

NGHIÊN CỨU MÔ PHỎNG LAN TRUYỀN RÁC THẢI NHỰA KHU VỰC VEN BIỂN ĐỒ SƠN - HẢI PHÒNG BẰNG MÔ HÌNH SỐ

SIMULATION STUDY OF PLASTIC WASTE DISPERSION IN THE COASTAL AREA OF DO SON - HAI PHONG USING A NUMERICAL MODEL

ĐỖ VĂN CƯỜNG¹, ĐỖ TRUNG KIÊN^{2*}, TRẦN GIA NINH¹

¹Khoa Hàng hải, Trường Đại học Hàng hải Việt Nam

²Phòng Quan hệ quốc tế, Trường Đại học Hàng hải Việt Nam

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

DOI: <https://doi.org/10.65154/jmst.981>

Tóm tắt

Ô nhiễm rác thải nhựa đang trở thành vấn đề môi trường cấp bách tại các vùng biển và ven biển, đặc biệt ở những khu vực tập trung đông dân cư, du lịch và hoạt động hàng hải. Nghiên cứu này tập trung xây dựng và ứng dụng mô hình mô phỏng số nhằm phân tích quá trình lan truyền rác thải nhựa tại khu vực ven biển Đồ Sơn - Hải Phòng. Điểm mới của nghiên cứu là tiếp cận trực tiếp rác thải nhựa như một đối tượng ô nhiễm độc lập thông qua mô hình số hiện đại, góp phần bổ sung cơ sở dữ liệu khoa học còn hạn chế phục vụ quản lý môi trường biển địa phương. Mô hình được thiết lập trên nền tảng MIKE 21/3 Coupled FM, tích hợp các yếu tố hải văn, khí tượng và đặc tính vật lý của rác thải nhựa. Kết quả mô phỏng làm rõ quy luật di chuyển, phân tán và tích tụ rác thải theo không gian - thời gian, đồng thời xác định các khu vực có nguy cơ tích lũy cao. Nghiên cứu cung cấp cơ sở khoa học cho việc dự báo xu thế ô nhiễm và đề xuất các giải pháp quản lý, thu gom và giảm thiểu rác thải nhựa, hướng tới bảo vệ môi trường ven biển và phát triển kinh tế biển bền vững.

Từ khóa: Ô nhiễm môi trường biển, rác thải nhựa, mô phỏng, Mike 21/3.

Abstract

Plastic waste pollution has become an urgent environmental issue in marine and coastal areas, particularly in regions with high population density, tourism activities, and maritime operations. This study focuses on the development and application of a numerical simulation model to analyze the transport and dispersion of plastic waste in the Do Son - Hai Phong coastal zone. A key contribution of the research lies in treating plastic waste as an independent pollution source using advanced numerical modeling techniques,

thereby supplementing the limited scientific data available for local coastal environmental management. The model was established on the MIKE 21/3 Coupled Flexible Mesh platform, integrating hydrodynamic conditions, meteorological forcing, and the physical characteristics of plastic waste. Simulation results clarify the spatial-temporal patterns of transport, dispersion, and accumulation of plastic waste, while identifying areas with a high potential for accumulation. The study provides a scientific basis for predicting pollution trends and for proposing effective strategies for plastic waste management, collection, and mitigation, contributing to coastal environmental protection and the sustainable development of the marine economy.

Keywords: Marine environment pollution, plastic waste, simulation, Mike 21/3.

1. Đặt vấn đề

Ô nhiễm rác thải nhựa đang được xem là một trong những vấn đề môi trường nghiêm trọng và phức tạp nhất đối với các vùng biển và ven biển trên thế giới. Nhiều nghiên cứu quốc tế chỉ ra rằng lượng nhựa bị thất thoát từ đất liền và các hoạt động kinh tế biển vào đại dương ngày càng gia tăng, trong khi khả năng phân hủy tự nhiên của vật liệu nhựa là rất hạn chế. Các báo cáo của Liên Hợp Quốc và các tổ chức quốc tế cho thấy rác thải nhựa không chỉ ảnh hưởng đến cảnh quan và chất lượng môi trường biển, mà còn gây ra những hệ lụy lâu dài đối với hệ sinh thái, chuỗi thức ăn và sức khỏe con người [1-3]. Trong bối cảnh đó, việc hiểu rõ cơ chế phát sinh, lan truyền và tích tụ rác thải nhựa trong môi trường biển được xem là cơ sở khoa học quan trọng để xây dựng các giải pháp quản lý hiệu quả.

Trong những năm gần đây, nghiên cứu về rác thải nhựa và vi nhựa trong môi trường biển đã phát triển

mạnh trên phạm vi toàn cầu, phản ánh tính cấp bách và phức tạp của dạng ô nhiễm này. Nhiều nghiên cứu quốc tế chỉ ra rằng rác thải nhựa có khả năng lan truyền xa khỏi nguồn phát sinh dưới tác động tổng hợp của dòng chảy, sóng, gió và thủy triều, từ đó hình thành các vùng hội tụ tại ven bờ và cửa sông [4, 5]. Bên cạnh các nghiên cứu thực nghiệm tập trung vào đánh giá hiện trạng và tác động sinh học của vi nhựa, nhiều tổng quan gần đây nhấn mạnh sự cần thiết phải tiếp cận vấn đề theo hướng động, gắn với cơ chế vận chuyển và phân bố theo không gian - thời gian [6-8]. Các mô hình số và phương pháp theo dõi hạt đã được ứng dụng để mô phỏng quá trình lan truyền và tích tụ rác thải nhựa, cho thấy tiềm năng hỗ trợ dự báo và quản lý môi trường biển [9-11]. Tuy nhiên, phần lớn các nghiên cứu vẫn tập trung ở quy mô rộng, trong khi các vùng ven biển với điều kiện động lực phức tạp chưa được xem xét đầy đủ.

Tại Việt Nam, các nghiên cứu về rác thải nhựa và vi nhựa đã ghi nhận sự hiện diện của vi nhựa trong nhiều thành phần môi trường và sinh vật biển. Các công trình trong nước đã bước đầu làm rõ đặc điểm phân bố vi nhựa trong trầm tích ven bờ, cát bãi biển, cũng như trong ống tiêu hóa của cá và các loài nhuyễn thể có giá trị kinh tế [12, 13]. Một số nghiên cứu tổng quan cũng đã chỉ ra những tác động tiềm tàng của rác thải nhựa đối với động vật đáy và nguy cơ lan truyền trong chuỗi thức ăn. Mặc dù vậy, các nghiên cứu này chủ yếu mang tính mô tả hiện trạng, dựa trên số liệu khảo sát điểm, còn hạn chế trong việc giải thích cơ chế lan truyền và biến động theo thời gian của rác thải nhựa dưới tác động của điều kiện hải văn - khí tượng [14, 15].

Bên cạnh đó, số lượng nghiên cứu trong nước ứng dụng mô hình số để mô phỏng quá trình lan truyền rác thải nhựa còn tương đối ít. Một số nghiên cứu gần đây đã thử nghiệm mô hình MIKE để mô phỏng truyền tải rác thải nhựa theo đặc trưng mùa ở một số khu vực ven biển miền Trung [16], cho thấy tính khả thi của phương pháp mô hình hóa trong việc nhận diện xu thế di chuyển và phân bố rác thải. Tuy nhiên, việc áp dụng cách tiếp cận này cho các khu vực ven biển phía Bắc, nơi có điều kiện thủy động lực phức tạp và chịu ảnh hưởng đồng thời của sông, biển và hoạt động hàng hải, vẫn còn là khoảng trống nghiên cứu.

Xuất phát từ thực tiễn trên, nghiên cứu này tập trung ứng dụng mô hình số hiện đại để mô phỏng quá trình lan truyền rác thải nhựa tại khu vực ven biển Đồ Sơn - Hải Phòng. Điểm mới của nghiên cứu nằm ở việc tiếp cận rác thải nhựa như một đối tượng ô nhiễm độc lập, tích hợp đồng thời các yếu tố hải văn, khí

tượng và đặc tính vật lý của rác thải trong môi trường mô phỏng. Kết quả nghiên cứu không chỉ góp phần làm rõ cơ chế phát tán và vùng tích tụ rác thải nhựa tại khu vực nghiên cứu, mà còn cung cấp cơ sở khoa học phục vụ công tác quản lý môi trường, thu gom và giảm thiểu ô nhiễm, hướng tới phát triển bền vững kinh tế biển và du lịch ven biển Hải Phòng.

2. Tài liệu và phương pháp thực hiện mô phỏng

2.1. Phương pháp thực hiện mô phỏng

Nghiên cứu áp dụng phương pháp mô phỏng số tích hợp để đánh giá quá trình lan truyền rác thải nhựa tại khu vực ven biển Đồ Sơn - Hải Phòng. Hệ thống mô hình được xây dựng trên nền tảng MIKE 21/3 Coupled Model FM, cho phép kết hợp mô phỏng thủy động lực, tác động sóng - gió và mô phỏng quỹ đạo rác thải nhựa trong cùng một môi trường tính toán. Phương pháp này đặc biệt phù hợp với các khu vực ven biển có địa hình phức tạp, chịu ảnh hưởng đồng thời của thủy triều, dòng chảy ven bờ và các hoạt động nhân sinh.

Trước hết, mô hình thủy động lực (HD) được sử dụng để mô phỏng trường mực nước và dòng chảy theo thời gian. Cơ sở của mô hình HD là hệ phương trình nước nông hai chiều trung bình theo chiều sâu, bao gồm phương trình liên tục và phương trình động lượng. Phương trình liên tục được biểu diễn dưới dạng [17]:

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial(hu)}{\partial x} + \frac{\partial(hv)}{\partial y} = 0 \quad (1)$$

Trong đó h là độ sâu mực nước, u và v lần lượt là các thành phần vận tốc dòng chảy theo phương x và y .

Phương trình động lượng theo hai phương tọa độ được viết như sau [17]:

$$\frac{\partial(hu)}{\partial t} + \frac{\partial(hu^2)}{\partial x} + \frac{\partial(huv)}{\partial y} = -gh \frac{\partial \eta}{\partial x} + F_x \quad (2)$$

$$\frac{\partial(hv)}{\partial t} + \frac{\partial(huv)}{\partial x} + \frac{\partial(hv^2)}{\partial y} = -gh \frac{\partial \eta}{\partial y} + F_y \quad (3)$$

Trong đó g là gia tốc trọng trường; η là cao độ mực nước tự do; F_x và F_y là các lực tổng hợp theo hai phương, bao gồm lực ma sát đáy, lực Coriolis, lực do gió mặt và các thành phần khuếch tán rối.

Kết quả trường dòng chảy và mực nước từ mô hình HD được sử dụng làm đầu vào cho mô hình Particle Tracking (PT) nhằm mô phỏng quá trình lan truyền rác thải nhựa. Trong mô hình này, rác thải nhựa được đại diện bằng các hạt rời rạc, chuyển động theo cách tiếp cận Lagrangian. Phương trình chuyển động tổng

quát của một hạt được mô tả như sau [18]:

$$\frac{dX}{dt} = U(X,t) + \alpha U_w + R \quad (4)$$

Trong đó X là vị trí của hạt theo thời gian, U là vận tốc dòng chảy lấy từ mô hình thủy động lực, U_w là vận tốc gió mặt, α là hệ số trôi theo gió (windage) đặc trưng cho từng loại rác thải nhựa, và R là thành phần nhiễu ngẫu nhiên đại diện cho quá trình khuếch tán rối trong môi trường nước.

Thành phần khuếch tán rối của hạt được mô phỏng bằng phương pháp bước ngẫu nhiên (random walk), với độ lớn bước dịch chuyển phụ thuộc vào hệ số khuếch tán ngang K_h :

$$R = \sqrt{2K_h \Delta t} G \quad (5)$$

Trong đó Δt là bước thời gian mô phỏng và G là vectơ ngẫu nhiên có phân bố chuẩn.

Thông qua sự kết hợp giữa mô hình thủy động lực và mô hình quỹ đạo hạt, phương pháp mô phỏng cho phép tái hiện một cách định lượng quá trình di chuyển, phân tán và tích tụ rác thải nhựa theo không gian - thời gian, được thực hiện lấy trung bình cho cả cột nước. Cách tiếp cận này tạo cơ sở khoa học để phân tích hành lang lan truyền, xác định các khu vực có nguy cơ tích tụ cao và phục vụ đánh giá các kịch bản quản lý, thu gom và giảm thiểu rác thải nhựa tại khu vực ven biển Đồ Sơn - Hải Phòng.

2.2. Bộ dữ liệu sử dụng

Dữ liệu địa hình phục vụ xây dựng mô hình cho khu vực ven biển Đồ Sơn - Hải Phòng được tổng hợp và xử lý từ nhiều nguồn khác nhau nhằm bảo đảm tính đầy đủ và độ tin cậy. Trong đó, hải đồ VN40001 tỷ lệ 1:75.000, do Tổng công ty Bảo đảm an toàn hàng hải Việt Nam phát hành vào tháng 3 năm 2025, được sử dụng làm nguồn dữ liệu chính để mô tả đặc điểm địa hình đáy biển và các yếu tố hàng hải quan trọng trong khu vực nghiên cứu. Bên cạnh nguồn dữ liệu này, thông tin độ sâu đáy biển còn được bổ sung từ cơ sở dữ liệu GEBCO, là bộ dữ liệu địa hình đáy biển toàn cầu được công bố rộng rãi và sử dụng phổ biến trong nhiều nghiên cứu hải dương học. Trong nghiên cứu này, dữ liệu GEBCO chủ yếu được khai thác cho các vùng ven bờ xa và khu vực ngoài khơi, nơi chưa có số liệu khảo sát chi tiết, nhằm tạo lớp nền ban đầu cho miền tính toán trước khi xây dựng lưới phần tử chi tiết cho khu vực ven biển Đồ Sơn - Hải Phòng (Hình 1).

Dữ liệu gió được thu thập từ trạm quan trắc Hòn Dấu, với chuỗi số liệu cập nhật đến năm 2023, phản ánh đặc trưng khí tượng khu vực nghiên cứu. Mực



Hình 1. Hải đồ VN40001

nước biển và chế độ thủy triều được tổng hợp từ các tài liệu chuyên ngành và số liệu trung bình nhiều năm, qua đó bảo đảm tính đại diện cho điều kiện thủy văn đặc trưng. Các yếu tố khí tượng bổ sung được khai thác từ cơ sở dữ liệu tái phân tích ERA5 do Trung tâm Dự báo Thời tiết Trung hạn Châu Âu (ECMWF) cung cấp; sau đó được xử lý thống kê và nội suy theo thời gian để phù hợp với bước thời gian và lưới tính của mô hình.

Đường bờ và điều kiện biên ven bờ được xác định trên cơ sở kết hợp dữ liệu đường bờ chi tiết trích xuất từ hải đồ VN40001 và thông tin hình ảnh vệ tinh từ Google Earth, nhằm phản ánh chính xác hình thái bờ biển hiện tại. Trong khi đó, điều kiện biên phía biển và khu vực lân cận Đồ Sơn - nơi có vai trò chi phối chế độ thủy triều, dòng chảy ven bờ và sự kết nối với miền tính toán - được xác định thông qua kết quả mô phỏng của mô hình MIKE, bảo đảm tính nhất quán và ổn định cho quá trình tính toán lan truyền rác thải nhựa. Thông số đầu vào cho mô hình lan truyền rác thải nhựa có sự tham khảo điều kiện thực tế tại địa phương và các nghiên cứu liên quan tại khu vực và các vùng ven biển Việt Nam [19-21]. Điển hình như loại rác thải nhựa trong mô hình là loại Polyethylene (PE), bao gồm túi nilon, màng bọc thực phẩm, chai lọ đựng mỹ phẩm/đồ uống, ống nhựa, thùng rác, đồ chơi, ... là những rác thải nhựa thường thấy tại các khu du lịch, dân cư sinh hoạt ven biển như bãi biển Đồ Sơn.

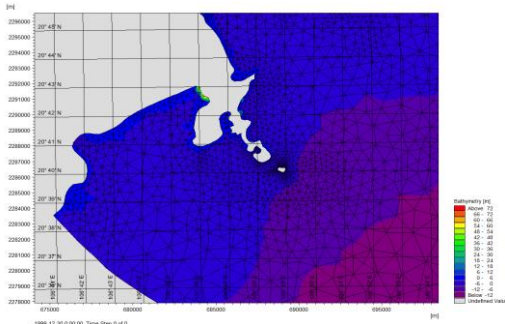
3. Kết quả

3.1. Kết quả hiệu chỉnh mô hình

Lưới tính phục vụ mô phỏng thủy động lực được xây dựng bằng mô-đun MIKE Zero thuộc bộ phần mềm MIKE. Miền tính toán được chia theo dạng lưới tam giác phi cấu trúc, cho phép linh hoạt điều chỉnh mật độ phần tử phù hợp với mức độ phức tạp của từng khu vực. Trong đó, khu vực ven bờ Đồ Sơn - nơi tập trung nghiên cứu lan truyền rác thải nhựa - được thiết

kế với mật độ lưới cao hơn nhằm nâng cao độ chính xác mô phỏng.

Phạm vi mô phỏng ven biển Đồ Sơn nằm trong khoảng kinh độ từ 106°41'E đến 106°54'E và vĩ độ từ 20°36'N đến 20°45'N, được thể hiện trong hệ tọa độ UTM - múi 48 (Hình 2). Lưới tính toán sử dụng các phần tử tam giác không đều, trong đó diện tích lớn nhất của mỗi phần tử tại khu vực trọng tâm không vượt quá 1,5 km². Toàn bộ miền nghiên cứu bao gồm 14.522 nút và 24.851 phần tử, với góc nhỏ nhất của phần tử được kiểm soát ở mức 32° nhằm bảo đảm chất lượng lưới và ổn định số.



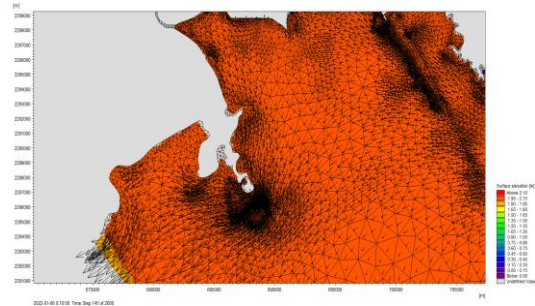
Hình 2. Lưới tính toán

Bảng 1. Thông số tính toán đầu vào của mô hình

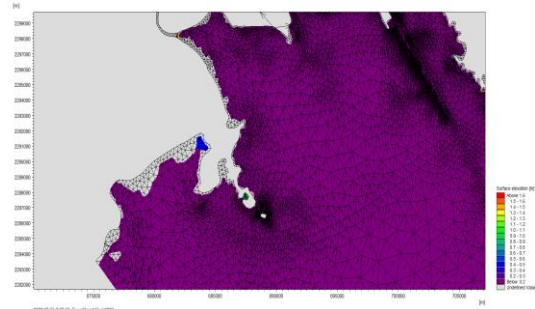
Thông số	Giá trị
Lưới tính	14522 nút, 24851 phần tử
Thời gian	Mùa gió đông bắc: 05/01/2022 00:00 - 18/01/2022 21:20 (13 ngày) Mùa gió tây nam: 04/07/2022 07:00 - 18/07/2022 04:20 (13 ngày)
Khoảng thời gian	600 giây
Số bước	2000
Độ hội tụ	Số CFL = 0.85
Độ nhớt rối	Công thức Smagorinsky, Constant 0.28 m ² /s
HD: Lực cản	Số Manning
Loại rác nhựa	Polyethylene (PE)
Số hạt	500
Nồng độ thải	10 (mg/s)
Trọng lượng hạt	0.008 (mg)
Tốc độ suy giảm	3.06e-007 (1/s)

Các kịch bản mô phỏng được thực hiện cho hai giai đoạn đại diện: Gió mùa Đông Bắc (từ 05/01/2022 đến 18/01/2022) và mùa mưa/gió mùa Tây Nam (từ 04/7/2022 đến 18/7/2022), mỗi giai đoạn kéo dài 13 ngày, phản ánh điều kiện khí tượng - thủy văn điển hình của vùng ven biển Bắc Bộ. Bước thời gian tính toán được lựa chọn là 600 giây, tương ứng với 2000

bước mô phỏng, nhằm cân bằng giữa độ chi tiết của kết quả và hiệu quả tính toán trên hệ thống máy tính sử dụng. Bảng 1 mô tả các thông số tính toán đầu vào cho mô hình MIKE 21/3 Coupled FM gồm có thông số đầu vào cho mô hình thủy lực và mô hình mô phỏng lan truyền nhựa (Particle Tracking).



Hình 3. Mực nước kỳ gió mùa Đông Bắc (06/01/2022)

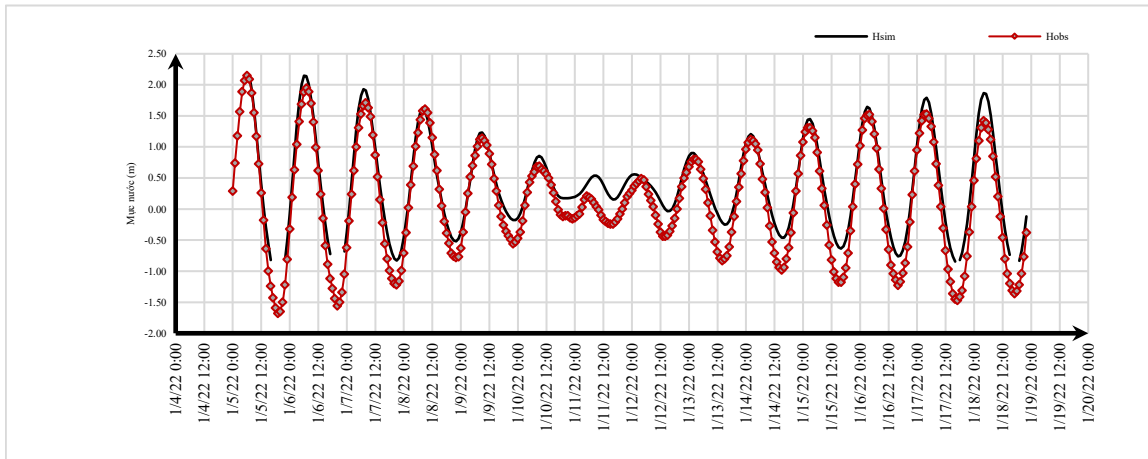


Hình 4. Mực nước kỳ gió mùa Tây Nam (05/07/2022)

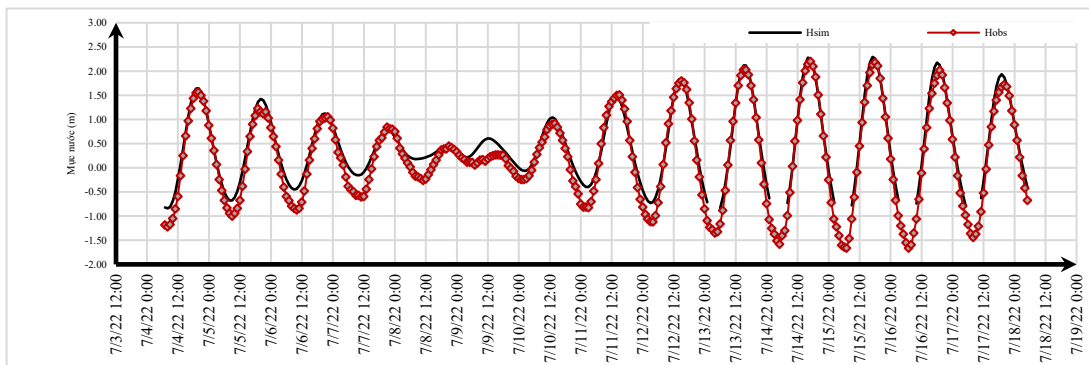
Kết quả mô phỏng mực nước trong các giai đoạn gió mùa được trình bày trong Hình 3 và Hình 4. Độ tin cậy của mô hình thủy động lực được đánh giá thông qua so sánh với số liệu mực nước quan trắc tại trạm Hòn Dấu, cho thấy sự phù hợp tốt về cả pha dao động và biên độ triều (Hình 5 và Hình 6). Các tham số chính của mô hình được thiết lập theo khuyến nghị của phần mềm, trong đó ma sát đáy được biểu diễn bằng hệ số Manning, độ nhớt rối được mô phỏng theo tiếp cận Smagorinsky với giá trị 0,28m²/s. Ngoài ra, một số tham số như lực Coriolis được hiệu chỉnh theo điều kiện địa phương, cùng với việc kiểm soát tiêu chuẩn hội tụ $CFL=0,85$, nhằm nâng cao tính ổn định và độ tin cậy của mô phỏng thủy động lực, làm cơ sở cho mô hình lan truyền rác thải nhựa.

3.2. Kết quả mô phỏng quá trình phát tán rác thải nhựa

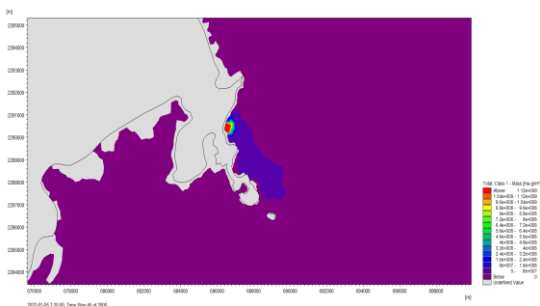
Trong điều kiện gió mùa Đông Bắc, quá trình lan truyền rác thải nhựa ghi nhận sự khởi phát từ khu vực khu 1 - bãi biển Đồ Sơn, nơi rác thải bắt đầu xuất hiện và tập trung với cường độ cao ở dải ven bờ. Việc lựa



Hình 5. So sánh mực nước thực đo (Hobs) và mô phỏng (Hsim) tại trạm Hòn Dấu giai đoạn từ 05/01/2022 đến 18/01/2022

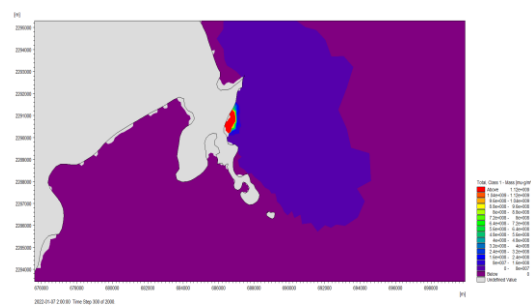


Hình 6. So sánh mực nước thực đo (Hobs) và mô phỏng (Hsim) tại trạm Hòn Dấu giai đoạn từ 04/07/2022 đến 18/07/2022



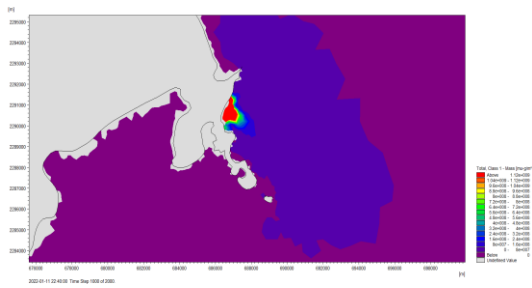
Hình 7. Mô phỏng lan truyền rác thải nhựa kỳ gió

chọn khu 1 làm nguồn rác thải nhựa được xây dựng dựa trên điều kiện thực tiễn môi trường, du lịch và kinh tế tại khu vực. Đây là nơi tập trung các hoạt động du lịch, dịch vụ ven biển và sinh hoạt dân cư, do đó được xem là vùng có khả năng phát sinh rác thải nhựa cao. Dưới tác động tổng hợp của gió mùa và địa hình bờ biển có dạng cong kết hợp với các vùng nước nông, rác thải nhựa không chỉ bị giữ lại gần bờ mà còn dần dịch chuyển theo hướng mở của vịnh ra phía Đông và Đông Nam, tiến về khu 2. Tại thời điểm đầu kỳ mô

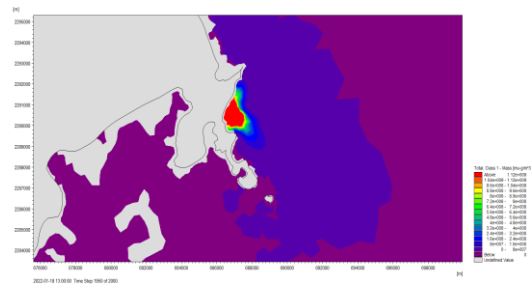


Hình 8. Mô phỏng lan truyền rác thải nhựa kỳ gió

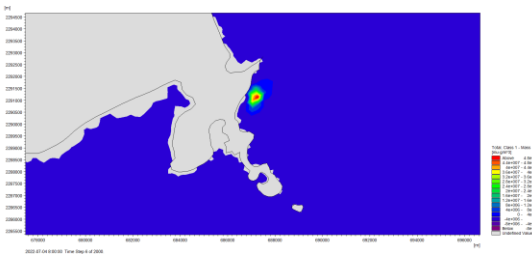
phòng (05/01), sự tập trung cục bộ của rác thải nhựa phản ánh rõ vai trò của khu vực tiếp giáp đất liền như một vùng giữ và tích tụ rác (Hình 7). Trong các ngày tiếp theo (07/01 và 11/01), phạm vi phân bố được mở rộng đáng kể về phía ngoài khơi, hình thành dải lan truyền kéo dài theo hành lang dòng chảy ven bờ (Hình 8, 9). Đến cuối kỳ mô phỏng (18/01), mặc dù vùng ảnh hưởng đã bao trùm diện tích lớn hơn, các khu vực tích tụ ven bờ vẫn tồn tại ổn định, cho thấy nguy cơ ô nhiễm kéo dài trong suốt mùa gió Đông Bắc (Hình 10).



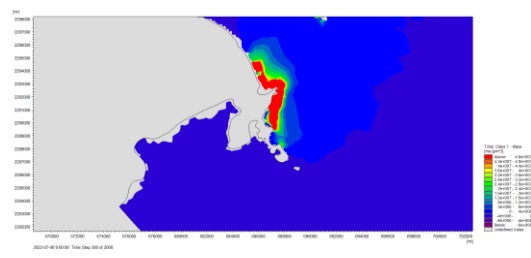
Hình 9. Mô phỏng lan truyền rác thải nhựa kỳ gió mùa Đông Bắc ngày 11/01/2022



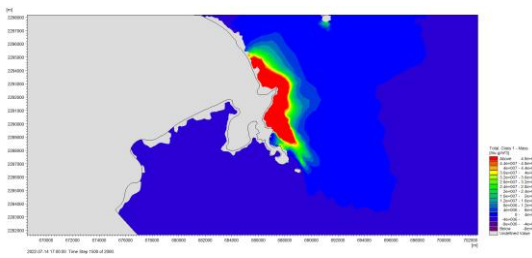
Hình 10. Mô phỏng lan truyền rác thải nhựa kỳ gió mùa Đông Bắc ngày 18/01/2022



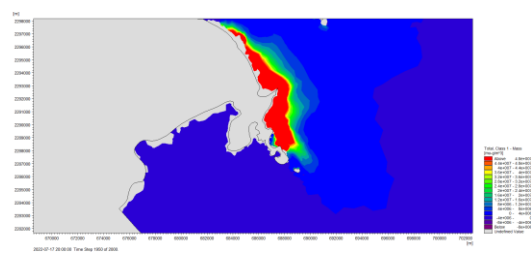
Hình 11. Mô phỏng lan truyền rác thải nhựa kỳ gió mùa Tây Nam ngày 04/07/2022



Hình 12. Mô phỏng lan truyền rác thải nhựa kỳ gió mùa Tây Nam ngày 06/07/2022



Hình 13. Mô phỏng lan truyền rác thải nhựa kỳ gió mùa Tây Nam ngày 14/07/2022



Hình 14. Mô phỏng lan truyền rác thải nhựa kỳ gió mùa Tây Nam ngày 17/07/2022

Bảng 2. Kết quả mô phỏng lan truyền rác thải nhựa theo kịch bản mùa gió Đông Bắc và Tây Nam

Đặc điểm	Mùa gió Đông Bắc	Mùa gió Tây Nam
Hướng lan truyền chính	Từ ven bờ ra ngoài khơi theo hướng Đông - Đông Nam	Dịch chuyển và dồn ép dọc theo bờ, mở rộng theo cả hai hướng Đông Bắc và Đông Nam
Phạm vi lan truyền	Mở rộng dần ra vùng biển ngoài khơi theo thời gian	Chủ yếu lan dọc bờ, phạm vi ngoài khơi mở rộng hạn chế
Đặc điểm tích tụ ven bờ	Tồn tại các điểm tích tụ ổn định sát bờ trong suốt kỳ mô phỏng	Hình thành dải tích tụ kéo dài song song đường bờ
Biến động theo thời gian	Phạm vi ảnh hưởng tăng dần, nhưng lõi tích tụ ven bờ duy trì ổn định	Mật độ và khối lượng tăng nhanh trong thời kỳ gió ổn định
Cơ chế chi phối chính	Gió Đông Bắc kết hợp địa hình bờ cong và vùng nước nông	Gió Tây Nam ép rác dọc bờ, kết hợp hình thái bờ cong giữ rác
Mức độ nguy cơ ô nhiễm	Cao và kéo dài trong suốt mùa gió Đông Bắc	Rất cao trong mùa mưa, trùng với cao điểm du lịch

Trong điều kiện gió mùa Tây Nam, quy luật lan truyền rác thải nhựa tại vùng ven biển Đồ Sơn cho thấy sự khác biệt rõ ràng so với giai đoạn gió mùa Đông Bắc, do chịu tác động trực tiếp của hướng gió chi phối kết hợp với đặc điểm hình thái bờ biển mở về phía Đông Bắc. Ở giai đoạn đầu kỳ mô phỏng (04/7/2022), rác thải nhựa chủ yếu phân bố cục bộ tại

khu vực gần bờ với mức độ thấp đến trung bình (Hình 11). Khi gió Tây Nam duy trì ổn định trong các ngày 06/7 và 14/7/2022, rác thải nhựa có xu hướng dịch chuyển và dồn ép dọc theo bờ phía Đông Bắc của bán đảo Đồ Sơn, hình thành dải tích tụ kéo dài song song với đường bờ. Đồng thời, mật độ và khối lượng rác thải gia tăng nhanh, mở rộng phạm vi phân bố theo cả hai

hướng Đông Bắc và Đông Nam (Hình 12, 13). Đến thời điểm cuối kỳ mô phỏng (17/7/2022), rác thải nhựa bắt đầu lan tỏa nhẹ ra vùng biển phía ngoài, tuy nhiên các khu vực tích tụ ven bờ vẫn duy trì cường độ cao. Điều này cho thấy sự kết hợp giữa địa hình bờ biển dạng cong và tác động của gió mùa Tây Nam đã tạo điều kiện thuận lợi cho việc giữ và tích lũy rác thải nhựa dọc bờ, làm gia tăng nguy cơ ô nhiễm kéo dài trong mùa mưa (Hình 14). Bảng 2 cho thấy gió mùa Đông Bắc làm gia tăng phạm vi lan truyền rác thải nhựa ra ngoài khơi nhưng vẫn duy trì các điểm tích tụ ven bờ, trong khi gió mùa Tây Nam gây tích tụ mạnh và kéo dài dọc bờ biển Đồ Sơn. Sự khác biệt này là cơ sở khoa học quan trọng để xây dựng các giải pháp thu gom và quản lý rác thải nhựa theo mùa, phục vụ bảo vệ môi trường và phát triển du lịch bền vững.

4. Kết luận

Nghiên cứu đã triển khai phương pháp mô phỏng số dựa trên mô hình MIKE 21/3 Coupled Model FM nhằm phân tích quy luật lan truyền rác thải nhựa tại vùng ven biển Đồ Sơn - Hải Phòng trong các điều kiện khí tượng - hải văn điển hình. Kết quả mô phỏng cho thấy rác thải nhựa có xu hướng tập trung với cường độ cao tại dải ven bờ, đồng thời phân bố và dịch chuyển theo những hướng khác nhau tương ứng với từng chế độ gió mùa. Các nghiên cứu trước đây tại khu vực chủ yếu tập trung mô tả hiện trạng, tác động của phân bố rác thải nhựa và vi nhựa dựa trên số liệu khảo sát tại điểm quan trắc, còn hạn chế trong việc giải thích cơ chế lan truyền và biến động theo thời gian của rác thải nhựa dưới tác động của điều kiện hải văn - khí tượng. Tính mới của nghiên cứu nằm ở cách tiếp cận rác thải nhựa như một thành phần ô nhiễm riêng biệt, kết hợp chặt chẽ giữa mô hình thủy động lực và mô phỏng chuyển động hạt, qua đó làm rõ các khu vực có nguy cơ tích tụ và xu thế biến động theo thời gian. Những kết quả này góp phần cung cấp thông tin khoa học hỗ trợ các cơ quan quản lý địa phương trong việc nhận diện nguồn phát sinh, định hướng các giải pháp thu gom và kiểm soát rác thải nhựa, hướng tới bảo vệ môi trường biển và phát triển bền vững khu vực Hải Phòng - Đồ Sơn.

Bên cạnh các kết quả đạt được, nghiên cứu còn tồn tại một số hạn chế do chưa xem xét đầy đủ sự đa dạng về hình thái, kích thước và tính chất vật lý của các loại rác thải nhựa, cũng như dữ liệu thực tế về nồng độ và vị trí tích tụ rác thải nhựa. Trong thời gian tới, hướng nghiên cứu cần được mở rộng thông qua việc tích hợp dữ liệu viễn thám có độ phân giải cao, phân loại chi tiết các nhóm rác thải và mở rộng phạm vi mô phỏng

tại các tầng nước khác nhau nhằm nâng cao độ tin cậy của mô hình và tăng khả năng ứng dụng trong công tác quản lý môi trường biển.

Lời cảm ơn

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Trường Đại học Hàng hải Việt Nam trong đề tài mã số: DT25-26.11.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] UNEP (2018), *Single-Use Plastic - A Roadmap for Sustainability*.
- [2] WWF (2020), *Addressing marine plastic pollution in ASIA: Potential key elements of a global agreement*, Workshop summary report.
- [3] UNEP (2024), *Report of the intergovernmental negotiating committee to develop an international legally binding instrument on plastic pollution, including in the marine environment, on the work of its fourth session*, Ottawa, pp.23-29.
- [4] E. van Sebille et al. (2020), *The physical oceanography of the transport of floating marine debris*, Environmental Research Letters, Vol.15, No.2, p. 023003.
- [5] J. Jiang, L. He, S. Zheng, J. Liu, and L. Gong (2024), *A review of microplastic transport in coastal zones*, Marine Environmental Research, Vol.196, p. 106397.
- [6] GESAMP (2019), *Guidelines for the monitoring and assessment of plastic litter in the ocean*, In: Rep. Stud. GESAMP No.99. IMO, London, 123 p.
- [7] Watson-Wright, Wendy M., et al. (2024), *The UN Joint Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Environmental Protection (GESAMP)—An ocean science-policy interface standing the test of time*, Marine Pollution Bulletin, Vol.199, p. 115917.
- [8] H. G. Hoang, N. S. H. Nguyen, T. Zhang, H.-T. Tran, S. Mukherjee, and R. Naidu (2025), *A review of microplastic pollution and human health risk assessment: current knowledge and future outlook*, Frontiers in Environmental Science, Vol.13, p. 1606332.
- [9] L. Lebreton, S.-J. Royer, A. Peytavin, W. J. Strietman, I. Smeding-Zuurendonk, and M. Egger (2022), *Industrialised fishing nations largely contribute to floating plastic pollution in the North Pacific subtropical gyre*, Scientific Reports, Vol.12, No.1.

- [10] M. Parsamanesh and M. Izadi (2024), *Global stability and bifurcations in a mathematical model for the waste plastic management in the ocean*, Scientific Reports, Vol.14, No.1.
- [11] R. Ramaswamy, G. Mani, S. Palanisamy, and O. Ege (2025), *Mathematical Model of the Waste Plastic Management via ABC Fractional Order Derivative*, International Journal of Mathematics and Mathematical Sciences, Vol.2025, No.1.
- [12] Nguyễn Thanh Bình, Nguyễn Lê Tuấn, Nguyễn Thị Bích Phương, Bùi Ngọc Quỳnh, Đinh Kim Ngân (2022), *Tổng quan ảnh hưởng vi nhựa tới động vật đáy biển trên thế giới và những nghiên cứu đầu tiên ở Việt Nam*, Tạp chí Khoa học Đại học Tân Trào, Tập 8, Số 2, tr.123-130.
- [13] Hà Thị Hiền, Nguyễn Thị Hằng Nga, Nguyễn Thị Kim Cúc (2023), *Kết quả nghiên cứu mật độ vi nhựa trong mẫu cát biển khu vực bờ biển bãi dài, tỉnh Khánh Hòa*, Tạp chí Khoa học Kỹ thuật Thủy lợi và Môi trường, Số 85, tr.27-34.
- [14] Đỗ Thị Phương Thảo, Nguyễn Gia Trọng, Dương Anh Quân, Nghiêm Văn Tuấn (2024), *Nghiên cứu phân tích khả năng ước tính lượng rác thải nhựa phát tán trực tiếp ra môi trường biển từ các hoạt động kinh tế - xã hội trên Biển Đông*, Tạp chí Khoa học đo đạc và bản đồ, Số 61, tr.41-48.
- [15] Mai Trọng Hoàng, Trần Văn Thụy, Mai Thị Huyền (2025), *Nghiên cứu sự phân bố, tích lũy rác thải nhựa tại một số cửa sông, bãi biển tại tỉnh Thanh Hóa*, Tạp chí Khoa học biến đổi khí hậu, Số 34, tr.81-89.
- [16] Nguyễn Quốc Trinh và cộng sự (2022), *Ứng dụng mô hình 2D cho bài toán truyền tải rác thải nhựa theo đặc trưng mùa tại vùng biển Đà Nẵng - Quảng Nam*, Tạp chí Khí tượng Thủy văn, Số 743, tr.36-51.
- [17] DHI, *MIKE 21 & MIKE 3 Flow Model FM - Hydrodynamic Module Scientific Documentation*. Hørsholm, Denmark: Danish Hydraulic Institute, 2014.
- [18] DHI, *MIKE 21 & MIKE 3 Flow Model FM - Particle Tracking Module Scientific Documentation*. Hørsholm, Denmark: Danish Hydraulic Institute, 2014.
- [19] Dương Thanh Nghị và cộng sự (2023), *Ô nhiễm vi nhựa trong vùng biển ven bờ phía Bắc Việt Nam*, NXB Khoa học tự nhiên & Công nghệ, 286 trang.
- [20] Tổng Cục Biển và Hải đảo Việt Nam (2020), *Hồ sơ rác thải nhựa đại dương*, 187 trang.
- [21] Nguyễn Công Sơn và cộng sự (2024), *Tổng quan một số nghiên cứu về chất thải nhựa biển ở Việt Nam và đề xuất hướng nghiên cứu trong tương lai*, Tạp chí Môi trường, chuyên đề 1, 7 trang.

Ngày nhận bài:	22/01/2026
Ngày nhận bản sửa:	03/02/2026
Ngày duyệt đăng:	13/02/2026