại	8	16	18	15	17	11	4	6											
Trung bình	1,863	1,890	3,270	3,880	4,510	2,910	1,310	1,550											



Hình 1.5. Hoa gió tại trạm Hòn Dấu giai đoạn 2014 – 2023

Theo số liệu đo tại trạm Hòn Dấu, hướng đông có tần suất lớn nhất khoảng 27%, tiếp sau đó là hướng đông nam xấp xỉ 18%, hướng bắc khoảng 13%, hướng nam và hướng đông bắc xấp xỉ 12%. Các hướng gió khác có tần suất khá nhỏ với giá trị nhỏ hơn 10%. Giá trị vận tốc trong khoảng 1,6 - 3,3 m/s chiếm xấp xỉ 37,78%, sau đó là giá trị vận tốc 0,3 - 1,5 m/s chiếm khoảng 23,5%, giá trị vận tốc 3,4 – 5,4 m/s chiếm khoảng 22,7% và tập trung chủ yếu vào các hướng đông, nam và đông nam (hình 1.5).

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 (bảng 1.3) và đặc điểm địa hình và hình dạng đường bờ. Sóng ở ngoài vùng nước sâu truyền vào bờ, do ảnh hưởng của ma sát đáy, các đặc trưng của sóng (tốc độ lan truyền, độ cao, chu kỳ, độ dài) cũng như hướng vận động luôn thay đổi;

Trong thời kỳ mùa đông, gió mùa đông bắc hoạt động mạnh cả về tần suất lẫn tốc độ, song do đảo Cát Hải, Cát Bà che chắn làm giảm khá lớn năng lượng gió tác động lên mặt biển, hơn nữa đà sóng lại ngắn và độ sâu nhỏ nên ở khu vực nghiên cứu sóng gió kém phát triển hơn so với ngoài khơi;

Về mùa hè chế độ sóng gió có đặc điểm ngược lại so với mùa đông cả hướng lẫn cấp độ cao. Sóng gió có hướng thịnh hành, ảnh hưởng lớn đến quá trình thủy động lực khu vực nghiên cứu là đông nam và đông với tần suất xuất hiện cao [66].

Bảng 1.3. Vận tốc gió và độ cao sóng trung bình tương ứng nhiều năm tại khu vực Hòn Dấu

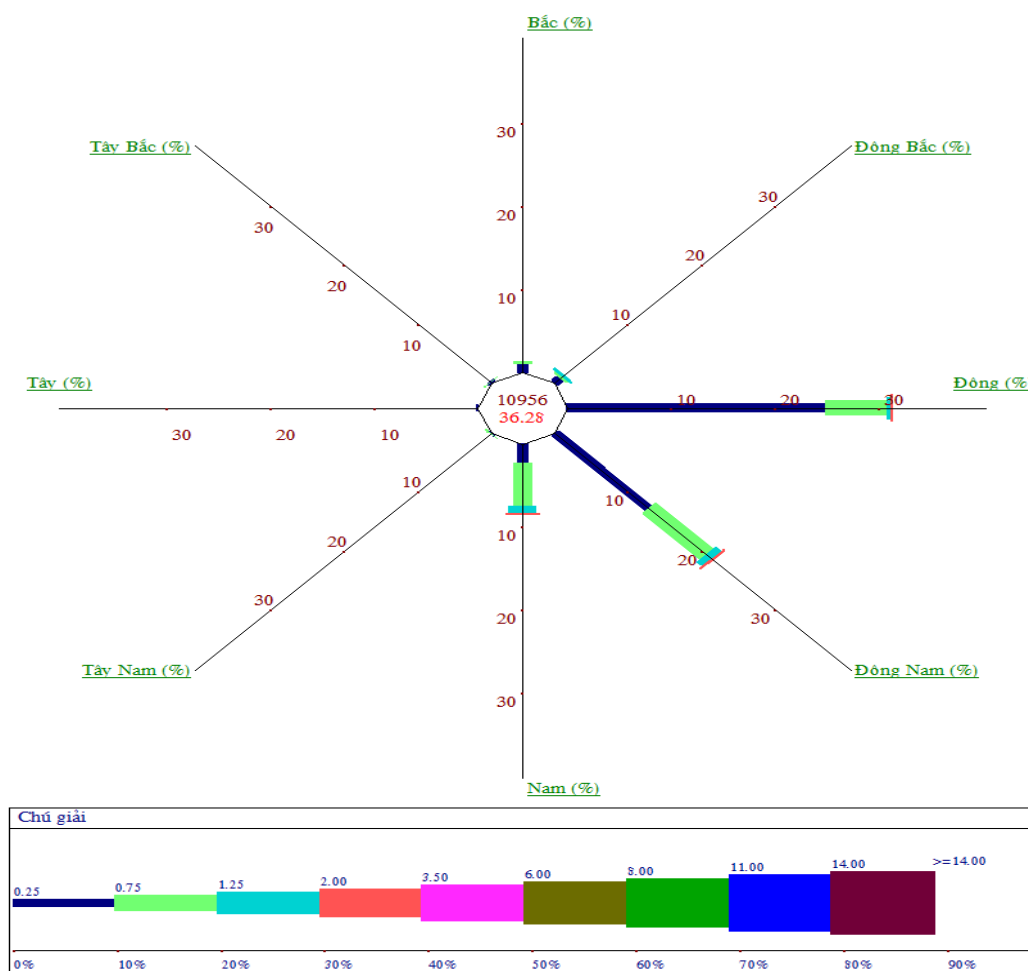
Tháng	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	TBN
Gió (m/s)	4,7	4,5	4,4	4,6	5,3	5,7	5,8	4,6	4,3	4,7	4,5	4,4	4,8
Sóng (m)	0,7	0,7	0,7	0,8	0,9	0,9	1,0	0,8	0,8	0,8	0,7	0,7	0,8

Sóng hướng chính là đông, đông nam và nam với tần suất xuất hiện lần lượt khoảng 30%, 21,5% và 8%. Độ cao sóng nhỏ hơn 0,75 m chiếm tới 41,98%, độ cao sóng trong khoảng 0,75 – 1,25 m chiếm 19,61%, còn lại là độ cao sóng khoảng 1,25 – 2,0 m chiếm 1,99% và 2,0 – 3,5 m chiếm 0,138% (không có trường hợp độ cao sóng trên 3,5 m) (bảng 1.4).

Bảng 1.4. Tần suất sóng trạm Hòn Dấu giai đoạn 2014 – 2023

Hướng	N		NE		E		SE		S		SW		W		NW		n	P (%)	F (%)
Khoảng (m)	N	P (%)	n	P (%)	n	P (%)	n	P (%)	N	P (%)	n	P (%)	n	P (%)	n	P (%)			
Lặng																	3975	36,280	100
0,25-0,75	115	1,050	91	0,831	2723	24,854	1394	12,724	259	2,364	2	0,018	1	0,009	14	0,128	4599	41,978	63,718
0,75-1,25	19	0,170	28	0,256	660	6,024	865	7,895	571	5,212	4	0,037	0	0,000	2	0,018	2149	19,612	21,740
1,25-2,00	0	0,000	5	0,046	32	0,292	85	0,776	96	0,876	0	0,000	0	0,000	0	0,000	218	1,990	2,128
2,00-3,50	0	0,000	0	0,000	4	0,037	7	0,064	4	0,037	0	0,000	0	0,000	0	0,000	15	0,138	0,138
3,50-6,00	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0,000
6,00-8,00	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0,000
8,00-11,00	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0,000
11,00-14,00	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0,000
>=14,00	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0,000
Tổng	134	1,220	124	1,133	3419	31,207	2351	21,459	930	8,489	6	0,055	1	0,009	16	0,146	10956	100,000	
Cực đại	1,17		1,50		2,50		2,50		2,50		1,08		0,50		0,75				
Trung bình	0,547		0,610		0,580		0,670		0,840		0,830		0,500		0,530				

Từ đặc điểm về chế độ sóng cho thấy đây là khu vực có chiều cao sóng ở mức trung bình so với các khu vực khác. Tuy nhiên, sóng tại các tuyến luồng chính của cảng Hải Phòng tại luồng Lạch Huyện và Nam Triệu có đặc điểm nhiều loạn gần bờ do nơi đây có rất nhiều cửa sông và đảo.



Hình 1.6. Hoa sóng tại trạm Hòn Dấu giai đoạn 2014 – 2023

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. Thời gian trung bình triều dâng 11 - 12 giờ và thời gian triều rút 13 - 14 giờ.

Đây là khu vực có biên độ triều thuộc vào loại lớn nhất so với các vùng biển khác của nước ta, tính chất nhật triều đều và biên độ triều giảm dần từ phía bắc xuống phía nam. Hằng năm thủy triều có biên độ lớn vào các tháng 6, 7, 12 và tháng 1 năm sau, và có biên độ nhỏ hơn vào các tháng 3, 4, 8, 9.

Mực nước trung bình năm tại Hòn Dấu có những giá trị tính toán khác nhau, tùy theo thời điểm, khoảng 1,83 m, hoặc 1,88 m; cao nhất đạt 4,21 m (22/10/1985) và thấp nhất là - 0,07 m (21/12/1964), chênh lệch triều lớn nhất tại Hòn Dấu là 3,94 m (bảng 1.5) [64].

Bảng 1.5. Mực nước triều đặc trưng tại trạm Hòn Dấu trong nhiều năm (1960 - 2007)

Đơn vị: cm

Tháng	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Trung bình	183	179	179	180	183	185	187	188	196	206	201	191
Lớn nhất	399	379	351	368	385	401	418	396	418	421	402	403
Nhỏ nhất	- 6	3	7	2	6	- 1	0	7	14	9	2	- 7

[nguồn: Đài KTTV khu vực Đông Bắc]

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.

Qua việc hệ thống hóa các hướng tiếp cận, 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 lan truyền dầu ngắn hạn, đặc biệt trong các tình huống cần phản ứng nhanh sau sự cố môi trường.

Bên cạnh đó, chương 1 cung cấp nền tảng lý luận và thực tiễn để triển khai các chương tiếp theo về xây dựng, hiệu chỉnh và ứng dụng mô hình mô phỏng tràn dầu, với địa hình 3D tích hợp bản đồ số GIS - một hướng tiếp cận hiện đại nhằm tăng độ chính xác và tính ứng dụng trong quản lý sự cố môi trường biển.

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, chúng ta có nhiều phương pháp và công cụ mô hình hóa được sử dụng để đánh giá mức độ ô nhiễm trong môi trường biển. Đối với các nguồn thải đã hình thành, phương pháp thực nghiệm thường được ưu tiên. Tuy nhiên, trong trường hợp dự báo nguồn thải sẽ phát sinh trong tương lai, phương pháp mô phỏng lại tỏ ra ưu thế hơn nhờ khả năng linh hoạt và hiệu quả. Một số mô hình mô phỏng phổ biến có thể kể đến như: WASP7, AQUATOX, QUAL2K (Q2K), DELFT3D, BASINS, MIKE...

Trong số đó, MIKE và DELFT3D hiện là hai mô hình thủy động lực học được sử dụng phổ biến nhất ở cả trong nước và quốc tế. Mỗi mô hình có những đặc điểm và ưu điểm riêng. Mô hình MIKE được phát triển bởi Viện Thủy lực Đan Mạch (DHI) với 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. Hệ thống này cho phép 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.

DELFT3D do Deltares (Hà Lan) phát triển cũng là một hệ thống mô hình mạnh, hỗ trợ mô phỏng các quá trình thủy động lực học và chất lượng nước trong môi trường 2D và 3D. Tuy nhiên, với mục tiêu mô phỏng lan truyền dầu

loang tại khu vực cửa sông và ven biển – những nơi có địa hình phức tạp và thường xuyên xảy ra các sự cố tràn dầu – nghiên cứu sinh lựa chọn mô hình MIKE là công cụ chính để thực hiện các tính toán và mô phỏng. Thực tế cho thấy, các sự cố tràn dầu tại vùng biển Việt Nam chủ yếu xảy ra gần bờ, tại các cảng biển và tuyến giao thông thủy nội địa. Mô hình MIKE đã được ứng dụng hiệu quả tại nhiều quốc gia trên thế giới trong các nghiên cứu tương tự và đặc biệt có khả năng tích hợp dữ liệu GIS – điều rất cần thiết trong việc mô phỏng, theo dõi và dự báo sự lan truyền của vệt dầu.

Trong bộ phần mềm MIKE có chia ra làm nhiều mô hình, như MIKE Zero, MIKE 11, MIKE 21, MIKE 3, MIKE SHE,... trong đó mô hình MIKE 21 chuyên về mô hình hai chiều (2D), cung cấp các mô phỏng chính xác về dòng chảy và chuyển động của nước ở các vùng ven biển, cửa sông và sông. Mô hình cho phép dự đoán chính xác mực nước, dòng chảy, biến động nhiệt độ và lũ lụt, ưu điểm trong việc quản lý độ sâu phức tạp và các lực bên ngoài như hiệu ứng gió.

Trong mô hình MIKE 21/3 Coupled FM thì mô-đun thủy động lực Hydrodynamic là thành phần tính toán cơ bản của toàn bộ hệ thống, cung cấp cơ sở thủy động lực cho các mô-đun khác.

Với các ưu điểm và mô-đun như trên, 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 (2D – MIKE 21) và ba chiều (3D – MIKE 3) sử dụng lưới tam giác phi cấu trúc (FM - Flexible Mesh) để mô phỏng các hiện tượng thủy động lực, lan truyền chất ô nhiễm, vận chuyển trầm tích và các hiện tượng biển – ven bờ phức

tạp. Điều này đặc biệt phù hợp với điều kiện thực tế tại vùng nghiên cứu ven biển Việt Nam, nên mô hình được sử dụng rộng rãi trong nghiên cứu, quy hoạch, quản lý môi trường biển, cửa sông, hồ chứa và vùng ven biển.

Mô hình bao gồm các mô-đun thành phần sau:

- Hydrodynamic (HD): Mô phỏng dòng chảy, mực nước, vận tốc, phân bố mặn - nhiệt độ.
- Transport (TR): Mô phỏng sự lan truyền của các chất hòa tan hoặc huyền phù.
- Sediment Transport (ST): Tính toán quá trình vận chuyển trầm tích (bùn/cát), xói lở, bồi tụ.
- Wave (SW): Mô phỏng sóng ngắn bằng phương trình năng lượng hoặc phương trình phân bố phổ.
- ECO Lab/ Oil Spill: Mô phỏng quá trình sinh thái học, sự lan truyền và phân rã của dầu trong môi trường nước.

Trong nghiên cứu của luận án 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 một cách 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. Mô-đun này giải hệ phương trình nước nông hai chiều (2D), bao gồm phương trình liên tục và các phương trình động lượng được tích phân theo chiều đứng từ hệ phương trình Navier–Stokes, nhằm mô tả chính xác sự phân bố vận tốc và mực nước theo thời gian.

Phương pháp giải trong MIKE 21 HD dựa trên lược đồ sai phân hữu hạn, áp dụng trên hệ lưới phần tử hữu hạn phi cấu trúc (Flexible Mesh – FM), với các lưới dạng tam giác hoặc tứ giác. Tùy chọn lược đồ giải bao gồm phương pháp Euler bậc nhất hoặc Runge-Kutta bậc hai rõ ràng cho tích phân thời gian, đảm bảo độ ổn định và chính xác trong tính toán.

Thông lượng đối lưu tại các mặt ô lưới được tính bằng bộ giải Riemann gần đúng, cho phép mô phỏng hiệu quả các hiện tượng dòng chảy có tính chất phi tuyến mạnh, đặc biệt là tại các vùng có địa hình thay đổi đột ngột như cửa sông, cửa biển hoặc vùng xuất hiện bước nhảy thủy lực (hydraulic jumps).

Mô-đun Hydraulodynamics cho phép xét đến nhiều yếu tố tác động đến trường dòng chảy, bao gồm gió mặt, chênh lệch mật độ (do biến đổi nhiệt độ và độ mặn), ảnh hưởng của sóng, ứng suất đáy, hiệu ứng rối và điều kiện khô – ướt tại các bãi triều. Tính linh hoạt cao trong cấu trúc lưới và khả năng tích hợp điều kiện biên thực tế giúp mô-đun Hydraulodynamics trở thành công cụ mạnh trong mô phỏng thủy động lực học ven biển, cửa sông và 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 [68]:

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

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

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

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.

Các thành phần vận tốc trung bình độ sâu $(\bar{u}, \bar{v})$ theo các hướng x, y là:

$$h\bar{u} = \int_{-d}^{\eta} u dz \quad \text{và} \quad h\bar{v} = \int_{-d}^{\eta} v dz \quad (2.4)$$

trong đó: u, v là các thành phần vận tốc theo các hướng x, y .

Thành phần ứng suất nhớt rối ngang là:

$$T_{xx} = 2A \frac{\partial \bar{u}}{\partial x}; \quad T_{xy} = A \left(\frac{\partial \bar{u}}{\partial y} + \frac{\partial \bar{v}}{\partial x} \right); \quad T_{yy} = 2A \frac{\partial \bar{v}}{\partial y} \quad (2.5)$$

Trong nhiều ứng dụng, có thể sử dụng một giá trị độ nhớt rối ngang không đổi theo phương ngang. Ngoài ra, Smagorinsky (1963) đã đề xuất biểu diễn sự chuyển động ở quy mô lưới bằng một độ nhớt rối ngang hiệu dụng liên quan đến độ dài đặc trưng [69]. Độ nhớt rối ngang được xác định như sau:

$$A = c_s^2 l^2 \sqrt{2S_{xy}S_{xy}}; S_{xy} = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial \bar{u}}{\partial y} + \frac{\partial \bar{v}}{\partial x} \right) \quad (2.6)$$

Trong đó: c_s là hằng số; l độ dài đặc trưng.

Vận tốc gió mặt được xác định ở độ cao 10m so với mặt nước biển (u_w). Các thành phần vận tốc gió (u_{wx}, u_{wy}) theo phương x và y . sát Ứng suất gió được xác định trên ứng suất bề mặt là:

$$\frac{\tau_{sx}}{\rho_0} = \rho_a c_f |u_w| u_{wx}; \quad \frac{\tau_{sy}}{\rho_0} = \rho_a c_f |u_w| u_{wy} \quad (2.7)$$

Hệ số ma sát gió (c_f) là không đổi hoặc phụ thuộc vận tốc gió. Công thức thực nghiệm do Wu [70] đề xuất được sử dụng để tham số hóa hệ số ma sát gió. Đối với khu vực kín hoặc sử dụng thực nghiệm thì chúng thường được sử dụng theo Greernaert và Plant [71]. Hệ số ma sát gió được xác định là:

$$c_f = \begin{cases} 1,255 \times 10^{-3} & u_w < 7 \\ 1,255 \times 10^{-3} + \frac{2}{3} 10^{-4} (u_w - 7) & 7 \leq u_w < 25 \\ 2,425 \times 10^{-3} & 25 \leq u_w \end{cases} \quad (2.8)$$

Ứng suất đáy được xác định như sau:

$$\frac{\tau_{bx}}{\rho_0} = c_f |u_b| u_{bx}; \quad \frac{\tau_{by}}{\rho_0} = c_f |u_b| u_{by} \quad (2.9)$$

Hệ số ma sát đáy được xác định như sau:

$$c_f = \frac{g}{c^2} = \frac{g}{(Mh^{1/6})^2}, M = \frac{25.4}{k_s^{1/6}} \quad (2.10)$$

Với: c_f là hệ số ma sát gió; u_a là vận tốc gió ban đầu; u_b là vận tốc dòng chảy; u_{bx} và u_{by} lần lượt là vận tốc dòng chảy theo phương x và y ; C là hệ số Chezy; M là hệ số Manning; k_s là độ nhám đáy.

Điều kiện biên bề mặt là $z=\eta$ (mực nước tự do - m):

Đối với quá trình động lực là:

$$\begin{aligned}\frac{\partial \eta}{\partial t} + \bar{u} \frac{\partial \eta}{\partial x} + \bar{v} \frac{\partial \eta}{\partial y} &= 0 \\ \left(\frac{\partial \bar{u}}{\partial z}, \frac{\partial \bar{v}}{\partial z} \right) &= \frac{1}{\rho_0 \vartheta_t} (\tau_{sx}, \tau_{sy})\end{aligned}\quad (2.11)$$

Điều kiện biên đáy là $z = -d$ (độ sâu tổng cộng của cột nước - m):

Đối với quá trình động lực là:

$$\begin{aligned}\bar{u} \frac{\partial d}{\partial x} + \bar{v} \frac{\partial d}{\partial y} &= 0 \\ \left(\frac{\partial \bar{u}}{\partial z}, \frac{\partial \bar{v}}{\partial z} \right) &= \frac{1}{\rho_0 \vartheta_t} (\tau_{bx}, \tau_{by})\end{aligned}\quad (2.12)$$

Điều kiện biên:

- Biên đất (biên cứng/biên đóng): trong chương trình tính toán đối với biên đất không cần nội suy độ cao mực nước và coi là bằng 0;
- Biên hở (biên mở/biên nước): trong chương trình tính toán, cần đặc biệt lưu ý tới các biên nước, và người sử dụng phải có kỹ năng phân biệt và nội suy phù hợp với điều kiện địa hình thực tế của khu vực thực hiện mô phỏng. Từ đó mới nâng cao độ chính xác của chương trình tính toán.

Điều kiện hội tụ của sơ đồ thuật toán được thể hiện qua điều kiện Courant-Friedrichs-Lewy (1928) (CFL):

$$C = \Delta t \frac{(\sqrt{gh} + |u|) + (\sqrt{gh} + |v|)}{\Delta l} \leq C_{\max} \quad (2.13)$$

Trong đó: C là số Courant; Δl là độ dài đặc trưng quãng đường di chuyển; $C_{\max}$ là số Courant lớn nhất mà phải nhỏ hơn bằng 1 ($C_{\max} \leq 1$).

Tích phân thời gian và điều kiện ổn định Courant: Trong quá trình tích phân thời gian các phương trình nước nông, bước thời gian được phép thay đổi theo từng bước tính toán để đảm bảo điều kiện ổn định Courant (CFL condition) luôn được thỏa mãn, với số Courant luôn nhỏ hơn hoặc bằng giá trị giới hạn ($C \leq C_{\max}$). Độ dài đặc trưng của một phần tử lưới được xác định bằng diện tích

của phần tử chia cho độ dài cạnh dài nhất. Cụ thể, đối với phần tử tam giác, độ dài đặc trưng (L_{char}) được tính bằng công thức:

$$L_{char} = \frac{2A}{L_{max}} \quad (2.14)$$

trong đó: A là diện tích của phần tử và L_{max} là độ dài cạnh dài nhất.

Trong mô hình thủy động lực, phương pháp ADI (Alternating Direction Implicit) kết hợp với phương trình quét kép (Double Sweep – DS) được áp dụng để giải hệ phương trình tuyến tính theo từng phương không gian (hướng). Tại mỗi bước giải, các biến ẩn theo từng hướng (chẳng hạn như vận tốc theo phương x và y) được tách riêng và giải lần lượt, từ đó đảm bảo tính hiệu quả và ổn định cho bài toán. Cách tiếp cận này cho phép thỏa mãn đồng thời các điều kiện bảo toàn động lượng và khối lượng trong miền tính.

Đối với bài toán có ranh giới di chuyển (wetting–drying interface), mô hình áp dụng phương pháp xử lý được đề xuất bởi Zhao và cộng sự [72] và Sleight và cộng sự [73]. Theo đó, nếu độ sâu nước tại một phần tử nhỏ hơn ngưỡng giới hạn định trước (threshold depth), phần tử đó được chuyển từ trạng thái ướt sang khô và loại trừ khỏi miền tính toán. Việc cập nhật trạng thái phần tử được thực hiện bằng cách đặt các thông lượng động lượng bằng 0, trong khi chỉ bảo toàn thông lượng khối lượng để duy trì tính liên tục.

Khi độ sâu tại một phần tử được đặt về 0, thể tích nước bị mất được phân phối lại cho các phần tử lân cận nhằm bảo toàn tổng khối lượng. Tuy nhiên, điều này đôi khi dẫn đến độ sâu âm tại các phần tử xung quanh. Do đó, mô hình áp dụng cơ chế hiệu chỉnh lặp lại độ sâu, với số lần lặp tối đa lên đến 100 vòng. Trong thực tế, quá trình này thường hội tụ chỉ sau một vài bước.

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. Quá trình phong hóa này được mô hình hóa bằng mô hình phong hóa mặc định (Oilspill_A3).

Các quá trình có thể được đưa vào mô phỏng bao gồm: Lan truyền dầu cơ học (Spreading); Bay hơi (Evaporation); Hòa tan (Dissolution); Phân tán theo chiều thẳng đứng (Vertical dispersion); Lắng đọng (Settling); Phân hủy sinh học (Biodegradation); Quang oxy hóa (Photooxidation).

Các chức năng bổ sung khác:

- Nguồn di chuyển (ví dụ như tàu rò rỉ dầu).
- Tốc độ bề mặt do gió (tác động của gió lên sự chuyển động của dầu trên mặt nước).
- Xuất dữ liệu đầu ra: Danh sách các hạt dầu dưới dạng tệp XML; Bản đồ nồng độ dầu được nội suy từ các hạt vào lưới tính toán, lưu trữ dưới dạng tệp DFS2 (2 chiều) hoặc DFS3 (3 chiều).

Dầu được mô phỏng dưới dạng các hạt (particle) riêng lẻ, gọi là hạt Lagrange, di chuyển trong không gian theo dòng chảy của môi trường nước. Mỗi hạt đại diện cho một phần khối lượng dầu và mang theo thông tin về trạng thái hóa – lý (như thành phần, độ nhớt, mật độ...).

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).

Các hạt dầu nằm trên bề mặt nước và tiếp xúc với gió sẽ bị ảnh hưởng theo hai cách:

1. *Gián tiếp*: thông qua dòng chảy thủy động học có tính đến ảnh hưởng của gió.
2. *Trực tiếp*: chịu thêm một lực bổ sung từ gió tác động trực tiếp lên hạt dầu.

Mức độ ảnh hưởng của gió đến tốc độ của hạt dầu phụ thuộc vào bản chất của hạt dầu, cụ thể là mức độ mà hạt dầu nổi và tiếp xúc với bề mặt. Do đó, một hệ số hiệu chỉnh được sử dụng để biểu thị phần trăm vận tốc gió được chuyển thành vận tốc của hạt.

Quỹ đạo hạt dầu chịu ảnh hưởng của dòng chảy và gió bề mặt sẽ điều chỉnh quỹ đạo trôi như sau:

$$\begin{aligned} u_{part} &= c_c \bar{u} + c_w u_{wx} \cdot \sin(\varphi - \pi + \theta) \\ v_{part} &= c_c \bar{v} + c_w u_{wy} \cdot \sin(\varphi - \pi + \theta) \end{aligned} \quad (2.16)$$

Trong đó, $\vec{U}_{part} = (u_{part}, v_{part})$ là véc-tơ vận tốc trôi của hạt dầu theo dòng chảy và gió; $\vec{u}(\vec{x}, t) = (\bar{u}, \bar{v})$ là véc-tơ vận tốc dòng chảy trung bình; c_w là hệ số trôi của gió; c_a là hệ số trôi dòng chảy; φ là hướng gió; θ là góc trôi gió.

Lực Coriolis thường được đưa vào dòng chảy thủy động, nhưng đối với lực gió làm tăng tốc các hạt bề mặt thì lực Coriolis cũng phải được xem xét. Do ảnh hưởng của lực Coriolis, hướng của dòng trôi gió bị xoay tương đối với hướng gió. Góc θ của độ lệch được gọi là góc trôi gió. Nó quay sang phải ở Bắc bán cầu và sang trái ở Nam bán cầu. Theo Al-Rabeh [74], góc trôi gió được xác định là:

$$\theta = \beta \cdot \exp\left(\frac{-0.3 \cdot 10^{-9} |u_w|^3}{g \gamma_w}\right) \quad (2.17)$$

Trong đó, $\beta = 28^\circ 38'$; γ_w là độ nhớt động học; g là gia tốc trọng lực.

Thành phần khuếch tán ngẫu nhiên trong phương trình (2.15) được thể hiện dưới dạng:

$$\overrightarrow{u_{diff}} = (u', v') = N(0,1) \sqrt{2 \, dt \, D} \quad (2.18)$$

Trong đó, $\overrightarrow{u_{diff}} = (u', v')$ là véc-tơ vận tốc phân tán ngẫu nhiên (rời) theo x và y ; $N(0,1)$ là hàm ngẫu nhiên phân bố từ 0 đến 1; D là hệ số khuếch tán.

Phương trình (2.15) kết hợp phương trình (2.16) và phương trình (2.17) được viết lại dưới dạng:

$$\begin{aligned} dx &= u_{part} dt + u' dt \\ dy &= v_{part} dt + v' dt \end{aligned} \quad (2.19)$$

Trong mô-đun ECO Lab/ Oil spill có tính toán đến quá trình phong hóa của tràn dầu, cụ thể như sau:

1. Loang cơ học

Là quá trình diễn ra ngay tức thời sau khi tràn dầu và đến do 2 nguyên nhân: Do bản chất hóa lý của dầu (sự không giống nhau về mật độ, sức căng mặt ngoài); Quá trình khuếch tán bởi sóng, gió và dòng chảy.

Thường coi khối dầu là thống nhất, tiến trình loang thành những lớp mỏng hơn, diện tích loang theo thời gian t do Mackay và cộng sự (1980) đề xuất [75]:

$$\frac{dA_{oil}}{dt} = K_a A_{oil}^{1/3} \left(\frac{V_{oil}}{A_{oil}} \right)^{4/3} \quad (2.20)$$

Trong đó, K_a là hằng số; A_{oil} là diện tích dầu loang; V_{oil} là thể tích dầu;

2. Quá trình bốc hơi dầu

Quá trình này chịu ảnh hưởng bởi thành phần của dầu, nhiệt độ nước biển,... Tốc độ bay hơi dầu được tính theo công thức do Betancourt và cộng sự (2005) và Reed (1989) thể hiện như sau [75]:

$$EVAP = \frac{K_2 \cdot P_{vp} \cdot A_{oil}}{R \cdot T} f \cdot MW \quad (2.21)$$

Trong đó, $EVAP$ là vận tốc bay hơi; K_2 là hệ số dịch chuyển khối lượng; P_{vp} là áp suất hơi; R là hằng số khí; T là nhiệt độ; MW là trọng lượng phân tử; f là tỷ lệ thành phần dầu.

3. Quá trình khuếch tán thẳng đứng

Đây được coi là quá trình dịch chuyển dầu trong cột nước tính đến những tiến trình sau: sự hòa tan, khuếch tán dọc và ngang, phân tán và lắng đọng, trong đó khuếch tán và phân tán là những quá trình đóng vai trò rất quan trọng làm cho khối lượng cũng như thể tích giảm theo thời gian.

4. Quá trình hòa tan dầu

Vận tốc hòa tan được thể hiện như sau [75]:

$$\frac{dV_{ds_i}}{dt} = K_{s_i} C_i^{sat} X_i \frac{M_i}{\rho_i} A_{oil} \quad (2.22)$$

Trong đó, K_{s_i} là hệ số; C_i^{sat} là độ tan của nhân tố thứ i ; ρ là mật độ của dầu; X_i là phần mol; M_i là trọng lượng phân tử.

5. Quá trình nhũ tương hóa dầu

Có thể hiểu đây là kết quả của việc dầu ngậm nước từ đó làm tăng trọng lượng, thể tích của vật chất. Nó diễn ra trong khoảng thời gian từ vài tuần tới vài tháng sau khi tràn. Tốc độ phụ thuộc vào loại dầu, nhiệt độ môi trường, độ mặn,....

Do các hợp chất dầu sau khi tràn ra môi trường, thông thường sẽ được xử lý trong một khoảng thời gian ngắn nên để phù hợp với điều kiện thực tế, nghiên cứu sinh chỉ tính toán cho các quá trình bình lưu, khuếch tán và quá trình loang

cơ học trong chương trình mô phỏng và dự đoán chuyển động của vệt dầu loang tại vùng biển Việt Nam.

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

Trong mô hình truyền tải vật chất theo phương pháp Lagrange, cách tiếp cận được sử dụng khác biệt hoàn toàn so với phương pháp Euler truyền thống. Thay vì mô phỏng vật chất dưới dạng nồng độ tại các điểm cố định trên lưới không gian, 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. Mô hình này cũng cho phép theo dõi chính xác đường đi hay quỹ đạo của từng hạt vật chất, rất phù hợp trong các ứng dụng mô phỏng tràn dầu, lan truyền vi sinh vật hoặc các chất ô nhiễm trong môi trường biển.

Tuy nhiên, phương pháp này cũng tồn tại một số hạn chế và giả thiết đơn giản hóa nhất định. Cụ thể, mô hình không xét đến sự khuếch tán nội tại giữa các hạt, tức là không áp dụng định luật khuếch tán Fick và bỏ qua tương tác giữa các hạt do mỗi hạt được xem là độc lập. Bên cạnh đó, mô hình giả định gia tốc tức thời, nghĩa là các hạt được coi là đạt ngay vận tốc của dòng nước xung quanh tại mỗi thời điểm. Giả thiết này chỉ phù hợp với các hạt có kích thước nhỏ, khối lượng nhẹ và mật độ gần tương đương với nước, nơi có thể bỏ qua quán tính. Do đó, phương pháp này không phù hợp khi mô phỏng các hạt lớn, nặng hoặc có quán tính cao.

Chuyển động của từng chất điểm trong mô hình Lagrange không chỉ phụ thuộc vào vận tốc trung bình của dòng chảy mà còn bao gồm thành phần vận động ngẫu nhiên do ảnh hưởng của nhiễu loạn dòng chảy. Đây chính là bản chất vật lý của quá trình phân tán trong môi trường. Để mô phỏng chính xác quá trình vận chuyển và phân tán này, phương trình Langevin ngẫu nhiên được sử dụng làm nền tảng, cho phép mô tả quỹ đạo của một hạt trong dòng chảy có tính nhiễu loạn và biến đổi theo thời gian.

Phương trình Langevin cho chất điểm (theo Garcia) [76], 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, rời; Δt là bước thời gian.

Phương trình Langevin trong mô hình Lagrange có ý nghĩa vật lý quan trọng khi mô phỏng sự vận chuyển của hạt vật chất trong môi trường nước. Phương trình này mô tả đồng thời hai quá trình: di chuyển theo dòng chảy trung bình (bình lưu) và phân tán ngẫu nhiên do nhiễu loạn, từ đó cho phép tái hiện sự phân bố không đồng nhất của các hạt trong không gian. Mỗi hạt có thể mang theo một khối lượng chất nhất định, và từ tập hợp các hạt trong miền tính toán, có thể nội suy ra trường nồng độ biến đổi theo thời gian và không gian.

Ưu điểm nổi bật của việc sử dụng phương trình Langevin trong mô hình Lagrange là khả năng mô phỏng được bản chất ngẫu nhiên của dòng chảy thực, điều mà các mô hình dạng Euler thường bỏ qua. Ngoài ra, phương pháp này cho phép mô phỏng quá trình phân tán cục bộ mà không cần tăng độ phân giải lưới tính toán, từ đó tiết kiệm đáng kể tài nguyên tính toán. Việc hiệu chỉnh hệ số khuếch tán trong phương trình cũng tương đối linh hoạt, dễ dàng thích nghi

với các điều kiện thực tế khác nhau như trong kênh hở, cửa sông hoặc vùng biển xa bờ.

Trong quá trình giải phương trình vi phân mô tả chuyển động của hạt, có ba sơ đồ tính toán phổ biến được sử dụng. Thứ nhất là sơ đồ Euler - một phương pháp đơn giản và cổ điển, được áp dụng rộng rãi trong các nghiên cứu cơ bản. Thứ hai là sơ đồ Runge-Kutta bậc bốn (RK4), là phương pháp bậc cao cho độ chính xác lớn, đặc biệt phù hợp với các mô hình vật lý - sinh học. Phương pháp này sử dụng các vận tốc trung gian ở bốn bước trong mỗi bước thời gian, và yêu cầu nội suy vận tốc đạt cùng bậc để duy trì độ chính xác mong muốn. Thứ ba là phương pháp Adams-Bashforth-Moulton (ABM), một sơ đồ dự báo - hiệu chỉnh được sử dụng hiệu quả trong các mô hình sinh học như mô phỏng động vật phù du. Vì ABM cần giá trị vận tốc từ các bước trước, nên thường sử dụng Euler hoặc RK4 trong ba đến bốn bước thời gian đầu để khởi tạo. Về mặt tính toán, sơ đồ RK4 yêu cầu bộ nhớ lớn hơn do phải lưu trữ các vận tốc trung gian, trong khi sơ đồ ABM và Euler tiết kiệm bộ nhớ hơn đáng kể. Tuy nhiên, ABM bậc cao còn có ưu điểm là tốc độ tính toán nhanh hơn so với RK4, vì chỉ cần xác định vận tốc trong một bước thời gian thay vì nhiều bước trung gian. Do vậy, lựa chọn sơ đồ tính toán phụ thuộc vào sự cân bằng giữa yêu cầu về độ chính xác, khả năng tính toán và tài nguyên lưu trữ của hệ thống mô phỏng.

2.1.2.2. Cơ sở lý thuyết về phương pháp Lagrange

Kế thừa Garcia [76], 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:

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

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:

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

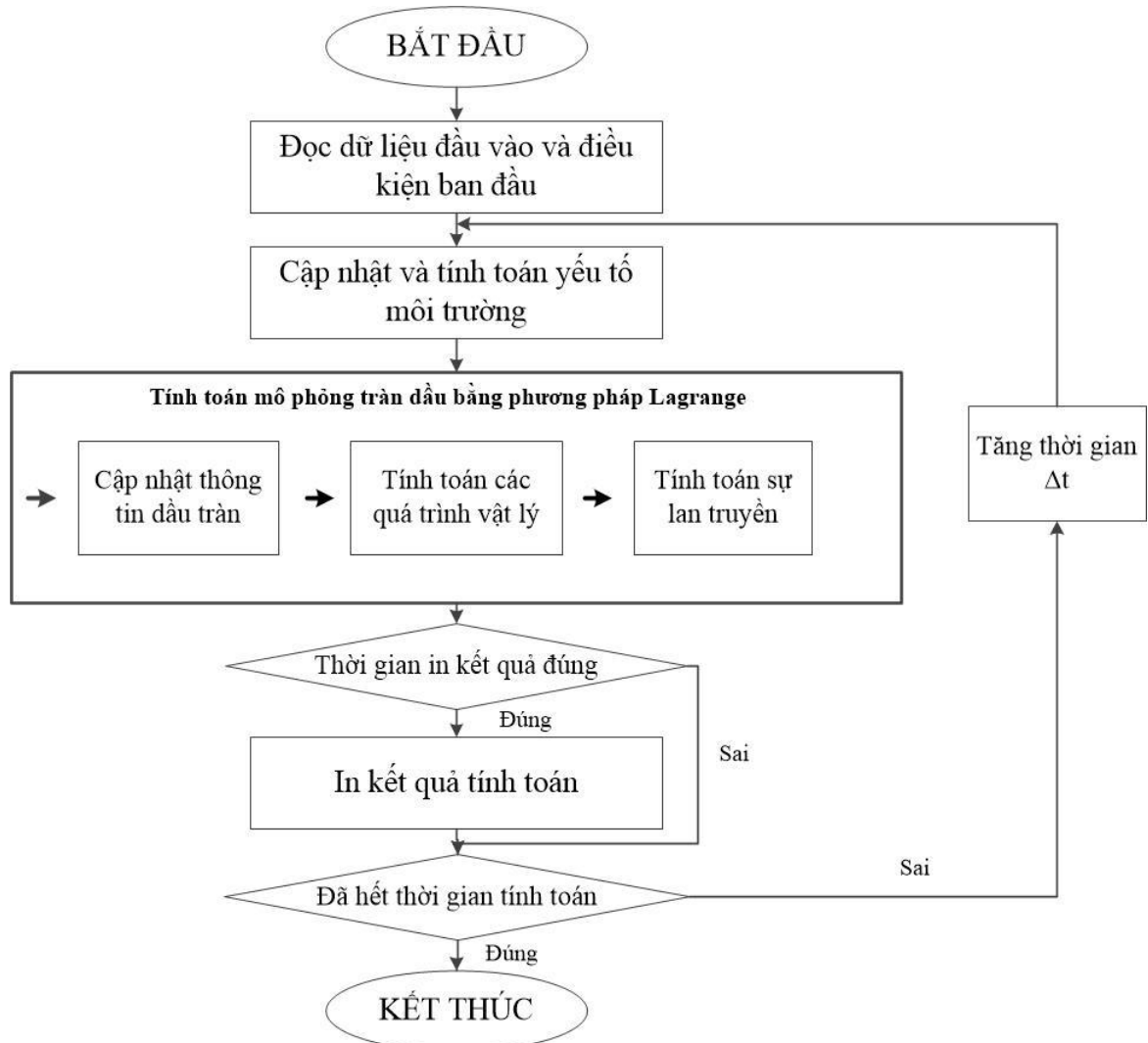
Trong đó, X_{n+1} và Y_{n+1} là vị trí hạt dầu theo trục x và y tại thời điểm $t+dt$; X_n và Y_n là vị trí hạt dầu theo trục x và y tại thời điểm t ; C_c và C_w là hệ số thành phần dòng chảy và gió; $\bar{u}$ và $\bar{v}$ là thành phần dòng chảy theo phương x và y ; u_{wx} và u_{wy} là thành phần gió 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; ξ 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).

Trong mô hình truyền tải vật chất theo phương pháp Lagrange rời rạc, các hạt không đồng nhất được phân loại thành các lớp. Mỗi lớp hạt đại diện cho một nhóm vật chất có đặc điểm tương đồng về vật lý, hóa học hoặc sinh học.

Phương pháp Lagrange thể hiện rõ ưu điểm trong các ứng dụng mô phỏng vật chất phi liên tục như vết dầu, rác vi nhựa, hay vi sinh vật. Khả năng theo dõi riêng lẻ từng hạt giúp mô phỏng chính xác sự di chuyển và phân bố không đồng đều của vật chất trong môi trường nước. Đồng thời, khả năng loại bỏ linh

hoạt các hạt không còn ý nghĩa vật lý (quá nhỏ, đã phân rã...) giúp tối ưu tài nguyên và tăng tốc độ tính toán, đặc biệt hữu ích trong các mô hình quy mô lớn.

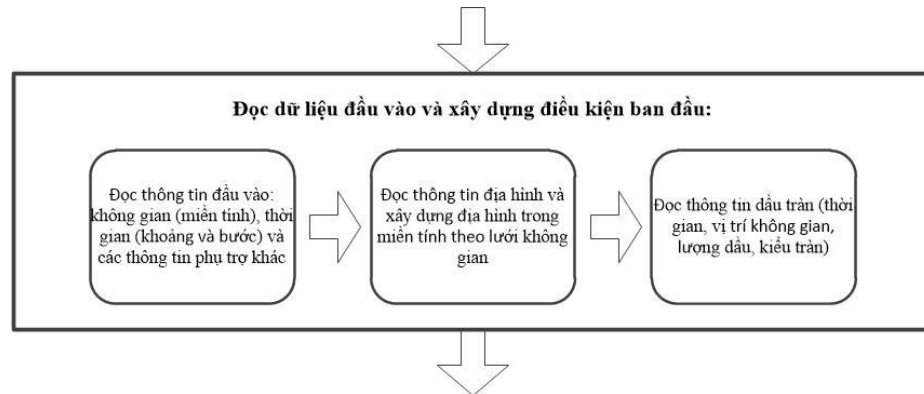
2.1.2.3. Sơ đồ cấu trúc thuật toán và các chương trình tính toán



Hình 2.1. Sơ đồ thuật toán tổng thể đầy đủ

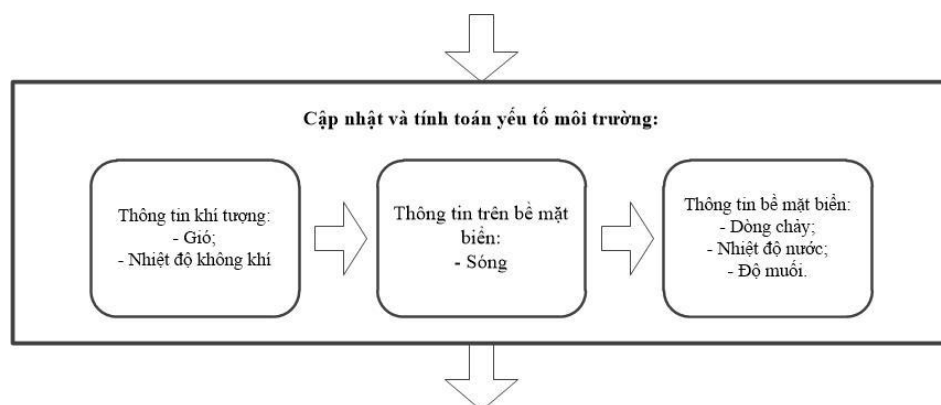
Dựa trên cách thức tính về bài toán dự báo dầu tràn ra môi trường biển ở mục 2.1.4.2; các cơ sở toán học đảm bảo quá trình rời rạc hoá và điều kiện cần cho xây dựng chương trình tính toán, nghiên cứu sinh đã thiết kế xây dựng sơ đồ cấu trúc thuật toán như dưới đây. Hình 2.1 là sơ đồ thuật toán tổng quát của mô hình mô phỏng dầu tràn. Từ đây, xây dựng cách tính toán theo các khối

thông tin khác nhau (xem Hình 2.2, 2.3, 2.4 và 2.5) bằng ngôn ngữ lập trình Fortran. 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.



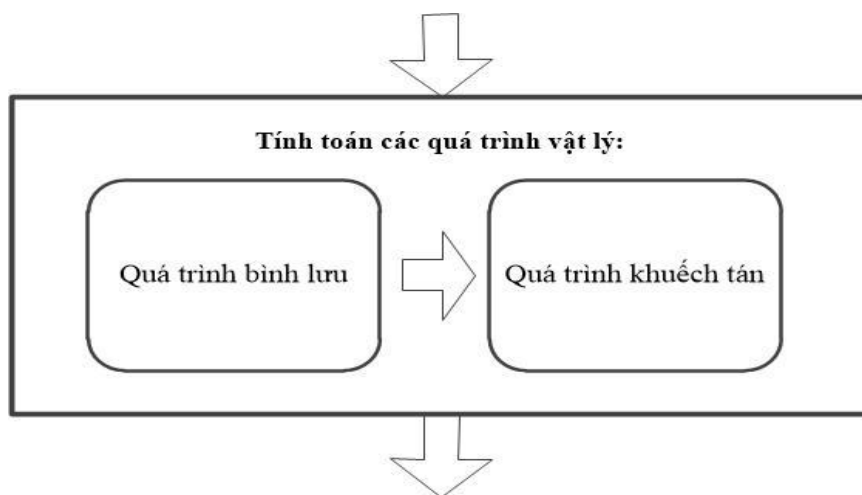
Hình 2.2. Xử lý thông tin

Hình 2.2 là sơ đồ khối thành phần về đưa thông tin dữ liệu đầu vào và xây dựng thiết lập các điều kiện đầu. Trong phần này, các khối tính toán được thiết kế và lập trình theo từng chương trình con. Chương trình đọc các thông tin yếu tố không/thời gian tính toán, các chỉ số thông tin tính toán của các yếu tố môi trường tham gia tính toán. Chương trình đọc thông tin đầu tràn bao gồm thời gian và vị trí xảy ra sự cố, lượng dầu tràn một lần hay dầu tràn theo thời gian. Sau khi thiết lập xác định được các thông tin đầu vào phù hợp phục vụ tính toán. Chương trình chính sẽ tiếp tục các công đoạn sau như cập nhật và xử lý tính toán các yếu tố môi trường về cùng thời điểm (nút lưới và thời gian).



Hình 2.3. Cập nhật và xử lý thông tin điều kiện các yếu tố môi trường

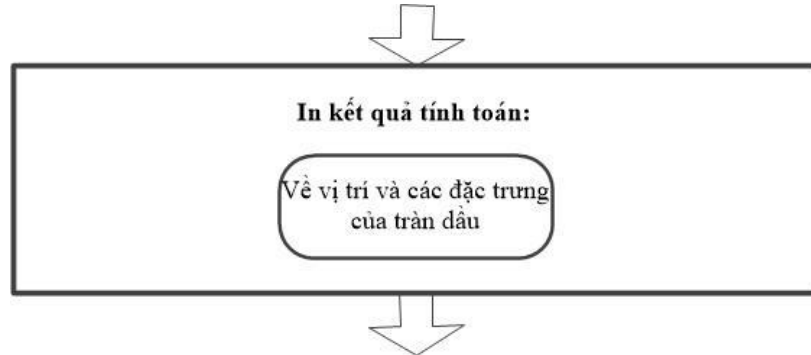
Hình 2.3 là sơ đồ khối thành phần cập nhật và xử lý thông tin điều kiện môi trường và yếu tố hải dương. Theo thông tin chỉ số của các yếu tố tham gia tính toán để tiến hành chạy chương trình. Trong sơ đồ này, các dữ liệu môi trường đầu vào thường có độ phân giải khác nhau cả về không gian và thời gian nên cần thiết phải có các bước xử lý đưa về cùng hệ tọa độ trên cùng lưới tính vào các thời gian trùng nhau. Sau khi xử lý các yếu tố môi trường đưa về dạng giống nhau theo không/thời gian thì sẽ chuyển sang các bước tiếp.



Hình 2.4. Quá trình bình lưu và khuếch tán

Hình 2.4 là sơ đồ khối thành phần xử lý tính toán quá trình bình lưu và khuếch tán của dầu tràn trên mặt biển. Các chương trình con thực hiện sơ đồ này quyết định đến tiến trình di chuyển của vệt dầu tràn hai chiều. Đối với quá trình bình lưu được thiết kế xây dựng với đầu vào là các yếu tố môi trường (gọi chung là quá trình động lực) trên bề mặt biển dưới dạng hai chiều. Còn đối với quá trình khuếch tán là được thiết kế xây dựng dựa vào tính chất và lượng dầu tràn kết hợp quá trình chuyển động rối do gió, sóng và dòng chảy tạo ra trên bề mặt biển dưới dạng hai chiều theo phương ngang (công thức 2.24). Sau khi thực hiện xử lý xong sơ đồ này sẽ làm đầu vào cho tính toán sự lan truyền của dầu tràn.

Hình 2.5 là sơ đồ khối thành phần đầu ra sau khi tính toán lan truyền trên biển. Trong sơ đồ này có thể thực hiện triết xuất toàn bộ những thông tin về tham số, yếu tố tham gia trong các chương trình chính và con của mô hình.



Hình 2.5. Xử lý thông tin đầu ra của mô hình

Như vậy, trong mục này được tóm lược lại về sơ đồ cấu trúc thuật toán và các chương tính toán đã được mô tả như trên. Các sơ đồ này được dùng để áp dụng cho bài toán tính toán mô phỏng tràn dầu theo thời gian bằng phương pháp Lagrange.

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 một số chỉ tiêu. Các yếu tố quan trắc đo đạc làm chuẩn được gọi tắt là X và các yếu tố tính toán mô phỏng so sánh được gọi tắt là Y .

2.1.3.1 Hệ số tương quan R

Nó là hệ số thống kê được đánh giá mức độ tương quan giữa yếu tố chuẩn (X_{net}) và yếu tố so sánh (X_{sim}) theo quan điểm tỷ lệ sai lệch (Kenney và Keeping [77]). Công thức xác định tính toán được viết dưới dạng:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n [(X_{net} - X_{mean_net}) * (X_{sim} - X_{mean_sim})]}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (X_{net} - X_{mean_net})^2 * \sum_{i=1}^n (X_{sim} - X_{mean_sim})^2}} \quad (2.28)$$

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

Với, r là hệ số Pearson; X_i và Y_i : là giá trị của biến x và y ; X_{mean} và Y_{mean} là giá trị trung bình; i là số thứ tự thứ i của chuỗi từ 1 đến n ; n là tổng số giá trị của biến x và y .

Hệ số tương quan là chỉ số thống kê đo lường mức độ mạnh yếu của mối quan hệ giữa hai biến số. Trong đó:

- Hệ số tương quan có giá trị từ -1.0 đến 1.0. Kết quả được tính ra lớn hơn 1.0 hoặc nhỏ hơn -1.0 có nghĩa là có lỗi trong phép đo tương quan;
- Hệ số tương quan có giá trị âm cho thấy hai biến có mối quan hệ nghịch biến hoặc tương quan âm (nghịch biến tuyệt đối khi giá trị bằng -1.0);
- Hệ số tương quan có giá trị dương cho thấy mối quan hệ đồng biến hoặc tương quan dương (đồng biến tuyệt đối khi giá trị bằng 1.0);
- Tương quan bằng 0 cho hai biến độc lập với nhau.

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

Chỉ số RMSE là chỉ số thống kê được đánh giá tương quan giữa yếu tố chuẩn (X_{net}) và yếu tố so sánh (X_{sim}) theo quan điểm độ lệch trung bình bình phương (Kenney và Keeping [78]). Công thức xác định tính toán được viết dưới dạng:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X_{net} - X_{sim})^2} \quad (2.29)$$

Trong đó, $RMSE$ là chỉ số trung bình phương sai; X_i và Y_i : là giá trị thứ i của biến quan trắc đo đạc x và tính toán mô phỏng y ; i là số thứ tự thứ i của chuỗi từ 1 đến n ; n là tổng số giá trị của biến x và y .

2.1.3.3 Chỉ số NASH

Công thức xác định tính toán được viết dưới dạng:

$$NASH = 1 - \left[\frac{\sum_{i=1}^n (X_{net} - X_{sim})^2}{\sum_{i=1}^n (X_{net} - X_{mean})^2} \right] ; \quad X_{mean} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_{net} \quad (2.30)$$

Với, NSE là chỉ số Nash-Sutcliffe [79]; X_i và Y_i : là giá trị thứ i của biến quan trắc đo đạc x và tính toán mô phỏng y ; X_{mean} và Y_{mean} là giá trị trung bình; i là số thứ tự thứ i của chuỗi từ 1 đến n ; n là tổng số giá trị của biến x và y .

Chỉ số này thông thường được phân theo độ chính xác như sau:

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

Chỉ số NSE cho thấy phù hợp tương quan đo đạc với mô phỏng, về giá trị cơ bản càng tiến gần đến 1 thì độ tin cậy của mô phỏng càng sát thực. Sự biến động của giá trị NSE được thể hiện:

- $NSE = 1$, tương ứng là kết quả mô hình và quan sát là hoàn hảo.
- $NSE = 0$, tương ứng là kết quả mô hình và đo đạc cho thấy không có tương hỗ. Trường hợp này cũng gần như không có.
- $0 < NSE < 1$, tương ứng là kết quả mô hình và quan sát là có quan hệ.

Nhưng trường hợp này thường được phân ra các trường hợp nhỏ như là:

- + $0,0 < NSE < 0,2$ là tương quan rất thấp (rất kém);
- + $0,2 \leq NSE < 0,4$ là tương quan thấp (kém);
- + $0,4 \leq NSE < 0,6$ là trung bình;
- + $0,6 \leq NSE < 0,8$ là cao (tốt).
- + $0,8 \leq NSE < 1,0$ là rất cao (rất tốt).

Chú ý, để giá trị NSE có mức độ đảm bảo thì cần có số liệu đủ dài hoặc càng dài càng tốt mà được đảm bảo tính chất đặc trưng của yếu tố cần đánh giá.

2.1.3.4 Chỉ số độ lệch chuẩn $PBIAS$

Chỉ số $PBIAS$ là chỉ số thống kê được đánh giá tương quan giữa yếu tố quan sát (X_{net}) và yếu tố mô phỏng (X_{sim}). Công thức xác định tính toán được viết dưới dạng [80]:

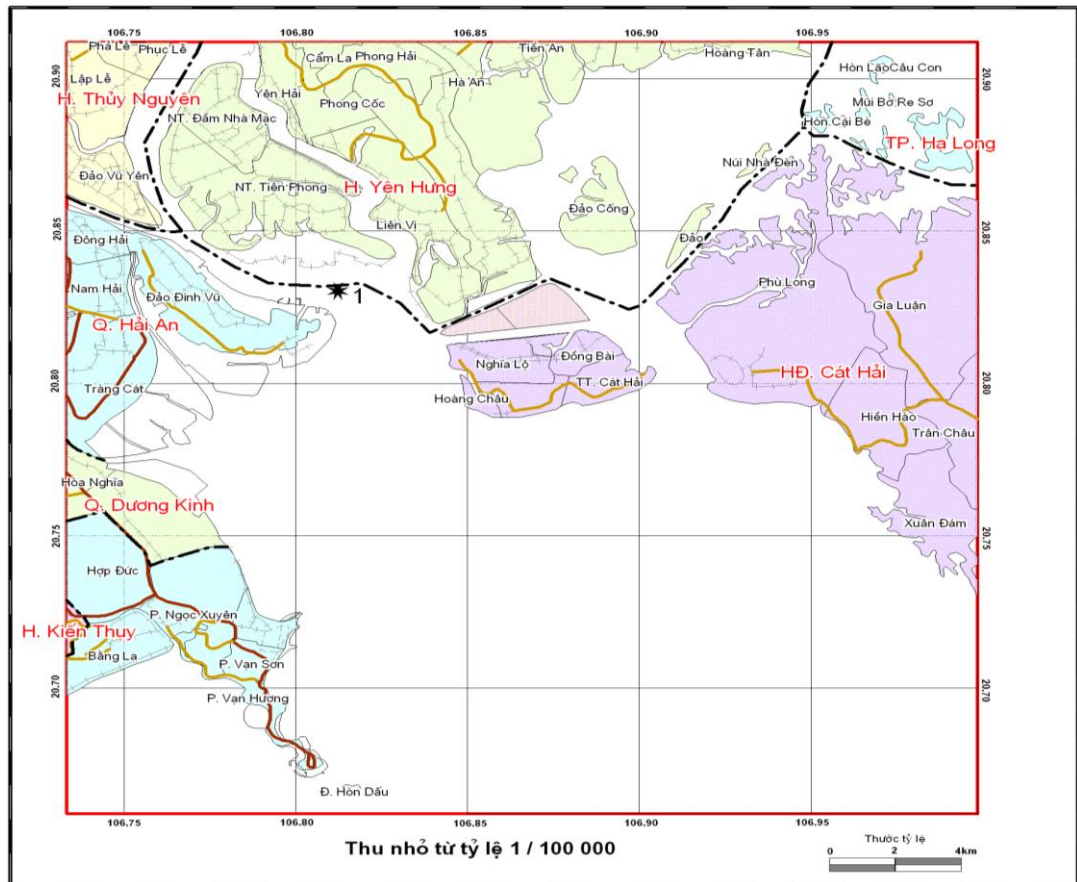
$$PBIAS = \left[\frac{\sum_{i=1}^n (X_{net} - X_{sim}) * 100}{\sum_{i=1}^n X_{net}} \right] \quad (2.31)$$

Với, $PBIAS$ là chỉ số độ lệch trung bình; i là số thứ tự thứ i của chuỗi từ 1 đến n ; n là tổng số giá trị của biến x và y .

$PBIAS$ đo lường xu hướng trung bình của các dòng chảy mô phỏng là lớn hơn hoặc nhỏ hơn so với các dòng chảy quan sát được; giá trị tối ưu là 0,0; các giá trị dương biểu thị độ lệch của mô hình hướng đến việc ước tính thấp hơn (thiên thấp), trong khi các giá trị âm biểu thị độ lệch hướng đến việc ước tính cao hơn (thiên cao) [81].

2.2 Cơ sở dữ liệu

2.2.1 Cơ sở dữ liệu địa hình



Hình 2.6. Vị trí địa lý khu vực nghiên cứu vùng ven bờ Hải Phòng

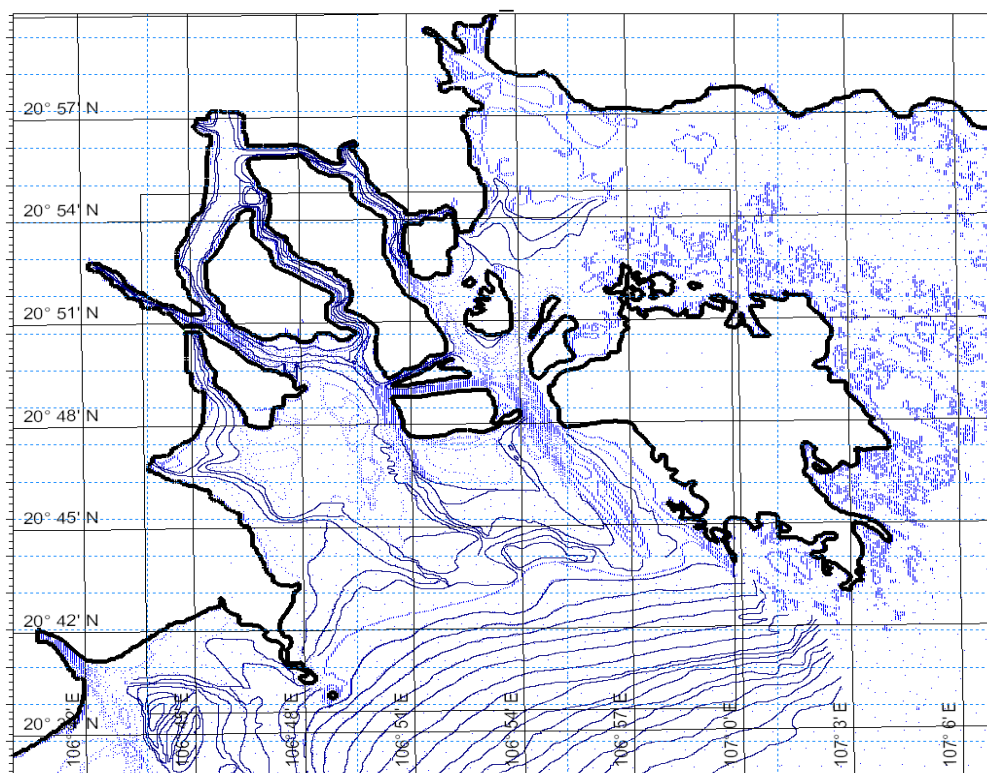
Hình 2.6 thể hiện vị trí địa lý vùng biển Hải Phòng, với đặc điểm địa hình bờ biển bị ngắt quãng và không liên tục do có các cửa sông đổ ra biển như cửa Cấm, cửa sông Lạch Tray, cửa sông Văn Úc,... gây ảnh hưởng nhất định khi tính toán, cũng như độ chính xác của mô hình trường thủy động lực.

Bên cạnh đó, vùng cửa sông ven biển Hải Phòng là vịnh nước nông ven bờ có cấu tạo địa hình đáy rất phức tạp do hệ thống bãi ngầm và luồng lạch luôn biến động. Sóng ở ngoài vùng nước sâu truyền vào bờ, do ảnh hưởng của ma sát đáy, các đặc trưng của sóng (tốc độ lan truyền, độ cao, chu kỳ, độ dài) cũng như hướng vận động luôn thay đổi. Vì vậy, chế độ sóng khác biệt hẳn với chế độ sóng vùng nước sâu cả về hướng thịnh hành và cấp độ cao [66].

Để xây dựng trường độ sâu và đường bờ của khu vực nghiên cứu, nghiên cứu sinh thực hiện số hóa các hải đồ giấy tỷ lệ 1:25.000, 1:100.000 và 1:500.000 của 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 [82]. Các dữ liệu địa hình này được quy về hệ tọa độ VN2000.

Ngoài ra, số liệu về độ sâu của vùng ven biển thành phố Hải Phòng và lân cận thông thường được lấy từ nhiều nguồn như: các chuyến khảo sát của Tổng công ty tư vấn thiết kế giao thông vận tải (TEDI) năm 2006; các khảo sát của Viện Địa lý năm 2007 và 2008, được kế thừa từ dự án nghiên cứu [83]; cơ sở dữ liệu địa hình toàn cầu ETOPO1 của Trung tâm Tư liệu Địa vật lý Quốc gia Mỹ NGDC (National Geophysical Data Center), đây là số liệu địa hình có độ phân dải 1 phút được xử lý từ ảnh vệ tinh kết hợp với các số liệu đo sâu.

Sau khi thu thập các nguồn dữ liệu rời rạc với hệ quy chiếu khác nhau, nghiên cứu sinh tiến hành chuyển đổi về cùng một hệ quy chiếu chung và đồng nhất. Tiếp đó, sử dụng mô hình MIKE để xuất miền tính, lưới tính phục vụ cho bài toán lan truyền dầu tính toán cho khu vực vùng biển Hải Phòng ở các bước tiếp theo.



Hình 2.7. Hình ảnh phân bố thông tin dữ liệu địa hình đáy biển

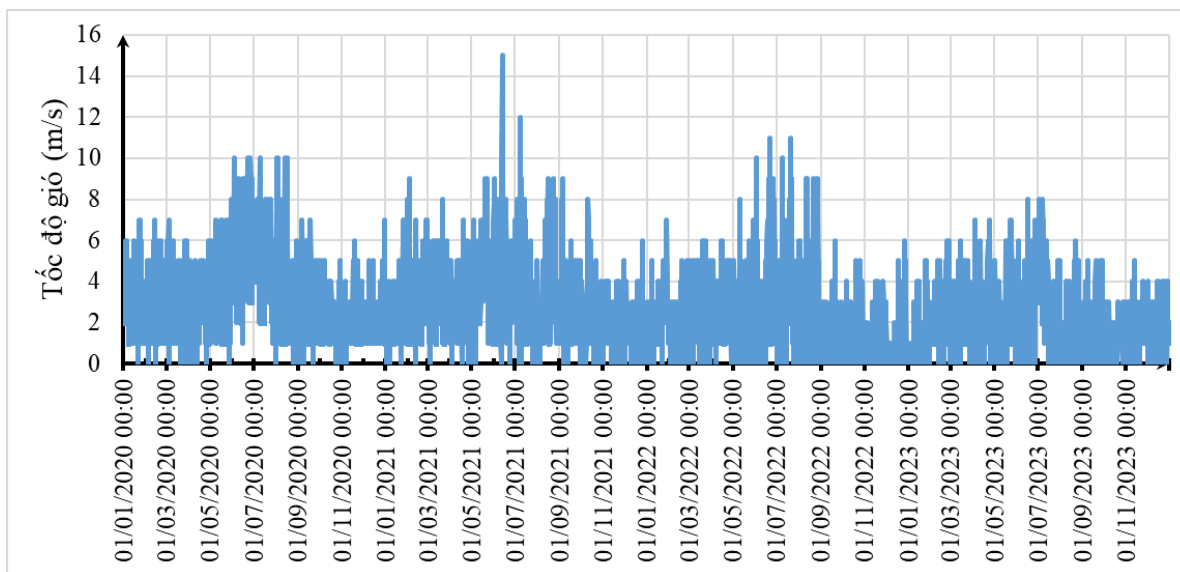
2.2.2 Cơ sở dữ liệu khí tượng

Dữ liệu khí tượng được lấy từ các trạm khí tượng cố định thuộc Bộ Nông nghiệp và Môi trường và nguồn số liệu tái phân tích toàn cầu từ Internet của quốc tế, cụ thể như sau:

- Trạm khí tượng cố định nghiên cứu sinh tiến hành lấy dữ liệu là trạm Hòn Dấu (Bảng 2.1), với dữ liệu được thu thập trong giai đoạn từ tháng 01/2020 đến tháng 12/2023 (Hình 2.8).

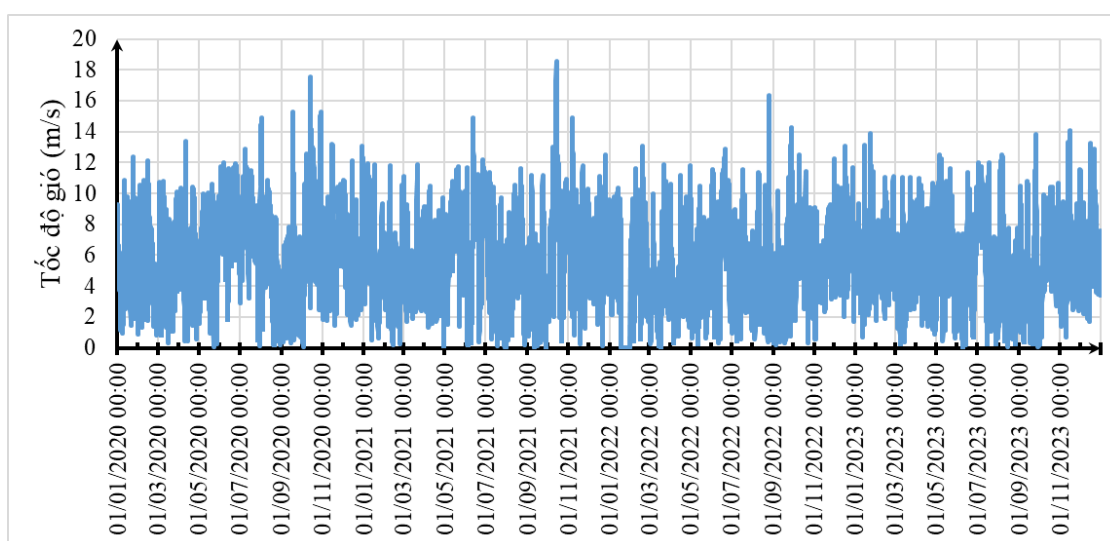
Bảng 2.1. Thông tin về trạm khí tượng – hải văn Hòn Dấu

TT	Tên trạm	Vị trí		
		Địa danh	Kinh độ (°E)	Vĩ độ (°N)
1	Hòn Dấu	Đảo Hòn Dấu, quận Đồ Sơn, TP. Hải Phòng	106° 48' 0.0"	20° 40' 0.0"



Hình 2.8. Biến trình tốc độ gió trạm Khí tượng Hòn Dấu giai đoạn từ tháng 1/2020 đến tháng 12/2023

- Nguồn số liệu tái phân tích được NCS sử dụng là nguồn số liệu ERA5 của Châu Âu (ECMWF) khai thác tại vị trí $107^{\circ}00'E - 20^{\circ}30'N$ từ tháng 01/2020 đến tháng 12/2023 (Hình 2.9).



Hình 2.9. Biến trình tốc độ gió toàn cầu của ERA5 của Châu Âu (ECMWF) tại vị trí $107^{\circ}00'E - 20^{\circ}30'N$ giai đoạn từ tháng 1/2020 đến tháng 12/2023

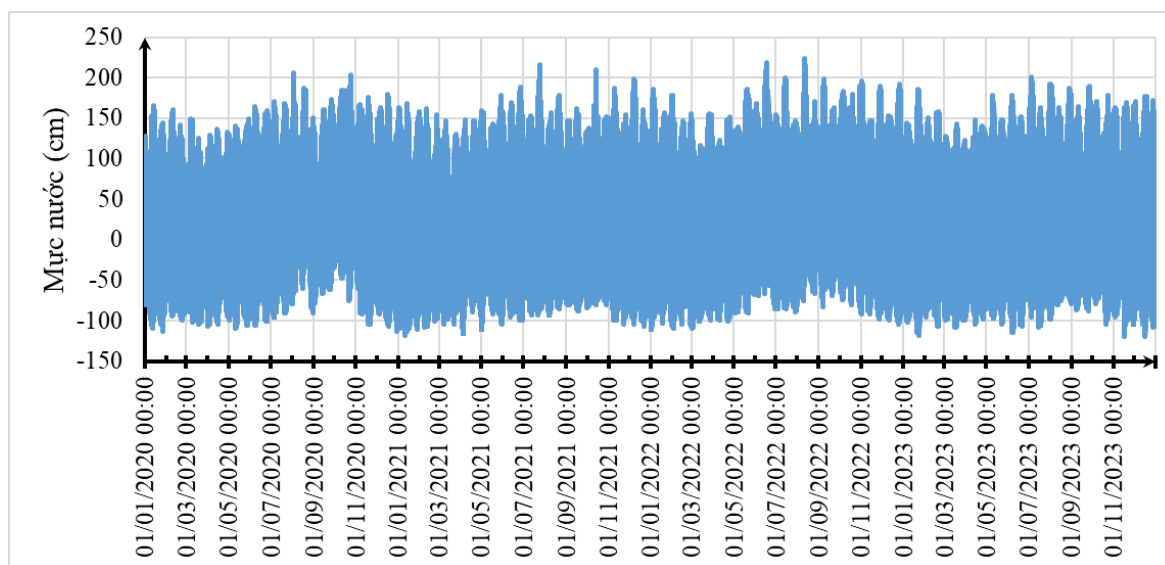
Do nguồn số liệu gió toàn cầu ERA5 của Châu Âu tại vị trí $107^{\circ}00'E - 20^{\circ}30'N$ có bước thời gian chi tiết từng giờ và vị trí sát biên ngoài, nên nghiên cứu sinh lựa chọn để đưa vào mô hình tính toán.

2.2.3 Cơ sở dữ liệu thủy văn

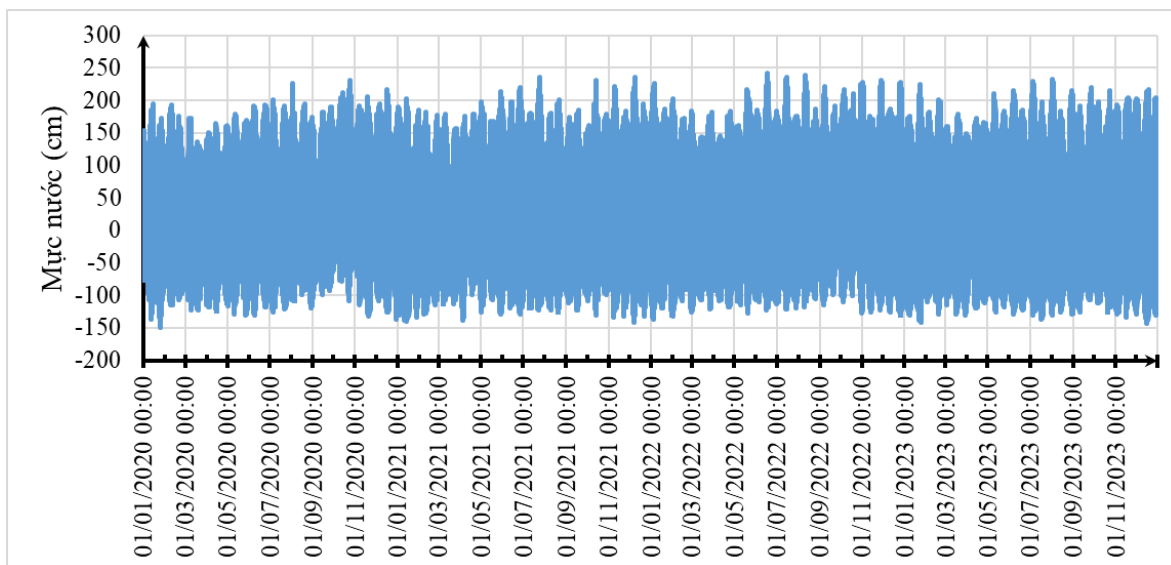
Dữ liệu thủy văn được lấy từ các trạm Thủy văn cố định thuộc Bộ Nông nghiệp và Môi trường. Đối với khu vực nghiên cứu, nghiên cứu sinh tiến hành thu thập số liệu từ trạm Cửa Cấm và trạm Do Nghi với thông tin trạm (Bảng 2.2) và dữ liệu thu thập từ trạm như sau (Hình 2.10 và Hình 2.11).

Bảng 2.2. Thông tin về trạm thủy văn

TT	Khu vực, tỉnh và tên trạm	Vị trí				
		Địa danh	Lưu vực sông	Sông	Kinh độ (°E)	Vĩ độ (°N)
1	Cửa Cấm	P Hùng Vương, quận Hồng Bàng, Tp. Hải Phòng	Thái Bình	Kinh Thầy	106° 50'	20° 46'
2	Do Nghi	Tam Hưng, Thủy Nguyên, Tp. Hải Phòng	Thái Bình	Bạch Đằng	106° 33'	20° 56'



Hình 2.10. Biến trình mực nước trạm Thủy văn Cửa Cấm giai đoạn từ tháng 1/2020 đến tháng 12/2023

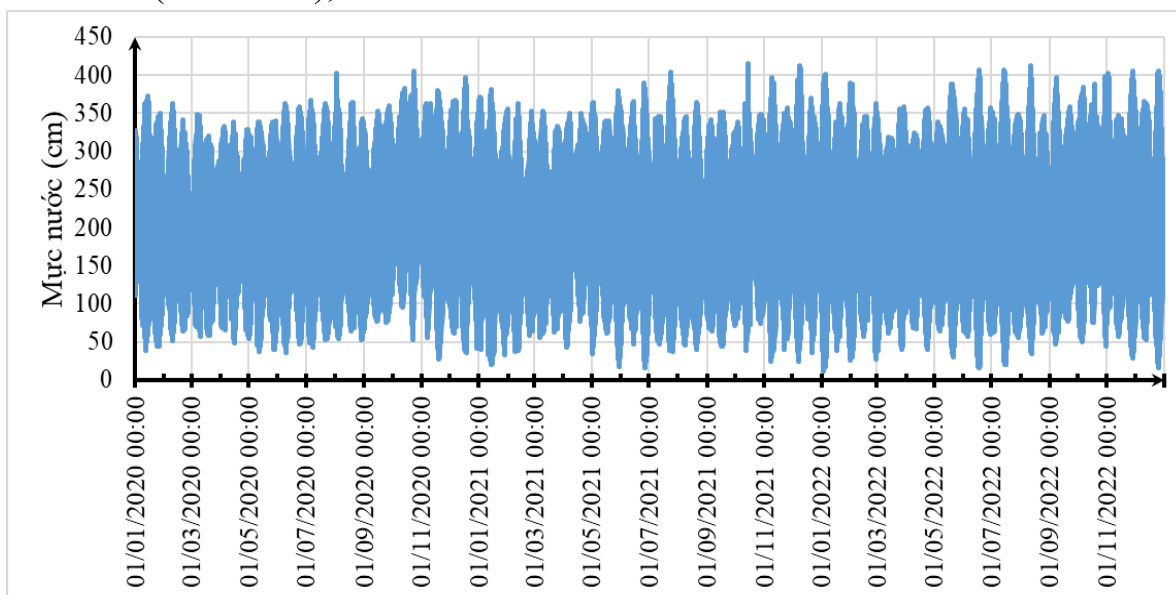


Hình 2.11. Biến trình mực nước trạm Thủy văn Do Nghi giai đoạn từ tháng 1/2020 đến tháng 12/2023

2.2.4 Cơ sở dữ liệu hải văn

Dữ liệu Hải văn được lấy từ trạm Hải văn cố định thuộc Bộ Nông nghiệp và Môi trường và các trạm đo liên tục từ các đề tài dự án:

- Trạm Hải văn cố định mà nghiên cứu sinh tiến hành lấy dữ liệu là trạm Hòn Dấu (Hình 2.12);

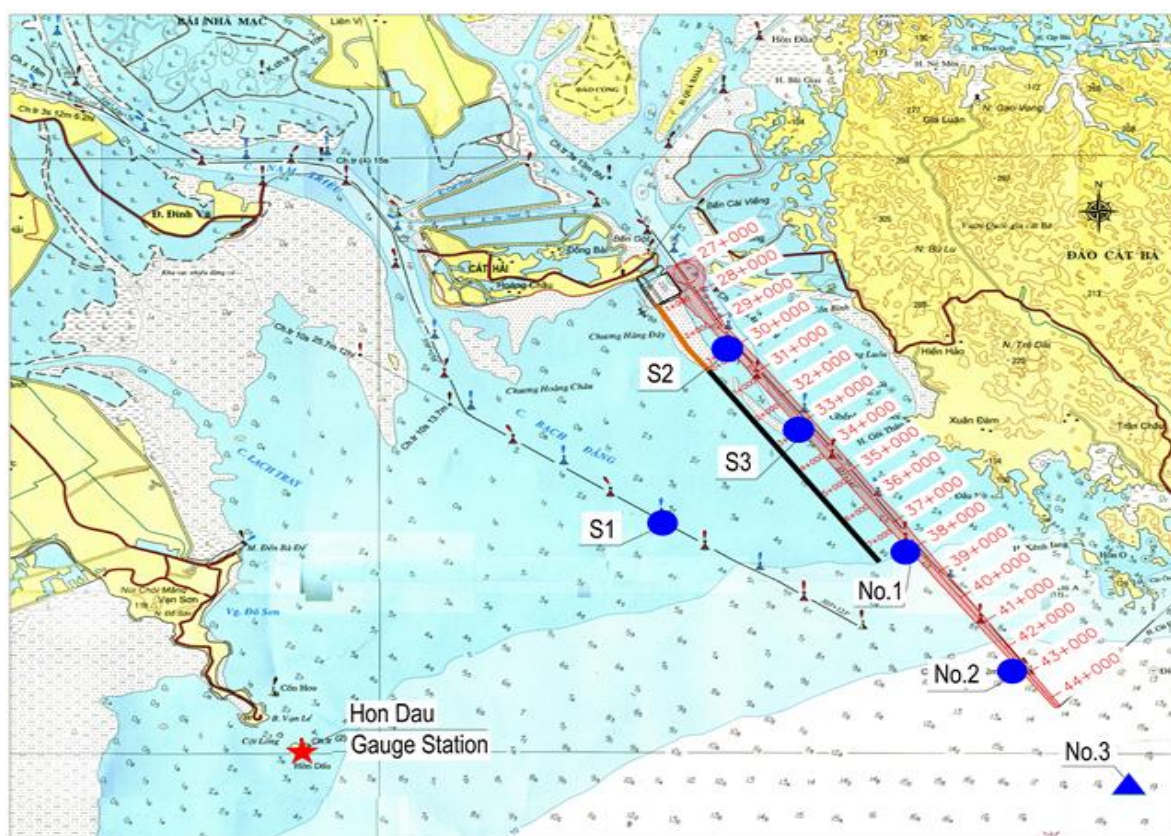


Hình 2.12. Biến trình mực nước trạm Hải văn Hòn Dấu giai đoạn từ tháng 1/2020 đến tháng 12/2022

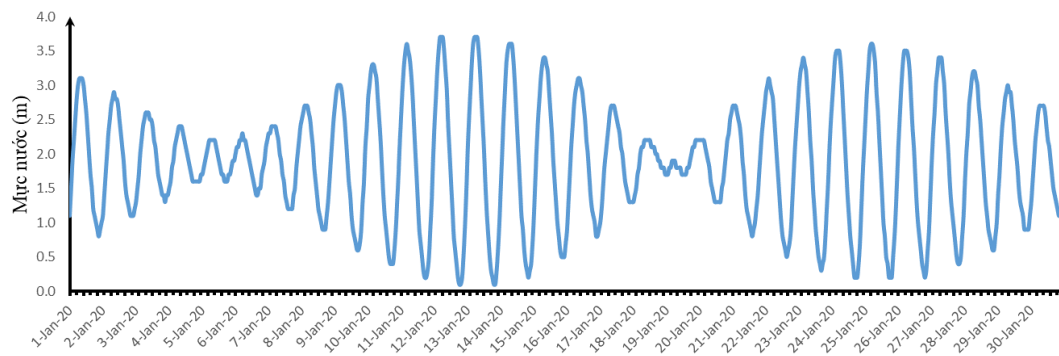
- Trạm đo liên tục tại một số vị trí thời kỳ tháng 1 năm 2020 (Bảng 2.3 và Hình 2.13) được kế thừa từ các đề tài, dự án nghiên cứu [84].

Bảng 2.3. Thông tin về một số trạm liên tục

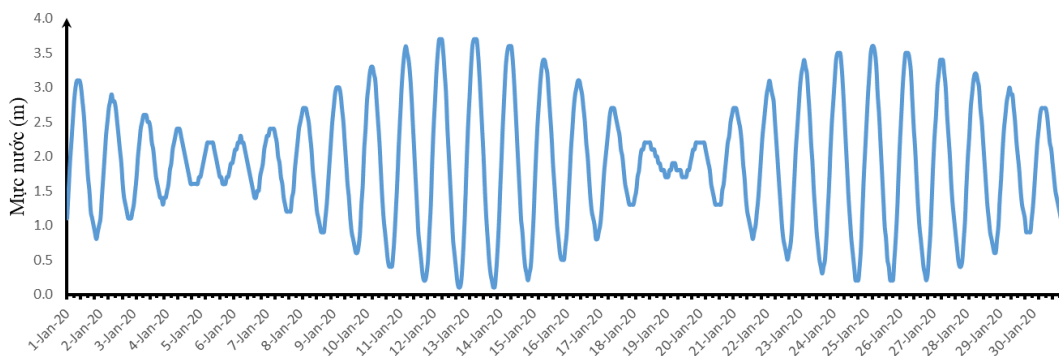
Số vị trí	ID	Tọa độ (VN2000)	
		Y (m)	X (m)
01 điểm tại luồng Nam Triệu	S1	2293521,33	620027,75
02 điểm dọc theo luồng Lạch Huyện	S2	2299067,00	621746,59
	S3	2296493,71	623642,87
02 điểm dọc theo luồng Lạch Huyện	No.1	2292591,00	626477,00
	No.2	2289522,00	628931,00
01 điểm ngoài khơi phía luồng Lạch Tray	No.3	2285121,00	632398,00



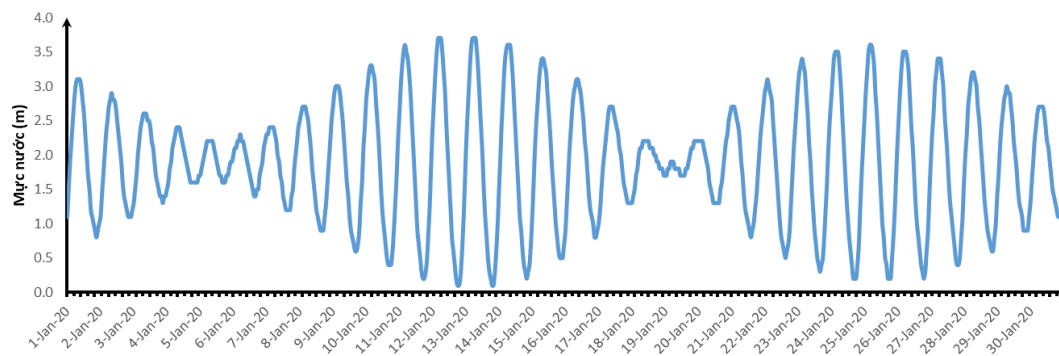
Hình 2.13. Sơ đồ vị trí các trạm đo liên tục giai đoạn tháng 1/2020



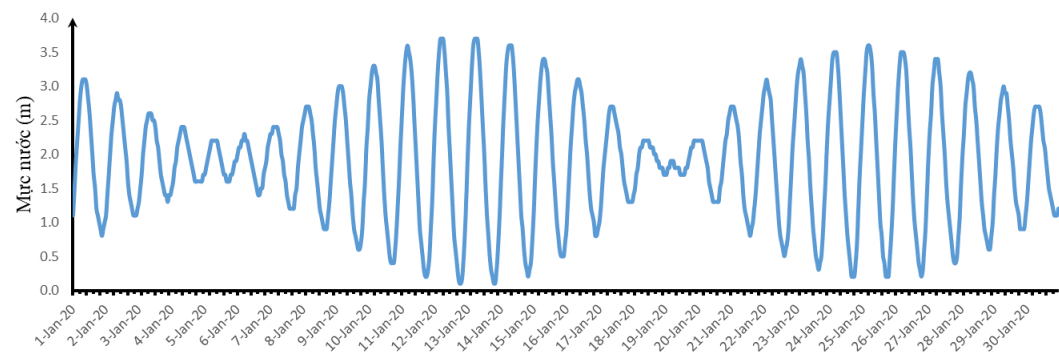
Hình 2.14. Biến trình mực nước trạm S1 giai đoạn tháng 1/2020



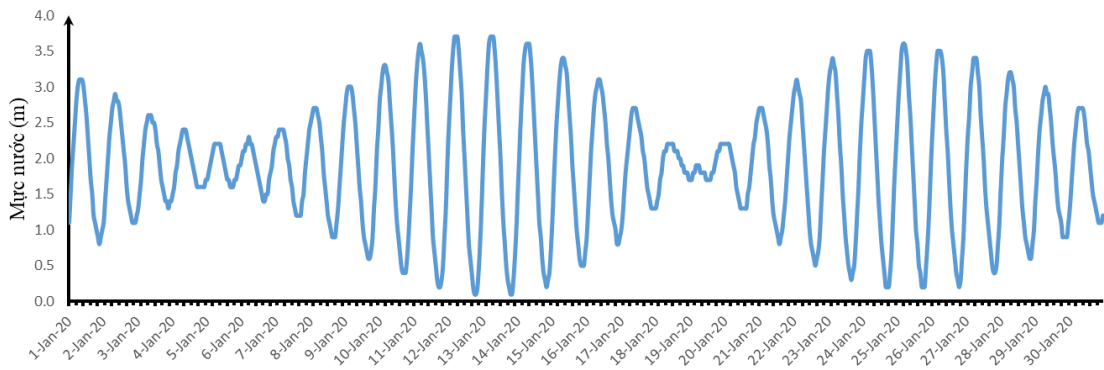
Hình 2.15. Biến trình mực nước trạm S2 giai đoạn tháng 1/2020



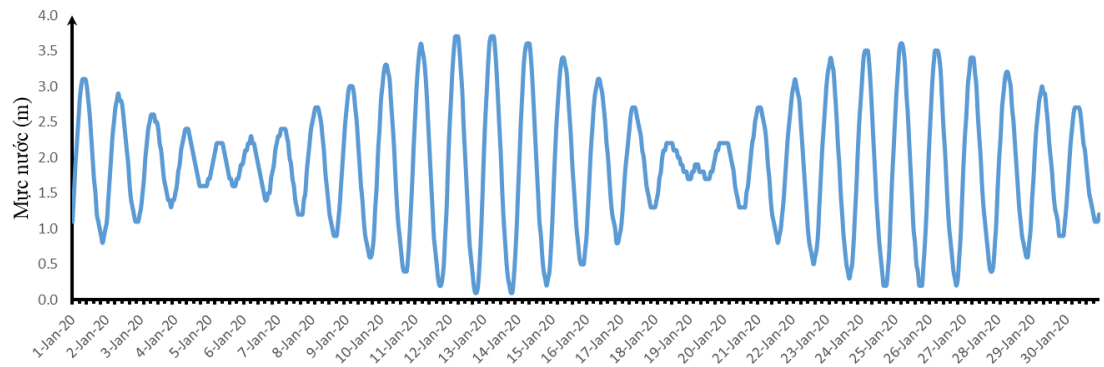
Hình 2.16. Biến trình mực nước trạm S3 giai đoạn tháng 1/2020



Hình 2.17. Biến trình mực nước trạm No.1 giai đoạn tháng 1/2020



Hình 2.18. Biến trình mực nước trạm No.2 giai đoạn tháng 1/2020



Hình 2.19. Biến trình mực nước trạm No.3 giai đoạn tháng 1/2020

2.2.5 Dữ liệu về sự cố tràn dầu

Theo Hiệp hội các chủ hàng chở dầu quốc tế, trong số 39 quốc gia được thống kê, Việt Nam là một trong 3 quốc gia (cùng với Trung Quốc và Hoa Kỳ) có số lượng sự cố tràn dầu nhiều nhất với số lượng từ 10 sự cố trở lên, trong giai đoạn từ năm 2005 đến năm 2014.

Cũng theo Hội bảo vệ thiên nhiên và Môi trường Việt Nam, từ năm 1992 đến 2019, có 190 sự cố tràn dầu xảy ra tại Việt Nam. Trong đó có 37 vụ ngoài khơi chiếm 19%, 88 vụ ven bờ chiếm 47% và 65 vụ trên đất liền chiếm 34%. Sự cố tràn dầu ven bờ xảy ra nhiều nhất (47%) do rủi ro ở khu vực này cao hơn, mật độ lưu thông các tàu thuyền lớn, nguy cơ tàu va đâm nhau, hay tàu va đâm vào cầu cảng, bị mắc cạn cao hơn rất nhiều so với trên biển [85].

Ngoài ra, theo thống kê của Tổng cục Biển và Hải đảo Việt Nam (nay là Cục Biển và Hải đảo Việt Nam), từ năm 2018 đến 2023, trung bình mỗi năm có khoảng 3-5 sự cố tràn dầu bao gồm cả xác định được và không xác định được nguyên nhân [86]. Trong giai đoạn này, đã xảy ra 12 vụ tràn dầu trên biển, trong đó có 3 vụ xảy ra tại Hải Phòng với chi tiết được trình bày tại Phụ lục I.

Bên cạnh đó, thông qua các thống kê và các phương tiện khác đưa tin đã ghi nhận thấy có một số tai nạn xảy ra tại khu vực duyên hải và vùng biển Việt Nam thời gian gần đây tiềm ẩn các nguy cơ xảy ra sự cố tràn dầu như: Vụ Tàu Hà An 01 gặp tai nạn bị chìm trên vùng biển Thái Bình vào tháng 9/2022 với hơn 1.000 tấn dầu DO trên tàu; Vụ tàu Hoàng Gia 46 ngang qua vùng biển Sa Huỳnh thì va vào đá ngầm làm tàu bị thùng đáy trôi dạt vào bờ biển, khi xảy ra tai nạn trên tàu có khoảng 8.000 lít dầu;... Mặt khác, còn nhiều trường hợp phát hiện thấy các dấu vết của dầu tràn trôi dạt vào bờ biển mà không xác định được thời gian và nguồn gây ô nhiễm. Tại Hải Phòng, thời gian gần đây cũng đã xảy ra một số một số sự cố tràn dầu làm ảnh hưởng lớn đến kinh tế, xã hội và môi trường, như: vụ tàu Mỹ Đình chứa khoảng 200 tấn dầu DO, FO ngày 20/12/2004 (cách đảo Long Châu 5,5 hải lý về phía Tây Bắc) bị đâm vào đá ngầm, chỉ xử lý được khoảng 65 tấn, số dầu còn lại tràn ra biển; Hay vụ tràn dầu khoảng 300 tấn tại lạch sông cửa cống Máy Điện, quận Ngô Quyền ngày 20/11/2014 do bị vỡ đường dẫn dầu của Công ty hóa chất Sofl-SCC [87]. Và gần đây nhất là vụ tràn dầu chưa rõ nguyên nhân tại khu vực bến phà Gót và Cảng quốc tế Lạch Huyện HICT xảy ra ngày 26/2/2023, với vết dầu được xác định có chiều rộng từ 1 đến 3 mét, chiều dài khoảng 300 mét dọc theo bờ biển [88].

Căn cứ vào hoạt động thực tế ở khu vực ngoài khơi, phụ cận và số liệu thống kê thực tế từ nhiều năm qua của đơn vị chức năng cho thấy nguy cơ tiềm

ẩn gây sự cố tràn dầu trên địa bàn thành phố xuất phát từ 6 nhóm nguyên nhân chính, gồm: hoạt động hàng hải, đường thủy nội địa; tàng trữ, vận chuyển và phân phối xăng dầu ven biển; khu neo đậu tránh trú bão cho tàu cá; hoạt động thăm dò khai thác dầu khí; các hoạt động xây dựng cảng biển, khai thác khoáng sản biển, san lấp mặt bằng lấn biển và dầu trôi vào từ các nguồn khác không rõ nguyên nhân (khu vực biển lân cận và ngoài hải phận Việt Nam);

Với hoạt động vận tải sôi động, các tuyến đường biển nối các cảng của Hải Phòng đi các tỉnh trong nước, quốc tế chuyên chở hành khách, hải sản, thương phẩm, nhiên liệu và các tuyến vận tải đường sông trong lưu vực các sông: Bạch Đằng, Lạch Tray, Văn Úc, Cấm,... luôn tiềm ẩn nguy cơ sự cố tràn dầu do đâm va, mắc cạn;

Ngoài ra, với vai trò là 1 trong 5 trung tâm nghề cá lớn của cả nước, với lưu lượng hoạt động của tàu thuyền khai thác thủy sản, neo đậu tại các bến cá lớn như thời gian qua và sự phát triển mạnh của ngành du lịch biển cũng được đánh giá là một trong những nguy cơ gây ra sự cố tràn dầu, gây ô nhiễm môi trường biển;

Đặc biệt, 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, Hải Phòng có các khu vực kho tồn chứa khối lượng xăng dầu lớn và thường xuyên có các tuyến tàu vận chuyển xăng dầu ra, vào kho cảng. Do đó, nguy cơ xảy ra cháy nổ, sự cố tràn dầu do vỡ đường ống vận chuyển hoặc va chạm giữa các tàu chở dầu trong quá trình vận chuyển trên vùng biển của Hải Phòng là rất lớn.

Nguồn dầu tràn thường là dầu DO, FO có thể gây tác động nghiêm trọng đến các hệ sinh thái ven bờ và tài sản của cộng đồng, cùng với đó là nguy cơ cháy nổ cao, do đó đặt ra nhu cầu bức thiết cần phải có kế hoạch phòng ngừa, kịp thời ứng cứu khi sự cố tràn dầu xảy ra.

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. Cấu trúc mô hình sử dụng lưới phần tử hữu hạn phi cấu trúc (Flexible Mesh), phù hợp với địa hình phức tạp như cửa sông, bãi triều và vùng biển có nhiều đảo.

Phần mô phỏng truyền tải dầu sử dụng phương pháp tiếp cận Lagrange, trong đó vật chất được chia nhỏ thành các hạt rời rạc mang theo thông tin trạng thái hóa – lý và được cập nhật vị trí theo các tác động từ dòng chảy, gió và các yếu tố môi trường khác. 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 trong môi trường biển động.

Luận án cũng đã làm rõ nguyên tắc xây dựng thuật toán mô phỏng, cấu trúc chương trình tính toán và các yếu tố cần thiết cho quá trình nội suy dữ liệu từ lưới thủy động lực sang vị trí các hạt. 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. Cuối cùng, chương này 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 và thống kê thực tế các sự cố tràn dầu tại khu vực nghiên cứu.

Những nội dung này là tiền đề quan trọng cho quá trình xây dựng mô hình, hiệu chỉnh, kiểm định và phân tích kết quả mô phỏng ở các chương tiếp theo.

CHƯƠNG 3

THỰC HIỆN 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 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 [82].

- Cơ sở dữ liệu GEBCO của Trung tâm tư liệu Hải dương học Vương quốc Anh (British Oceanographic Data Centre) [89].

- 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.

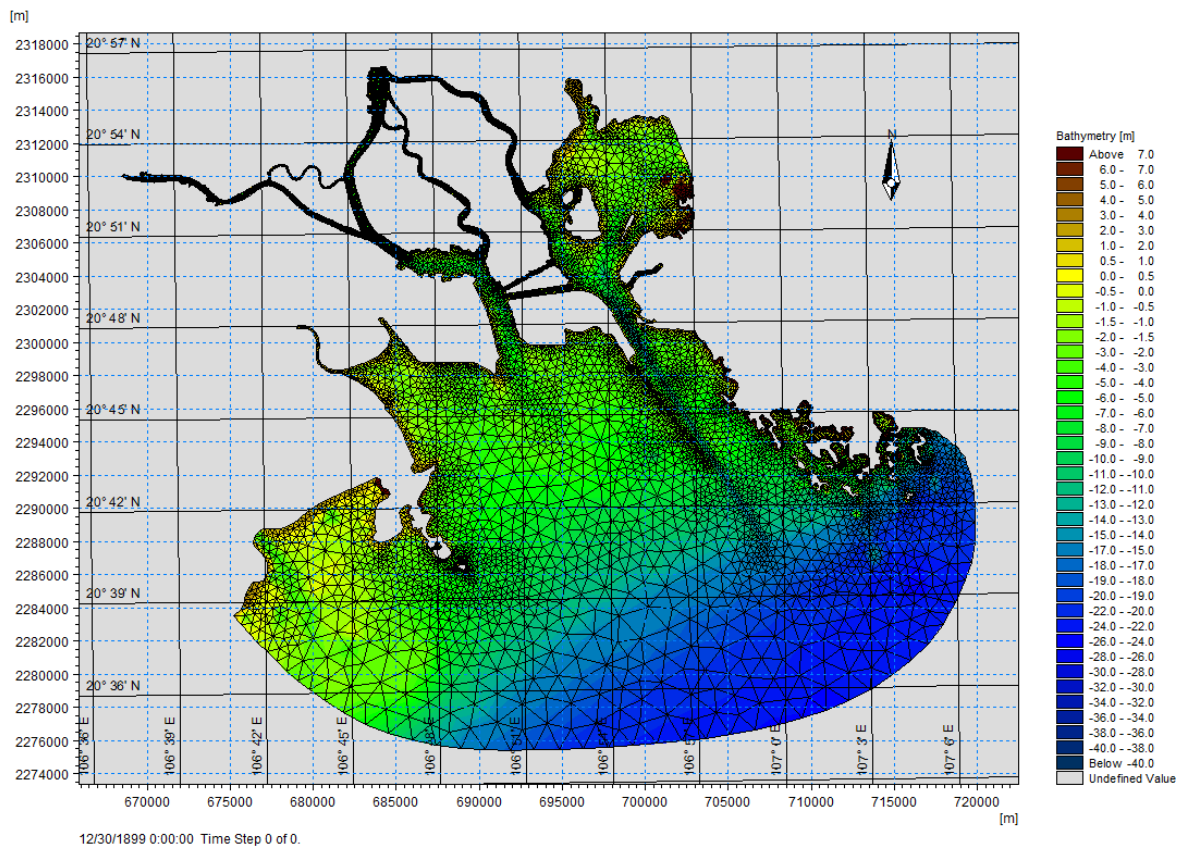
3.2 Xây dựng miền tính toán và các điều kiện ban đầu cho mô hình thủy động lực

3.2.1 Miền tính, lưới tính và địa hình

Dữ liệu khí tượng, thủy văn và hải văn được thực hiện trong luận án này gồm có trạm Khí tượng – Hải văn Hòn Dấu, trạm Thủy văn Do Nghi, trạm thủy văn Cửa Cấm có định thuộc Bộ Nông nghiệp và Môi trường và nguồn số liệu tái phân tích toàn cầu từ Internet của quốc tế.

Tạo lưới tính toán là một bước rất quan trọng trong mô hình tính toán và dự báo thủy triều. Miền tính toán đặt ra trong mô hình là khu vực vùng biển Hải Phòng được giới hạn bởi kinh độ là $106^{\circ}37.2' E$ và $107^{\circ}06.6' E$, vĩ độ giới

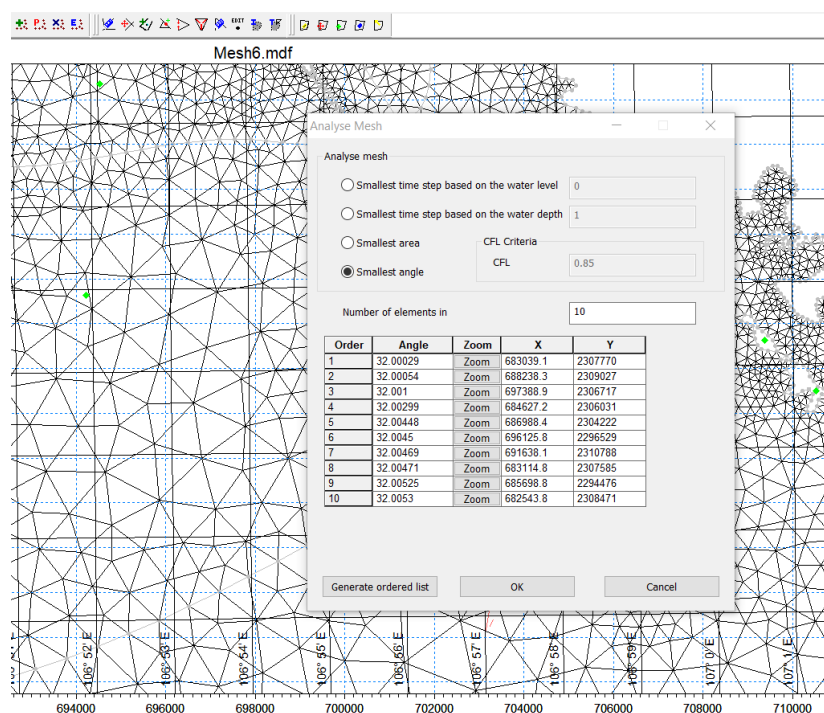
hạn là $20^{\circ}34.1' \text{ N}$ và $20^{\circ}56.4' \text{ N}$ trong hệ thống trắc đạc UTM-48. Lưới tính toán là lưới tam giác phi cấu trúc, trong đó khu vực cửa Cẩm, cửa Do Nghi, các khu vực cảng Hải Phòng là khu vực có nguy cơ cao xảy ra sự cố tràn dầu sẽ được tạo lưới chi tiết hơn với diện tích tối đa của mỗi ô là 1.5 km^2 cho toàn miền. Vùng nghiên cứu bao gồm 14.522 nút và 24.851 phần tử, trong đó góc nhỏ nhất cho phép là 32° như Hình 3.1.



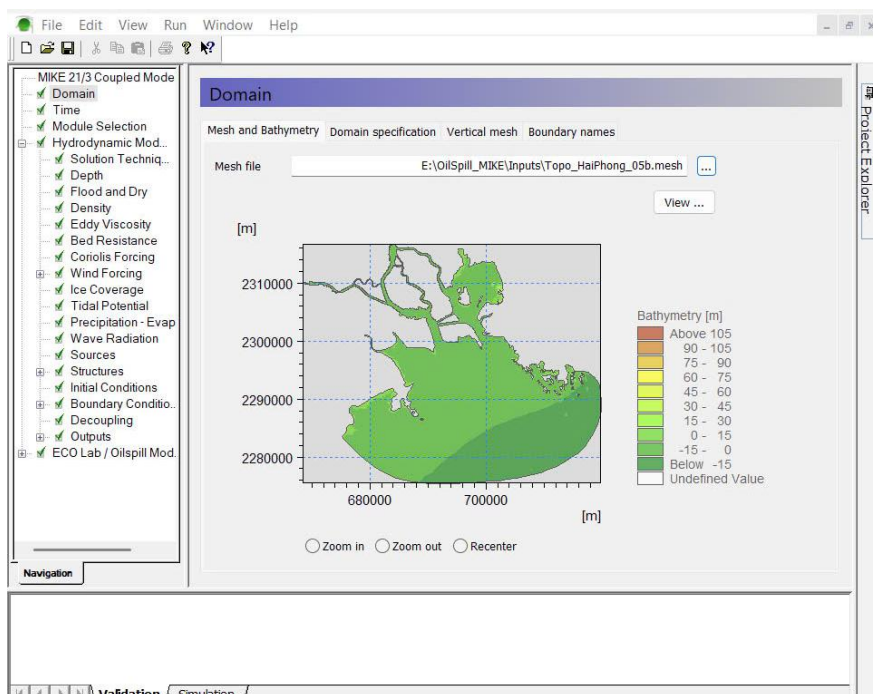
Hình 3.1. Miền tính và lưới tính

Để tạo lưới cho mô hình thủy động lực (Hydrodynamics), thì lưới cần phải được làm mịn nhiều lần sau khi tạo và trước khi nội suy phép đo độ sâu. Quá trình làm mịn (mesh smoothing) sẽ thay đổi vị trí của các điểm nút của lưới đã tạo, để các phần tử không bị méo (skewed), không quá nhọn hoặc quá dẹt [90]. Trong ví dụ được hiển thị trong Hình 3.2, việc làm mịn 20 lần sẽ tạo ra góc tối

thiểu nhỏ hơn, nhưng về tổng thể thì giá trị góc của các phần tử sẽ lớn hơn. Việc làm mịn chỉ diễn ra nếu lưới mới tổng thể tốt hơn lưới ban đầu.



Hình 3.2. Lưới được tạo ra sau khi làm mịn 20 lần

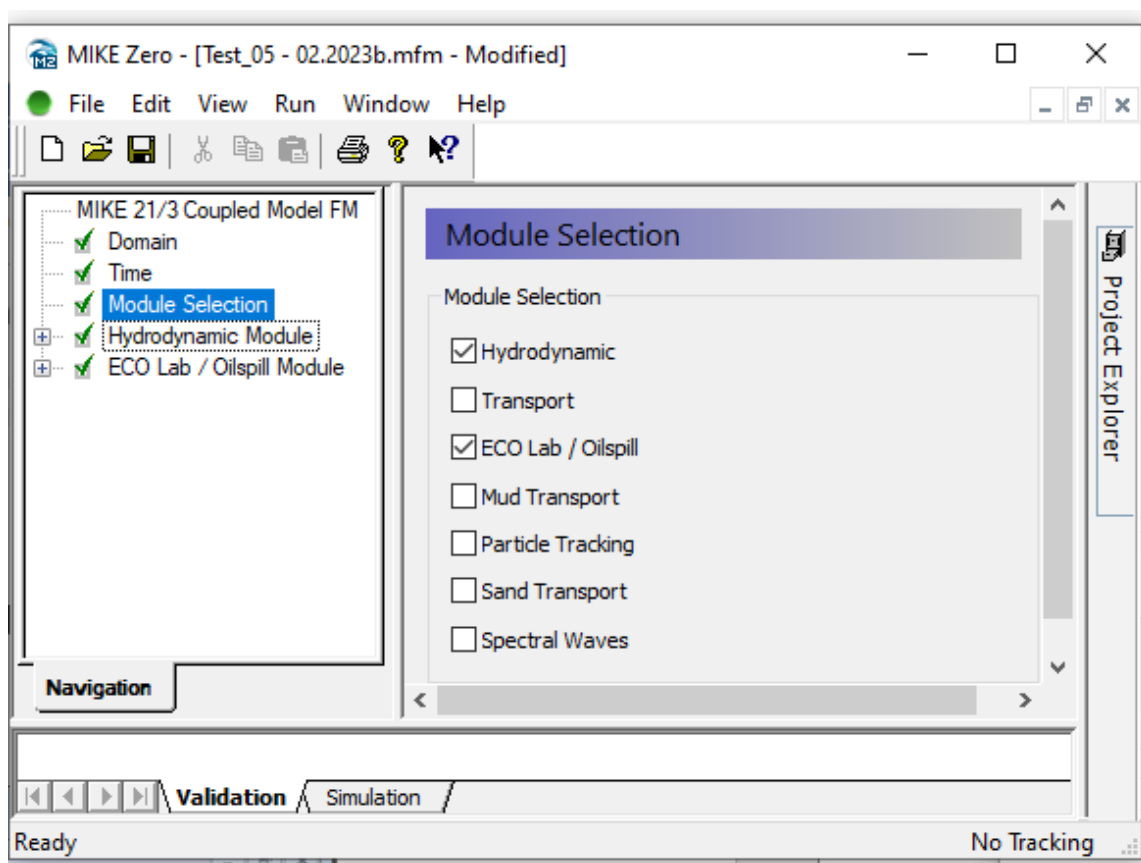


Hình 3.3. Thiết lập các điều kiện ban đầu cho khu vực mô phỏng

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

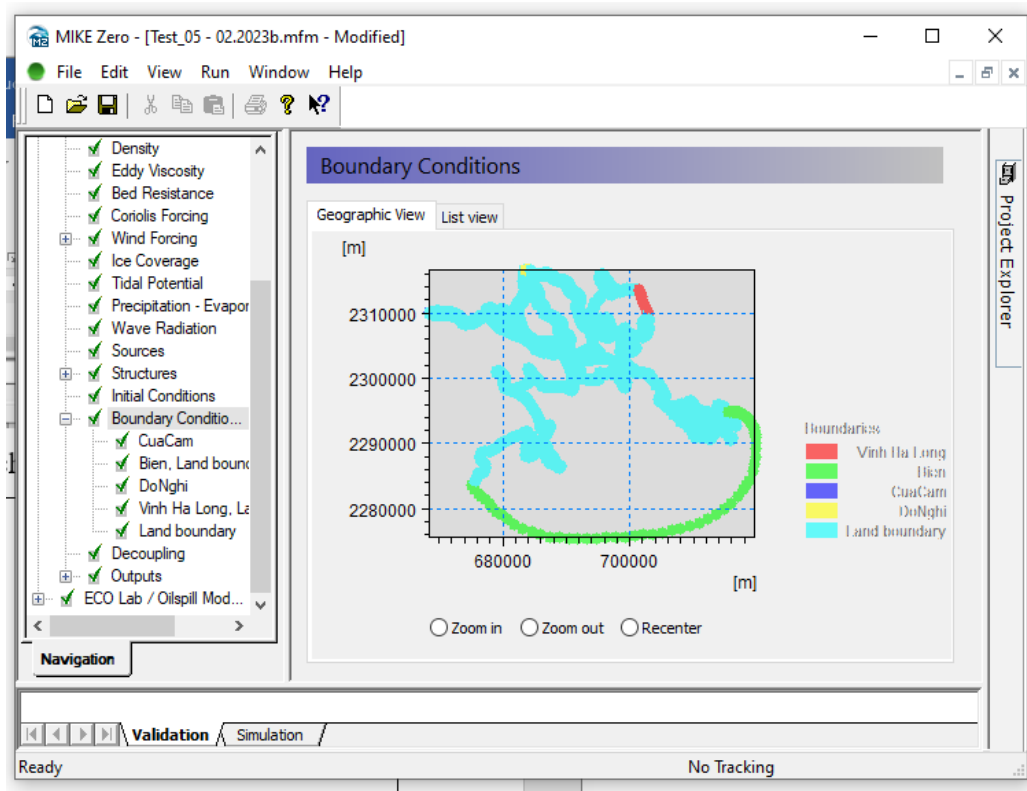
3.2.2.1 Điều kiện tính toán mô phỏng

Chương trình lựa chọn mô hình tích hợp MIKE 21/3 Coupled FM với 2 mô-đun là mô-đun thủy lực Hydrodynamics và mô-đun tính toán tràn dầu ECO Lab/ Oilspill như hình dưới.

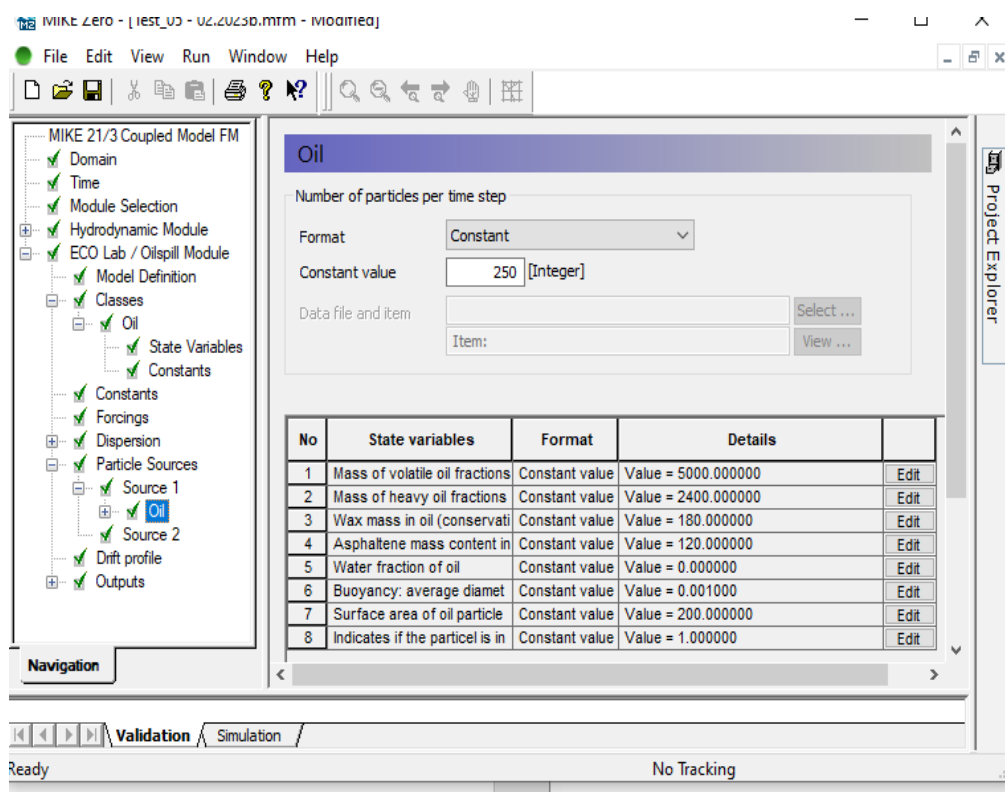


Hình 3.4. Lựa chọn các mô-đun để tính toán

Chương trình tính toán với 2 biên nước là Cửa Cấm và Do Nghi, biên bờ. biên biển và vịnh Hạ Long.



Hình 3.5. Lựa chọn các điều kiện tính toán cho mô-đun thủy động lực

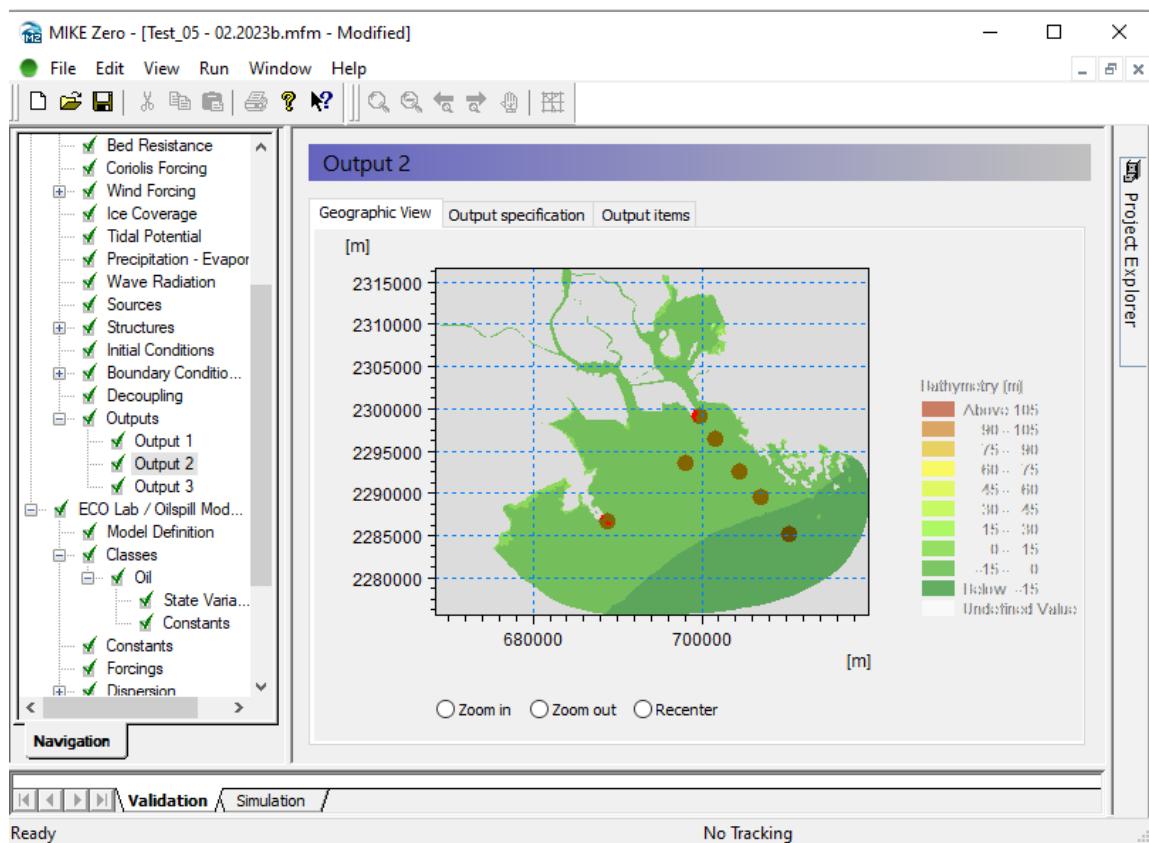


Hình 3.6. Lựa chọn các điều kiện tính toán cho mô-đun tràn dầu

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 toạ độ theo vị trí X,Y trong hệ tọa độ VN2000.

Bảng 3.1. Thông tin về vị trí trích xuất dữ liệu thủy động lực

TT	Vị trí theo VN2000		Ký hiệu
	X(m)	Y(m)	Tên trạm
1	688800,00	2286700,00	HonDau
2	698027,75	2293521,33	S1
3	699746,59	2299067,00	S2
4	701642,87	2296493,71	S3
5	704477,00	2292591,00	N1
6	706931,00	2289522,00	N2
7	710398,00	2285121,00	N3



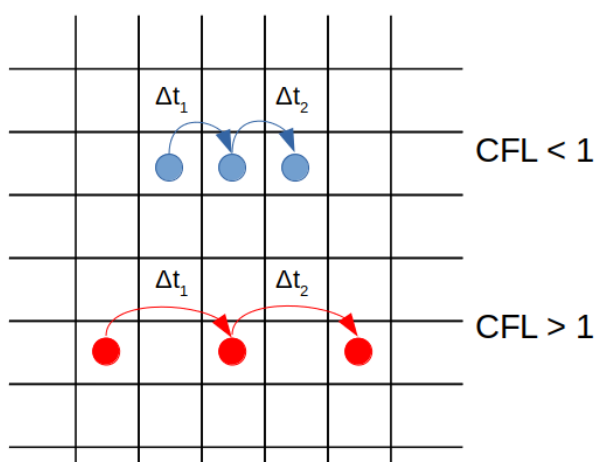
Hình 3.7. Sơ đồ về vị trí trích xuất dữ liệu thủy động lực

3.2.2.2 Điều kiện ban đầu

Chương trình tính dựa trên cơ sở miền tính, lưới tính và đặc điểm địa hình để lựa chọn bước thời gian tính toán ban đầu phù hợp. Trong mô hình, nghiên cứu sinh lựa chọn bước thời gian là 30 giây với 46.080 bước trong vòng 15 ngày như Bảng 3.2. Đối với điều kiện lựa chọn độ hội tụ $CFL = 0.85$ cũng hoàn toàn phù hợp với điều kiện tính toán. Số Courant cho chúng ta biết thông tin di chuyển nhanh như thế nào qua ô lưới. Nếu điều kiện $CFL > 1$ tức là thông tin lan truyền trong một bước thời gian duy nhất, có thể nhảy qua một vài ô do đó, bị mất thông tin và có thể tạo ra các lỗi, dẫn đến mất ổn định của mô hình. Do đó, việc lựa chọn số Courant rất quan trọng vì nó dẫn trực tiếp đến kích thước của bước thời gian. Kích thước bước thời gian có hai ý nghĩa chính: ý nghĩa đầu tiên là tính ổn định của sơ đồ rời rạc thời gian, ý nghĩa thứ hai liên quan đến ý nghĩa vật lý của bước thời gian. Như vậy, để phù hợp thì cần lựa chọn điều kiện hội tụ $CFL < 1$ như trong Bảng 3.3.

Bảng 3.2. Thông tin lựa chọn tính toán mô phỏng

TT	Nội dung / Yếu tố	Tham số
<i>I</i>	<i>Thông tin thời gian mô phỏng</i>	
I.1	Số bước thời gian	46080
I.2	Bước thời gian	30 giây
I.3	Thời gian bắt đầu	Trong vòng 15 ngày (01/2022, 07/2022, 02/2023)
I.4	Thời gian kết thúc	
<i>II</i>	<i>Các mô hình được lựa chọn mô phỏng</i>	
II.1	Mô hình thủy động lực	
II.3	Mô hình truyền tải dầu tràn	



Hình 3.8. Nguyên lý xác định điều kiện hội tụ

Bảng 3.3. Thông tin lựa chọn của mô hình thủy động lực

TT	Nội dung	Yếu tố	Tham số
1	Giải pháp công nghệ	Phương trình nước nông	- Theo thời gian là tính toán bậc cao; - Theo không gian là tính toán bậc cao; - Bước thời gian nhỏ nhất là 0,01s; - Bước thời gian lớn nhất là 30,0s; - Điều kiện hội tụ (CFL) là 0,85.
		Phương trình truyền tải khuếch tán	- Bước thời gian nhỏ nhất là 0,01s; - Bước thời gian lớn nhất là 30,0s; - Điều kiện hội tụ (CFL) là 0,85.
2	Điều kiện tiêu chuẩn khô và ướt		- Độ sâu khô là 0,005m; - Độ sâu ngập là 0,010m; - Độ sâu ướt là 0,025m.
3	Nhót rối	Nhót rối ngang	Theo công thức Smagorisky với giá trị hằng số là 0,28
		Tham số rối	- Tham số nhỏ nhất là 1,0e-3 m²/s; - Tham số lớn nhất là 1,0e+10 m²/s
4	Ma sát đáy		Theo số Manning với giá trị hằng số là 31,5 m ^{1/3} /s
5	Lực Coriolis		- Biến đổi theo không gian của miền tính
6	Lực gió bề mặt		- Biến đổi theo thời gian và đồng nhất theo không gian của miền tính; - Hệ số ma sát nhỏ nhất 0,001 với gió nhỏ hơn 2,5m/s; - Hệ số ma sát lớn nhất nhất 0,0032 với gió bằng hoặc lớn hơn 25m/s.
7	Điều kiện ban đầu		- Mực nước là 0,0 m; - Dòng chảy (u, v) là 0,0 m/s.
8	Điều kiện biên	- Biên mực nước ở các biên hở;	- Với biên sông là trạm thủy văn Cửa Cấm và trạm thủy văn Do Nghi;

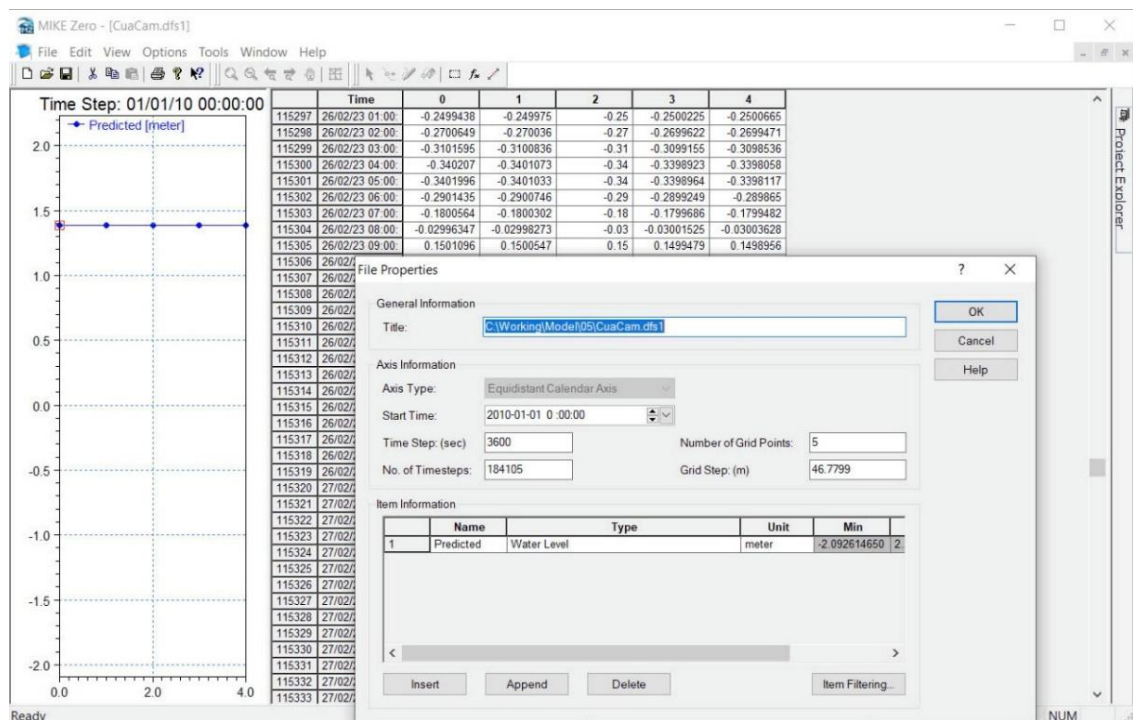
TT	Nội dung	Yếu tố	Tham số
		- Biến đổi ban đầu là 3600s; - Có sự tham gia của lực Coriolis; gió.	- Với biên biển là dự báo mực nước theo hằng số điều hòa của phần mềm MIKE sẵn có.
10	Đầu ra		- Theo số liệu trường từng giờ là mực nước, dòng chảy; - Theo số liệu điểm trạm cụ thể từng giờ là mực nước, dòng chảy.

3.2.3 Điều kiện biên

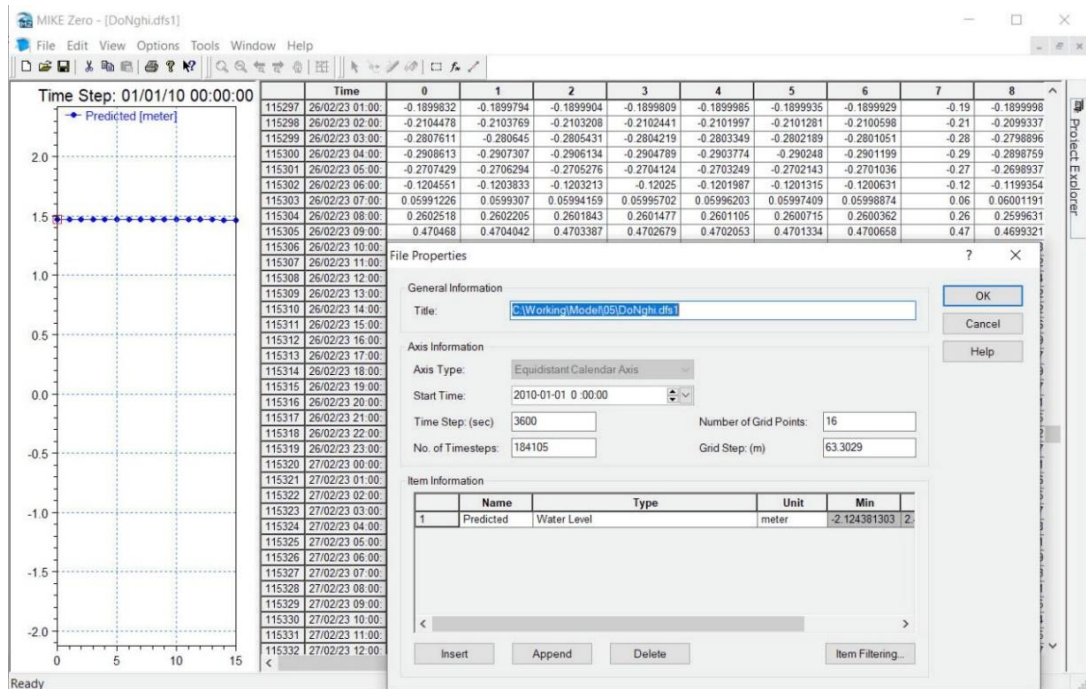
Dữ liệu khí tượng được thực hiện trong luận án này gồm có:

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

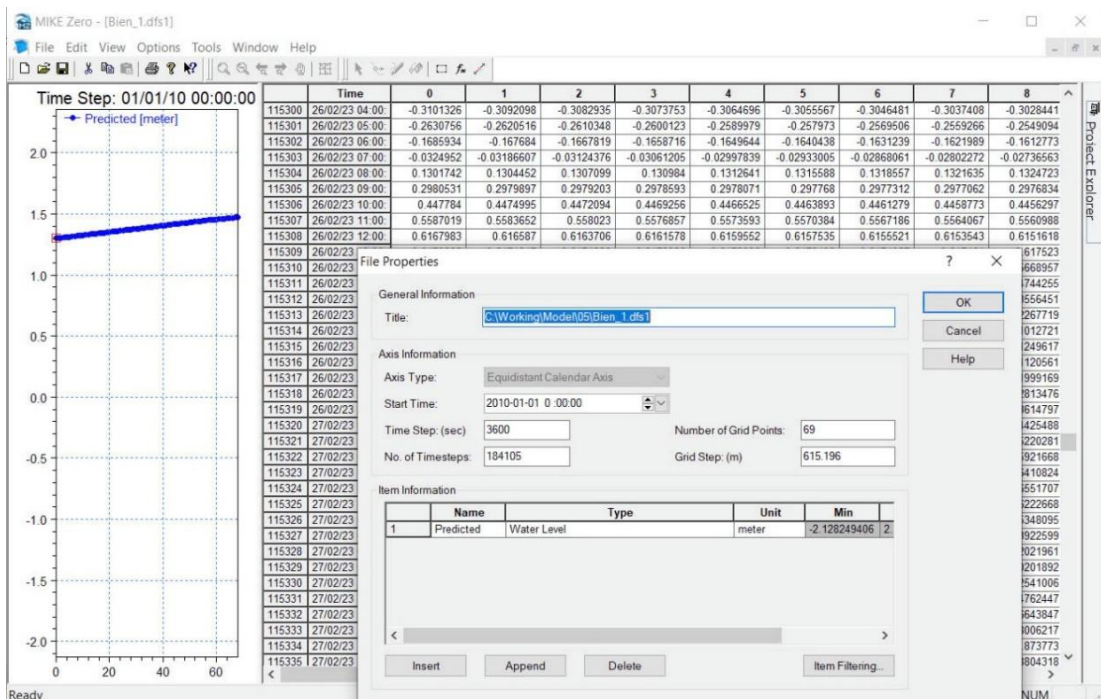
- Số liệu biên sông là sử dụng mực nước tại trạm Cửa Cấm và trạm Do Nghi; số liệu biên biển và vịnh Hạ Long sử dụng số liệu dự tính thủy triều từ mô hình MIKE, cụ thể như trong Hình 3.9.



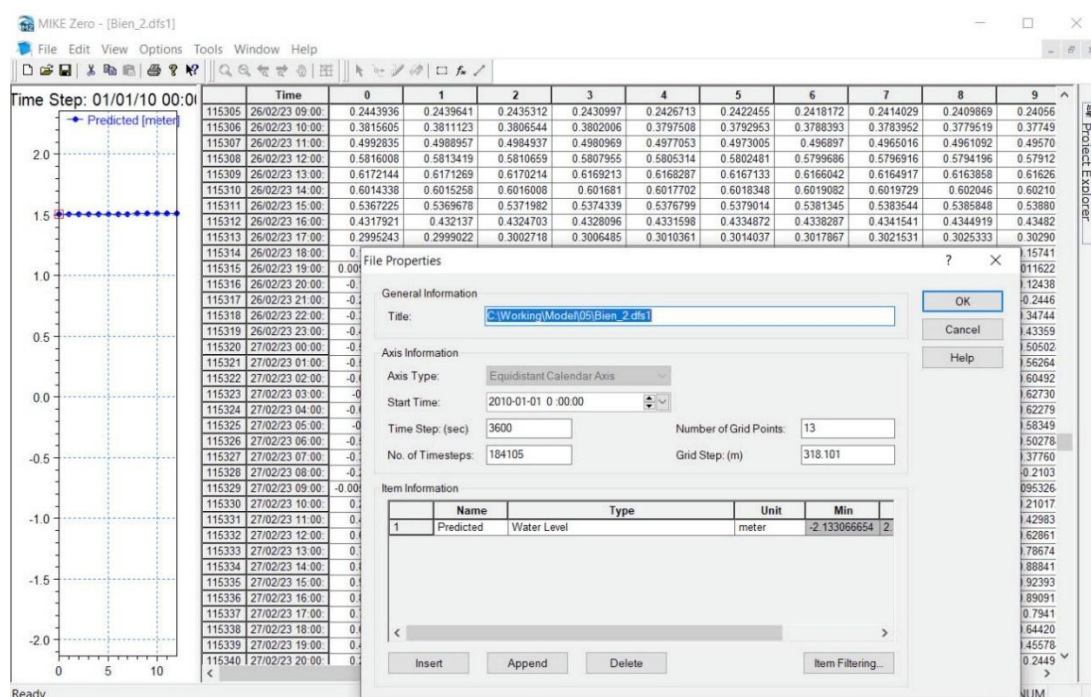
a) Biên Cửa Cấm



b) Biên Do Nghi



c) Biên Biển 1



d) Biên Biển 2

Hình 3.9. Dự đoán thủy triều của MIKE 21 Flow Model FM tại các biên

3.2.4 Điều kiện đầu vào cho dầu tràn

Như vậy có thể lựa chọn được thông tin về tràn dầu phục vụ cho tính toán như sau:

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

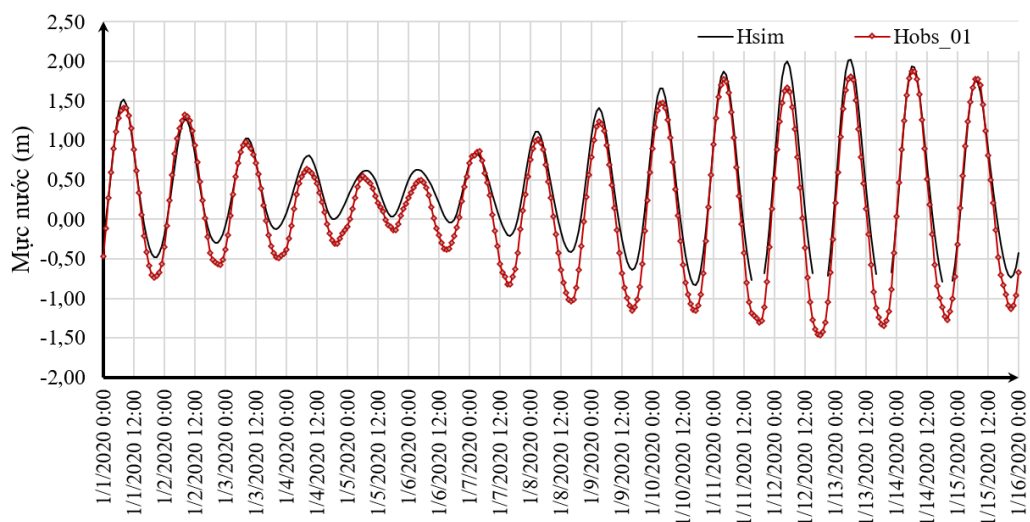
TT	Nội dung	Tham số
1	Các lớp đầu vào	Đã được chuẩn hóa theo mô hình (DHI Oil Weathering Model 2013)
2	Các nguồn tràn dầu	Nguồn 1: Khu vực cửa Lạch Huyện gần bến Gót; Nguồn 2: Khu vực cửa Bạc Đằng.
3	Kiểu nguồn	Nguồn tràn dầu 1 lần ở bước tính đầu tiên
4	Phân tán và khuếch tán	Hệ số khuếch tán ngang 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

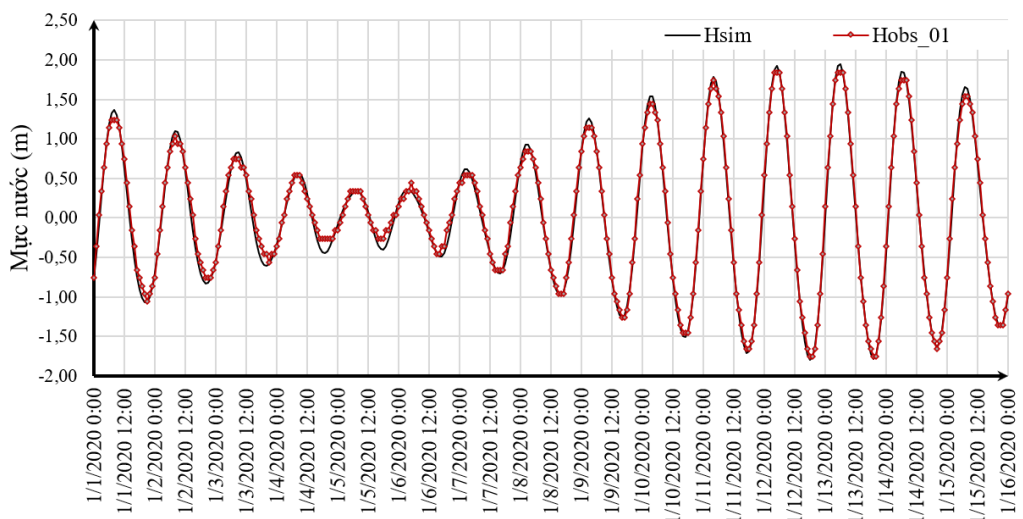
21 Hydrodynamics

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.

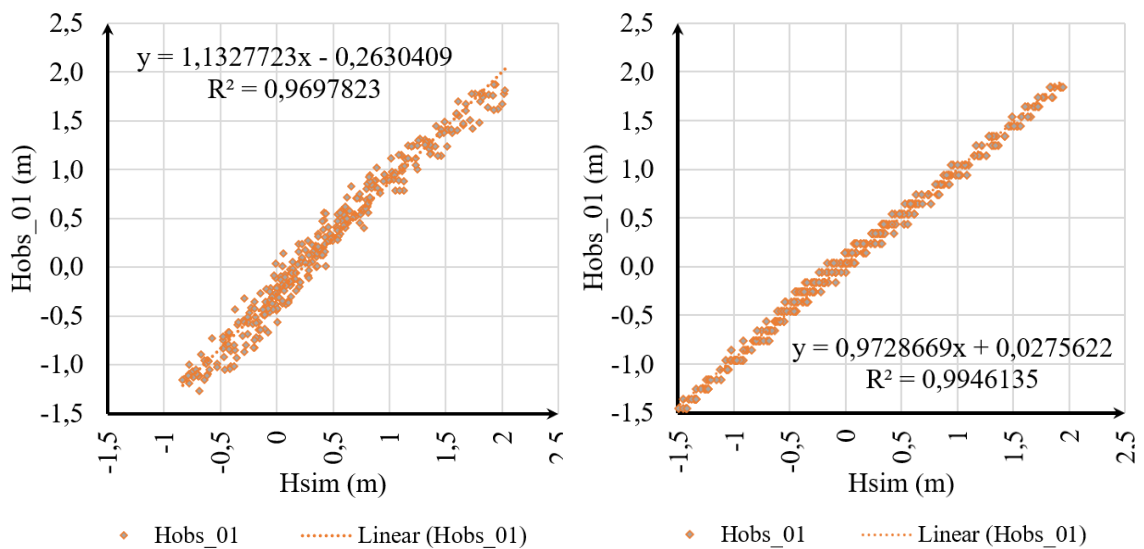


Hình 3.10. Hiệu chỉnh mực nước tại trạm Hòn Dấu từ 01/01/2020 đến 16/01/2020



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

Hình 3.11 biểu thị so sánh tương quan giữa mực nước mô phỏng (Hsim) và mực nước quan trắc theo trạm Quốc Gia (Hobs_01) theo tọa độ x và y, biên độ chênh lệch khoảng 2m, tuy nhiên về độ biến thiên độ lớn thì có sự tương đồng cao. Chỉ số hệ số tương quan đều lớn hơn 0,95 cho thấy kết quả độ chính xác cao. Bảng 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.



a) Trạm Hòn Dấu

b) Trạm liên tục S1

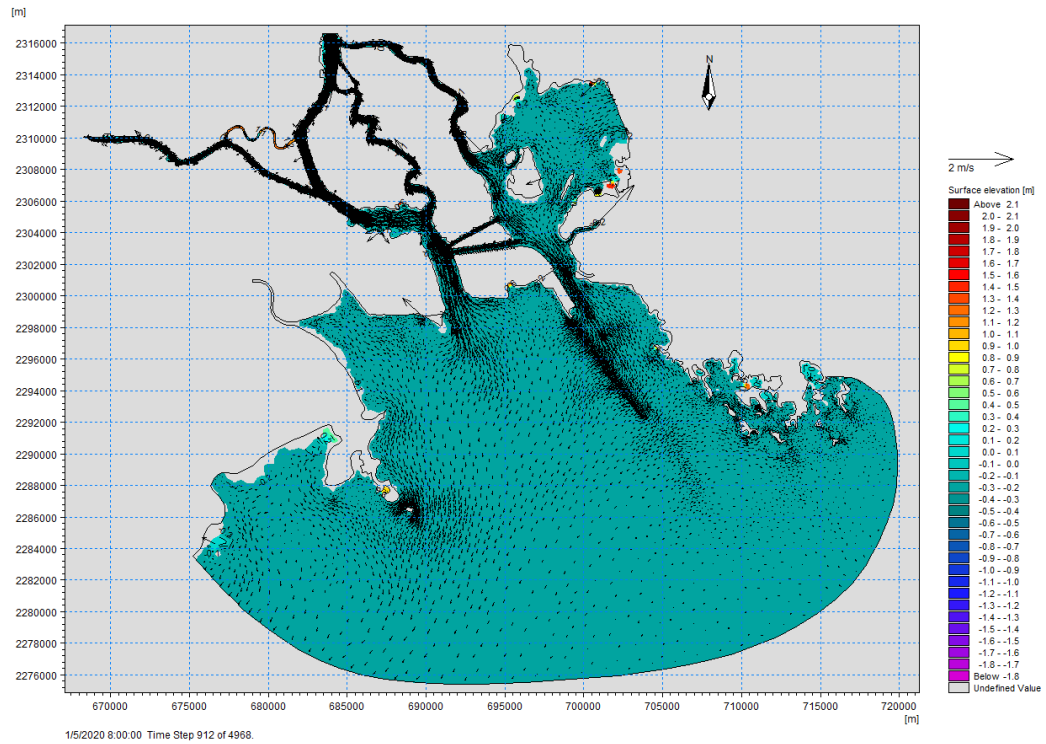
Hình 3.12. Tương quan mực nước giữa thực đo (Hobs_01) và mô phỏng (Hsim) từ 01/01/2020 đến 16/01/2020 (a) trạm Hòn Dấu; (b) trạm liên tục S1

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

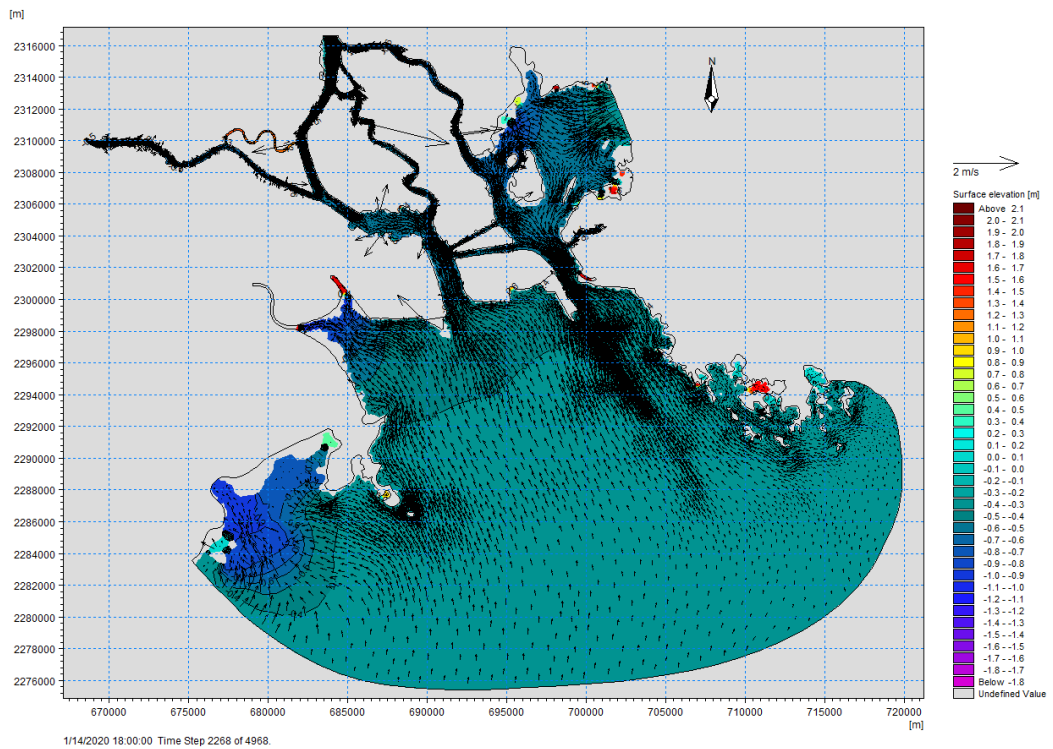
TT	Tên trạm	Mốc cao độ	Trung bình thực đo	Trung bình tính toán	Chỉ số đánh giá			
					R	RMSE	NASH	PBIAS (%)
1	Trạm Hòn Dấu	Hải đồ	2.020	0.437	0.985	1.628	-2.718	79.390
		Quốc gia	0.160		0.985	0.383	0.795	-160.786

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 3.13 và 3.14 thể hiện kết quả mô phỏng thủy động lực tại pha nước lên và nước xuống. Dựa trên kết quả phân tích có thể thấy những khu vực có vận tốc dòng chảy lớn là phía ngoài cửa Nam Triệu, Lạch Tray, khu vực kênh Cái Tráp và cửa Lạch Huyện. Trường dòng chảy vào thời điểm triều cường có giá trị vận tốc khá nhỏ. Hướng dòng chảy biến động theo pha dao động của mực nước với hai hướng chủ đạo: trong kỳ triều cường do sự xâm nhập của các khối nước biển vào phía trong nên dòng chảy có hướng chủ đạo là từ phía ngoài biển vào trong sông; ngược lại trong kỳ triều kiệt, hướng dòng chảy chủ yếu từ phía trong sông ra ngoài biển. Vận tốc dòng chảy cũng có xu hướng tăng dần từ phía ngoài vào trong sông trong kỳ triều cường và giảm dần từ sông ra phía ngoài biển trong kỳ triều kiệt.



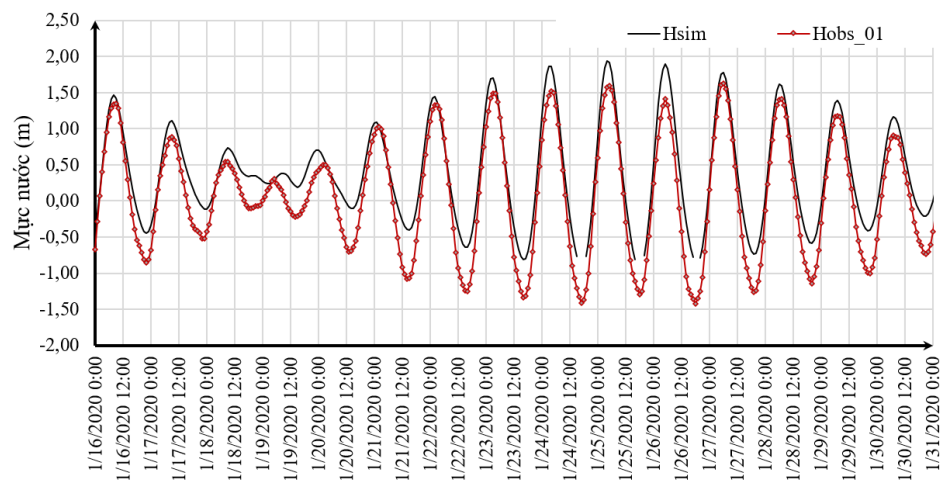
Hình 3.13. Trường động lực thời kỳ triều kiệt lúc 15 giờ ngày 05/01/2020



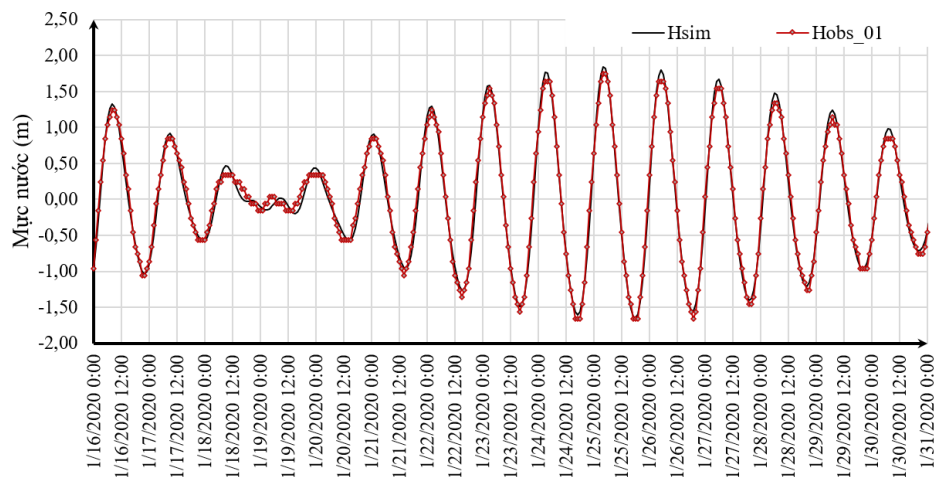
Hình 3.14. Trường động lực thời kỳ triều cường lúc 01 giờ ngày 15/01/2020

3.3.2 Kiểm nghiệm mô hình

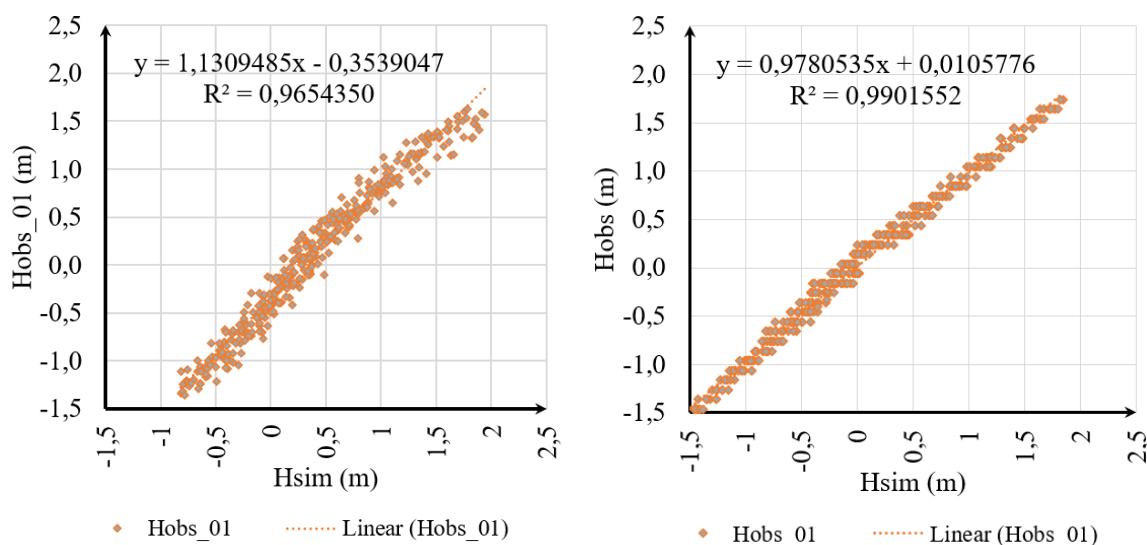
Như các kết quả hiệu chỉnh đánh giá giữa số liệu thực đo quan trắc và số liệu tính toán mô phỏng là khá tốt theo các hệ số R, RMSE, chỉ số NSE và PBIAS. Do đó, nghiên cứu sinh tiến hành kiểm nghiệm mô hình với bộ thông số đã được hiệu chỉnh ở phần trên và cũng thể hiện độ ổn định của mô hình mô phỏng 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. Kiểm nghiệm mực nước tại trạm Hòn Dấu từ 16/01/2020 đến 31/01/2020



Hình 3.16. Kiểm nghiệm mực nước tại trạm liên tục S1 từ 16/01/2020 đến 31/01/2020



a) Trạm Hòn Dấu

b) Trạm liên tục S1

Hình 3.17. Tương quan mực nước giữa thực đo (Hobs_01) và mô phỏng (Hsim) từ 16/01/2020 đến 31/01/2020 (a) trạm Hòn Dấu; (b) trạm liên tục S1

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

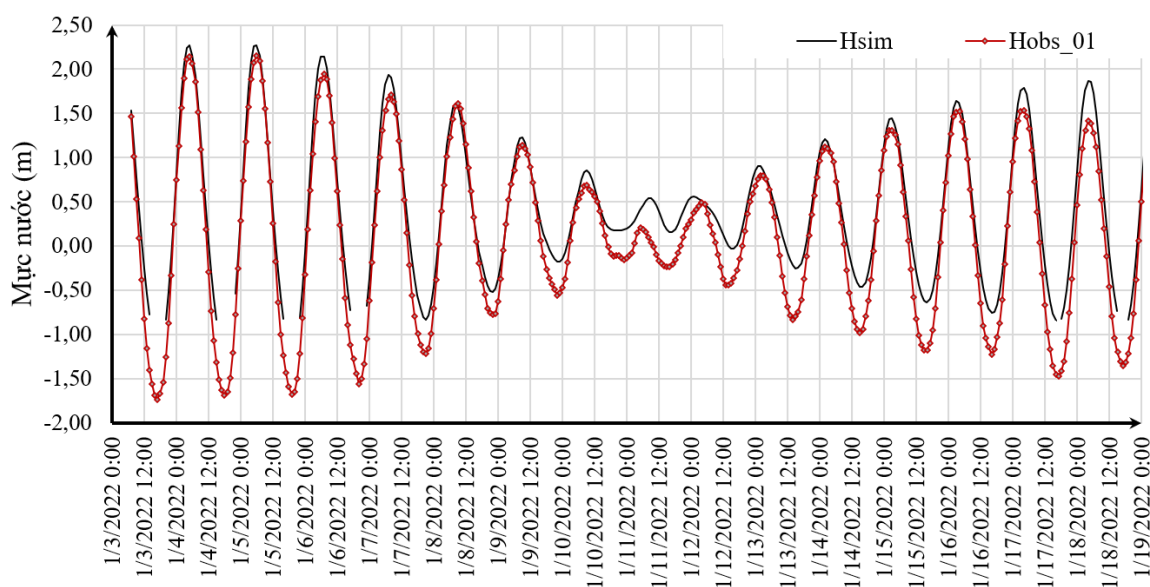
TT	Tên trạm	Mức cao độ	Trung bình thực đo	Trung bình tính toán	Chỉ số đánh giá			
					R	RMSE	NASH	PBIAS (%)
1	Trạm Hòn Dấu	Hải đồ	1.933	0.404	0.983	1.554	-2.845	79.530
		Quốc gia	0.073		0.983	0.392	0.756	-439.170
2	Trạm liên tục S1	Hải đồ	1.877	0.007	0.995	1.872	-4.025	99.644
		Quốc gia	0.017		0.995	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

3.3.3 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. Nghiên cứu sinh tiếp tục tính toán thủy động lực dưới tác động của gió, thủy triều và có sự tham gia dao động mực nước sông tại các vị trí trạm Cửa Cấm và trạm thủy văn Do Nghi. Đánh giá tương quan giữa tính toán mô phỏng với số liệu đo đạc thực tế tại trạm hải văn Hòn Dấu cùng thời kỳ 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. Các kết quả như sau:

3.3.3.1 Kết quả mô phỏng thời kỳ gió mùa Đông Bắc tháng (01/2022)

Hình 3.18 là biểu đồ so sánh các giá trị mực nước mô phỏng (Hsim) và giá trị mực nước quan trắc theo trạm Quốc gia (Hobs_01), kết quả cho thấy các giá trị này có độ tương đồng cao về pha và độ lớn.



Hình 3.18. Kiểm nghiệm mực nước tại trạm Hòn Dấu từ 03/01/2022 đến 19/01/2022

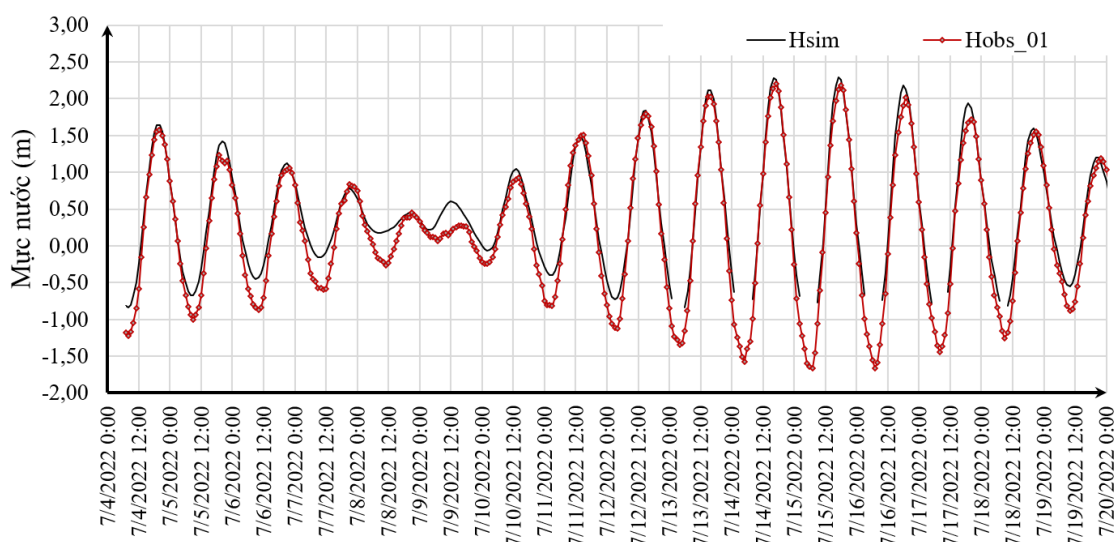
Bảng 3.7 cho thấy kết quả mô phỏng đánh giá độ chính xác tại trạm Hòn Dấu theo các chỉ tiêu đánh giá sai số, trung bình thực đo và trung bình tính toán. Nhìn chung, các chỉ số cho thấy đều đạt độ chính xác cao như hệ số tương quan đều lớn hơn 0,95. Chỉ số NASH có độ chính xác ở mức cao (nằm trong khoảng 0,6-0,8). Chỉ số PBIAS cũng thể hiện độ chính xác cao và còn cho thấy được mức độ thiên cao (< 0). Hệ số RMSE nhỏ hơn 0,5.

Bảng 3.7. Đánh giá độ chính xác giữa mực nước thực đo và mô phỏng tại trạm Hòn Dấu từ 03/01/2022 đến 19/01/2022

TT	Đặc trưng		Trạm Hòn Dấu	
			Chưa hiệu chỉnh	Hiệu chỉnh
1	Trung bình thực đo		1.975	0.115
2	Trung bình tính toán		0.477	
3	Chỉ số đánh giá	R	0.988	0.988
4		RMSE	1.569	0.483
5		NASH	-1.708	0.744
6		PBIAS (%)	77.409	-287.118

3.3.3.2 Kết quả mô phỏng thời kỳ gió mùa Tây Nam (tháng 07/2022)

Hình 3.19 là biểu đồ so sánh các giá trị mực nước mô phỏng (Hsim) và giá trị mực nước quan trắc theo trạm Quốc gia (Hobs_01), kết quả cho thấy các giá trị này có độ tương đồng cao về pha và độ lớn.



Hình 3.19. Kiểm nghiệm mực nước tại trạm Hòn Dấu từ 04/07/2022 đến 20/07/2022

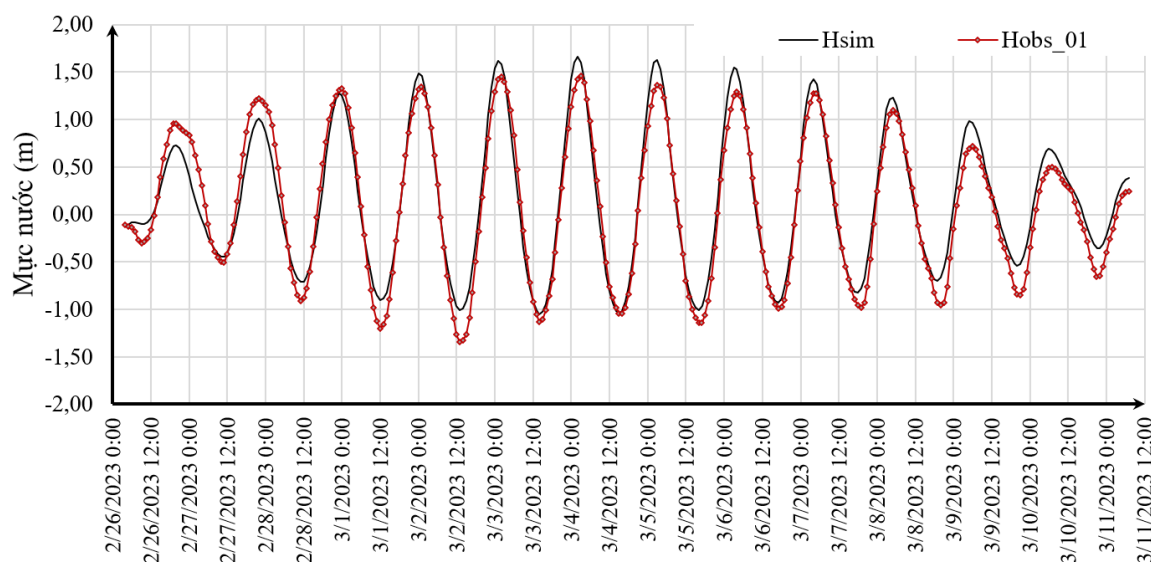
Bảng 3.8 thể hiện các chỉ số đều đạt độ chính xác cao như hệ số tương quan đều lớn hơn 0,95. Chỉ số NASH có độ chính xác ở mức cao (nằm trong khoảng 0,6-0,8). Chỉ số PBIAS cũng thể hiện độ chính xác cao và còn cho thấy được mức độ thiên cao (< 0). Hệ số RMSE nhỏ hơn 0,5 là khá nhỏ.

Bảng 3.8. Đánh giá độ chính xác giữa mực nước thực đo và mô phỏng tại trạm Hòn Dấu từ 04/07/2022 đến 20/07/2022

TT	Đặc trưng		Trạm Hòn Dấu	
			Chưa hiệu chỉnh	Hiệu chỉnh
1	Trung bình thực đo		2,071	0,211
2	Trung bình tính toán		0,494	
3	Chỉ số đánh giá	R	0,989	0,989
4		RMSE	1,654	0,435
5		NASH	-2,057	0,788
6		PBIAS (%)	77,956	-116,495

3.3.3.3 Kết quả mô phỏng khi xảy ra sự cố tràn dầu thực tế (tháng 02/2023)

Tương tự như các kết quả phân tích ở mục 3.3.3.1 và 3.3.3.2 cho thấy kết quả so sánh mực nước tính toán và quan trắc có độ tương đồng cao về pha và biên độ, đồng thời thông qua các chỉ tiêu đánh giá sai số cũng cho thấy kết quả mô phỏng đáp ứng khá tốt các tiêu chí này.



Hình 3.20. Kiểm nghiệm mực nước tại trạm Hòn Dấu từ 26/02/2023 đến 11/03/2023

Bảng 3.9. Đánh giá độ chính xác giữa mực nước thực đo và mô phỏng tại trạm Hòn Dầu từ 26/02/2023 đến 11/03/2023

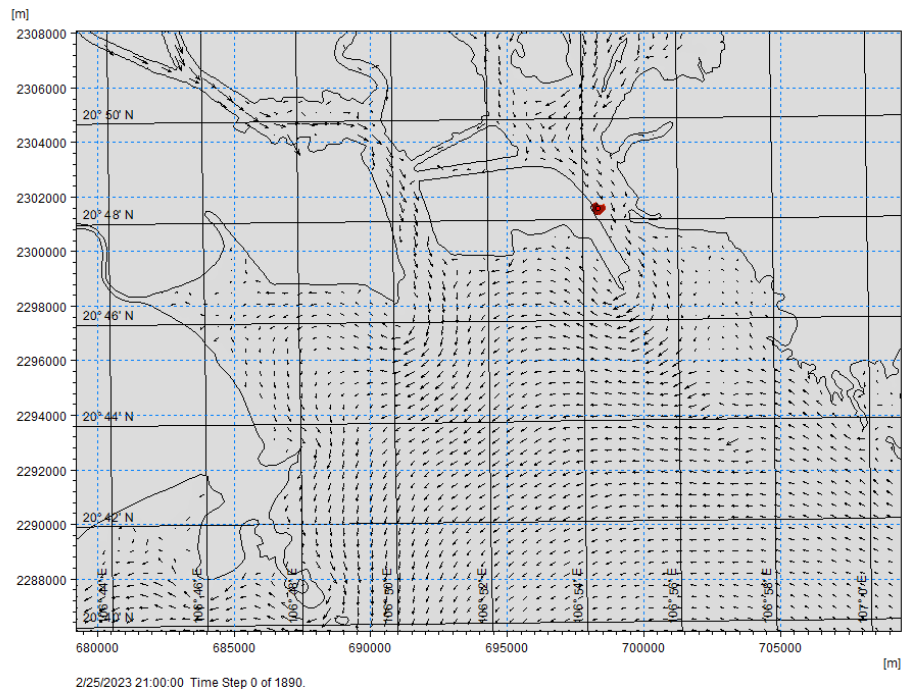
TT	Đặc trưng		Trạm Hòn Dầu	
			Chưa hiệu chỉnh	Hiệu chỉnh
1	Trung bình thực đo		1,956	0,096
2	Trung bình tính toán		0,153	
3	Chỉ số đánh giá	R	0,975	0,975
4		RMSE	1,695	0,169
5		NASH	-4,597	0,944
6		PBIAS (%)	92,185	-58,606

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

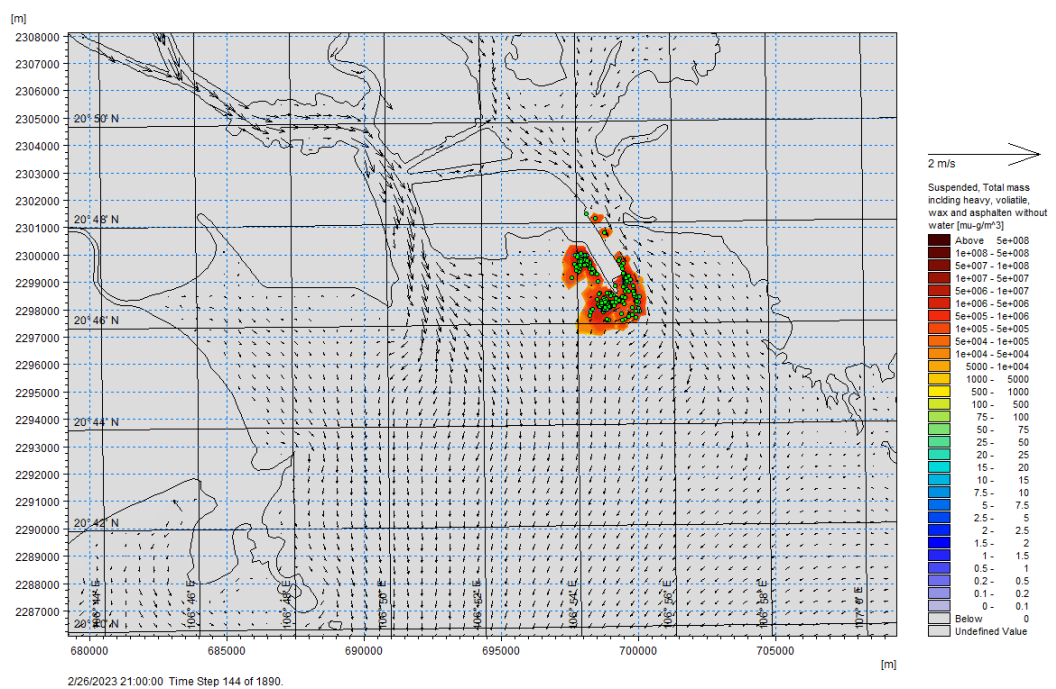
Từ kết quả tính toán mô phỏng đã được trình bày, nghiên cứu sinh thực hiện mô phỏng sự cố tràn dầu theo kịch bản vào hai thời kỳ gió mùa điển hình nêu trên và kịch bản tràn dầu thực tế xảy ra vào tháng 02 năm 2023 ở khu vực nghiên cứu. Các kết quả được thể hiện như sau:

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

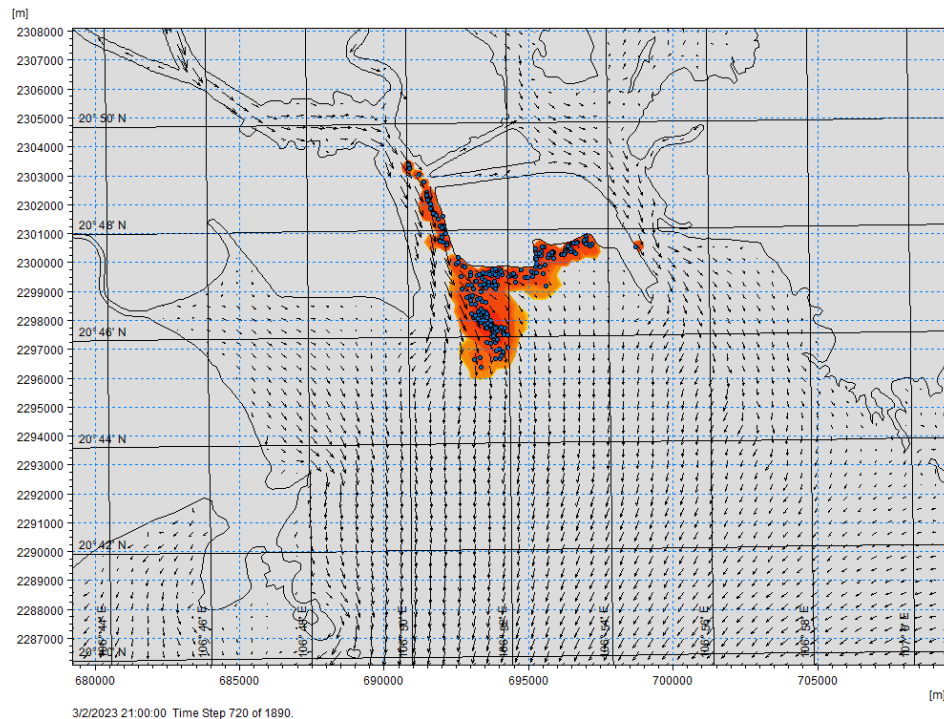
Vào tháng 02/2023 xuất hiện vệt dầu không rõ nguồn gốc tại khu vực bến cảng Lạch Huyện (Hình 3.21 a). Sau đó dưới tác động của triều xuống, vệt dầu có xu hướng chảy ra phía ngoài khu vực cầu số 3,4. Sang ngày 27/2, vệt dầu có xu hướng chảy theo hướng Bắc Tây Bắc tiếp cận khu vực cảng nhà máy Vinfast (Hình 3.21 b). Đến các ngày tiếp theo, vệt dầu chảy theo hướng chính là Đông Nam và Tây Bắc (Hình 3.21 c và d).



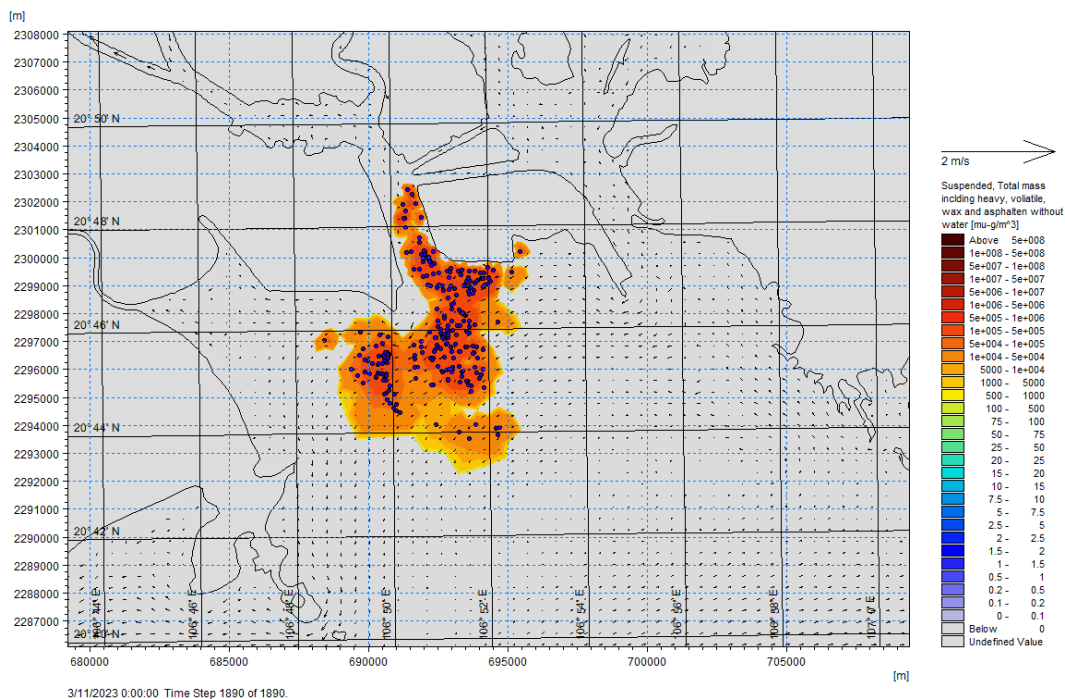
a) Lúc 04 giờ ngày 26/02/2023 (ban đầu)



b) Lúc 04 giờ ngày 27/02/2023 (sau 24 giờ)



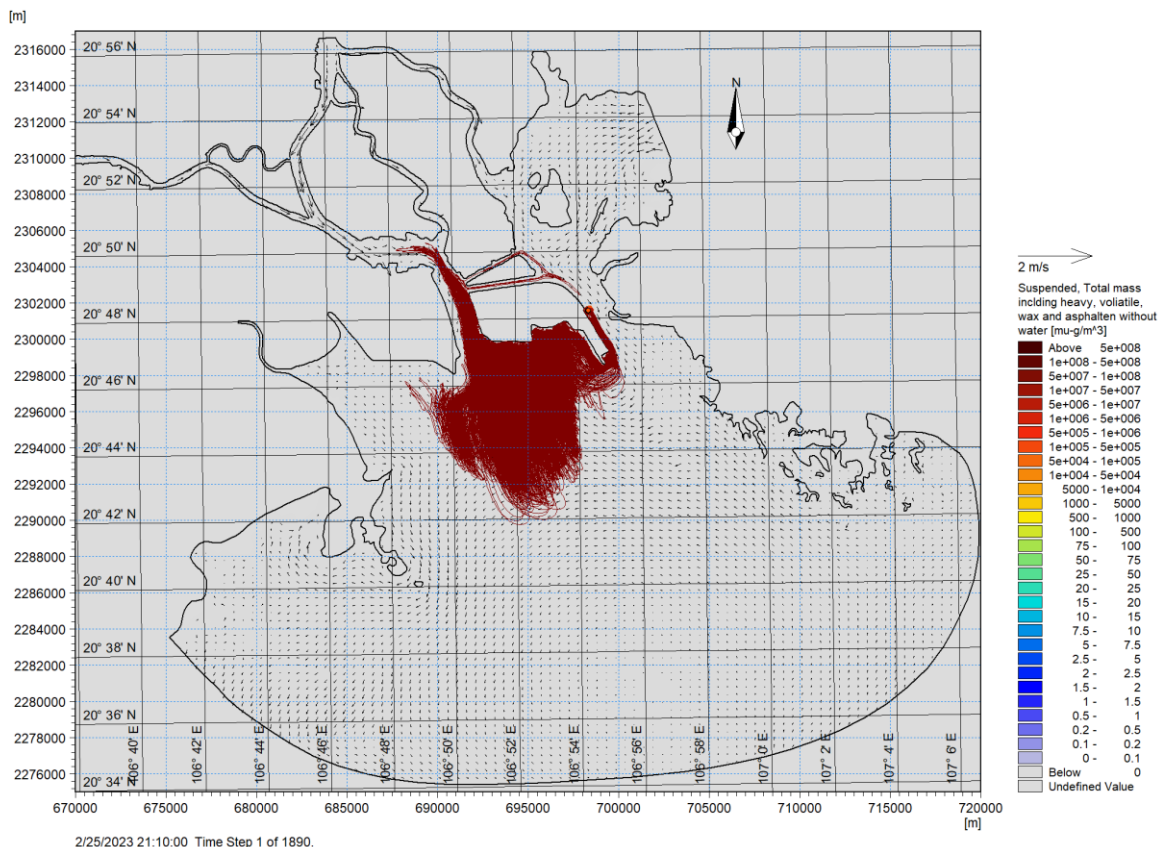
c) Lúc 04 giờ ngày 03/03/2023 (sau 5 ngày)



d) Lúc 07 giờ ngày 11/03/2023 (sau 13 ngày)

Hình 3.21. Vệt dầu tràn và vị trí của hạt dầu (hình tròn nhỏ)
từ 26/02/2023 đến 11/03/2023

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.



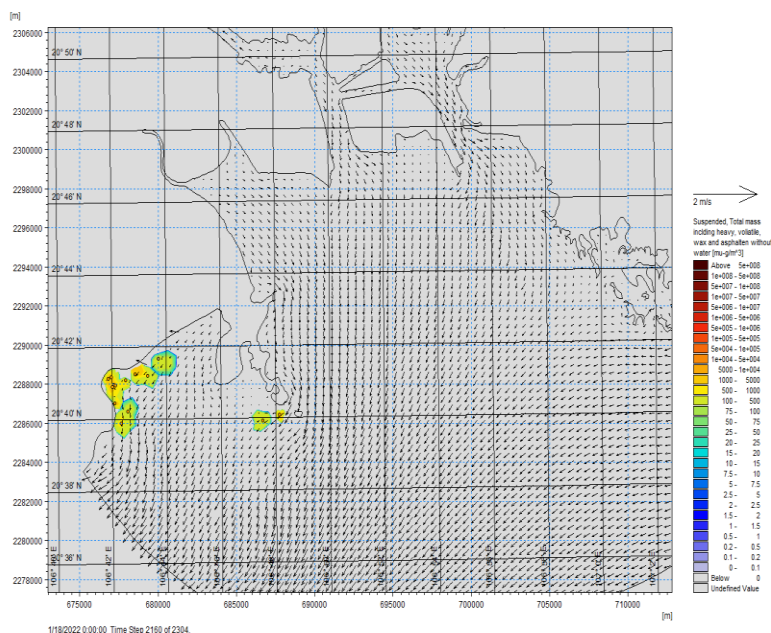
Hình 3.22. Trường tổng hợp quỹ đạo di chuyển của các thành phần hạt dầu tràn từ 26/02/2023 đến 11/03/2023

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.

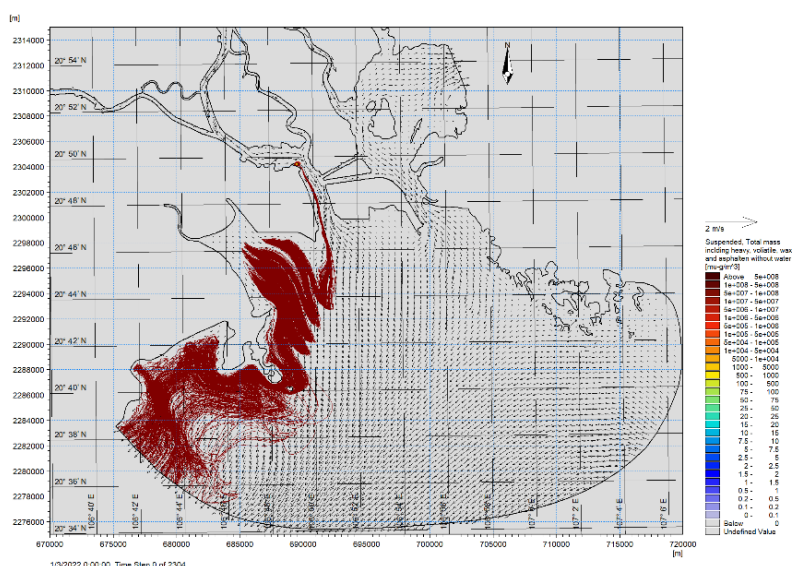
Đối với kịch bản xảy ra sự cố tràn dầu tại bến Gót, vệt dầu từ khu vực bến cảng Lạch Huyện, trôi dạt chủ yếu theo hướng Nam và Tây Nam ảnh hưởng tới khu vực luồng Nam Triệu và trôi xuống khu vực Đồ Sơn, Hòn Dấu. Diễn biến quỹ đạo vệt dầu và hạt dầu từ 03/01/2022 đến 19/01/2022 như Hình 3.23.

Đối với kịch bản xảy ra sự cố tại cảng Đình Vũ từ 03/01/2022 đến 19/01/2022. Vết dầu di chuyển theo hướng chủ đạo là Nam và Tây Nam tác động tới các khu vực ven biển Hải Phòng, Đồ Sơn, như trong Hình 3.25.



Hình 3.25. Vết dầu tràn và vị trí của hạt dầu (hình tròn nhỏ) từ 03/01/2022 đến 19/01/2022 (tại cảng Đình Vũ lúc 07 giờ ngày 18/03/2022)

Trường tổng hợp quỹ đạo di chuyển của các thành phần hạt dầu tràn được thể hiện trong Hình 3.26.

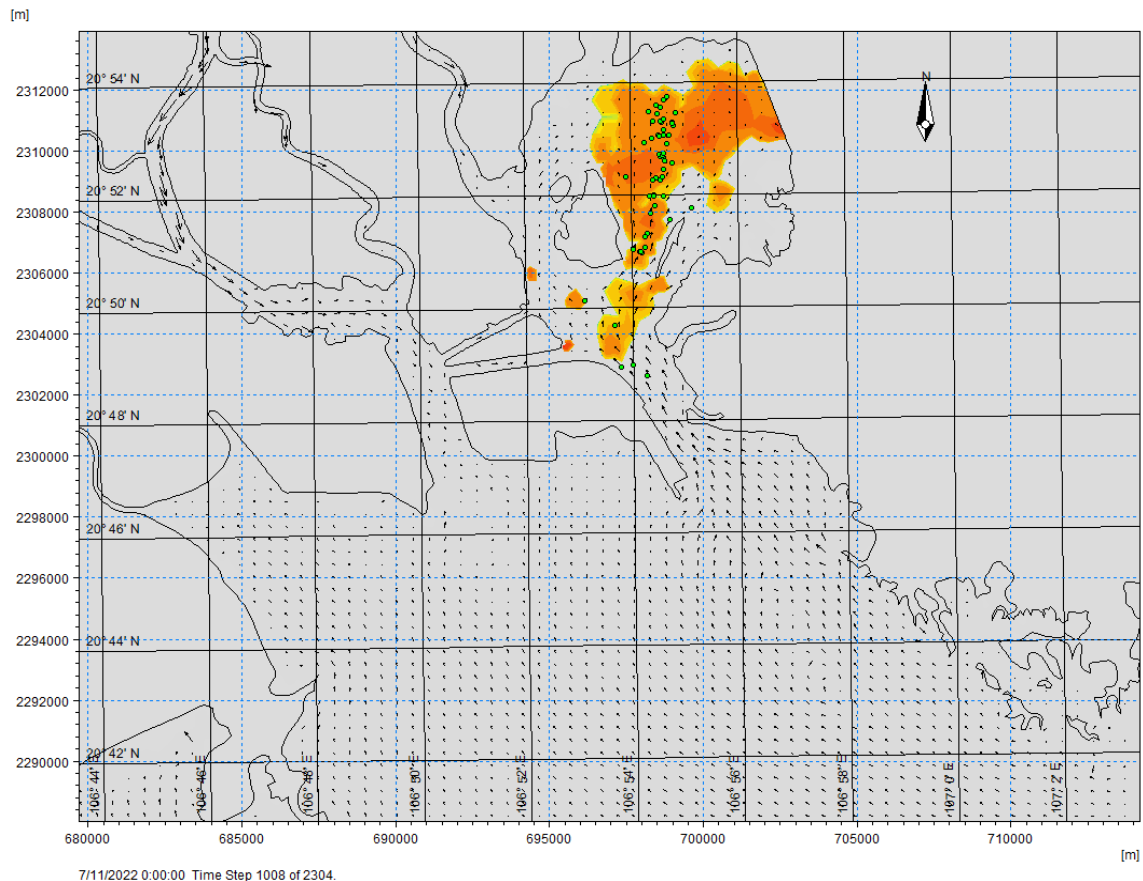


Hình 3.26. Trường tổng hợp quỹ đạo di chuyển của các thành phần hạt dầu tràn từ 03/01/2022 đến 19/01/2022 (tại cảng Đình Vũ)

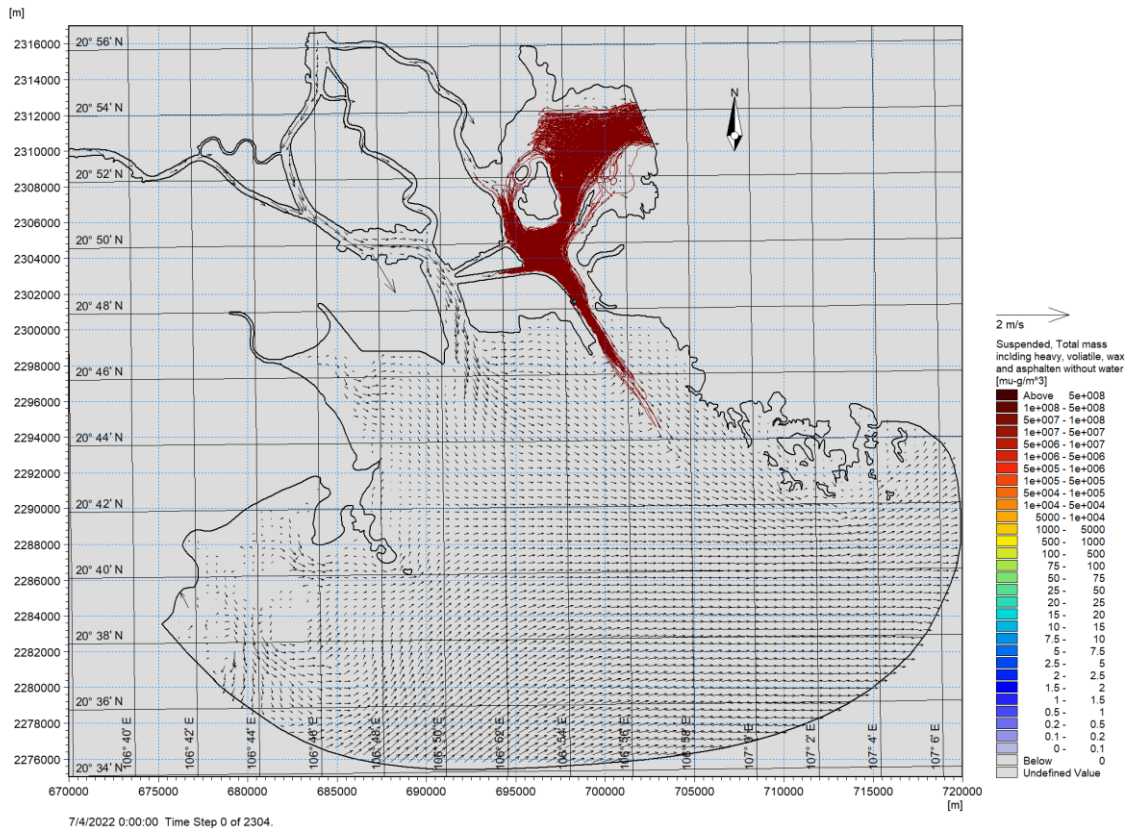
3.4.3 Mô phỏng tràn dầu thời kỳ gió mùa Tây Nam (tháng 07/2022)

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.

Trường hợp sự cố tràn dầu xảy ra 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 sau đó kéo dài lên phía nam đảo Hoàng Tân (Quảng Yên, Quảng Ninh). Diễn biến quỹ đạo vệt dầu và hạt dầu từ 04/07/2022 đến 11/07/2022 như Hình 3.27. Hình 3.28 thể hiện tổng hợp quỹ đạo di chuyển của các thành phần hạt dầu từ 04/07/2022 đến 11/07/2022 trong kịch bản tràn dầu tại bến Gót.

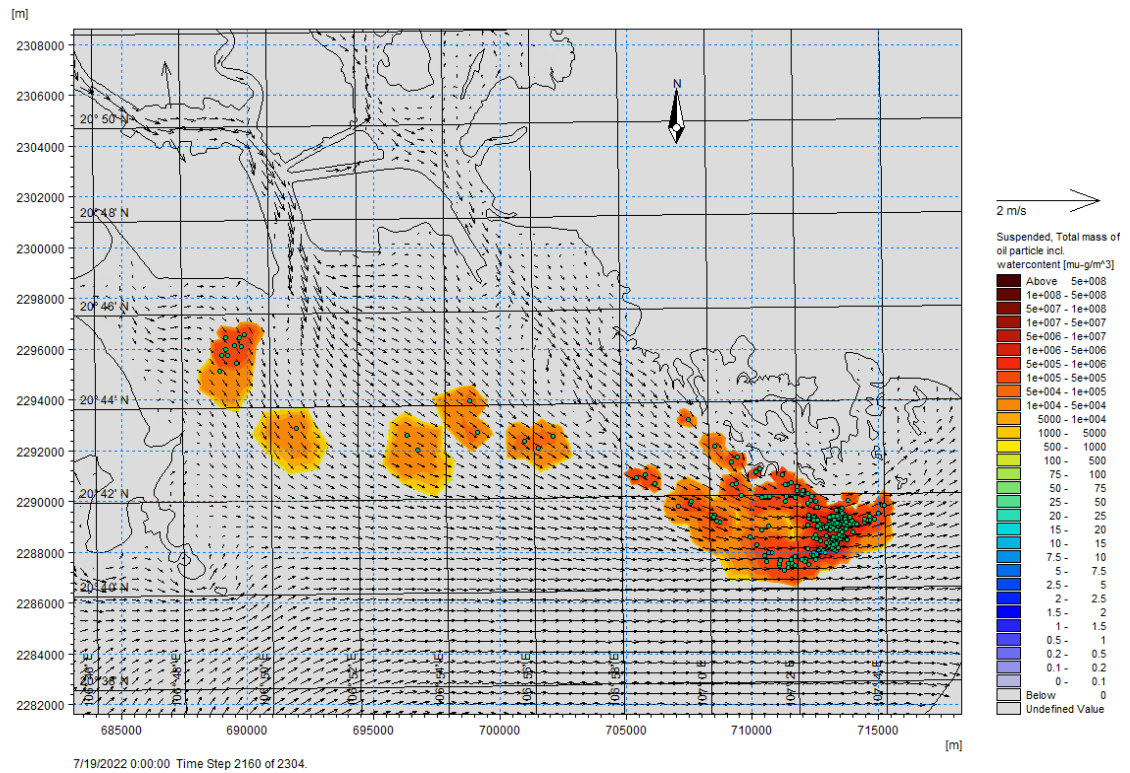


Hình 3.27. Vệt dầu tràn và vị trí của hạt dầu (hình tròn nhỏ) từ 04/07/2022 đến 11/07/2022 (tại bến Gót lúc 07 giờ ngày 11/07/2022)

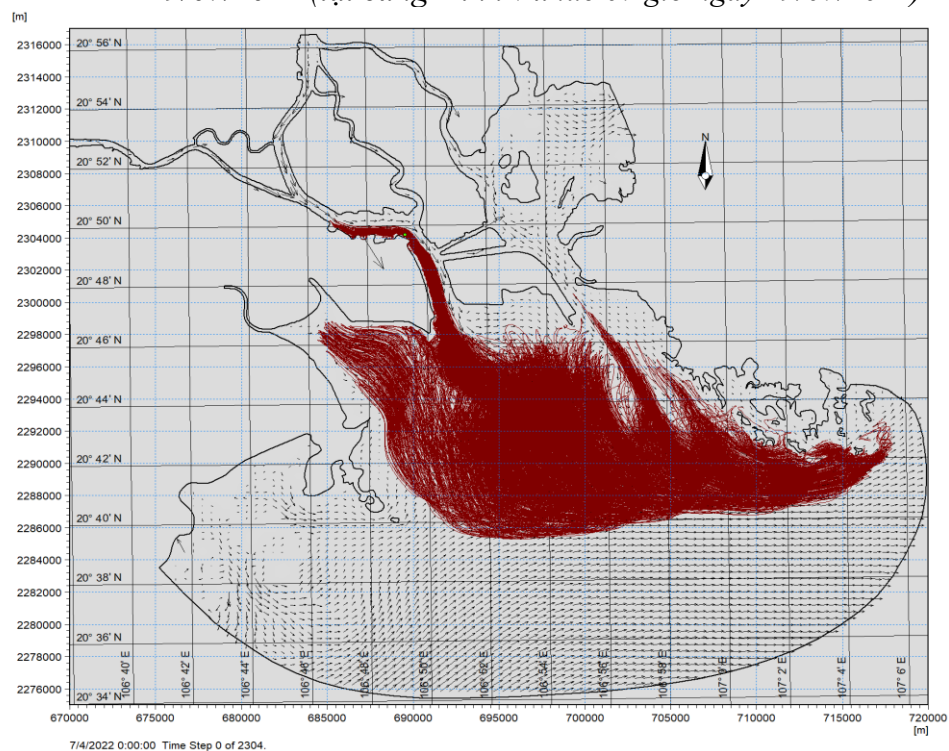


Hình 3.28. Trường tổng hợp quỹ đạo di chuyển của các thành phần hạt dầu tràn từ 04/07/2022 đến 11/07/2022 (tại bến Göt)

Trong kịch bản sự cố tại cảng Đình Vũ, cửa Bạch Đằng từ 04/07/2022 đến 19/07/2022. Vết dầu di chuyển theo hướng chủ đạo là Nam và Đông Nam ảnh hưởng đến các khu vực cụm cảng Deep C, Vịnh Hải Phòng và kéo dài ra phía nam của quần đảo Cát Bà. Quỹ đạo của vết dầu và hạt dầu tràn như Hình 3.29, trường tổng hợp quỹ đạo di chuyển của các thành phần hạt dầu tràn được thể hiện trong Hình 3.30.



Hình 3.29. Vết dầu tràn và vị trí của hạt dầu (hình tròn nhỏ) từ 04/07/2022 đến 19/07/2022 (tại cảng Đình Vũ lúc 07 giờ ngày 19/07/2022)



Hình 3.30. Trường tổng hợp quỹ đạo di chuyển của các thành phần hạt dầu tràn từ 04/07/2022 đến 19/07/2022 (tại cảng Đình Vũ)

3.5 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. Toàn bộ quy trình từ thu thập và xử lý dữ liệu địa hình, thiết lập lưới tính phi cấu trúc, đến lựa chọn điều kiện biên và điều kiện ban đầu cho mô hình thủy động lực đã được thực hiện một cách hệ thống và chính xác.

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 vết 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

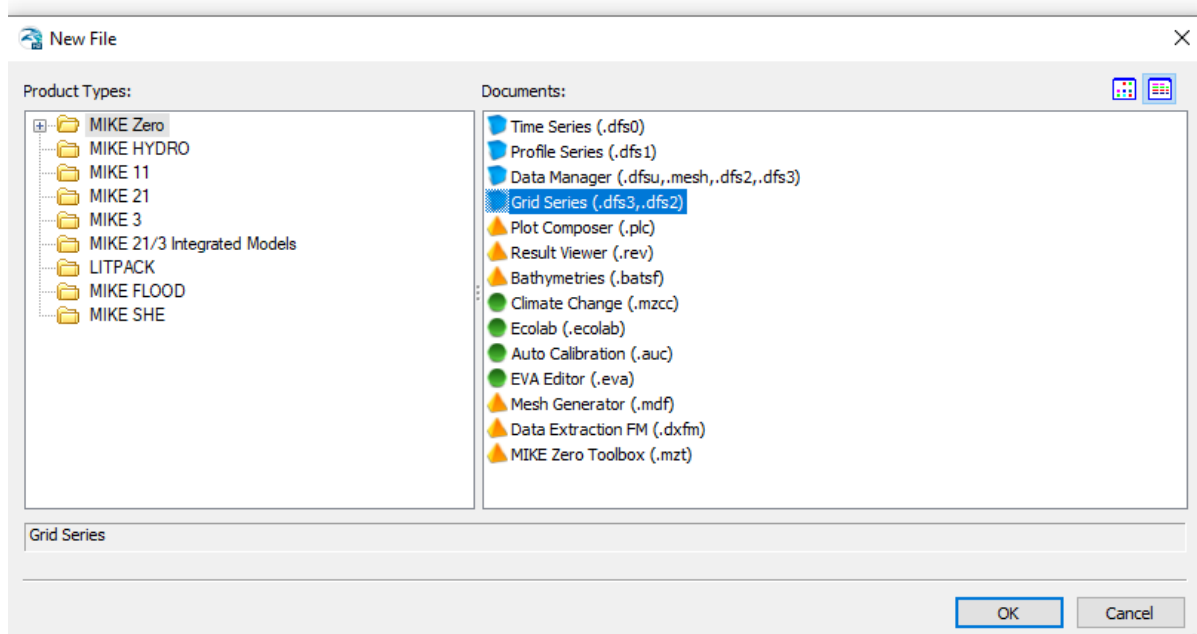
THỰC HIỆN MÔ PHỎNG SỰ CỐ TRÀN DẦU DỰA TRÊN PHƯƠNG PHÁP ĐỒ HỌA 3D VÀ SO SÁNH ĐỘ CHÍNH XÁC CỦA MÔ HÌNH

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

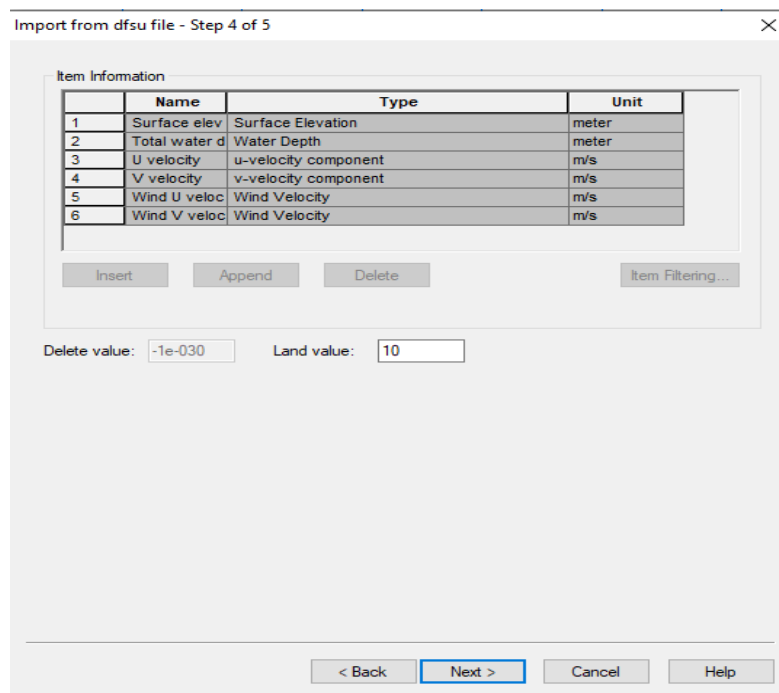
Sử dụng sản phẩm thủy động lực đã thực hiện tính toán mô phỏng tràn dầu bằng mô hình MIKE 21 để làm cơ sở dữ liệu nền đảm bảo môi trường dùng chung là đồng nhất và chuẩn hóa phục vụ cho công tác so sánh và đánh giá mô phỏng tràn dầu giữa phần mềm đã được chuẩn hóa, thương mại hóa (phần mềm MIKE) và sản phẩm nghiên cứu xây dựng của nghiên cứu sinh. Các bước chi tiết chuyển đổi dữ liệu thể hiện trong phần Phụ lục.

4.1.1 Chuyển đổi miền tính và lưới tính

Sử dụng công cụ của phần mềm MIKE để phục vụ công việc nghiên cứu thuận lợi. Công cụ chuyển đổi này sẽ thực hiện định dạng tệp có đuôi “.dfs1” sang định dạng tệp có đuôi “.dfs2”.

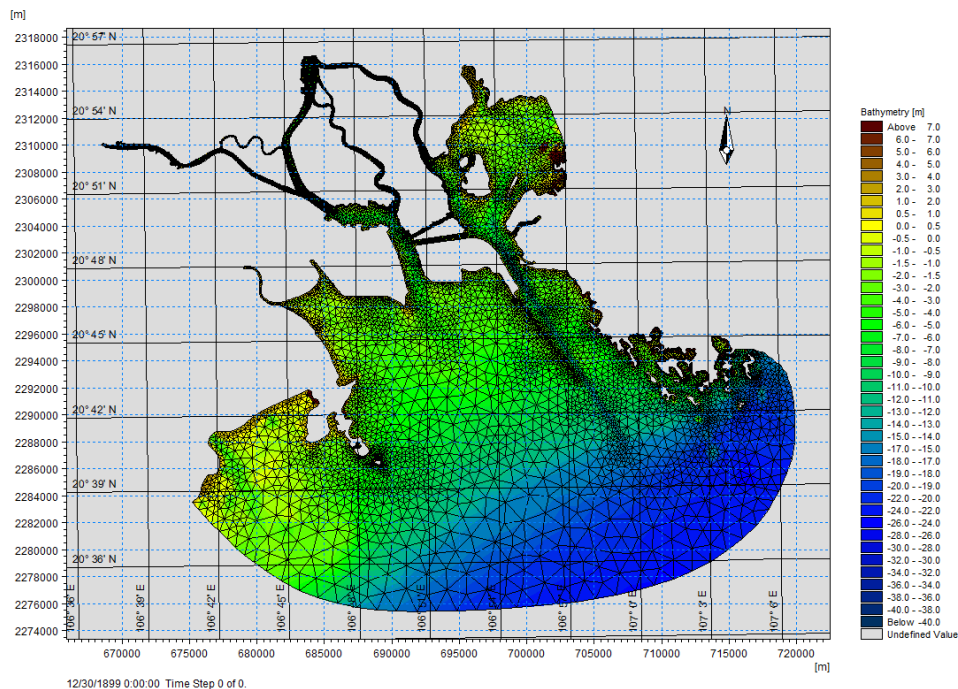


Hình 4.1. Chuyển tệp từ “.dfs1” sang “.dfs2” trong mô-đun MIKE Zero

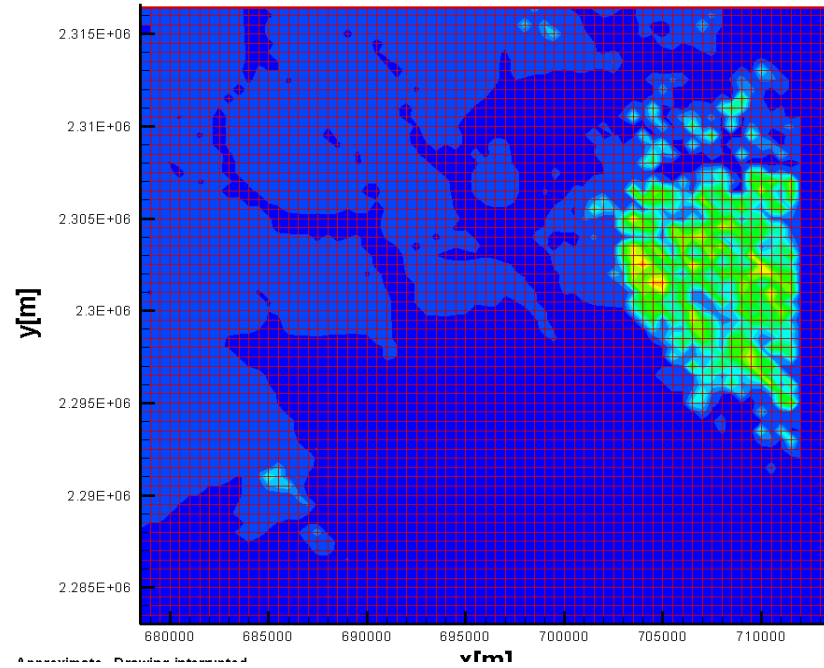


Hình 4.2. Các trường giá trị sẽ xuất khi chuyển sang tệp “.dfs2”

Sau khi tiến hành thực hiện các bước tương tự như thể hiện ở hình 4.1 và 4.2 thì kết quả chuyển đổi được trình bày như hình 4.3.



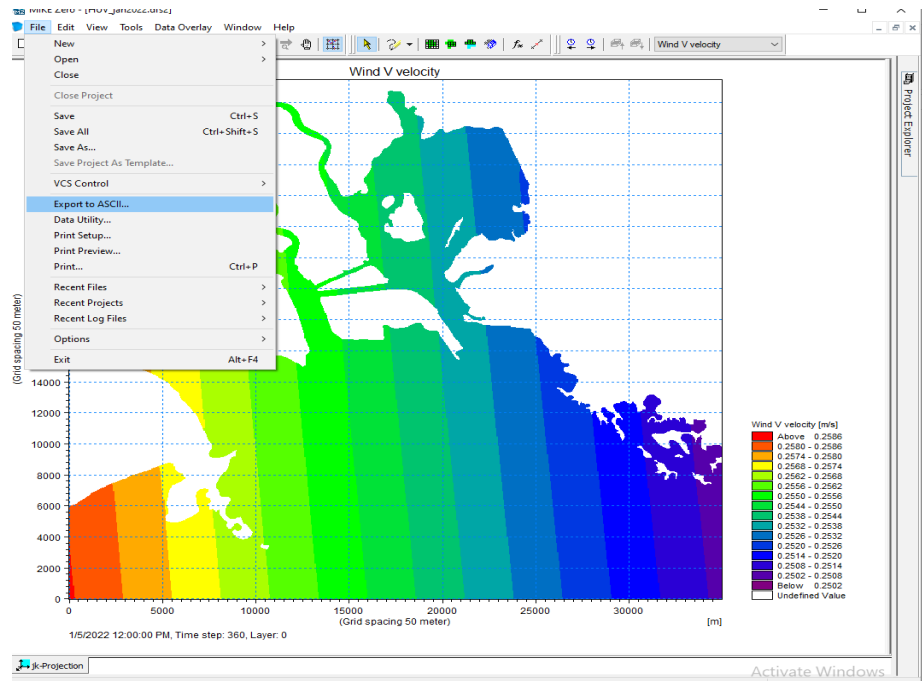
a) Lưới phục vụ tính toán trong MIKE



b) Lưới phục vụ tính toán

Hình 4.3. Miền tính, lưới tính và trường địa hình khu vực nghiên cứu

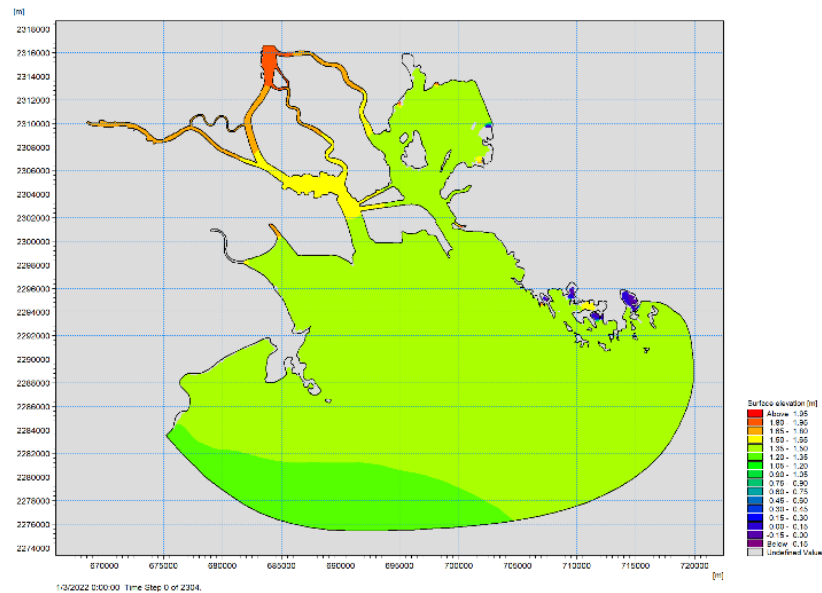
Để thuận lợi cho việc kiểm tra và rà soát dữ liệu, chúng ta có thể thực hiện chuyển thành tệp ghi dạng mã “ASCII” như hình 4.4.



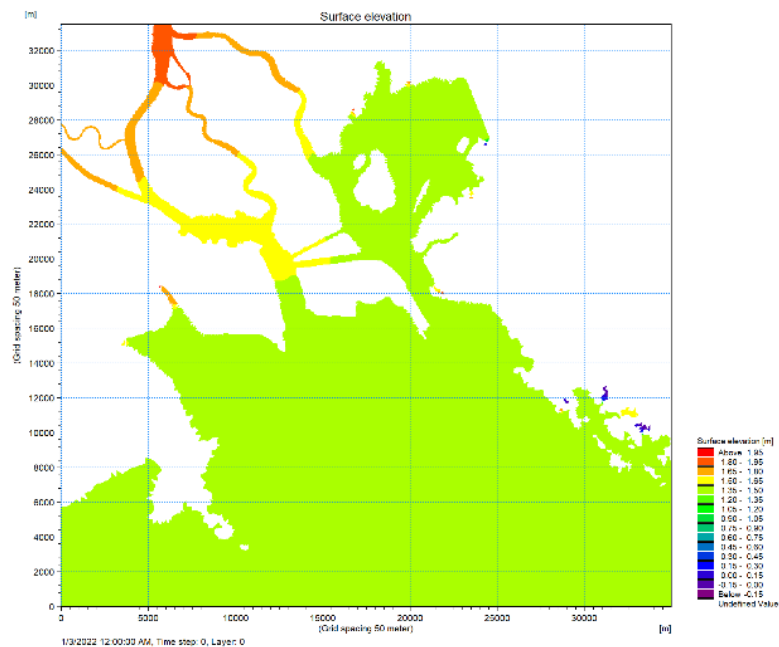
Hình 4.4. Chuyển định dạng mã hóa nội dung trong tệp “.dfs2” của phần mềm MIKE sang tệp “.txt” của mã “ASCII”

4.1.2 Chuyển đổi dữ liệu thủy động lực

Tương tự như chuyển đổi tệp địa hình, tệp chứa dữ liệu về kết quả tính toán cũng được tiến hành như các bước trên. Các kết quả được thể hiện trình bày như hình dưới đây.

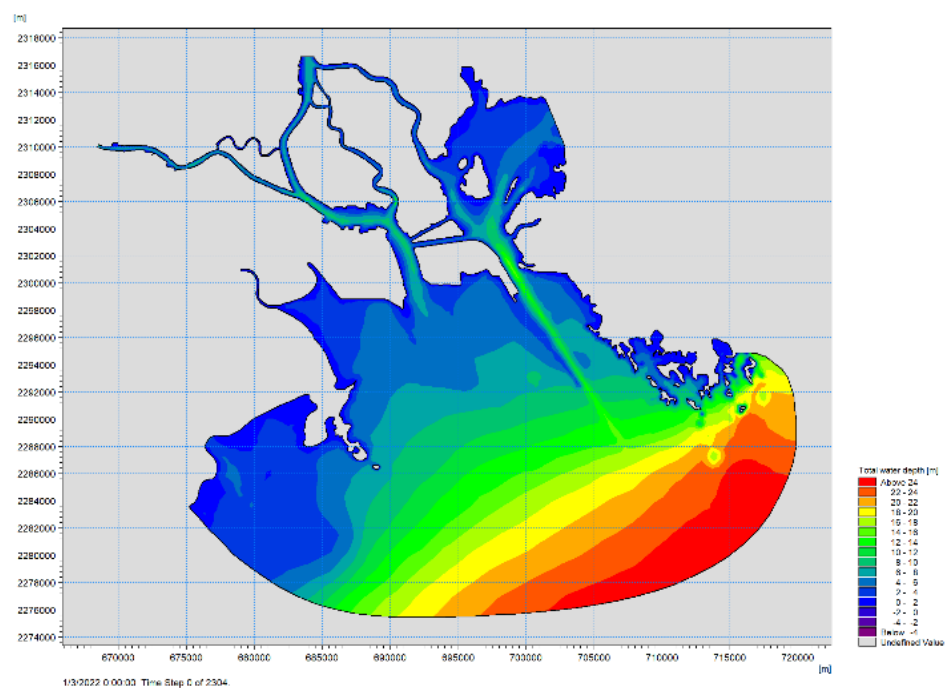


a) Dạng tệp “.dfs1”

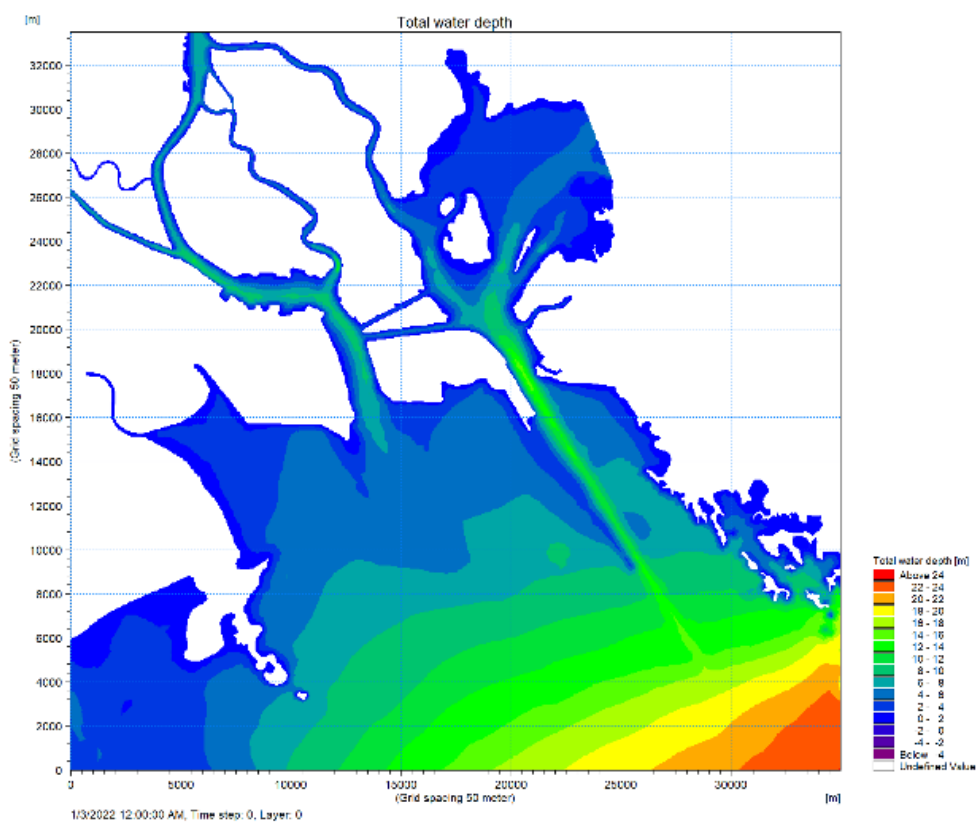


b) Dạng tệp “.dfs2”

Hình 4.5. Trường mực nước

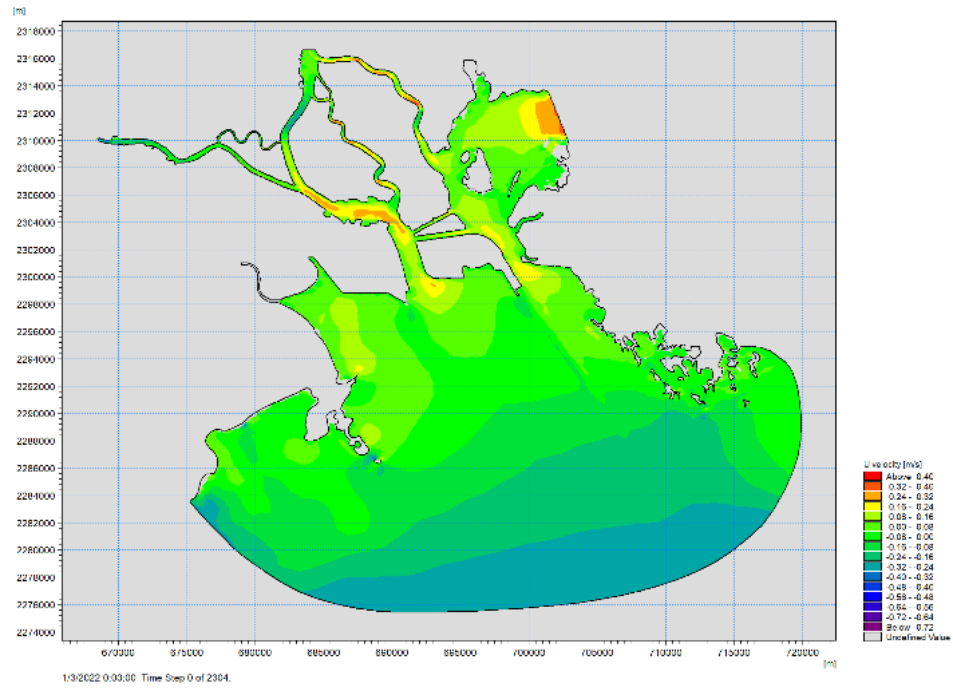


a) Dạng tệp “.dfs1”

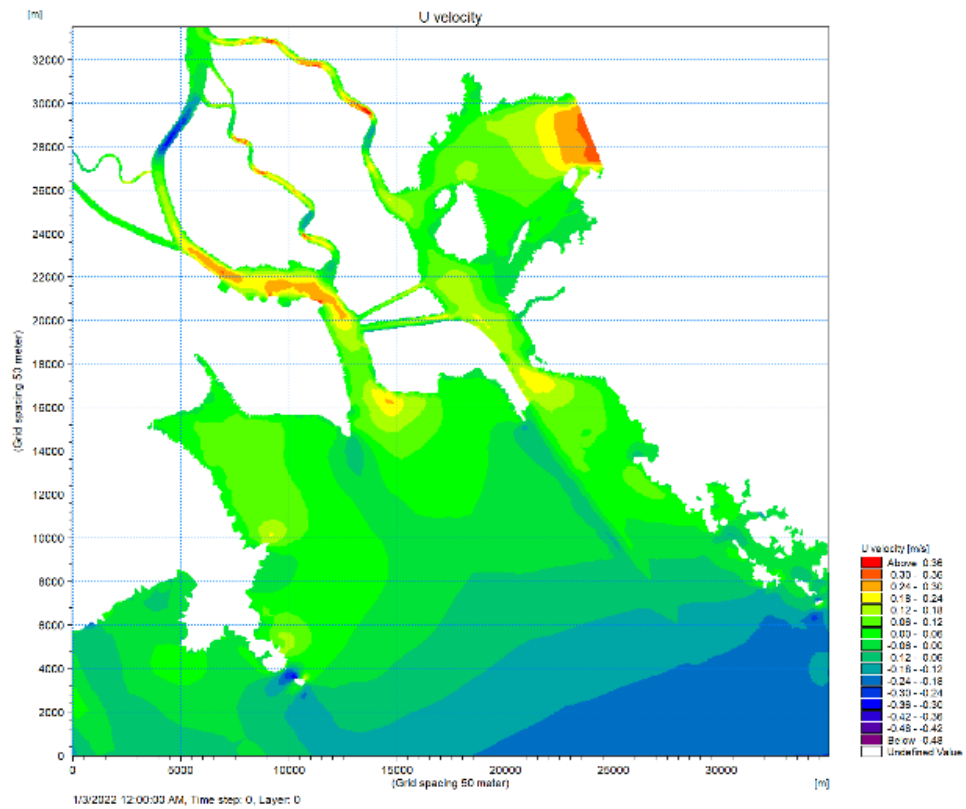


b) Dạng tệp “.dfs2”

Hình 4.6. Trường độ sâu khu vực nghiên cứu

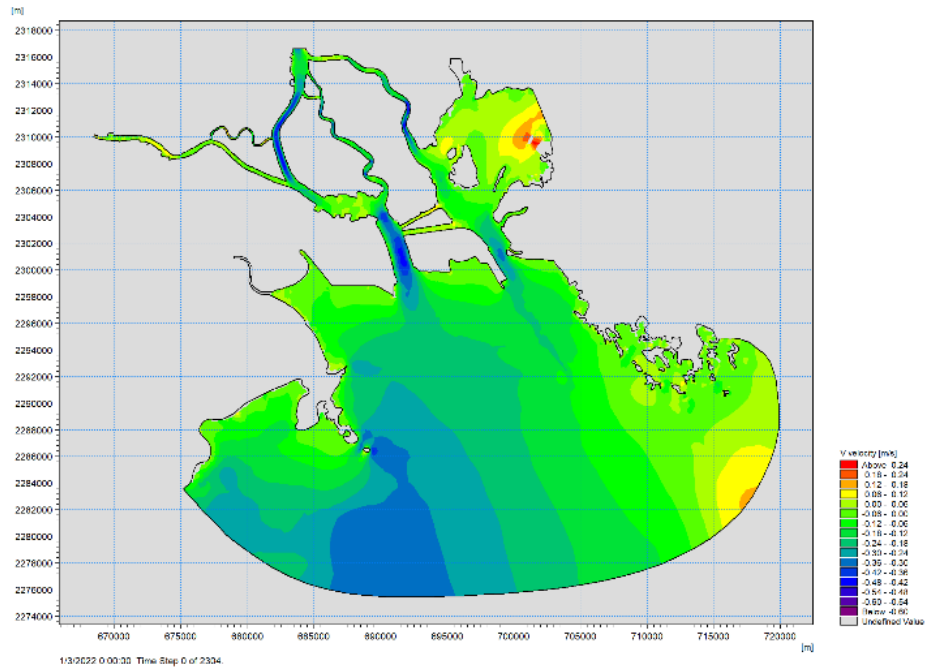


a) Dạng tệp “.dfsu”

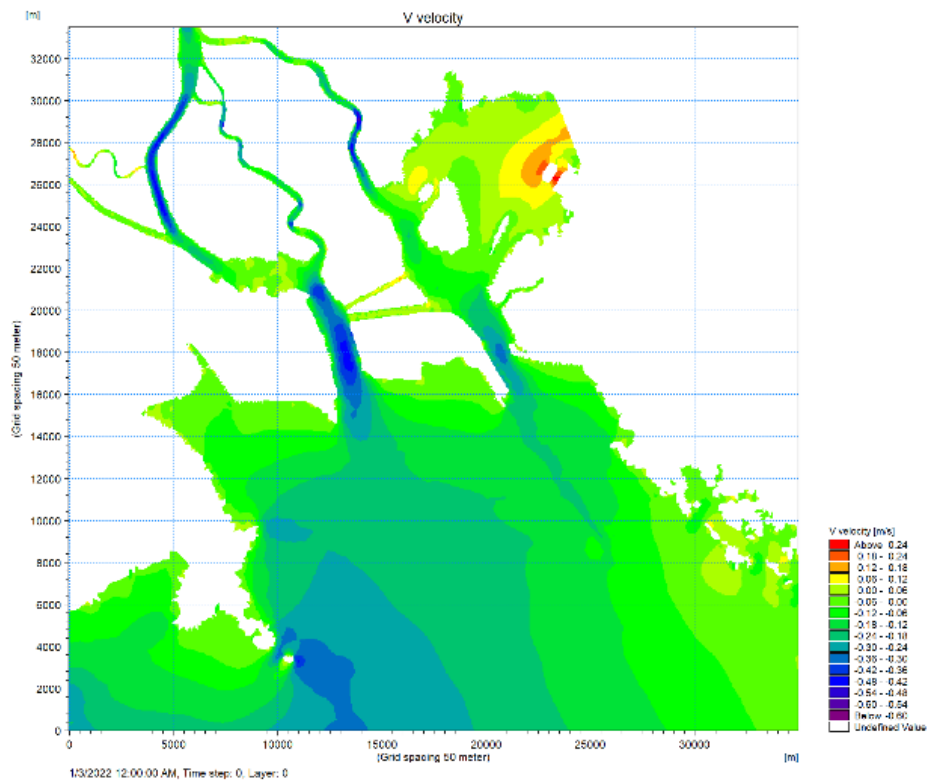


b) Dạng tệp “.dfs2”

Hình 4.7. Trường dòng chảy theo kinh hướng (U) khu vực nghiên cứu

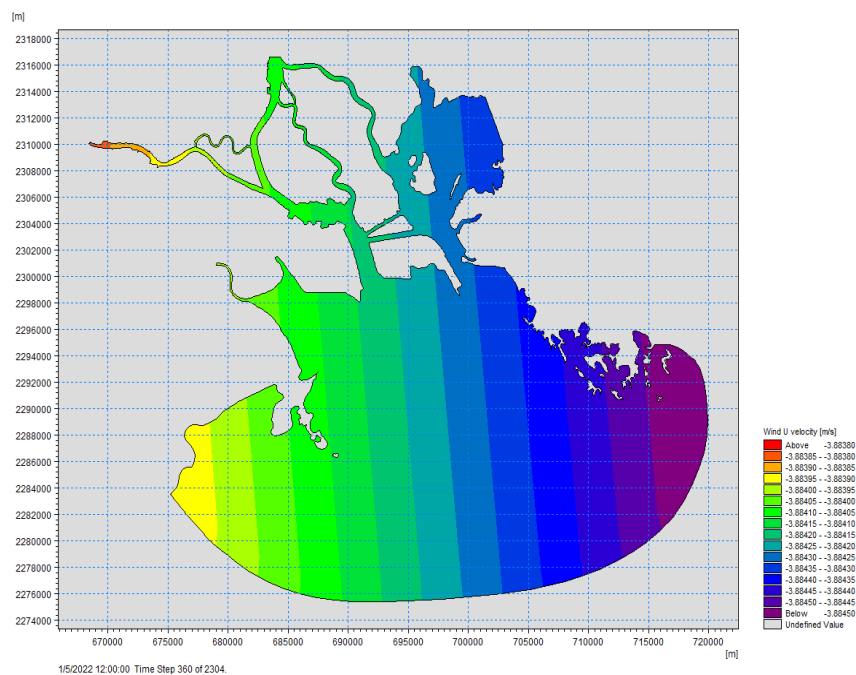


a) Dạng tệp “.dfs1”

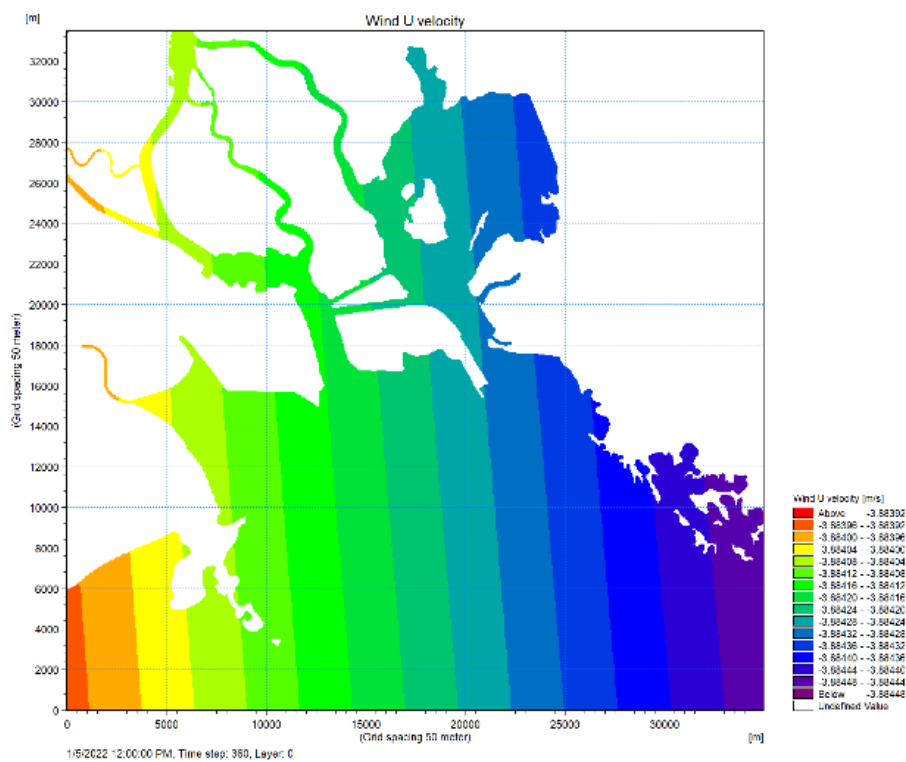


b) Dạng tệp “.dfs2”

Hình 4.8. Trường dòng chảy theo vĩ hướng (V) khu vực nghiên cứu

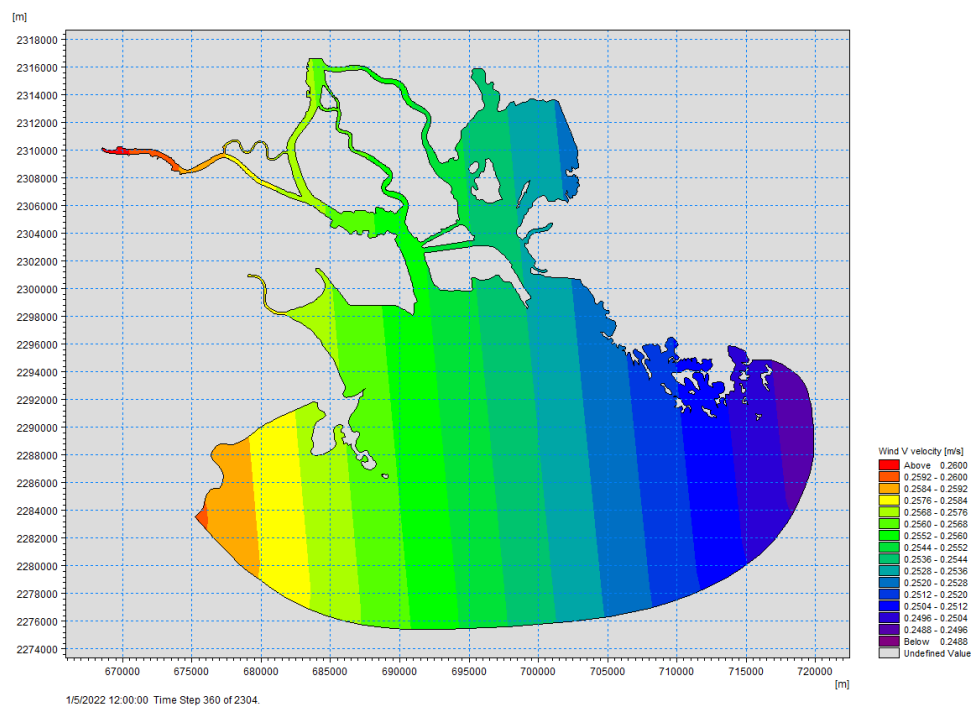


a) Dạng tệp “.dfsu”

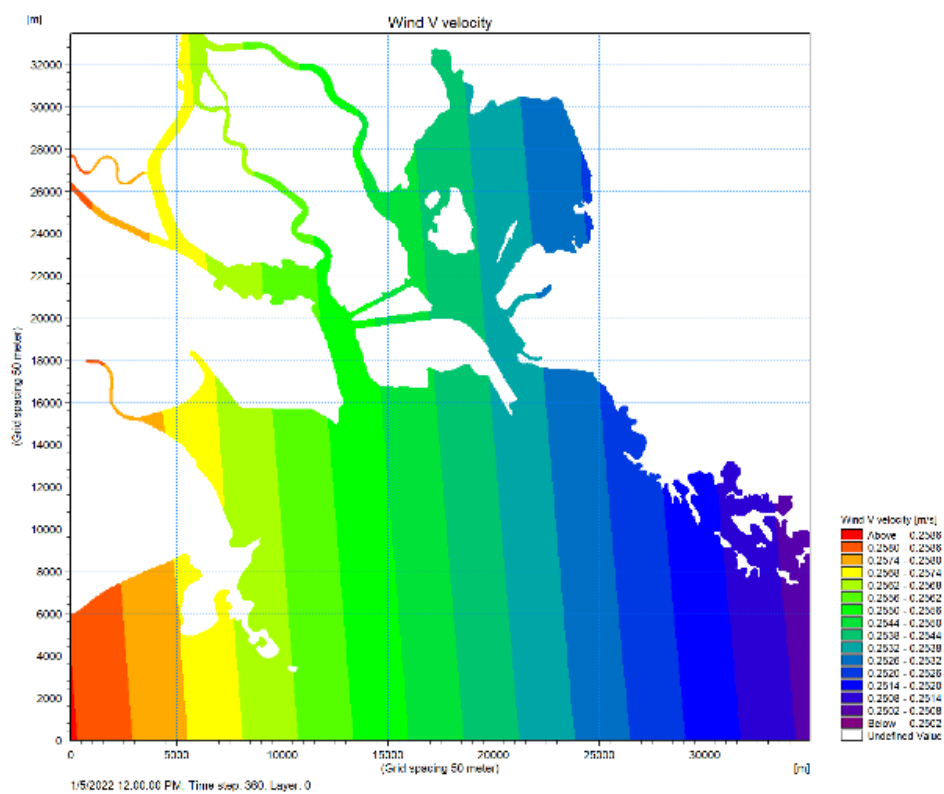


b. Dạng tệp “.dfs2”

Hình 4.9. Trường gió theo kinh hướng (U) khu vực nghiên cứu



a) Dạng tệp “.dfsu”



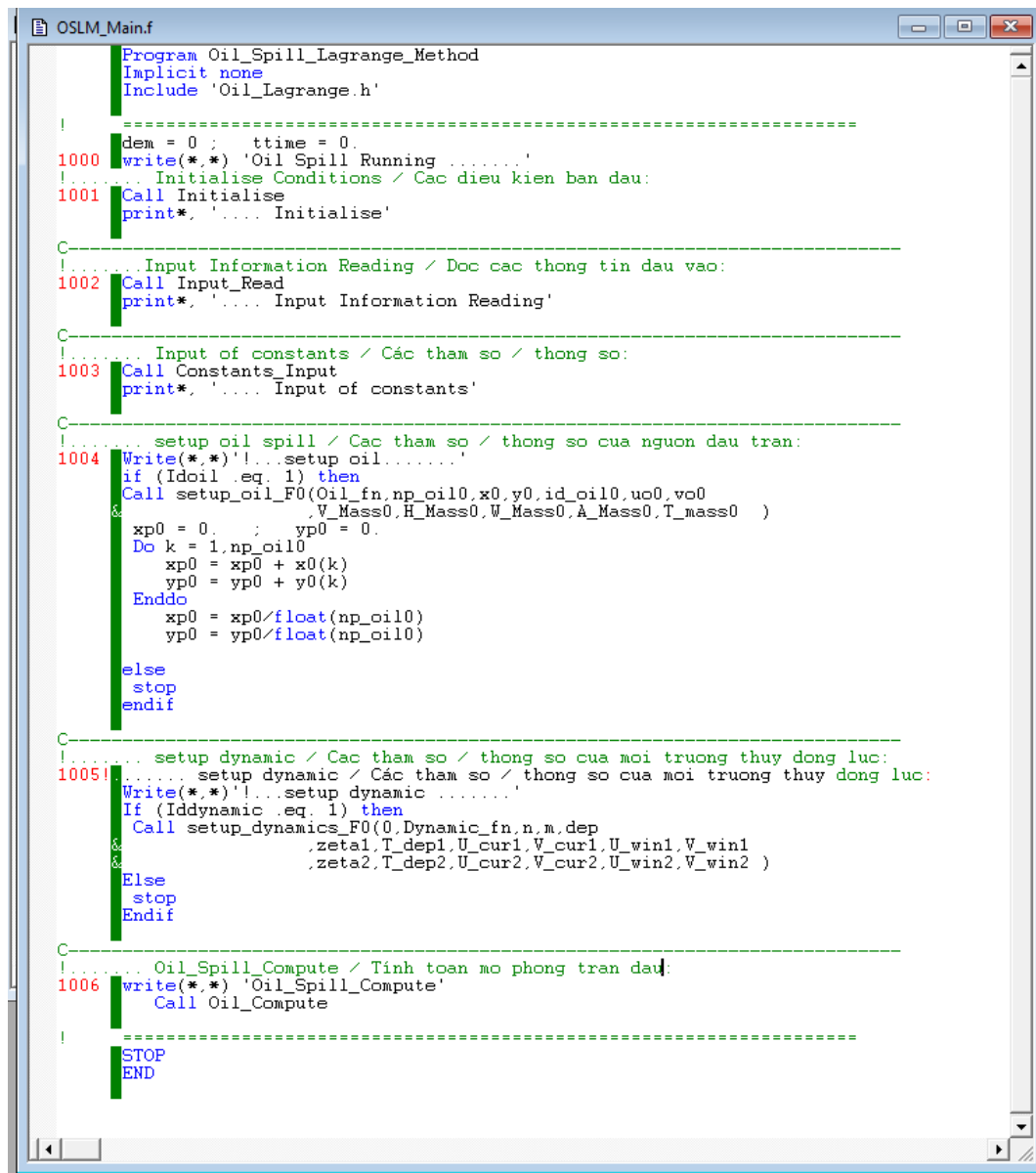
b) Dạng tệp “.dfs2”

Hình 4.10. Trường gió theo vĩ hướng (V) khu vực nghiên cứu

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 như sau:

1. Chương trình chính



```
OSLM_Main.f
Program Oil_Spill_Lagrange_Method
Implicit none
Include 'Oil_Lagrange.h'

! =====
dem = 0 ; ttime = 0.
1000 write(*,*) 'Oil Spill Running .....'
!..... Initialise Conditions / Các điều kiện ban đầu:
1001 Call Initialise
print*, '..... Initialise'

C-----
!..... Input Information Reading / Doc cac thong tin dau vao:
1002 Call Input_Read
print*, '..... Input Information Reading'

C-----
!..... Input of constants / Các tham so / thong so:
1003 Call Constants_Input
print*, '..... Input of constants'

C-----
!..... setup oil spill / Các tham so / thong so của nguồn dầu tràn:
1004 Write(*,*) '.....setup oil.....'
if (Idoil .eq. 1) then
Call setup_oil_F0(Oil_fn,np_oil0,x0,y0,id_oil0,uo0,vo0
& ,V_Mass0,H_Mass0,W_Mass0,A_Mass0,T_mass0 )
xp0 = 0. ; yp0 = 0.
Do k = 1,np_oil0
xp0 = xp0 + x0(k)
yp0 = yp0 + y0(k)
Enddo
xp0 = xp0/float(np_oil0)
yp0 = yp0/float(np_oil0)
else
stop
endif

C-----
!..... setup dynamic / Các tham so / thong so của môi trường thủy động lực:
1005! ..... setup dynamic / Các tham so / thong so của môi trường thủy động lực:
Write(*,*) '.....setup dynamic .....'
If (Iddynamic .eq. 1) then
Call setup_dynamics_F0(0,Dynamic_fn,n,m,dep
& ,zeta1,T_dep1,U_cur1,V_cur1,U_win1,V_win1
& ,zeta2,T_dep2,U_cur2,V_cur2,U_win2,V_win2 )
Else
stop
Endif

C-----
!..... Oil_Spill_Compute / Tính toán mô phỏng tràn dầu:
1006 write(*,*) 'Oil_Spill_Compute'
Call Oil_Compute

! =====
STOP
END
```

Hình 4.11. Chương trình tính toán mô phỏng tràn dầu chính

2. Chương trình con đọc dữ liệu đầu vào và xây dựng điều kiện ban đầu:

- Theo sơ đồ khối đã được trình bày tại Hình 2.2, chương trình tiến hành đọc thông tin đầu vào: không gian (miền tính), thời gian (khoảng và bước) và các thông tin phụ trợ khác.

```

OSLM_Initialise.f*
Subroutine Initialise
Implicit none
Include 'Oil_Lagrange.h'

!-----
year0 = 2020 ; month0 = 01 ; day0 = 01
hour0 = 0 ; minute0 = 0 ; second0 = 0.
Call SET_TIME(second0,minute0,hour0,day0,month0,year0)
Call Julian(second0,minute0,hour0,day0,month0,year0,STime0)
years = year0 ; months = month0 ; days = day0
hours = hour0 ; minutes = minute0 ; seconds = second0

!-----
imax = 1 ; jmax = 1 ; kmax = 1 ; iint = 1 ; iprint = 1
iskp = 1 ; jskp = 1 ; IHots = 0 ; NFILE = 0 ; NTECP = 0
Igrid = 0 ; INEST = 0 ; loop = 0 ; loops = 0 ; k_coast = 0
IWind = 0 ; IPres = 0 ; ITema = 0 ; ILWRad = 0 ; ISWRad = 0
IRain = 0 ; ICloud = 0 ; IRh2m = 0 ; IWave = 0 ; ITide = 0
ICurr = 0 ; IEmw = 0 ; ISalt = 0 ; IRiver = 0 ; Ilevel = 0

Fgrid_Time = 0 ; Pr_Time = 0 ; Tecpl_time = 0 ; Hots_Time = 0
hhours = 0 ; ihhour = 0 ; hhours = 0 ; hhour0 = 0 ; in_hhour = 0.
STime0 = 0 ; STime = 0 ; iSTime = 0 ; STimee = 0 ; in_STime = 0.
STime = 0 ; TTime = 0 ; Timeo = 0 ; Timeo0 = 0 ; hmax = 0.

!-----
pi = 4.*atan(1.) ; rad = atan(1.)/45
WDens = 1028.0 ; ADens = 1.225 ! kg/m³
Wvisco = 8.90e-5 ; ohDens0 = 940. ! m²/s at 20deg.C
ovDens0 = 755.0 ; ! kg/m³
Wvisco = 1.4e-6 ; ! m²/s at 20deg.C at 20deg.C
grav = 9.81

!-----
EAST_E0 = 0. ; EAST_Es = 0. ; EAST_Ee = 0. ; x00 = 0.
NORTH_E0 = 0. ; NORTH_Es = 0. ; NORTH_Ee = 0.
dx0 = 0. ; dy0 = 0. ; dx1 = 0. ; dy1 = 0.
dx = 0. ; dy = 0. ; dx2 = 0. ; dy2 = 0.
Long0 = 0. ; Lat0 = 0. ; Longs = 0. ; Lats = 0.
Longe = 0. ; Late = 0. ; dlon0 = 0. ; dlat0 = 0.
dellat1 = 0. ; dellat2 = 0. ; dellon1 = 0. ; dellon2 = 0.
dlon = 0. ; dlat = 0. ; odt0 = 0. ; odt = 0.
dt0 = 0. ; dt = 0. ;
radius = 0. ; distance = 0.

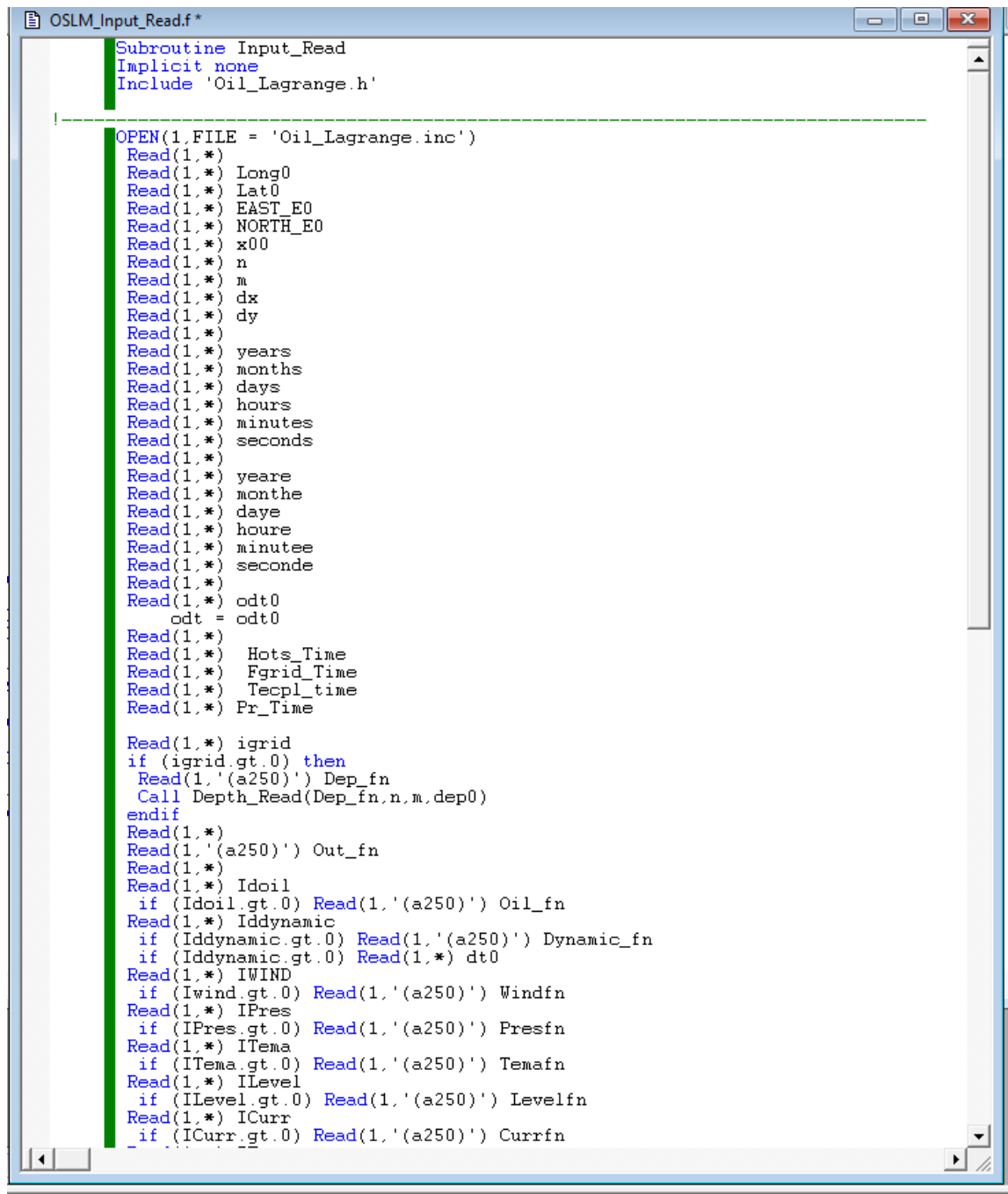
!-----
U_drift = 0. ; U_drift1 = 0. ; U_drift2 = 0.
V_drift = 0. ; V_drift1 = 0. ; V_drift2 = 0.
Ua_drif = 0. ; Ua_drif1 = 0. ; Ua_drif2 = 0.
Va_drif = 0. ; Va_drif1 = 0. ; Va_drif2 = 0.

!-----
x0 = 0. ; y0 = 0. ; u0 = 0. ; v0 = 0.
ua0 = 0. ; va0 = 0. ; uc0 = 0. ; vc0 = 0.
Toil0 = 0. ; ovDens0 = 0. ; Toilh0 = 0. ; ohDens0 = 0.
x1 = 0. ; y1 = 0. ; u1 = 0. ; v1 = 0.
ua1 = 0. ; va1 = 0. ; uc1 = 0. ; vc1 = 0.
Toil1 = 0. ; ovDens1 = 0. ; Toilh1 = 0. ; ohDens1 = 0.
x2 = 0. ; y2 = 0. ; u2 = 0. ; v2 = 0.
ua2 = 0. ; va2 = 0. ; uc2 = 0. ; vc2 = 0.
Toil2 = 0. ; ovDens2 = 0. ; Toilh2 = 0. ; ohDens2 = 0.
ix = 0. ; iy = 0. ; iu = 0. ; iv = 0.
iua = 0. ; iya = 0. ; iuc = 0. ; ivo = 0.
iToil = 0. ; iovDens = 0. ; iToilh = 0. ; ichDens = 0.

```

Hình 4.12. Chương trình đọc thông tin đầu vào

- Sau đó, chương trình tiến hành đọc thông tin điều kiện tính toán (địa hình và xây dựng địa hình trong miền tính theo lưới không gian):



```

Subroutine Input_Read
Implicit none
Include 'Oil_Lagrange.h'

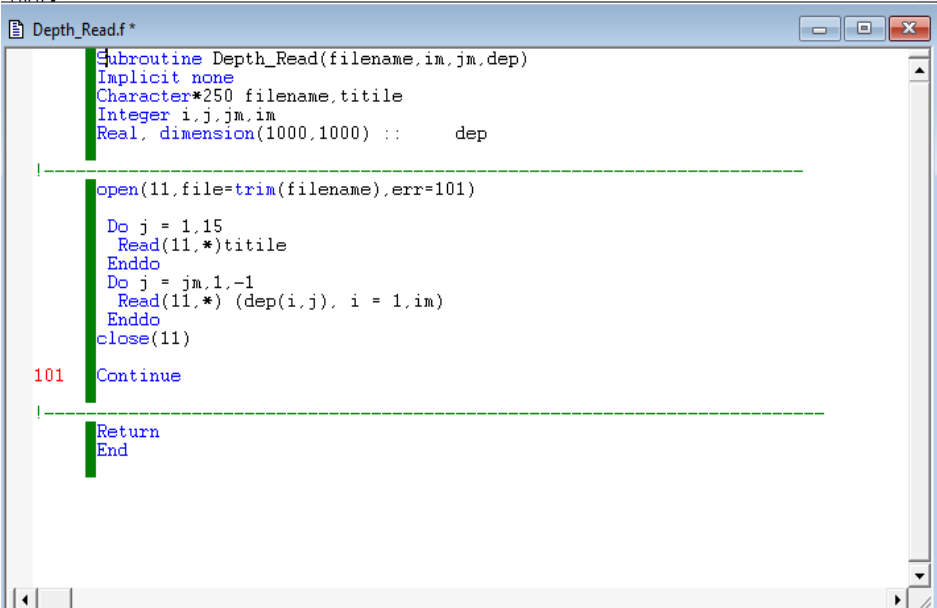
OPEN(1,FILE = 'Oil_Lagrange.inc')
Read(1,*)
Read(1,*) Long0
Read(1,*) Lat0
Read(1,*) EAST_E0
Read(1,*) NORTH_E0
Read(1,*) x00
Read(1,*) n
Read(1,*) m
Read(1,*) dx
Read(1,*) dy
Read(1,*)
Read(1,*) years
Read(1,*) months
Read(1,*) days
Read(1,*) hours
Read(1,*) minutes
Read(1,*) seconds
Read(1,*)
Read(1,*) yeare
Read(1,*) monthe
Read(1,*) daye
Read(1,*) heure
Read(1,*) minutee
Read(1,*) seconde
Read(1,*)
Read(1,*) odt0
      odt = odt0
Read(1,*)
Read(1,*) Hots_Time
Read(1,*) Fgrid_Time
Read(1,*) Tecpl_time
Read(1,*) Pr_Time

Read(1,*) igrid
if (igrd.gt.0) then
  Read(1, '(a250)') Dep_fn
  Call Depth_Read(Dep_fn,n,m,dep0)
endif
Read(1,*)
Read(1, '(a250)') Out_fn
Read(1,*)
Read(1,*) Idoil
  if (Idoil.gt.0) Read(1, '(a250)') Oil_fn
Read(1,*) Iddynamic
  if (Iddynamic.gt.0) Read(1, '(a250)') Dynamic_fn
  if (Iddynamic.gt.0) Read(1,*) dt0
Read(1,*) IWIND
  if (Iwind.gt.0) Read(1, '(a250)') Windfn
Read(1,*) IPres
  if (IPres.gt.0) Read(1, '(a250)') Presfn
Read(1,*) ITema
  if (ITema.gt.0) Read(1, '(a250)') Temafn
Read(1,*) ILevel
  if (ILevel.gt.0) Read(1, '(a250)') Levelfn
Read(1,*) ICurr
  if (ICurr.gt.0) Read(1, '(a250)') Currfn

```

Hình 4.13. Chương trình con về đọc dữ liệu về điều kiện tính toán

+ Trong các dữ liệu về điều kiện tính toán, thông tin địa hình được chương trình đọc như sau:



```

Subroutine Depth_Read(filename,im,jm,dep)
  Implicit none
  Character*250 filename,titile
  Integer i,j,jm,im
  Real, dimension(1000,1000) :: dep

  !-----
  open(11,file=trim(filename),err=101)

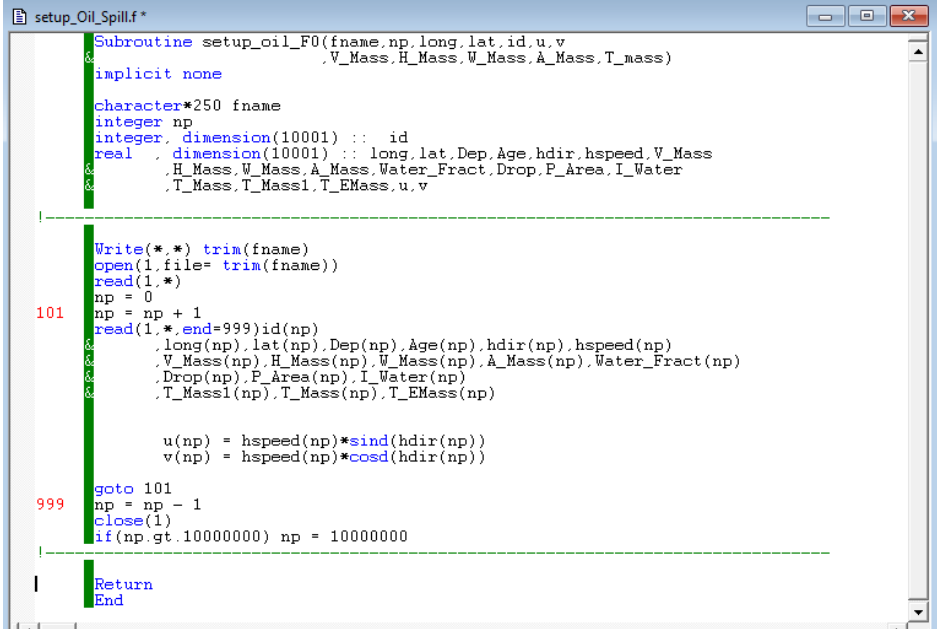
  Do j = 1,15
    Read(11,*)titile
  Enddo
  Do j = jm,1,-1
    Read(11,*) (dep(i,j), i = 1,im)
  Enddo
  close(11)
101 Continue

  !-----
  Return
End

```

Hình 4.14. Chương trình đọc thông tin địa hình

- Chương trình tiếp tục công đoạn đọc thông tin dầu tràn (thời gian, vị trí không gian, lượng dầu, kiểu tràn):



```

Subroutine setup_oil_F0(fname,np,long,lat,id,u,v
, V_Mass,H_Mass,W_Mass,A_Mass,T_mass)
  Implicit none
  Character*250 fname
  Integer np
  Integer, dimension(10001) :: id
  Real, dimension(10001) :: long,lat,Dep,Age,hdir,hspeed,V_Mass
, H_Mass,W_Mass,A_Mass,Water_Fract,Drop,P_Area,I_Water
, T_Mass,T_Mass1,T_EMass,u,v

  !-----
  Write(*,*) trim(fname)
  open(1,file= trim(fname))
  read(1,*)
  np = 0
101 np = np + 1
  read(1,*,end=999)id(np)
, long(np),lat(np),Dep(np),Age(np),hdir(np),hspeed(np)
, V_Mass(np),H_Mass(np),W_Mass(np),A_Mass(np),Water_Fract(np)
, Drop(np),P_Area(np),I_Water(np)
, T_Mass1(np),T_Mass(np),T_EMass(np)

  u(np) = hspeed(np)*sind(hdir(np))
  v(np) = hspeed(np)*cosd(hdir(np))

  goto 101
999 np = np - 1
  close(1)
  if(np.gt.10000000) np = 10000000

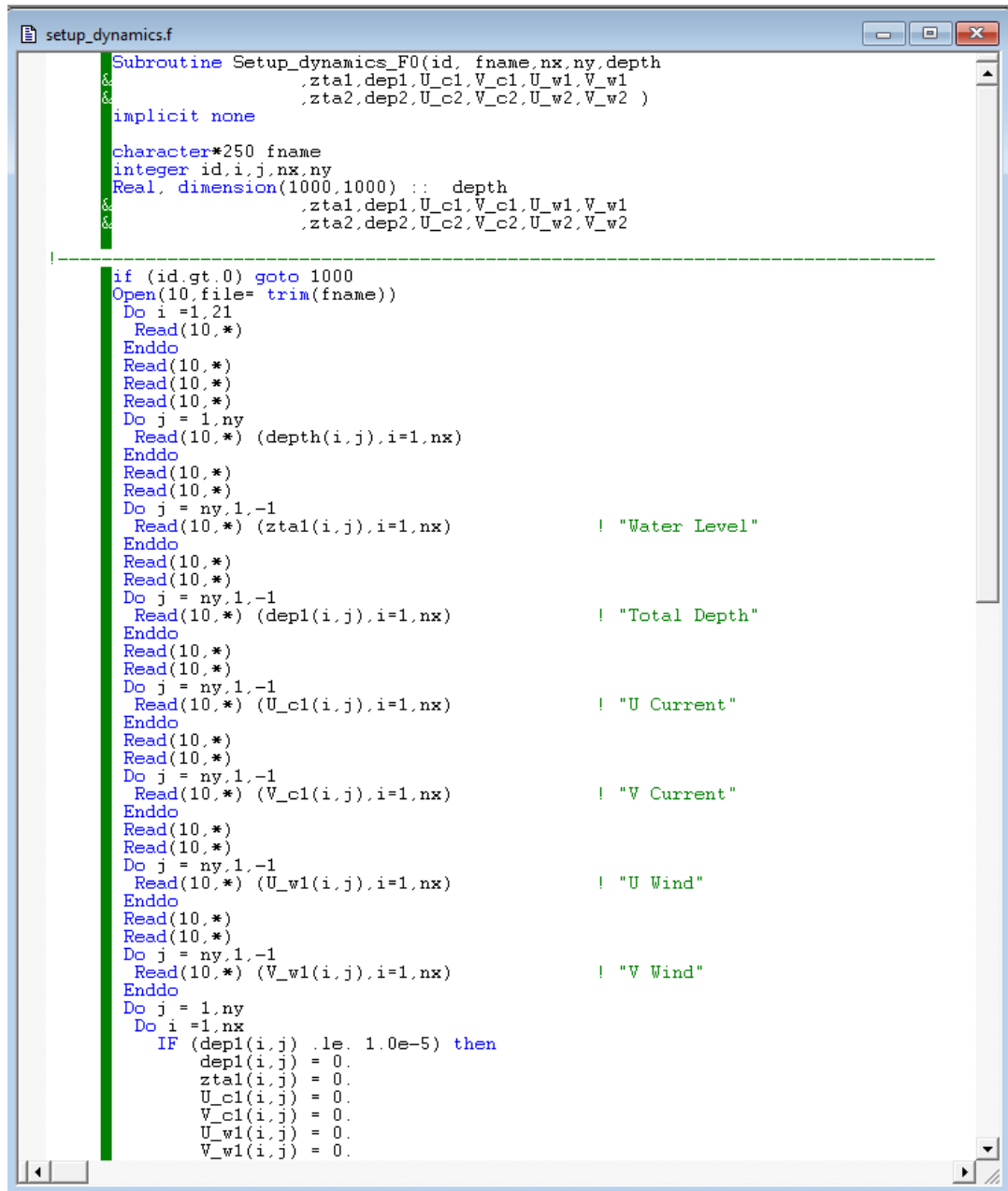
  !-----
  Return
End

```

Hình 4.15. Chương trình đọc thông tin dầu tràn

3. Chương trình con cập nhật và xử lý thông tin điều kiện các yếu tố môi trường

Chương trình sẽ tiến hành xử lý các yếu tố môi trường (sóng, gió, nhiệt độ không khí,...) về cùng hệ tọa độ trên cùng lưới tính vào các thời gian trùng nhau, theo sơ đồ khối tại Hình 2.3.



```
Subroutine Setup_dynamics_F0(id, fname, nx, ny, depth
, zta1, dep1, U_c1, V_c1, U_w1, V_w1
, zta2, dep2, U_c2, V_c2, U_w2, V_w2 )
implicit none

character*250 fname
integer id, i, j, nx, ny
Real, dimension(1000,1000) :: depth
, zta1, dep1, U_c1, V_c1, U_w1, V_w1
, zta2, dep2, U_c2, V_c2, U_w2, V_w2

!-----
if (id.gt.0) goto 1000
Open(10, file= trim(fname))
Do i = 1, 21
  Read(10, *)
Enddo
Read(10, *)
Read(10, *)
Read(10, *)
Do j = 1, ny
  Read(10, *) (depth(i, j), i=1, nx)
Enddo
Read(10, *)
Read(10, *)
Do j = ny, 1, -1
  Read(10, *) (zta1(i, j), i=1, nx)           ! "Water Level"
Enddo
Read(10, *)
Read(10, *)
Do j = ny, 1, -1
  Read(10, *) (dep1(i, j), i=1, nx)           ! "Total Depth"
Enddo
Read(10, *)
Read(10, *)
Do j = ny, 1, -1
  Read(10, *) (U_c1(i, j), i=1, nx)           ! "U Current"
Enddo
Read(10, *)
Read(10, *)
Do j = ny, 1, -1
  Read(10, *) (V_c1(i, j), i=1, nx)           ! "V Current"
Enddo
Read(10, *)
Read(10, *)
Do j = ny, 1, -1
  Read(10, *) (U_w1(i, j), i=1, nx)           ! "U Wind"
Enddo
Read(10, *)
Read(10, *)
Do j = ny, 1, -1
  Read(10, *) (V_w1(i, j), i=1, nx)           ! "V Wind"
Enddo
Do j = 1, ny
  Do i = 1, nx
    IF (dep1(i, j) .le. 1.0e-5) then
      dep1(i, j) = 0.
      zta1(i, j) = 0.
      U_c1(i, j) = 0.
      V_c1(i, j) = 0.
      U_w1(i, j) = 0.
      V_w1(i, j) = 0.
    
```

Hình 4.16. Chương trình con về cập nhật và xử lý các yếu tố môi trường

4. Chương trình con tính toán các quá trình vật lý

Chương trình tính toán quá trình bình lưu và khuếch tán của dầu tràn trên mặt biển với sơ đồ khối được trình bày tại Hình 2.4. Chương trình này đóng vai trò quan trọng trong việc tính toán sự di chuyển của các hạt dầu dưới do tác động của các yếu tố môi trường thủy động lực.

```

Subroutine Oil_Compute
Implicit none
Include 'Oil_Lagrange.h'

Integer deal, nlang, nlap, ik, jk, ik0, jk0
Real phi, Uva, Vva, Uva1, Vva1, UVva1, Dirva1, hsc, hsw, heso
, Uc, Vc, UVc, Dric, Uw, Vw, UVw, Dirw, xc, yc, cor, hsl, hs2, locx, locy
Real, Dimension(1000,1000) :: D,D1,Uc1,Vc1,Uw1,Vw1
, D2,Uc2,Vc2,Uw2,Vw2

=====
deal = 0
nlap = 20
dt = dt0/float(nlap)
np_oil = np_oil0
heso = 1.
hsw = 0.0265
Do k = 1, np_oil
  ix(k) = x0(k) ; iy(k) = y0(k) ; iid_oil(k) = id_oil0(k)
  iuc(k) = uc0(k) ; ivo(k) = vc0(k) ; iV_Mass(k) = V_Mass0(k)
  iu(k) = uc0(k) ; iv(k) = vc0(k)
  ixa(k) = x0(k) ; iya(k) = y0(k)
  iua(k) = 0. ; iva(k) = 0.
  iV_Mass(k) = V_Mass0(k) ; iH_Mass(k) = H_Mass0(k)
  iW_Mass(k) = W_Mass0(k) ; iA_Mass(k) = A_Mass0(k)
  iT_Mass(k) = T_Mass0(k)
Enddo

Do j = 1, m
  Do i = 1, n
    U_drift(i,j) = 0. ; Ua_drif(i,j) = 0.
    V_drift(i,j) = 0. ; Va_drif(i,j) = 0.
  Enddo
Enddo

1000 Continue
deal = 0
2000 Continue
deam = deam + 1
deal = deal + 1
isecond = isecond + dt
Call SET_TIME(isecond,iminute,ihour,iday,imonth,iyear)
Call Julian(isecond,iminute,ihour,iday,imonth,iyear,iTime)

ihhour = TTime/3600.
if (TTime .gt. 0. ) heso = 1.-0.25*EXP(-1./ihhour**0.35)
heso = 1.

if (TTime .lt. 30.*60.) then
  hs_diff = 2.15e-2*ihhour**0.1
else
  hs_diff = 2.15e-2
  *MAX(EXP(MAX(48.-ihhour,1.e-5)/48.)-1.7,1.e-7)**2.75
endif

4000 Continue
Call Outputs_Write
Write(*,'(5I4.2,16.4)')
, int(isecond),iminute,ihour,iday,imonth,iyear
TTime = TTime + dt
Do k = 1,np_oil
  ixa(k) = ix(k) ; iya(k) = iy(k)
Enddo
If (deal .le. NLAP) goto 2000
Do j = 1,m
  Do i = 1,n
    zeta1(i,j) = zeta2(i,j) ; T_depl(i,j) = T_dep2(i,j)
    U_curl(i,j) = U_cur2(i,j) ; V_curl(i,j) = V_cur2(i,j)
    U_vin1(i,j) = U_vin2(i,j) ; V_vin1(i,j) = V_vin2(i,j)
  Enddo
Enddo
if (Iddynamic .eq. 1) then
  Call setup_dynamics_F0(1,Dynamic_fn,n,m,0.,0.,0.,0.,0.,0.
, zeta2,T_dep2,U_cur2,V_cur2,U_vin2,V_vin2 )
endif
Goto 1000

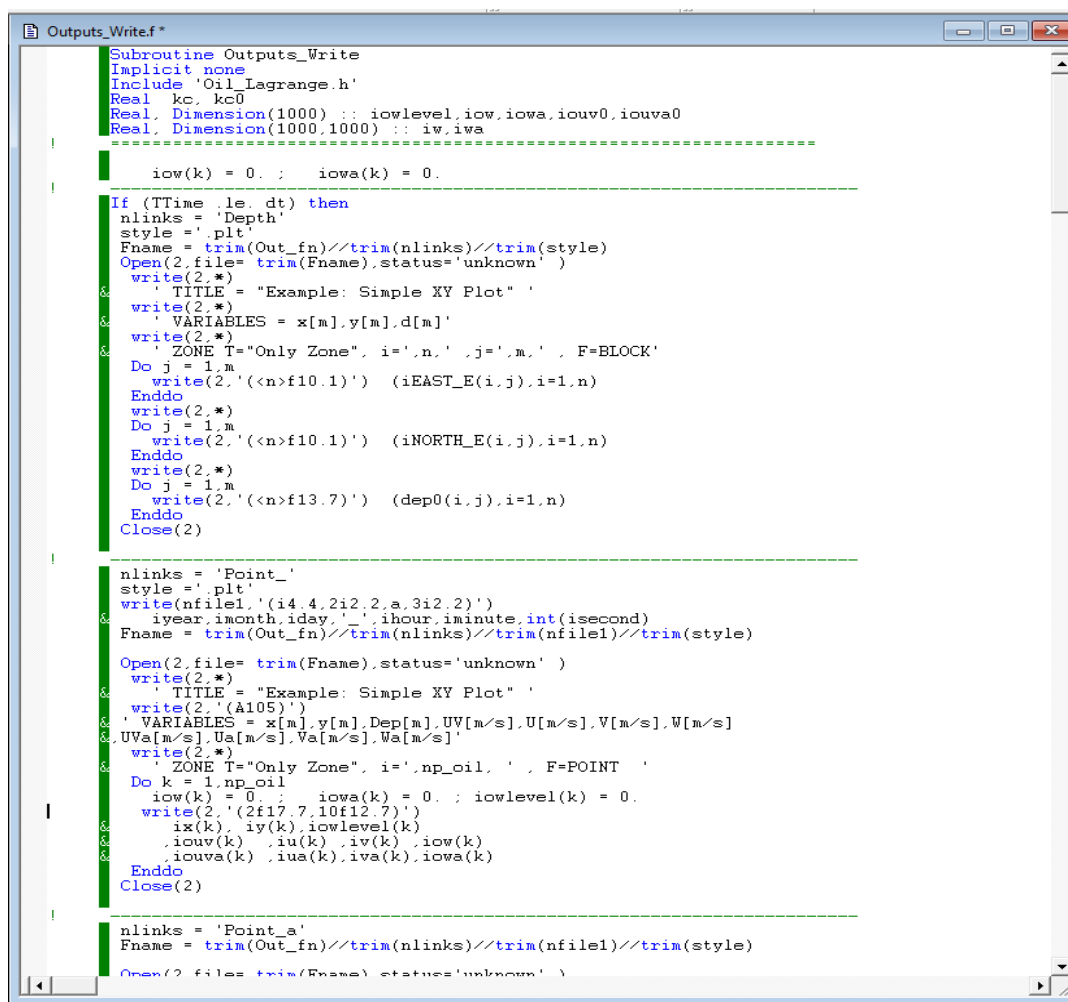
Return
End

```

Hình 4.17 Chương trình con về tính toán bình lưu và khuếch tán các hạt dầu

5. Chương trình con in kết quả tính toán:

Sau khi tính toán sự di chuyển của các hạt dầu, chương trình con này sẽ tiến hành triết xuất toàn bộ thông tin về quá trình tràn dầu, với sơ đồ khối được trình bày tại Hình 2.5.



```
Subroutine Outputs_Write
Implicit none
Include 'Oil_Lagrange.h'
Real kc, kc0
Real, Dimension(1000) :: iowlevel,iow,iowa,iouv0,iouva0
Real, Dimension(1000,1000) :: iw,iwa
!
!
!   iow(k) = 0. ;   iowa(k) = 0.
!
!
If (TTime .le. dt) then
  nlinks = 'Depth'
  style = '.plt'
  Fname = trim(Out_fn)//trim(nlinks)//trim(style)
  Open(2, file= trim(Fname), status='unknown' )
  write(2,*)
  ' TITLE = "Example: Simple XY Plot" '
  write(2,*)
  ' VARIABLES = x[m],y[m],d[m]'
  write(2,*)
  ' ZONE T="Only Zone", i=',n,' ,j=',m,' , F=BLOCK'
  Do j = 1,m
    write(2,'(<n>f10.1)') (iEAST_E(i,j),i=1,n)
  Enddo
  write(2,*)
  Do j = 1,m
    write(2,'(<n>f10.1)') (iNORTH_E(i,j),i=1,n)
  Enddo
  write(2,*)
  Do j = 1,m
    write(2,'(<n>f13.7)') (dep0(i,j),i=1,n)
  Enddo
  Close(2)
!
!
  nlinks = 'Point_'
  style = '.plt'
  write(nfile1,'(i4.4,2i2.2,a,3i2.2)')
  iyear,imonth,iday,'_',ihour,iminate,int(isecound)
  Fname = trim(Out_fn)//trim(nlinks)//trim(nfile1)//trim(style)
  Open(2, file= trim(Fname), status='unknown' )
  write(2,*)
  ' TITLE = "Example: Simple XY Plot" '
  write(2,'(A105)')
  ' VARIABLES = x[m],y[m],Dep[m],UV[m/s],U[m/s],V[m/s],W[m/s]'
  ' ,UVa[m/s],Ua[m/s],Va[m/s],Wa[m/s]'
  write(2,*)
  ' ZONE T="Only Zone", i=',np_oil,' , F=POINT '
  Do k = 1,np_oil
    iow(k) = 0. ;   iowa(k) = 0. ; iowlevel(k) = 0.
    write(2,'(2f17.7,10f12.7)')
    ix(k), iy(k), iowlevel(k)
    , iouv(k) , iu(k) , iv(k) , iow(k)
    , iouva(k) , iua(k) , iva(k) , iowa(k)
  Enddo
  Close(2)
!
!
  nlinks = 'Point_a'
  Fname = trim(Out_fn)//trim(nlinks)//trim(nfile1)//trim(style)
  Open(2, file= trim(Fname), status='unknown' )
```

Hình 4.18 Chương trình con in kết quả tính toán

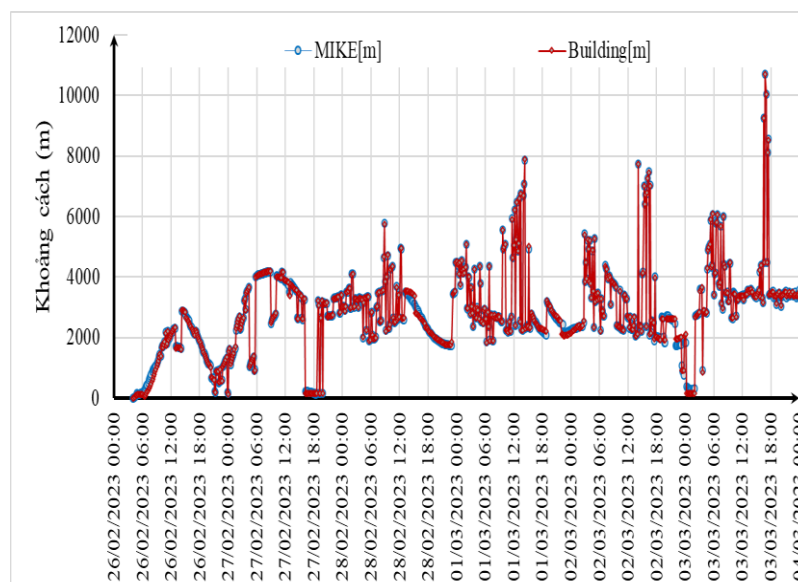
4.3 Kết quả tính toán mô phỏng tràn dầu trong không gian hai chiều (2D) và ba chiều (3D)

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

Kết quả tính toán được đánh giá giữa mô hình MIKE và mô hình tự xây dựng theo vị trí gần nhất mà các so sánh đánh giá này sẽ được thể hiện qua hệ số R, RMSE, chỉ số NSE và PBIAS.

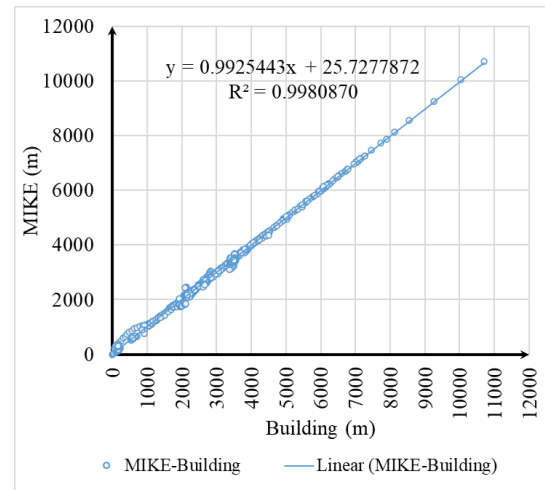
Hình 4.19 thể hiện khoảng cách tương quan giữa các hạt dầu từ mô hình MIKE (đường chấm tròn màu xanh) và mô hình tự xây dựng (đường chấm tròn màu đỏ). Biểu đồ thể hiện khoảng cách giữa các hạt dầu từ hai mô hình khá nhỏ, từ đó cho thấy độ tin cậy của mô hình tự xây dựng. Bảng 4.1 đưa ra cụ thể hơn ba 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 4.20 là đồ thị bậc 1 so sánh tương quan khoảng cách của hạt dầu từ mô hình MIKE và mô hình tự xây dựng, kết quả đồ thị ở dạng tuyến tính cho thấy sự đồng nhất cao giữa hai mô hình.



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

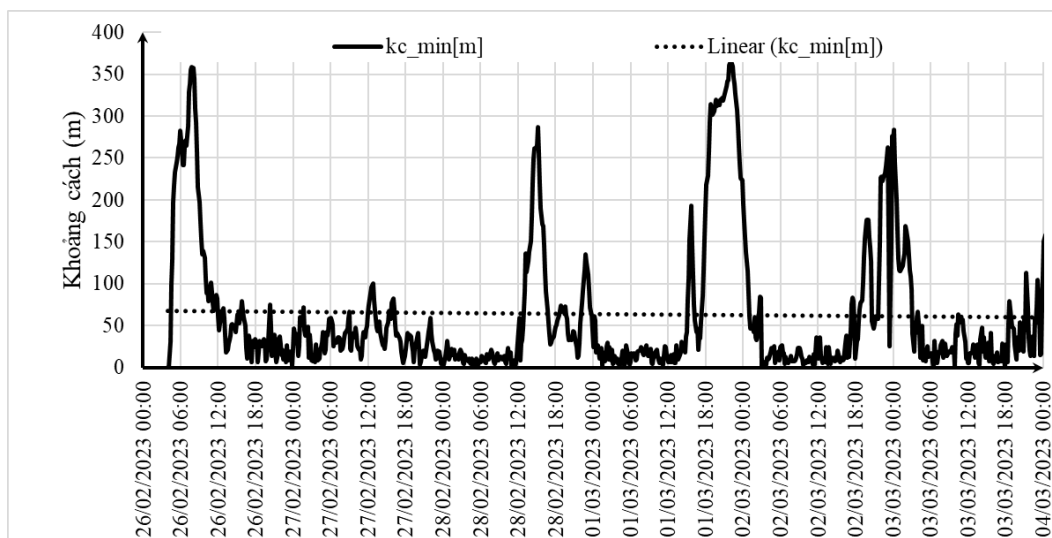
Bảng 4.1. Độ chính xác thống kê khoảng cách của hạt dầu từ mô hình MIKE và mô hình tự xây dựng từ 26/02/2023 đến 04/03/2023

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



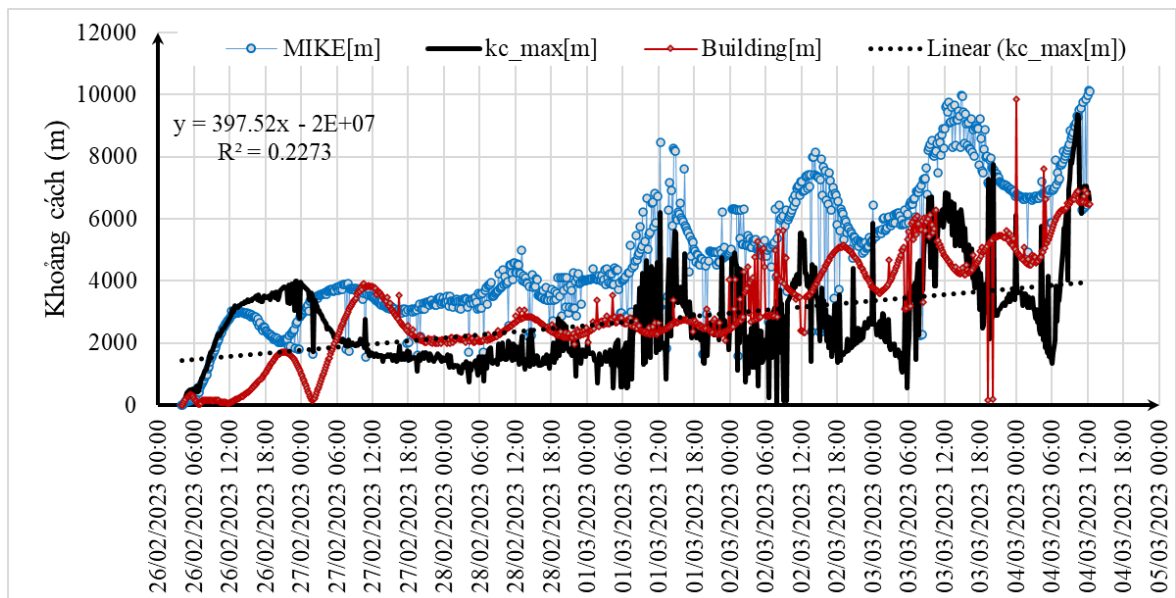
Hình 4.20. Tương quan khoảng cách của hạt dầu từ mô hình MIKE và mô hình tự xây dựng từ 26/02/2023 đến 04/03/2023

Hình 4.21 thể hiện tương quan so sánh khoảng cách vị trí gần nhất giữa mô hình MIKE và mô hình tự xây dựng giai đoạn từ 26/02/2023 đến 04/03/2023, đường liền nét thể hiện biến thiên khoảng cách nhỏ nhất, đường đứt nét thể hiện biến thiên khoảng cách tuyến tính nhỏ nhất. Nhìn chung khoảng cách được thu hẹp dần từ 70m tiến về dần 50m vào ngày 04/03/2023. Có một số thời điểm biến thiên khoảng cách tăng đột biến tại các thời điểm 07h ngày 26/02, 15h ngày 28/02, 22h ngày 01/03 và 00h ngày 03/03.



Hình 4.21. Biến trình khoảng cách vị trí gần nhất giữa mô hình MIKE và mô hình tự xây dựng từ 26/02/2023 đến 04/03/2023

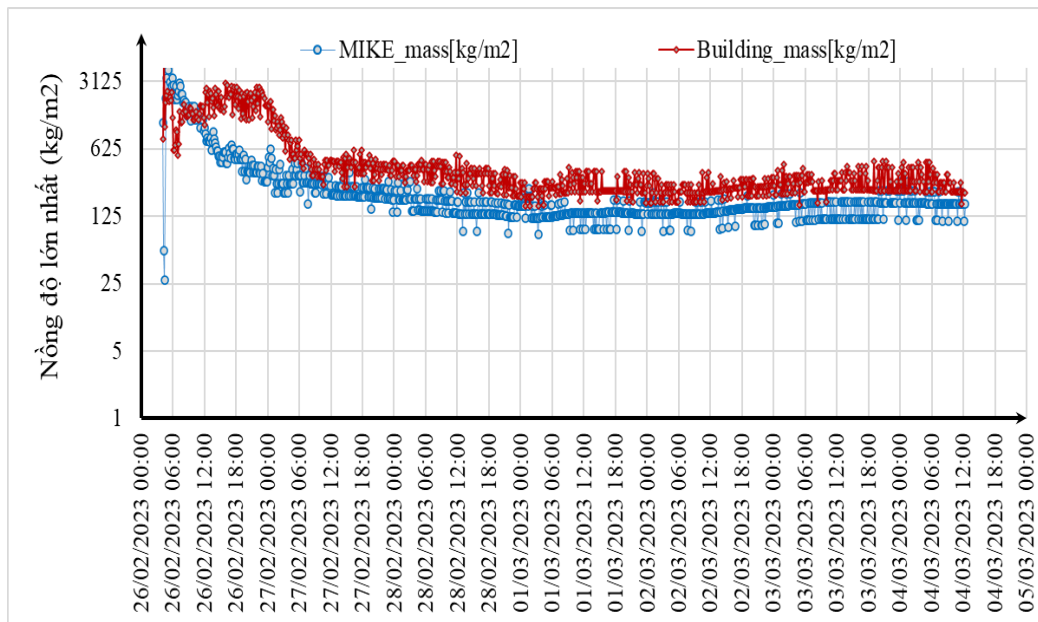
Hình 4.22 thể hiện tương quan so sánh khoảng cách từ vị trí tràn dầu đến vị trí nồng độ dầu lớn nhất của mô hình MIKE, mô hình tự xây dựng và khoảng cách giữa hai vị trí này ($kc_max[m]$) giai đoạn từ 26/02 đến 04/03/2023. Đường màu đỏ đứt nét thể hiện mức độ thay đổi tuyến tính khoảng cách tăng dần từ 1.200m đến 4.000m vào những ngày cuối của mô phỏng. Đường chấm tròn màu đỏ là mô hình tự xây dựng, đường chấm tròn màu xanh là mô hình MIKE. Biến thiên khoảng cách từ vị trí tràn đến vị trí có nồng độ dầu lớn nhất của hai mô hình này tăng dần, cùng pha, cùng biên độ, có tỉ lệ tương đồng cao. Kết thúc giai đoạn mô phỏng vào ngày 04/03 khoảng cách của mô hình MIKE là 10.000m và mô hình tự xây dựng là hơn 6.000m so với vị trí tràn dầu ban đầu.



Hình 4.22. Biến trình khoảng cách từ vị trí tràn dầu đến vị trí nồng độ dầu lớn nhất của mô hình MIKE, mô hình tự xây dựng và khoảng cách giữa hai vị trí này từ 26/02/2023 đến 04/03/2023

Hình 4.23 thể hiện tương quan so sánh nồng độ dầu lớn nhất của mô hình MIKE và mô hình tự xây dựng giai đoạn từ 26/02/2023 đến 04/03/2023. Sau 12h đầu tiên tràn dầu, nồng độ dầu giảm đột ngột, mô hình MIKE nồng độ giảm nhanh hơn từ mức 3.125kg/m^2 xuống mức gần 600kg/m^2 , sau 30h thì nồng độ giảm nhưng gần như không đổi cho đến ngày 04/3. Mô hình tự xây dựng sau

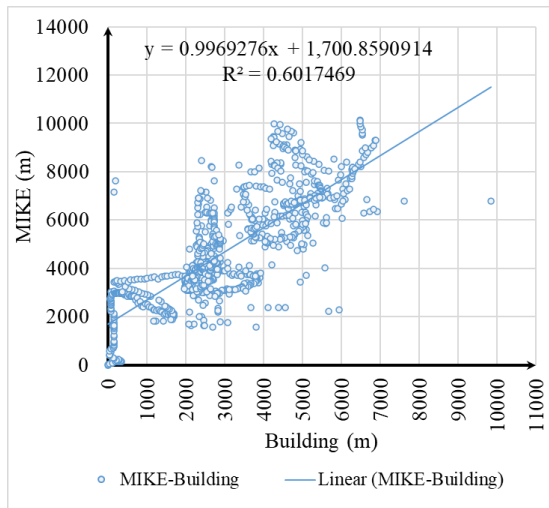
12h dầu tràn nồng độ chưa giảm ngay mà cần đến 24h nồng độ mới giảm từ 3125kg/m^2 xuống mức hơn 500kg/m^2 sau đó ổn định quanh mức này. Bảng 4.2 thể hiện chi tiết các thông số này và chỉ số đánh giá sai số đều nằm ở mức cho phép. Nồng độ trung bình giữa hai mô hình chênh lệch hơn 200kg/m^2 . Hình 4.24 và 4.25 so sánh khoảng cách từ vị trí tràn dầu đến vị trí nồng độ lớn nhất và nồng độ lớn nhất giữa mô hình MIKE và mô hình tự xây dựng giai đoạn từ 26/02/2023 đến 04/03/2023 dưới dạng đồ thị bậc 1.



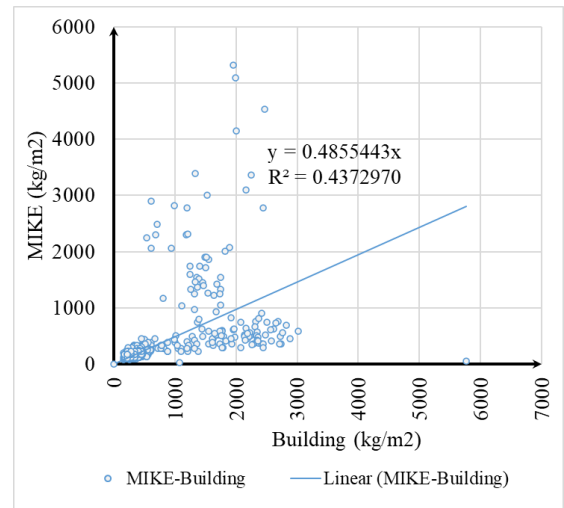
Hình 4.23. Biến trình nồng độ dầu lớn nhất của mô hình MIKE và mô hình tự xây dựng từ 26/02/2023 đến 04/03/2023

Bảng 4.2. Độ chính xác thống kê khoảng cách từ vị trí tràn dầu đến vị trí nồng độ lớn nhất và nồng độ lớn nhất giữa mô hình MIKE và mô hình tự xây dựng từ 26/02/2023 đến 04/03/2023

Đặc trưng		Khoảng cách [m]	Nồng độ lớn nhất [kg/m^2]
Trung bình từ vị trí tràn dầu đến vị trí gần nhất	MIKE	4762.596	299.059
	Building	3071.173	529.514
Khoảng cách vị trí nồng độ lớn nhất giữa MIKE và tự xây dựng [m]	Lớn nhất	9354.787	
	Trung bình	2713.917	
Chỉ số đánh giá về nồng độ lớn nhất và khoảng cách (từ vị trí tràn dầu đến vị trí nồng độ lớn nhất) giữa mô hình MIKE và tự xây dựng	R	0.776	0.499
	RMSE	2153.883	597.912
	NASH	0.039	0.431
	PBIAS (%)	35.515	-77.060



Hình 4.24. Tương quan khoảng cách từ vị trí tràn dầu đến vị trí nồng độ lớn nhất giữa mô hình MIKE và mô hình tự xây dựng từ 26/02/2023 đến 04/03/2023

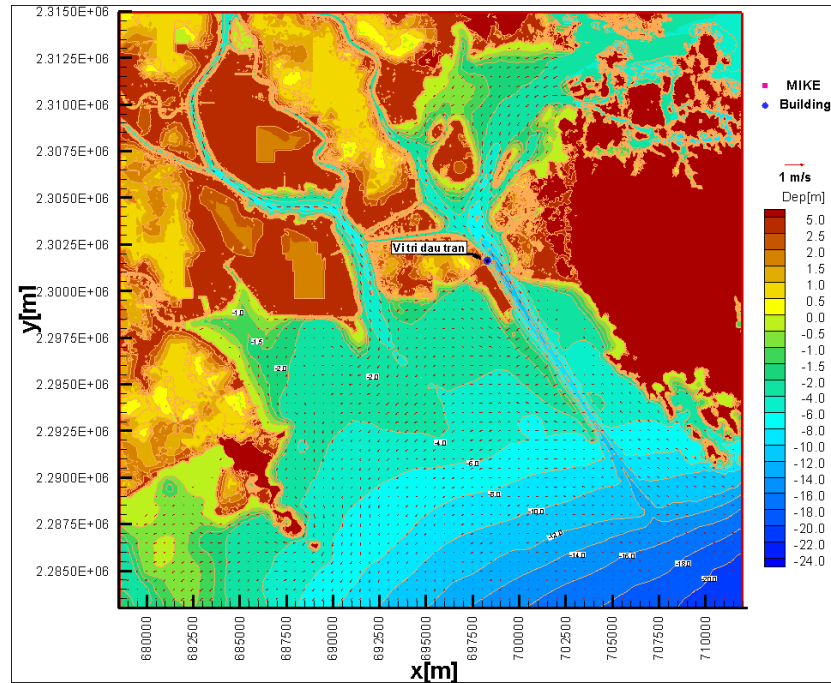


Hình 4.25. Tương quan nồng độ lớn nhất giữa mô hình MIKE và mô hình tự xây dựng từ 26/02/2023 đến 04/03/2023

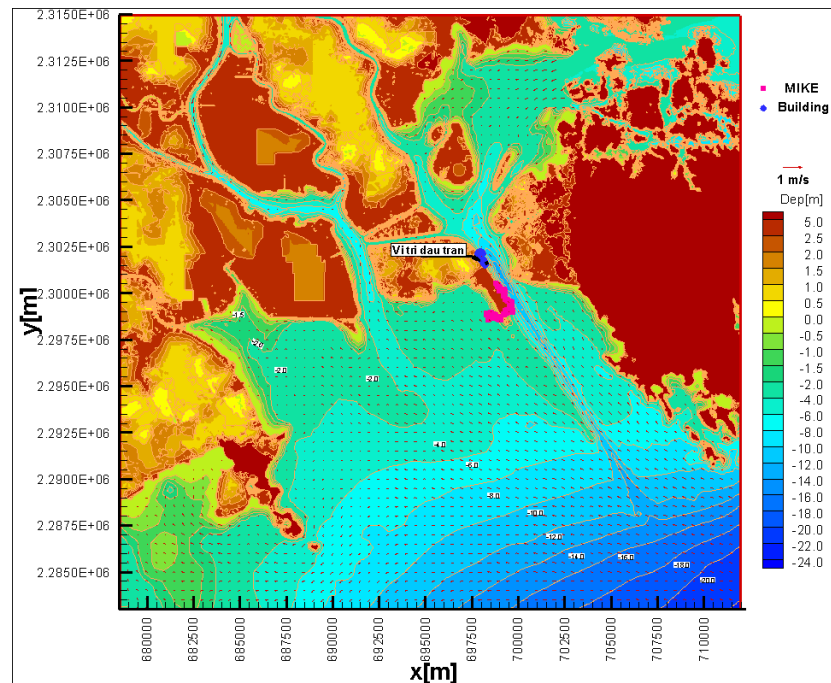
Hình 4.26 thể hiện sự so sánh quỹ đạo vệt dầu tràn theo vị trí của hạt dầu từ mô hình MIKE (hình vuông màu tím) và mô hình xây dựng (hình tròn màu xanh) giai đoạn từ 26/02/2023 đến 04/03/2023 với kịch bản sự cố tràn dầu tại bến Gót, cửa Lạch Huyện. Trong thời gian đầu, quỹ đạo mô phỏng và quỹ đạo MIKE khá tương đồng. Từ ngày 28/2 trở đi, quỹ đạo của chương trình mô phỏng 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 và lan vào luồng Nam Triệu. Hình 4.27 thể hiện kết quả mô phỏng vệt dầu ngày 27/2, tức là 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 được trong một công bố trên trang web của báo Công tin tức Thành phố Hải Phòng đăng ngày 27/2/2023 [88].

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

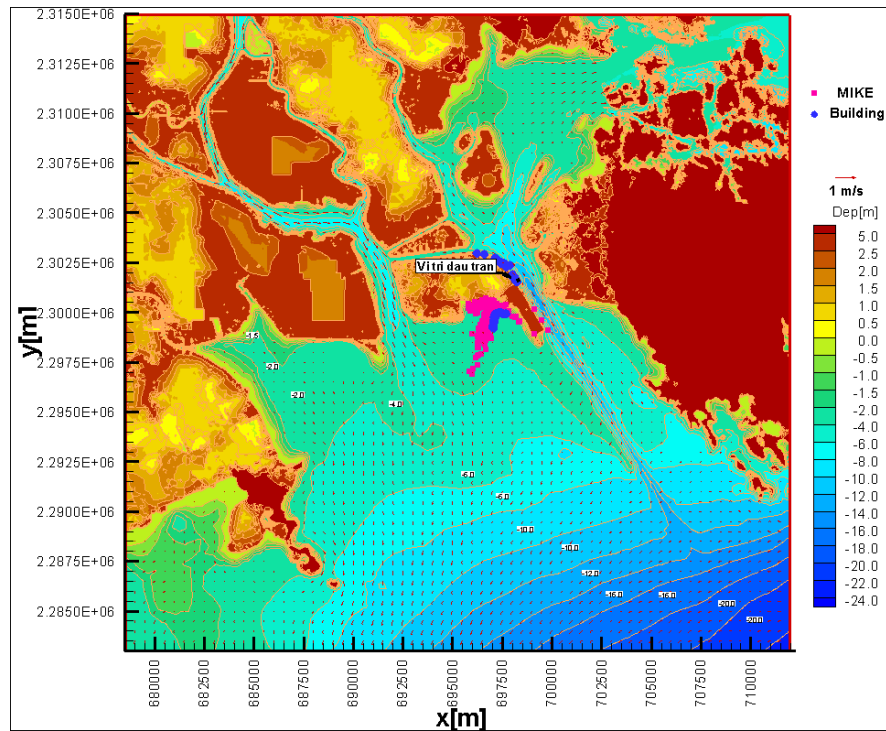
vuông màu tím) và mô hình xây dựng (hình tròn màu xanh) giai đoạn từ 26/02/2023 đến 03/03/2023. Hình 4.28 là kết quả mô phỏng 3D của vệt dầu trong Hình 4.26.



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

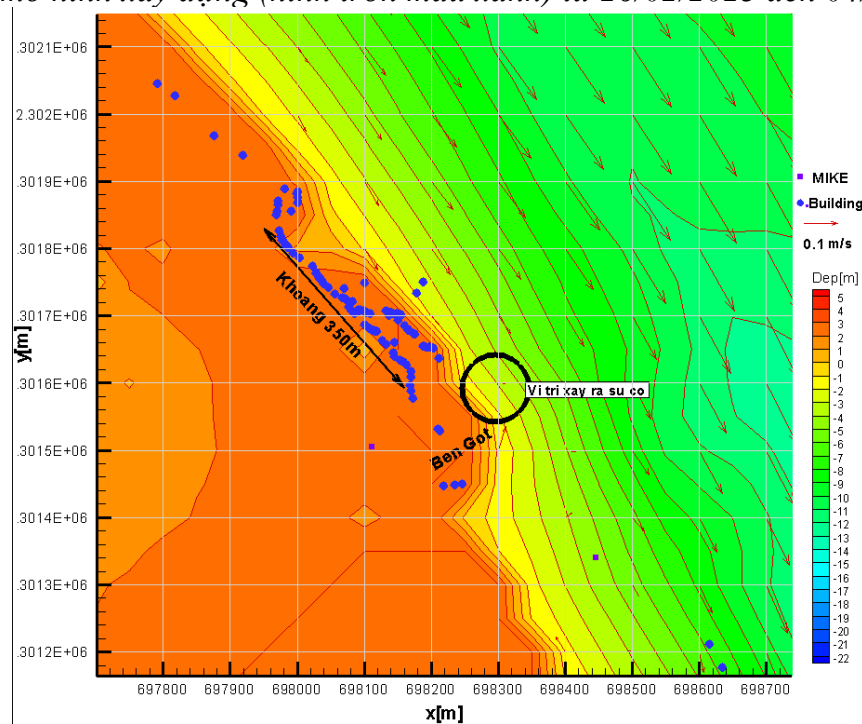


b) Lúc 16 giờ ngày 26/02/2023 (sau 12 giờ)

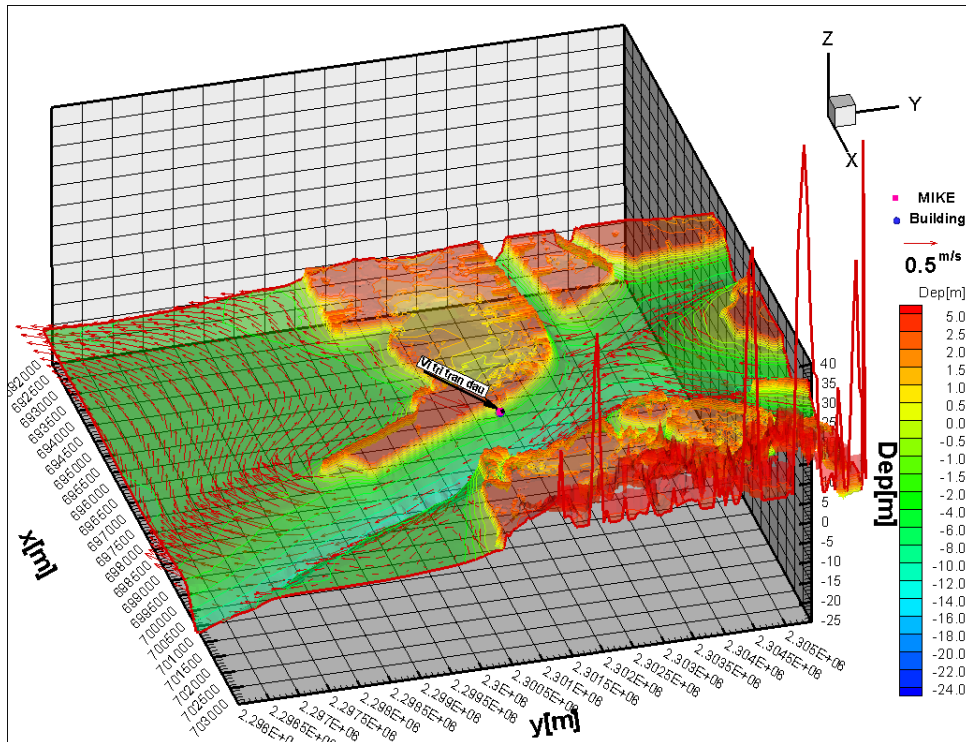


c) Lúc 04 giờ ngày 28/02/2023 (sau 2 ngày)

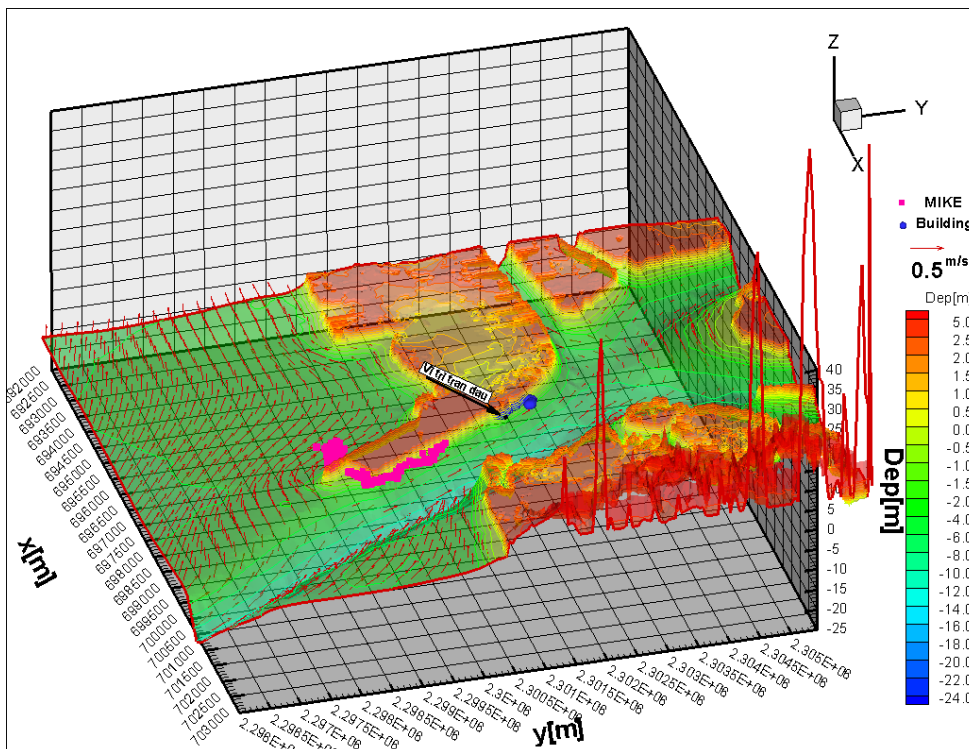
Hình 4.26. Vết dầu tràn theo vị trí của hạt dầu từ mô hình MIKE (hình vuông màu tím) và mô hình xây dựng (hình tròn màu xanh) từ 26/02/2023 đến 04/03/2023



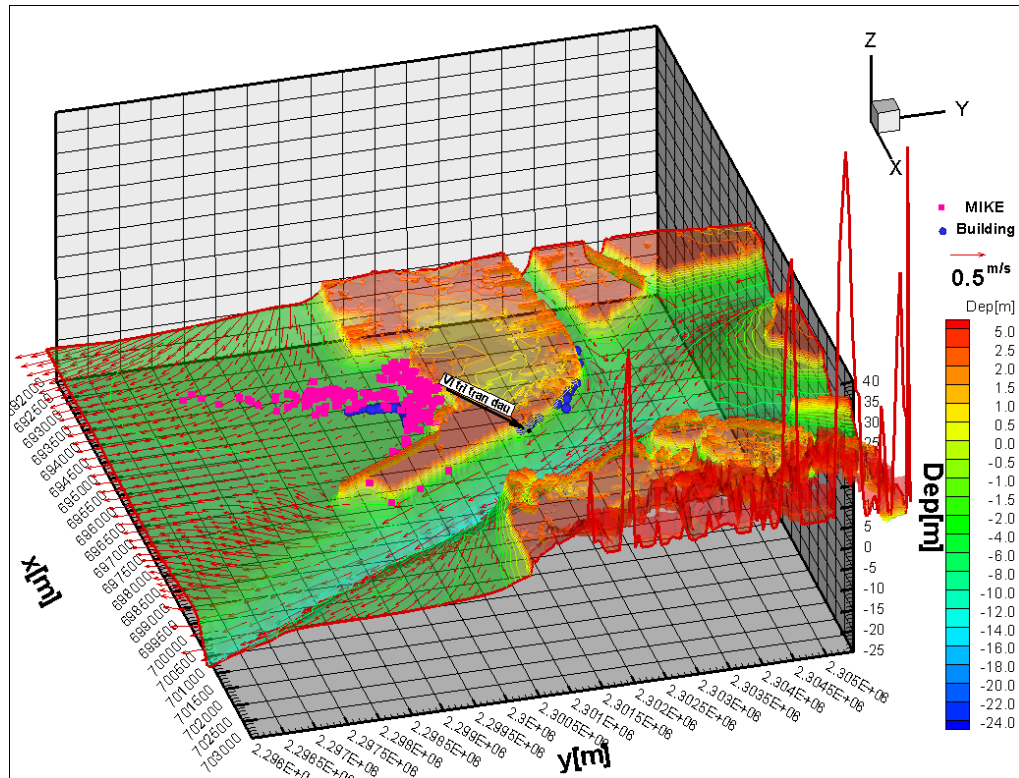
Hình 4.27. Vết dầu tràn bám vào bờ khu vực gần Bến Gót sau một ngày xảy ra sự cố tràn dầu lúc 04 giờ ngày 27/02/2023



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



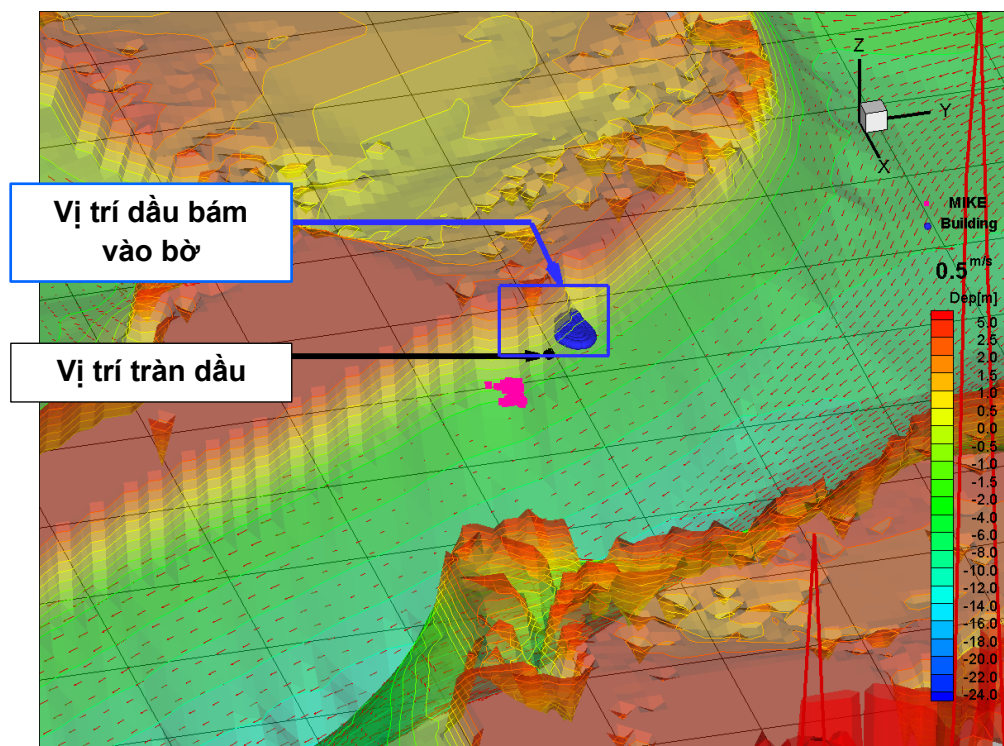
b) Lúc 16 giờ ngày 26/02/2023 (sau 12 giờ)



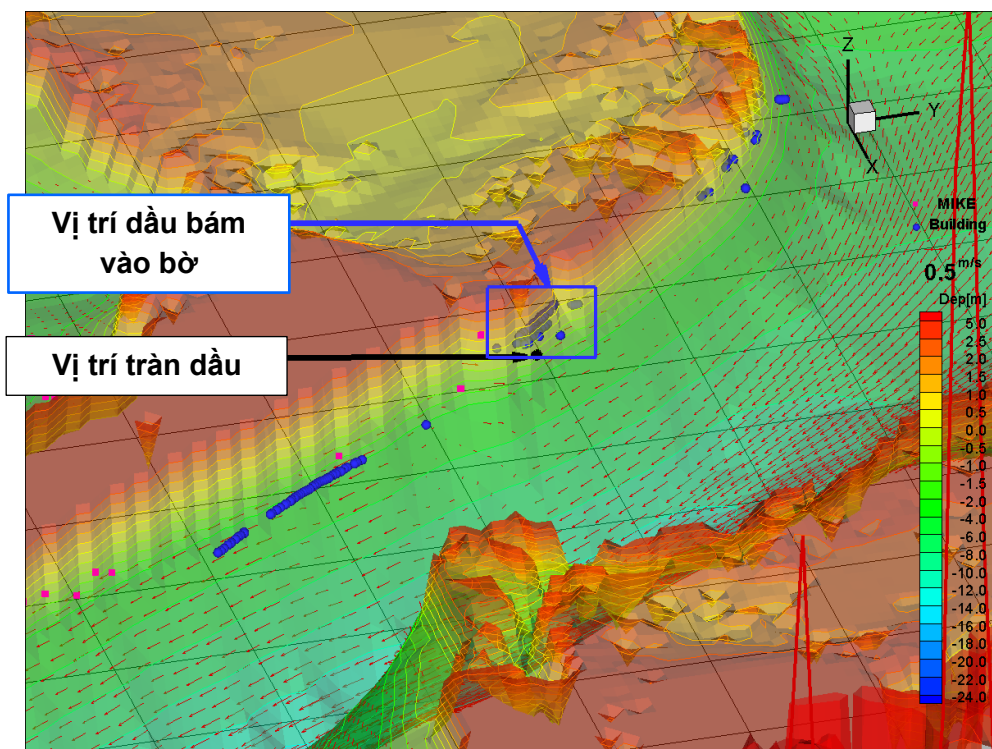
c) Lúc 04 giờ ngày 28/02/2023 (sau 2 ngày)

Hình 4.28. Vệt dầu tràn 3D 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)

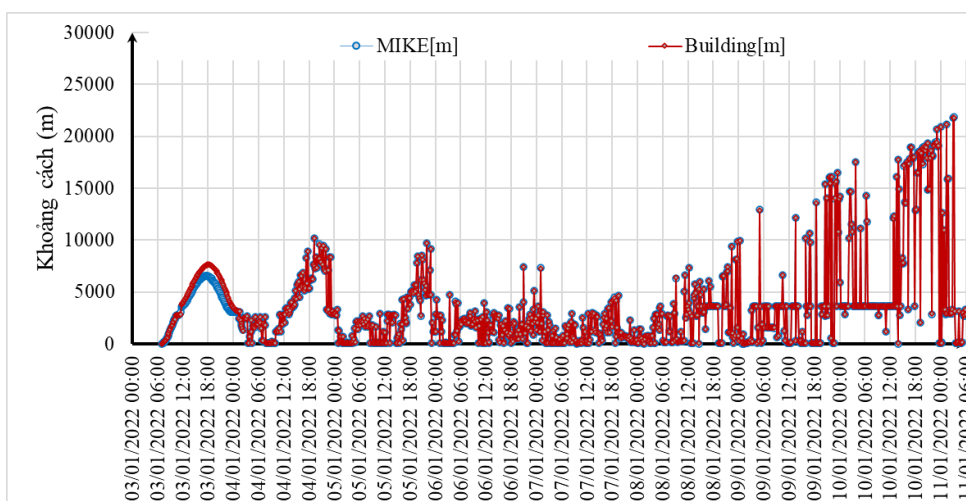


b) Lúc 04 giờ ngày 27/02/2023 (sau 1 ngày)

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

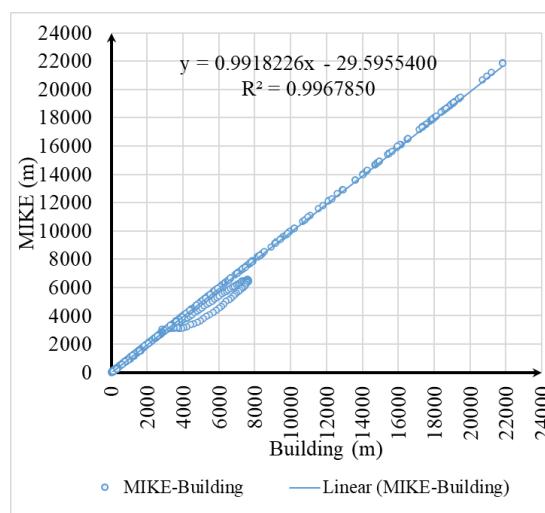
Nghiên cứu sinh tiến hành thực hiện mô phỏng cho trường hợp giả định kỳ gió mùa Đông Bắc tháng 01/2022. Kết quả tính mô hình được đánh giá giữa mô hình MIKE và mô hình tự xây dựng dựa trên các thông số khoảng cách và nồng độ được thể hiện như các hình vẽ và bảng bên dưới. Các thông số này được đánh giá qua hệ số R, RMSE, chỉ số NSE và PBIAS.



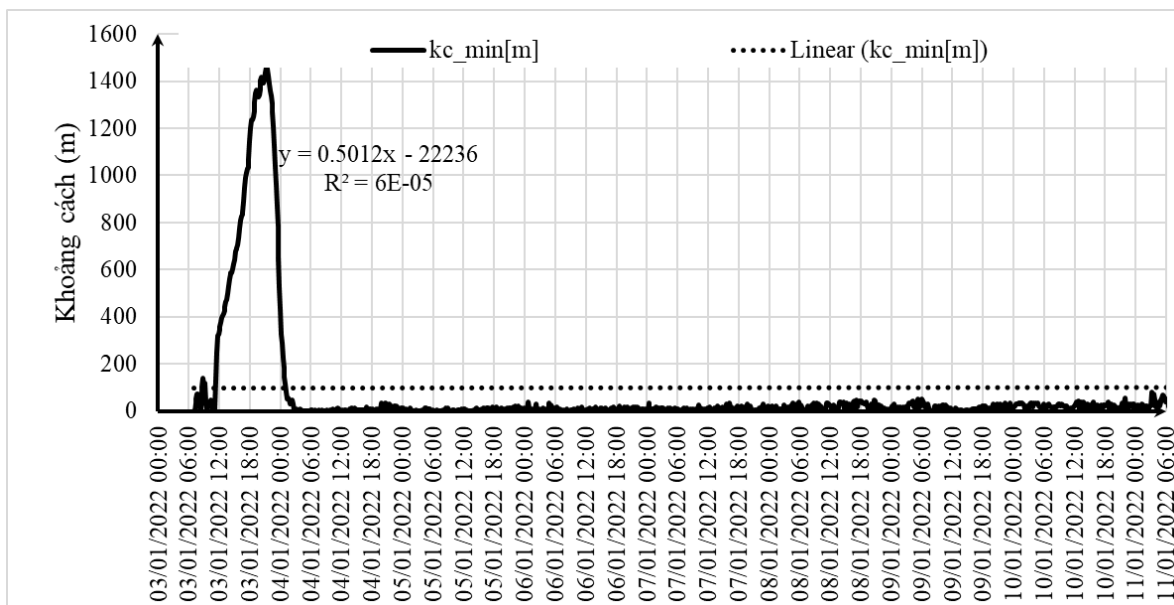
Hình 4.30. Biến trình khoảng cách từ vị trí tràn dầu đến vị trí gần nhất của mô hình MIKE và mô hình tự xây dựng từ 03/01/2022 đến 11/01/2022 (tại bến Gót)

Bảng 4.3. Độ chính xác thống kê khoảng cách từ vị trí tràn dầu đến vị trí gần nhất giữa mô hình MIKE và mô hình tự xây dựng từ 03/01/2022 đến 11/01/2022 (tại bến Gót)

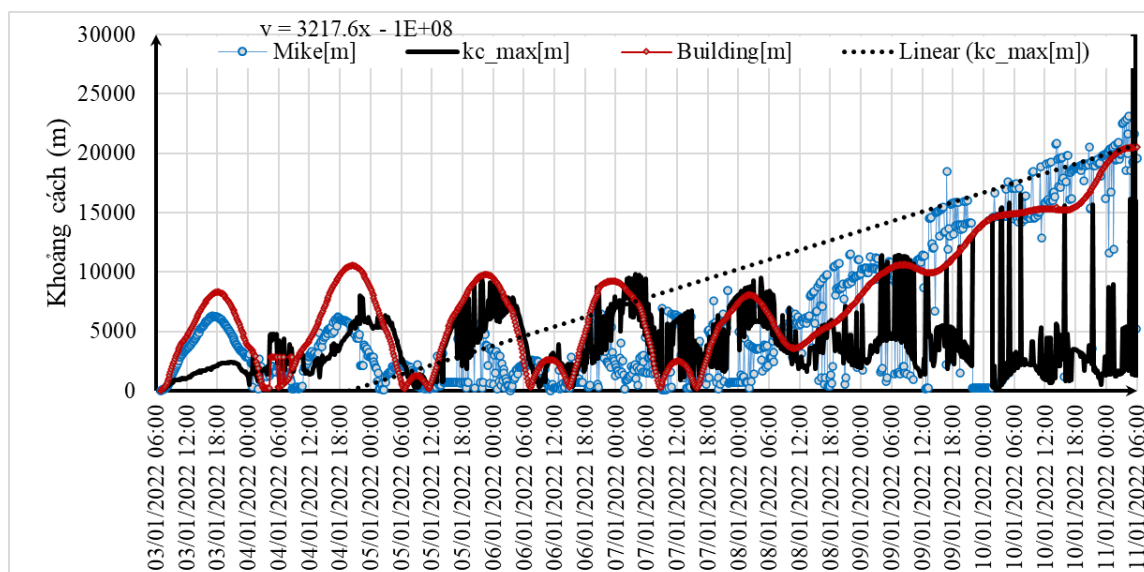
Khoảng cách trung bình từ vị trí tràn dầu đến vị trí gần nhất [m]	MIKE	3526.394
	Building	3585.308
Khoảng cách vị trí gần nhất giữa MIKE và tự xây dựng [m]	Lớn nhất	1469.361
	Trung bình	75.754
Chỉ số đánh giá về khoảng cách từ vị trí tràn dầu đến vị trí gần nhất giữa mô hình MIKE và tự xây dựng	R	0.998
	RMSE	252.012
	NASH	0.997
	PBIAS (%)	-1.671



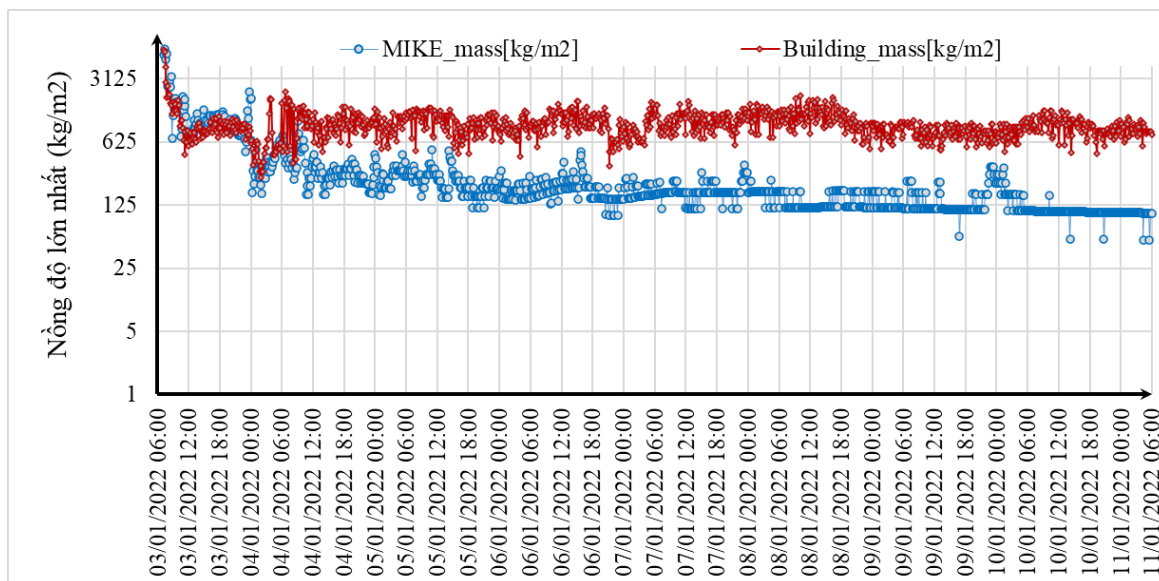
Hình 4.31. Tương quan khoảng cách từ vị trí tràn dầu đến vị trí gần nhất giữa mô hình MIKE và mô hình tự xây dựng từ 03/01/2022 đến 11/01/2022 (tại bến Gót)



Hình 4.32. Biến trình khoảng cách vị trí gần nhất giữa mô hình MIKE và mô hình tự xây dựng từ 03/01/2022 đến 11/01/2022 (tại bến Gót)



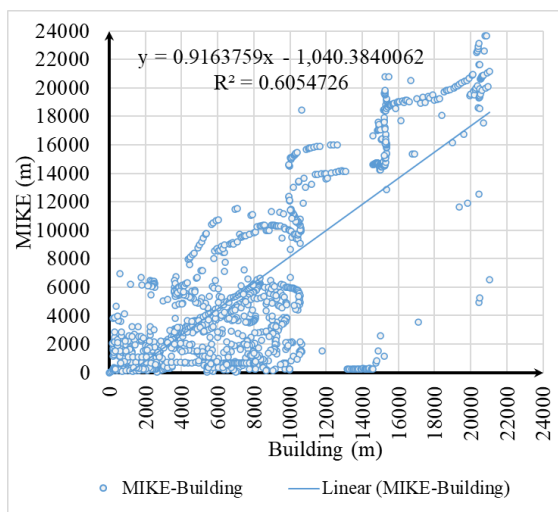
Hình 4.33. Biến trình khoảng cách từ vị trí tràn dầu đến vị trí nồng độ dầu lớn nhất của mô hình MIKE mô hình tự xây dựng và khoảng cách giữa hai vị trí này từ 03/01/2022 đến 11/01/2022 (tại bến Gót)



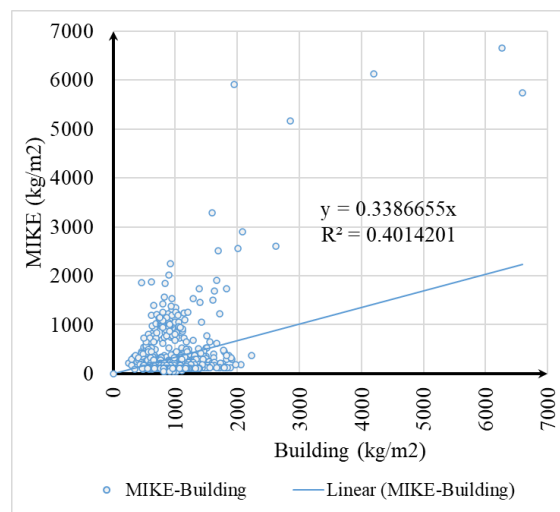
Hình 4.34. Biến trình nồng độ dầu lớn nhất của mô hình MIKE và mô hình tự xây dựng từ 03/01/2022 đến 11/01/2022 (tại bến Gót)

Bảng 4.4. Độ chính xác thống kê khoảng cách từ vị trí tràn dầu đến vị trí nồng độ lớn nhất và nồng độ lớn nhất giữa mô hình MIKE và mô hình tự xây dựng từ 03/01/2022 đến 11/01/2022 (tại bến Gót)

Đặc trưng		Khoảng cách [m]	Nồng độ lớn nhất [kg/m ²]
Trung bình từ vị trí tràn dầu đến vị trí gần nhất	MIKE	6085.171	295.218
	Building	7775.799	1001.036
Khoảng cách vị trí nồng độ lớn nhất giữa MIKE và tự xây dựng [m]	Lớn nhất	2385072.750	
	Trung bình	8095.067	
Chỉ số đánh giá về nồng độ lớn nhất và khoảng cách (từ vị trí tràn dầu đến vị trí nồng độ lớn nhất) giữa mô hình MIKE và tự xây dựng	R	0.778	0.496
	RMSE	4256.370	837.854
	NASH	0.526	1.894
	PBIAS (%)	-27.783	-77.060



Hình 4.35. Tương quan khoảng cách từ vị trí tràn dầu đến vị trí nồng độ lớn nhất giữa mô hình MIKE và mô hình tự xây dựng từ 03/01/2022 đến 11/01/2022 (tại bến Gót)



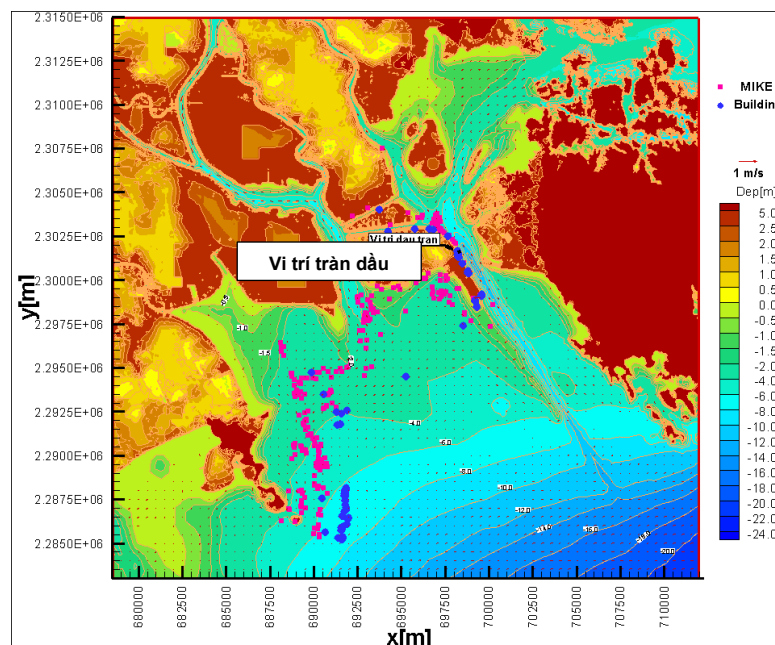
Hình 4.36. Tương quan nồng độ lớn nhất giữa mô hình MIKE và mô hình tự xây dựng từ 03/01/2022 đến 11/01/2022 (tại bến Gót)

Với thời kỳ gió mùa Đông Bắc, nghiên cứu sinh thực hiện mô phỏng với hai kịch bản:

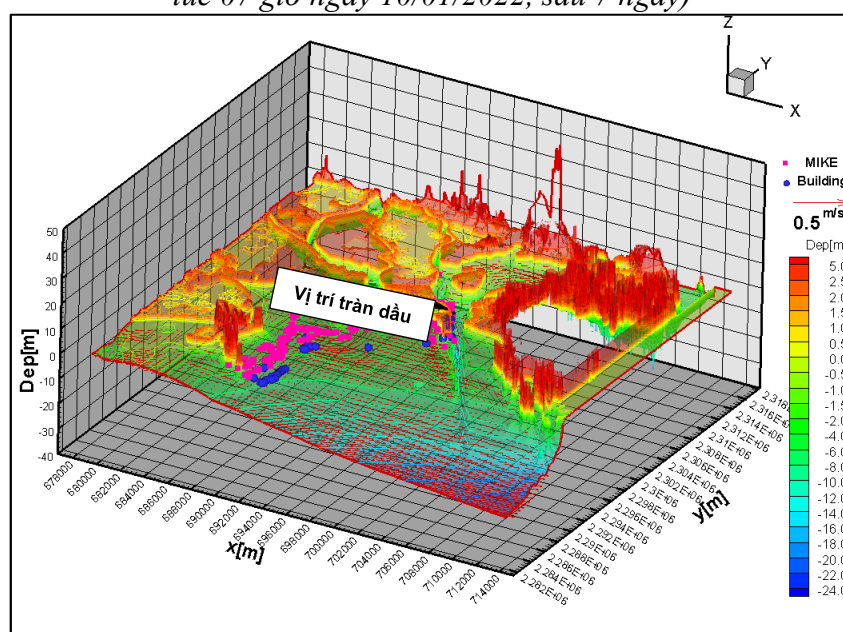
- Trong kịch bản xảy ra tại khu bến Gót, cửa Lạch Huyện xảy ra giai đoạn từ 03/01/2022 đến 10/01/2022 (Hình 4.37) thể hiện so sánh quỹ đạo di chuyển của các thành phần hạt dầu từ mô hình MIKE (hình vuông màu tím) và mô hình xây dựng (hình tròn màu xanh). Vệt dầu từ khu vực bến cảng Lạch Huyện, trôi dạt chủ yếu theo hướng Nam và Tây Nam ảnh hưởng tới khu vực luồng Lạch Huyện, kênh Hà Nam, kênh Cái Tráp, luồng Nam Triệu và trôi xuống khu vực Đồ Sơn, Hòn Dấu. Kết quả so sánh trong trường hợp này cho thấy sự tương đồng khá cao giữa chương trình MIKE và chương trình xây dựng. Hình 4.38 là kết quả so sánh dưới dạng 3D của Hình 4.37.

- Trong kịch bản sự cố tại cảng Đình Vũ, cửa Bạch Đằng từ 03/01/2022 đến 13/01/2022. Vệt dầu di chuyển theo hướng chủ đạo là Nam và Tây Nam ảnh hưởng đến các khu vực ven biển Hải Phòng, ven biển Đồ Sơn. Kết quả so sánh cả

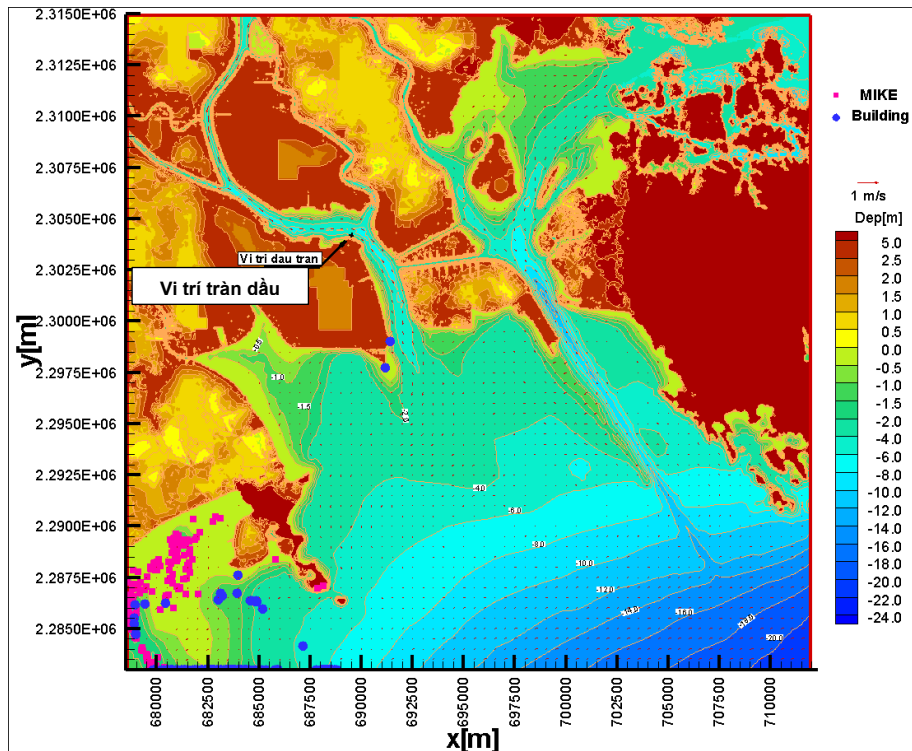
dưới dạng 2D (Hình 4.39) và dưới dạng 3D (Hình 4.40) đều cho thấy hướng dịch chuyển của chương trình MIKE và chương trình mô phỏng là tương đồng cao.



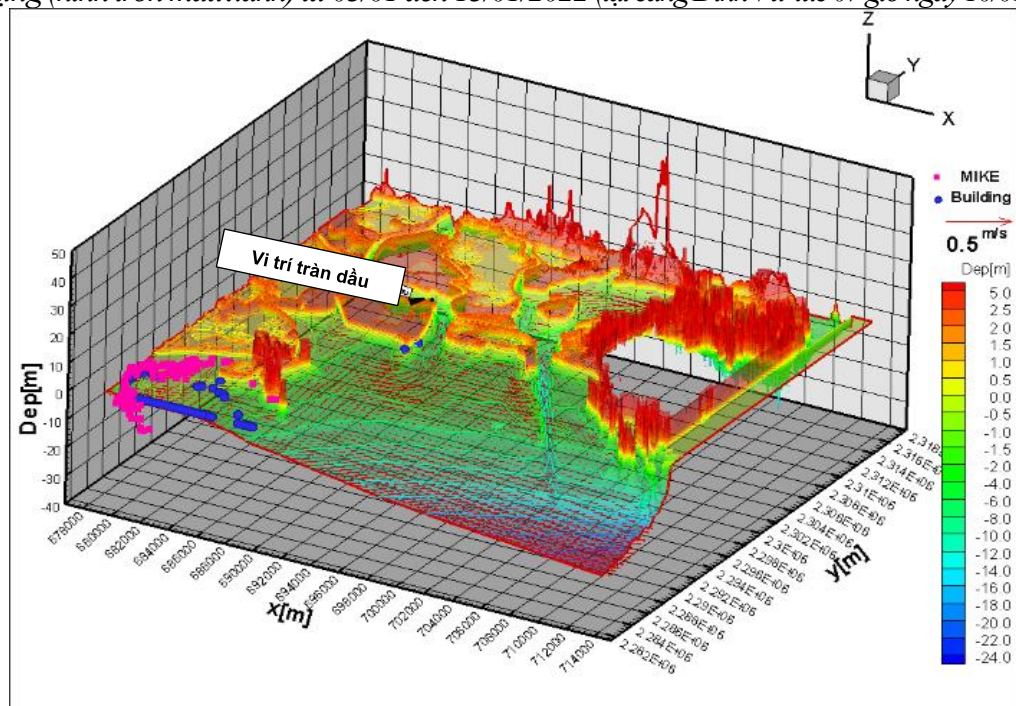
Hình 4.37. Vệt dầu tràn theo vị trí của hạt dầu từ mô hình MIKE (hình vuông màu tím) và mô hình xây dựng (hình tròn màu xanh) từ 03/01/2022 đến 10/01/2022 (tại bến Gót lúc 07 giờ ngày 10/01/2022, sau 7 ngày)



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)



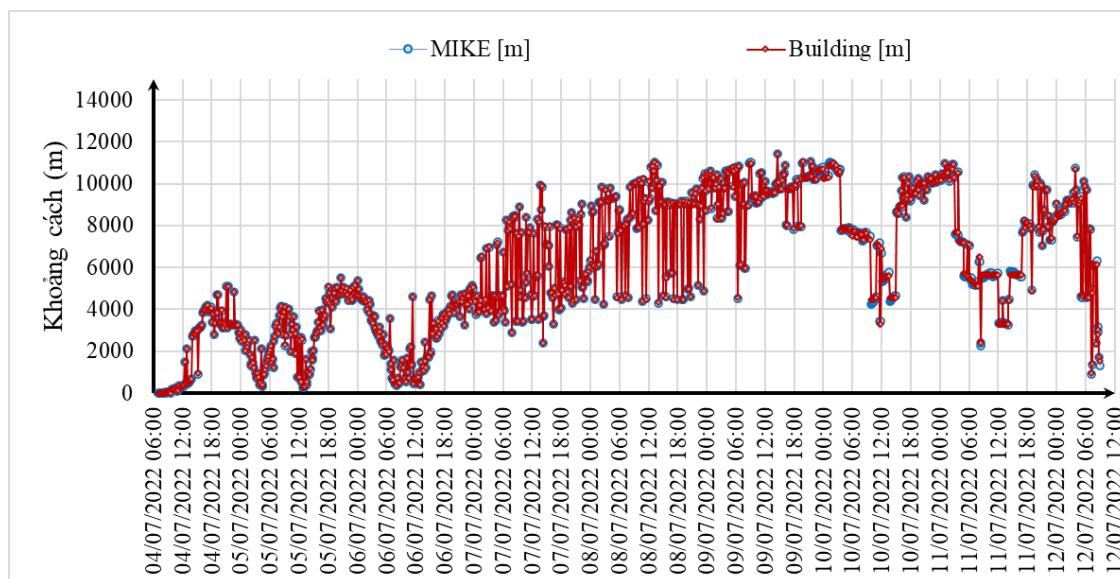
Hình 4.39. Vết dầu tràn theo vị trí của hạt dầu từ mô hình MIKE (hình vuông màu tím) và mô hình xây dựng (hình tròn màu xanh) từ 03/01 đến 13/01/2022 (tại cảng Đình Vũ lúc 07 giờ ngày 10/01/2022)



Hình 4.40. 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 03/01/2022 đến 10/01/2022 (tại cảng Đình Vũ lúc 07 giờ ngày 10/01/2022)

4.3.3 Kết quả mô phỏng tràn dầu thời kỳ gió mùa Tây Nam tháng 07/2022

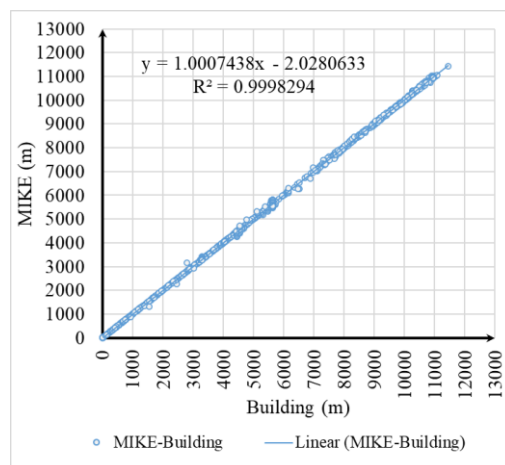
Trong trường hợp giả định kỳ gió mùa Tây Nam tháng 07/2022. Kết quả tính mô hình được đánh giá giữa mô hình MIKE và mô hình tự xây dựng dựa trên các thông số khoảng cách và nồng độ được thể hiện như các hình vẽ và bảng bên dưới. Các thông số này cũng được đánh giá qua hệ số R, RMSE, chỉ số NSE và PBIAS.



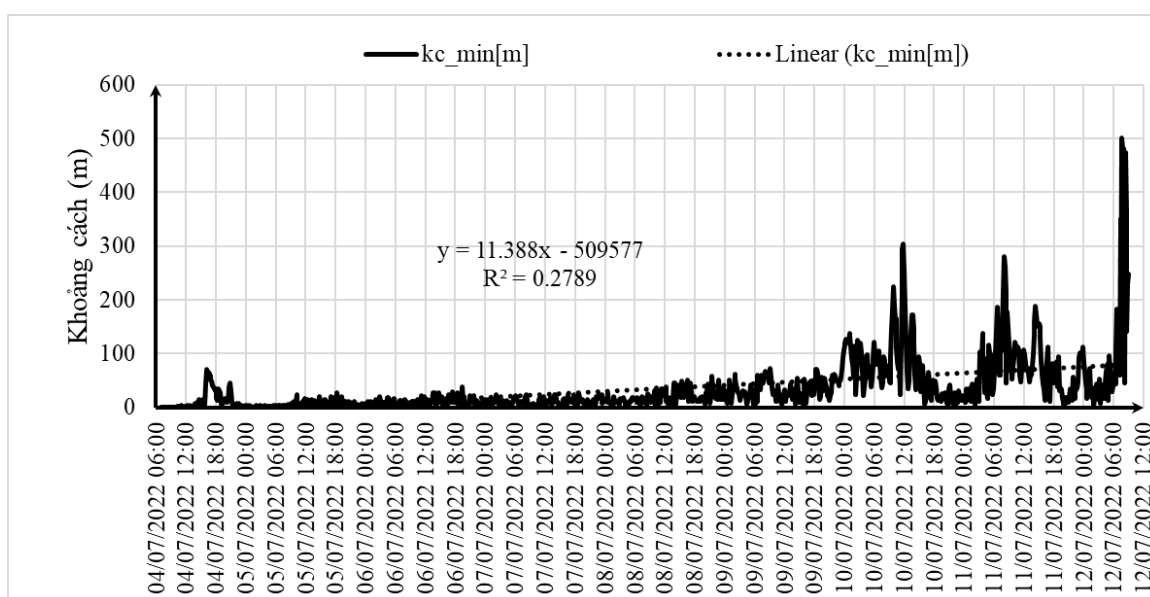
Hình 4.41. Biến trình khoảng cách từ vị trí tràn dầu đến vị trí gần nhất của mô hình MIKE và mô hình tự xây dựng từ 04/07/2022 đến 12/07/2022 (tại bến Gót)

Bảng 4.5. Độ chính xác thống kê khoảng cách từ vị trí tràn dầu đến vị trí gần nhất giữa mô hình MIKE và mô hình tự xây dựng từ 04/07/2022 đến 12/07/2022 (tại bến Gót)

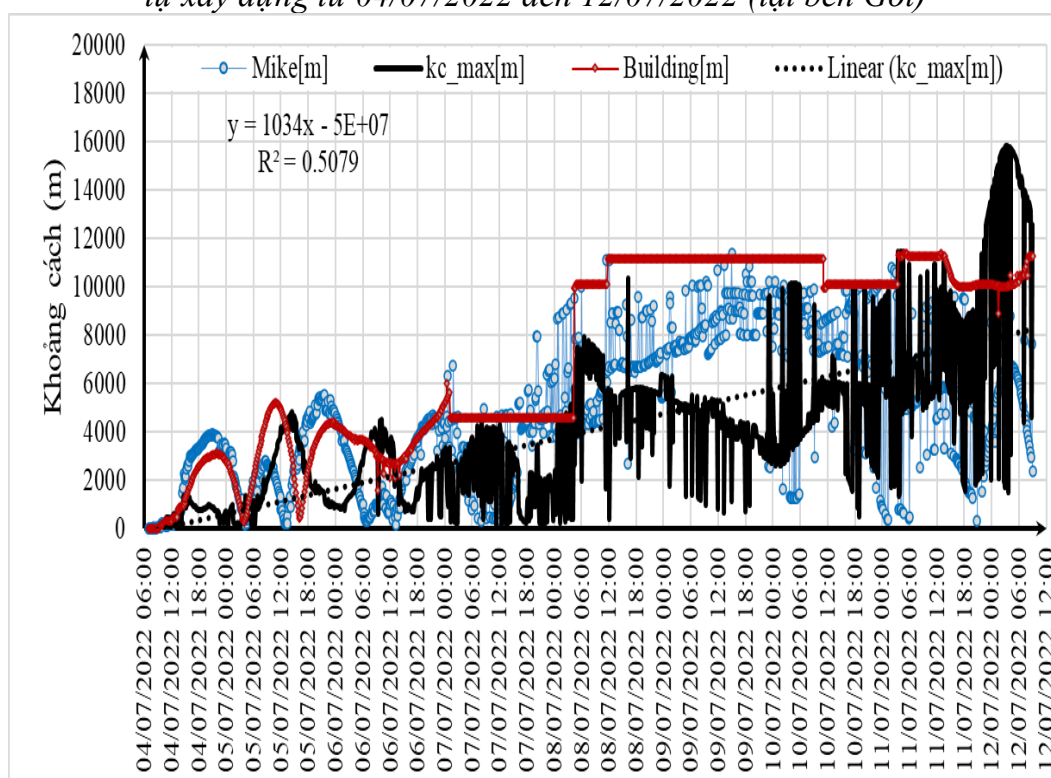
Khoảng cách trung bình từ vị trí tràn dầu đến vị trí gần nhất [m]	MIKE	6072.627
	Building	6070.140
Khoảng cách vị trí gần nhất giữa MIKE và tự xây dựng [m]	Lớn nhất	500.225
	Trung bình	33.788
Chỉ số đánh giá về khoảng cách từ vị trí tràn dầu đến vị trí gần nhất giữa mô hình MIKE và tự xây dựng	R	1.000
	RMSE	41.902
	NASH	1.000
	PBIAS (%)	0.041



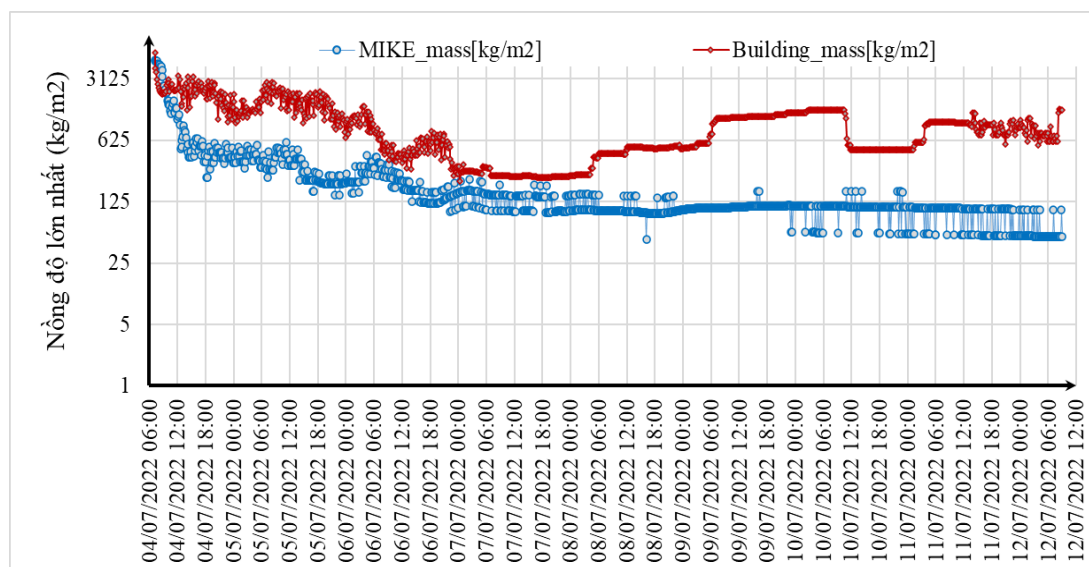
Hình 4.42. Tương quan khoảng cách từ vị trí tràn dầu đến vị trí gần nhất giữa mô hình MIKE và mô hình tự xây dựng từ 04/07/2022 đến 12/07/2022 (tại bến Gót)



Hình 4.43. Biến trình khoảng cách vị trí gần nhất giữa mô hình MIKE và mô hình tự xây dựng từ 04/07/2022 đến 12/07/2022 (tại bến Gót)



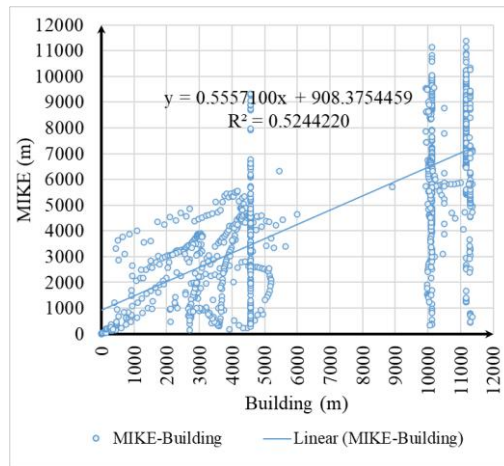
Hình 4.44. Biến trình khoảng cách từ vị trí tràn dầu đến vị trí nồng độ dầu lớn nhất của mô hình MIKE mô hình tự xây dựng và khoảng cách giữa hai vị trí này từ 04/07/2022 đến 12/07/2022 (tại bến Gót)



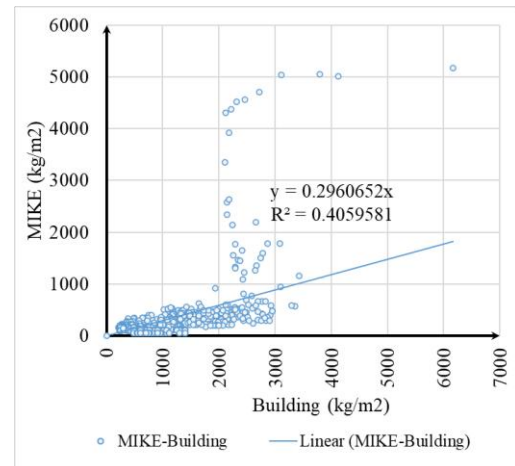
Hình 4.45. Biến trình nồng độ dầu lớn nhất của mô hình MIKE và mô hình tự xây dựng từ 04/07/2022 đến 12/07/2022 (tại bến Gót)

Bảng 4.6. Độ chính xác thống kê khoảng cách từ vị trí tràn dầu đến vị trí nồng độ lớn nhất và nồng độ lớn nhất giữa mô hình MIKE và mô hình tự xây dựng từ 04/07/2022 đến 12/07/2022 (tại bến Gót)

Đặc trưng		Khoảng cách [m]	Nồng độ lớn nhất [kg/m ²]
Trung bình từ vị trí tràn dầu đến vị trí gần nhất	MIKE	4914.505	237.537
	Building	7209.030	957.695
Khoảng cách vị trí nồng độ lớn nhất giữa MIKE và tự xây dựng [m]	Lớn nhất	15829.365	
	Trung bình	4035.460	
Chỉ số đánh giá về nồng độ lớn nhất và khoảng cách (từ vị trí tràn dầu đến vị trí nồng độ lớn nhất) giữa mô hình MIKE và tự xây dựng	R	0.724	0.541
	RMSE	3507.379	924.344
	NASH	0.417	2.570
	PBIAS (%)	-46.689	-303.177



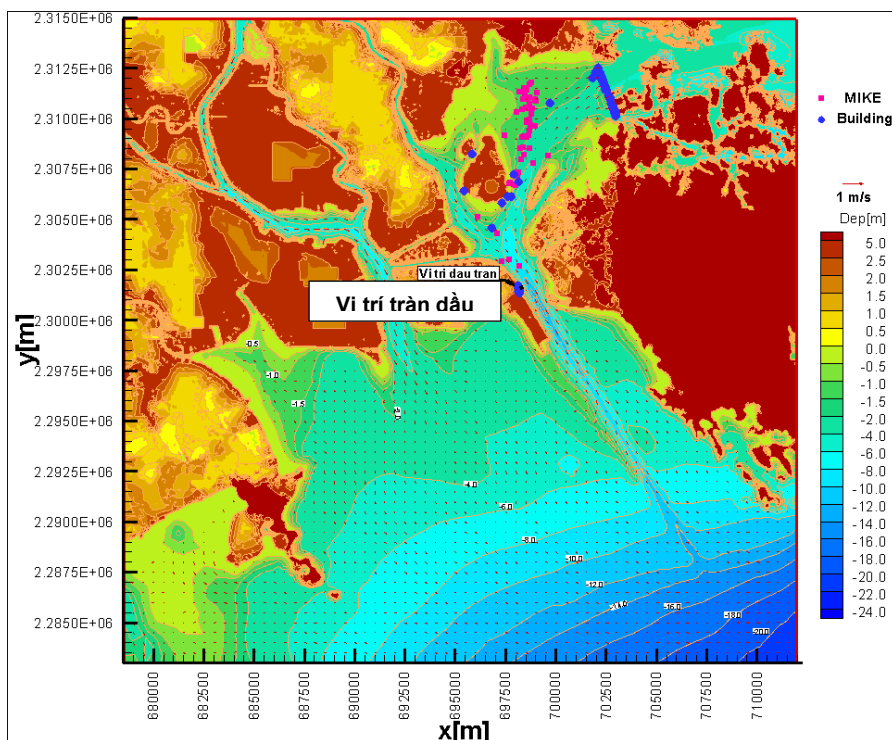
Hình 4.46. Tương quan khoảng cách từ vị trí tràn dầu đến vị trí nồng độ lớn nhất giữa mô hình MIKE và mô hình tự xây dựng từ 04/07/2022 đến 12/07/2022 (tại bến Gót)



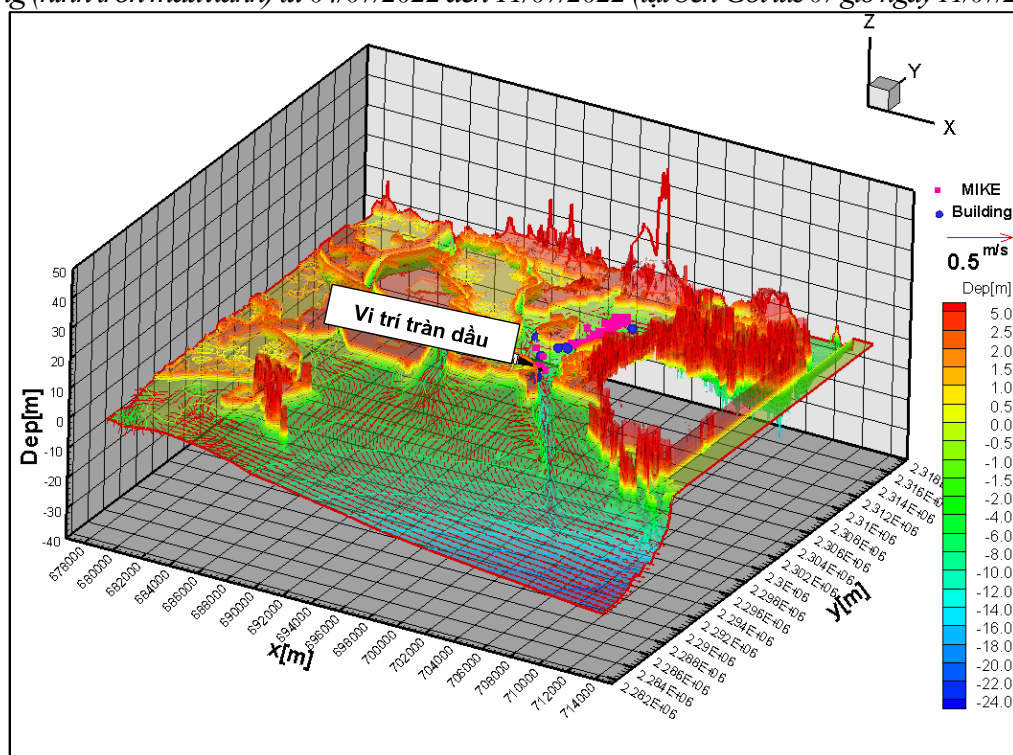
Hình 4.47. Tương quan nồng độ lớn nhất giữa mô hình MIKE và mô hình tự xây dựng từ 04/07/2022 đến 12/07/2022 (tại bến Gót)

Trong điều kiện gió mùa Tây Nam, nghiên cứu sinh thực hiện mô phỏng với hai kịch bản:

- Đối với kịch bản xảy ra tại khu bến Gót, cửa Lạch Huyện xảy ra giai đoạn từ 04/07/2022 đến 11/07/2022 (Hình 4.48) thể hiện so sánh quỹ đạo di chuyển của các thành phần hạt dầu từ mô hình MIKE (hình vuông màu tím) và mô hình xây dựng (hình tròn màu xanh). 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 sau đó kéo dài lên phía nam đảo Hoàng Tân (Quảng Yên, Quảng Ninh). Kết quả so sánh trong trường hợp này cho thấy sự tương đồng khá cao giữa chương trình MIKE và chương trình xây dựng. Hình 4.49 là kết quả so sánh dưới dạng 3D của Hình 4.48.

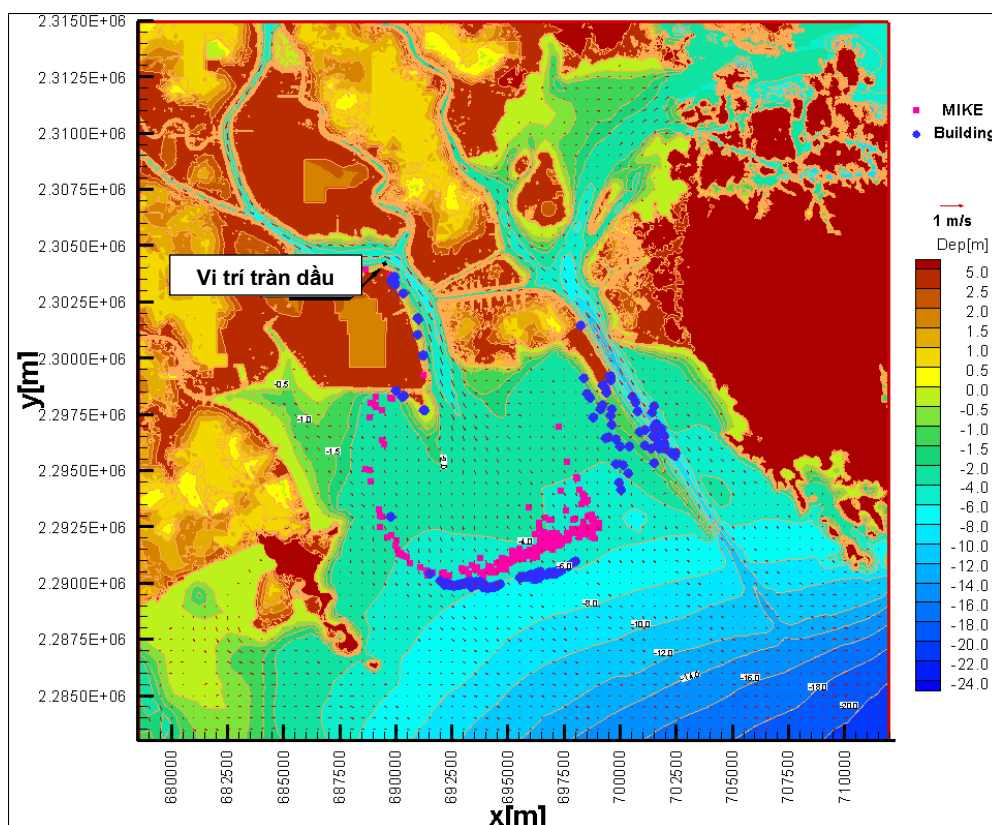


Hình 4.48. Vệt dầu tràn theo vị trí của hạt dầu từ mô hình MIKE (hình vuông màu tím) và mô hình xây dựng (hình tròn màu xanh) từ 04/07/2022 đến 11/07/2022 (tại bến Gót lúc 07 giờ ngày 11/07/2022)

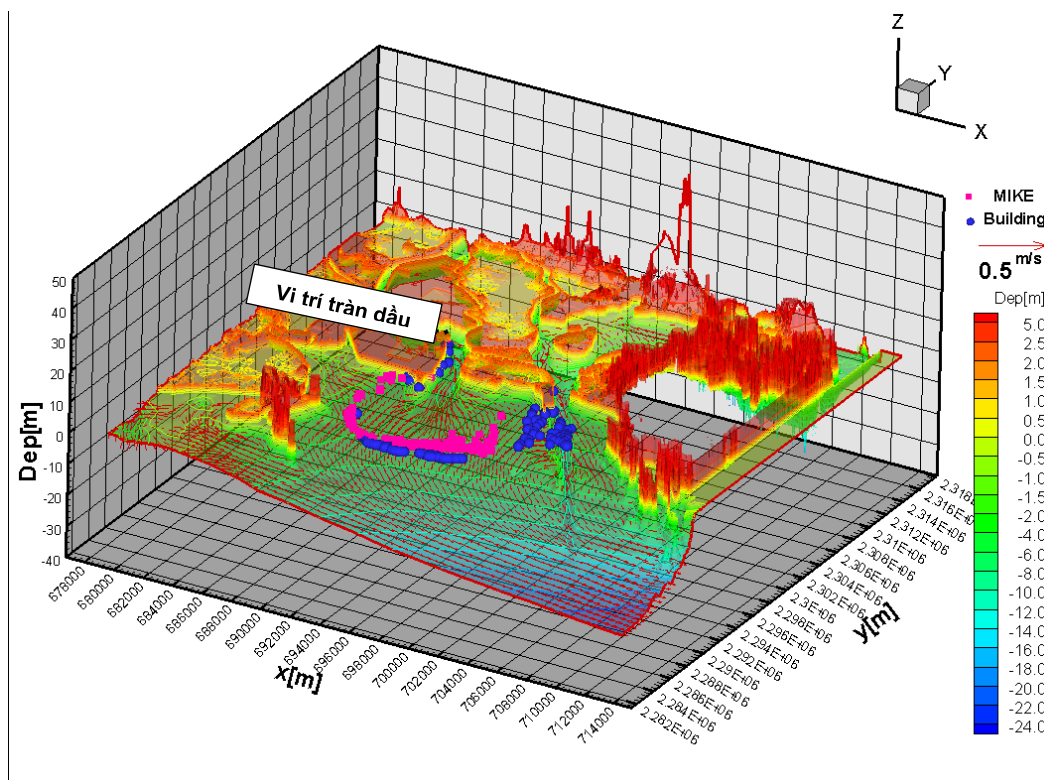


Hình 4.49. Vệt dầu tràn 3D từ mô hình MIKE (hình vuông màu tím) và mô hình xây dựng (hình tròn màu xanh) từ 04/07/2022 đến 11/07/2022 (tại bến Gót lúc 07 giờ ngày 11/07/2022)

- Trong kịch bản sự cố tại cảng Đình Vũ, cửa Bạch Đằng từ 04/07/2022 đến 11/07/2022. Vết dầu di chuyển theo hướng chủ đạo là Nam và Đông Nam ảnh hưởng đến các khu vực cụm cảng Deep C, sau đó có xu hướng lan ra khu vực vịnh Hải Phòng. Kết quả so sánh cả dưới dạng 2D (Hình 4.50) và dưới dạng 3D (Hình 4.51) đều cho thấy hướng dịch chuyển của chương trình MIKE và chương trình mô phỏng là tương đồng cao.



Hình 4.50. Vết 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 04/07/2022 đến 11/07/2022 (tại cảng Đình Vũ lúc 07 giờ ngày 11/07/2022)



Hình 4.51. Vết 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)

4.4 Kết luận chương 4

Trong Chương 4, nghiên cứu sinh đã xây dựng và triển khai mô hình mô phỏng sự cố 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.

CÔNG TRÌNH NGHIÊN CỨU ĐÃ CÔNG BỐ

- [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] 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).
- [3] 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*” (Tập chí Khoa học công nghệ hàng hải-ISSN: 1859-316X, Số 73 – 0/2023, tr. 07-12).
- [4] 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).
- [5] 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).
- [6] 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).
- [7] 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).

- [8] 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).

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] ITOPF. Oil Tanker Spill Statistics 2024.
https://www.itopf.org/fileadmin/uploads/itopf/data/Documents/Company_Lit/Oil_Spill_Stats_brochure_2024.pdf.
- [2] *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, Số 73, tr.07-12.
- [3] Quyết định số 1579/QĐ-TTg ngày 22/9/2021 của Thủ tướng Chính phủ phê duyệt Quy hoạch tổng thể phát triển hệ thống cảng biển Việt Nam thời kỳ 2021-2030, tầm nhìn đến năm 2050 và Quyết định số 442/QĐ-TTg ngày 22/5/2024 của Thủ tướng Chính phủ phê duyệt điều chỉnh Quy hoạch tổng thể phát triển hệ thống cảng biển Việt Nam thời kỳ 2021-2030, tầm nhìn đến năm 2050.
- [4] Quyết định số 318/QĐ-BXD ngày 26 tháng 3 năm 2025 của Bộ trưởng Bộ Xây dựng về việc công bố Danh mục bến cảng thuộc các cảng biển Việt Nam
- [5] Keramea, Panagiota, et al. "Oil spill modeling: A critical review on current trends, perspectives, and challenges" *Journal of marine science and engineering* 9.2 (2021): 181.
- [6] Fay J. A. *The spread of oil slicks on a calm sea. Oil on the Sea*, New York: Ed. Plenum Press, pp.53-63. 1969.
- [7] W.J Lehr, M. Belen, H.M Cekirge, N. Gunay, *GULFSLIK - an oil spill modeling program for the Arabian Gulf*. Proceedings of the Conference on Marine Environment and Pollution, pp. 263-275, 1982.
- [8] Chen, Shuzhe, and Liwen Huang. *Three-dimensional virtual simulation of oil spill of Yangtze River in Chongqing area based on emergency decision*. *Physics Procedia* 24 (2012): 2214-2219.
- [9] Geng, Xiaolong, et al. *Oil droplets transport due to irregular waves: Development of large-scale spreading coefficients*. *Marine pollution bulletin* 104.1-2 (2016): 279-289.
- [10] Simecek-Beatty, Debra, and William J. Lehr. *Extended oil spill spreading with Langmuir circulation*. *Marine pollution bulletin* 122.1-2 (2017): 226-235.
- [11] Yapa, P.D.; Li, Z. *Simulation of oil spills from underwater accidents I: Model development*. *J. Hydraul. Res.* 1997, 35, 673–688.

- [12] Zheng, L.; Yapa, P.D.; Chen, F. *A model for simulating deepwater oil and gas blowouts-Part I: Theory and model formulation*. J. Hydraul. Res. 2003, 41, 339–351.
- [13] ASA. *OILMAP for Windows (Technical Manual)*; ASA: Narrangansett, RI, USA, 1997.
- [14] Spaulding, M.; Li, Z.; Mendelsohn, D.; Crowley, D.; French-McCay, D.; Bird, A. *Application of an integrated blowout model system, OILMAP DEEP, to the Deepwater Horizon (DWH) spill*. Mar. Pollut. Bull. 2017, 120, 37–50.
- [15] Crowley, D.; French-McCay, D.; Santos, L.; Chowdhury, B.; Markussen, R. *Modeling atmospheric volatile organic compound concentrations resulting from a deepwater oil well blowout–Mitigation by subsea dispersant injection*. Mar. Pollut. Bull. 2018, 136, 152–163.
- [16] Reed, M.; Daling, P.S.; Brakstad, O.G.; Singsaas, I.; Faksness, L.-G.; Hetland, B.; Ekrol, N. *OSCAR2000: A multi-component 3-dimensional oil spill contingency and response model*. In Proceedings of the Arctic and Marine Oilspill Program Technical Seminar, Vancouver, BC, Canada, 14–16 June 2000; pp. 663–680.
- [17] Reed, M.; Turner, C.; Odulo, A. *The role of wind and emulsification in modelling oil spill and surface drifter trajectories*. Spill Sci. Technol. Bull. 1994, 1, 143–157.
- [18] Spaulding, M.; Kolluru, V.; Anderson, E.; Howlett, E. Application of three-dimensional oil spill model (WOSM/OILMAP) to hindcast the Braer spill. Spill Sci. Technol. Bull. 1994, 1, 23–35.
- [19] Zelenke, B.; O’Connor, C.; Barker, C.H.; Beegle-Krause, C.; Eclipse, L. General NOAA Operational Modeling Environment (GNOME) Technical Documentation; U.S. Department of Commerce: Seattle, WA, USA, 2012.
- [20] Berry, A.; Dabrowski, T.; Lyons, K. The oil spill model OILTRANS and its application to the Celtic Sea. Mar. Pollut. Bull. 2012, 64, 2489–2501.
- [21] North, E.W.; Adams, E.E.; Schlag, Z.; Sherwood, C.R.; He, R.; Hyun, K.H.; Socolofsky, S.A. Simulating oil droplet dispersal from the Deepwater Horizon spill with a Lagrangian approach. Geophys. Monogr. Ser 2011, 195, 217–226.

- [22] De Dominicis, M.; Pinardi, N.; Zodiatis, G.; Lardner, R. MEDSLIK-II, a Lagrangian marine surface oil spill model for short-term forecasting—Part 1: Theory. *Geosci. Model Dev.* 2013, 6, 1851–1869.
- [23] De Dominicis, M.; Pinardi, N.; Zodiatis, G.; Archetti, R. MEDSLIK-II, a Lagrangian marine surface oil spill model for short-term forecasting—Part 2: Numerical simulations and validations. *Geosci. Model Dev.* 2013, 6, 1871–1888.
- [24] Deltares. D-WAQ PART, User Manual; Deltares: Delft, The Netherlands, 2018.
- [25] Mike 21, Toolbox, User Guide, DHI 2017.
- [26] Vũ Duy Vĩnh, *Mô phỏng quá trình lan truyền dầu khi xảy ra sự cố tràn dầu tại khu vực cửa sông Bạch Đằng*, Tuyển tập báo cáo Hội nghị Khoa học công nghệ môi trường năm, tr.290-298, 2007.
- [27] Dư Văn Toán, Nguyễn Quốc Trinh, *Mô phỏng một số kịch bản lan truyền dầu vùng biển Đông Nam Bộ*, Tạp chí Dầu khí: 8, tr.52-57, 2013.
- [28] Nguyễn Quốc Trinh, Nguyễn Quang Vinh. *Nghiên cứu và phát triển mô phỏng dầu tràn ngược thời gian trên khu vực Biển Đông*. Tạp chí Dầu khí, tr.60-68, 2018.
- [29] Trần Anh Tú, Lê Đức Cường. *Mô phỏng một số kịch bản tràn dầu khu vực đảo Côn Cỏ*. Tạp chí Khoa học và Công nghệ Biển; Tập 14, Số 2; 2014: 187-194.
- [30] Kiều, Trần Duy. *Nghiên cứu mô phỏng nguy cơ lan truyền vết dầu trong sự cố tràn dầu trên vùng biển Phú Quốc*. Tạp chí Khoa học Kỹ thuật Thủy lợi và Môi trường, Số 52 (2016): 44-51.
- [31] Đoàn Quang Trí. *Ứng dụng Mike 21 mô phỏng lan truyền dầu trên biển: khu vực nghiên cứu cảng Lạch Huyện, Hải Phòng*. Hội thảo khoa học Quốc gia về Khí tượng, Thủy văn, Môi trường và Biến đổi khí hậu, 2016, tr. 395-400.
- [32] Nguyễn Hữu Nhân, Huỳnh Kỳ Hạnh. *Thử nghiệm mô hình OILSAS- Công cụ trợ giúp ứng phó sự cố tràn dầu trên vịnh Vân Phong, tỉnh Khánh Hòa*. Tuyển tập Nghiên cứu biển, 2014, tập 20: 19-29.
- [33] Hằng, Nguyễn Thị Thúy. *Dự báo nguy cơ tràn dầu cảng Container Long Sơn*. TNU Journal of Science and Technology 173.13 (2017): 183-187.
- [34] Lehr W J, Cekirge H M, Fraga R J, et al. *Empirical studies of the spreading of oil spills*. Oil and Petrochemical Pollution, 1984, 2: 7-12.

- [35] Blokker P C. "*Spreading and Evaporation of Products on Water*. Proc of 4th Internal Harbor Congress, Antwerp, the Netherlands, 1964: 911-919.
- [36] Zhang B, Zhang C S. SURF- *A simulation model for the behavior of oil slicks at sea*. In Oil Pollution: Environmental Risk Assessment (OPERA), Belgium, 1991:61-86.
- [37] Harris, Mark J. "Fast fluid dynamics simulation on the GPU." *SIGGRAPH Courses* 220.10.1145 (2005): 1198555-1198790.
- [38] Kass M, Miller G. *Rapid, Stable Fluid Dynamics for Computer Graphics*. Computer Graphics, 1990, 24(4):49-57.
- [39] Chen J X, Lobo N V, Hughes C E, et al. *Real-time Fluid Simulation in a Dynamic Virtual Environment*. Computer Graphics and Applications, 1997:52-61.
- [40] Forster N, Metaxas D. *Realistic Animation of Liquids*. Proceeding of Graphics Interface '96, Calgary, Canada, 1996:204-212.
- [41] Nguyễn Hữu Nhân, Huỳnh Kỳ Hạnh. *Thử nghiệm mô hình OilSAS – Công cụ trợ giúp ứng phó sự cố tràn dầu trên Vịnh Vân Phong, tỉnh Khánh Hòa*. Tuyển tập Nghiên cứu biển, tập 20: 19-29, 2014.
- [42] Đậu Thị Nhân, Đào Nguyên Khôi, Phạm Thị Lợi, Nguyễn Thị Diễm Thúy. *Mô phỏng quá trình lan truyền dầu bằng mô hình DELFT3D khu vực biển Cần Giờ, thành phố Hồ Chí Minh*. Tạp chí Khí tượng Thủy văn. Tập 691 Số 07, 2018.
- [43] Trần Mạnh Cường. *Phân tích và dự báo tràn dầu vùng biển Vịnh Bắc Bộ bằng mô hình số trị ứng dụng số liệu Radar trên biển*. Luận văn Thạc sỹ, Trường Đại học Khoa học tự nhiên, Đại học Quốc Gia Hà Nội, 2016.
- [44] Tkalich, Pavlo, Kamrul Huda, and Karina Yew Hoong Gin. "A multiphase oil spill model." *Journal of Hydraulic Research* 41.2 (2003): 115-125.
- [45] Tkalich, Pavel. "A CFD solution of oil spill problems." *Environmental Modelling & Software* 21.2 (2006): 271-282.
- [46] Agrawal, Madhusuden, and Duraivelan Dakshinamoorthy. "Computational analysis of oil spill in shallow water due to wave and tidal motion." *Offshore Technology Conference*. OTC, 2011.

- [47] Raznahan, Mohammadmehdi, et al. "Multiphase CFD simulation of the nearshore spilled oil behaviors." *Environmental pollution* 288 (2021): 117730.
- [48] Zhu, Hongjun, Pengzhi Lin, and Qian Pan. "A CFD (computational fluid dynamic) simulation for oil leakage from damaged submarine pipeline." *Energy* 64 (2014): 887-899.
- [49] Li Wei, L. W., Pang YongJie, P. Y., Lin JianGuo, L. J., & Liang Xiao, L. X. "Computational modeling of submarine oil spill with current and wave by FLUENT." *Res. J. Appl. Sci. Eng. Technol* (2013). 5 (21), 5077–5082.
- [50] Li, Xinhong, Guoming Chen, and Hongwei Zhu. "Modelling and assessment of accidental oil release from damaged subsea pipelines." *Marine pollution bulletin* 123.1-2 (2017): 133-141.
- [51] Sarhadi Zadeh, Ehsan, and Kouroshe Hejazi. "Eulerian Oil Spills Model Using Finite-Volume Method with Moving Boundary and Wet-Dry Fronts." *Modelling and Simulation in Engineering* 2012.1 (2012): 398387.
- [52] Stam J, Fiume E. *Depicting Fire and Others Gaseous Phenomena Using Diffusion Processes*. Proceeding of Computer Graphics, Annual Conference Series, ACM SIGGRAPH, Los Angeles, California, 1995:129-136.
- [53] Premoze S, Tasdizen T, Bigler J, et al. *Particle Based of Simulation Fluids*. Computer Graphics Forum, 2003, 22(3):401-410.
- [54] Li W, Wei X M, Kaufman A. *Implementing Lattice Boltzmann Computation on Graphics Hardware*. The Visual Computer, 2003, 19(7/7):444-456.
- [55] Beegle-Krause, C. J., Thomas Peacock, and Michael Allshouse. "Exploiting Lagrangian Coherent Structures (LCS) for the calculation of oil spill and search-and-rescue drift patterns in the ocean." Proceedings of the 34th Annual Arctic and Marine Oil Pollution Conference, October 4–6, 2011, Banff, Alberta, Canada.
- [56] Li, Shihan. "Evaluation of new Weathering algorithms for oil spill modeling." (2017).
- [57] Spaulding, Malcolm L., Tatsusaburo Isaji, and Yong Hoon Kim. "Selection of dispersion coefficients for use in Lagrangian spill transport models to preserve underlying flow dynamics and transport barriers."

- (2016). 38th Arctic and Marine Oil Spill Program (AMOP) Technical Seminar, Halifax, Nova Scotia.
- [58] Guo, Weijun, et al. "A modified probabilistic oil spill model and its application to the Dalian New Port accident." *Ocean Engineering* 121 (2016): 291-300.
- [59] Fearon, Giles, Annalisa Bracco, and Danielle Ameen Reich. "Submesoscale variability enhances shoreline oiling: deepwater blowout simulations in the Agulhas current" *Marine Pollution Bulletin* 205 (2024): 116526.
- [60] Lee, Jaebeen, and Hyungmin Park. "Prediction of the marine spreading of low sulfur fuel oil using the long short-term memory model trained with three-phase numerical simulations." *Marine Pollution Bulletin* 202 (2024): 116356.
- [61] Ghaderi, Danial. "Mapping the shoreline risk assessment of oil spill in the eastern region of Qeshm channel" *Marine Pollution Bulletin* 206 (2024): 116714.
- [62] Nguyễn Hữu Nhân. Báo cáo chính “Dự án Xây dựng phần mềm và hệ cơ sở dữ liệu phục vụ công tác cảnh báo, tư vấn và đánh giá thiệt hại do sự cố tràn dầu tại Khánh Hòa” Dự án OilSAS - Giai đoạn 1, 2004.
- [63] Tri, Doan Quang, et al. "Application of environmental sensitivity index (ESI) maps of shorelines to coastal oil spills: a case study of Cat Ba Island, Vietnam." *Environmental Earth Sciences* 74 (2015): 3433-3451.
- [64] Trần Đức Thanh, Bùi Quang Sản, Nguyễn Văn Cấn, Trần Đình Lân, Nguyễn Văn Quân, Lưu Văn Diệu, Nguyễn Thị Thu, Trần Anh Tú, Nguyễn Thị Kim Anh (2015). *Thiên nhiên và Môi trường vùng bờ Hải Phòng*. Viện Hàn Lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam. NXB Khoa học tự nhiên và Công nghệ.
- [65] Viện Tài nguyên và Môi trường biển. *Đánh giá tải lượng và vận chuyển chất gây ô nhiễm từ thượng nguồn đến các sông lớn khu vực Hải Phòng*. Báo cáo tổng kết đề tài nghiên cứu khoa học và phát triển công nghệ cấp thành phố ĐT.MT.2020.852.
- [66] Viện Tài nguyên và Môi trường biển. *Nghiên cứu đánh giá tác động của hoạt động khai thác cát đến môi trường vùng cửa sông ven biển Hải Phòng*. Báo cáo tổng kết đề tài nghiên cứu khoa học và phát triển công nghệ cấp thành phố ĐT.MT.2017.792.

- [67] MIKE 21 and MIKE 3 Flow Model FM, Hydrodynamic Module, Short Description, DHI, 2017.
- [68] MIKE 21 and MIKE 3 Flow Model FM, Hydrodynamic and Transport Module, Scientific Documentation, DHI, 2014.
- [69] Smagorinsky, J. (1963), General circulation Experiment with the Primitive Equations, Monthly weather review, 91, No. 3, pp 99-164.
- [70] Wu, J. (1994). The sea surface is aerodynamically rough even under light winds. Boundary layer Meteorology, 69, 149-158.
- [71] Geernaert, G.L. and W.L. Plant (1990). Surface Waves and fluxes. Volume 1 - Current theory, Kluwer Academic Publishers, The Netherlands.
- [72] Zhao, F.L. *"The Technology of Oil and Gas Recovery Factor of the Profile Control Agent and Oil Displacement Agent"*. Oil Journal, 1, 1-5, 1994.
- [73] P. A. Sleight , P. H. Gaskell , M. Berzins and N. G. Wright. *"An unstructured finite-volume algorithm for predicting flow in rivers and estuaries"*. Computers & Fluids, Vol. 27, No. 4, pp. 479±508, 1998.
- [74] Al-Rabeh, A. H., (1994). *"Estimating surface oil spill transport due to wind in the Arabian Gulf"*. Ocean Engeneering, Vol . 21 No. 5, pp461-465.
- [75] MIKE 21/3 Oil Spill Model, Oil Spill Template, Scientific Documentation, DHI, 2017.
- [76] Garcia-Martinez R. and Flores Tovar H., *"Computer modeling of oil spill trajectories with a high accuracy method"*, Spill Sci. Technol. Bull., 5 (5-6), 1999, pp. 323-330.
- [77] Kenney J. F. and Keeping E. S., (1962a), "Linear Regression and Correlation", Ch. 15 in Mathematics of Statistics, Pt. 1, 3rd ed. Princeton, NJ: Van Nos-trand, pp. 252-285.
- [78] Kenney J. F. and Keeping E. S., (1962b), "Root Mean Square" Sec. 4.15 in Mathematics of Statistics, Pt. 1, 3rd ed. Princeton, NJ: Van Nostrand, pp. 59-60.
- [79] Nash J. E., and Sutcliffe J. V. (1970), *"River flow forecasting through concep-tual models: Part 1. A discussion of principles"*, J. Hyd., 10(3), pp. 282-290.

- [80] Gundlach E.R. (1987), “*Oil holding capacities and removal coefficients for different shoreline types to computer simulate spills in coastal waters*”, Proc. of the Oil Spill Conf., pp. 451-457.
- [81] Gupta H. V., et al (1999), “*Status of automatic calibration for hydrologic models: Comparison with multilevel expert calibration*”, J. Hyd. Eng., 4(2), pp. 135-143.
- [82] Nguyễn Đình Dương (2008). *Ô nhiễm dầu trên biển Việt Nam và biển Đông*. Báo cáo tổng hợp đề tài KC.09.22/ 06-10.
- [83] Nguyễn Văn Cư (2010). *Nghiên cứu quá trình động lực học, dự báo sự vận chuyển, bồi lắng bùn cát tại Lạch Huyện, Nam Đồ Sơn (Hải Phòng) trước và sau khi xây dựng cảng nước sâu và giải pháp khắc phục*. Báo cáo tổng hợp đề tài KC08.10/06-10.
- [84] Ban Quản lý Dự án Hàng hải (2020). *Báo cáo khảo sát của “Dự án xây dựng hạ tầng cảng Lạch Huyện”*.
- [85] *Sự cố dầu tràn trên biển: Việt Nam nằm trong top 3?* (2019). Báo điện tử Tiền Phong. <https://tienphong.vn/su-co-dau-tran-tren-bien-viet-nam-nam-trong-top-3-post1157341.tpo>.
- [86] Cục Biển và Hải Đảo Việt Nam. *Báo cáo thống kê số vụ, số lượng dầu tràn và hóa chất rò rỉ trên biển, diện tích bị ảnh hưởng các năm 2018, 2019, 2020, 2021, 2022, 2023*. Biểu số 0702/BTNMT.
- [87] *Chủ động phòng ngừa, ứng phó sự cố tràn dầu gây ô nhiễm môi trường biển Hải Phòng* (2023). Chuyên trang An ninh Hải Phòng. <http://anhp.vn/chu-dong-phong-ngua-ung-pho-su-co-tran-dau-gay-o-nhiem-moi-truong-bien-hai-phong-d56376.html>.
- [88] *Hải Phòng: Cơ bản khắc phục xong sự cố tràn dầu tại bến phà Gót* (2023). Cổng thông tin thành phố Hải Phòng. <https://thanhphohaiphong.gov.vn/hai-phong-co-ban-khac-phuc-xong-su-co-tran-dau-tai-ben-pha-got.html>.
- [89] British Oceanographic Data Centre
<https://www.gebco.net/data-products/gridded-bathymetry-data>
- [90] MIKE Zero, Mesh Generator, Step-by-step training guide, DHI, 2017.

PHỤ LỤC

I. Báo cáo thống kê số vụ, số lượng dầu tràn và hóa chất rò rỉ trên biển, diện tích bị ảnh hưởng (Chương 2)

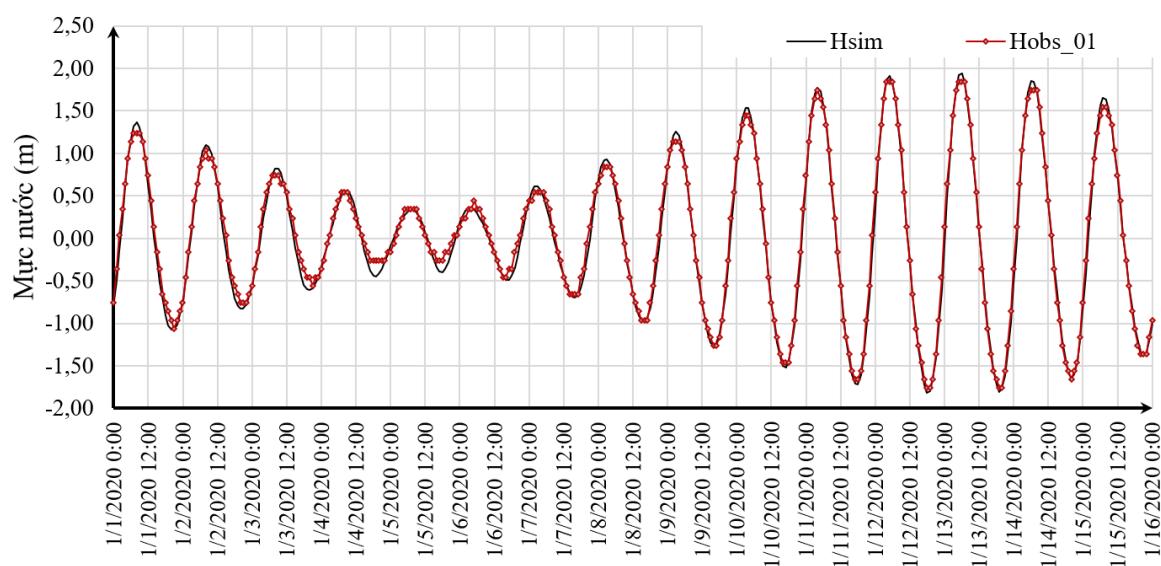
Năm	Các vụ dầu tràn và hóa chất rò rỉ trên biển	Tọa độ		Thời gian xảy ra sự cố	Dầu tràn trên biển			Hóa chất rò rỉ trên biển		
		Kinh độ	Vĩ độ		Loại dầu tràn	Khối lượng (tấn)	Diện tích bị ảnh hưởng (km ²)	Loại hóa chất rò rỉ	Khối lượng (tấn)	Diện tích bị ảnh hưởng (km ²)
2018	Quảng Ninh: Rò rỉ dầu của tàu Daphaco 06 thuộc Công ty cổ phần vận tải biển Daphaco	Khu vực gần đảo Titop - Vịnh Hạ Long		06/5/2018	Dầu DO và nước la canh	Nhỏ không đáng kể	Vết dầu loang nhỏ, không xác định được	-	-	-
2018	Quảng Ninh: Rò rỉ dầu của tàu Nam Dương 2 (HD-1388)	Khu vực biển Hòn Nét - Cẩm Phả		24/6/2018	Dầu DO; dầu nhớt và nước la canh	Nhỏ không đáng kể	Vết dầu loang nhỏ, không xác định được	-	-	-
2018	Hải Phòng: Cháy tàu Hải Hà 18 của Công ty Hải Linh khi cập cảng K99, không xảy ra tràn dầu	-	-	16h30' ngày 10/3/2018	-	-	-	-	-	-
2019	Hải Phòng: Tràn dầu tại nhà máy xi măng Chinfon, thị trấn Minh Đức, huyện Thủy Nguyên, Tp. Hải Phòng	-	-	11/10/2019	FO	0,007 (trong đó có 0,002 tấn tràn xuống sông Thái)	-	-	-	-

Năm	Các vụ dầu tràn và hóa chất rò rỉ trên biển	Tọa độ		Thời gian xảy ra sự cố	Dầu tràn trên biển			Hóa chất rò rỉ trên biển		
		Kinh độ	Vĩ độ		Loại dầu tràn	Khối lượng (tấn)	Diện tích bị ảnh hưởng (km ²)	Loại hóa chất rò rỉ	Khối lượng (tấn)	Diện tích bị ảnh hưởng (km ²)
2019	Quảng Bình: tràn dầu vùng biển Hòn La	106°35'03E	17°50'50N	22/01/2019	DO, dầu nhờn	0.005	-	-	-	-
2019	Hà Tĩnh: Vào hồi 04h00 phút ngày 28/11/2019, Cảng vụ Hà Tĩnh nhận được thông tin tàu Nordana Sophia, Số hiệu HSCP2, Quốc tịch Thái Lan, trọng tải 8.976 tấn có 18 thuyền viên. Tàu bị thủng buồng máy, nước tràn vào và chìm tại vị trí cách mũi Ròn khoảng 2km, cách cảng Sơn Dương khoảng 10km. Đến khoảng 7h ngày 29/11/2019 dọc bờ biển Tân Phúc Thành Hải Thanh và Đông Yên xã Kỳ Lợi có một lượng dầu đen trôi dạt vào bờ	106°29'40"E	18°07'58N	29/11/2019	FO	Không xác định	Chiều dài bờ biển khoảng 3km (Không xác định được diện tích)	-	-	-
2020	Quảng Nam: Dầu vón cục tại bãi biển xã Tam Thanh, TP Tam Kỳ	-	-	02/01/2020	Dầu vón cục	168 kg	6-7 km chiều dài bờ biển	-	-	-
2021	Hà Tĩnh: Hiện tượng dầu tràn trên mặt nước xuất hiện vào khoảng 03h sáng vào ngày 15/11/2021 do PVT Dragon, số IMO 9140580 thuộc sở hữu của công ty TNHH xăng dầu Giang Nam đang cập cảng Xăng dầu Vũng Áng gây ra sự cố. Sự cố làm ảnh	-	-	15/11/2021	FO	Không xác định	2 km chiều dài bờ biển	-	-	-

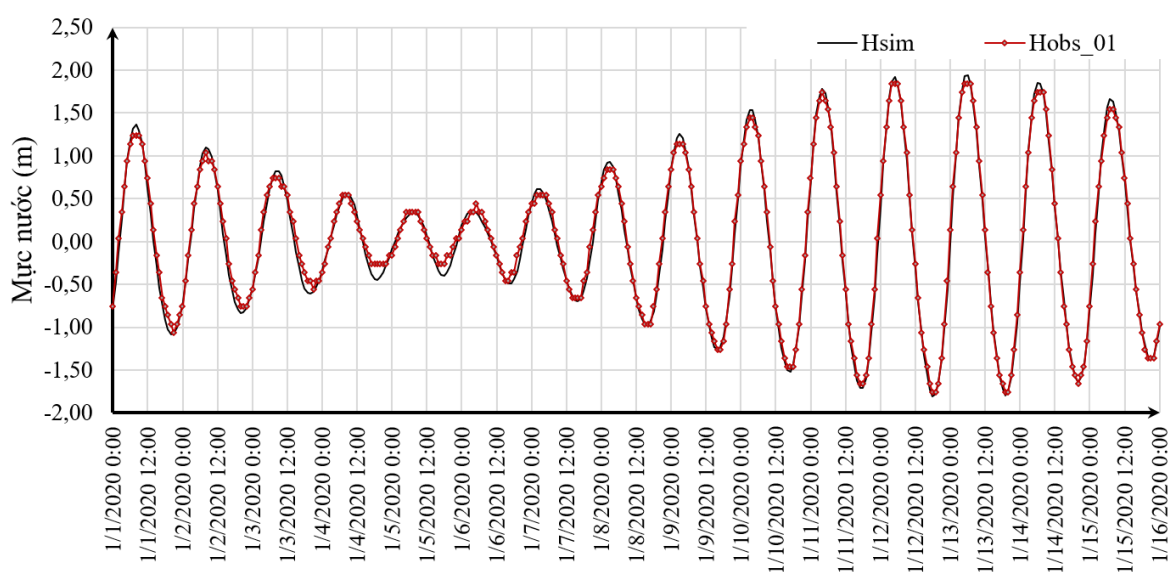
Năm	Các vụ dầu tràn và hóa chất rò rỉ trên biển	Tọa độ		Thời gian xảy ra sự cố	Dầu tràn trên biển			Hóa chất rò rỉ trên biển		
		Kinh độ	Vĩ độ		Loại dầu tràn	Khối lượng (tấn)	Diện tích bị ảnh hưởng (km ²)	Loại hóa chất rò rỉ	Khối lượng (tấn)	Diện tích bị ảnh hưởng (km ²)
	hưởng đến bờ biển khu vực từ đền Eo Bạch đến khu vực bè nổi Vũng Áng, xã Kỳ Lợi, thị xã Kỳ Anh									
2021	Quảng Bình: Vùng ven biển 2 huyện Quảng Ninh, Lệ Thủy và thành phố Đồng Hới	-	-	31/8/2021 - 05/9/2021	FO	3.85	-	-	-	-
2021	Quảng Ninh: tràn dầu do cháy tàu tại vùng nước biển thuộc Cảng khách quốc tế Hạ Long	Vùng nước biển thuộc Cảng khách quốc tế Hạ Long		22/11/2021	DO	0.03	0.00002	-	-	-
2022	Thái Bình: tàu Hà An 01 bị chìm nằm gần phao số 0 luồng cảng Diêm Điền, huyện Thái Thụy	20 ⁰ 30'46. 07''N	106 ⁰ 37 '88.28' 'E	08/9/2022	DO	1077	-	-	-	-
2023	Hải Phòng: dầu tràn tại khu vực ven bờ từ Bến phà Gót đến Bến cảng số 3, Cảng quốc tế Lạch Huyện, thị trấn Cát Hải	Từ Bến phà Gót đến Bến cảng số 3		26/02/2023	FO	Không xác định	Chiều rộng từ 1 đến 3 mét, chiều dài khoảng 300 mét dọc theo bờ biển	-	-	-

II. Kết quả tính toán mô hình tràn dầu MIKE 21/3 Couple Model FM (Chương 3)

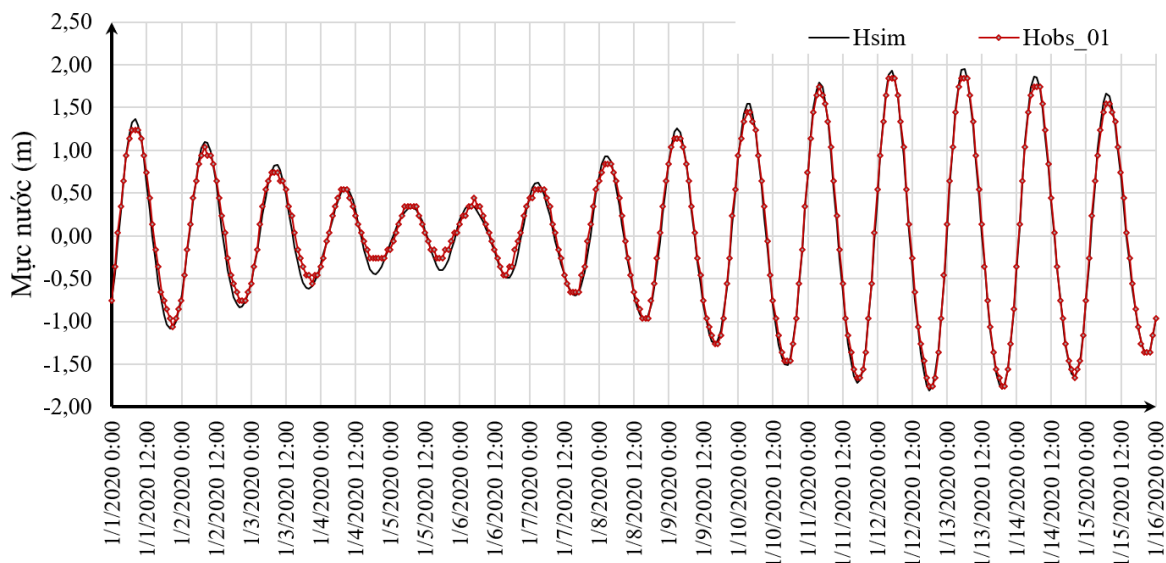
1. Hiệu chỉnh mô hình thủy động lực



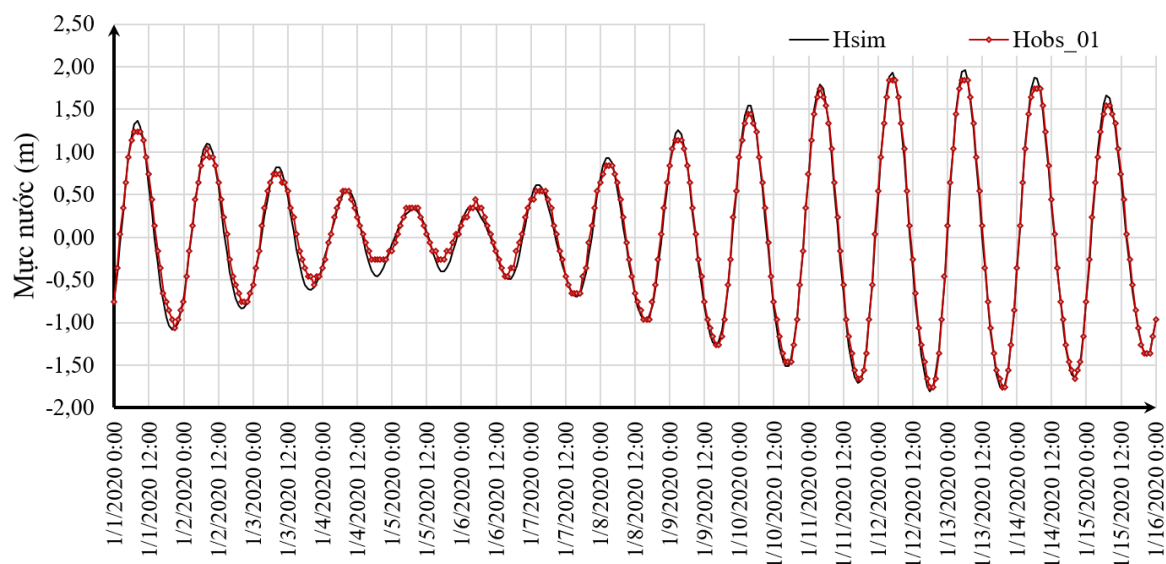
Hiệu chỉnh mực nước tại trạm liên tục S2 giai đoạn từ 01/01/2020 đến 16/01/2020



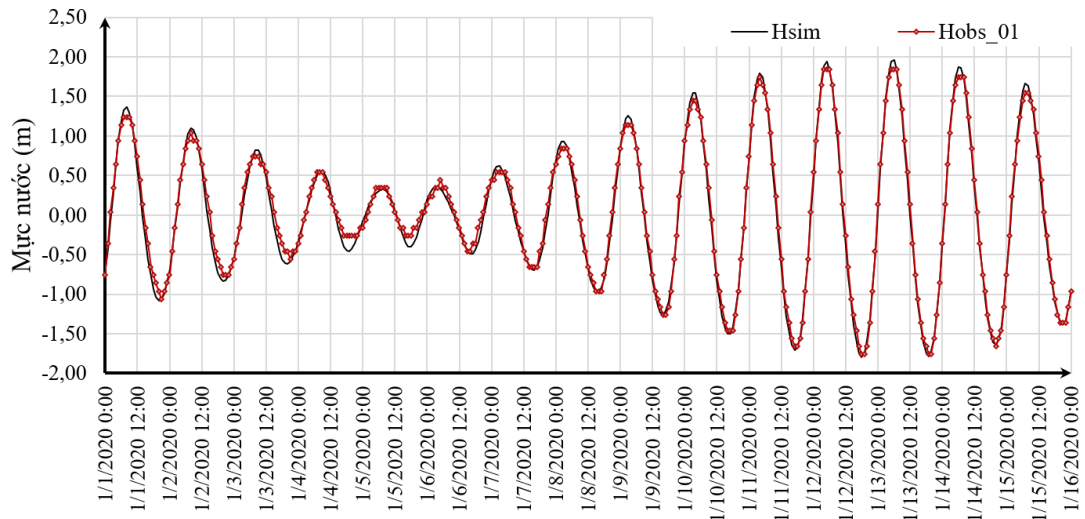
Hiệu chỉnh mực nước tại trạm liên tục S3 giai đoạn từ 01/01/2020 đến 16/01/2020



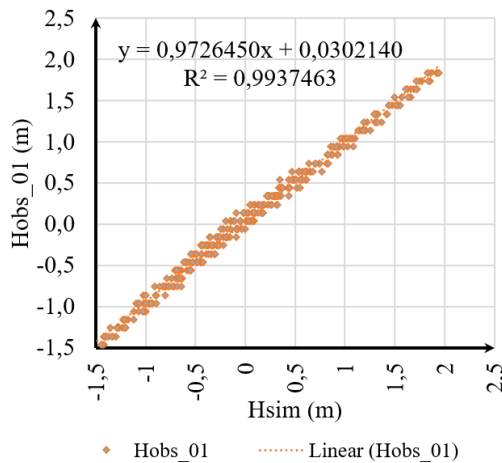
Hiệu chỉnh mực nước tại liên tục No.1 giai đoạn từ 01/01/2020 đến 16/01/2020



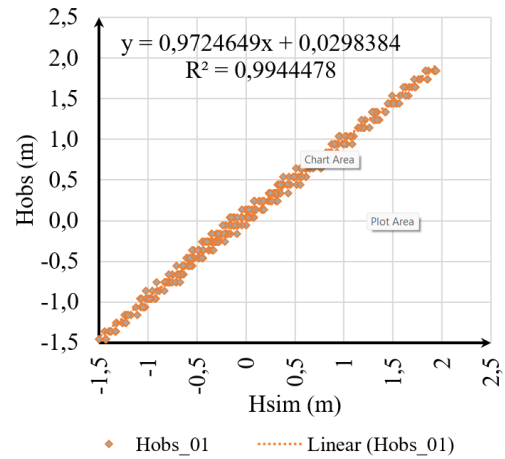
Hiệu chỉnh mực nước tại trạm liên tục No.2 giai đoạn từ 01/01/2020 đến 16/01/2020



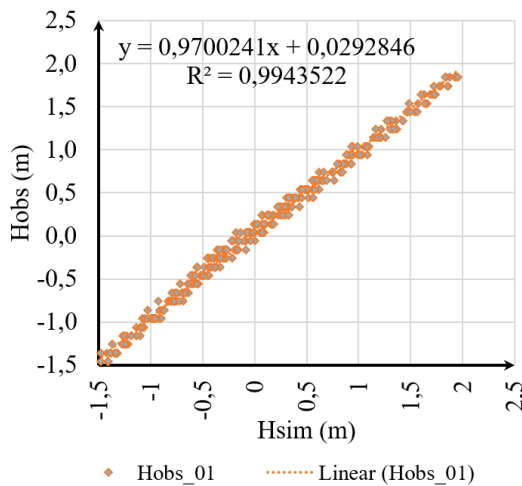
Hiệu chỉnh mực nước tại trạm liên tục No.3 giai đoạn từ 01/01/2020 đến 16/01/2020



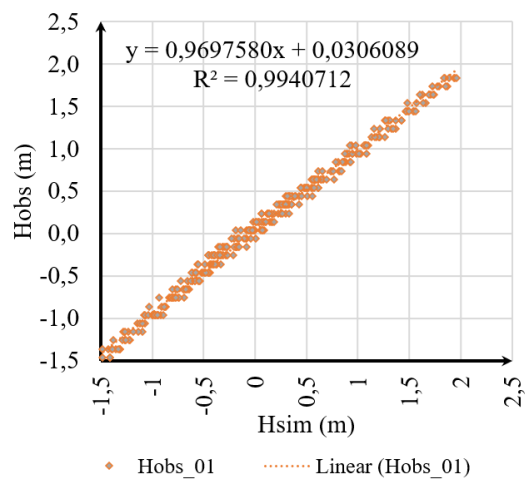
a) Trạm liên tục S2



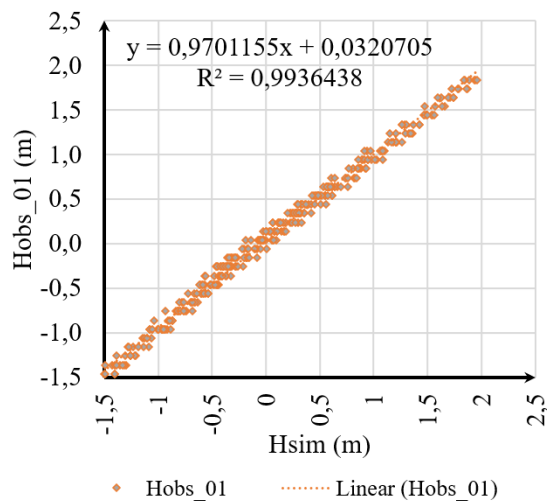
b) Trạm liên tục S3



c) Trạm liên tục No.1



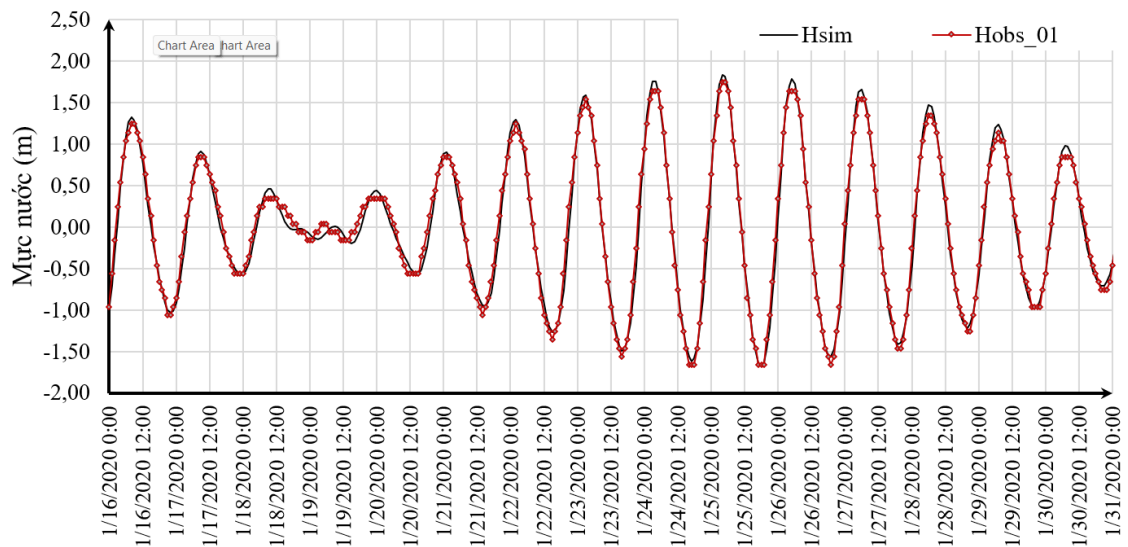
d) Trạm liên tục No.2



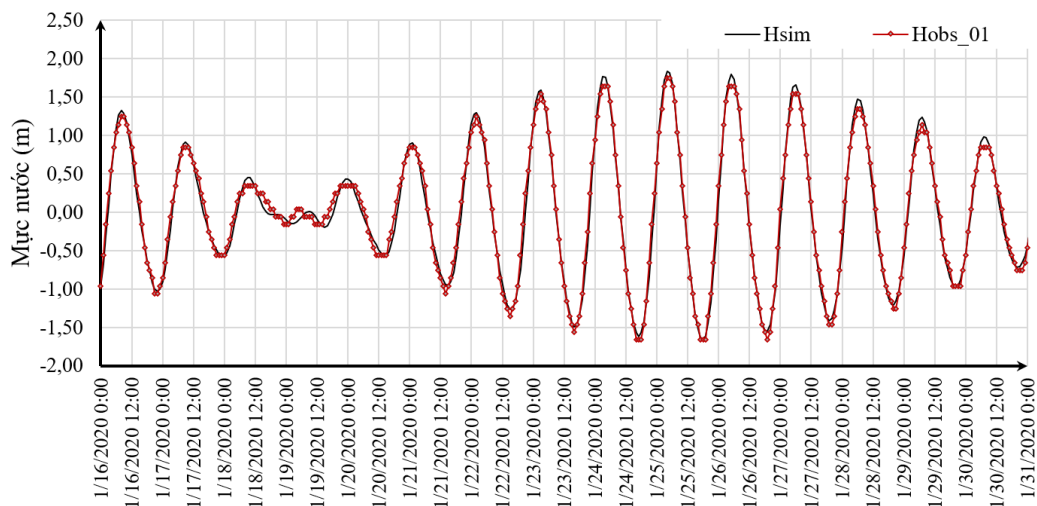
e) Trạm liên tục No.3

Tương quan mực nước giữa thực đo (H_{obs_01}) và mô phỏng (H_{sim}) giai đoạn từ 01/01/2020 đến 16/01/2020 (a) trạm liên tục S2; b) trạm liên tục S3; c) trạm liên tục No.1; d) trạm liên tục No.2; e) trạm liên tục No.3

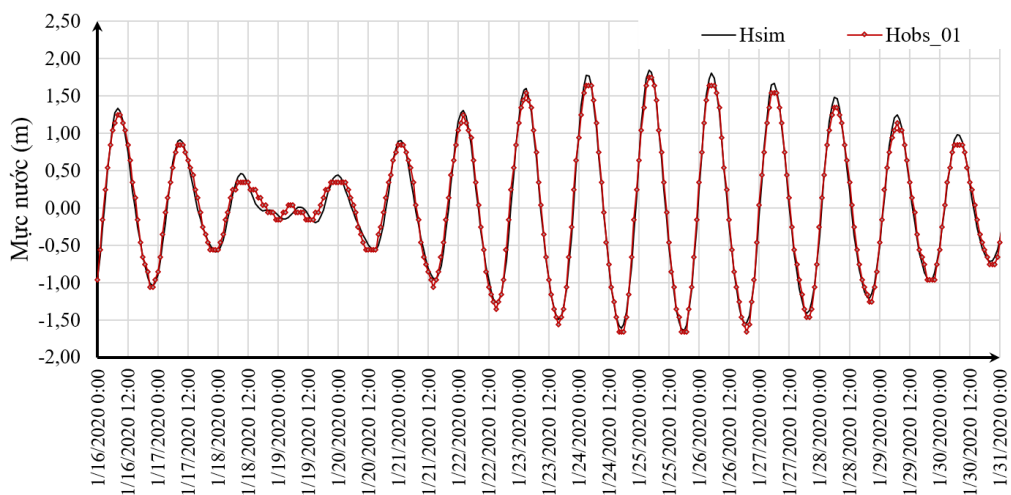
2. Kiểm nghiệm mô hình thủy động lực



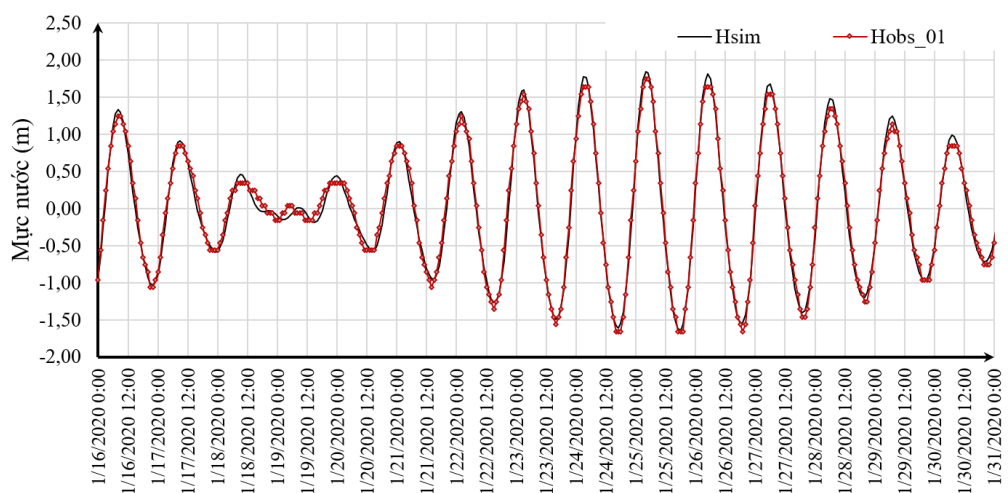
Kiểm nghiệm mực nước tại trạm liên tục S2 giai đoạn từ 16/01 đến 01/02/2020



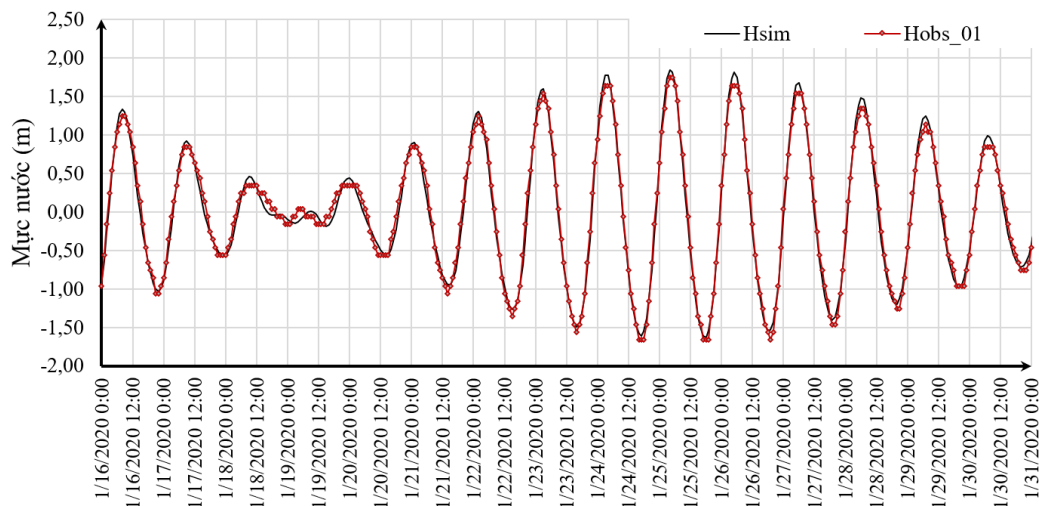
Kiểm nghiệm mực nước tại trạm liên tục S3 giai đoạn từ 16/01 đến 01/02/2020



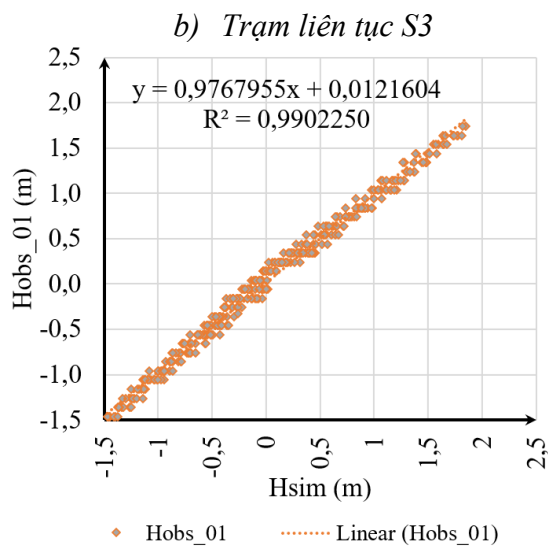
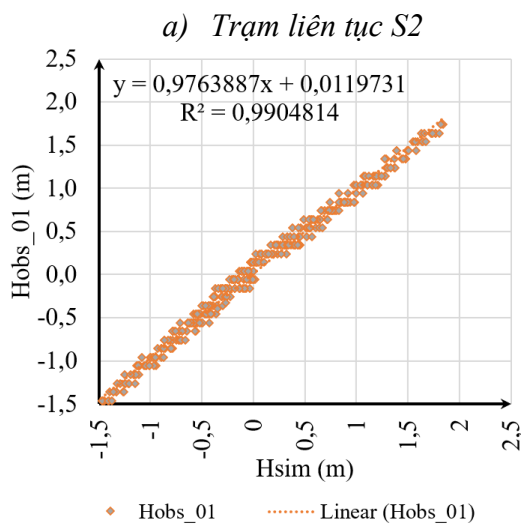
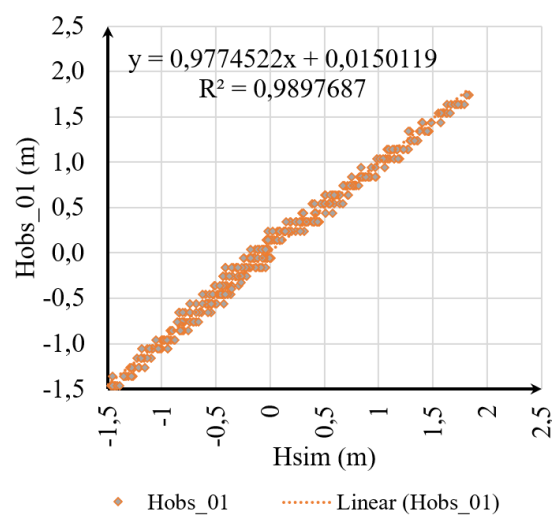
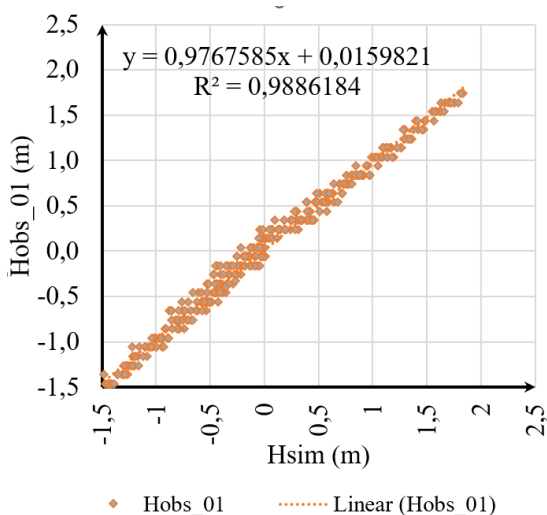
Kiểm nghiệm mực nước tại liên tục No.1 giai đoạn từ 16/01 đến 01/02/2020



Kiểm nghiệm mực nước tại trạm liên tục No.2 giai đoạn từ 16/01 đến 01/02/2020

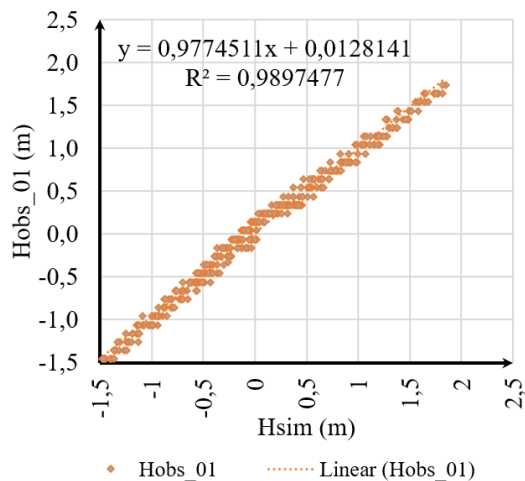


Kiểm nghiệm mực nước tại trạm liên tục No.3 giai đoạn từ 16/01 đến 01/02/2020



c) Trạm liên tục No.1

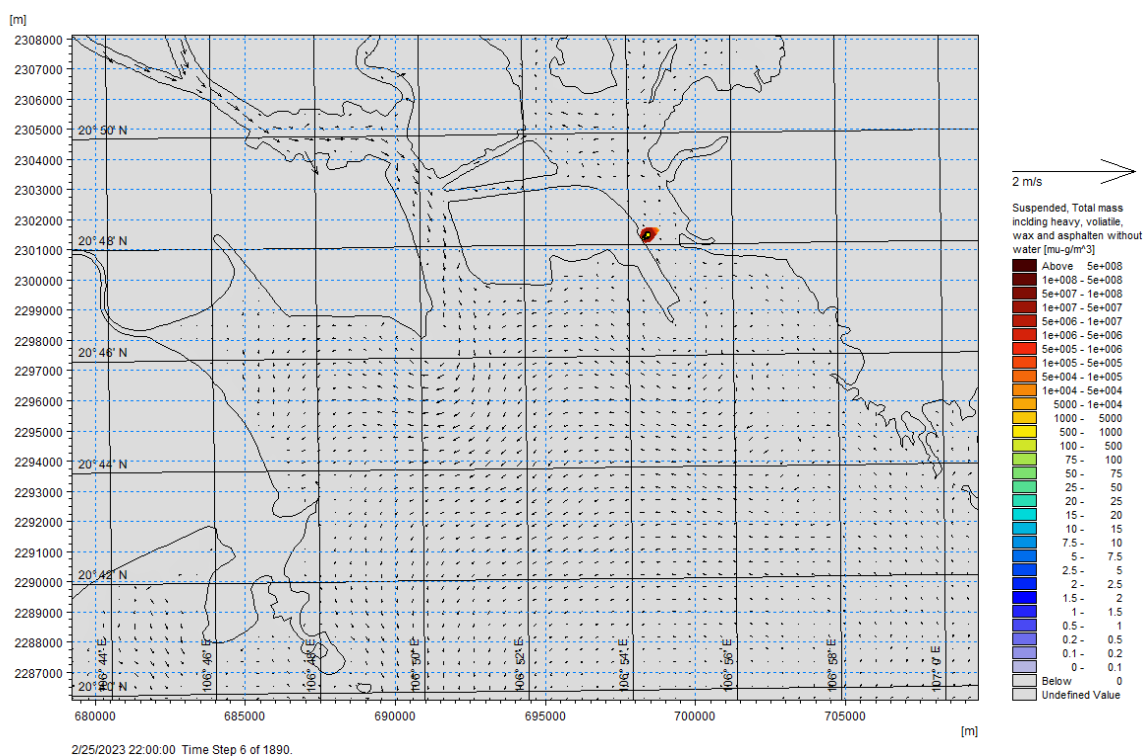
d) Trạm liên tục No.2



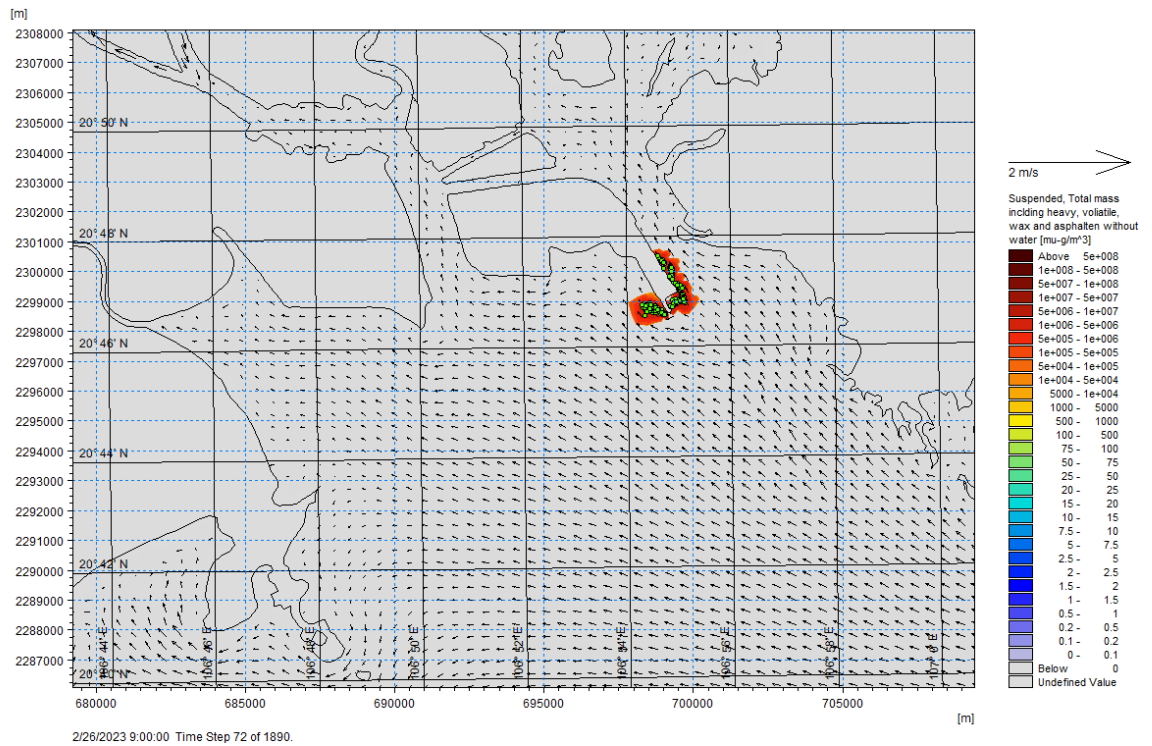
e) Trạm liên tục No.3

Tương quan mực nước giữa thực đo (Hobs) và mô phỏng (Hsim) giai đoạn từ 16/01/2020 đến 01/02/2020 (a) trạm Hòn Dấu; b) trạm liên tục S1; c) trạm liên tục S3; d) trạm liên tục No1; e) trạm liên tục No2; f) trạm liên tục No3)

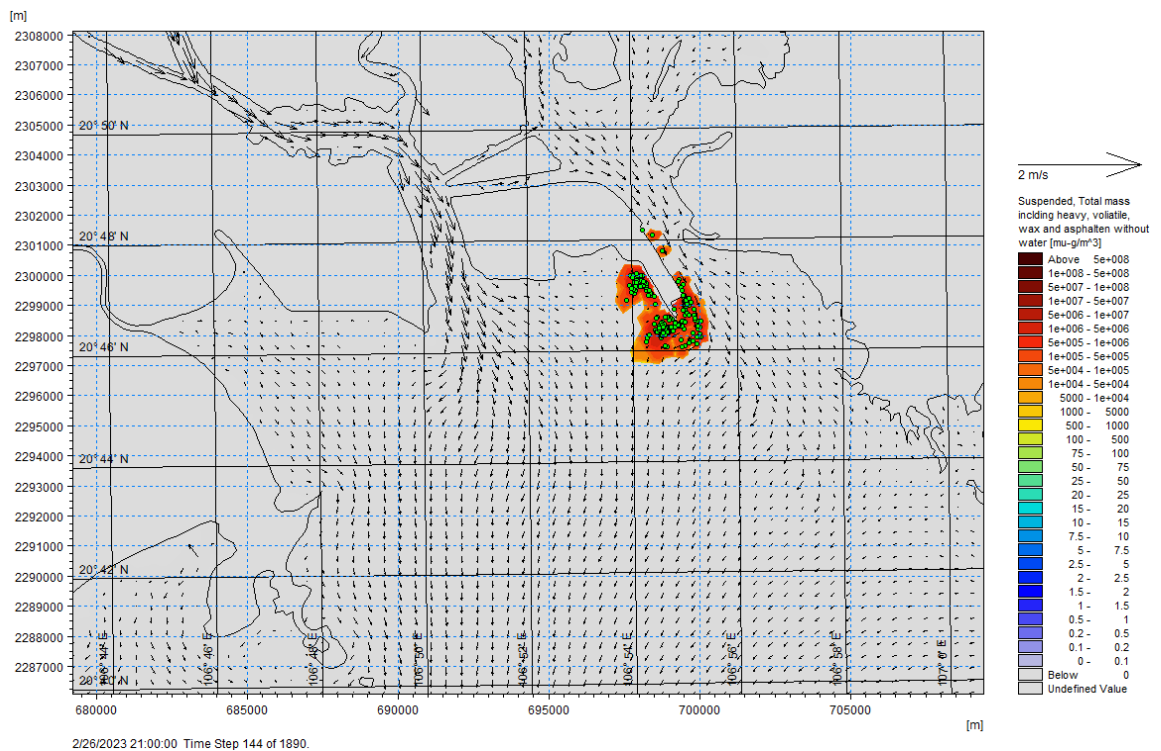
3. Trường hợp tràn dầu thực tế (tháng 02/2023)



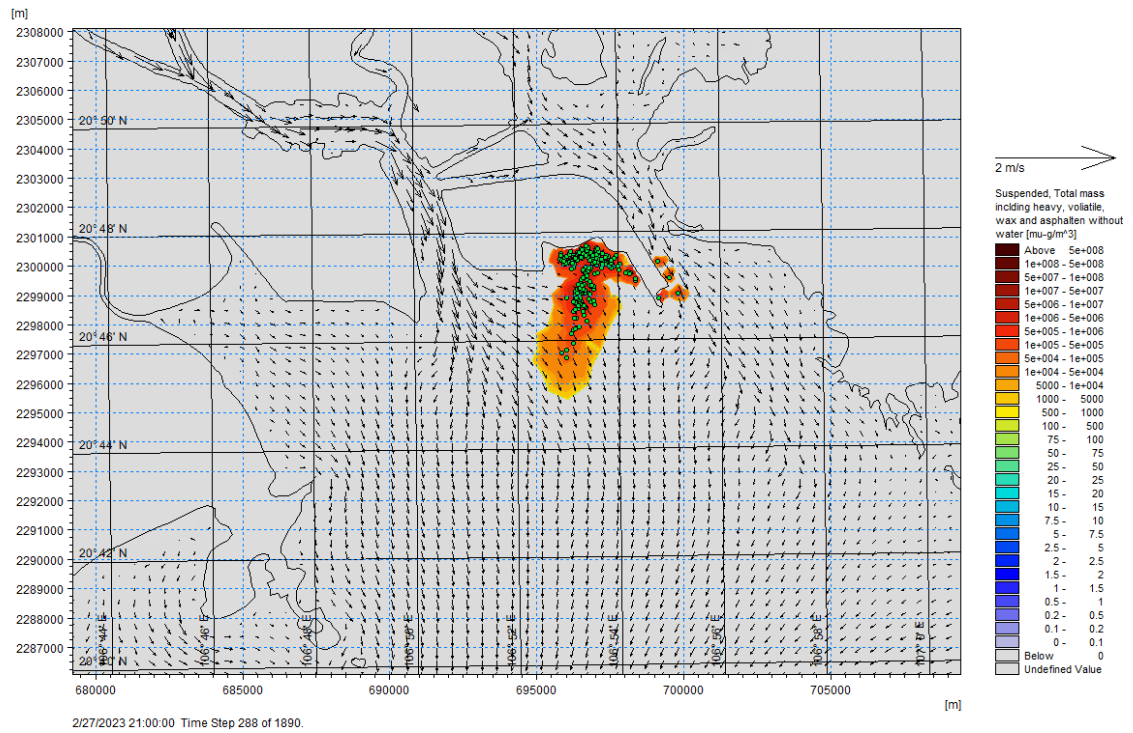
a) Lúc 05 giờ ngày 26/02/2023 (sau 1 giờ)



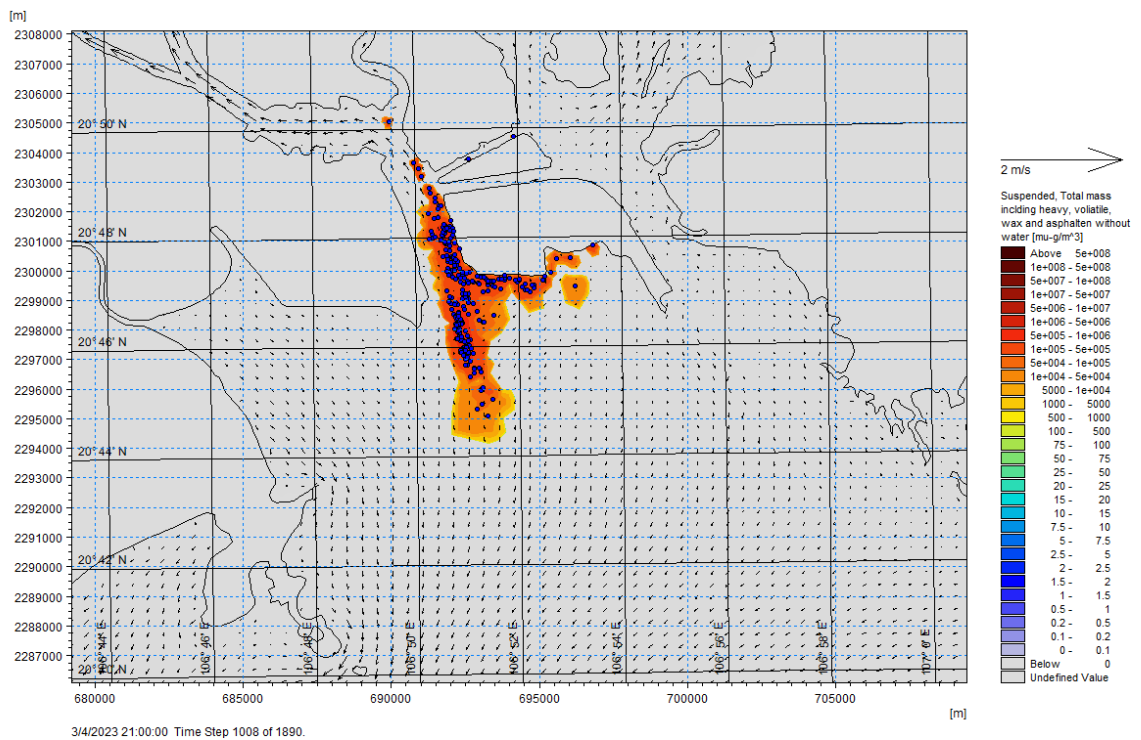
b) Lúc 16 giờ ngày 26/02/2023 (sau 12 giờ)



c) Lúc 04 giờ ngày 27/02/2023 (sau 24 giờ / 1 ngày)



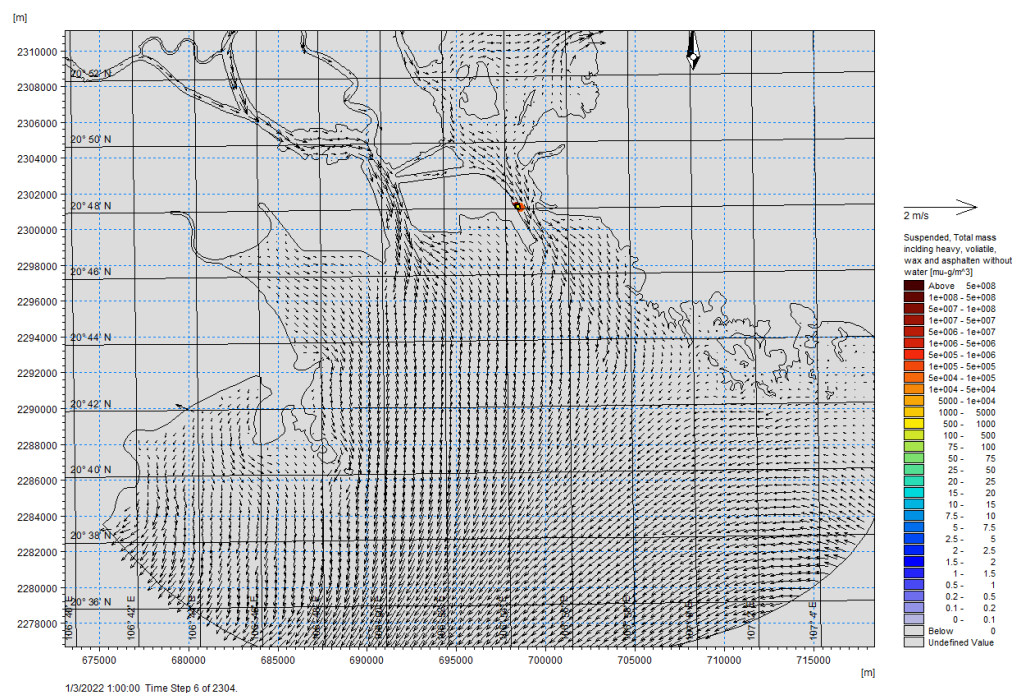
d) Lúc 04 giờ ngày 28/02/2023 (sau 2 ngày)



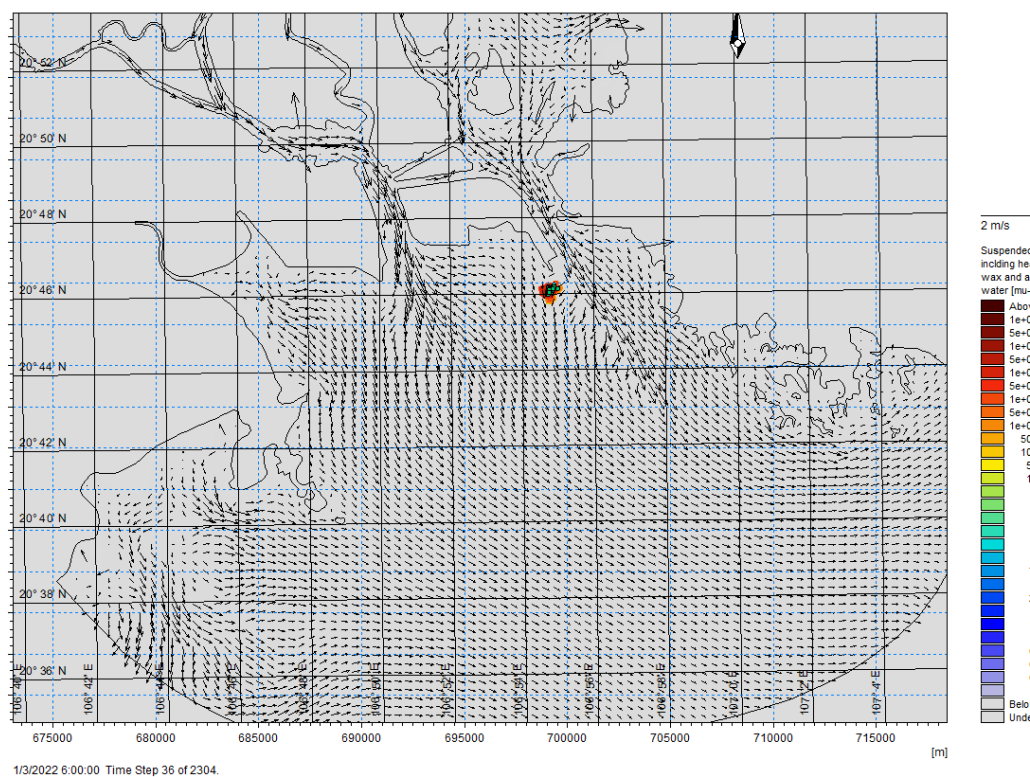
e) Lúc 04 giờ ngày 05/03/2023 (sau 7 ngày)

4. Trường hợp mô phỏng tràn dầu thời kỳ gió mùa Đông Bắc

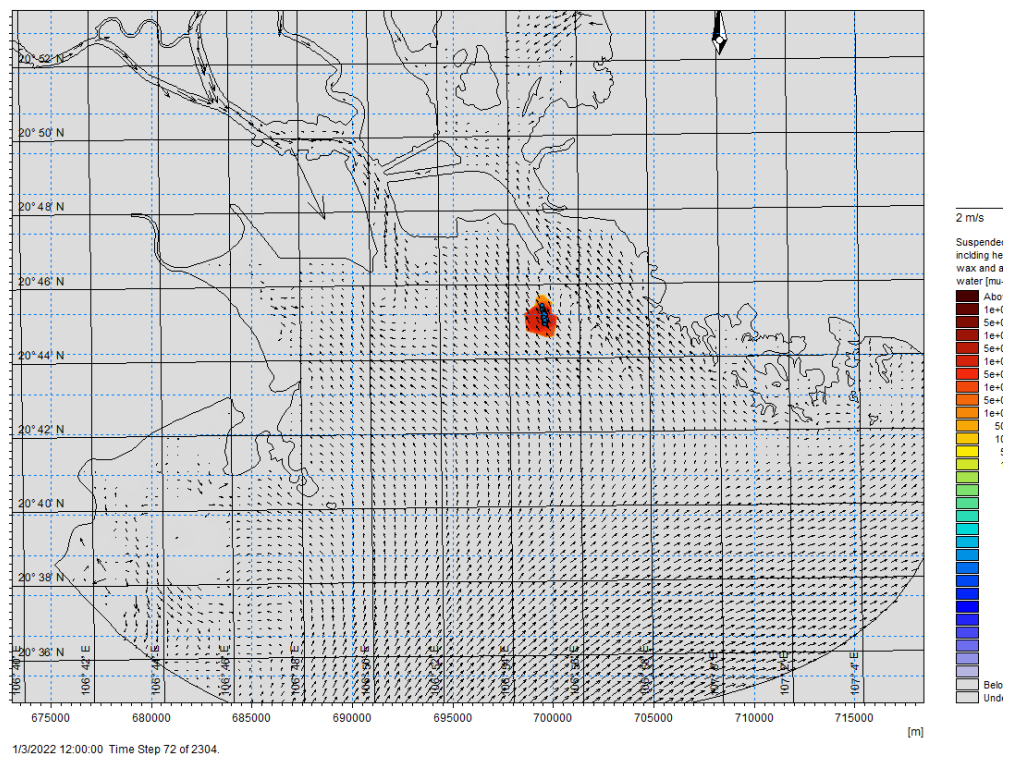
4.1 Tại bến Gót, Lạch Huyện



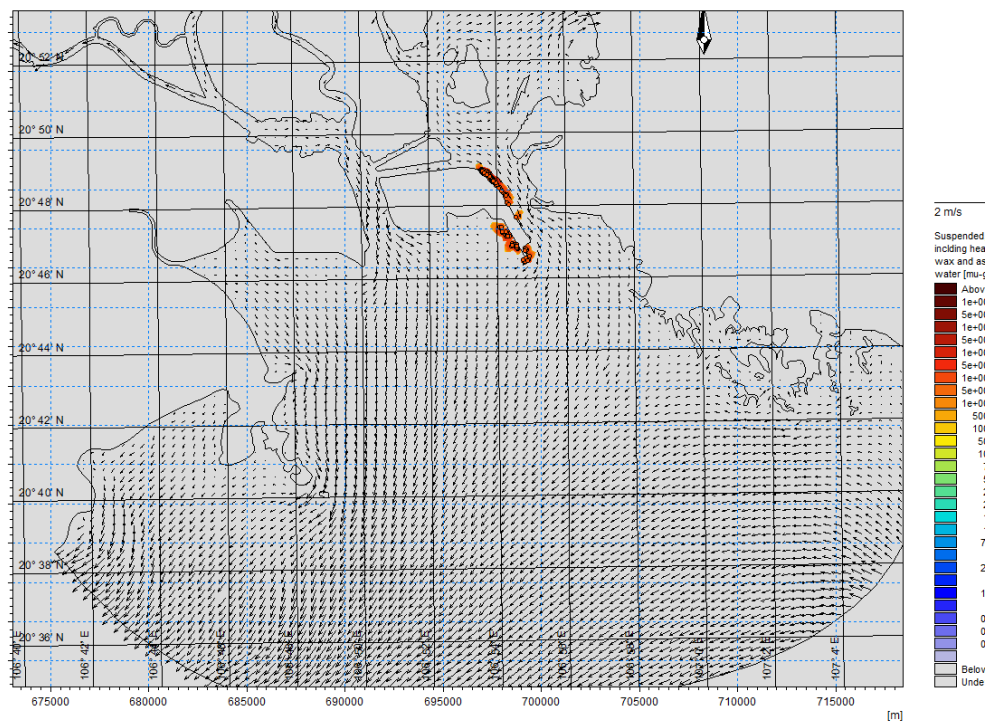
a) Lúc 08 giờ ngày 03/01/2022 (sau 1 giờ)



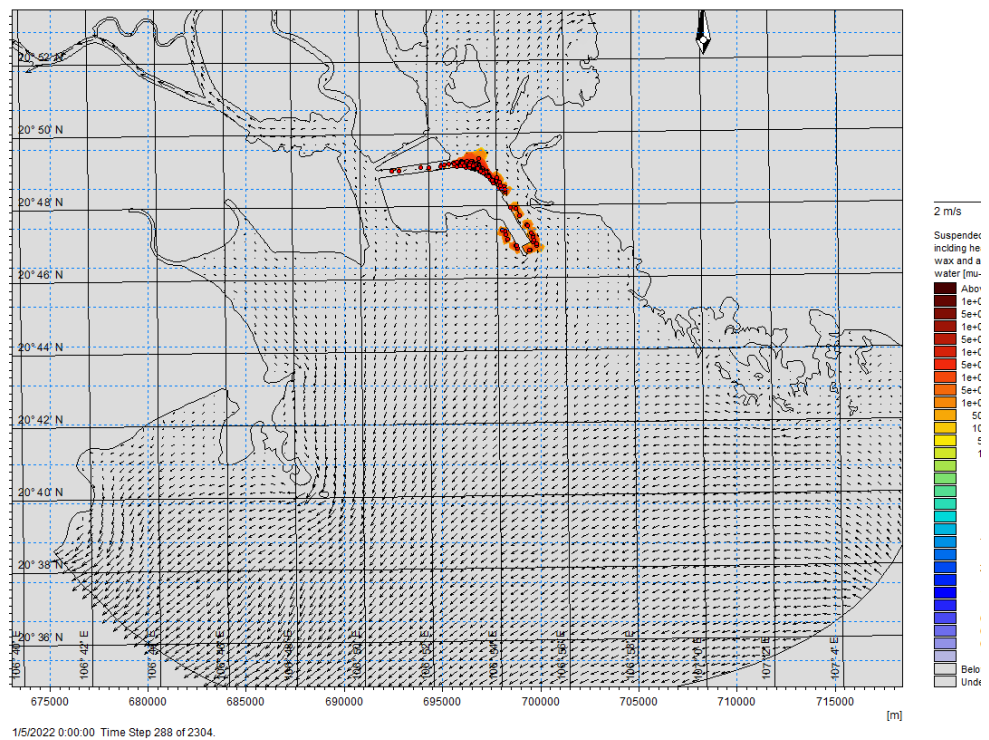
b) Lúc 13 giờ ngày 03/01/2022 (sau 6 giờ)



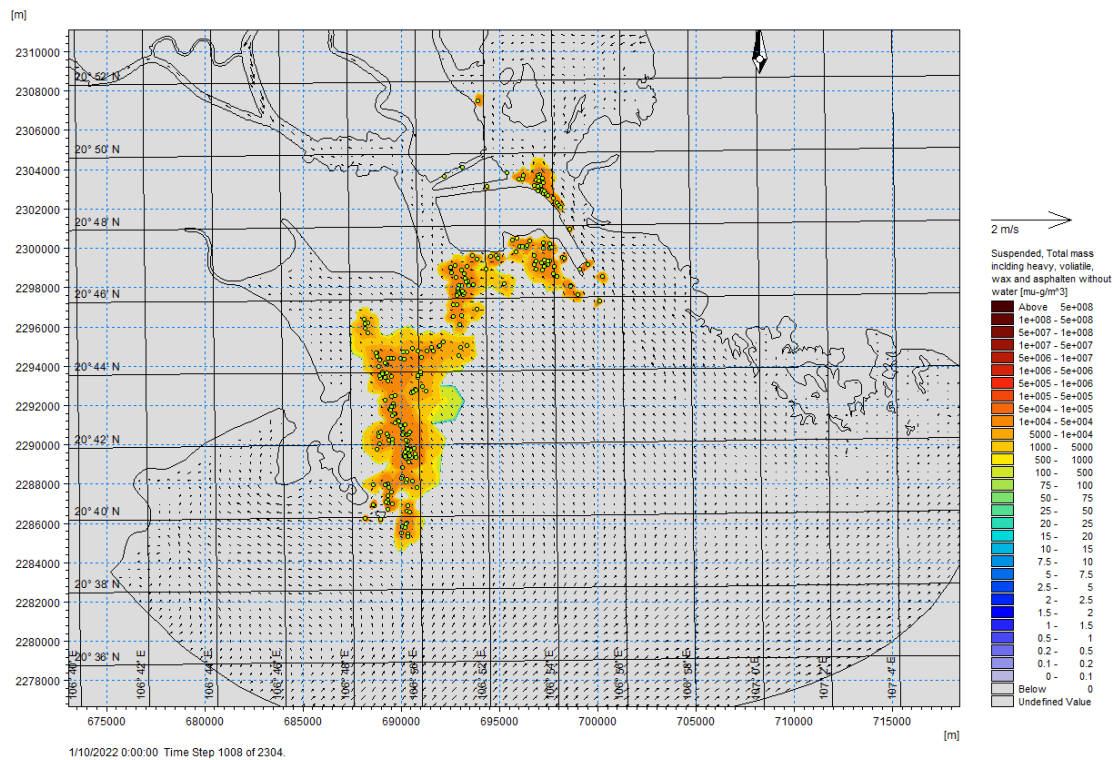
c) Lúc 19 giờ ngày 03/01/2022 (sau 12 giờ)



d) Lúc 07 giờ ngày 04/01/2022 (sau 1 ngày)

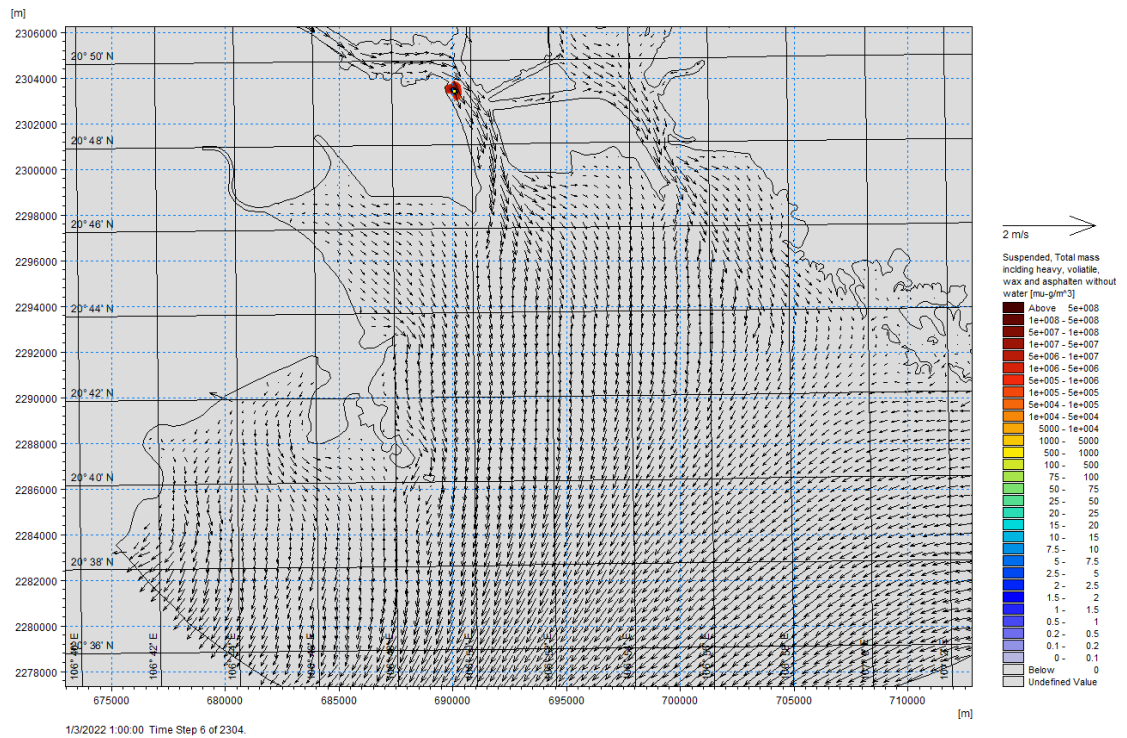


e) Lúc 07 giờ ngày 05/01/2022 (sau 2 ngày)

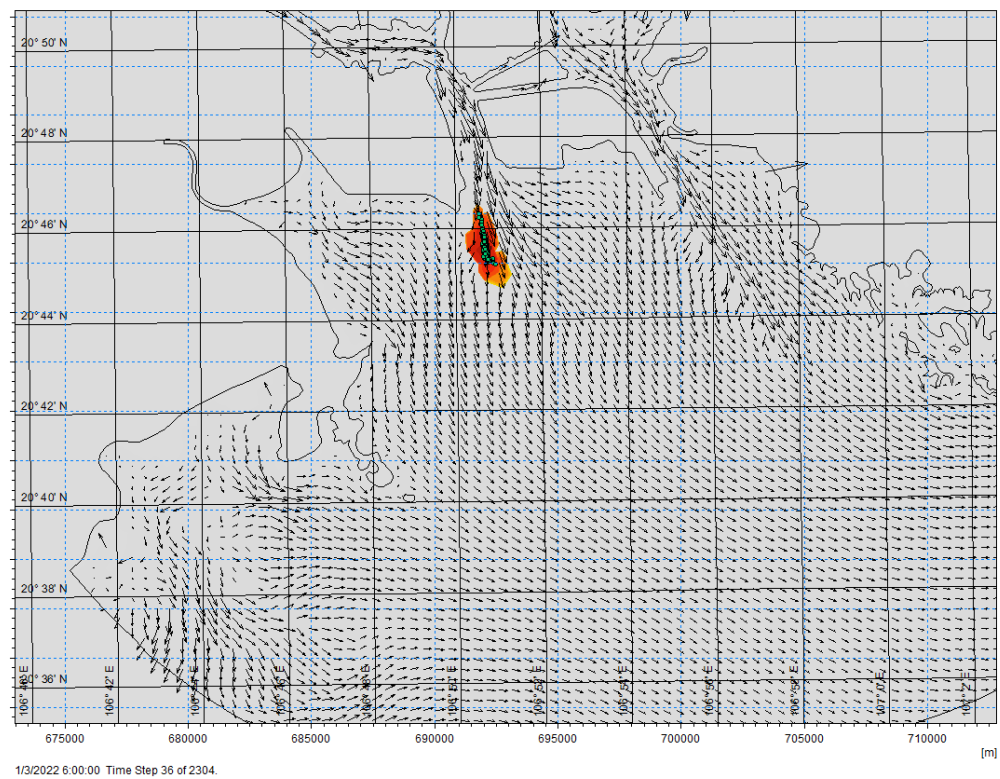


f) Lúc 07 giờ ngày 10/01/2022 (sau 7 ngày)

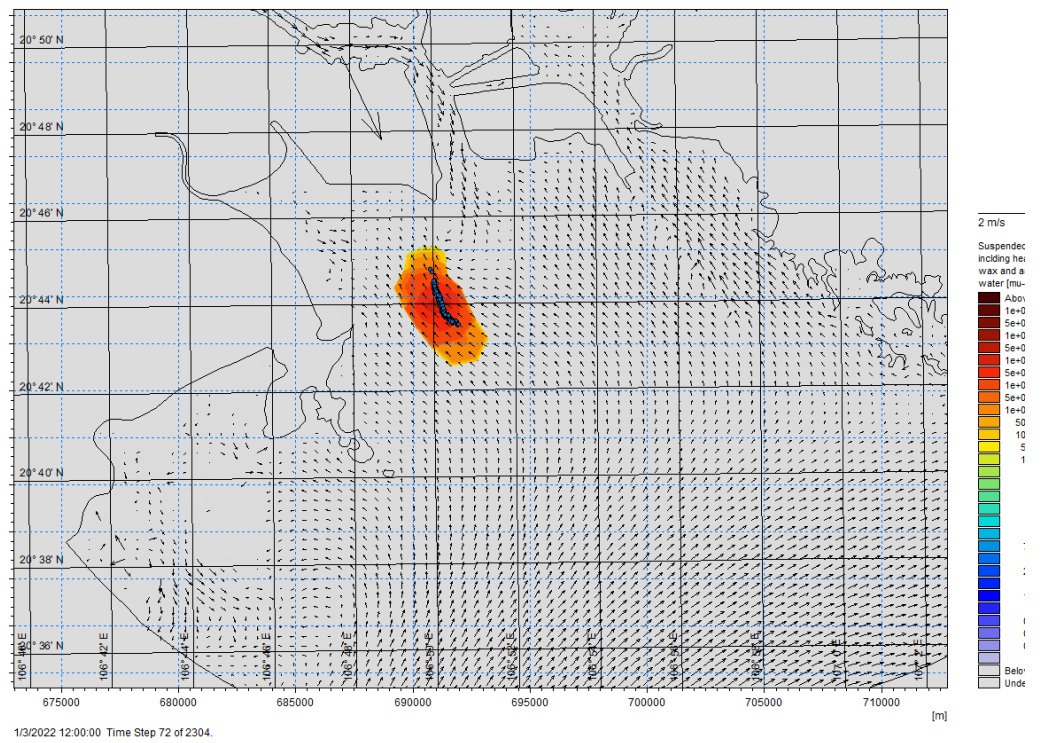
4.2 Tại cảng Đình Vũ, cửa Bạch Đằng



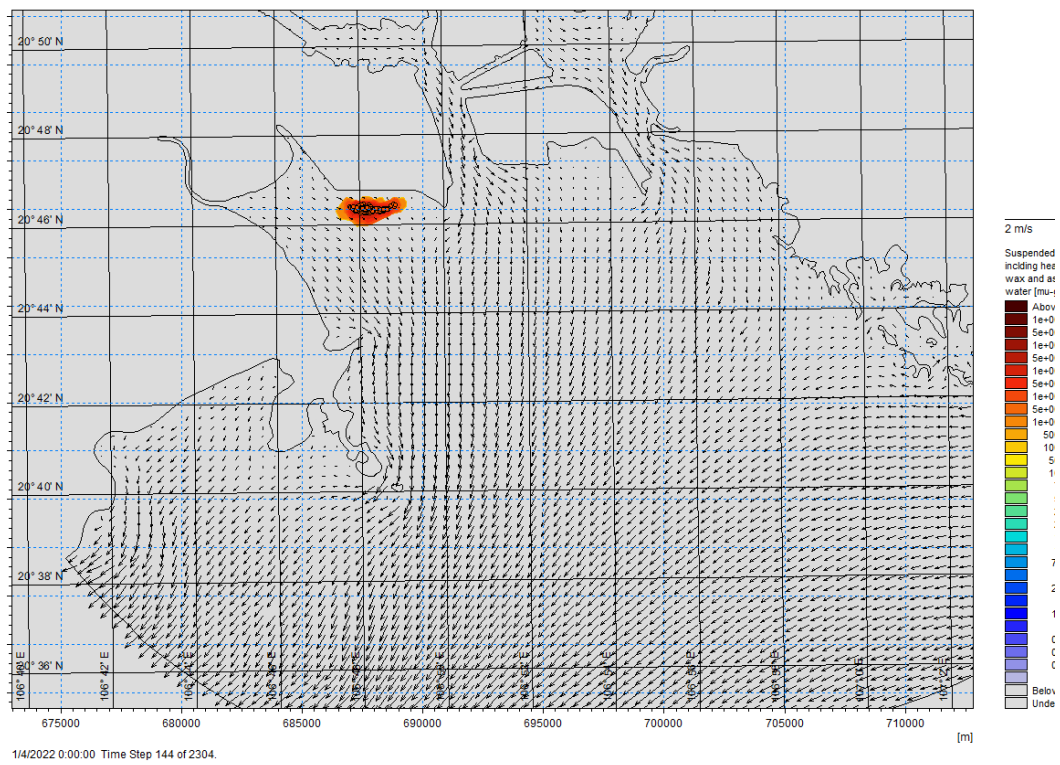
a) Lúc 08 giờ ngày 03/01/2022 (sau 1 giờ)



b) Lúc 13 giờ ngày 03/01/2022 (sau 6 giờ)



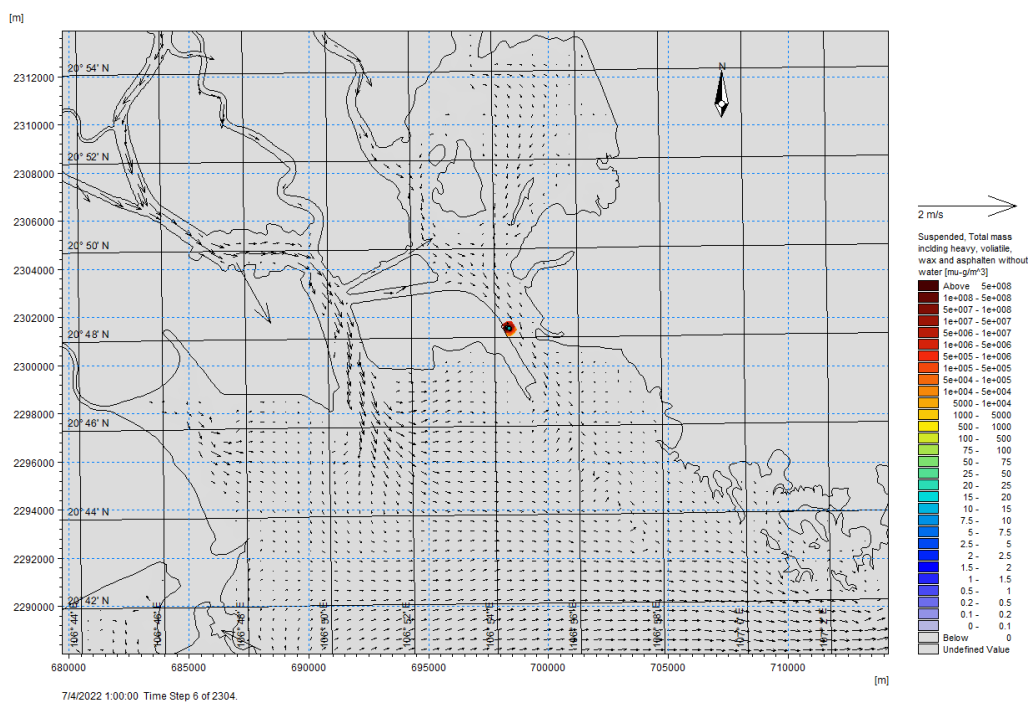
c) Lúc 19 giờ ngày 03/01/2022 (sau 12 giờ)



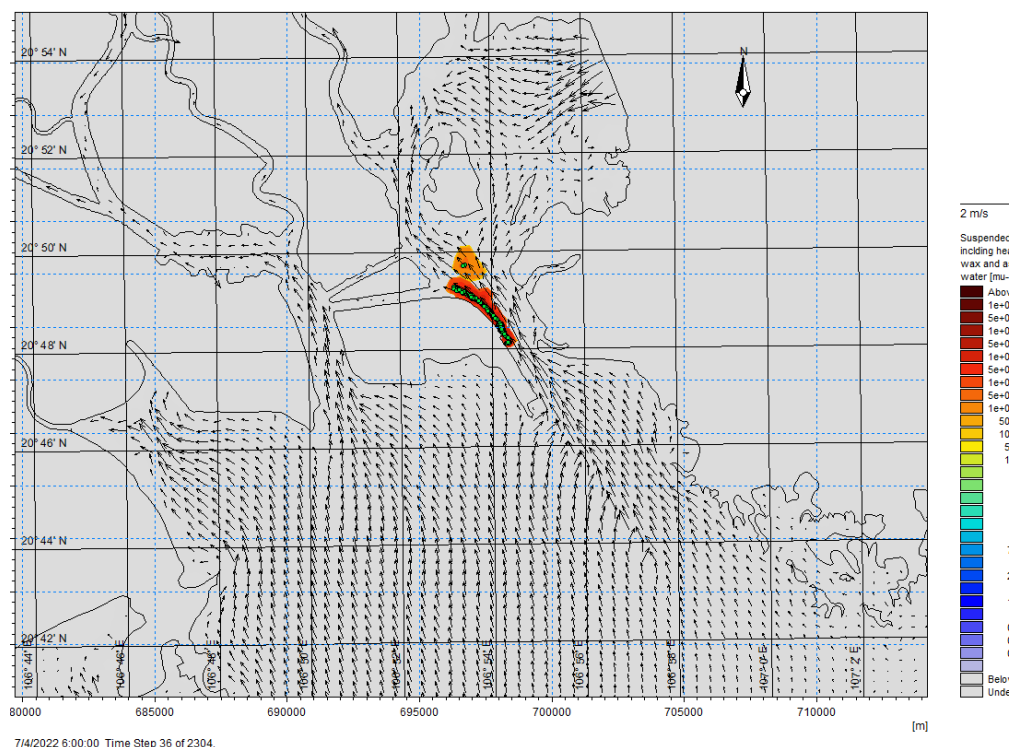
d) Lúc 07 giờ ngày 04/01/2022 (sau 1 ngày)

5. Trường hợp mô phỏng tràn dầu thời kỳ gió mùa Tây Nam

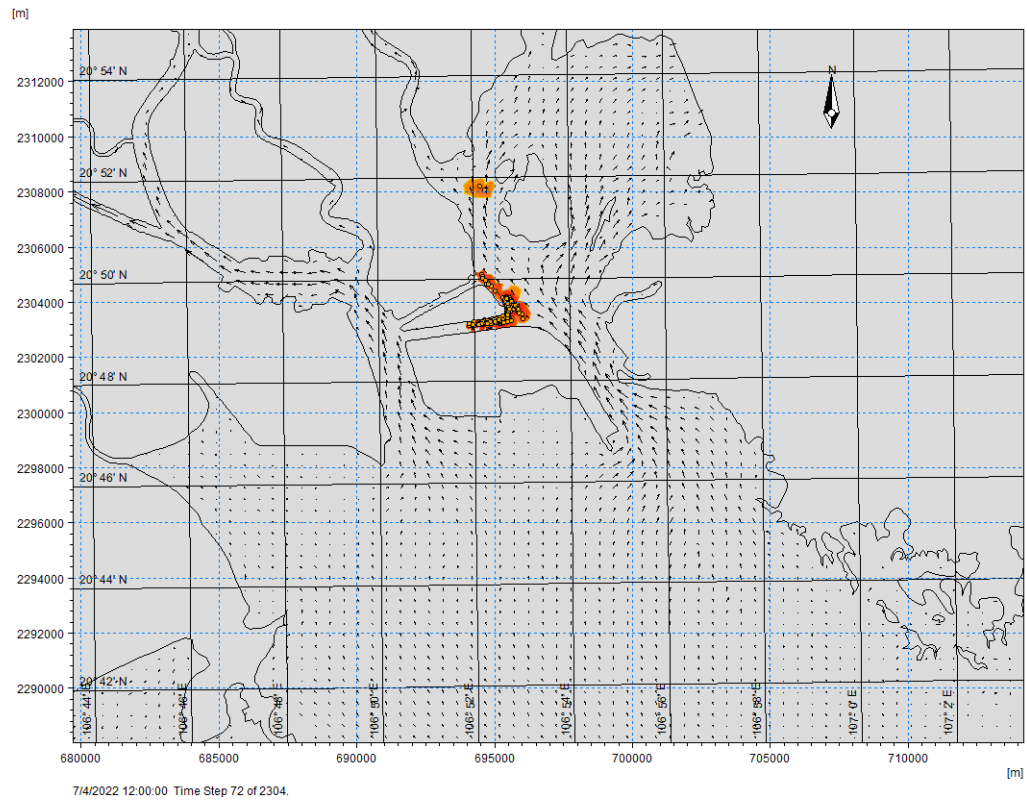
5.1 Tại bến Gót, Lạch Huyện:



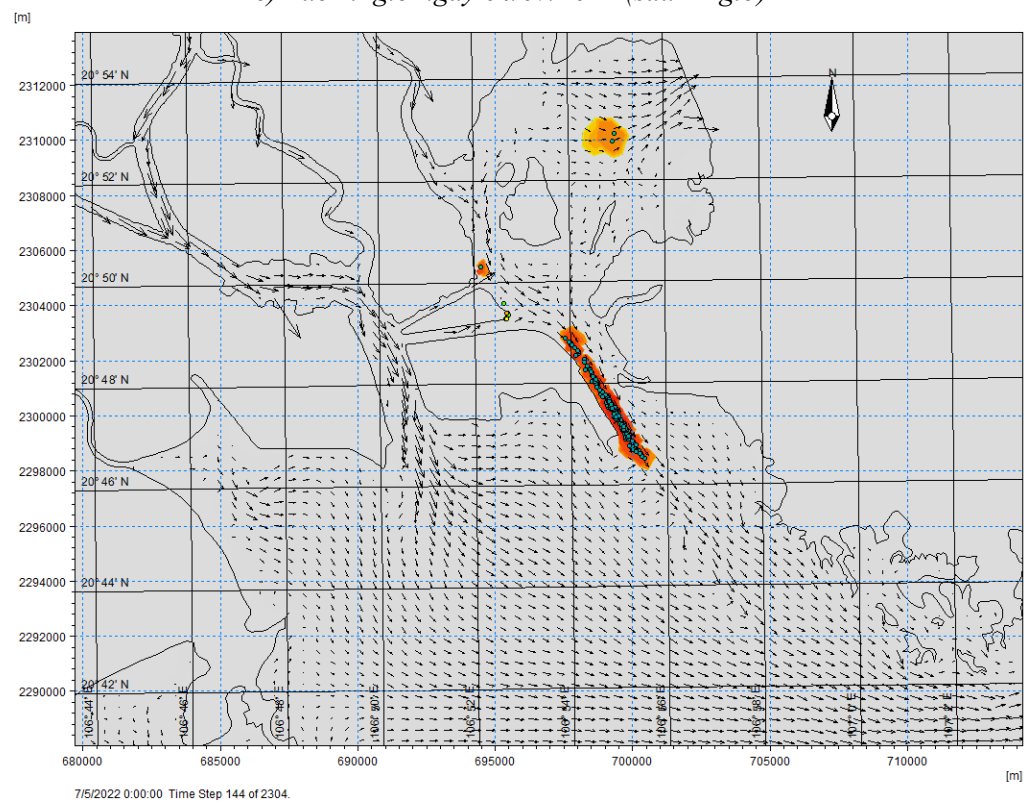
a) Lúc 08 giờ ngày 04/07/2022 (sau 1 giờ)



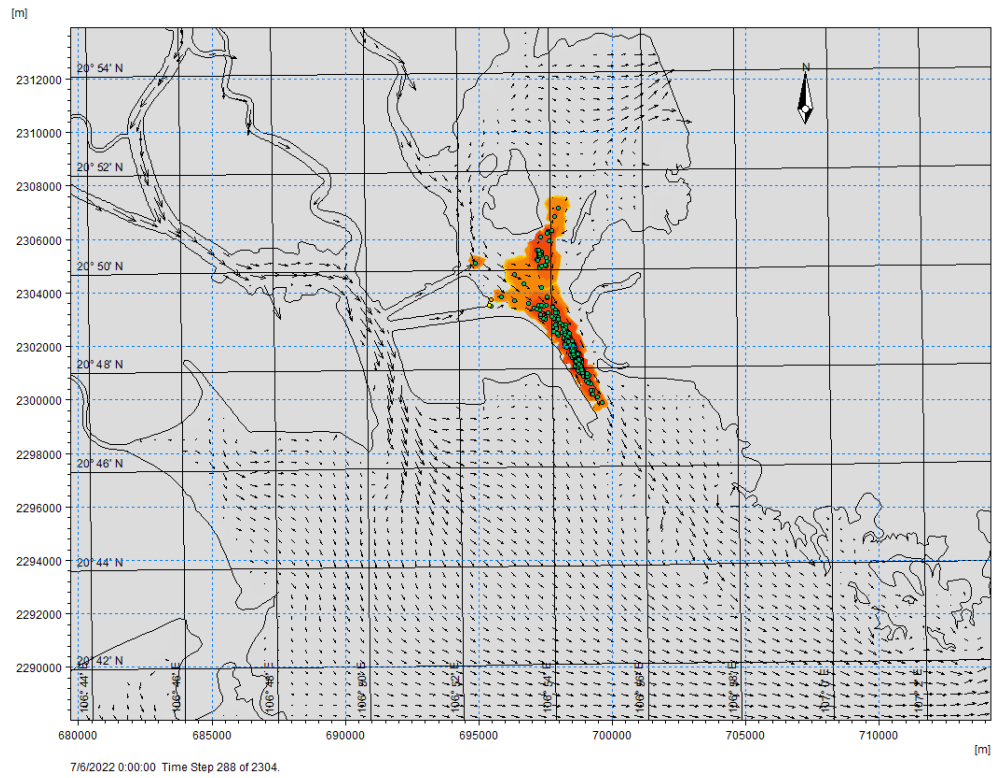
b) Lúc 13 giờ ngày 04/07/2022 (sau 6 giờ)



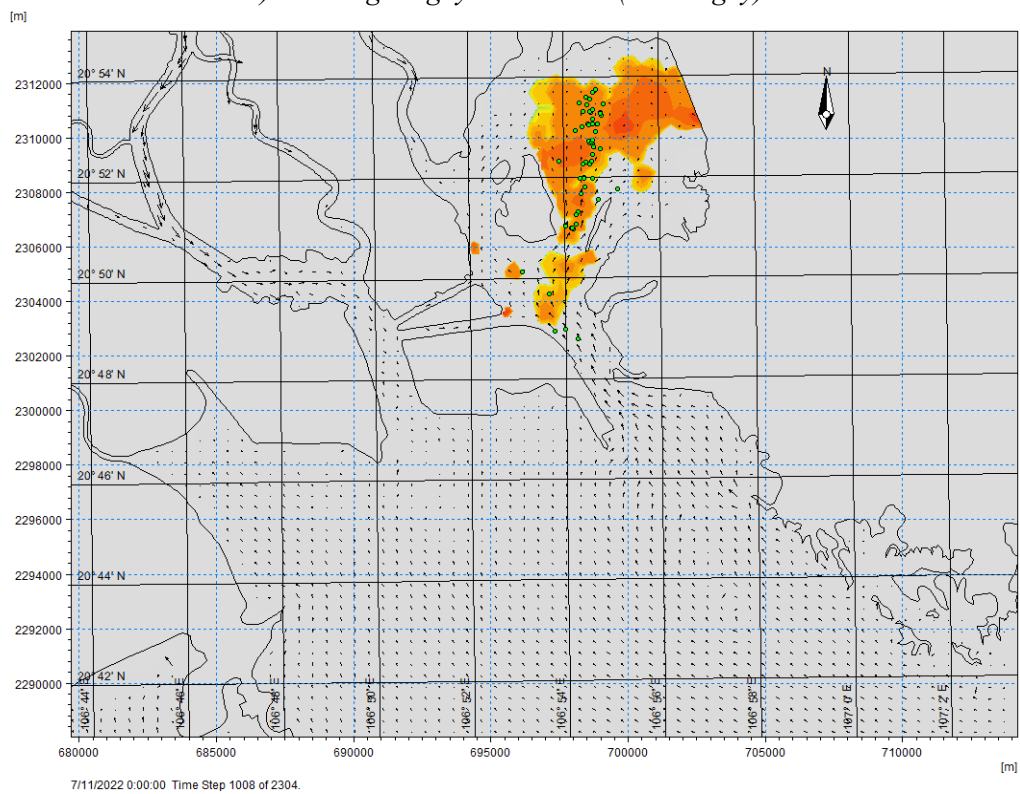
c) Lúc 19 giờ ngày 04/07/2022 (sau 12 giờ)



d) Lúc 07 giờ ngày 05/07/2022 (sau 1 ngày)

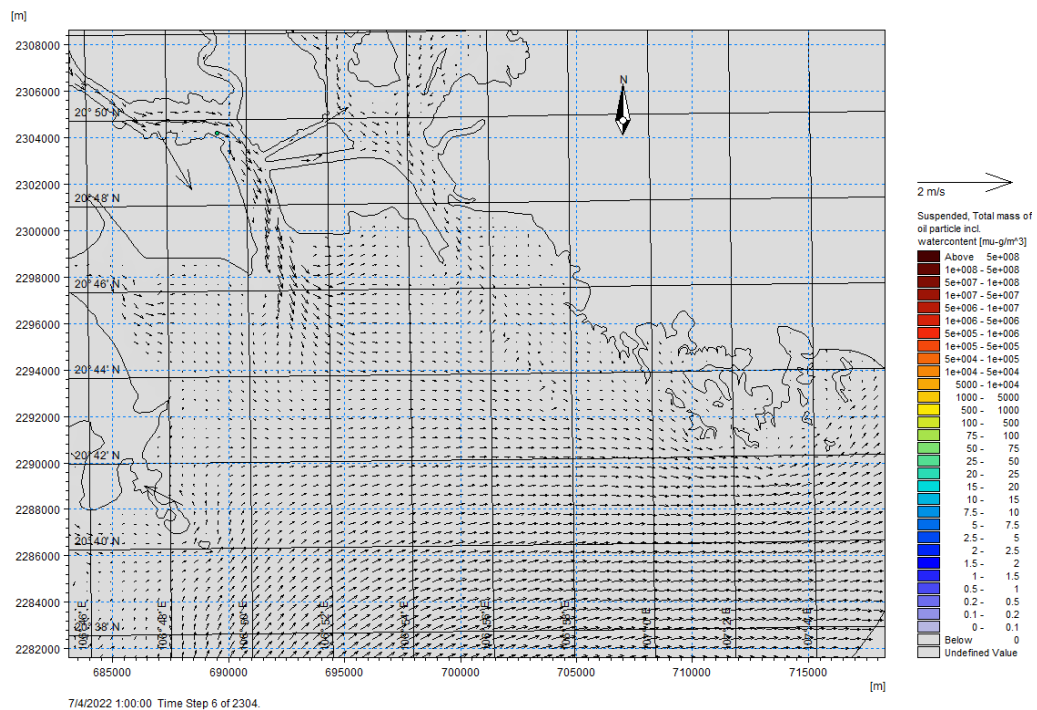


e) Lúc 07 giờ ngày 06/07/2022 (sau 2 ngày)

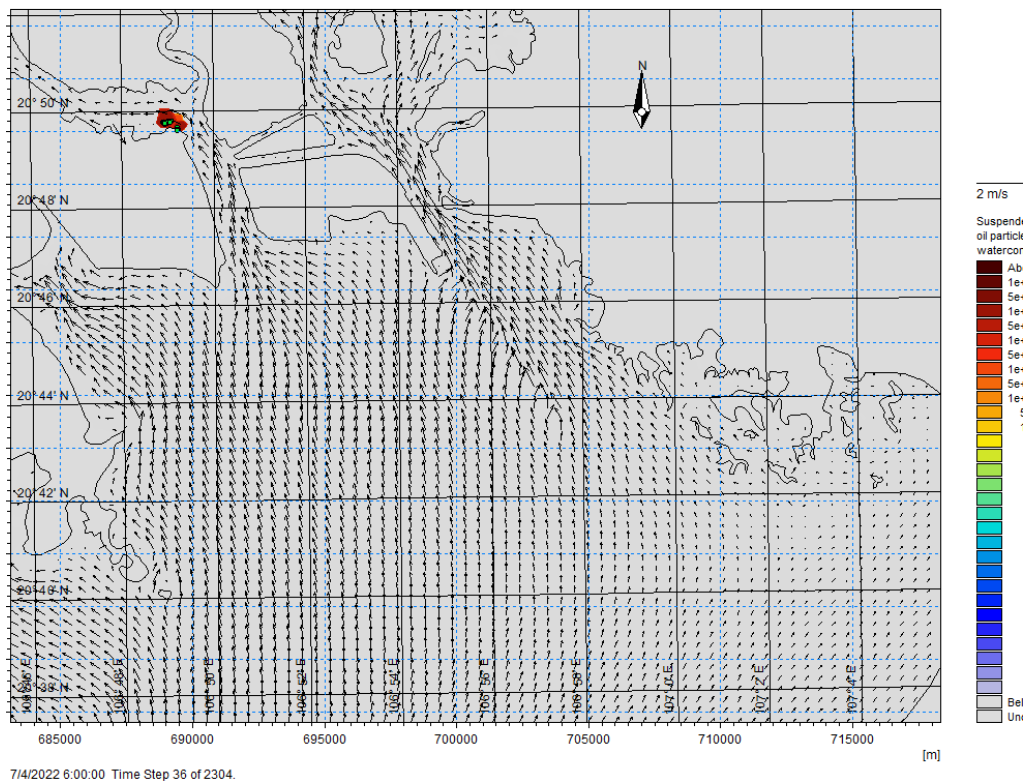


f) Lúc 07 giờ ngày 11/07/2022 (sau 7 ngày)

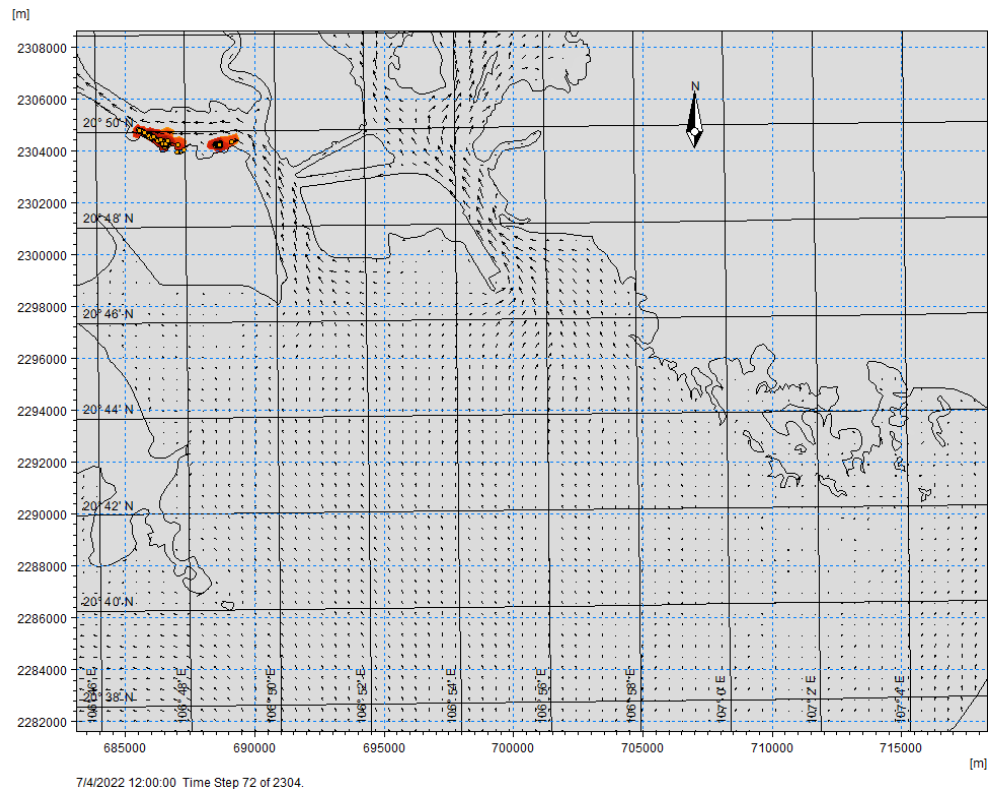
5.2 Tại cảng Đình Vũ, cửa Bạch Đằng:



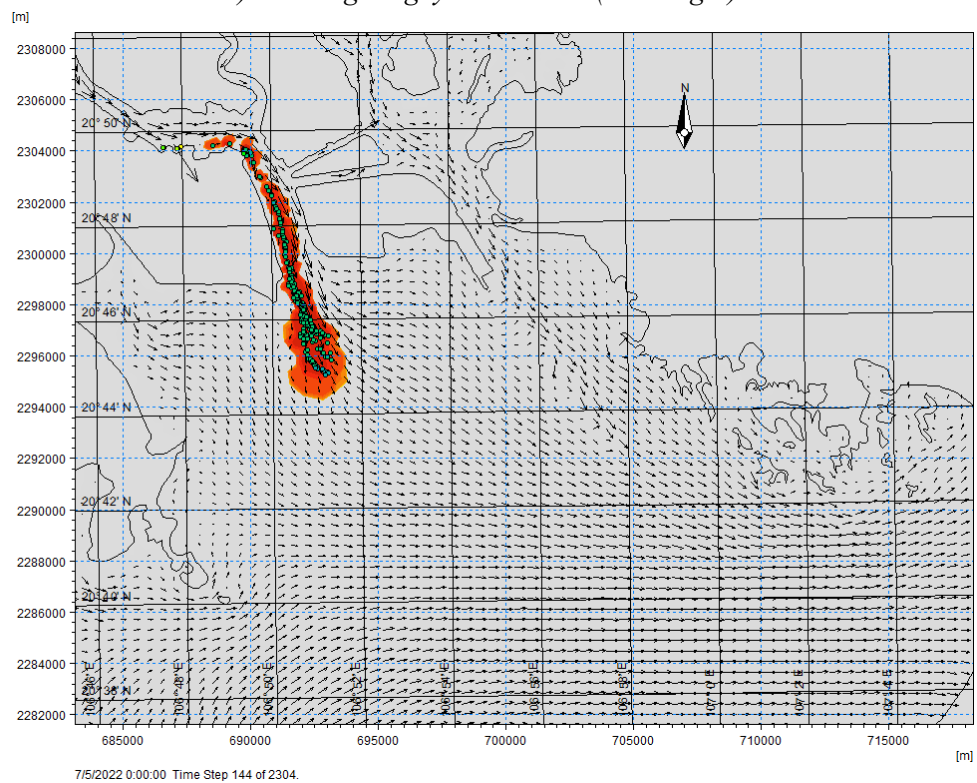
a) Lúc 08 giờ ngày 04/07/2022 (sau 1 giờ)



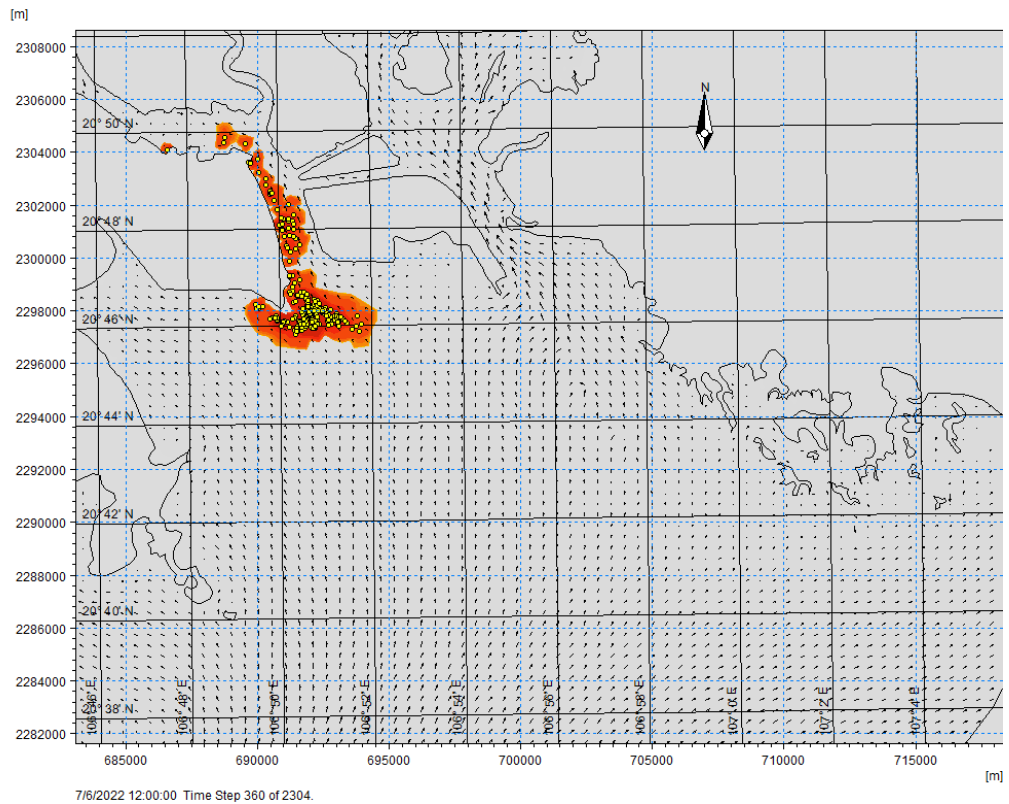
b) Lúc 13 giờ ngày 04/07/2022 (sau 6 giờ)



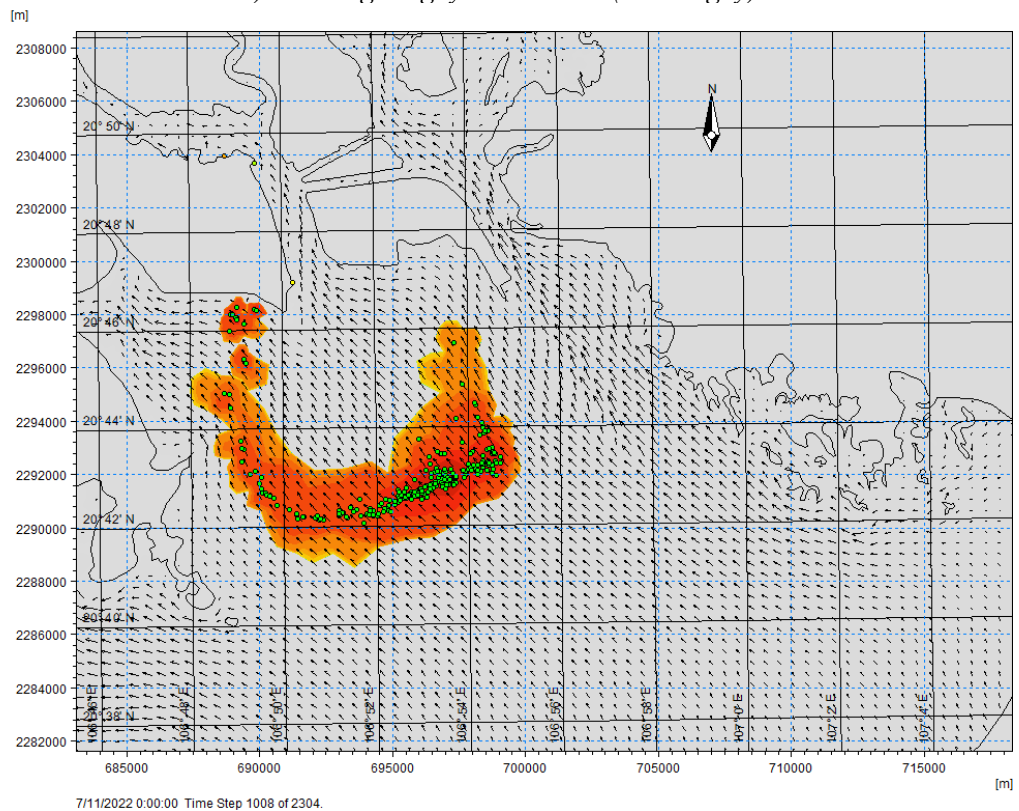
c) Lúc 19 giờ ngày 04/07/2022 (sau 12 giờ)



d) Lúc 07 giờ ngày 05/07/2022 (sau 1 ngày)



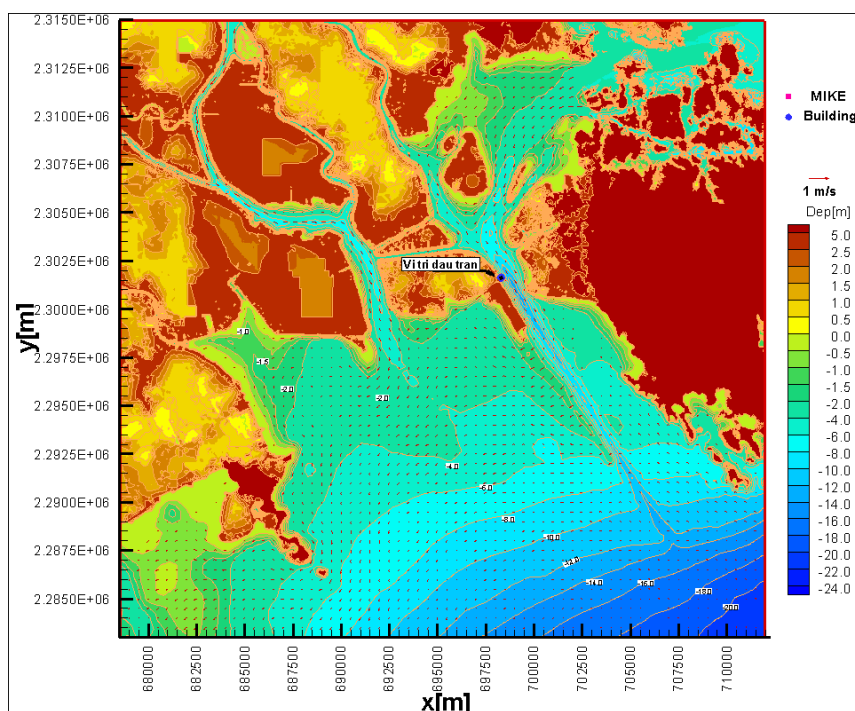
e) Lúc 07 giờ ngày 06/07/2022 (sau 2 ngày)



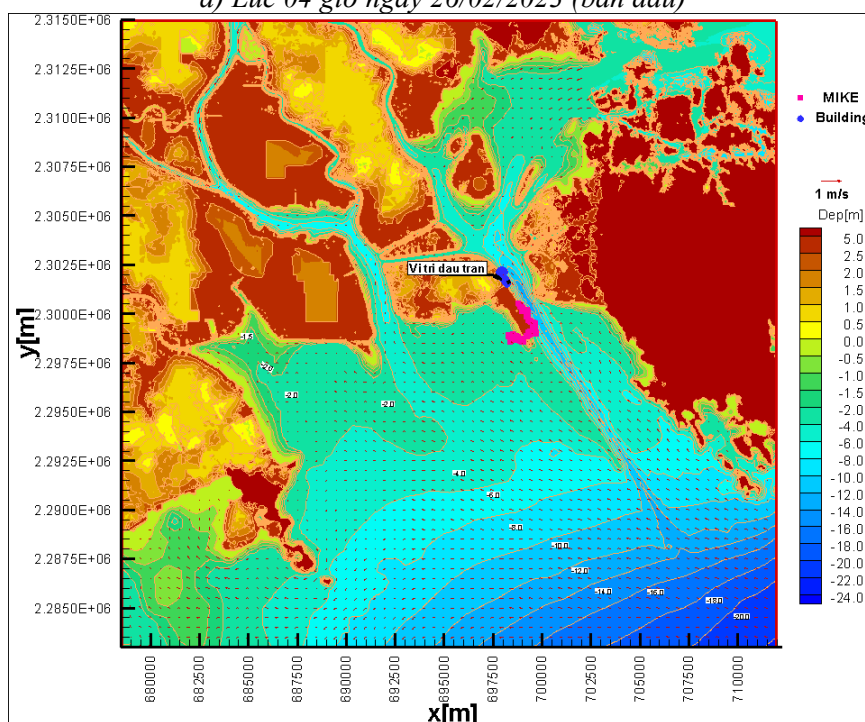
f) Lúc 07 giờ ngày 11/07/2022 (sau 7 ngày)

III. Kết quả mô phỏng tràn dầu bằng phần mềm tự xây dựng (Chương 4)

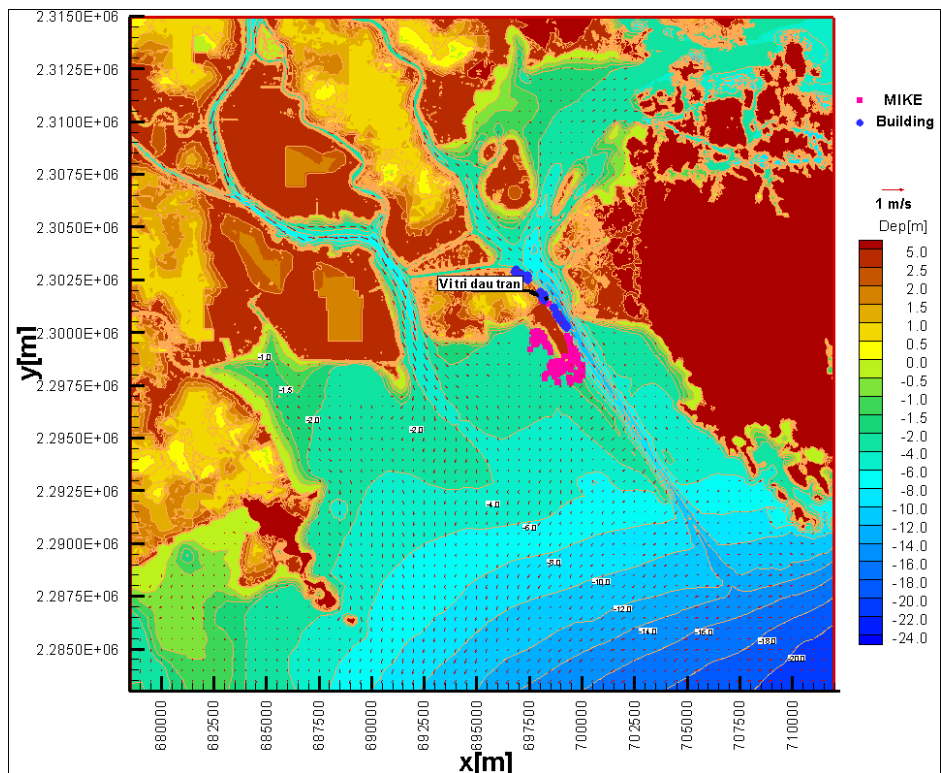
1. Trường hợp tràn dầu thực tế (tháng 02/2023)



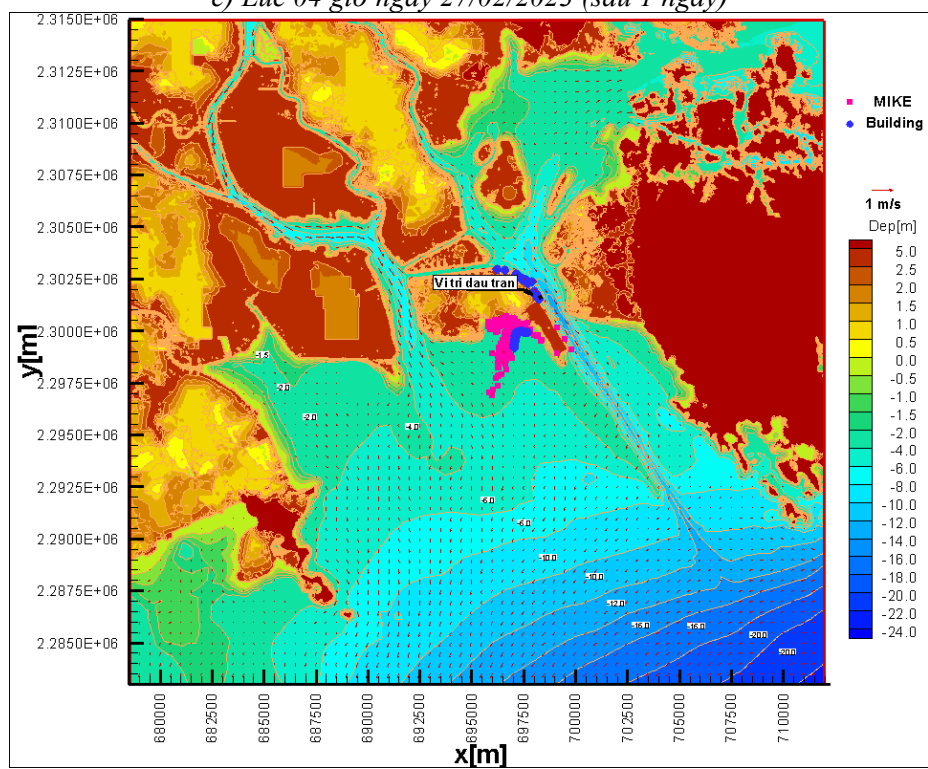
a) Lúc 04 giờ ngày 26/02/2023 (ban đầu)



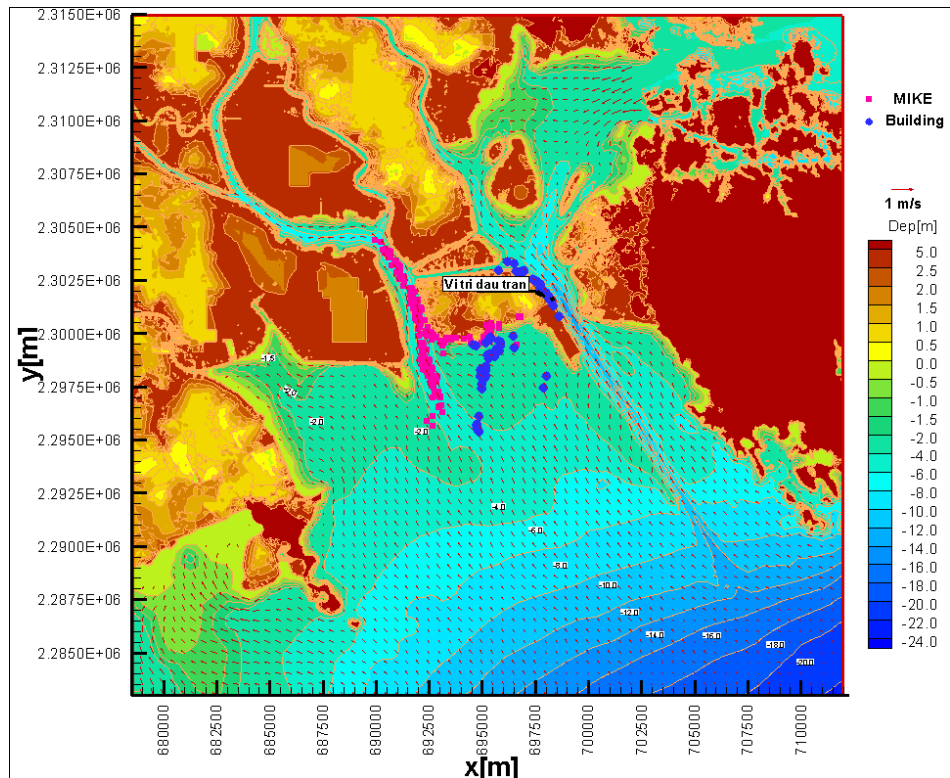
b) Lúc 16 giờ ngày 26/02/2023 (sau 12 giờ)



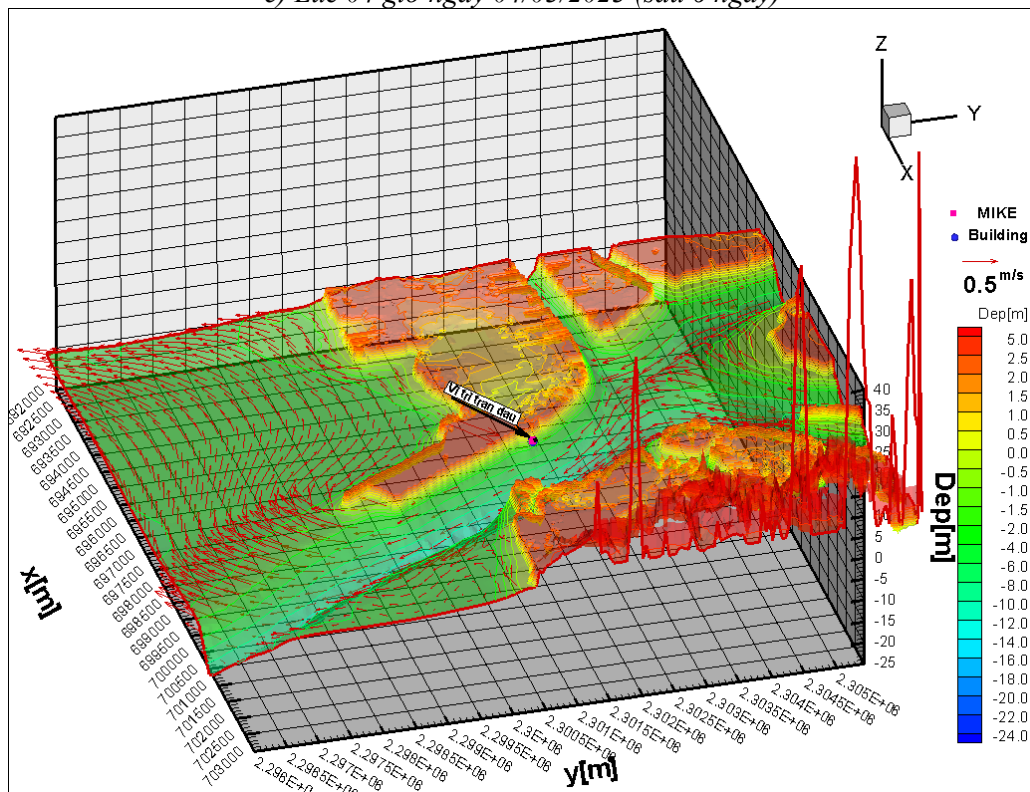
c) Lúc 04 giờ ngày 27/02/2023 (sau 1 ngày)



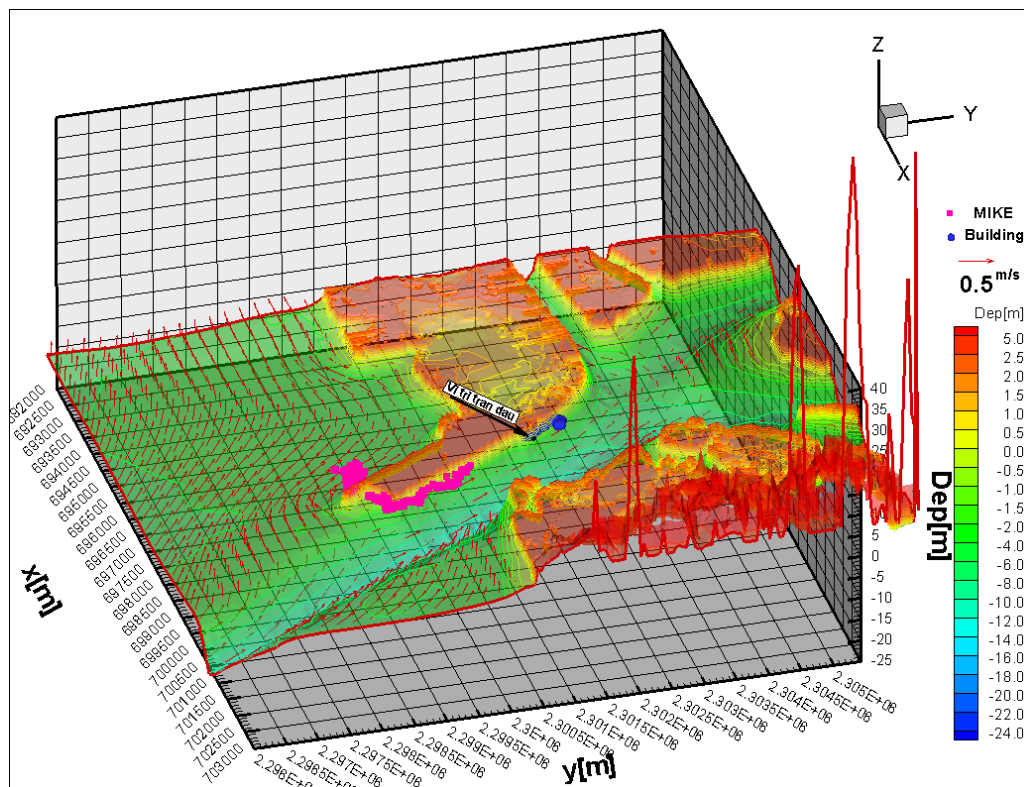
d) Lúc 04 giờ ngày 28/02/2023 (sau 2 ngày)



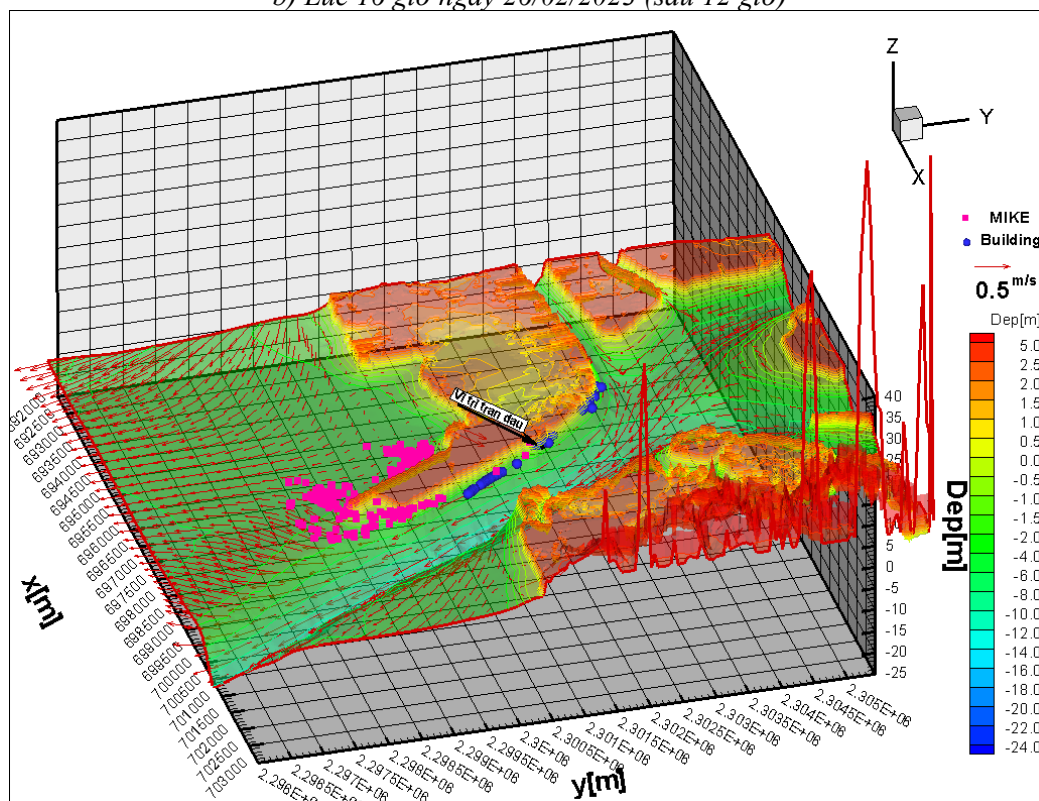
e) Lúc 04 giờ ngày 04/03/2023 (sau 6 ngày)



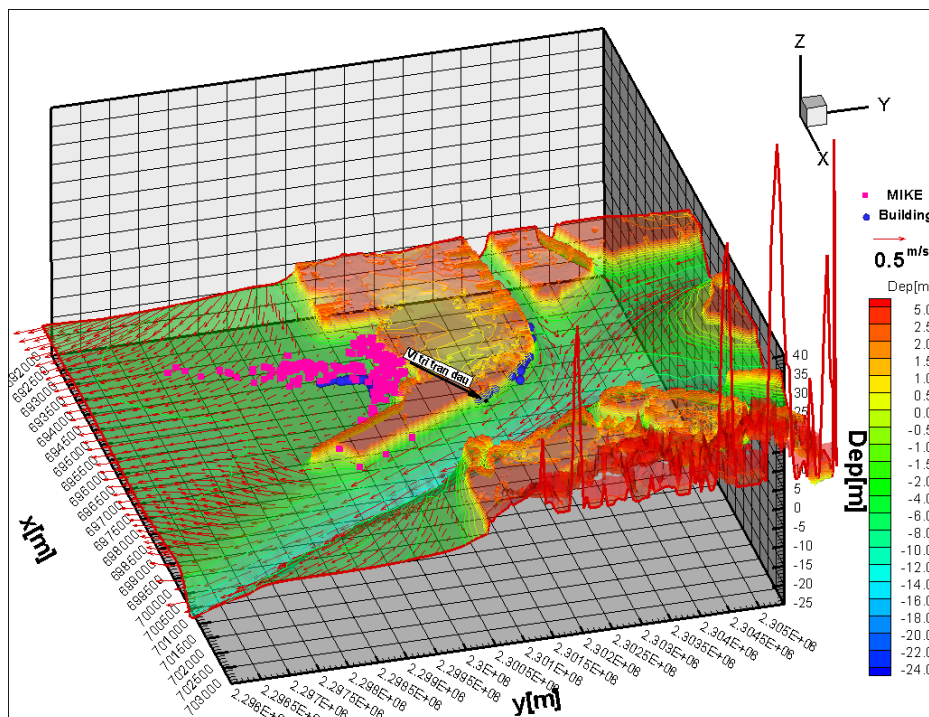
a) Lúc 04 giờ ngày 26/02/2023 (ban đầu)



b) Lúc 16 giờ ngày 26/02/2023 (sau 12 giờ)



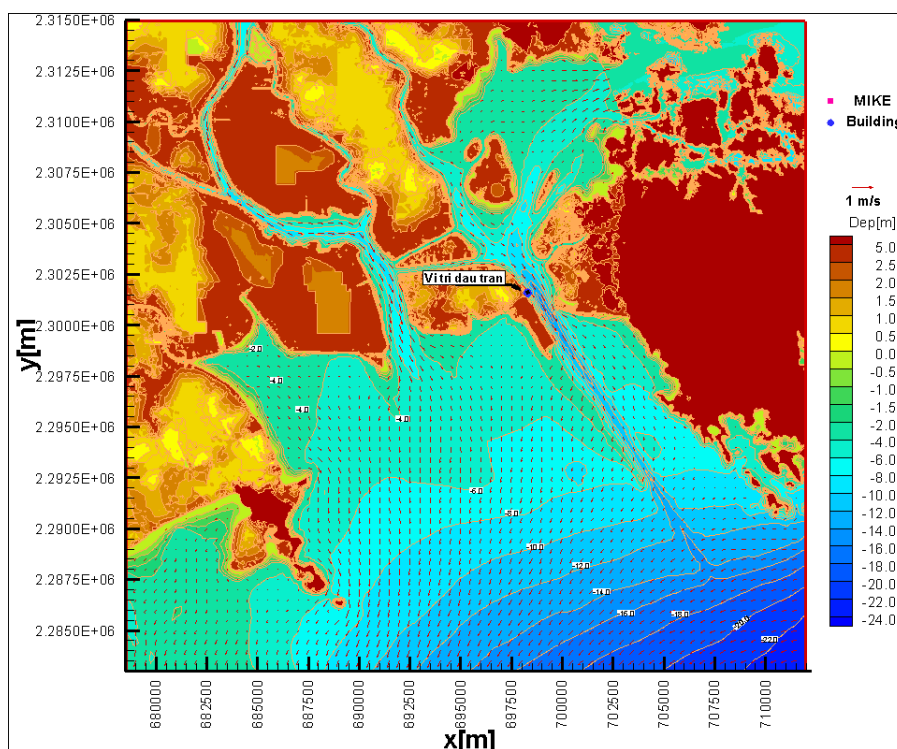
c) Lúc 04 giờ ngày 27/02/2023 (sau 1 ngày)



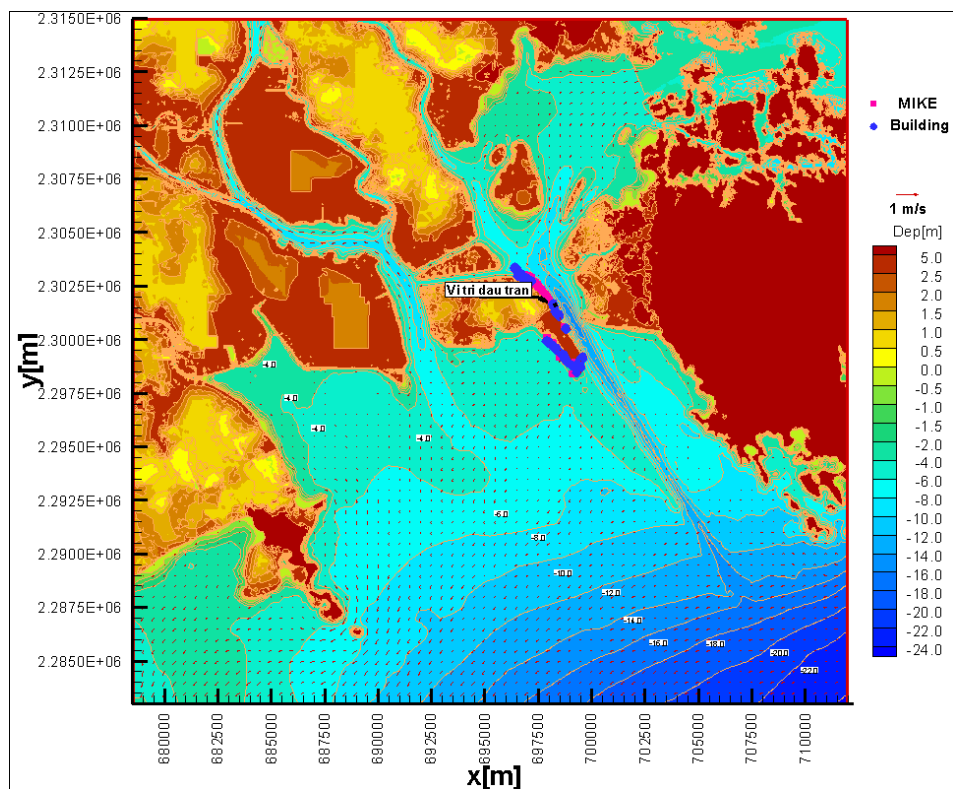
d) Lúc 04 giờ ngày 28/02/2023 (sau 2 ngày)

2. Trường hợp mô phỏng tràn dầu thời kỳ gió mùa Đông Bắc

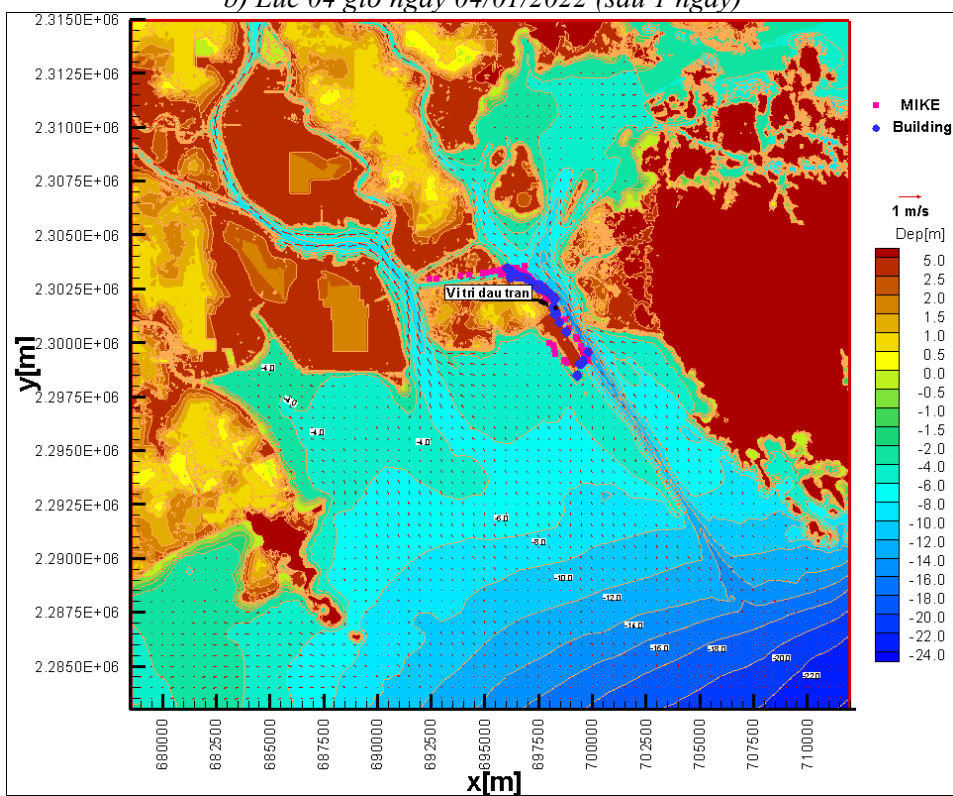
2.1. Tại bến Gót, Lạch Huyện



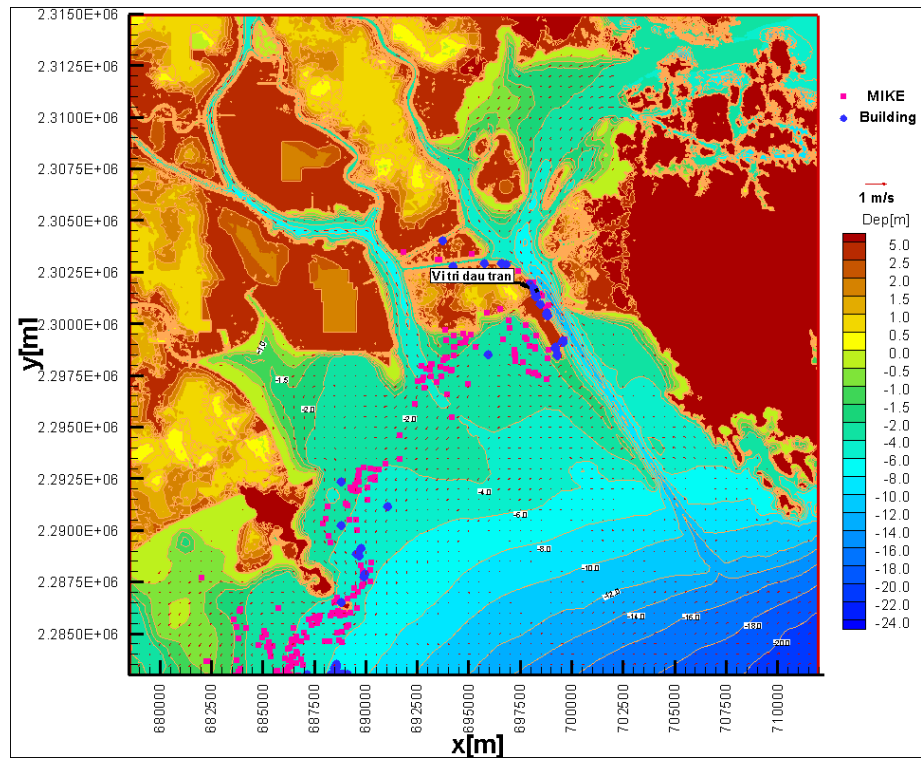
a) Lúc 07 giờ ngày 03/01/2022 (ban đầu)



b) Lúc 04 giờ ngày 04/01/2022 (sau 1 ngày)

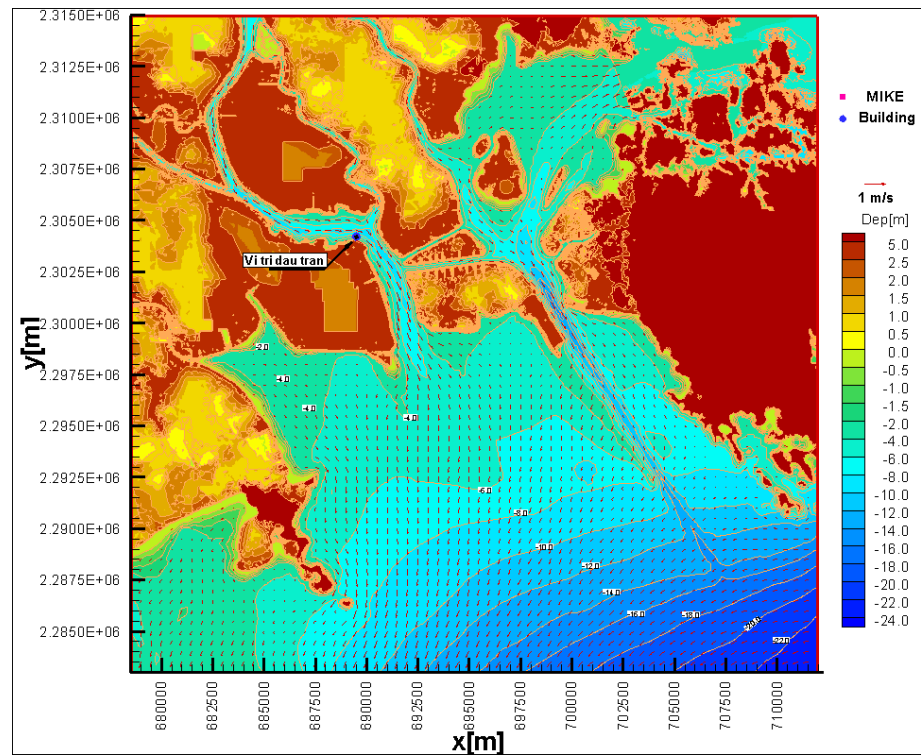


c) Lúc 04 giờ ngày 05/01/2022 (sau 2 ngày)

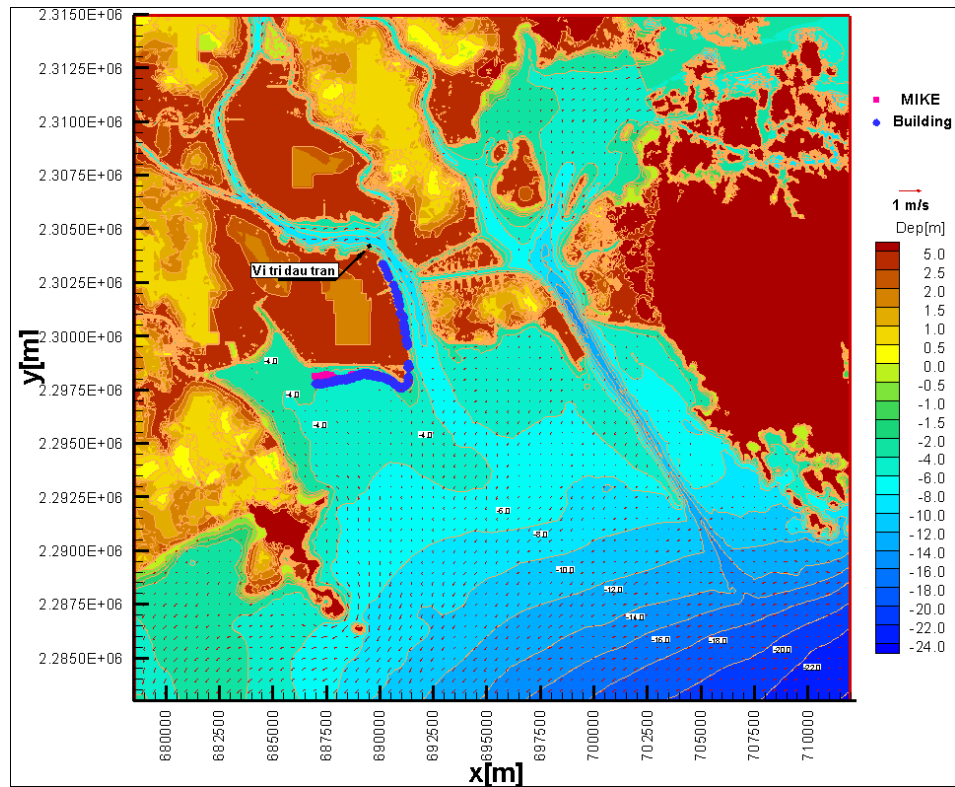


d) Lúc 04 giờ ngày 11/01/2022 (sau 7 ngày)

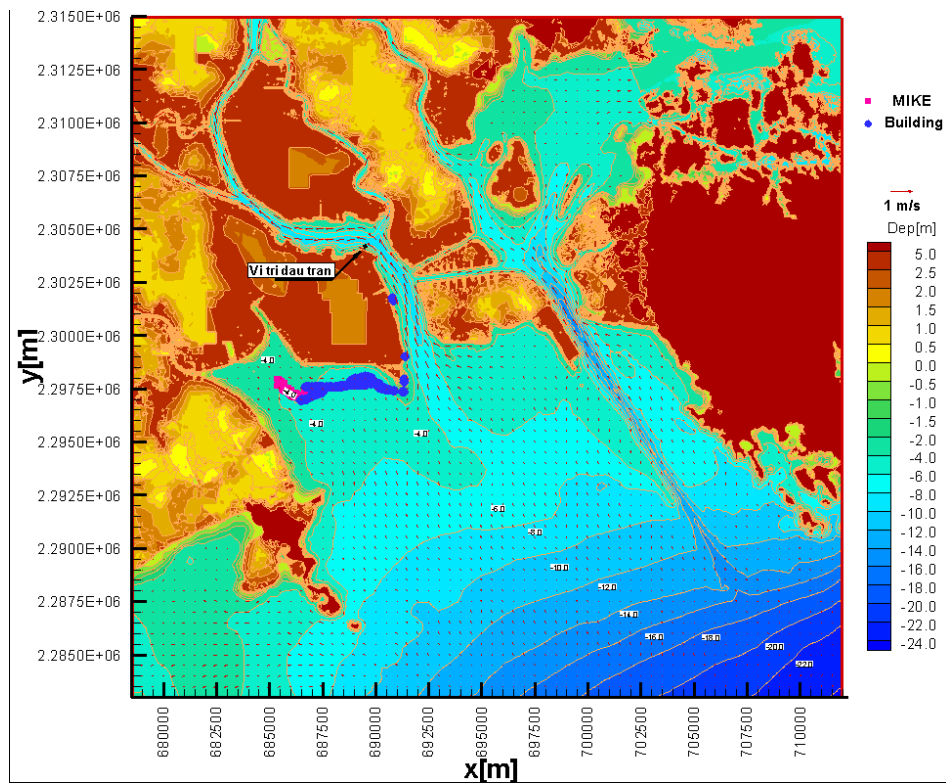
2.2. Tại cảng Đình Vũ, cửa Bạch Đằng



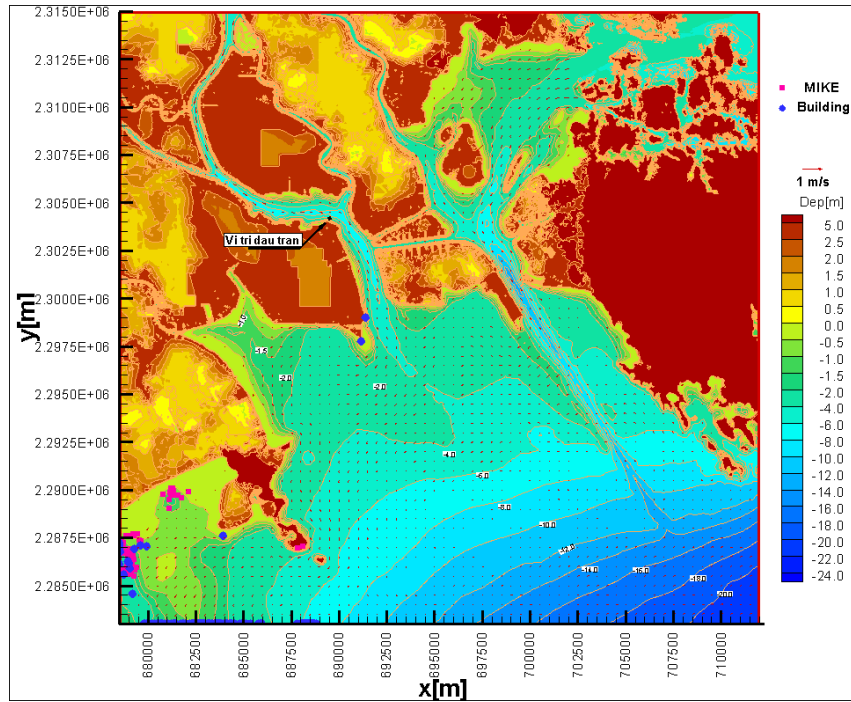
a) Lúc 07 giờ ngày 03/01/2022 (ban đầu)



b) Lúc 07 giờ ngày 04/01/2022 (sau 1 ngày)



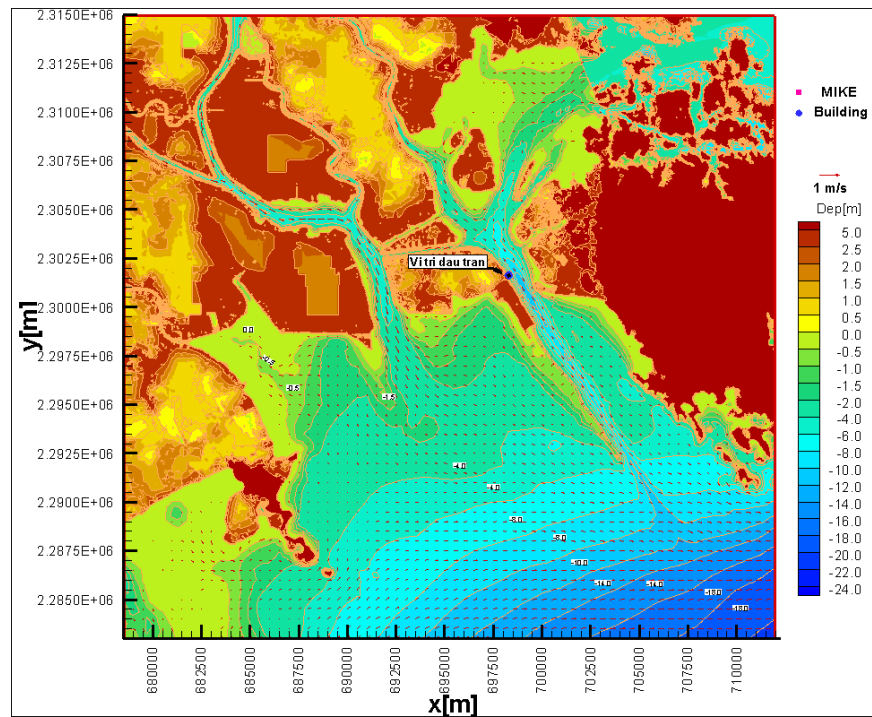
c) Lúc 07 giờ ngày 05/01/2022 (sau 2 ngày)



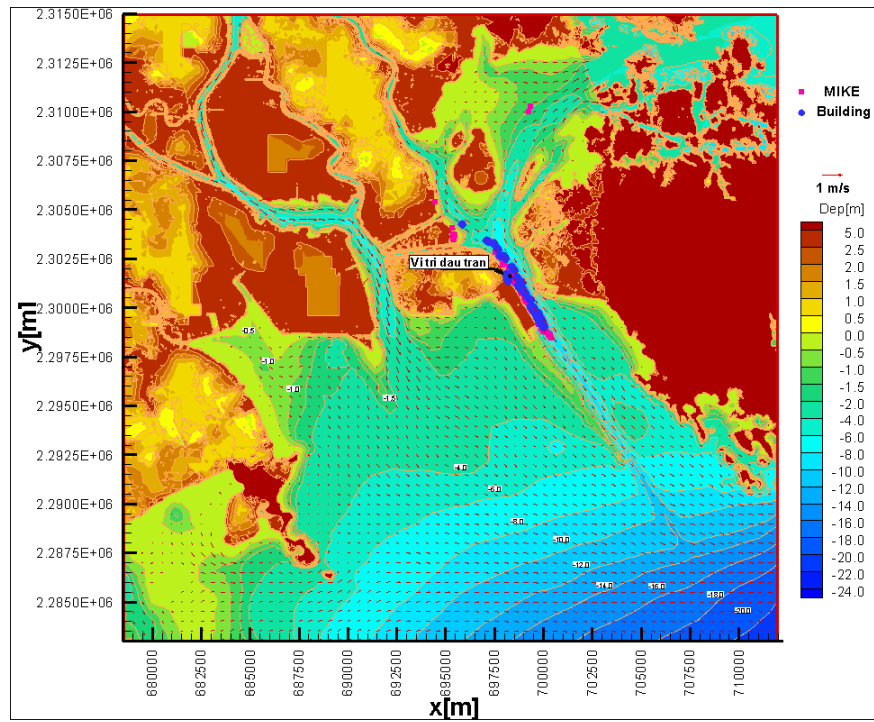
d) Lúc 04 giờ ngày 11/01/2022 (sau 7 ngày)

3. Trường hợp mô phỏng tràn dầu thời kỳ gió mùa Tây Nam

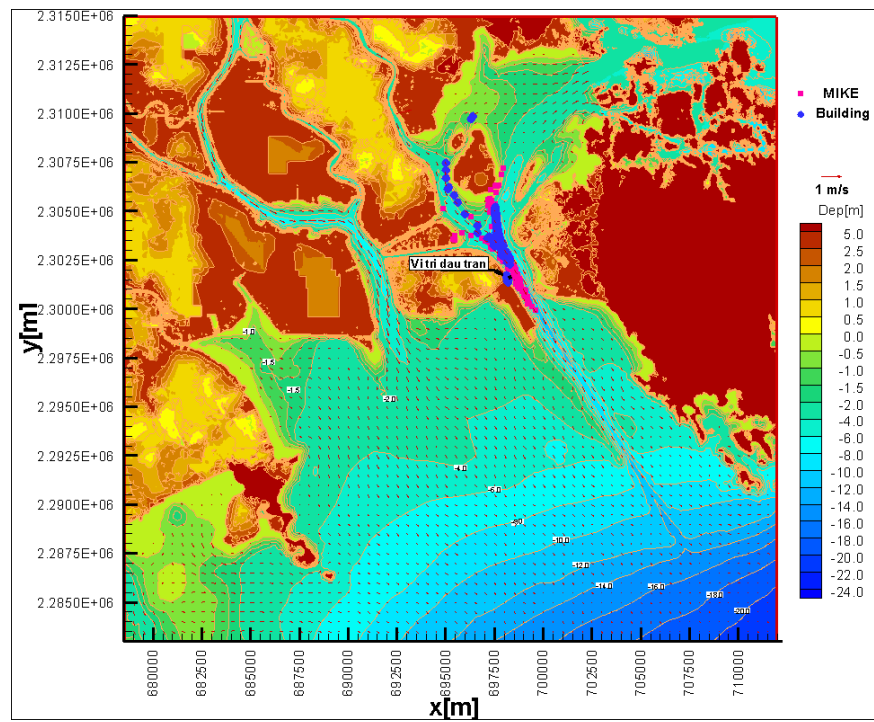
3.1. Tại bến Gót, Lạch Huyện:



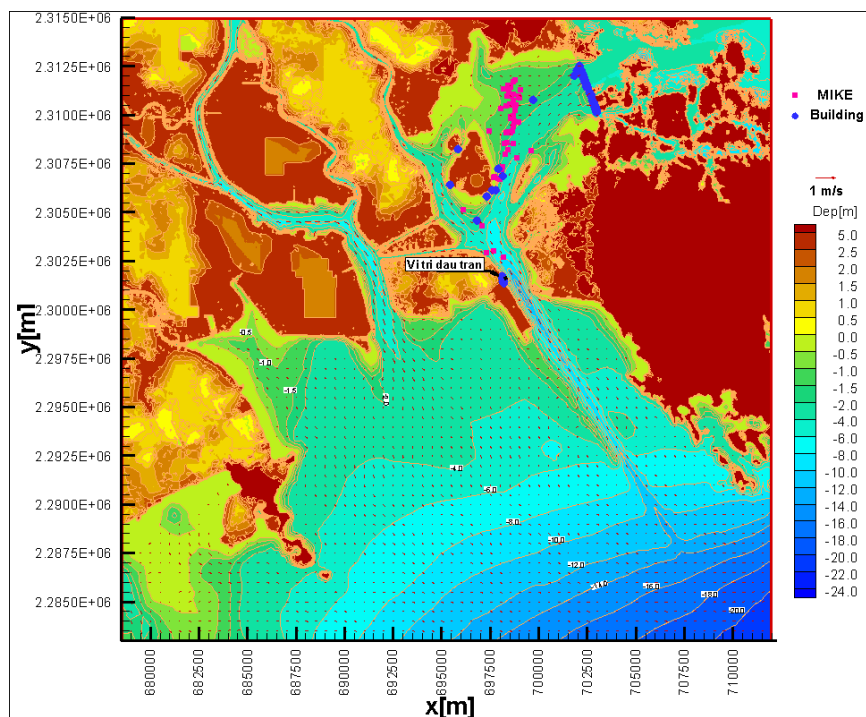
a) Lúc 07 giờ ngày 04/07/2022 (ban đầu)



b) Lúc 7 giờ ngày 05/07/2022 (sau 1 ngày)

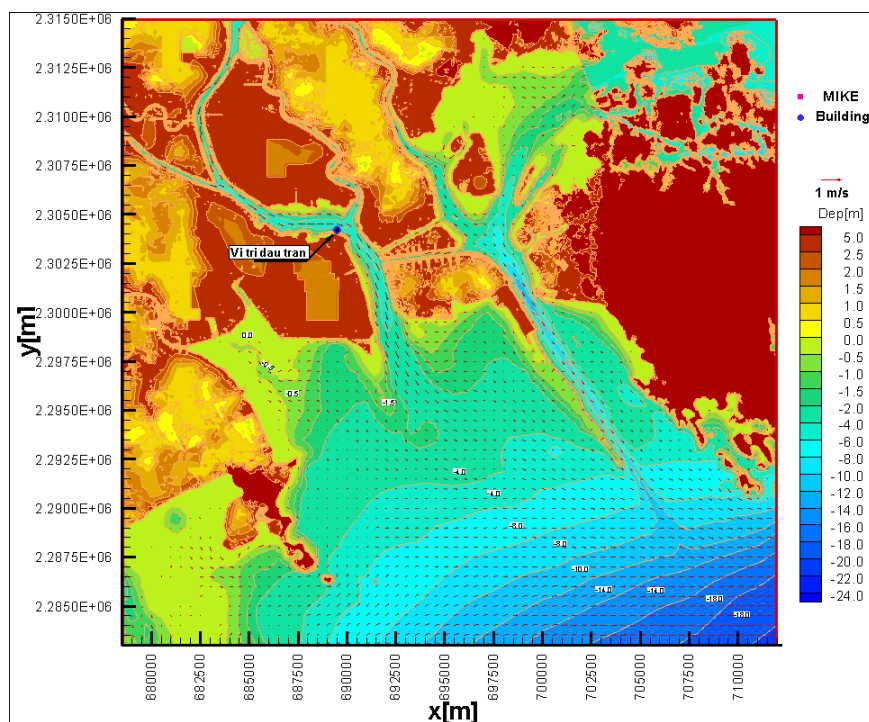


c) Lúc 7 giờ ngày 06/07/2022 (sau 2 ngày)

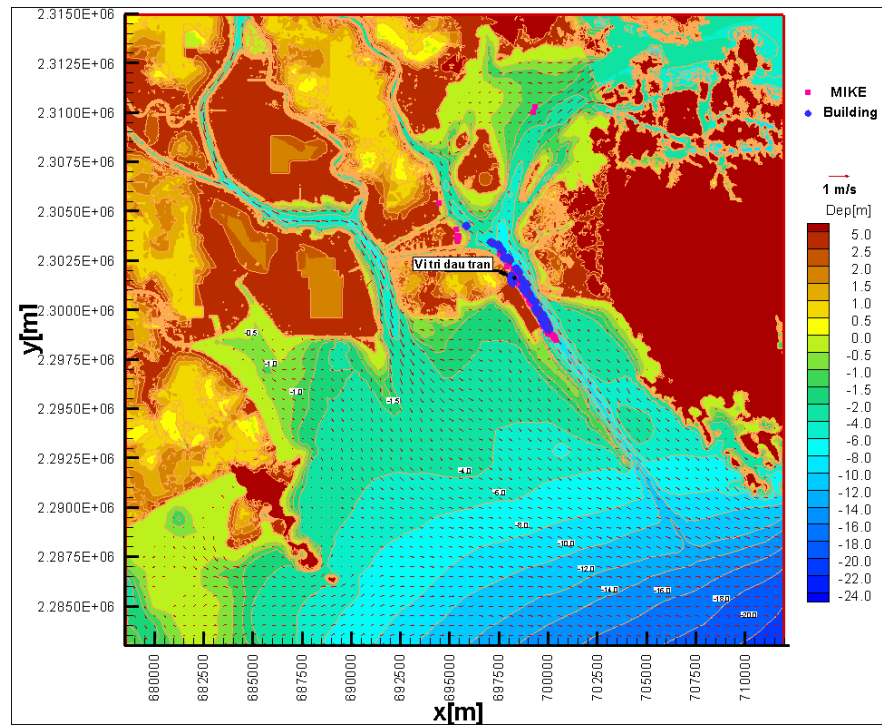


d) Lúc 07 giờ ngày 11/07/2022 (sau 7 ngày)

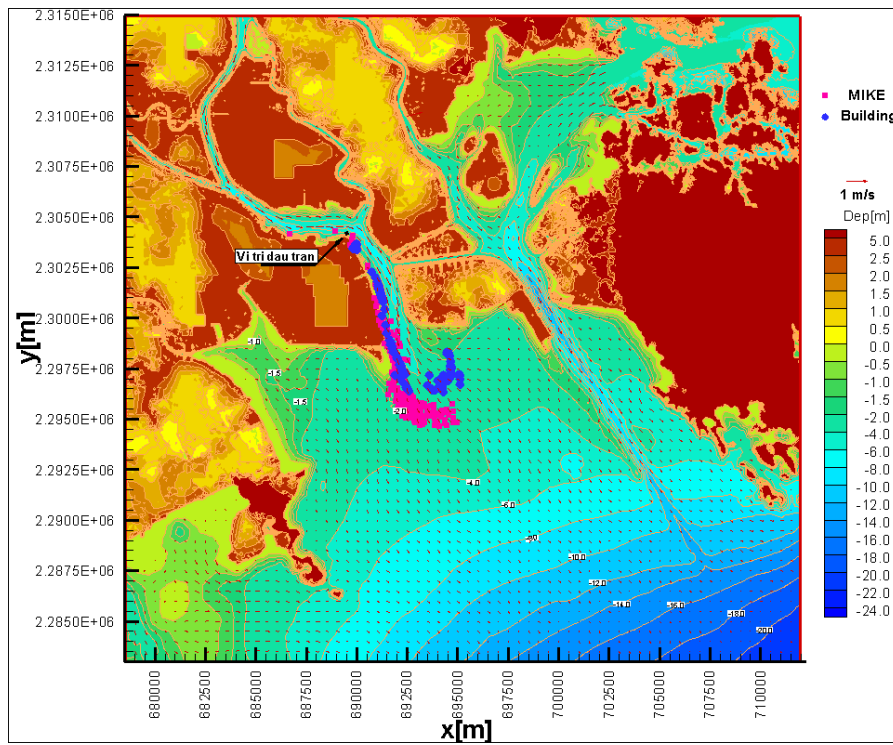
3.2. Tại cảng Đình Vũ, cửa Bạch Đằng:



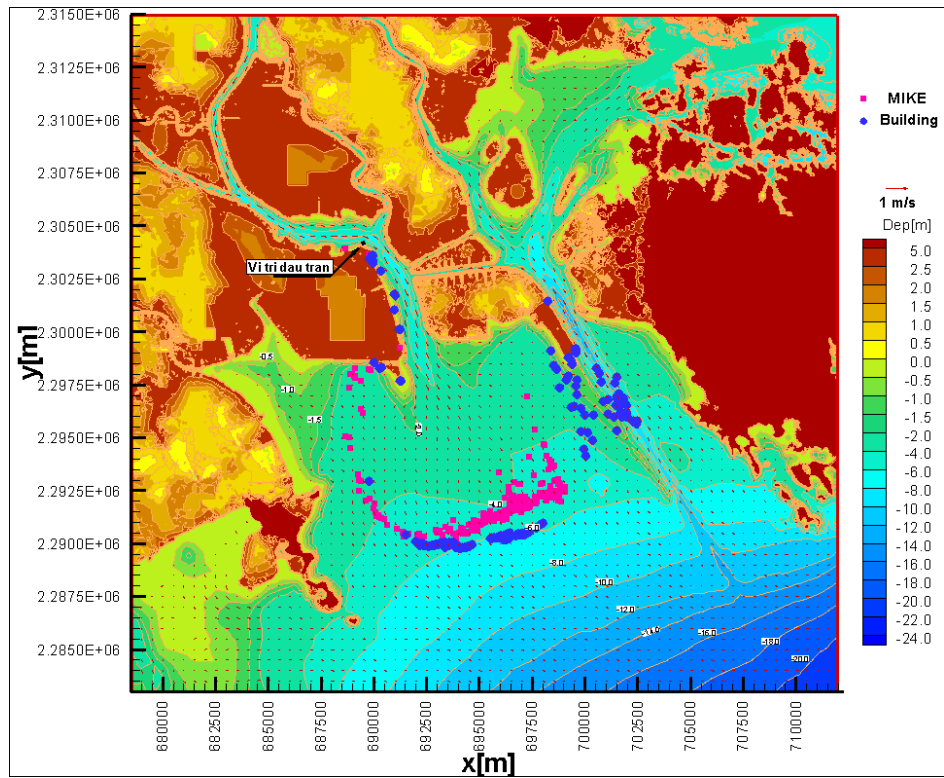
a) Lúc 07 giờ ngày 04/07/2022 (ban đầu)



b) Lúc 07 giờ ngày 05/07/2022 (sau 1 ngày)

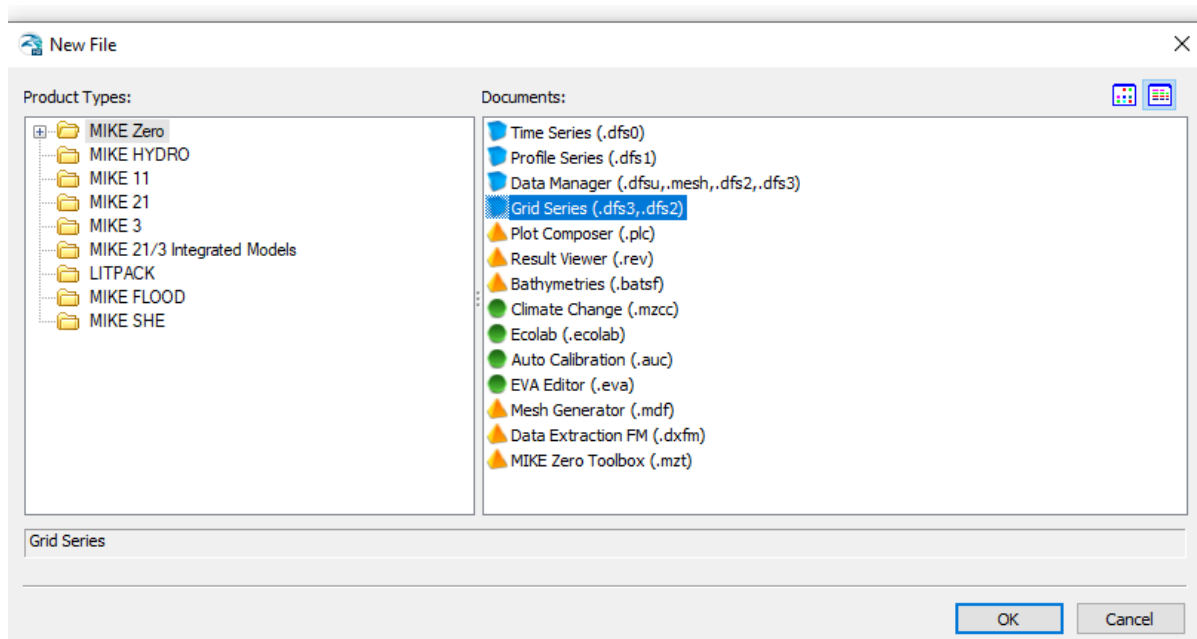


c) Lúc 07 giờ ngày 06/07/2022 (sau 2 ngày)

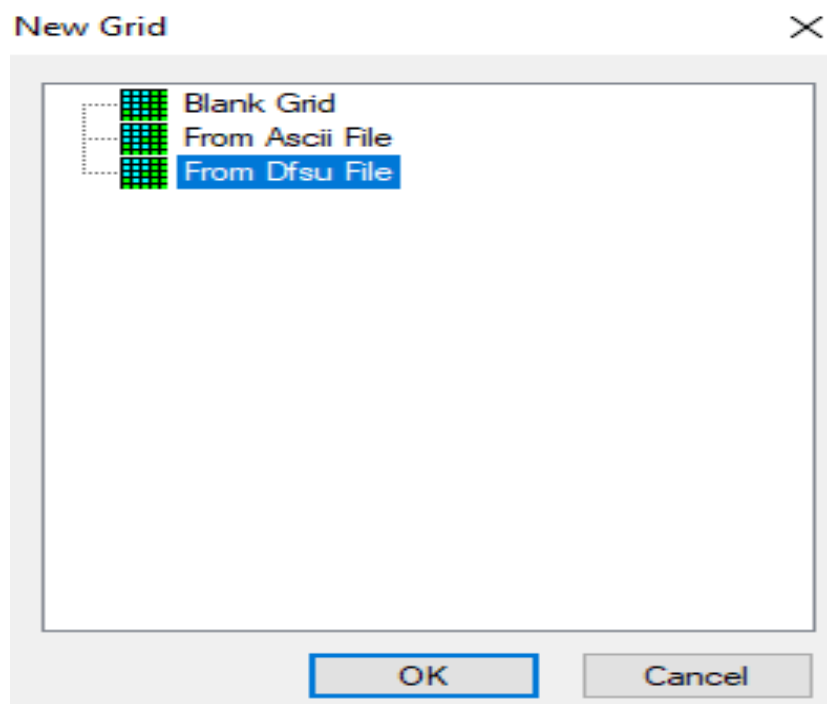


d) Lúc 07 giờ ngày 11/07/2022 (sau 7 ngày)

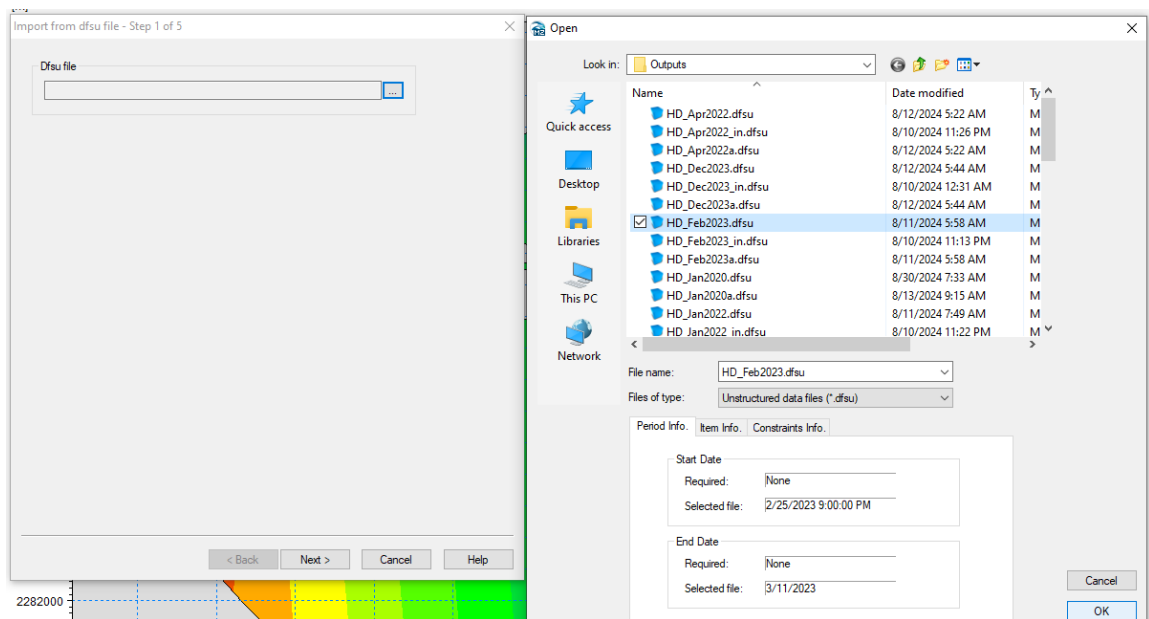
IV. Chuyển đổi miền tính và lưới tính từ mô hình MIKE



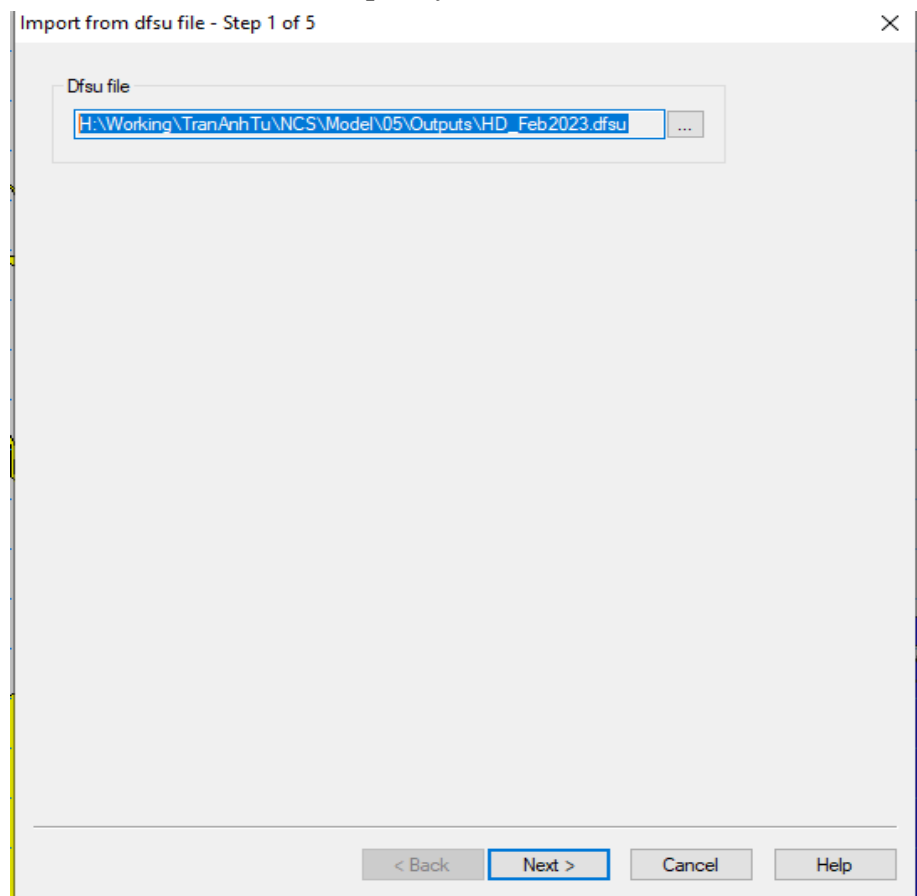
Bước 1: Mở mô-đun MIKE Zero chọn Grid Serries (.dfs2)



Bước 2: Chọn mục tạo tệp từ định dạng “.dfsu”



Bước 3: Chọn tệp “.dfsu” từ kho dữ liệu MIKE



Bước 4: Lựa chọn tên tệp HD_Feb2023.dfsu

Import from dfsu file - Step 2 of 5

Map Projection

Type: UTM-48

Origin and Orientation

Geographical Coordinates

Type of input: Decimal degrees

Longitude: 106.6161134908791 [deg]

Latitude: 20.57018179907016 [deg]

North to Y orientation: 0.567963050743921 [deg]

Map Projection Coordinates

Easting: 668453.823407864 [m]

Northing: 2275414.55679504 [m]

Grid rotation: 0 [deg]

Validation Status

OK!

Import from dfs-file...

< Back Next > Cancel Help

Bước 5: Chương trình đọc sẽ hiển thị các thông số của tệp “.dfs1”

Import from dfsu file - Step 3 of 5

Time Axis Properties

Axis Type: Equidistant Time Axis

Start Time: 2/25/2023 9:00:00 PM

Time Step: 2056960 [s]

No. of Timesteps: 1891

Geometry Properties

J-direction: K-direction: L-direction:

Number of grid points: 20 x 20 x 20

Spacing [m,m,m]: 2707.2 . 2168.79 . 7.195

< Back Next > Cancel Help

Bước 6: Lựa chọn các thông số thời gian và kích thước lưới cho tệp “.dfs2”

Import from dfsu file - Step 4 of 5

Item Information

	Name	Type	Unit
1	Surface elev	Surface Elevation	meter
2	Total water d	Water Depth	meter
3	U velocity	u-velocity component	m/s
4	V velocity	v-velocity component	m/s
5	Wind U veloc	Wind Velocity	m/s
6	Wind V veloc	Wind Velocity	m/s

Insert Append Delete Item Filtering...

Delete value: Land value:

< Back Next > Cancel Help

Bước 7: Các trường giá trị sẽ xuất khi chuyển sang tệp “.dfs2”

Overview

Position of origin of grid
 Map projection = UTM-48
 Longitude = 106.62
 Latitude = 20.57
 North to Y orientation = 0.57

Grid dimension
 Dim = 2
 Grid extent = 20 x 20
 Grid spacing = 2707.20 x 2168.79

Time description
 Start time = 2023-02-25 21:00:00
 Number of time steps = 1891
 Time step = 2056960.00

Item description
 Number of items = 6
 item 1 = Surface elevation

< Back Finish Cancel Help

Bước 8: Các thông số của tệp “.dfs2” sau khi xuất

V. Chương trình mô phỏng tràn dầu

```

Oil_Lagrange_method.f  X
1  Program Oil_Lagrange_Method
2  Implicit none
3  Include 'Oil_Lagrange.h'
4
5  ! =====
6  dem = 0
7  ttime = 0.
8
9  1000  write(*,*) 'Oil Spill Running .....'
10
11  !..... Initialise:
12  1001  Call Initialise
13  print*, '.... Initialise'
14
15  C-----
16  !.....Input Information Reading:
17  1002  Call Input_Read
18  print*, '.... Input Information Reading'
19
20  C-----
21  !..... Input of constants:
22  1003  Call Constants_Input
23  print*, '.... Input of constants'
24
25  C-----
26  1004  Write(*,*)'!...setup oil.....'
27  if (Idoil .eq. 1) then
28  Call setup_oil_F0(Oil_fn,np_oil0,x0,y0,id_oil0,u00,v00
29  &                ,V_Mass0,H_Mass0,W_Mass0,A_Mass0,T_mass0 )
30  else
31  stop
32  endif
33
34  C-----
35  1005  Write(*,*)'!...setup dynamic .....'
36  If (Iddynamic .eq. 1) then
37  Call setup_dynamics_F0(0,Dynamic_fn,n,m,dep
38  &                      ,zeta1,T_dep1,U_cur1,V_cur1,U_win1,V_win1
39  &                      ,zeta2,T_dep2,U_cur2,V_cur2,U_win2,V_win2 )
40  Else
41  stop
42  Endif
43
44  C-----
45  1006  write(*,*) 'Oil_Spill_Compute'
46  Call Oil_Compute
47
48  ! =====
49  STOP
50  END
51
52  !*****

```

```

! *****
Subroutine Oil_Compute
Implicit none
Include 'Oil_Lagrange.h'

Integer dem1, nleng, nlap, ik, jk
Real phi, Uwa, Vwa, Uwa1, Vwa1, UVwa1, Dirwa1, hsc, hsw, heso
& , Uc, Vc, Uvc, Dric, Uw, Vw, UVw, Dirw, xc, yc, cor, hs1, hs2, locx, locy
Real, Dimension(1000,1000) :: D,D1,Uc1,Vc1,Uw1,Vw1
& ,D2,Uc2,Vc2,Uw2,Vw2

! =====
dem1 = 0
nlap = 20
dt = dt0/float(nlap)
np_oil = np_oil0
heso = 1.
hsc = 1.
hsw = 0.0265
Do k = 1, np_oil
    ix(k) = x0(k) ;    iy(k) = y0(k) ;    iid_oil(k) = id_oil0(k)
    iuo(k) = uo0(k) ;    ivo(k) = vo0(k) ;    iV_Mass(k) = V_Mass0(k)
    iu(k) = uo0(k) ;    iv(k) = vo0(k)
    ixa(k) = x0(k) ;    iya(k) = y0(k)
    iua(k) = 0. ;    iva(k) = 0.
    iV_Mass(k) = V_Mass0(k) ;    iH_Mass(k) = H_Mass0(k)
    iW_Mass(k) = W_Mass0(k) ;    iA_Mass(k) = A_Mass0(k)
    iT_Mass(k) = T_Mass0(k)

Enddo

Do j = 1, m
    Do i = 1, n
        U_drift(i,j) = 0. ;    Ua_drif(i,j) = 0.
        V_drift(i,j) = 0. ;    Va_drif(i,j) = 0.
    Enddo
Enddo

! -----

```

```

1000    Continue
      dem1 = 0
2000    Continue
      dem = dem + 1
      dem1 = dem1 + 1
      isecound = isecound + dt
      Call SET_TIME(isecound,iminute,ihour,iday,imonth,iyear)
      Call Julian(isecound,iminute,ihour,iday,imonth,iyear,iSTime)

      ihhour = TTime/3600.

      if (TTime .gt. 0. ) heso = 1.-0.25*EXP(-1./ihhour**0.35)
      heso = 1.

      if (TTime .lt. 30.*60.) then
        hs_diff= 1.25e-2*ihhour**0.1
      else
        hs_diff= 1.25e-2
      & *MAX(EXP(MAX(50.-ihhour,1.e-5)/50.)-1.7,1.e-7)**2.75
      endif

2100    Continue
      Uc1 = 0. ; Vc1 = 0. ; Uc2 = 0. ; Vc2 = 0. ; D1 = 0.
      Uw1 = 0. ; Vw1 = 0. ; Uw2 = 0. ; Vw2 = 0. ; D2 = 0.
      hs1 = float(dem1-1) /float(nlap)
      hs2 = (0.5+float(dem1-1))/float(nlap)

      Do j = 1, m
        Do i = 1, n

          D1(i,j) = T_dep1(i,j) + (T_dep2(i,j)-T_dep1(i,j))*hs1
          Uc1(i,j) = U_cur1(i,j) + (U_cur2(i,j)-U_cur1(i,j))*hs1
          Vc1(i,j) = V_cur1(i,j) + (V_cur2(i,j)-V_cur1(i,j))*hs1
          Uw1(i,j) = U_win1(i,j) + (U_win2(i,j)-U_win1(i,j))*hs1
          Vw1(i,j) = V_win1(i,j) + (V_win2(i,j)-V_win1(i,j))*hs1

          D2(i,j) = T_dep1(i,j) + (T_dep2(i,j)-T_dep1(i,j))*hs2
          Uc2(i,j) = U_cur1(i,j) + (U_cur2(i,j)-U_cur1(i,j))*hs2
          Vc2(i,j) = V_cur1(i,j) + (V_cur2(i,j)-V_cur1(i,j))*hs2
          Uw2(i,j) = U_win1(i,j) + (U_win2(i,j)-U_win1(i,j))*hs2
          Vw2(i,j) = V_win1(i,j) + (V_win2(i,j)-V_win1(i,j))*hs2

          D(i,j) = max (D1(i,j),D2(i,j),0.)
        If (D(i,j) .lt. 1.e-5) then
          U_drift(i,j) = 0. ; Ua_drif(i,j) = 0.
          V_drift(i,j) = 0. ; Va_drif(i,j) = 0.

```



```

Else
c   Uc = 0.5* (Uc1(i,j) + Uc2(i,j))
c   Vc = 0.5* (Vc1(i,j) + Vc2(i,j))
c   Uvc = sqrt(Uc**2. + Vc**2.)
c   Call Angle(Vc,Uc,Diric)
c   Uvc = sqrt(Uc2(i,j)**2. + Vc2(i,j)**2.)
c   Call Angle(Vc2(i,j),Uc2(i,j),Diric)
c   hsc = 1.- 0.125*sqrt(1.-exp(-Uvc/grav))
c   hsc = 1.

c   Uwa = 0.5* (Uw1(i,j)+Uw2(i,j))
c   Vwa = 0.5* (Vw1(i,j)+Vw2(i,j))
c   UVw = sqrt(Uwa*Uwa+Vwa*Vwa)
c   Call Angle(Vwa,Uwa,Dirw)
c   UVw = sqrt(Uw2(i,j)**2.+Vw2(i,j)**2)
c   Call Angle(Vw2(i,j),Uw2(i,j),Dirw)
c   phi = 28.35*exp(-UVw/12.5)
c   phi = 40.*exp(-UVw/12.5)
c   Uw = Uw2(i,j)*cos(phi) - Vw2(i,j)*sin(phi)
c   Vw = Uw2(i,j)*sin(phi) + Vw2(i,j)*cos(phi)
c   UVw = sqrt(Uw*Uw+Vw*Vw)
c   Call Angle(Vw,Uw,Dirw)
c   hsw = 0.032*(1.-exp(-UVw/17.5))
c   hsw = 0.00325*sqrt(1.-exp(-UVw/17.5))
c   hsw = 0.00265
c   hsw = 0.0

      U_drift(i,j) = hsc*Uc2(i,j) + hsw*Uw
      V_drift(i,j) = hsc*Vc2(i,j) + hsw*Vw

UVwa1 = sqrt(Uw1(i,j)**2.+Vw1(i,j)**2.)
Call Angle(Vw1(i,j),Uw1(i,j),Dirwa1)
phi = 28.35*exp(-UVwa1/12.5)
c   phi = 40.*exp(-UVwa1/12.5)
c   Uwa1 = Uw1(i,j)*cos(phi) - Vw1(i,j)*sin(phi)
c   Vwa1 = Uw1(i,j)*sin(phi) + Vw1(i,j)*cos(phi)

Ua_drif(i,j) = (hsc*Uc1(i,j) + hsw*Uwa1)/grav
Va_drif(i,j) = (hsc*Vc1(i,j) + hsw*Vwa1)/grav

if (TTime.gt.dt) then
  U_drift(i,j) = U_drift(i,j)*heso
&      + Ua_drif(i,j)
  V_drift(i,j) = V_drift(i,j)*heso
&      + Va_drif(i,j)
endif

Endif
Enddo
Enddo

```

```

2200    Continue
      Do k = 1,np_oil
        iua(k) = 0.      ; iva(k) = 0.
        iu(k) = 0.      ; iv(k) = 0.
        Call GRID_Interpolates(D,n,m,-9999.
&                                ,EAST_Es,EAST_Ee,NORTH_Es,NORTH_Ee
&                                ,ix(k),iy(k),ioTdep(k)          )

        if (ioTdep(k) .gt. 1.0e-5) then
          Call GRID_Interpolates(U_drift,n,m,-9999.
&                                ,EAST_Es,EAST_Ee,NORTH_Es,NORTH_Ee
&                                ,ix(k),iy(k),iu(k)              )

          Call GRID_Interpolates(V_drift,n,m,-9999.
&                                ,EAST_Es,EAST_Ee,NORTH_Es,NORTH_Ee
&                                ,ix(k),iy(k),iv(k)              )

          locx = 1.+ (ix(k)-EAST_Es)/dx      ; ik = int(locx)
          locy = 1.+ (iy(k)-NORTH_Es)/dy    ; jk = int(locy)
          hs1 = U_drift(ik,jk)
&          + (U_drift(ik+1,jk)-U_drift(ik,jk))*(locx-ik)
          hs2 = U_drift(ik,jk+1)
&          + (U_drift(ik+1,jk+1)-U_drift(ik,jk+1))*(locx-ik)
          iu(k) = hs1 + (hs2-hs1)*(locy-jk)

          hs1 = V_drift(ik,jk)
&          + (V_drift(ik+1,jk)-V_drift(ik,jk))*(locx-ik)
          hs2 = V_drift(ik,jk+1)
&          + (V_drift(ik+1,jk+1)-V_drift(ik,jk+1))*(locx-ik)
          iv(k) = hs1 + (hs2-hs1)*(locy-jk)

```

```

220      if (k.eq.1) then
221          iua(k) = 0.      ; iva(k) = 0.
222          else if (k.gt.1 .and. k.lt.10 ) then
223              iua(k) = hs_diff* cosd(float(k-1)*360./8.)*0.01
224              iva(k) = hs_diff* sind(float(k-1)*360./8.)*0.01
225          else if (k.ge.10 .and. k.lt.27 ) then
226              iua(k) = hs_diff* cosd(float(k-9)*360./16.)*0.05
227              iva(k) = hs_diff* sind(float(k-9)*360./16.)*0.05
228          else if (k.ge.27 .and. k.le.51 ) then
229              iua(k) = hs_diff* cosd(float(k-26)*360./24.)*0.10
230              iva(k) = hs_diff* sind(float(k-26)*360./24.)*0.10
231          else if (k.ge.51 .and. k.le.87 ) then
232              iua(k) = hs_diff* cosd(float(k-50)*360./36.)*0.20
233              iva(k) = hs_diff* sind(float(k-50)*360./36.)*0.20
234          else if (k.ge.87 .and. k.le.123 ) then
235              iua(k) = hs_diff* cosd(float(k-86)*360./36.)*0.35
236              iva(k) = hs_diff* sind(float(k-86)*360./36.)*0.35
237          else if (k.ge.123 .and. k.le.159 ) then
238              iua(k) = hs_diff* cosd(float(k-122)*360./36.)*0.50
239              iva(k) = hs_diff* sind(float(k-122)*360./36.)*0.50
240          else if (k.ge.159 .and. k.le.207 ) then
241              iua(k) = hs_diff* cosd(float(k-158)*360./48.)*0.75
242              iva(k) = hs_diff* sind(float(k-158)*360./48.)*0.75
243          else
244              iua(k) = hs_diff* cosd(float(k-206)*360./(np_oil-206.))
245              iva(k) = hs_diff* sind(float(k-206)*360./(np_oil-206.))
246          endif
247
248      if ( (ix(k) .ge. EAST_Es ) .and. (ix(k) .le. EAST_Ee )) then
249          if ((iy(k) .ge. NORTH_Es ) .and. (iy(k) .le. NORTH_Ee)) then
250
251              Call Coriolis(cor,iya(k)/111000.)
252
253              ix(k) = ixa(k) + (iu(k) + iua(k) + cor*iv(k) )*dt
254              iy(k) = iya(k) + (iv(k) + iva(k) - cor*iu(k) )*dt
255          endif
256      endif
257
258      Endif
259      Enddo
260
261      ! -----

```

```

262 3000 Continue
263 If( mod(TTime+dt, float(Pr_time)/6.) .eq.0. ) then
264   nleng = len(trim(Oil_fn))
265   nlinks = Oil_fn(1:nleng-20)
266   style = '.txt'
267   write(nfile1,'(i4.4,4(a,i2.2))')
268   &      iyear,'-',imonth,'-',iday,'_',ihour,'-',iminute
269   Fname = trim(nlinks)//trim(nfile1)//trim(style)
270
271 Call setup_oil_F0(Fname,np_oil0,x0,y0,id_oil0,u00,v00
272 &      ,V_Mass0,H_Mass0,W_Mass0,A_Mass0,T_mass0 )
273
274 c   goto 4000
275 if (dem .lt. nlap+1) then
276   xc = 0. ; yc = 0.
277   Do k = 1,np_oil
278     xc = xc + x0(k)
279     yc = yc + y0(k)
280   Enddo
281   xc = xc/float(np_oil)
282   yc = yc/float(np_oil)
283   Do k = 2,np_oil
284     ix(k) = ix(k)-ix(1)+xc
285     iy(k) = iy(k)-iy(1)+yc
286   Enddo
287   ix(1) = xc
288   iy(1) = yc
289 endif
290 endif
291
292 ! -----

```

```

2017 ! =====
2018 SUBROUTINE Angle(s,c,val)
2019   implicit none
2020   REAL s,c,val,PI
2021
2022 !-----
2023   PI = 4.*atan(1.)
2024
2025   IF (C.EQ.0.) THEN
2026     IF (S.GE.0.) THEN
2027       val = PI/2
2028     ELSE
2029       val = 3*PI/2
2030     ENDIF
2031   ELSEIF (C.GT.0.) THEN
2032     IF (S.GE.0.) THEN
2033       val = ATAN(ABS(S/C))
2034     ELSE
2035       val = 2*PI - ATAN(ABS(S/C))
2036     ENDIF
2037   ELSEIF (C.LT.0.) THEN
2038     IF (S.GE.0.) THEN
2039       val = PI - ATAN(ABS(S/C))
2040     ELSE
2041       val = PI + ATAN(ABS(S/C))
2042     ENDIF
2043   ENDIF
2044
2045   RETURN
2046   END
2047
2048

```