

Bài báo khoa học

## **Đánh giá ảnh hưởng của gió tới thời gian tiếp cận khu vực cần tìm kiếm, cứu nạn trên biển, áp dụng thí điểm ở vịnh Bắc Bộ**

**Nguyễn Quang Minh<sup>1,2</sup>, Nguyễn Văn Trung<sup>2,3\*</sup>**

<sup>1</sup> Cục Bản đồ - Bộ Tổng tham mưu; nguyenguangminh.sar@gmail.com

<sup>2</sup> Trường Đại học Mở - Địa chất; nguyenvantrung@humg.edu.vn

<sup>3</sup> Nhóm nghiên cứu Công nghệ Địa tin học trong Khoa học Trái đất (GES), Trường Đại học Mở - Địa chất; nguyenvantrung@humg.edu.vn

\*Tác giả liên hệ: nguyenvantrung@humg.edu.vn; Tel.: +84-986058067

Ban Biên tập nhận bài: 9/10/2024; Ngày phản biện xong: 28/11/2024; Ngày đăng bài: 25/4/2025

**Tóm tắt:** Tai nạn hàng hải là sự cố trên biển xảy ra thường xuyên ở Việt Nam - một quốc gia có vùng biển rộng và đường bờ biển dài, nhất là trong điều kiện chịu ảnh hưởng của biến đổi khí hậu. Để hỗ trợ xây dựng các phương án tìm kiếm, cứu nạn (search and rescue - SAR) trên biển, việc xác định thời gian tiếp cận các khu vực xảy ra sự cố là rất quan trọng. Trong nghiên cứu, 07 lớp dữ liệu bao gồm: (1) dữ liệu tàu tìm kiếm, cứu nạn; (2) tốc độ gió điều chỉnh (3) hướng gió; (4) gia tốc trọng trường, (5) độ sâu đáy biển, (6) dữ liệu ảnh đất liền-mặt nước và (7) vị trí các trạm tìm kiếm, cứu nạn được sử dụng để xác định thời gian tiếp cận vị trí xảy ra sự cố trên biển. Để đánh giá ảnh hưởng của gió tới thời gian tiếp cận vị trí xảy ra sự cố ở khu vực vịnh Bắc Bộ, trong nghiên cứu này đã thử nghiệm với các hướng gió ( $0^\circ$ ,  $45^\circ$ ,  $135^\circ$ ,  $180^\circ$ ) và tốc độ gió khác nhau (5 m/s, 10 m/s, 15 m/s, 25 m/s). Kết quả nhận được cho thấy, hướng gió và tốc độ gió có ảnh hưởng quan trọng đến kết quả xác định thời gian phản hồi trong tìm kiếm, cứu nạn trên biển. Kết quả của nghiên cứu này cũng cung cấp cơ sở khoa học và thông tin hữu ích giúp các nhà quản lý xây dựng phương án tìm kiếm, cứu nạn phù hợp với điều kiện khí hậu trên biển.

**Từ khóa:** SAR; Thời gian phản hồi; Hướng gió; Tốc độ gió; Vịnh Bắc Bộ.

### **1. Mở đầu**

Những năm qua, thiên tai trên thế giới cũng như ở Việt Nam diễn ra ngày càng phức tạp, bất thường, đặc biệt trong bối cảnh của biến đổi khí hậu (BĐKH). Theo Báo cáo đánh giá khí hậu quốc gia năm 2021 của Bộ Tài nguyên Môi trường cho thấy, Việt Nam là một trong những nước bị ảnh hưởng nghiêm trọng nhất của BĐKH, trong đó có các thiên tai như bão, lũ, hạn hán, nước biển dâng...[1]. Nước ta có đường bờ biển dài và diện tích vùng biển rộng với nhiều tuyến vận tải biển do đó các tai nạn, sự cố trên biển xảy ra với tần suất cao gây thiệt hại lớn về người và tài sản. Do đặc điểm riêng của khu vực biển, việc tiếp cận các khu vực xảy ra sự cố gặp rất nhiều khó khăn, ảnh hưởng trực tiếp đến hiệu quả công tác tìm kiếm, cứu nạn trên biển.

Công tác chuẩn bị, ứng phó với các tình huống tìm kiếm, cứu nạn trên biển cần thiết phải khẩn trương về thời gian cũng như sự hiệu quả trong công tác tổ chức triển khai. Để nâng cao hiệu quả công tác tìm kiếm, cứu nạn trên biển, nhiều nghiên cứu trên thế giới đã phát triển các mô hình phát hiện vị trí xảy ra sự cố và ước lượng thời gian tối ưu để tiếp cận dựa trên các dữ liệu về phương tiện di chuyển, hướng và tốc độ dòng chảy, tốc độ gió và độ cao sóng biển,...[2-6]. Nghiên cứu [7] đã xác định thời gian phản hồi sử dụng công nghệ GIS

trong công tác tìm kiếm, cứu nạn với các sự cố do hoạt động trên biển ở vịnh Phần Lan với các thông tin đầu vào gồm dữ liệu sự cố, các thông số kỹ thuật của tàu tìm kiếm, cứu nạn (SAR - Search and Rescue), chiều cao sóng biển, tốc độ và hướng gió biển. Nghiên cứu [8] phát triển một mô hình tính toán quãng đường di chuyển và chi phí dựa trên nền tảng GIS để phục vụ cứu nạn trên biển sử dụng các dữ liệu đầu vào gồm hướng gió, hướng sóng (swell direction) và chiều cao sóng biển cũng như các thông tin tàu phục vụ cứu nạn. Tại 03 khu vực thử nghiệm thuộc vùng biển Hoa Kỳ, Burns đã xây dựng được các bản đồ thể hiện thời gian phản hồi khi có sự cố xảy ra trên biển. Nghiên cứu của [9] đã đề xuất một mô hình kết hợp nhằm tối ưu hóa mô phỏng phân bổ máy bay trực thăng phục vụ tìm kiếm, cứu nạn trên biển. Đầu tiên, trong nghiên cứu đã xây dựng mô hình lập trình tuyến tính số nguyên (ILP - Integer Linear Programming) để cung cấp kế hoạch triển khai hiệu quả và sử dụng làm dữ liệu đầu vào cho mô hình để mô phỏng bao gồm các ràng buộc mà mô hình ILP không thể giải quyết. Tiếp theo, bằng cách sử dụng thuật toán dựa trên quy tắc kết hợp, trong nghiên cứu đã tạo ra các giải pháp thay thế và tìm kiếm các kế hoạch tốt hơn tồn tại trong vùng lân cận của giải pháp mô hình ILP. Sử dụng dữ liệu sự cố lịch sử ở khu vực Biển Aegean và các lớp thông tin như loại sự cố, nguồn lực sẵn có, điều kiện môi trường, khả năng của trạm SAR..., trong nghiên cứu đã chứng minh được phương pháp kết hợp giúp sử dụng tài nguyên hiệu quả hơn so với chỉ sử dụng mô hình tối ưu hóa. Phương pháp xây dựng mô hình được sử dụng trong nghiên cứu [10] nhằm xác định đường đi đến khu vực xảy ra sự cố với điều kiện giảm thiểu thời gian bằng máy bay trên cơ sở các lớp thông tin về phương tiện sử dụng để cứu nạn gồm mức tiêu thụ nhiên liệu, tải trọng và năng lực sân bay. Trong nghiên cứu [11] có đề xuất một thuật toán xác định vị trí tối ưu cho các trạm tìm kiếm, cứu nạn trên biển, bao gồm 4 bước: (1) lựa chọn các đảo trên biển có thể xây dựng trạm SAR; (2) ước tính nhu cầu SAR tiềm năng; (3) tính thời gian phản hồi từ các trạm dự kiến đến bất kỳ vị trí nào trên biển và (4) lựa chọn vị trí đặt trạm SAR. Kết quả nhận được trong nghiên cứu cho thấy, phương pháp đề xuất cho phép giảm thời gian tiếp cận trung bình đối 1,09 giờ với khu vực Biển Đông với 6 trạm SAR được thiết lập trên các đảo. Phạm vi bao phủ hoạt động SAR cũng tăng từ 62,63% lên 80,02% diện tích Biển Đông với ngưỡng thời gian tìm kiếm, cứu nạn là 6 giờ. Một nghiên cứu đánh giá hiệu suất của các hoạt động tìm kiếm, cứu nạn sử dụng mô hình dựa trên tác nhân (ABM - agent based modelling) hướng đến giải quyết các vấn đề liên quan đến điều kiện thời tiết đặc thù ở Bắc Cực. Phương pháp sử dụng dữ liệu lịch sử về sự bất thường của điều kiện thời tiết trên biển để mô hình hóa động lực. Sau đó, quy trình đánh giá được sử dụng để định lượng tác động của các yếu tố thời tiết phục vụ cho các hoạt động của lực lượng cứu hộ cũng như tổng thời gian cứu hộ. Tại khu vực thử nghiệm ở Biển Barents (Na Uy) cho thấy, tổng thời gian giải cứu dài nhất là từ tháng 12 đến tháng 2 và thời gian giải cứu ngắn nhất là từ tháng 5 đến tháng 8 [12].

Có thể nhận thấy, cho đến nay trên thế giới đã có nhiều nghiên cứu sử dụng phương pháp mô hình hóa dựa trên nền tảng GIS nhằm xác định khoảng cách, thời gian tối ưu trong tiếp cận tìm kiếm, cứu nạn trên biển. Ngoài ra, các nghiên cứu ở Việt nam đã ứng dụng công nghệ GIS phục vụ tìm kiếm, cứu nạn trên biển [19–21], các nghiên cứu về ảnh hưởng của mưa, bão trên biển ở vịnh Bắc Bộ [22, 23]. Các nghiên cứu đều cho thấy vai trò quan trọng của điều kiện khí tượng, hải văn ảnh hưởng đến thời gian tiếp cận khu vực xảy ra sự cố trên biển. Trong các mô hình hỗ trợ hoạt động tìm kiếm, cứu nạn trên biển, thông tin về gió (tốc độ gió, hướng gió) có vai trò chủ yếu [24, 25]. Hướng gió ảnh hưởng đến sự di chuyển của các tàu tìm kiếm, cứu nạn, trong đó có thể tạo ra lực đẩy hoặc lực cản đối với tàu thuyền [7]. Trong khi đó, tốc độ gió ảnh hưởng đến chiều cao sóng và biến động bề mặt biển, cũng như việc duy trì định vị và điều khiển tàu thuyền trên biển. Ngoài ra, gió mạnh cũng tạo ra lực đẩy lớn, có thể làm tăng tốc độ di chuyển của tàu hoặc ngược lại, tùy thuộc vào hướng gió tương đối với hướng di chuyển [13].

Bài báo này trình bày kết quả đánh giá ảnh hưởng của gió (hướng gió, tốc độ gió) đến thời gian tiếp cận khu vực xảy ra sự cố trên biển của các tàu tìm kiếm, cứu nạn. Phương pháp

mô hình hóa được sử dụng để xác định thời gian phản hồi từ các trạm tìm kiếm, cứu nạn tới các vị trí xảy ra sự cố trên cơ sở dữ liệu đầu vào gồm các lớp thông tin về địa hình [26–28], khí tượng, hải văn, tàu SAR, các trạm SAR. Sau đó, trong nghiên cứu thử nghiệm với các kịch bản hướng gió và tốc độ gió khác nhau để đánh giá ảnh hưởng của gió đến thời gian tiếp cận các vị trí xảy ra sự cố trên khu vực biển vịnh Bắc Bộ.

## 2. Dữ liệu và phương pháp nghiên cứu

### 2.1. Đặc điểm khu vực nghiên cứu

Vịnh Bắc Bộ nằm ở phía Tây Bắc của Biển Đông có diện tích khoảng 126.250 km<sup>2</sup> là một trong những vịnh nước mặn lớn trên thế giới với chiều ngang rộng nhất khoảng 310 km và hẹp nhất khoảng 207 km. Bờ Vịnh Bắc Bộ kéo dài thuộc hai quốc gia trong đó có 10 tỉnh, thành phố của Việt Nam với tổng chiều dài khoảng 763 km và hai tỉnh của Trung Quốc với tổng chiều dài khoảng 695 km.

Vịnh Bắc Bộ có cửa chính được xác định là đường thẳng từ đảo Cồn Cỏ, tỉnh Quảng Trị, Việt Nam và mũi Oanh Ca, Hải Nam, Trung Quốc, rộng khoảng 200 km. Dải bờ Tây Vịnh Bắc Bộ có các vũng vịnh, châu thổ, cửa sông hình phễu, đầm phá và các đảo tập trung ở vùng ven bờ với trên 2.378 hòn đảo [14]. Bên cạnh đó, vùng bờ biển Móng Cái - Đồ Sơn có chiều dài khoảng 180 km; lục địa ven biển khu vực này có dạng vùng núi thấp bị chia cắt mạnh và phân chia thành các dải vòng cung thấp dần về hướng biển. Ngoài ra, vùng bờ Đồ Sơn - Lạch Trường với độ dài khoảng 150 km có địa hình thấp, bằng phẳng và trung bình 20 km có một cửa sông lớn. Đáy biển khu vực này thoải và nông, với bán kính 15-20 km có độ sâu nhỏ hơn 10 m [14, 15].

Bão là hiện tượng thiên tai phổ biến tại Vịnh Bắc Bộ. Theo số liệu thống kê, giai đoạn 1961-2018 có 418 cơn bão và áp thấp nhiệt đới đổ bộ vào vùng biển Việt Nam, trong đó khu vực Bắc Trung Bộ thuộc vịnh Bắc Bộ chịu ảnh hưởng nhiều nhất [1]. Biến đổi khí hậu đã khiến các cơn bão thay đổi về cường độ và tần suất xuất hiện. Từ 2016 đã xuất hiện những cơn siêu bão với sức gió từ cấp 16 trở lên [1]. Đặc điểm này dẫn đến tình trạng tại nạn, sự cố trên biển khu vực vịnh Bắc Bộ diễn ra thường xuyên, phức tạp [16], đòi hỏi công tác tìm kiếm, cứu nạn phải tiến hành khẩn trương, kịp thời.

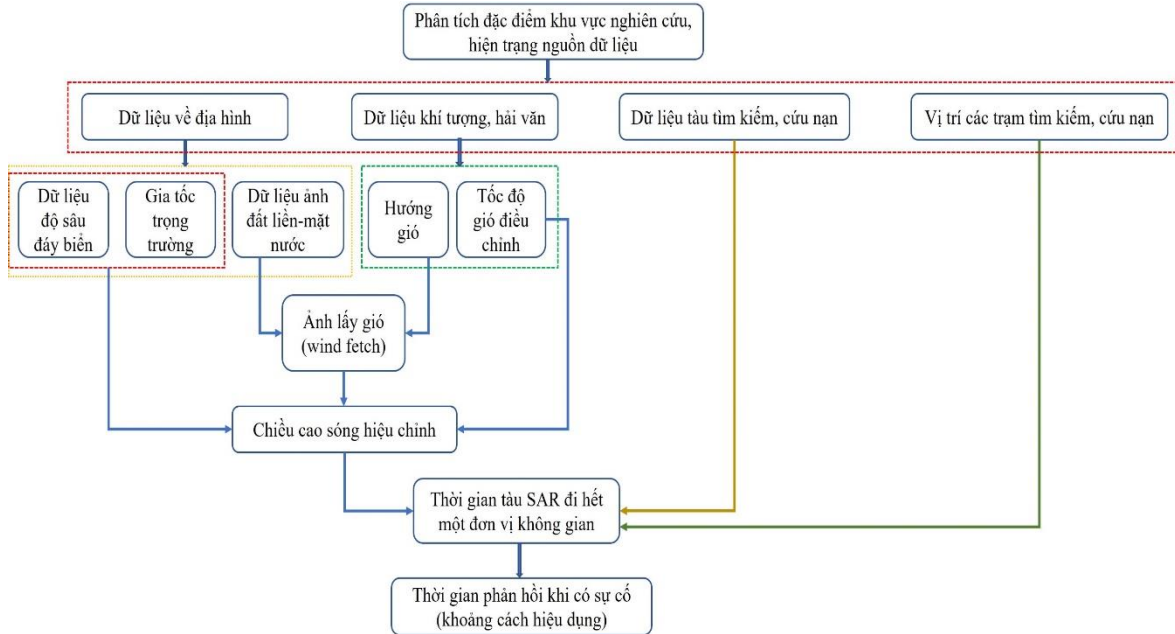
### 2.2. Dữ liệu sử dụng

Trong nghiên cứu này, 07 lớp dữ liệu bao gồm: (1) Dữ liệu tàu tìm kiếm, cứu nạn; (2) tốc độ gió điều chỉnh (3) hướng gió; (4) gia tốc trọng trường, (5) độ sâu đáy biển, (6) dữ liệu ảnh đất liền-mặt nước và (7) vị trí các trạm tìm kiếm, cứu nạn được sử dụng để xác định thời gian phản hồi (thời gian tiếp cận khu vực xảy ra sự cố trên biển từ các trạm SAR). 05 trạm SAR trên khu vực vịnh Bắc Bộ được sử dụng để xác định thời gian tiếp cận đến các vị trí xảy ra sự cố (07 vị trí giả định). Các trạm SAR bao gồm: Bạch Long Vỹ (Hải Phòng), Cồn Cỏ (Quảng Bình), Cửa Sốt (Hà Tĩnh), Hải Phòng (Hải Phòng), Sầm Sơn (Thanh Hóa), trong đó có 02 trạm đặt tại các đảo trên biển khu vực vịnh Bắc Bộ và 03 trạm ở khu vực ven biển. Tàu SAR được sử dụng trong nghiên cứu này là tàu KN-579 của Cục Kiểm ngư (Bộ Nông nghiệp và Phát triển nông thôn) có vận tốc tối đa 25 hải lý/giờ. Các lớp dữ liệu này được thu thập tại Cục Cứu hộ cứu nạn (Bộ Quốc phòng). Phương pháp xây dựng các lớp dữ liệu đầu vào và xác định thời gian phản hồi từ các trạm SAR đến các vị trí xảy ra sự cố trên biển được trình bày trong nghiên cứu [18].

### 2.3. Phương pháp nghiên cứu

Hình 1 trình bày sơ đồ quy trình xác định thời gian phản hồi từ các trạm SAR đến các vị trí xảy ra sự cố trên biển (hay thời gian di chuyển từ các trạm SAR đến khu vực xảy ra sự cố) bằng phương pháp mô hình hóa dựa trên 07 lớp dữ liệu đầu vào. Trong sơ đồ quy trình này, dữ liệu ảnh đất liền - mặt nước và hướng gió được sử dụng để xác định ảnh lầy gió (*wind*

fetch) theo phương pháp SPM [17]. Trong khi đó, dữ liệu về độ sâu đáy biển, gia tốc trọng trường và tốc độ gió điều chỉnh được sử dụng để tính chiều cao sóng hiệu chỉnh theo phương pháp được tham khảo từ Sổ tay Kỹ thuật bờ biển [17]. Kết hợp với dữ liệu tàu SAR và vị trí các trạm SAR, trong nghiên cứu xác định được thời gian tàu tìm kiếm, cứu nạn đi hết 01 đơn vị không gian (01 pixel, kích thước 100 m × 100 m) và tính được thời gian phản hồi từ các trạm SAR tới các vị trí xảy ra sự cố trên biển. Sau đó, để đánh giá ảnh hưởng của gió tới thời gian tiếp cận các vị trí xảy ra sự cố trên biển, các hướng gió và tốc độ gió khác nhau sẽ được thử nghiệm để xác định thời gian phản hồi từ các trạm SAR.



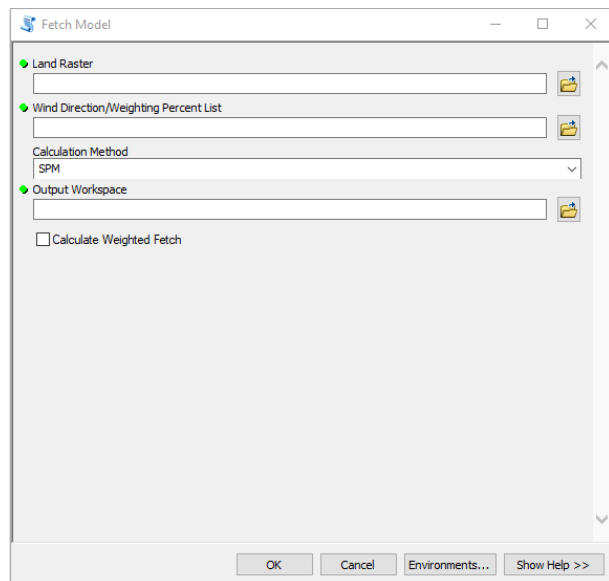
**Hình 1.** Quy trình xử lý dữ liệu phục vụ tính toán khoảng cách hiệu dụng trong tìm kiếm, cứu nạn trên biển.

### 3. Kết quả nghiên cứu và thảo luận

#### 3.1. Xây dựng công cụ xác định thời gian phản hồi

Trong nghiên cứu đã xây dựng công cụ để tính toán ảnh lấy gió (*wind fetch*), chiều cao sóng biển, và thời gian phản hồi từ các trạm SAR tới các vị trí xảy ra sự cố trên biển. Ngôn ngữ lập trình được lựa chọn sử dụng là Python. Đây là một ngôn ngữ hiện đại, được sử dụng rộng rãi trong các ứng dụng web, phát triển phần mềm, khoa học dữ liệu. Python có ưu điểm đơn giản và hiệu quả trong xử lý dữ liệu không gian. Ngoài ra, các ngôn ngữ lập trình phổ biến khác như Java, C, C++ có thể cũng được lựa chọn sử dụng.

Giao diện module tính toán lấy gió được thể hiện trên Hình 2, trong đó bộ dữ liệu đầu vào bao gồm: Land raster (lớp dữ liệu đất liền - mặt nước), Wind direction (Hướng gió) và Phương pháp tính toán. Phương pháp tính toán này được cài đặt bao gồm thuật toán đơn (Single), SPM hạn chế (*SPM-Restricted*) và SPM. Không gian tính toán (*Output Workspace*) được lựa

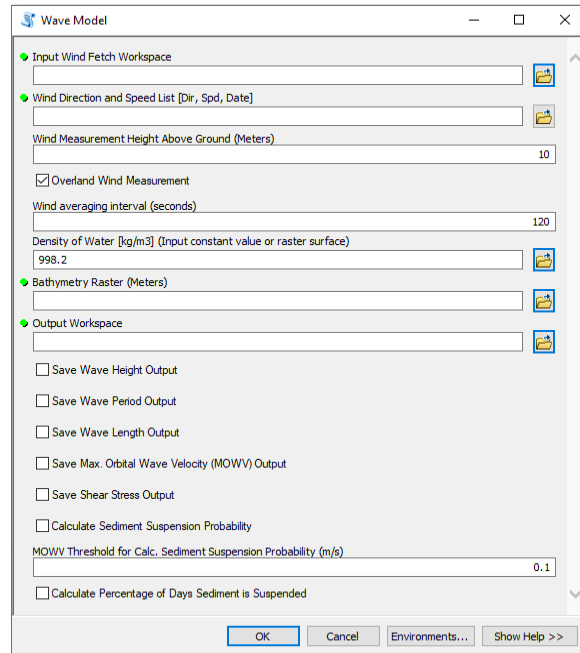


**Hình 2.** Giao diện module tính toán lấy gió.

chọn là thư mục không chứa các bộ dữ liệu có sẵn, thường lựa chọn là thư mục rỗng vì thư mục này sẽ được làm sạch trước khi tính toán lấy gió.

Hình 3 mô tả giao diện module tính toán chiều cao sóng, trong đó dữ liệu đầu vào bao gồm: ảnh lấy gió (được xác định ở bước trên), hướng gió và tốc độ gió (dữ liệu được mô tả dạng file .txt).

Để tính toán thời gian tiếp cận các vị trí cần tìm kiếm, cứu nạn trên biển, trong nghiên cứu sử dụng công cụ *Cost Distance* trong bộ phần mềm ArcMap. Công cụ *Cost Distance* cần xác định hai tham số đầu vào bao gồm: vị trí các trạm SAR và thời gian đi hết một đơn vị không gian (kích thước 100×100 m).



Hình 3. Giao diện module tính toán chiều cao sóng.

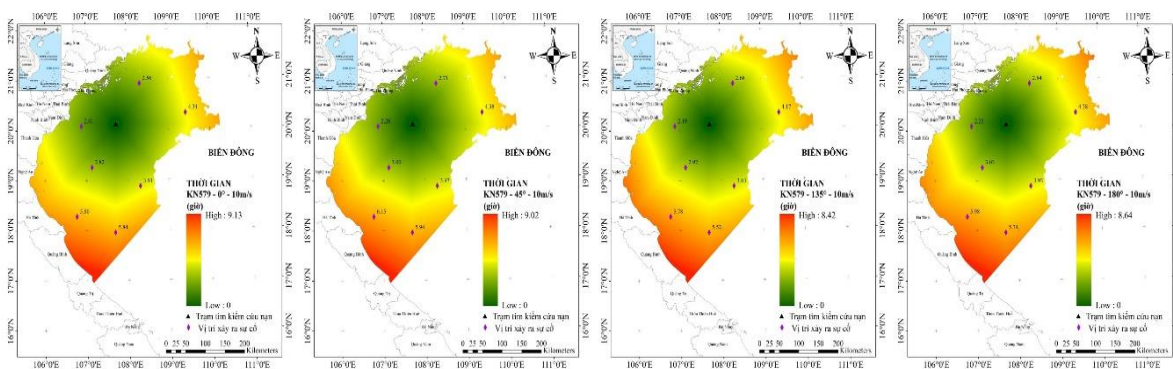
### 3.2. Đánh giá ảnh hưởng của hướng gió đến thời gian phản hồi

Để đánh giá ảnh hưởng của hướng gió đến thời gian tiếp cận các vị trí xảy ra sự cố, trong nghiên cứu lựa chọn thử nghiệm với tàu KN-579 của Cục Kiểm ngư (Bộ Nông nghiệp và Phát triển nông thôn) có tốc độ cao nhất đạt 25 hải lý/giờ. Tốc độ gió được lấy cố định là 10 m/s với các hướng gió khác nhau, bao gồm: 0°, 45°, 180°. Đây là các hướng gió biển có tần suất phổ biến ở khu vực vịnh Bắc Bộ (Bảng 1, nguồn Cục cứu nạn, cứu hộ, Bộ Quốc phòng).

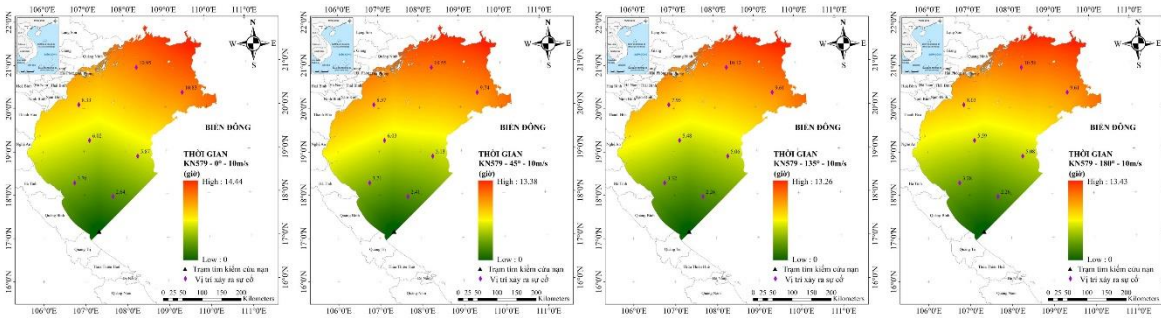
Bảng 1. Tần suất hướng gió thu thập tại Vịnh Bắc Bộ.

Hướng gió	Góc	Tần suất	Tỉ lệ %
Đông Bắc	45°	20	17,39%
Bắc	0°	18	15,65%
Nam	180°	16	13,91%
Tây Bắc	315°	16	13,91%
Đông Nam	135°	14	12,17%
Tây Nam	225°	12	10,43%
Đông	90°	10	8,70%
Tây	270°	9	7,83%

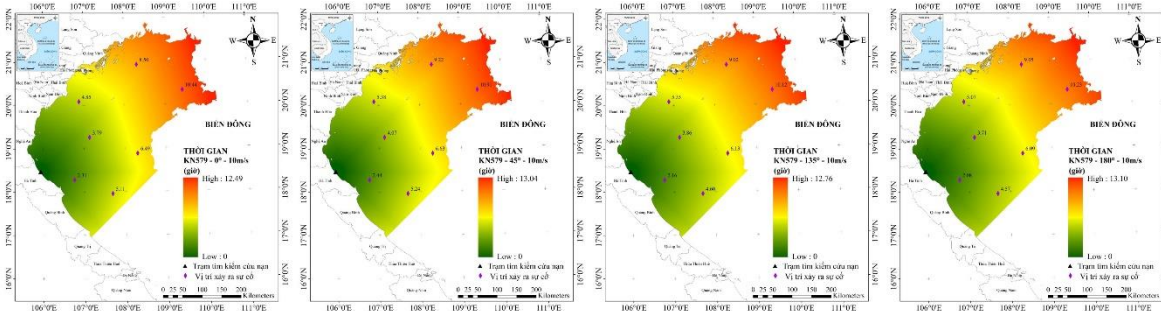
Hình 4-8 trình bày kết quả xác định thời gian tiếp cận 07 vị trí giả định xảy ra sự cố trên biển khu vực vịnh Bắc Bộ từ 05 trạm tìm kiếm, cứu nạn (Bạch Long Vỹ, Cồn Cỏ, Cửa Sốt, Hải Phòng, Sầm Sơn) với các hướng gió khác nhau: 0°, 45°, 135° và 180°. Bảng 2 thể hiện thời gian tiếp cận từ 05 trạm tìm kiếm, cứu nạn tới 07 vị trí xảy ra sự cố trên biển khu vực nghiên cứu với các hướng gió khác nhau (tốc độ gió mặc định là 10 m/s).



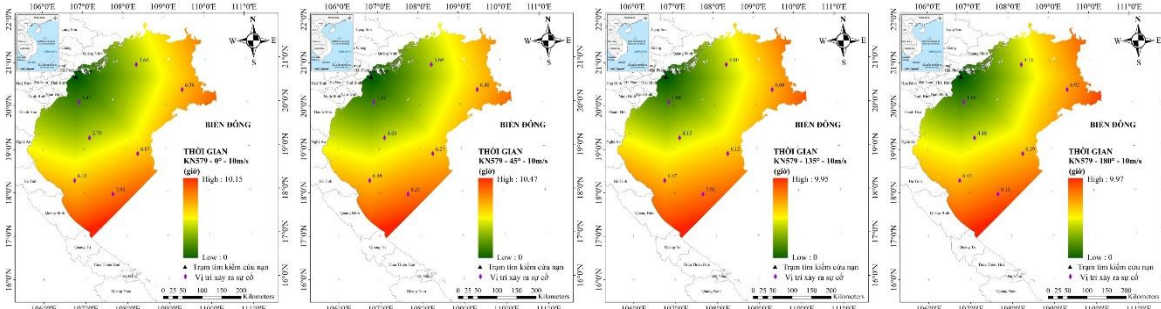
Hình 4. So sánh thời gian phản hồi của tàu KN-579 xuất phát từ trạm Bạch Long Vỹ với các hướng gió 0°, 45°, 135° và 180°, tốc độ gió 10 m/s.



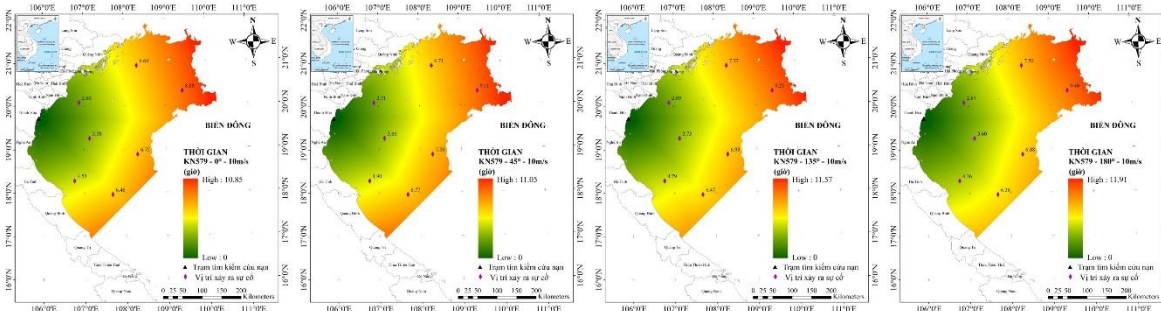
**Hình 5.** So sánh thời gian phản hồi của tàu KN-579 xuất phát từ trạm Cồn Cỏ với các hướng gió 0°, 45°, 135° và 180°, tốc độ gió 10 m/s.



**Hình 6.** So sánh thời gian phản hồi của tàu KN-579 xuất phát từ trạm Cửa Sốt với các hướng gió 0°, 45°, 135° và 180°, tốc độ gió 10 m/s.



**Hình 7.** So sánh thời gian phản hồi của tàu KN-579 xuất phát từ trạm Hải Phòng với các hướng gió 0°, 45°, 135° và 180°, tốc độ gió 10m/s.



**Hình 8.** So sánh thời gian phản hồi của tàu KN-579 xuất phát từ trạm Sầm Sơn với các hướng gió 0°, 45°, 135° và 180°, tốc độ gió 10 m/s.

Phân tích kết quả đạt được cho thấy, hướng gió có ảnh hưởng đáng kể tới thời gian tiếp cận khu vực xảy ra sự cố từ các trạm tìm kiếm, cứu nạn. Ví dụ, từ trạm Bạch Long Vỹ, với hướng gió 0°, thời gian tiếp cận các vị trí xảy ra sự cố (1, 2, 3, 4, 5, 6) là ngắn nhất. Với vị trí 7, thời gian tiếp cận ngắn nhất khi hướng gió là 180° (Bảng 2). Ngược lại, với trạm Cồn Cỏ, thời gian tiếp cận khu vực xảy ra sự cố với hướng gió 0° là cao nhất với các vị trí 1, 2, 6, 7, trong khi hướng gió 45° có thời gian tiếp cận ngắn nhất tới vị trí 1 còn hướng gió 180° cho phép tiếp cận vị trí 2, 3, 4, 5, 6 và 7 với thời gian ngắn nhất khi sử dụng tàu KN-579.

**Bảng 2.** Thời gian phản hồi từ các trạm tìm kiếm, cứu nạn tới 07 vị trí giả định xảy ra sự cố với các hướng gió khác nhau.

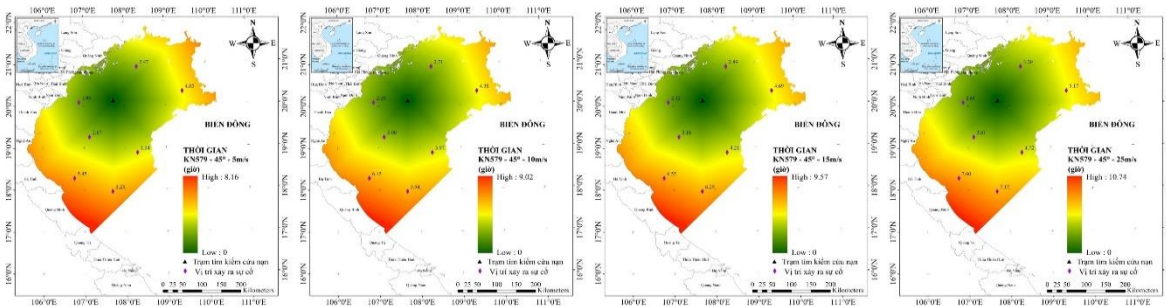
Vị trí sự cố	Thời gian phản hồi (khoảng cách hiệu dụng)																				
	Bạch Long Vỹ				Cồn Cỏ				Cửa Sốt				Hải Phòng				Sầm Sơn				
	0°	45°	135°	180°	0°	45°	135°	180°	0°	45°	135°	180°	0°	45°	135°	180°	0°	45°	135°	180°	
1	2,56	2,71	2,68	2,84	10,95	10,55	10,12	10,56	8,50	9,22	9,02	9,05	3,64	3,69	4,00	4,16	6,64	6,71	7,37	7,50	
2	4,34	4,38	4,17	4,38	10,83	9,74	9,61	9,61	10,44	10,91	10,12	10,23	6,36	6,48	6,60	6,92	8,88	9,11	9,21	9,40	
3	2,01	2,20	2,19	2,25	8,33	8,57	7,95	8,03	4,85	5,38	5,35	5,07	1,47	1,52	1,68	1,66	2,60	2,71	2,89	2,87	
4	2,82	3,00	2,92	3,03	6,02	6,03	5,48	5,59	3,79	4,07	3,86	3,71	3,79	4,06	4,15	4,18	3,38	3,66	3,73	3,60	
5	3,91	3,97	3,63	3,93	5,87	5,13	5,06	5,08	4,69	6,63	6,13	6,09	6,07	6,27	6,12	6,39	6,75	7,09	6,93	6,88	
6	5,80	6,15	5,78	5,98	3,76	3,71	3,32	3,28	2,31	2,44	2,16	2,08	6,10	6,48	6,47	6,43	4,53	4,90	4,79	4,36	
7	5,84	5,94	5,52	5,74	2,64	2,41	2,26	2,26	5,11	5,24	4,60	4,57	7,93	8,21	7,93	8,13	6,46	6,77	6,47	6,36	

**Bảng 3.** Thời gian phản hồi từ các trạm tìm kiếm, cứu nạn tới 07 vị trí giả định xảy ra sự cố với các tốc độ gió khác nhau.

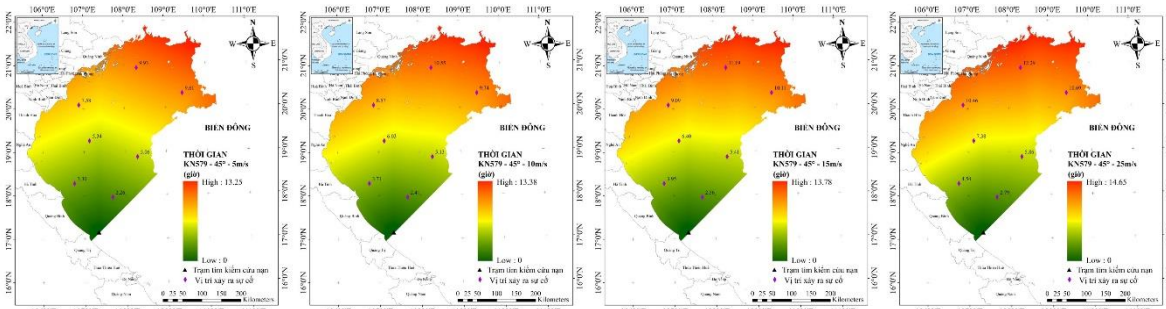
Vị trí sự cố	Thời gian phản hồi (khoảng cách hiệu dụng)																			
	Bạch Long Vỹ				Cồn Cỏ				Cửa Sốt				Hải Phòng				Sầm Sơn			
	5 m/s	10 m/s	15 m/s	25 m/s	5 m/s	10 m/s	15 m/s	25 m/s	5 m/s	10 m/s	15 m/s	25 m/s	5 m/s	10 m/s	15 m/s	25 m/s	5 m/s	10 m/s	15 m/s	25 m/s
1	2,47	2,71	2,89	3,20	9,93	10,55	11,19	12,29	8,22	9,22	9,82	11,20	3,63	3,69	3,82	4,00	6,63	6,71	6,98	7,41
2	4,05	4,38	4,69	5,17	9,61	9,74	10,11	10,69	9,84	10,91	11,65	13,27	6,18	6,48	6,90	7,51	6,60	9,11	9,67	10,56
3	1,95	2,20	2,32	2,61	7,58	8,57	9,09	10,46	4,80	5,38	5,72	6,52	1,46	1,52	1,61	1,76	2,59	2,71	2,85	3,11
4	2,67	3,00	3,18	3,61	5,34	6,03	6,40	7,38	3,61	4,07	4,36	5,16	3,70	4,06	4,30	4,85	3,29	3,66	3,90	4,41
5	3,54	3,97	4,21	4,72	5,06	5,13	5,41	5,86	5,95	6,63	7,12	8,28	5,66	6,27	6,62	7,43	6,33	7,09	7,54	8,52
6	5,45	6,15	6,55	7,60	3,30	3,71	3,95	4,54	2,17	2,44	2,63	3,17	5,86	6,48	6,90	7,96	4,38	4,90	5,24	6,10
7	5,25	5,94	6,29	7,17	2,26	2,41	2,56	2,79	4,65	5,24	5,61	6,63	7,36	8,21	8,68	9,83	6,02	6,77	7,22	8,36

3.3. Đánh giá ảnh hưởng của tốc độ gió đến thời gian phản hồi

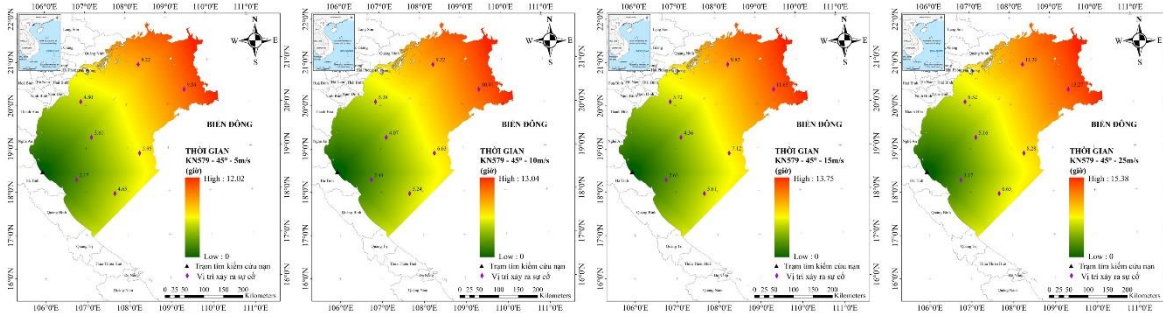
Tương tự như đánh giá ảnh hưởng của hướng gió, để đánh giá ảnh hưởng của tốc độ gió đến thời gian phản hồi trong tìm kiếm, cứu nạn trên biển, trong nghiên cứu cũng sử dụng tàu KN-579, hướng gió 45° (cố định) với tốc độ gió khác nhau, bao gồm 5 m/s, 15 m/s và 25 m/s, trong đó tốc độ gió 25 m/s tương ứng với sức gió khi bão ở cấp 9, 10. Kết quả xác định thời gian phản hồi khi sử dụng tàu KN-579 của Cục Kiểm ngư với các tốc độ gió khác nhau được thể hiện trên các Hình 9-13. Bảng 3 thể hiện thời gian tiếp cận từ 05 trạm tìm kiếm, cứu nạn tới 07 vị trí giả định xảy ra sự cố trên biển khu vực vịnh Bắc Bộ với các tốc độ gió 5 m/s, 10 m/s, 15 m/s và 25 m/s (hướng gió 45°).



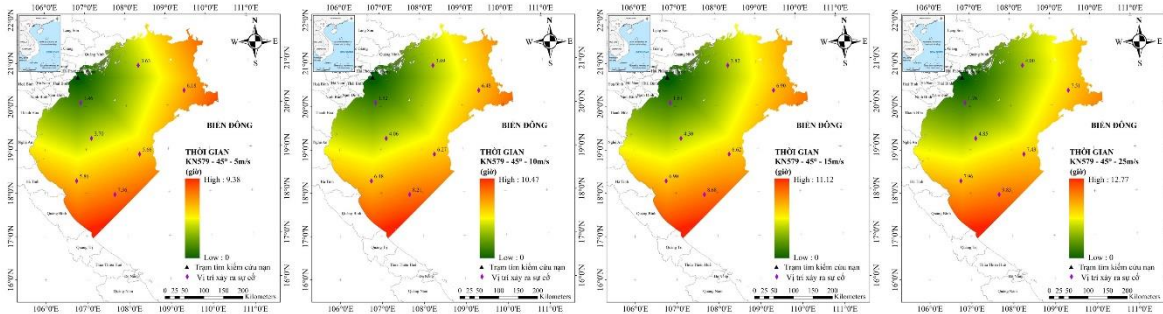
**Hình 9.** Thời gian phản hồi của tàu KN-579 từ trạm Bạch Long Vỹ, hướng gió 45°, tốc độ gió 5 m/s, 10 m/s, 15 m/s và 25 m/s.



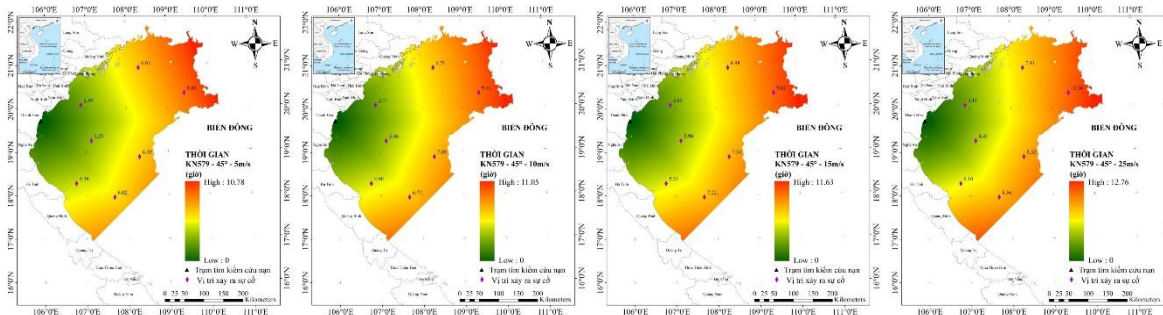
**Hình 10.** Thời gian phản hồi của tàu KN-579 từ trạm Cồn Cỏ, hướng gió 45°, tốc độ gió 5 m/s, 10 m/s, 15 m/s và 25 m/s.



**Hình 11.** Thời gian phản hồi của tàu KN-579 từ trạm Cửa Sốt, hướng gió 45°, tốc độ gió 5 m/s, 10 m/s, 15 m/s và 25 m/s.



**Hình 12.** Thời gian phản hồi của tàu KN-579 từ trạm Hải Phòng, hướng gió 45°, tốc độ gió 5 m/s, 10 m/s, 15 m/s và 25 m/s.



**Hình 13.** Thời gian phản hồi của tàu KN-579 từ trạm Sầm Sơn, hướng gió 45°, tốc độ gió 5 m/s, 10 m/s, 15 m/s và 25 m/s.

Phân tích kết quả đạt được trong Bảng 3 cho thấy, tốc độ gió có ảnh hưởng lớn đến thời gian tiếp cận các vị trí xảy ra sự cố trên biên khu vực vịnh Bắc Bộ từ 05 trạm tìm kiếm, cứu nạn và ảnh hưởng này được thể hiện rõ rệt hơn rất nhiều so với hướng gió. Trong đó, tốc độ gió càng lớn, thời gian tiếp cận khu vực gặp nạn càng dài (với hướng gió mặc định là 45°). Ví dụ, thời gian tiếp cận vị trí xảy ra sự cố 1 từ trạm Bạch Long Vỹ bằng tàu KN-579 với tốc độ gió 5 m/s là 2,47 giờ. Với tốc độ gió là 10 m/s, thời gian tiếp cận vị trí sự cố tăng lên thành 2,71 giờ và tiếp tục tăng lên khi tốc độ gió đạt 15 m/s (2,89 giờ). Với trường hợp tàu KN-579 xuất phát từ trạm Cồn Cỏ hoặc Cửa Sốt tới vị trí 1, chênh lệch giữa thời gian tiếp cận khi tốc độ gió là 5 m/s và 15 m/s đạt tới hơn 1 giờ. Ảnh hưởng của tốc độ gió cũng được thể hiện rõ nét khi phân tích thời gian tiếp cận của tàu KN-579 từ 05 trạm tìm kiếm tới các vị trí xảy ra sự cố khác. Trong trường hợp xảy ra bão ở cấp 9, 10 (sức gió khoảng 25 m/s), thời gian tiếp cận từ các trạm SAR đến các vị trí xảy ra sự cố là dài nhất, trung bình gấp gần 1,5 lần so với thời gian tiếp cận khi tốc độ gió 5 m/s.

#### 4. Kết luận

Hướng gió và tốc độ gió có ảnh hưởng quan trọng đến thời gian tiếp cận của các tàu tìm kiếm, cứu nạn tới các vị trí xảy ra sự cố trên biển. Trong nghiên cứu này, bộ dữ liệu đầu vào đại diện cho các yếu tố về địa hình, khí tượng, hải văn, phương tiện SAR được sử dụng để



xác định thời gian phản hồi trong tìm kiếm, cứu nạn trên biển. 05 trạm tìm kiếm, cứu nạn, trong đó có 02 trạm tại các đảo trên biển (Bạch Long Vỹ, Cồn Cỏ) và 03 trạm ở ven bờ (Hải Phòng, Sầm Sơn, Cửa Sốt) được thử nghiệm để tính thời gian tiếp cận của tàu KN-579 (Cục Kiểm ngư, Bộ Nông nghiệp và Phát triển nông thôn) tới 07 vị trí giả định xảy ra sự cố trên khu vực vịnh Bắc Bộ. Để đánh giá ảnh hưởng của gió tới thời gian tiếp cận vị trí xảy ra sự cố ở khu vực vịnh Bắc Bộ, trong nghiên cứu đã thử nghiệm với các hướng gió ( $0^\circ$ ,  $45^\circ$ ,  $135^\circ$  và  $180^\circ$ ) và tốc độ gió (5 m/s, 10 m/s, 15 m/s và 25 m/s) khác nhau. Kết quả nhận được cho thấy, hướng gió và tốc độ gió có ảnh hưởng quan trọng đến kết quả xác định thời gian phản hồi trong tìm kiếm, cứu nạn trên biển. Các thông tin hữu ích này giúp các lực lượng tìm kiếm, cứu nạn lên kế hoạch và triển khai hoạt động phù hợp tùy theo điều kiện thời tiết, trang thiết bị cụ thể đối với khu vực biển cần cứu nạn.

**Đóng góp của tác giả:** Xây dựng ý tưởng nghiên cứu: N.Q.M., N.V.T.; Xử lý số liệu: N.Q.M.; Viết bản thảo bài báo: N.Q.M; Chỉnh sửa bài báo: N.V.T.

**Lời cam đoan:** Tập thể tác giả cam đoan bài báo này là công trình nghiên cứu của tập thể tác giả, chưa được công bố ở đâu, không được sao chép từ những nghiên cứu trước đây; không có sự tranh chấp lợi ích trong nhóm tác giả.

### Tài liệu tham khảo

1. Bộ Tài nguyên và Môi trường. Báo cáo đánh giá khí hậu quốc gia. 2021, tr. 267.
2. Guoxing, L.; Maofeng, L. SARGIS: A GIS-Based Decision-making Support System for Maritime Search and Rescue. Proceeding of the 2010 International Conference on E-Business and E-Government, Guangzhou, China, 2010, pp. 1571–1574. Doi: 10.1109/ICEE.2010.398.
3. Aronica, S.; Benvegna, F.; Cossentino, M.; Gaglio, S.; Langiu, A.; Lodato, C.; Lopes, S.; Mascalco, U.; Sangiorgi, P. An agent-based system for maritime search and rescue operations. *CEUR-WS* 2010, 621(21), 10.
4. Breivik, O.; Allen, A.; Maisondieu, C.; Olagnon, M. Advances in search and rescue at sea. *Ocean Dyn.* 2013, 63(1), 83–88.
5. Serra, M.; Sathe, P.; Rypina, I.; Kirincich, A.; Ross, S.; Lermusiaux, P.; Allen, A.; Peacock, T.; Haller, G. Search and rescue at sea aided by hidden flow structures. *Nat. Commun.* 2020, 11, 2525.
6. Xiong, W.; van Gelder, P.; Yang, K. A decision support method for design and operationalization of search and rescue in maritime emergency. *Ocean Eng.* 2020, 207, 107399. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2020.107399>.
7. Venalainen, E. Evaluating voluntary emergency response in the Gulf of Finland. Master's thesis of Geography and Geoinformatics, 2014, pp. 118.
8. Burns, D. Application of GIS for coastal rescue response. Esri User Conference Paper Sessions, 2014. <https://proceedings.esri.com/library/userconf/proc14/>.
9. Karatas, M.; Razi, N.; Gunal, M. An ILP and simulation model to optimize search and rescue helicopter operations. *J. Oper. Res. Soc.* 2017, 68, 1335–1351. <https://doi.org/10.1057/s41274-016-0154-7>.
10. Ferrari, J. A study of optimal search and rescue operations planning problems. Thesis for degree of Doctor of Philosophy (Industrial Engineering), Concordia University, Montreal, Quebec, Canada, 2019.
11. Zhou, X.; Cheng, L.; Zhang, F.; Yan, Z.; Ruan, X.; Min, K.; Li, M. Integrating Island spatial information and integer optimization for locating maritime search and rescue bases: A case study in the South China Sea. *ISPRS Int. J. Geo-Inf.* 2020, 8(2), 88. <https://doi.org/10.3390/ijgi8020088>
12. Ashrafi, B.; Kim, G.; Naseri, M.; Barabady, J.; Dhar, S.; Heo, G.; Baek, S. An agent-based modelling framework for performance assessment of search and rescue

- operations in the Barents Sea. *Saf. Extreme Environ.* **2024**, 6, 183–200. <https://doi.org/10.1007/s42797-024-00101-2>.
13. Siljander, M.; Venäläinen, E.; Goerlandt, F.; Pellikka, P. GIS-based cost distance modelling to support strategic maritime search and rescue planning: A feasibility study. *Appl. Geogr.* **2015**, 57, 54–70.
  14. An, L.Đ. Hệ thống đảo ven bờ Việt Nam - Tài nguyên và phát triển. Nhà xuất bản Khoa học tự nhiên và Công nghệ. 2008.
  15. Thanh, T.Đ.; An, L.Đ. Tài nguyên vị thế tự nhiên đảo Bạch Long Vỹ. *Tap chí các khoa học về Trái đất* **2012**, 34(4), 447–485.
  16. Hải, L.V.H.; Thành, N.S.; Dương, Đ.V.; Nga, N.T.T.; Thủy, N.T.T.; Hạnh, T.T. Xây dựng cơ sở dữ liệu không gian hỗ trợ tìm kiếm, cứu nạn, cứu nạn trên biển dựa trên GIS mã nguồn mở. *Tap chí Khoa học và Công nghệ Đại học Thái Nguyên* **2021**, 226(02), 42–50.
  17. USACE. Coastal Engineering Manual 10-2-1100. Parts 1-6, Washington, D.C, 2002.
  18. Minh, N.Q.; Diệu, B.T.; Trung, N.V. Xác định khoảng cách hiệu dụng trong tìm kiếm, cứu nạn trên biển bằng công nghệ GIS và phương pháp mô hình hóa. *Tap chí Khí tượng Thủy văn* **2025**, 770, 29–42.
  19. An, P.T.; Bắc, Đ.Đ.; Xuân, N.T. Tích hợp công nghệ viễn thám và GIS trong hỗ trợ công tác tìm kiếm cứu nạn thiên tai ở Việt Nam. *Tap chí Khoa học Đo đạc và Bản đồ* **2011**, 9, 54–58.
  20. Thành, N.S.; Dương, Đ.V.; Hải, L.V.H.; Hoài, Đ.K.; Nga, N.T.T.; Lộc, L.Đ.; Thủy, N.T.T. Giải pháp hệ thống tin địa lý mã nguồn mở trong hỗ trợ hoạt động tìm kiếm cứu nạn hàng hải. *Tap chí Khoa học Tài nguyên và Môi trường* **2022**, 41, 22–33.
  21. Hà, P.N.; Ty, L.V.; Triều, T.H.; Đức, N.M. Nghiên cứu xây dựng mô hình hệ thống hỗ trợ tìm kiếm cứu nạn cho vùng biển Việt Nam. *Tap chí Khoa học công nghệ Hàng hải* **2019**, 59, 90–95.
  22. Thắng, N.V.; Khiêm, M.V.; Hiệu, N.T.; Thăng, V.V.; Mậu, N.Đ.; Tuyết, L.T. Ảnh hưởng của bão ở Việt Nam thời kỳ 1961 - 2014. *Tap chí Khoa học ĐHQGHN: Các Khoa học Trái đất và Môi trường* **2016**, 32(3S), 310–316.
  23. Tuấn, N.N.; Hướng, N.V.; Thảo, Đ.T.P.; Huyền, N.T.T.; Văn, C.T. Nghiên cứu chế độ mưa, nhiệt tại vùng biển Vịnh Bắc Bộ từ dữ liệu vệ tinh. *Tap chí Khí tượng Thủy văn* **2019**, 755(1), 19–28.
  24. Lončar, G.; Šreng, Ž.; Miličević, H.; & Ostojčić, S. Increase of wave height due to transition in wind direction—example: Rijeka Bay. *Adv. Civil Archit. Eng.* **2019**, 10(18), 57–70.
  25. Hoffmann, M.; Roy, S.; Berger, A.; Bergmann, W.; Chan, K.; Shubbak, M.; Langhorst, J.; Schnauder, T.; Strub, O.; Buskens, C. Wind affected maneuverability of Tungboat-controlled ships. *IFAC-PapersOnLine* **2021**, 54(16), 70–75.
  26. Zhang, L.; Li, J.; Liu, C.; Zhang, W. A robust fuzzy speed regulator for unmanned sailboat robot via the composite ILOS guidance. *Nonlinear Dyn.* **2022**, 110(3), 1–16. <https://doi.org/10.1007/s11071-022-07763-2>.
  27. Herterich, J.G.; Dias, F. Extreme long waves over a varying bathymetry. *J. Fluid Mechanics* **2019**, 878, 481–501.
  28. Salameh, E.; Frappart, F.; Almar, R.; Baptista, P.; Heygster, G.; Lubac, B.; Raucoules, D.; Almeida, L.P.; Bergsma, E.W.J.; Capo, S.; et al. Monitoring beach topography and nearshore bathymetry using spaceborne remote sensing: A review. *Remote Sens.* **2019**, 11(19), 2212.

## **Assessing the impact of wind on the response time to reach the search and rescue area at sea: A case study in the Gulf of Tonkin**

**Nguyen Quang Minh<sup>1,2</sup>, Nguyen Van Trung<sup>2,3\*</sup>**

<sup>1</sup> Department of Cartography, The General Staff; [nguyenquangminh.sar@gmail.com](mailto:nguyenquangminh.sar@gmail.com)

<sup>2</sup> Hanoi University of Mining and Geology; [nguyenvantrung@humg.edu.vn](mailto:nguyenvantrung@humg.edu.vn)

<sup>3</sup> Geomatics in Earth Sciences Research Group, Hanoi University of Mining and Geology; [nguyenvantrung@humg.edu.vn](mailto:nguyenvantrung@humg.edu.vn)

**Abstract:** Maritime accidents occur frequently in Vietnam - a country with a large sea area and long coastline, especially under the influence of climate change. To support the development of search and rescue plans at sea, determining the time to approach the incident areas (response time) is very important. In the study, 07 data layers including: (1) search and rescue vessel data; (2) adjusted wind speed (3) wind direction; (4) gravitational acceleration, (5) seabed depth, (6) land-water image data and (7) locations of search and rescue stations were used to determine the time to approach the incident location at sea. To assess the influence of wind on the time to approach the incident location in the Gulf of Tonkin, the study tested different wind directions ( $0^\circ$ ,  $45^\circ$ ,  $135^\circ$ ,  $180^\circ$ ) and speeds (5 m/s, 10 m/s, 15 m/s, 25 m/s). The results obtained show that wind direction and wind speed have an important influence on the results of determining response time in search and rescue at sea. The study results also provide useful information to help managers develop search and rescue plans suitable for climatic conditions at sea.

**Keywords:** Search and Rescue; Response Time; Wind Speed; Wind Direction; Modelling; Gulf of Tonkin.