



## Nghiên cứu, xây dựng mô hình lan truyền dầu phục vụ đánh giá tai biến và rủi ro tràn dầu khu vực ven biển Khánh Hoà – Nha Trang

Nguyễn Xuân Tùng<sup>1,2\*</sup>, Bùi Thị Bảo Anh<sup>1</sup>, Phạm Thị Thu Hằng<sup>1</sup>,  
Nguyễn Thị Nhân<sup>1</sup>, Phạm Đức Hùng<sup>1</sup>, Phan Kiều Ngân<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Viện Khoa học Trái đất, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam (VAST)

<sup>2</sup> Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, Đại học Quốc gia Hà Nội, Việt Nam

Email tác giả liên hệ: [nxtung@ies.vast.vn](mailto:nxtung@ies.vast.vn)

<https://doi.org/10.5281/zenodo.17224192>

### Tóm tắt:

Sự cố tràn dầu gây ra nhiều nguy cơ nghiêm trọng đối với hệ sinh thái ven biển và các hoạt động kinh tế – xã hội, tuy nhiên các nghiên cứu đánh giá tổng hợp ở Việt Nam vẫn còn hạn chế. Nghiên cứu này xây dựng khung phương pháp kết hợp mô hình lan truyền dầu OpenDrift và bản đồ nhạy cảm môi trường (ESI – NOAA) nhằm đánh giá tác động tiềm ẩn của sự cố tràn dầu giả định tại vịnh Nha Trang. Kết quả mô phỏng trong 15 ngày cho thấy vệt dầu có xu hướng lan về phía nam, ảnh hưởng trực tiếp đến các hệ sinh thái nhạy cảm như rạn san hô, thảm cỏ biển và khu vực nuôi trồng thủy sản. Việc chồng ghép kết quả mô phỏng với bản đồ ESI cho phép tính toán chỉ số rủi ro ( $RI = CI \times SI \times EI$ ), phản ánh tần suất tiếp xúc, mức độ nhạy cảm và thời gian phơi nhiễm. Kết quả xác định một số khu vực có mức rủi ro rất cao, đặc biệt là vùng Hòn Mun và ven bờ phía đông vịnh Nha Trang. Cách tiếp cận này mang tính khả thi, có thể áp dụng cho đánh giá rủi ro không gian và hỗ trợ công tác ứng cứu, bảo vệ môi trường ven biển Việt Nam.

**Từ khoá:** Tràn dầu; Mô hình OpenDrift; Bản đồ ESI; Nha Trang; Đánh giá tác động; Chỉ số rủi ro.

Ngày nhận bài: 14/09/2025

Ngày sửa lại: 21/9/2025

Ngày chấp nhận đăng: 22/9/2025

Ngày xuất bản: 04/10/2025

## Modeling Oil Spill Trajectories for Hazard and Risk Assessment in the Coastal Area of Khanh Hoa – Nha Trang

Nguyen Xuan Tung<sup>1\*</sup>, Bui Thi Bao Anh<sup>1</sup>, Pham Thi Thu Hang<sup>1</sup>,  
Nguyen Thi Nhan<sup>1</sup>, Pham Duc Hung<sup>1</sup>, Phan Kieu Ngan<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Institute of Earth Sciences, VAST

<sup>2</sup>VNU University of Science, Vietnam National University, Hanoi

\* Corresponding address: [nxtung@ies.vast.vn](mailto:nxtung@ies.vast.vn)

### Abstract:

Oil spills pose significant threats to coastal ecosystems and socio-economic activities, yet integrated assessment approaches remain limited in Vietnam. This study presents a combined framework using the OpenDrift oil spill trajectory model and the Environmental Sensitivity Index (ESI – NOAA) to evaluate the potential impacts of a hypothetical spill in Nha Trang Bay. A 15-day simulation demonstrates a predominant southward drift, with oil slicks exposing sensitive habitats such as coral reefs, seagrass beds, and aquaculture areas. By overlaying the modeled spill distribution with the ESI map, we calculated a risk index ( $RI = CI \times SI \times EI$ ) that accounts for oil contact frequency, ecosystem sensitivity, and exposure duration. The results highlight several hotspots of very high risk, notably around Hon Mun and the eastern shoreline of Nha Trang Bay. The proposed approach provides a reproducible tool for spatially explicit oil spill risk assessment, supporting contingency planning and environmental protection in Vietnam's coastal zones.

**Keywords:** Oil spill; OpenDrift model; ESI map; Nha Trang; Impact assessment; Risk index.

Submission received: 14/09/2025

Revised: 21/9/2025

Accepted: 22/9/2025

Published: 04/10/2025

## 1. Giới thiệu

Sự cố tràn dầu là một trong những hiểm họa môi trường nghiêm trọng nhất đối với các vùng biển và ven bờ trên thế giới. Hàng năm, trung bình có từ 100.000 – 150.000 tấn



dầu tràn ra môi trường biển từ các sự cố vận tải biển, khai thác dầu khí và hoạt động cảng biển [1]. Các thảm họa tràn dầu lớn như Exxon Valdez (1989, Alaska, 37.000 tấn dầu) hay Deepwater Horizon (2010, Vịnh Mexico, 780.000 m<sup>3</sup> dầu) đã cho thấy hậu quả lâu dài đối với hệ sinh thái biển, nguồn lợi thủy sản và đời sống cộng đồng [2,3]. Nghiên cứu quốc tế cũng chỉ ra rằng sự phân tán và tác động của dầu phụ thuộc chặt chẽ vào điều kiện hải dương học (gió, sóng, dòng chảy) cũng như mức độ nhạy cảm của các hệ sinh thái ven bờ [4].

Trong khu vực Đông Nam Á, nguy cơ tràn dầu đặc biệt cao do đây là tuyến hàng hải quốc tế huyết mạch, vận chuyển khoảng 50% lượng dầu thô toàn cầu [5]. Các nghiên cứu tại eo biển Malacca và vịnh Thái Lan cho thấy mật độ sự cố tràn dầu ở mức cao, gây áp lực lớn đối với công tác ứng phó [6]. Ở Biển Đông, các nghiên cứu [7,8] đã ứng dụng mô hình GNOME và MIKE để mô phỏng sự phát tán dầu, chỉ ra rằng gió mùa và đặc điểm địa hình bờ biển là yếu tố chi phối chính đường đi của dầu loang. Tuy nhiên, việc kết hợp mô hình lan truyền dầu với chỉ số nhạy cảm môi trường (Environmental Sensitivity Index – ESI) trong khu vực vẫn còn rất hạn chế.

Tại Việt Nam, nguy cơ tràn dầu được đánh giá ở mức cao do nước ta có bờ biển dài >3.260 km, nhiều cảng biển và tuyến vận tải quốc tế quan trọng [9]. Một số nghiên cứu đã ứng dụng mô hình GNOME để dự báo đường đi của dầu cho khu vực miền Trung [10], hoặc sử dụng MIKE 21 trong mô phỏng tại Vũng Tàu – Cần Giờ [11]. Tuy nhiên, phần lớn các nghiên cứu trong nước mới tập trung vào khía cạnh mô phỏng kỹ thuật, trong khi đánh giá rủi ro tích hợp với bản đồ ESI chuẩn NOAA – vốn đã phổ biến ở nhiều quốc gia – vẫn chưa được triển khai rộng rãi.

Đặc biệt, Nha Trang – Khánh Hòa là khu vực có ý nghĩa chiến lược: vừa là trung tâm du lịch biển quốc gia, vừa có hệ sinh thái đa dạng với rạn san hô, cỏ biển, rừng ngập mặn và Khu bảo tồn biển Hòn Mun – nơi có tính nhạy cảm sinh thái cao nhất Việt Nam [12]. Đồng thời, khu vực này tập trung nhiều hoạt động hàng hải, nuôi trồng thủy sản và du lịch ven biển, khiến rủi ro và hậu quả của một sự cố tràn dầu có thể rất nghiêm trọng. Tuy nhiên, cho đến nay chưa có nghiên cứu nào tích hợp mô hình lan truyền dầu với bản đồ nhạy cảm môi trường ESI cho vùng biển Nha Trang, để cung cấp cơ sở khoa học cho công tác quản lý rủi ro và ứng phó sự cố.

Do đó, nghiên cứu này được thực hiện với các mục tiêu chính: (i) mô phỏng kịch bản tràn dầu tại ven biển Nha Trang; (ii) chồng ghép kết quả với bản đồ ESI để xác định các khu vực nhạy cảm; (iii) tính toán chỉ số rủi ro RI, phục vụ công tác quản lý và ứng phó sự cố.

## 2. Khu vực nghiên cứu

Thành phố Nha Trang (Khánh Hòa) nằm ở trung tâm vùng duyên hải Nam Trung Bộ, là một trong những khu vực phát triển mạnh về kinh tế biển, đặc biệt là du lịch, nuôi trồng và khai thác thủy sản. Nơi đây tập trung nhiều cảng biển quan trọng như cảng Nha Trang, cảng Cam Ranh, cùng hệ sinh thái biển đa dạng (rạn san hô, cỏ biển, rừng ngập mặn) và các khu bảo tồn biển (Hòn Mun). Do đó, khu vực này rất nhạy cảm với sự cố tràn dầu từ tàu vận tải, hoạt động khai thác dầu khí, hoặc các tuyến hàng hải quốc tế đi qua.



ứng dụng cụ thể như mô hình hóa sự cố tràn dầu, các hoạt động tìm kiếm và cứu nạn, nghiên cứu ô nhiễm biển, và theo dõi các vật thể nổi như rác biển hoặc phao trôi dạt.

Bài báo này sử dụng OpenOil, một mô-đun phụ mới được xây dựng dành cho vận chuyển và kết quả sự cố tràn dầu, là một phần của OpenDrift. Hiện nay, nó được sử dụng như một công cụ để dự đoán đặc điểm và quỹ đạo của sự cố tràn dầu [16]. Một trong những ứng dụng quan trọng nhất của mô hình tính toán này là OpenOil có thể dự đoán chính xác quỹ đạo của sự cố tràn dầu, cung cấp cho các cơ quan chức năng và các cơ quan liên quan dữ liệu cần thiết để nhanh chóng xác định cách tối ưu hóa các nỗ lực tìm kiếm, cứu hộ và làm sạch.

OpenOil bao gồm Thư viện Dầu ADIOS, ghi nhận các thuộc tính vật lý của khoảng 1000 loại dầu khác nhau trên toàn cầu [17]. Đối với các quá trình phân hủy và di chuyển dầu, mô phỏng này tích hợp tất cả các quá trình cơ bản—như chuyển động do dòng chảy, xáo trộn, bay hơi, phân tán, kết dính, khuếch tán, phân hủy sinh học, và tạo nhũ—trong các khoảng thời gian từ vài giờ đến vài ngày. Quá trình phong hóa dựa trên gói phần mềm NOAA ERR-ERD Oil Library [18].

### 3.4. Kịch bản sự cố và tính toán chỉ số rủi ro RI

Kịch bản dựa trên vị trí cảng biển, tuyến hàng hải trọng điểm.

Mô phỏng 15 ngày với các đầu vào: gió, dòng chảy, loại dầu (diesel 841.2 kg/m<sup>3</sup>).

Chỉ số rủi ro:  $RI = CI \times SI \times EI$ , trong đó CI: tần suất tiếp xúc, SI: nhạy cảm ESI, EI: phơi nhiễm.

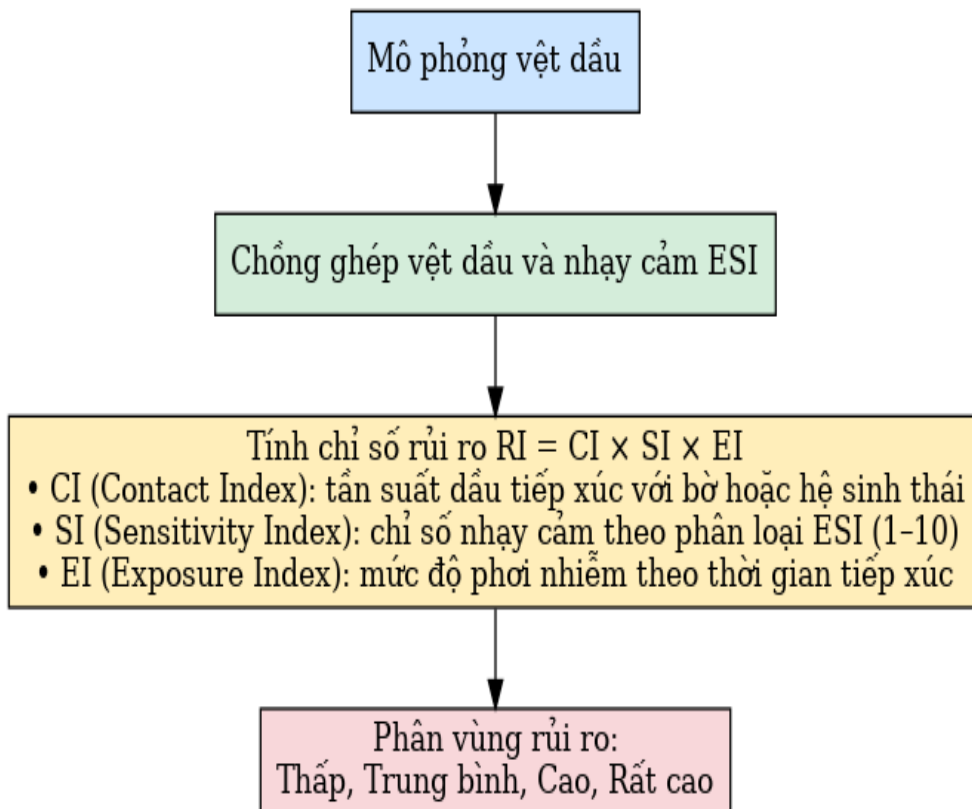
Phân cấp:

Thấp ( $RI < 50$ )

Trung bình ( $50 \leq RI < 150$ )

Cao ( $150 \leq RI < 300$ )

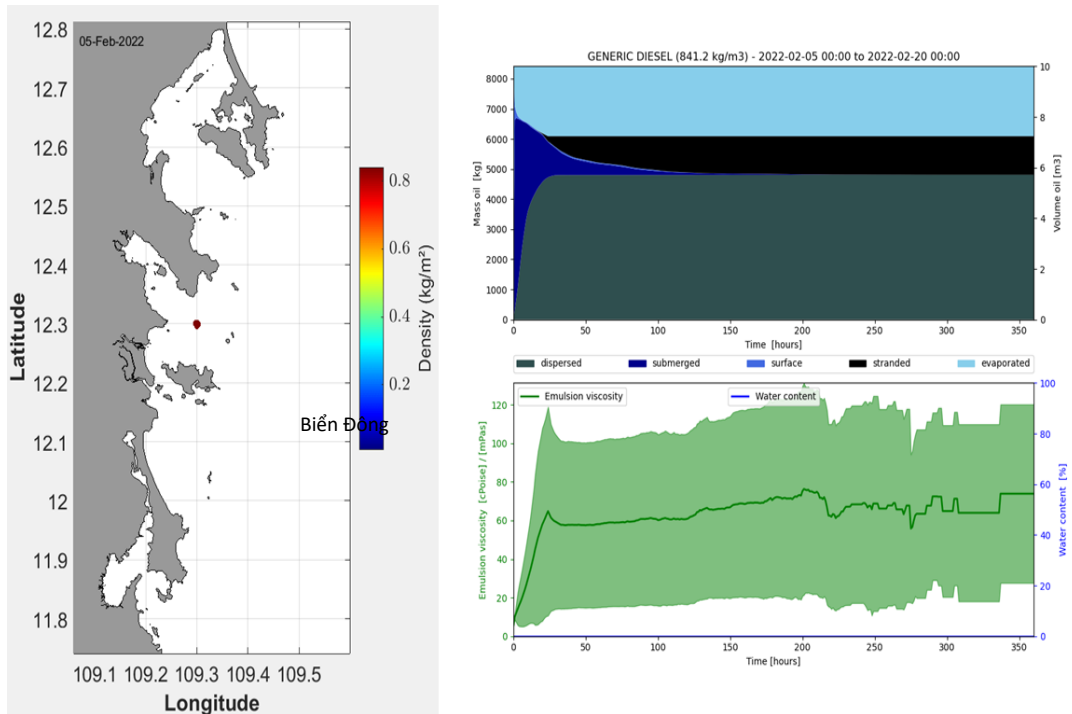
Rất cao ( $RI \geq 300$ ).



Hình 2. Sơ đồ quy trình nghiên cứu

## 4. Kết quả và thảo luận

### 4.1. Mô phỏng lan truyền dầu

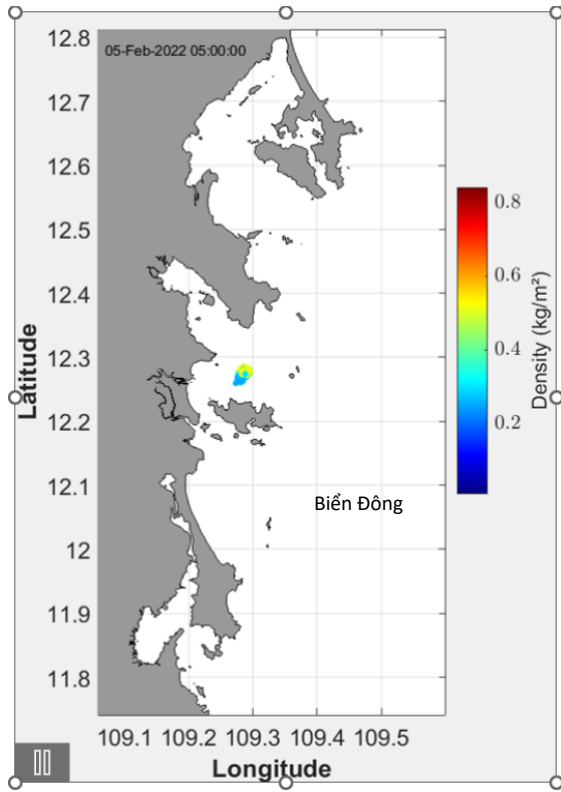


Hình 3. Vị trí sự cố tràn dầu giả định ngoài khơi ven biển Nha Trang (12.3°N, 109.3°E) (bên trái) và kết quả mô phỏng sự biến đổi khối lượng dầu theo thời gian đối với các trạng thái khác nhau (bề mặt, phân tán, ngập chìm, bay hơi, dạt bờ) cùng với đặc tính nhũ tương (độ nhớt, hàm lượng nước) trong 15 ngày tính toán (bên phải).

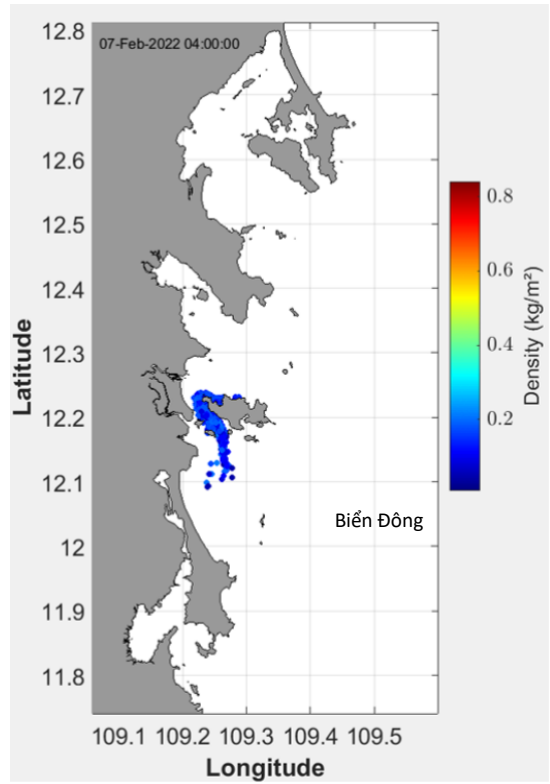
Từ đồ thị cân bằng khối lượng (Hình 3, bên phải), kết quả mô phỏng 15 ngày (05–20/02/2025) cho thấy khối lượng dầu ban đầu khoảng 8,0 m<sup>3</sup> (≈ 6.729,6 kg). Sau giai đoạn phong hóa (weathering), khối lượng dầu phân bố theo các trạng thái chính được ước tính như sau: dầu phân tán ≈ 4.800 kg (≈ 71,3%), dầu bay hơi ≈ 1.800 kg (≈ 26,8%), và dầu mắc cạn ≈ 130 kg (≈ 1,9%) (Bảng 1). Phần lớn khối lượng dầu chuyển sang dạng phân tán trong cột nước, trong khi phần bay hơi chiếm tỷ lệ đáng kể, phản ánh tính dễ bay hơi của mẫu dầu diesel. Độ nhớt nhũ tương tăng mạnh trong vài chục giờ đầu và duy trì ở mức cao, cho thấy sự hình thành nhũ tương nước-trong-dầu bền vững. Quá trình này làm dầu tồn tại lâu hơn trên bờ và làm giảm hiệu quả của các biện pháp cơ học như hót váng (skimming).

Bảng 1. Phân bố khối lượng dầu theo trạng thái

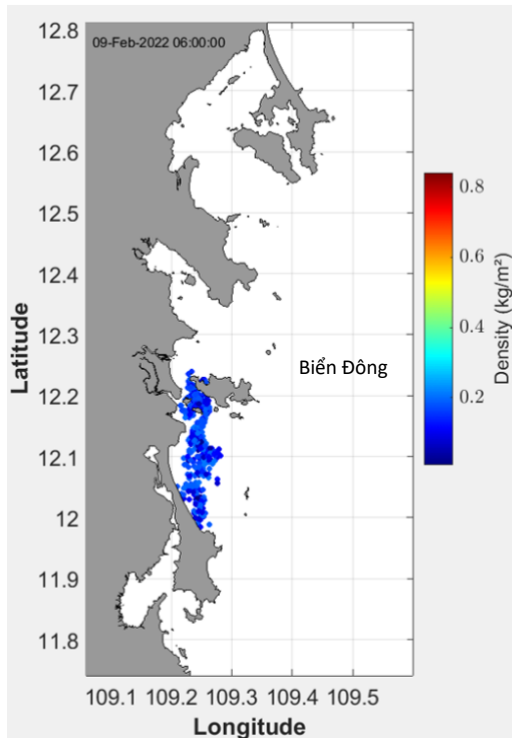
| Trạng thái   | Khối lượng (kg) | Tỷ lệ (%) | Thể tích tương đương (m <sup>3</sup> ) |
|--------------|-----------------|-----------|--|
| Tổng ban đầu | 6 729.6         | 100.00    | 8.000                                  |
| Dầu phân tán | 4 800           | 71.28     | 5.707                                  |
| Dầu bay hơi  | 1 800           | 26.77     | 2.139                                  |



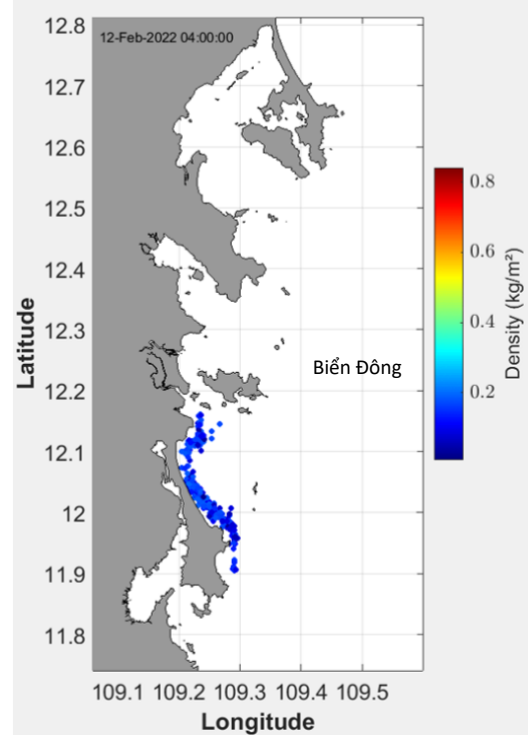
Hướng đi vệt dầu ngày 05/02/2022



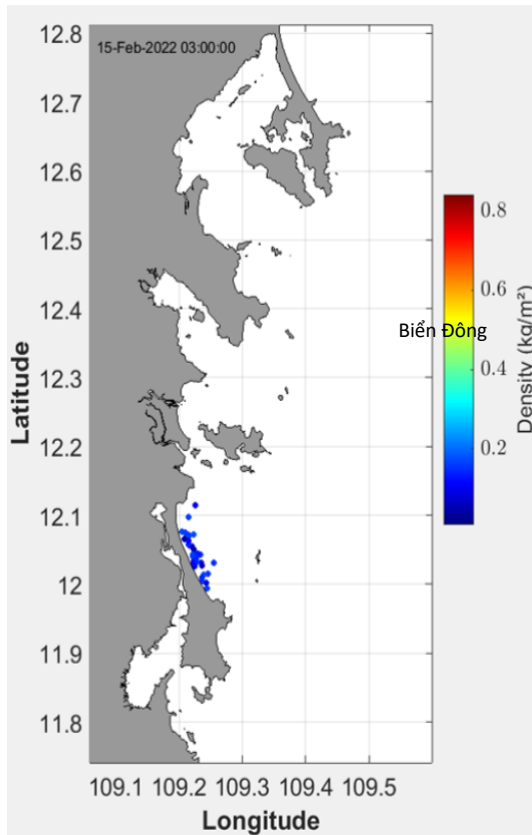
Hướng đi vệt dầu ngày 07/02/2022



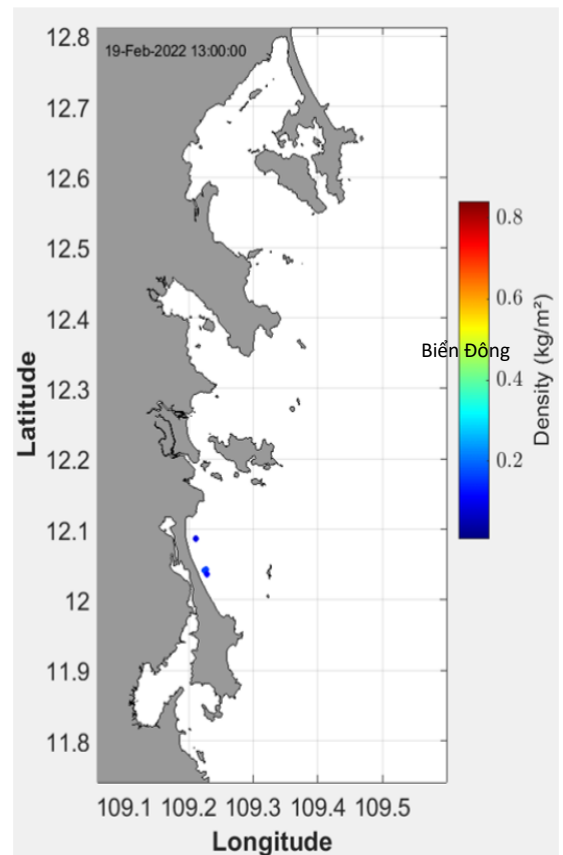
Hướng đi vệt dầu ngày 09/02/2022



Hướng đi vệt dầu ngày 12/02/2022



Hướng đi vệt dầu ngày 15/02/2022



Hướng đi vệt dầu ngày 19/02/2022

Hình 4. Kết quả mô phỏng hướng đi của vệt dầu

Kết quả mô phỏng theo chuỗi thời gian (05–19/02/2022) cho thấy vệt dầu từ nguồn phát thải ngoài khơi ( $\sim 12.3^{\circ}\text{N}$ ,  $109.3^{\circ}\text{E}$ ) di chuyển chủ yếu theo hướng nam – đông nam, chịu chi phối bởi gió mùa và dòng chảy ven bờ.

Trong 24 giờ đầu (05/02), vệt dầu tập trung quanh nguồn, diện tích nhỏ, mật độ cao, chưa lan xa, chủ yếu đe dọa tàu thuyền hoạt động ngoài khơi. Đến ngày thứ 2 (07/02), dầu bắt đầu lan về phía nam – đông nam và tiếp cận khu vực ven bờ phường Vĩnh Nguyên, Vĩnh Trường (TP. Nha Trang), gây nguy cơ đối với các bãi tắm Trần Phú và khu nuôi trồng thủy sản gần bờ.

Sau 4 ngày (09/02), vệt dầu lan rộng dọc ven bờ phía đông, rõ rệt tại vùng biển quanh Hòn Mun và Hòn Tằm – nơi có rạn san hô và khu bảo tồn biển, đồng thời ảnh hưởng tới các khu vực nuôi trồng thủy sản Vĩnh Ngọc. Đến ngày 7 (12/02), phạm vi dầu bao phủ phần lớn ven bờ phía đông vịnh Nha Trang, kéo dài từ Hòn Tre đến Bãi Dài, nhiều đoạn bờ có nguy cơ tiếp xúc trực tiếp, trong đó có khu du lịch biển và bãi tắm đông khách.

Đến ngày 10 (15/02), vệt dầu suy giảm về mật độ nhưng dịch chuyển xuống phía nam ( $\sim 12.1^{\circ}\text{N}$ ), đe dọa các bãi cỏ biển và NTTS tại Cam Hải Đông – Cam Lâm. Sau 14 ngày (19/02), dầu chỉ còn tồn lưu dạng đốm nhỏ, mật độ thấp gần vùng ven bờ nam Nha Trang, nguy cơ thấp nhưng vẫn cần giám sát phục hồi sinh thái lâu dài.

Bảng 2. Các khu vực chịu tác động của vệt dầu theo thời gian và các biện pháp ứng phó

| Thời gian       | Trạng thái vệt dầu                                       | Khả năng dạt bờ (ước tính) | Khu vực/địa danh chịu tác động                                   | Ứng phó khuyến nghị  |
|-----------------|--|----------------------------|--|--|
| 0–24h (05/02)   | Vệt dầu tập trung quanh nguồn, diện tích nhỏ, mật độ cao | 10–20%                     | Ngoài khơi đông Nha Trang (~12.3°N, 109.3°E)                     | Khoanh vùng khẩn cấp, phao quây tại nguồn, cảnh báo tàu thuyền                 |
| 2 ngày (07/02)  | Vệt lan rộng về phía nam–đông nam, tiếp cận ven bờ       | 30–40%                     | Ven biển Vĩnh Nguyên, Vĩnh Trường; bãi tắm Trần Phú; NTTS gần bờ | Tăng cường phao quây, triển khai skimmer, cảnh báo NTTS                        |
| 4 ngày (09/02)  | Vệt dầu rõ rệt dọc ven bờ, lan tới Hòn Mun – Hòn Tằm     | 50–60%                     | KBTB Hòn Mun, rạn san hô quanh Hòn Tằm, NTTS Vĩnh Ngọc           | Ưu tiên bảo vệ rạn san hô, rào chắn khu NTTS, huy động lực lượng ứng cứu       |
| 7 ngày (12/02)  | Vệt trải dài ven bờ phía đông, diện tích lớn             | 60–70%                     | Từ Hòn Tre đến Bãi Dài, nhiều bãi du lịch biển và NTTS           | Bố trí rào chắn tại cửa vào NTTS, triển khai thu gom cơ học, cảnh báo du khách |
| 10 ngày (15/02) | Vệt dầu suy giảm, lan xuống phía nam (~12.1°N)           | 30–50%                     | Ven bờ Cam Hải Đông – Cam Lâm, khu vực cô biển và NTTS           | Thu gom cơ học, giám sát môi trường nước, hỗ trợ NTTS bị ảnh hưởng             |
| 14 ngày (19/02) | Dầu tồn lưu dạng đốm nhỏ, mật độ thấp                    | <10%                       | Ven bờ nam Nha Trang, khu vực dải cát và bãi triều               | Dọn dẹp cục bộ, giám sát phục hồi sinh thái tại bãi triều và rạn san hô        |

#### 4.2. Chồng ghép bản đồ ESI

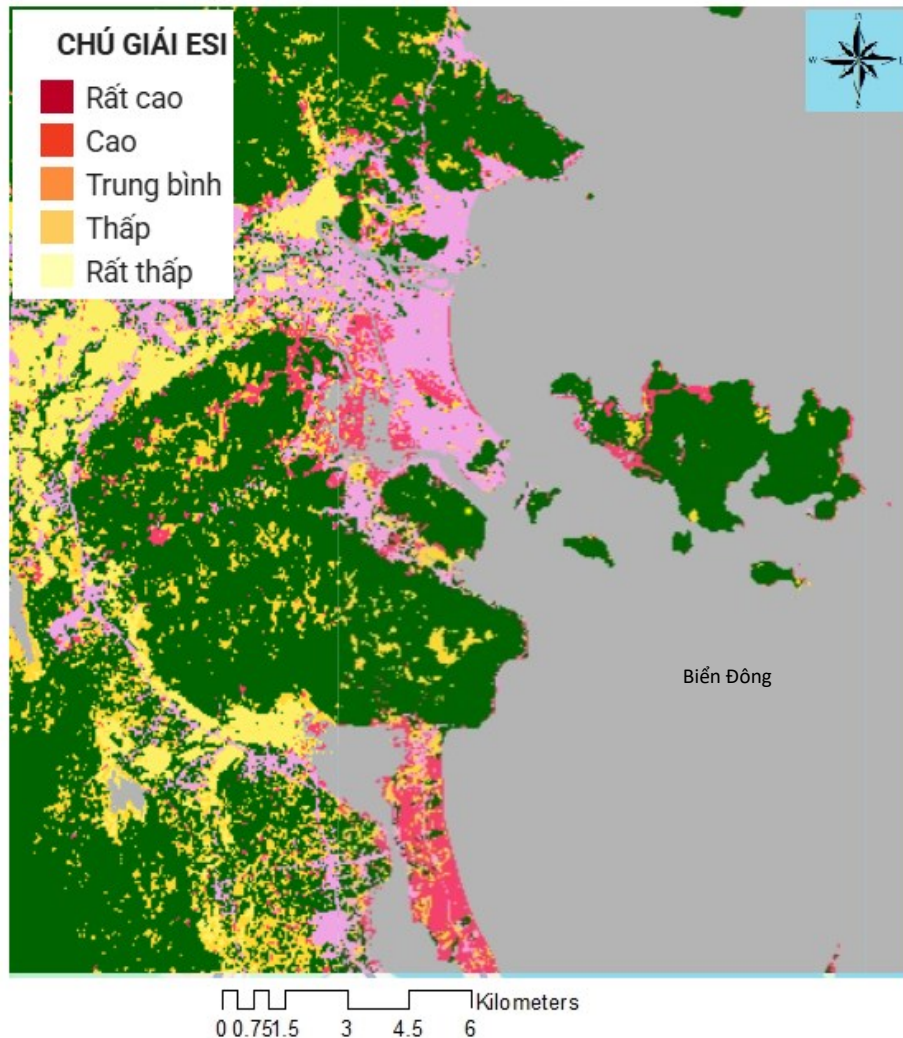
Khi chồng ghép kết quả mô phỏng lan truyền dầu với bản đồ nhạy cảm môi trường (ESI), có thể nhận thấy nhiều khu vực ven biển Nha Trang có nguy cơ chịu tác động trực tiếp.

Rạn san hô quanh Hòn Mun và Hòn Tằm: được phân loại ESI cấp rất cao (9–10), là khu vực nhạy cảm sinh thái đặc biệt, đồng thời là vùng lõi của Khu bảo tồn biển Nha Trang. Đây là điểm nóng chịu rủi ro cao nhất.

Thảm cỏ biển ven bờ phía nam Nha Trang (Vĩnh Trường – Bãi Dài, Cam Hải Đông – Cam Lâm): có ESI cấp cao (8–9), là sinh cảnh quan trọng cho sinh vật đáy và nuôi dưỡng thủy sinh.

Khu vực nuôi trồng thủy sản ven bờ: tập trung tại Vĩnh Ngọc, Vĩnh Trường, Vĩnh Nguyên. Đây là khu vực có ESI từ trung bình đến cao (6–8), dễ bị ảnh hưởng bởi dầu phân tán và tồn lưu trong cột nước.

Các bãi tắm và khu du lịch biển (Trần Phú, Bãi Dài, Vinpearl – Hòn Tre): nằm trong phạm vi phơi nhiễm, với ESI cấp trung bình đến cao (5–7). Ngoài tác động môi trường, đây còn là khu vực nhạy cảm về kinh tế – xã hội, do du lịch biển đóng vai trò chủ lực của Nha Trang.



Hình 5. Sơ đồ phân vùng nhạy cảm khu vực nghiên cứu

Bảng 3. Các khu vực chịu tác động khi chồng ghép mô phỏng dầu với bản đồ ESI

| Khu danh                            | vực/địa | Thành phần nhạy cảm          | Cấp ESI        | Mức độ rủi ro (ước tính) | Ghi chú                                     |
|-------------------------------------|---------|------------------------------|----------------|--------------------------|---|
| Hòn Mun, Hòn Tằm                    |         | Rạn san hô, khu bảo tồn biển | 9–10 (rất cao) | Rất cao                  | Điểm nóng sinh thái, lõi KBTB Nha Trang     |
| Vịnh Trường – Bãi Dài, Cam Hải Đông |         | Thảm cỏ biển ven bờ          | 8–9 (cao)      | Cao – rất cao            | Sinh cảnh sinh sản, nuôi dưỡng sinh vật đáy |

|  |                             |                         |                   |  |
|--|-----------------------------|-------------------------|-------------------|--|
| Vĩnh Ngọc, Vĩnh Trường, Vĩnh Nguyên    | Khu vực nuôi trồng thủy sản | 6–8 (trung bình – cao)  | Trung bình – cao  | Nguy cơ thiệt hại kinh tế trực tiếp              |
| Trần Phú, Bãi Dài, Vinpearl – Hòn Tre  | Bãi tắm, khu du lịch biển   | 5–7 (trung bình – cao)  | Trung bình – cao  | Nhạy cảm kinh tế – xã hội, ảnh hưởng đến du lịch |
| Ven bờ phía bắc Nha Trang (Phước Đồng) | Bãi triều, cát ven bờ       | 4–5 (thấp – trung bình) | Thấp – trung bình | Tác động cục bộ, dễ phục hồi                     |

### 4.3. Chỉ số rủi ro RI

Chỉ số rủi ro được tính cho từng đơn vị không gian theo công thức:

$$RI=CI\times SI\times EIRI=CI\times SI\times EI$$

trong đó CI là tần suất tiếp xúc (Contact Index), SI là mức nhạy cảm (Sensitivity Index, dựa trên bản đồ ESI), và EI là thời gian phơi nhiễm (Exposure Index).

Kết quả phân tích cho thấy sự phân hóa rõ rệt theo không gian:

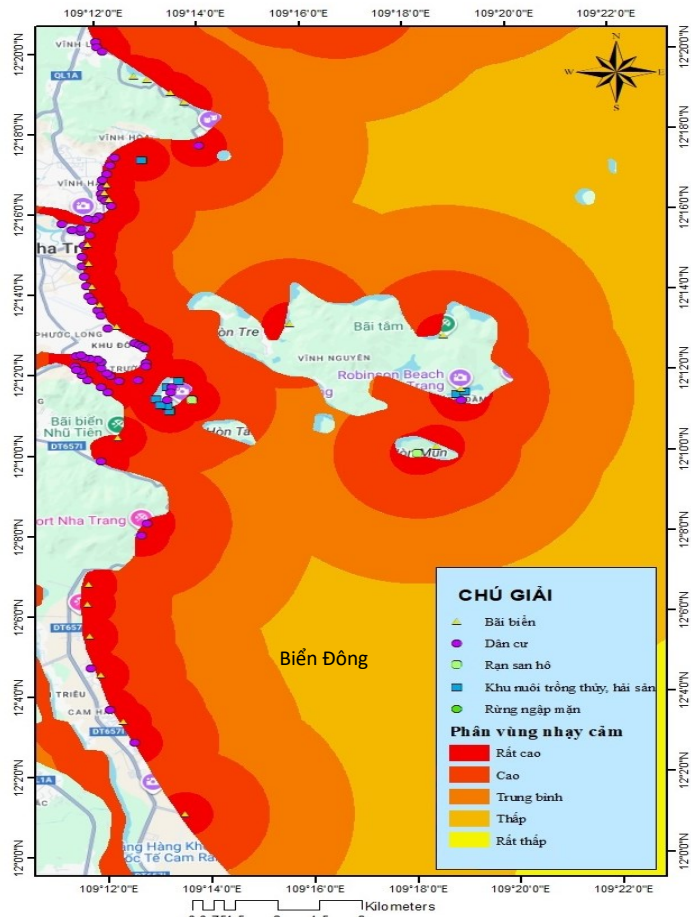
Khu vực Hòn Mun và rạn san hô lân cận: RI đạt mức rất cao (>80). Đây là vùng có ESI cực kỳ nhạy cảm (cấp 9–10), đồng thời nằm trong phạm vi phơi nhiễm trực tiếp và kéo dài theo kết quả mô phỏng. Điều này cho thấy nếu xảy ra sự cố tràn dầu, rạn san hô Hòn Mun sẽ chịu tổn thương nghiêm trọng, khó phục hồi trong ngắn hạn.

Thảm cỏ biển ven bờ (Vĩnh Trường – Bãi Dài, Cam Hải Đông – Cam Lâm): RI nằm trong mức cao (60–80). Các bãi cỏ biển có vai trò sinh cảnh nuôi dưỡng và sinh sản thủy sinh, do đó tác động dầu phân tán trong cột nước có thể gây ảnh hưởng lâu dài đến đa dạng sinh học và NTTS.

Các khu du lịch ven biển (Trần Phú, Vinpearl – Hòn Tre, Bãi Dài): RI ở mức trung bình đến cao (40–60). Tuy mức độ nhạy cảm sinh thái không quá cao, nhưng do giá trị kinh tế – xã hội lớn, nguy cơ gây thiệt hại đến du lịch và dịch vụ biển là rất đáng kể.

Một số đoạn bờ ít nhạy cảm (bờ cát Phước Đồng, phía nam Cam Hải Đông): RI thấp (<30). Các khu vực này chủ yếu là bãi cát, ít hệ sinh thái nhạy cảm, khả năng tự phục hồi nhanh.

Nhìn chung, bản đồ RI cho thấy các khu vực có RI rất cao và cao trùng khớp với các hệ sinh thái nhạy cảm (rạn san hô, cỏ biển), trong khi khu vực có RI trung bình chủ yếu gắn với các hoạt động kinh tế – xã hội (du lịch, NTTS). Điều này khẳng định giá trị của việc áp dụng chỉ số RI: không chỉ định lượng được mức độ rủi ro môi trường, mà còn chỉ ra được các vùng ưu tiên trong quản lý và ứng phó sự cố.



Hình 7. Sơ đồ phân vùng rủi ro do sự cố tràn dầu khu vực nghiên cứu

Bảng 3. Chỉ số rủi ro (RI) theo khu vực ven biển Nha Trang

| Khu danh                              | vực/địa | Thành phần nhạy cảm            | RI (ước tính) | Mức rủi ro       | Nhận xét   |
|---------------------------------------|---------|--------------------------------|---------------|------------------|--|
| Hòn Mun, Hòn Tằm                      |         | Rạn san hô, khu bảo tồn biển   | >80           | Rất cao          | Điểm nóng sinh thái, nguy cơ tổn thương lâu dài              |
| Vịnh Trường – Bãi Dài, Cam Hải Đông   |         | Thảm cỏ biển ven bờ            | 60–80         | Cao              | Sinh cảnh sinh sản, nhạy cảm với dầu phân tán trong cột nước |
| Trần Phú, Vinpearl – Hòn Tre, Bãi Dài |         | Bãi tắm, khu du lịch biển      | 40–60         | Trung bình – cao | Tổn thất lớn về du lịch, dịch vụ biển                        |
| Vịnh Ngọc, Vịnh Trường                |         | Khu vực NTTS ven bờ            | 40–60         | Trung bình – cao | Thiệt hại trực tiếp đến sinh kế ngư dân                      |
| Phước Đồng, nam Cam Hải Đông          |         | Bãi cát, bãi triều ít nhạy cảm | <30           | Thấp             | Tác động cục bộ, khả năng phục hồi nhanh                     |

Khi so sánh kết quả tính toán RI với bản đồ nhạy cảm ESI, có thể thấy rằng các khu vực có RI rất cao và cao đều trùng khớp với các hệ sinh thái có ESI cấp cao (rạn san hô Hòn Mun – Hòn Tằm, thảm cỏ biển Bãi Dài – Cam Hải Đông). Điều này chứng tỏ RI phản ánh tốt sự kết hợp giữa mức độ nhạy cảm sinh thái và nguy cơ phơi nhiễm dầu.

Trong khi đó, các khu vực có RI trung bình như NTTs ven bờ và bãi tắm du lịch chủ yếu mang tính nhạy cảm về kinh tế – xã hội, cho thấy cần quan tâm song song cả khía cạnh sinh thái và sinh kế cộng đồng. Như vậy, việc kết hợp ESI và RI giúp định vị rõ các vùng ưu tiên trong ứng phó: vừa bảo vệ tài nguyên sinh thái trọng yếu, vừa giảm thiểu thiệt hại kinh tế – xã hội ven biển Nha Trang

#### **4.4. Đánh giá tác động môi trường – xã hội**

Kết quả mô phỏng lan truyền dầu và phân tích rủi ro cho thấy sự cố tràn dầu tại Nha Trang không chỉ đe dọa trực tiếp đến các hệ sinh thái biển nhạy cảm, mà còn gây ra nhiều hệ lụy đối với kinh tế – xã hội ven bờ.

Tác động sinh thái: Rạn san hô Hòn Mun và Hòn Tằm, cùng với các bãi cỏ biển Bãi Dài – Cam Hải Đông, là những hệ sinh thái quan trọng, đóng vai trò duy trì đa dạng sinh học, nơi sinh sản và ươm giống thủy sinh. Khi chịu phơi nhiễm dầu ở mức cao, các hệ sinh thái này có nguy cơ suy giảm nghiêm trọng về cấu trúc và chức năng, dẫn đến mất mát dịch vụ hệ sinh thái. Ngoài ra, dầu phân tán trong cột nước còn có thể ảnh hưởng trực tiếp đến sinh vật phù du, cá ấu trùng và quần xã đáy.

Tác động đến sinh kế: Các khu vực nuôi trồng thủy sản (NTTs) ven bờ Vĩnh Ngọc, Vĩnh Trường và Cam Hải Đông nằm trong phạm vi phơi nhiễm trung bình đến cao. Dầu phân tán có thể gây chết thủy sản nuôi, làm giảm năng suất, ảnh hưởng trực tiếp đến thu nhập của ngư dân và hộ nuôi. Đây là nhóm đối tượng dễ bị tổn thương, cần có các biện pháp hỗ trợ kịp thời sau sự cố.

Tác động kinh tế – xã hội: Nha Trang là trung tâm du lịch biển lớn của cả nước. Các bãi tắm Trần Phú, Bãi Dài và khu du lịch Vinpearl – Hòn Tre đều nằm trong vùng có RI trung bình đến cao. Nếu bị ảnh hưởng bởi dầu loang, ngành du lịch sẽ chịu thiệt hại lớn do suy giảm lượng khách, chi phí làm sạch môi trường và ảnh hưởng hình ảnh thương hiệu điểm đến.

Tác động lâu dài: Ngoài các thiệt hại trực tiếp, sự cố tràn dầu có thể để lại hậu quả kéo dài dưới dạng ô nhiễm trầm tích, suy giảm khả năng phục hồi của rạn san hô và cỏ biển, cũng như mất mát dịch vụ hệ sinh thái. Điều này đòi hỏi công tác giám sát và phục hồi môi trường sau sự cố phải được thực hiện lâu dài và có hệ thống.

Tổng hợp các kết quả trên cho thấy, tác động của sự cố tràn dầu không chỉ mang tính sinh thái mà còn ảnh hưởng toàn diện đến kinh tế và xã hội ven biển Nha Trang. Do đó, các biện pháp quản lý rủi ro cần hướng đến ứng phó tổng hợp, kết hợp bảo vệ hệ sinh thái với giảm thiểu thiệt hại sinh kế và duy trì phát triển du lịch bền vững.

### **5. Kết luận**

Nghiên cứu đã xây dựng và ứng dụng mô hình OpenDrift để mô phỏng sự lan truyền của một kịch bản tràn dầu giả định tại vùng biển Nha Trang, đồng thời kết hợp với bản đồ nhạy cảm môi trường (ESI) nhằm tính toán chỉ số rủi ro tổng hợp (RI). Kết quả mô phỏng cho thấy dầu di chuyển chủ yếu về phía nam – đông nam dưới tác động của gió mùa và dòng chảy, với các giai đoạn lan truyền khác nhau trong 15 ngày. Phân tích mass-budget chỉ ra rằng phần lớn khối lượng dầu chuyển sang trạng thái phân tán trong cột nước ( $\approx 71\%$ ), trong khi phần bay hơi ( $\approx 27\%$ ) và mắc cạn ( $\approx 2\%$ ) chiếm tỷ lệ nhỏ hơn.

Khi chồng ghép kết quả mô phỏng với bản đồ ESI, nghiên cứu xác định được các khu vực rất nhạy cảm gồm rạn san hô Hòn Mun – Hòn Tằm và thảm cỏ biển Bãi Dài – Cam Hải Đông. Chỉ số rủi ro RI cho thấy các khu vực này có nguy cơ cao nhất, trong khi các khu NTTs ven bờ và khu du lịch biển (Trần Phú, Vinpearl – Hòn Tre) cũng thể hiện mức rủi ro trung bình đến cao, chủ yếu liên quan đến khía cạnh kinh tế – xã hội.

Các phân tích trên cho thấy sự cố tràn dầu tại Nha Trang có thể gây tác động nghiêm trọng cả về sinh thái lẫn kinh tế – xã hội. Do đó, công tác quản lý rủi ro cần được triển khai theo hướng ứng phó tích hợp, bao gồm: (i) xác định và bảo vệ ưu tiên các khu vực

có RI rất cao; (ii) thiết lập cơ chế cảnh báo và ứng cứu khẩn cấp cho NTTS và du lịch ven bờ; (iii) tăng cường giám sát và phục hồi dài hạn cho các hệ sinh thái biển.

Cách tiếp cận tích hợp mô hình lan truyền dầu – bản đồ ESI – chỉ số RI được chứng minh là khả thi và có thể áp dụng rộng rãi cho các vùng ven biển khác của Việt Nam, nhằm hỗ trợ hiệu quả cho công tác quản lý rủi ro và bảo vệ môi trường biển trong bối cảnh phát triển kinh tế biển bền vững.

### Lời cảm ơn:

Bài báo này sử dụng số liệu của đề tài: Nghiên cứu tích hợp công nghệ 3S (RS-GIS-GPS) và các quá trình thủy động lực trong giám sát, dự báo và đánh giá nguy cơ ô nhiễm môi trường biển do sự cố tràn dầu gây ra, Mã số CP1862.01/20-22.

### Cam kết của các tác giả

Tất cả các tác giả có tên trong bài báo cam kết sự đồng thuận và không có xung đột lợi ích trong công bố khoa học tại bài báo này.

### Tài liệu tham khảo

- [1] ITOPI. (2022). Oil Tanker Spill Statistics 2022. International Tanker Owners Pollution Federation.
- [2] Peterson, C. H., Rice, S. D., Short, J. W., et al. (2003). Long-term ecosystem response to the Exxon Valdez oil spill. *Science*, 302(5653), 2082–2086.
- [3] McNutt, M. K., et al. (2012). Applications of science and engineering to quantify and control the Deepwater Horizon oil spill. *PNAS*, 109(50), 20222–20228.
- [4] Fingas, M. (2018). Oil Spill Science and Technology. *Gulf Professional Publishing*.
- [5] Wu, W., Li, J., & Zhang, J. (2018). Maritime oil spill risk assessment in Southeast Asia. *Marine Pollution Bulletin*, 131, 93–101.
- [6] Zheng, Z., Li, X., & Wu, Y. (2021). Oil spill risk assessment in Southeast Asia using ESI and trajectory modeling. *Journal of Marine Systems*, 221, 103585.
- [7] Chen, X., Li, Y., & Wang, S. (2019). Modelling oil spill trajectories in the South China Sea. *Ocean Engineering*, 182, 102–112.
- [8] Li, Z., Tang, H., & Yu, C. (2020). Simulation of oil spill under different monsoon scenarios in the South China Sea. *Marine Pollution Bulletin*, 155, 111137.
- [9] Nguyễn, V. A., Trần, Q. H., & Phạm, T. M. (2018). Ứng dụng mô hình GNOME trong dự báo lan truyền dầu vùng biển miền Trung Việt Nam. *Tạp chí Khoa học Biển*, 14(2), 45–56.
- [10] Phạm, T. H., Lê, H. Q., & Nguyễn, X. T. (2020). Đánh giá rủi ro tràn dầu ven biển miền Trung dựa trên mô hình ESI. *Tạp chí Khoa học và Công nghệ Biển*, 20(3), 55–66.
- [11] Lê, H. V., Nguyễn, T. T., & Trần, M. K. (2019). Ứng dụng MIKE 21 trong mô phỏng lan truyền dầu vùng biển Vũng Tàu. *Tạp chí Khoa học ĐHQGHN*, 35(4), 75–84.
- [12] Vo, S. T., Ngo, T. H., & Nguyen, H. P. (2013). Marine biodiversity of Nha Trang Bay Marine Protected Area, Vietnam: Current status and management challenges. *Ocean & Coastal Management*, 76, 1–12.
- [13] Jones, C.E., Dagestad, K.-F., Breivik, Ø., Holt, B., Röhrs, J., Christensen, K.H., Espeseth, M.M., Brekke, C., Skrunes, S. (2016). Measurement and modeling of oil slick transport. *Journal of Geophysical Research – Oceans* 121(10), 7759–7775
- [14] Dagestad, K.F., Röhrs, J., Breivik, Ø., Ådlandsvik, B. (2018). OpenDrift v1. 0: a generic framework for trajectory modelling. *Geoscientific Model Development*, 11(4), 1405-1420.
- [15] Keramea, P., Spanoudaki, K., Zodiatis, G., Gikas, G., Sylaios, G. (2021). Oil spill modeling: A critical review on current trends, perspectives, and challenges. *Journal of marine science and engineering* 9(2), 181.
- [16] Brekke, C., Espeseth, M. M., Dagestad, K. F., Röhrs, J., Hole, L. R., Reigber, A. (2021). Integrated Analysis of Multisensor Datasets and Oil Drift Simulations—A Free-Floating Oil Experiment in the Open Ocean. *Journal of Geophysical Research: Oceans* 126(1), e2020JC016499
- [17] Lehr, W., Jones, R., Evans, M., Simecek-Beatty, D., Overstreet, R. (2002). Revisions of the ADIOS oil spill model. *Environmental Modelling & Software* 17(2), 189-197.
- [18] Thrift-Viveros, D.L.; Jones, R.; Boufadel, M. (2015). Development of a new oil biodegradation algorithm for NOAA’s oil spill modelling suite (GNOME/ADIOS). In Proceedings of the 38th AMOP Technical Seminar, Vancouver, BC, Canada, 2–4 June 2015; *Environment Canada: Ottawa, ON, Canada*, 2015; pp. 143–152.