



Original Article

Simulation of Oil Spill Propagation in the Bach Dang - Lach Huyen Estuary, Hai Phong City

Nguyen Quoc Trinh¹, Dao Van Hien^{2,*}, Nguyen Quang Vinh³,
Tran Anh Tu⁴, Do Thi Thu Ha⁵

¹Graduate University of Science and Technology, Vietnam Academy of Science and Technology (VAST)
18 Hoang Quoc Viet, Nghia Do, Hanoi, Vietnam

²Faculty of Environmental Sciences, VNU University of Science,
334 Nguyen Trai, Thanh Xuan, Hanoi, Vietnam

³National Centre for Hydro-Meteorological Network,
Vietnam Meteorological and Hydrological Administration, Ministry of Agriculture and Environment,
24 Huynh Thuc Khang, Lang, Hanoi, Vietnam

⁴Institute of Science and Technology for Energy and Environment, VAST,
246 Da Nang, Ngo Quyen, Hai Phong, Vietnam

⁵Institute of Mechanics, VAST, 264 Doi Can, Ba Dinh, Hanoi, Vietnam

Received 08th August 2025

Revised 15th September 2025; Accepted 30th September 2025

Abstract: The Bach Dang - Lach Huyen estuarine area in Hai Phong City is a critical maritime gateway for northern Vietnam, hosting dense shipping activities and industrial development. This study applies a hydrodynamic modeling approach to simulate oil spill under varying tidal, wind, and hydrological conditions. Using a combination of numerical models for hydrodynamics and Lagrangian particle tracking, the spatial-temporal behavior of oil slicks was analyzed for selected spill scenarios. The results reveal that tidal currents and seasonal monsoon patterns strongly influence the oil spill trajectory and propagation extent, with high-risk areas identified along maritime navigation channels (from the estuary to the inland) and coastal areas (extending towards Do Son in winter and along Cat Ba Island in summer). The findings provide a scientific basis for oil spill contingency planning, risk assessment, and environmental management strategies in the region.
Keywords: Oil spill modeling, hydrodynamics; Bach Dang - Lach Huyen estuarine; numerical simulation.

* Corresponding author.

E-mail address: hiendv@hus.edu.vn

<https://doi.org/10.25073/2588-1094/vnuees.5411>

Mô phỏng lan truyền dầu vùng cửa sông Bạch Đằng - Lạch Huyện, thành phố Hải Phòng

Nguyễn Quốc Trinh¹, Đào Văn Hiền^{2,*}, Nguyễn Quang Vinh³,
Trần Anh Tú⁴, Đỗ Thị Thu Hà⁵

¹Học viện Khoa học và Công nghệ, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam,
18 Hoàng Quốc Việt, Nghĩa Đô, Hà Nội, Việt Nam

²Khoa Môi Trường, Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, Đại học Quốc gia Hà Nội,
334 Nguyễn Trãi, Thanh Xuân, Hà Nội, Việt Nam

³Trung tâm Mạng lưới khí tượng thủy văn quốc gia, Cục Khí tượng Thủy văn, Bộ Nông nghiệp và Môi trường,
24 Huỳnh Thúc Kháng, Láng, Hà Nội, Việt Nam

⁴Viện Khoa học Công nghệ Năng lượng và Môi trường, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam,
246 Đường Đà Nẵng, Ngô Quyền, Hải Phòng, Việt Nam

⁵Viện Cơ học, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam, 264 Đội Cấn, Ba Đình, Hà Nội, Việt Nam

Nhận ngày 08 tháng 8 năm 2025

Chỉnh sửa ngày 15 tháng 9 năm 2025; Chấp nhận đăng ngày 30 tháng 9 năm 2025

Tóm tắt: Khu vực cửa sông Bạch Đằng - Lạch Huyện, thành phố Hải Phòng là cửa ngõ hàng hải quan trọng của Việt Nam, tập trung mật độ hoạt động tàu thuyền và công nghiệp cao. Nghiên cứu này áp dụng phương pháp mô hình hóa thủy động lực để mô phỏng quá trình lan truyền dầu loang dưới các điều kiện thủy triều, gió và thủy văn khác nhau. Bằng việc kết hợp mô hình tính toán thủy động lực với phương pháp quỹ đạo hạt Lagrange, biến đổi lan truyền của vệt dầu được phân tích theo không gian và thời gian cho một số kịch bản sự cố tràn dầu cụ thể và chế độ mùa. Kết quả cho thấy dòng triều và chế độ gió mùa theo mùa có ảnh hưởng mạnh đến hướng di chuyển và phạm vi lan truyền dầu, với các vùng nguy cơ cao được xác định dọc theo các tuyến luồng hàng hải (từ cửa sông vào trong sông) và khu vực ven biển (mùa đông kéo dài về Đồ Sơn; mùa hè kéo dài ven đảo Cát Bà). Các kết quả nghiên cứu cung cấp cơ sở khoa học phục vụ xây dựng kế hoạch ứng phó sự cố tràn dầu, đánh giá rủi ro và quản lý môi trường trong khu vực.

Từ khóa: Mô hình tràn dầu, thủy động lực, cửa sông Bạch Đằng - Lạch Huyện, mô phỏng số.

1. Mở đầu

Sự cố tràn dầu là một trong những thảm họa môi trường nghiêm trọng nhất, gây ảnh hưởng nặng nề và lâu dài đến hệ sinh thái biển, kinh tế - xã hội vùng ven bờ. Việt Nam, với đường bờ biển dài và các hoạt động kinh tế biển ngày càng

phát triển, phải đối mặt với nguy cơ cao về các sự cố này [1-4]. Khu vực cửa sông Bạch Đằng - Lạch Huyện (Hải Phòng) là một trong những điểm nóng về nguy cơ tràn dầu. Đây là nơi tập trung hệ thống cảng biển lớn nhất miền Bắc, bao gồm cảng Hải Phòng truyền thống và cảng nước sâu Lạch Huyện, với mật độ tàu thuyền vận

* Tác giả liên hệ.

Địa chỉ email: hiendv@hus.edu.vn

<https://doi.org/10.25073/2588-1094/vnuees.5411>

chuyển hàng hóa, đặc biệt là xăng dầu, ngày càng gia tăng [5]. Hơn nữa, khu vực này có hệ sinh thái nhạy cảm với các bãi triều, rừng ngập mặn và nằm gần Khu dự trữ sinh quyển thế giới Quần đảo Cát Bà, một khu vực có đa dạng sinh học cao cần được bảo vệ nghiêm ngặt [6].

Dầu loang trên mặt nước ngăn cản quá trình trao đổi oxy, ảnh hưởng đến sinh vật phù du. Các hợp chất độc hại trong dầu có thể gây chết hàng loạt các loài thủy hải sản, phá hủy các rạn san hô và hệ sinh thái rừng ngập mặn [7]. Thiệt hại kinh tế cũng rất lớn, ảnh hưởng đến ngành khai thác thủy sản, du lịch và các hoạt động kinh tế biển khác.

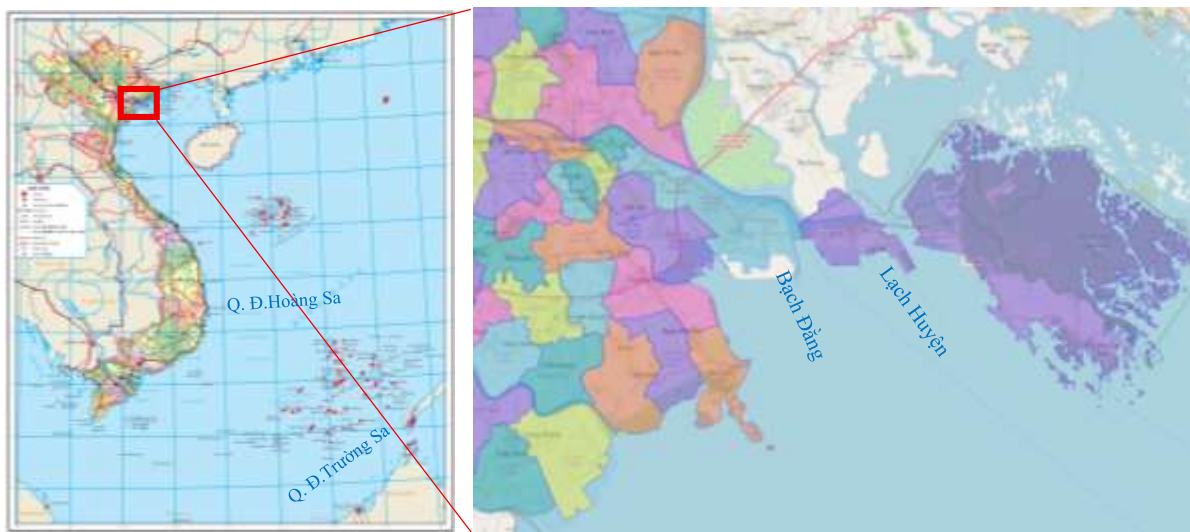
Để chủ động trong công tác phòng ngừa và ứng phó hiệu quả khi có sự cố tràn dầu xảy ra là hết sức cấp thiết. Các mô hình toán đã được chứng minh là một công cụ hữu hiệu trên thế giới và Việt Nam trong việc mô phỏng quỹ đạo, phạm vi ảnh hưởng và sự biến đổi của vệt dầu [8, 9]. Bằng cách tích hợp các dữ liệu về khí tượng, hải

văn và đặc tính của loại dầu tràn, các mô hình này cho phép mô phỏng các kịch bản khác nhau, từ đó hỗ trợ tốt cho việc ra quyết định ứng phó [10, 11].

Nghiên cứu này tập trung vào việc tính toán mô phỏng lan truyền dầu tại khu vực có nguy cơ cao xảy ra sự cố tràn dầu ở cửa sông Bạch Đằng - Lạch Huyện, với kịch bản giả định trong điều kiện thời tiết mùa thực tế khác nhau bằng phần mềm MIKE.

2. Khu vực nghiên cứu

Vùng nghiên cứu bao gồm khu vực cửa sông và vùng biển Hải Phòng, trọng tâm là cửa Bạch Đằng, cửa Lạch Huyện (Hình 1). Đây là hai cửa sông chính, nơi tập trung các cảng biển lớn và hoạt động hàng hải mật độ cao nên nguy cơ dễ xảy ra tai nạn sự cố tràn dầu.



Hình 1. Khu vực nghiên cứu.

Chế độ thủy động lực của khu vực rất phức tạp có tương tác sông - biển, chịu ảnh hưởng mạnh mẽ của chế độ nhật triều đều với biên độ triều cường khoảng xấp xỉ 4 m [12]. Dòng chảy triều cũng có vận tốc lớn, đặc biệt trong các luồng lạch hẹp. Ngoài ra, dòng chảy cũng chịu tác động từ trong sông ra (biến động theo mùa mưa lũ) đáng kể, đồng thời cũng chịu sự chi phối do

gió mùa trên bề mặt nước, tạo nên trường dòng chảy tổng hợp có cấu trúc phức tạp theo không gian và thời gian biến động [13-15].

Khu vực nghiên cứu nằm trong vùng khí hậu nhiệt đới gió mùa với mùa đông (tháng 10 đến tháng 4 năm sau) chủ yếu theo hướng Đông Bắc và mùa hè (tháng 5 đến tháng 9) có hướng chủ đạo là Nam và Đông Nam [16]. Gió là một trong

những yếu tố chính ảnh hưởng trực tiếp đến sự di chuyển của vệt dầu trên mặt nước.

Khu vực hệ thống cảng biển dày đặc và hoạt động hàng hải mật độ cao. Vùng ven biển có các khu công nghiệp, kho xăng dầu và các hoạt động nuôi trồng thủy sản, du lịch. Đặc biệt, phía Đông Nam của khu vực nghiên cứu là Quần đảo Cát Bà, một khu dự trữ sinh quyển với các hệ sinh thái đa dạng và nhạy cảm như rạn san hô, thảm cỏ biển, rừng ngập mặn [6, 17].

3. Phương pháp nghiên cứu

3.1. Mô hình thủy động lực (MIKE 21/3 Coupled Model FM, HD)

Mô hình thủy động lực giải hệ phương trình Navier-Stokes 2 chiều hoặc 3 chiều trung bình theo độ sâu, dựa trên phương pháp phần tử hữu hạn lưới không cấu trúc [18]. Hệ phương trình cơ bản bao gồm phương trình liên tục và phương trình động lượng:

Phương trình liên tục:

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial h\bar{u}}{\partial x} + \frac{\partial h\bar{v}}{\partial y} = hS \quad (1)$$

Phương trình động lượng theo x và y:

$$\begin{aligned} \frac{\partial h\bar{u}}{\partial t} + \frac{\partial h\bar{u}^2}{\partial x} + \frac{\partial h\bar{u}\bar{v}}{\partial y} &= f\bar{v}h - gh\frac{\partial \eta}{\partial x} - \frac{h}{\rho_o}\frac{\partial P_a}{\partial x} - \frac{gh^2}{2\rho_o}\frac{\partial \rho}{\partial x} + \frac{\tau_{sx}}{\rho_o} - \frac{\tau_{by}}{\rho_o} - \frac{1}{\rho_o}\left(\frac{\partial s_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial s_{xy}}{\partial y}\right) + \\ &\frac{\partial}{\partial x}(hT_{xx}) + \frac{\partial}{\partial y}(hT_{xy}) + hu_S S \quad (2) \\ \frac{\partial h\bar{v}}{\partial t} + \frac{\partial h\bar{u}\bar{v}}{\partial x} + \frac{\partial h\bar{v}^2}{\partial y} &= -f\bar{u}h - gh\frac{\partial \eta}{\partial y} - \frac{h}{\rho_o}\frac{\partial P_a}{\partial y} - \frac{gh^2}{2\rho_o}\frac{\partial \rho}{\partial y} + \frac{\tau_{sy}}{\rho_o} - \frac{\tau_{bx}}{\rho_o} - \frac{1}{\rho_o}\left(\frac{\partial s_{yx}}{\partial x} + \frac{\partial s_{yy}}{\partial y}\right) + \\ &\frac{\partial}{\partial x}(hT_{xy}) + \frac{\partial}{\partial y}(hT_{yy}) + hv_S S \quad (3) \end{aligned}$$

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.

Điều kiện biên:

- Biên cứng: trong chương trình tính toán đối với biên đất không cần nội suy độ cao mực nước và coi là bằng 0;

- Biên hở: 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 CFL [19]:

$$C = \Delta t \frac{(\sqrt{gh} + |u|) + (\sqrt{gh} + |v|)}{\Delta l} \leq C_{\max} \quad (4)$$

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 ($C_{\max} \leq 1$).

3.2. Mô hình lan truyền và biến đổi dầu (MIKE Oil Spill)

Mô hình lan truyền và biến đổi dầu sử dụng phương pháp theo dõi hạt (particle tracking) Lagrangian. Vệt dầu được biểu diễn bởi một lượng lớn các hạt. Quỹ đạo của mỗi hạt được quyết định bởi dòng chảy nền (từ kết quả mô hình HD) và sự khuếch tán ngẫu nhiên [20].

Sự di chuyển của một hạt dầu được mô tả bởi phương trình:

$$\frac{dX}{dt} = U_a(X, t) + U_d(X, t) \quad (5)$$

Trong đó: X là vị trí của hạt; U_a là vận tốc dịch chuyển, là tổng của vận tốc dòng chảy và vận tốc do gió; U_d là vận tốc khuếch tán.

Đồng thời, mô hình cũng tính toán các quá trình biến đổi (phong hóa) của dầu theo thời gian, bao gồm:

Loang cơ học: do trọng lực, sức căng bề mặt và lực nhớt;

Bay hơi: phụ thuộc vào loại dầu, nhiệt độ và tốc độ gió.

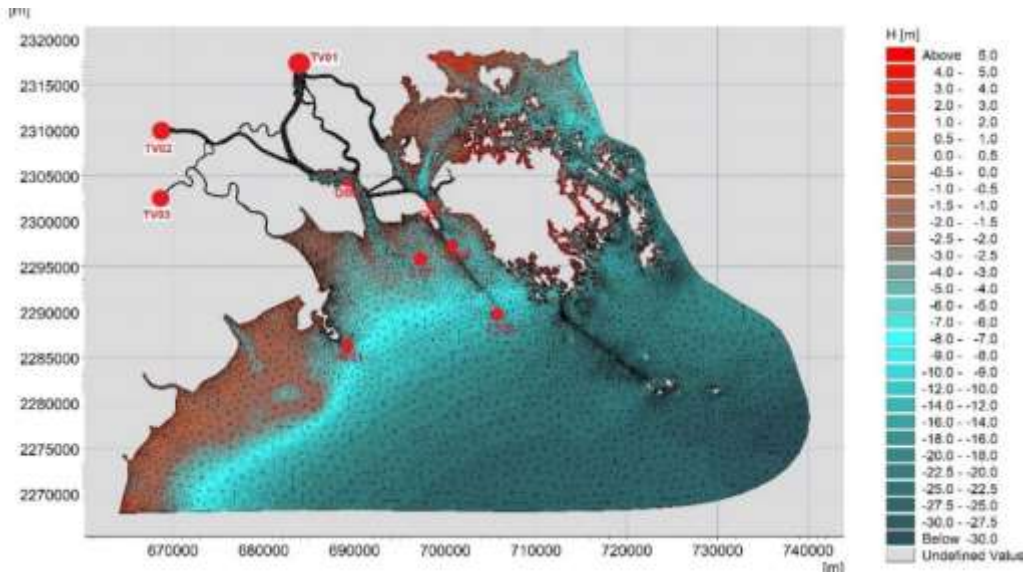
Nhũ tương hóa: dầu và nước tạo thành hỗn hợp nhũ tương, làm tăng thể tích và độ nhớt.

Phân tán tự nhiên: Nhiều động bề mặt phá vỡ vệt dầu thành các giọt nhỏ và chìm vào cột nước.

Độ chính xác của kết quả quan trắc đo đạc và tính toán mô phỏng được đánh giá theo một số chỉ tiêu như hệ số tương quan (R), trung bình phương sai (RMSE), độ chính xác tương đối (NASH) [21 - 23].

4. Dữ liệu sử dụng

Lưới mô hình được xây dựng bao phủ toàn bộ khu vực nghiên cứu với 36628 nút lưới và 62607 phần tử để mô tả chi tiết địa hình, với độ phân giải nhỏ nhất khoảng từ 50 m ở nơi cần thiết (luồng lạch hẹp và gần bờ) đến 1500 m ở vùng ngoài khơi (Hình 2). Dữ liệu đầu vào gồm:



Hình 2. Miền tính, lưới tính, trường địa hình và các điểm trạm.

Số liệu độ sâu chi tiết từ hải đồ (tỷ lệ 1/50000 của Bộ Tài nguyên và Môi trường và tỷ lệ 1/25000 của Hải quân) và khảo sát đo đạc thực địa (các đề tài dự án) [24, 25]. Ngoài ra, hình dạng đường bờ khu vực cảng Lạch Huyện được cập nhật và xử lý từ nguồn ảnh miễn phí của Google Earth.

Biên triều được lấy từ mô hình toàn cầu của phần mềm MIKE, biên sông được xác định bằng chuỗi số liệu mực nước thực đo của các trạm Do Nghi (TV01), trạm Cửa Cấm (TV02) và trạm Kiến An (TV03).

Dữ liệu gió (hướng và tốc độ) được thu thập từ nguồn số liệu khí tượng toàn cầu miễn phí của ERA5 [26].

Mô hình được hiệu chỉnh và kiểm nghiệm bằng cách so sánh kết quả mô phỏng mực nước

với số liệu thực đo tại một số điểm trong khu vực nghiên cứu để đảm bảo độ tin cậy (Bảng 1) [27].

Vị trí tràn dầu: giả định một sự cố xảy ra tại luồng vào cảng Lạch Huyện (OLH - 20,805°N, 106,905°E) và luồng vào Bạch Đằng (OBD - 20,829°N, 106,818°E) (Hình 2). Điều kiện tính toán lan truyền dầu thể hiện:

Loại dầu: dầu IFO là một loại dầu phổ biến trong vận tải biển tỷ trọng 920 kg/m^3 , là hỗn hợp của dầu FO và dầu DO, trong đó lượng dầu FO chiếm tỷ lệ lớn hơn.

Lượng dầu tràn: 90 tấn chia thành 5000 hạt.

Thời gian: mô phỏng trong 168 giờ (7 ngày).

Kịch bản khí tượng và hải văn:

Kịch bản 1: gió mùa Đông Bắc (01/2023).

Kịch bản 2: gió mùa Tây Nam (07/2023).

Bảng 1. Kết quả đánh giá hiệu chỉnh và kiểm nghiệm của mực nước so sánh giữa thực đo và mô phỏng

TT	Tên trạm	Chỉ số đánh giá					
		Hiệu chỉnh (từ 01/01/2020 đến 15/01/2020)			Kiểm nghiệm (từ 16/01/2020 đến 31/01/2020)		
		R	RMSE	NASH	R	RMSE	NASH
1	Trạm Hòn Dấu (HV01)	0,985	0,383	0,795	0,983	0,392	0,756
2	Trạm liên tục (LT01) 698027,75-2293521,33	0,997	0,075	0,993	0,995	0,086	0,990
3	Trạm liên tục (LT02) 701642,87-2296493,71	0,997	0,077	0,993	0,995	0,088	0,989
4	Trạm liên tục (LT03) 706931,00-2289522,00	0,997	0,080	0,992	0,995	0,086	0,989

5. Kết quả và thảo luận

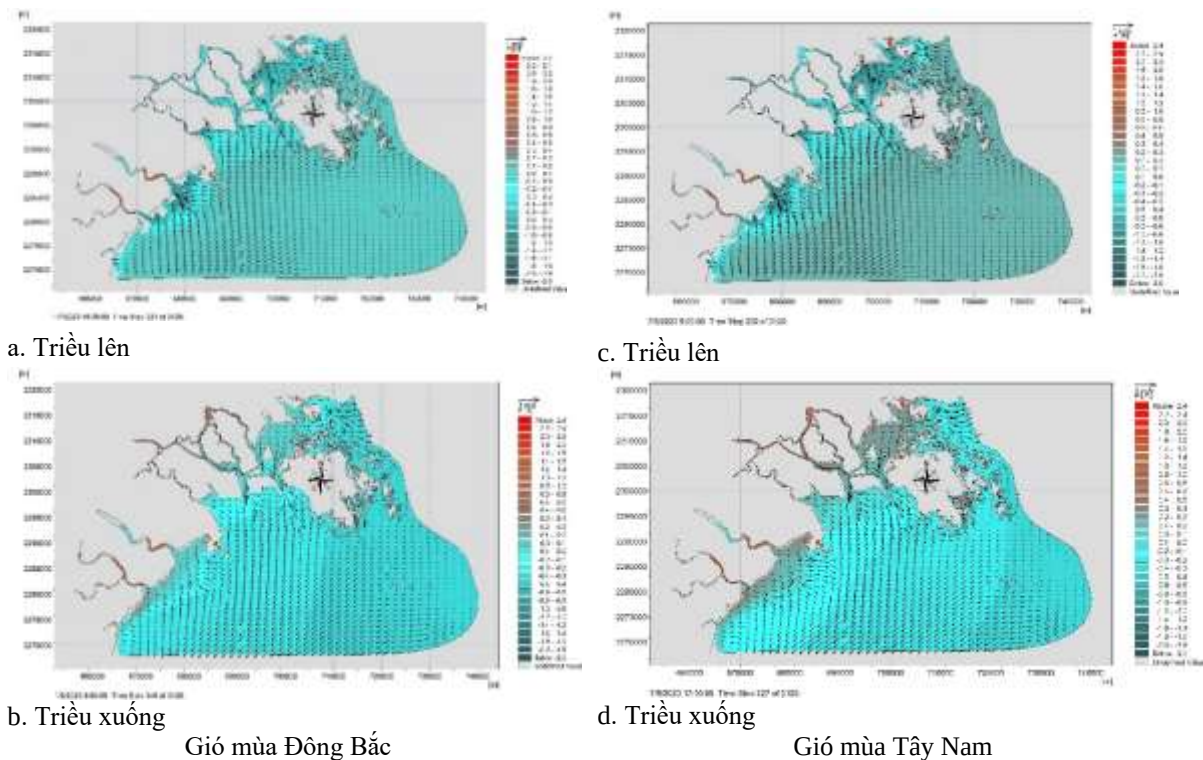
5.1. Trường thủy động lực

Kết quả mô phỏng thủy động lực cho thấy trường mực nước phù hợp thực tế (Bảng 2) và trường dòng chảy trong khu vực có tính quy luật rõ rệt theo thủy triều nhưng rất phức tạp về mặt không gian (Hình 3). Vận tốc dòng chảy đạt giá

trị lớn nhất tại các luồng hẹp như luồng Lạch Huyện, luồng Bạch Đằng.

Bảng 2. Đánh giá độ chính xác giữa mực nước thực đo và mô phỏng tại trạm Hòn Dấu

Chỉ số đánh giá	Gió mùa Đông Bắc	Gió mùa Tây Nam
R	0,988	0,989
RMSE	0,483	0,435
NASH	0,744	0,788



Hình 3. Trường thủy động lực các thời điểm của gió mùa Đông Bắc và gió mùa Tây Nam.

Khi triều lên, dòng chảy có hướng chủ đạo là Bắc và Đông Bắc ở ngoài khơi, khi vào ven bờ cửa sông thay đổi theo địa hình và hướng của sông thường hướng Tây Bắc đưa nước từ biển vào sâu trong hệ thống sông (Hình 3a và 3c). Khi triều xuống, dòng chảy đảo chiều, chảy theo hướng Đông và Đông Nam, mang nước từ sông ra biển (Hình 3b và 3d).

Dòng chảy tổng hợp là sự kết hợp của dòng triều và dòng chảy sông, tạo ra các vùng xoáy và phân lưu phức tạp, đặc biệt là ở khu vực ngã ba sông. Kết quả này phù hợp với các nghiên cứu trước đây về động lực trầm tích và vận chuyển vật chất tại khu vực [12, 15].

5.2. Mô phỏng lan truyền dầu

5.2.1. Kịch bản 1 về gió mùa Đông Bắc

Dưới tác động của gió mùa Đông Bắc và dòng chảy tổng hợp (thủy triều, gió và sông ra),

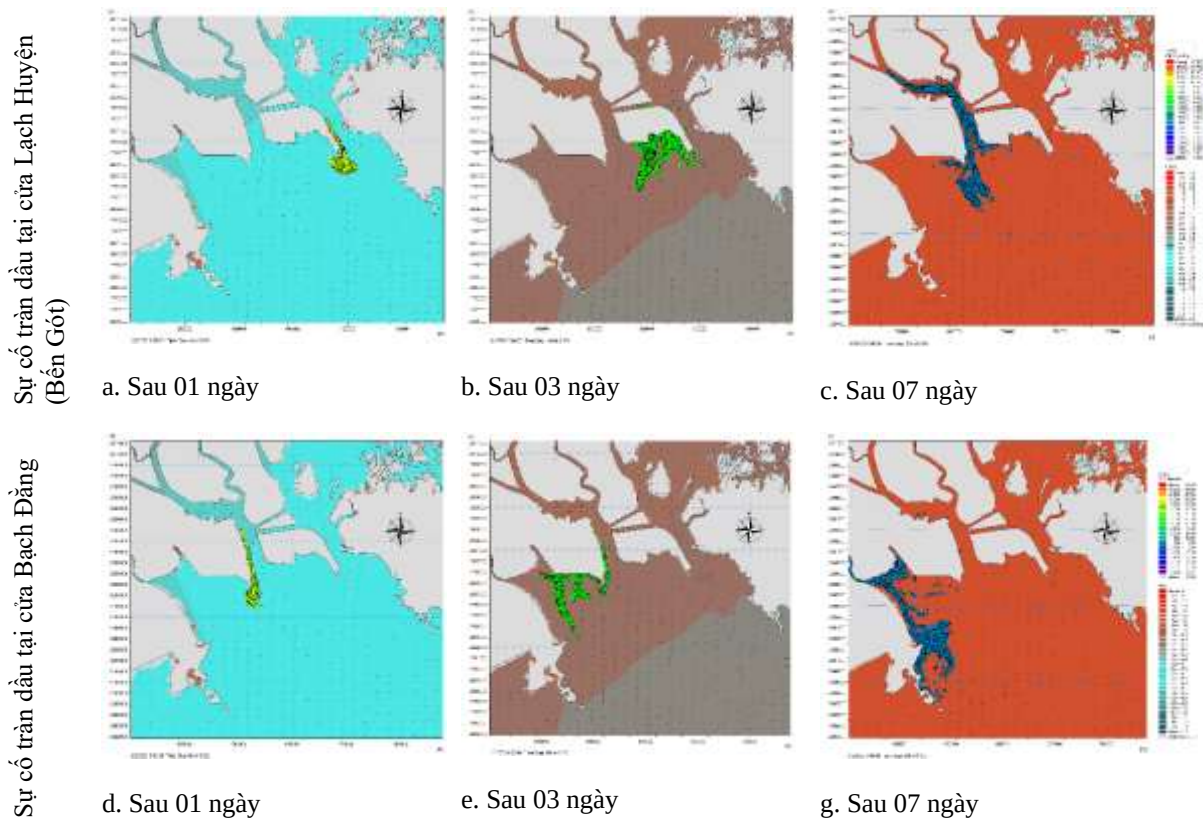
vết dầu sau khi tràn nhanh chóng bị đẩy về phía Tây Nam (Hình 4).

Sau 24 giờ (Hình 4a và 4d): vết dầu lan rộng, tâm vết dầu di chuyển qua khu vực đảo Cát Hải (vị trí Lạch Huyện), hướng về phía ven bờ của bán đảo Đình Vũ - Trảng Cát (vị trí Bạch Đằng).

Sau 72 giờ (Hình 4b và 4e): một phần đáng kể của vết dầu có nguy cơ va vào bờ tại khu vực ven biển quận Cát Hải (vị trí Lạch Huyện), khu vực nam Đình Vũ (vị trí Bạch Đằng). Dầu tiếp tục bị đẩy xuống phía Nam, song song với bờ.

Sau 168 giờ (Hình 4c và 4g): vết dầu tiếp tục di chuyển về phía Nam, có khả năng ảnh hưởng đến vùng ven biển Đình Vũ (vị trí Lạch Huyện) và ven biển Đồ Sơn (vị trí Bạch Đằng).

Kịch bản này cho thấy nguy cơ ô nhiễm cao đối với các bãi triều, khu vực nuôi trồng thủy sản ven bờ và các hạ tầng kinh tế tại quận Hải An và Đồ Sơn.



Hình 4. Dầu lan truyền và trường thủy động lực các thời điểm của gió mùa Đông Bắc (tháng 1/2023).

5.2.2. Kịch bản 2 về gió mùa Tây Nam

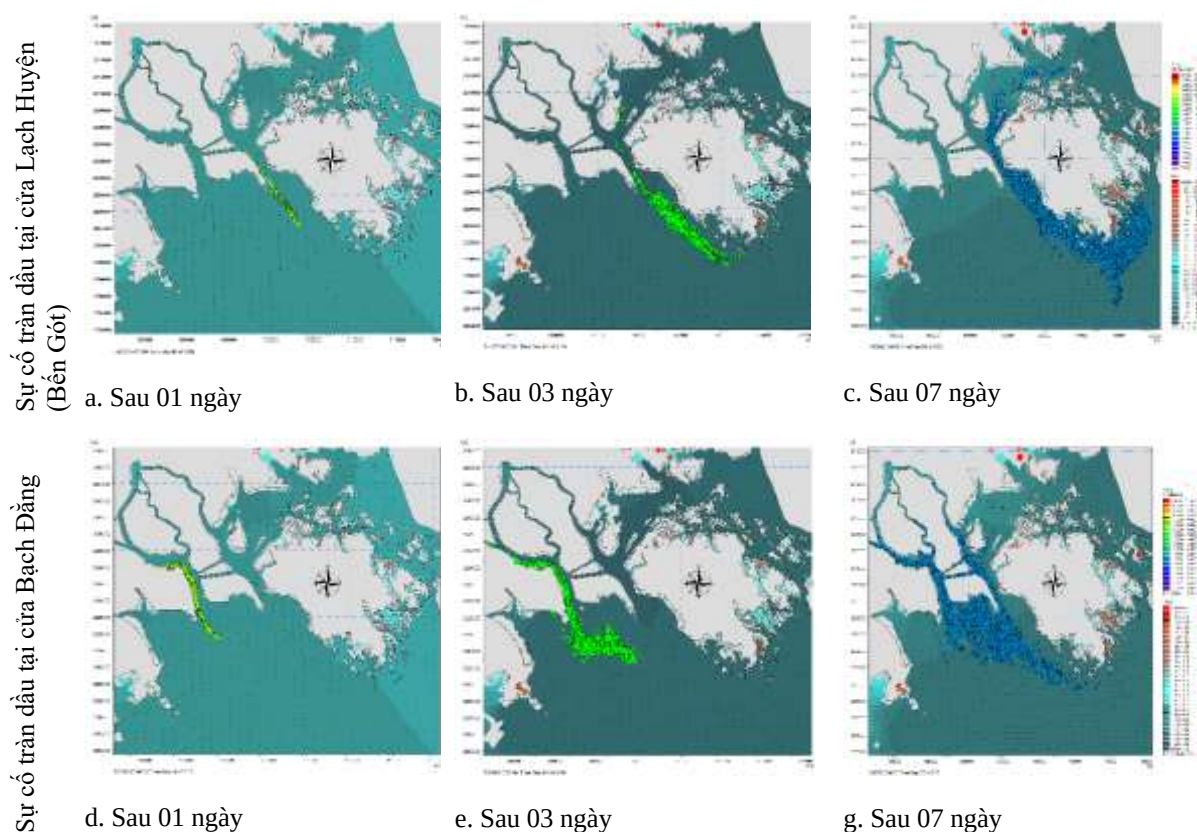
Khi có gió mùa Tây Nam, quỹ đạo lan truyền của vệt dầu hoàn toàn khác biệt (Hình 5).

Sau 24 giờ (Hình 5a và 5d): gió Tây Nam cùng với dòng chảy triều xuống đẩy vệt dầu nhanh chóng ra khỏi khu vực cửa sông theo hướng Đông Nam (vị trí Lạch Huyện) và bám sát theo bán đảo Đình Vũ (vị trí Bạch Đằng).

Sau 72 giờ (Hình 5b và 5e): vệt dầu di chuyển ra xa bờ, vào khu vực ven đảo Cát Bà (vị trí Lạch Huyện), vẫn bám theo bán đảo Đình Vũ và một phần đẩy ra khơi (vị trí Bạch Đằng). Diện tích vệt dầu tăng lên do quá trình lan tỏa.

Sau 168 giờ (Hình 5c và 5g): vệt dầu đã lan rất rộng, nguy cơ tác động trực tiếp lên đường bờ biển đảo Cát Bà (vị trí Lạch Huyện), phủ trùm ven biển Cát Hải và Đình Vũ (vị trí Bạch Đằng).

Kịch bản này cho thấy nguy cơ dầu tràn tác động trực tiếp đáng kể đến ven bờ đảo Cát Bà (nguồn ở Lạch Huyện); bao trùm toàn bộ vùng biển Cát Hải, cửa sông Bạch Đằng và Lạch Huyện (nguồn cửa Bạch Đằng). Vậy, sự cố dầu tràn ở đâu vẫn có khả năng gây ra ô nhiễm cho một vùng không gian đáng kể và đòi hỏi cần có kế hoạch ứng phó kịp thời giảm thiểu tác động đến môi trường.



Hình 5. Dầu lan truyền và trường thủy động lực các thời điểm của gió mùa Tây Nam (tháng 7/2023).

5.3. Thảo luận

Kết quả mô phỏng cho thấy sự lan truyền của dầu ở khu vực cửa sông Bạch Đằng - Lạch Huyện là một quá trình phức tạp, bị chi phối bởi sự tương tác của ba yếu tố chính: i) Dòng chảy triều, quyết định sự di chuyển tịnh tiến theo chu

kỳ và quy luật thủy triều; ii) Dòng chảy sông, có vai trò đẩy theo chiều từ sông ra cửa biển, đặc biệt trong mùa lũ; và iii) Gió, yếu tố quyết định hướng trôi dạt trên bề mặt [9, 12, 15].

Sự khác biệt rõ rệt giữa hai kịch bản gió mùa nhấn mạnh tầm quan trọng của việc có được thông tin dự báo thời tiết chính xác và kịp thời

trong một sự cố thực tế. Mô hình cũng chỉ ra rằng, ngay cả với một lượng dầu tràn không quá lớn, phạm vi ảnh hưởng vẫn có thể trải dài hàng chục ki-lô-mét, đe dọa nhiều khu vực sinh thái và kinh tế nhạy cảm [17].

Kết quả nghiên cứu này có thể được sử dụng để xây dựng các bản đồ nguy cơ và bản đồ nhạy cảm môi trường, là cơ sở để bố trí sẵn các trang thiết bị ứng phó (phao vây, chất thấm hút) tại các vị trí chiến lược và xây dựng các kế hoạch hành động chi tiết cho từng kịch bản.

6. Kết luận

Nghiên cứu đã ứng dụng bộ mô hình MIKE để mô phỏng sự cố tràn dầu giả định tại vùng cửa sông Bạch Đằng - Lạch Huyện. Kết quả đã làm rõ quy luật lan truyền phức tạp của vệt dầu dưới ảnh hưởng của các yếu tố hải văn và khí tượng đặc thù của khu vực. Kết quả nghiên cứu đã cho thấy:

Chế độ thủy động lực phức tạp do tương tác triều - sông là yếu tố nền tảng chi phối sự phân tán dầu trong khu vực cửa sông.

Hướng của gió mùa là yếu tố quyết định đến quỹ đạo di chuyển của vệt dầu trên quy mô không gian rộng và thời gian nhiều ngày. Vì dòng triều mang tính chất tuần hoàn chính theo ngày, sông ra chỉ ảnh hưởng khu vực không lớn từ sông ra đến biển. Gió mùa Đông Bắc gây ra nguy cơ ô nhiễm cao nhất cho đường bờ biển Đình Vũ - Đồ Sơn. Trong khi gió mùa Tây Nam có xu hướng đẩy dầu về Cát Hải và vùng đệm Khu dự trữ sinh quyển Cát Bà.

Mô hình số trị là một công cụ hiệu quả trong hệ thống hỗ trợ ra quyết định ứng phó sự cố tràn dầu, cho phép dự báo nhanh phạm vi ảnh hưởng và xác định các khu vực ưu tiên cần bảo vệ.

Nghiên cứu này là cơ sở cho các nghiên cứu tiếp theo cần được thực hiện với việc cập nhật các số liệu chi tiết hơn về địa hình, dòng chảy, các kịch bản sự cố đa dạng hơn (vị trí, loại dầu, khối lượng khác nhau) và tích hợp các mô hình vận chuyển trầm tích để đánh giá quá trình dầu lắng đọng và tác động lâu dài đến đáy biển.

Lời cảm ơn

Các tác giả xin chân thành cảm ơn các nguồn dữ liệu mở về địa hình và khí tượng đã được sử dụng trong nghiên cứu này.

Tài liệu tham khảo

- [1] ITOFF, Oil Tanker Spill Statistics 2019, International Tanker Owners Pollution Federation, 2020, <https://www.itopf.org/news/news/2019-oil-tanker-spill-statistics-published/> (accessed on: August 1st, 2025).
- [2] MONRE, Circular No. 33/2018/TT-BTNMT: Regulations on Procedures for Remediation of Marine Oil Spill Incidents, Including Investigation, Pollution Assessment, Planning and Monitoring implementation, Ministry of Natural Resources and Environment, Hanoi, 2018 (in Vietnamese).
- [3] MONRE, Circular No. 17/2024/TT-BTNMT: Technical Regulations for Investigating, Assessing Environmental Damage and Preparing Compensation Dossiers in Case of Marine Oil Spills, Ministry of Natural Resources and Environment, Hanoi, 2024 (in Vietnamese).
- [4] MONRE, National Environmental Status Report 2019 - Thematic Report: Solid Waste Management, Ministry of Natural Resources and Environment, Hanoi, 2020 (in Vietnamese).
- [5] VPA, Annual Report on Port Activities 2020 and Plan for 2021, Vietnam Ports Association Hanoi, 2021 (in Vietnamese).
- [6] D. Q. Tri, T. H. Thai, Biological Environmental Survey in Cat Ba Island, Biodiversity Int J., Vol. 2, No. 2, 2018, pp. 123-133, <https://doi.org/10.15406/bij.2018.02.00054>.
- [7] M. Fingas, The Basics of Oil Spill Cleanup, CRC Press, 2013.
- [8] M. L. Spaulding, State of the Art Review and Future Directions in Oil Spill Modeling, Marine Pollution Bulletin, Vol. 115, No. 1, 2017, pp. 7-19, <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.01.001>.
- [9] D. Q. Tri et al., Trajectory Modeling of Marine Oil Spills: Case Study of Lach Huyen Port, Vietnam, Proceedings of the 4th International Conference on Sustainable Future for Human Security, 2013.
- [10] P. Keramea et al., Oil Spill Modeling: A Critical Review on Current Trends, Perspectives and Challenges, Journal of Marine Science and Engineering, Vol. 9, No. 2, 2021, 181pp, <https://doi.org/10.3390/jmse9020181>.

- [11] G. Zodiatis et al., The Mediterranean Decision Support System for Marine Safety Dedicated to Oil Slicks Predictions, Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography, Vol. 133, 2016, pp. 4-20, <https://doi.org/10.1016/j.dsr2.2016.07.014>.
- [12] N. M. Huan, N. Q. Trinh, P. T. Dat, Numerical Simulation of Sediment Transport and Morphology Changes at the Bach Dang estuary, VNU Journal of Science, Earth Sciences, Vol. 26, No. 2, 2010, pp. 90-97 (in Vietnamese).
- [13] D. S. V. Maren, P. Hoekstra, Seasonal Variation of Hydrodynamics and Sediment Dynamics in a Shallow Subtropical Estuary: the Ba Lat River, Vietnam, Estuarine, Coastal and Shelf Science, Vol. 60, No. 3, 2004, pp. 529-540, <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2004.02.011>.
- [14] L. F. P. Roman, R. J. Chant, C. K. Sommerfield, Impact Of historical Channel Deepening on Tidal Hydraulics in the Delaware Estuary, Journal of Geophysical Research: Oceans, Vol. 125, 2020, <https://doi.org/10.1029/2020JC016256>.
- [15] L. D. Cuong et al., Hydrodynamic Modelling of Microplastics Transport in Bach Dang Estuary, Vietnam Journal of Marine Science and Technology, Vol. 22, No. 4, 2022, pp. 447-456, <https://doi.org/10.15625/1859-3097/16490>.
- [16] N. X. Thanh et al., The Vietnam Gridded Precipitation (VnGP) Dataset: Construction and Validation, SOLA, Vol. 12, 2016, pp. 291-296, <https://doi.org/10.2151/sola.2016-057>.
- [17] UNESCO, Cat Ba Archipelago Biosphere Reserve, United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization, 2004.
- [18] DHI, MIKE 21 & MIKE 3 Coupled Model FM: Hydrodynamic Module, User Guide, DHI Water & Environment, 2014a.
- [19] R. Courant, K. Friedrichs, H. Lewy, Über Die Partiellen Differenzengleichungen Der Mathematischen Physik, Mathematische Annalen, Vol. 100, 1928, pp. 32-74, <https://doi.org/10.1007/BF01448839>.
- [20] DHI, DHI Oil Spill Model: Oil Spill Template Scientific Documentation, DHI Water & Environment, 2014.
- [21] J. F. Kenney, E. S. Keeping, Linear Regression and Correlation, Ch. 15 in Mathematics of Statistics, Pt. 1, 3rd ed., Princeton, NJ: Van Nos-trand, 1962a, pp. 252-285.
- [22] J. F. Kenney, E. S. Keeping, Root Mean Square Sec. 4.15 in Mathematics of Statistics, Pt. 1, 3rd ed., Princeton, NJ: Van Nostrand, 1962b, pp. 59-60.
- [23] J. E. Nash, J. V. Sutcliffe, River Flow Forecasting through Concep-tual Models: Part 1. A Discussion of Principles, J. Hyd., Vol. 10, No. 3, 1970, pp. 282-290.
- [24] N. D. Duong et al., Oil Pollution in Vietnamese Seas and the East Vietnam Sea, Full Report of Project KC.09.22/06-10, Hanoi, 2010 (in Vietnamese).
- [25] N. V. Cu et al., Study on Hydrodynamic Processes, Forecasting of Sediment Transport and Deposition at Lach Huyen, Southern Do Son, Hai Phong City Before and after the Construction of the Deep-Water Port and Proposed Mitigation Measures, Full Report of Project KC08.10/06-10, Hanoi, 2010 (in Vietnamese).
- [26] H. Hersbach et al., The ERA5 Global Reanalysis, Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, Vol. 146, No 730, 2020, pp. 1999-2049, <https://doi.org/10.1002/qj.3803>.
- [27] MPMU, Lach Huyen Port Infrastructure Construction Project - Survey Report, Maritime Project Management Unit, Hai Phong, 2020 (in Vietnamese).