

NGHIÊN CỨU ĐÁNH GIÁ RỦI RO KHI DẪN TÀU TRÊN LUỒNG HÀNG HẢI ÁP DỤNG PHƯƠNG PHÁP TỔNG HỢP MỜ

A RESEARCH ON RISK ASSESSMENT FOR NAVIGATION IN WATERWAYS USING FUZZY SYNTHESIS METHOD

NGUYỄN VĂN QUẢNG¹, LƯƠNG TÚ NAM^{2*}

¹Phòng Tổ chức - Hành chính, Trường Đại học Hàng hải Việt Nam

²Khoa Hàng hải, Trường Đại học Hàng hải Việt Nam

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

DOI: <https://doi.org/10.65154/jmst.961>

Tóm tắt

Dẫn tàu an toàn trong luồng hàng hải là một quá trình tiềm ẩn nhiều nguy hiểm, đòi hỏi phải tiến hành đánh giá rủi ro kỹ lưỡng để đảm bảo an toàn cho tàu và hiệu quả hoạt động của cảng. Việc đánh giá này cần phải dựa trên mối tương tác giữa con người, tàu và môi trường. Vì vậy, nghiên cứu này phát triển một phương pháp xem xét tầm ảnh hưởng từ hoạt động của con người, đặc điểm tàu thuyền và điều kiện môi trường đến rủi ro khi dẫn tàu trong luồng, từ đó đề xuất một chỉ số đánh giá rủi ro có hệ thống. Nghiên cứu kết hợp Phương pháp Phân tích thứ bậc (AHP) để xác định trọng số yếu tố một cách khách quan và Phương pháp Đánh giá toàn diện mờ (FCE) được để đánh giá sự không chắc chắn. Để kiểm chứng tính hiệu quả của phương pháp đề xuất, mô phỏng số đã được thực hiện ở khu vực luồng Hải Phòng, xem xét các loại tàu trong các kịch bản hoạt động và điều kiện môi trường khác nhau. Kết quả mô phỏng cho thấy phương pháp có thể phản ánh một cách khách quan các yếu tố cấp một ảnh hưởng đến rủi ro khi tàu hành trình trong luồng, cung cấp cho các cơ quan quản lý nhà nước cơ sở khoa học để giảm thiểu rủi ro và nâng cao an toàn hàng hải.

Từ khóa: An toàn hàng hải, giao thông hàng hải, đánh giá rủi ro, phương pháp phân tích thứ bậc, phương pháp đánh giá toàn diện mờ.

Abstract

Safe navigation in maritime waterways is a process fraught with potential dangers, requiring thorough risk assessment to ensure vessel safety and port operational efficiency. This assessment needs to be based on the interaction between officers, vessels, and the environment. Therefore, this study develops a method to examine the impact of human activities, vessel characteristics, and environmental conditions on navigation risks,

thereby proposing a systematic risk assessment index. The study combines Analytical Hierarchy Process (AHP) to objectively determine factor weights and Fuzzy Comprehensive Assessment (FCE) to assess uncertainty. To verify the effectiveness of the proposed method, numerical simulations were conducted in the Hai Phong channel area, considering different vessel types under various operating scenarios and environmental conditions. Simulation results show that the method can objectively reflect the key factors affecting risks when ships navigate in waterways, potentially providing state management agencies with a scientific basis for risk mitigation and improved maritime safety.

Keywords: Maritime safety, maritime traffic, risk assessment, Analytical Hierarchy Process, Fuzzy Comprehensive Assessment.

1. Mở đầu

Khi việc xây dựng cảng và vận tải hàng hóa đường biển phát triển nhanh chóng, các vấn đề như tuyến đường ra vào cảng và bờ biển phức tạp, lưu lượng và mật độ tàu thuyền gia tăng, sự va chạm thường xuyên giữa các tàu khác nhau và rủi ro an toàn giao thông đường thủy ngày càng cao trở nên nổi bật. An toàn giao thông hàng hải là vô cùng quan trọng đối với tính mạng con người, môi trường biển và các tài sản vật chất và phi vật chất liên quan đến các hoạt động hàng hải [1]. Đảm bảo an toàn hàng hải khi dẫn tàu trên luồng đóng vai trò đặc biệt quan trọng trong việc đảm bảo thương mại. Nguy cơ đâm va bị ảnh hưởng bởi nhiều yếu tố, và mối tương quan giữa các yếu tố đó với nguy cơ đâm va vẫn chưa được xác định chính xác [2].

Các phương pháp đánh giá phổ biến như mạng Bayes mờ [3] và lý thuyết mờ xám [4] chủ yếu được áp dụng để đánh giá rủi ro hàng hải của luồng. Ngoài ra, các phương pháp này cũng đã liên tục được cải tiến

và tinh chỉnh cho các đối tượng nghiên cứu cụ thể. Các chỉ số đánh giá rủi ro được sàng lọc và sử dụng phương pháp phân tử vật chất để xây dựng mô hình đánh giá rủi ro hàng hải cho tuyến đường Laotieshan [5]. Mô hình entropy và phân tử vật chất để đánh giá định lượng rủi ro môi trường của việc dẫn tàu trong tuyến hai chiều của đoạn Giang Tô thuộc sông Dương Tử [6]. Các cuộc khảo sát bằng bảng câu hỏi và các thí nghiệm mô phỏng điều khiển tàu cũng có thể được sử dụng để đánh giá rủi ro của các luồng, ví dụ tại khu vực Busan [7]. Ngoài ra, Chỉ số Nguy hiểm Giao thông Hàng hải đã được sử dụng để vẽ bản đồ nguy hiểm của cảng Busan, cho phép đánh giá rủi ro theo thời gian thực [8]. Việc đánh giá rủi ro của việc dẫn tàu trên các tuyến luồng một chiều hiện nay chủ yếu chỉ tập trung vào việc lập kế hoạch tàu [9, 10]. Điều này không thể cung cấp hướng dẫn toàn diện hơn cho việc đưa ra quyết định.

Sự an toàn khi dẫn tàu trên luồng đòi hỏi sự quan hàng hải cần phải thành thạo trong việc vận hành các trang thiết bị, có kinh nghiệm thực tiễn sâu rộng và có khả năng đưa ra các quyết định quan trọng trong nhiều tình huống phức tạp. Ngoài ra, tình trạng của tàu cũng ảnh hưởng đáng kể đến việc dẫn tàu. Một con tàu trong tình trạng tốt có thể giúp tàu hoạt động linh hoạt trong môi trường phức tạp, do đó có thể giảm thiểu rủi ro [11]. Đồng thời, các yếu tố môi trường cũng có tác động đáng kể. Độ sâu, gió, sóng và thủy triều có thể ảnh hưởng đến việc điều động tàu, đòi hỏi sự quan hàng hải phải điều chỉnh và phản ứng theo điều kiện thực tế. Ngoài ra, các yếu tố địa hình và cơ sở vật chất xung quanh cũng có ảnh hưởng đến các hoạt động này [12].

Nghiên cứu này tiến hành phân tích chuyên sâu 3 yếu tố ảnh hưởng chính và thiết lập phương pháp đánh giá rủi ro khi dẫn tàu trên luồng dựa trên sự tích hợp của con người, tàu và môi trường. Đầu tiên, các yếu tố liên quan đến con người, tàu và môi trường để xác định các yếu tố cấp một ảnh hưởng đến hoạt động dẫn tàu. Từ đó thiết lập hệ thống chỉ số cho các yếu tố này. Thứ hai, do một số chỉ số rủi ro khó định lượng, nghiên cứu áp dụng kết hợp phương pháp phân tích thứ bậc (AHP) và phương pháp đánh giá toàn diện mờ (FCE). Phương pháp AHP được sử dụng để xác định trọng số của các yếu tố ảnh hưởng, trong khi phương pháp FCE được áp dụng cho đánh giá cuối cùng về rủi ro. Cuối cùng, phương pháp đề xuất đã được áp dụng để đánh giá toàn diện hoạt động của một con tàu trên khu vực luồng Hải Phòng, qua đó xác nhận tính khả thi và hiệu quả của phương pháp đánh giá.

2. Các yếu tố rủi ro khi dẫn tàu trên luồng

Trong quá trình dẫn tàu trong luồng, kỹ năng của sỹ quan hàng hải, tình trạng của tàu, các yếu tố môi trường như gió, sóng, thủy triều cũng như các cơ sở hạ tầng xung quanh đều có ảnh hưởng đáng kể đến độ tin cậy và an toàn của tàu. Các yếu tố này đều có tương tác qua lại lẫn nhau, liên kết với nhau, cùng nhau ảnh hưởng đến toàn bộ quá trình dẫn tàu. Sự tác động tổng hợp của các yếu tố này tạo thành một nguồn rủi ro chính, cần được phân tích chính xác, quản lý và đánh giá hợp lý để đảm bảo an toàn cho tàu hành trình.

Để đánh giá và định lượng hiệu quả các yếu tố rủi ro trong quá trình dẫn tàu trong luồng, cần xác định và phân tích ba khía cạnh có ảnh hưởng chính, đó là con người, tàu và môi trường. Từ đó xây dựng một hệ thống chỉ số đánh giá rủi ro toàn diện và hệ thống. Hệ thống chỉ số này phân tích khoa học các yếu tố con người, yếu tố con tàu và yếu tố môi trường (các yếu tố cấp một), từ đó có thể đánh giá đầy đủ mức độ rủi ro liên quan, đánh giá và dự đoán chính xác hơn những rủi ro tiềm ẩn và các nguy cơ an toàn trong quá trình tàu hành trình.

Nghiên cứu này sử dụng phương pháp khảo sát chuyên gia để thực hiện xác định, chọn lọc, đơn giản hóa và tổng hợp chỉ số của các yếu tố rủi ro. Đây là phương pháp linh hoạt và hiệu quả trong việc thu thập thông tin đánh giá chuyên môn. Thông qua việc khảo sát, những yếu tố rủi ro có đặc điểm hệ thống hoặc có ảnh hưởng tương đồng có thể được xác định và thống nhất hoá. Những ý kiến không phù hợp hoặc không hợp lý cần phải loại bỏ hoặc thay thế.

2.1. Yếu tố liên quan đến thao tác của sỹ quan hàng hải

Đây là nhóm yếu tố đề cập đến ảnh hưởng từ việc thao tác của sỹ quan hàng hải đối với quá trình dẫn tàu trên luồng. Con người đóng vai trò cực kỳ quan trọng trong quá trình vận hành tàu. Thao tác dẫn tàu là yếu tố then chốt ảnh hưởng đến an toàn của tàu và nguy cơ tai nạn. Để đánh giá chính xác ảnh hưởng của yếu tố con người đối với quá trình tàu hành trình, nghiên cứu đã tiến hành thu thập ý kiến và phân tích nhóm yếu tố này thành các yếu tố cấp hai sau:

(1) D_{11} - Tuân thủ quy định hàng hải: Tuân thủ các quy tắc trên luồng, giới hạn tốc độ.

(2) D_{12} - Độ chính xác của việc xác định vị trí tàu: Khả năng giữ tàu trong các ranh giới luồng được chỉ định và vùng nước an toàn.

(3) D_{13} - Quản lý tốc độ: Kiểm soát tốc độ hợp lý dựa trên tình trạng luồng, mật độ giao thông và các yếu tố môi trường.

(4) D_{14} - Hiệu quả của việc thông tin liên lạc: Chất lượng liên lạc với hệ thống giám sát và điều phối giao thông hàng hải (VTS), trao đổi thông tin giữa người lái tàu và thuyền trưởng, cũng như phối hợp với hoa tiêu.

(5) D_{15} - Khoảng cách với ranh giới luồng: Khoảng cách ngang an toàn với mép luồng và các khu vực nông.

(6) D_{16} - Khoảng cách với các tàu khác: Khoảng cách an toàn được duy trì khi vượt hoặc đối hướng tàu khác.

(7) D_{17} - Khả năng giữ hướng: Khả năng duy trì hướng đi đã định, đặc biệt trong các khúc quanh của luồng và khu vực có dòng chảy mạnh.

(8) D_{18} - Khả năng phản ứng khẩn cấp: Sự chuẩn bị và khả năng của thủy thủ trong việc xử lý tình huống khẩn cấp ở vùng nước hẹp.

2.2. Yếu tố liên quan đến tàu

Đây là nhóm yếu tố phản ánh đặc điểm hoặc tình trạng của chính con tàu có ảnh hưởng đến mức độ an toàn và rủi ro trong quá trình hành trình trên luồng. Nhóm yếu tố này cần được theo dõi và quản lý liên tục. Chủ tàu thường quản lý những yếu tố này thông qua việc kiểm tra, bảo trì và bảo dưỡng, nhằm đảm bảo tàu đủ khả năng đi biển và giảm thiểu các rủi ro liên quan.

Kết quả khảo sát phân loại nhóm yếu tố này như sau:

(1) D_{21} - Kích thước và loại tàu: Mối quan hệ giữa kích thước tàu với chiều rộng và độ sâu của tuyến đường, ảnh hưởng đến khả năng điều động của tàu.

(2) D_{22} - Hiệu suất điều khiển: Khả năng quay trở, khoảng cách dừng và phản ứng của tàu với khi có lệnh thay đổi hướng và vận tốc.

(3) D_{23} - Tình trạng thiết bị định vị: Chức năng của hệ thống GPS, AIS, Radar, ECDIS và thiết bị đo độ sâu.

(4) D_{24} - Hệ thống động lực của tàu: Độ tin cậy và tình trạng của động cơ chính, động cơ phụ, bánh lái và hệ thống đẩy.

(5) D_{25} - Tình trạng tải: Mức mớn nước, độ nghiêng dọc, độ ổn định của tàu và ảnh hưởng tới đặc tính điều khiển.

(6) D_{26} - Bảo dưỡng thân tàu và thiết bị: Tình trạng tổng thể ảnh hưởng đến khả năng đi biển và độ tin cậy trong vận hành của tàu.

2.3. Yếu tố liên quan đến môi trường

Nhóm yếu tố rủi ro liên quan đến môi trường bao gồm các yếu tố từ môi trường tự nhiên và yếu tố từ cơ sở hạ tầng làm giới hạn khả năng vận hành, ảnh hưởng đến mức độ an toàn và rủi ro của hoạt động dẫn tàu.

Ví dụ, gió mạnh, thời tiết khắc nghiệt, sóng lớn và thủy triều có thể ảnh hưởng đến sự ổn định của tàu. Mật độ tàu thuyền trên luồng, độ sâu nước, cũng như các chướng ngại vật tĩnh như đá ngầm, báo hiệu hàng hải, chân cầu có thể gây khó khăn cho việc dẫn tàu, đặc biệt dưới điều kiện thời tiết bất lợi. Trong quá trình dẫn tàu, sỹ quan hàng hải cần hiểu và cân nhắc đầy đủ tác động của các yếu tố này và kịp thời thực hiện các biện pháp ứng phó phù hợp để đảm bảo tàu cập bến an toàn trong điều kiện môi trường phức tạp.

Nghiên cứu tập hợp, thống kê ý kiến từ các chuyên gia và phân tích nhóm các yếu tố môi trường như sau:

(1) D_{31} - Ảnh hưởng thủy triều: Thay đổi mực nước, dòng triều và ảnh hưởng của chúng đến khả năng điều khiển tàu.

(2) D_{32} - Điều kiện gió: Tốc độ và hướng gió ảnh hưởng đến việc trôi dạt của tàu, dẫn đến việc cần điều chỉnh hướng đi.

(3) D_{33} - Tầm nhìn: Sương mù, mưa có thể làm giảm khả năng quan sát.

(4) D_{34} - Dòng chảy: Dòng chảy dọc và ngang ảnh hưởng đến quỹ đạo tàu và vận tốc so với mặt đất.

(5) D_{35} - Mật độ giao thông trên luồng: Số lượng và loại tàu trên luồng, dẫn đến nguy cơ đâm va.

(6) D_{36} - Hình dạng luồng: Chiều rộng, độ sâu, độ cong và kích thước vùng nước có thể đi lại liên quan đến kích thước tàu.

(7) D_{37} - Thời tiết: Ảnh hưởng của gió mùa, bão và các kiểu thời tiết theo mùa đặc trưng ở vùng biển Việt Nam.

3. Xác định trọng số bằng phương pháp AHP

Phương pháp phân tích thứ bậc (AHP) là một phương pháp ra quyết định có cấu trúc, kết hợp phân tích định tính và định lượng. Phương pháp này phân tích một cách có hệ thống các vấn đề phức tạp thành các thành phần theo thứ bậc, cho phép so sánh từng cặp để xác định tầm quan trọng tương đối của mỗi yếu tố. Trong nghiên cứu này, AHP được sử dụng để thiết lập trọng số khách quan cho các yếu tố rủi ro khi dẫn tàu trên luồng thông qua tham vấn ý kiến của các chuyên gia. Quá trình này bao gồm 3 bước: xây dựng ma trận đánh giá, tính toán vectơ trọng số và thực hiện kiểm tra tính nhất quán.

3.1. Xây dựng ma trận đánh giá

Ma trận đánh giá là cơ sở của phương pháp AHP, thể hiện ý kiến của các chuyên gia về mức độ quan trọng tương đối giữa các yếu tố rủi ro. Để xây dựng ma trận này, nghiên cứu đã khảo sát chuyên gia bao gồm các sỹ quan hàng hải, hoa tiêu giàu kinh nghiệm, các chuyên gia của cơ quan quản lý nhà nước và các cảng

Bảng 1. Thang đo của ma trận đánh giá

Thang đo (b_{ij})	Định nghĩa	Giải thích
1	Tầm ảnh hưởng ngang nhau	Các yếu tố i và j có ảnh hưởng như nhau
3	Tầm ảnh hưởng vừa phải	Ảnh hưởng hơi nghiêng về yếu tố i hơn j
5	Tầm ảnh hưởng mạnh	Yếu tố i ảnh hưởng hơn nhiều so với j
7	Tầm ảnh hưởng rất mạnh	Yếu tố i ảnh hưởng rõ ràng hơn j
9	Tầm ảnh hưởng cực độ	Yếu tố i ảnh hưởng hơn rất nhiều so với j
2, 4, 6, 8	Giá trị trung gian	Được sử dụng khi cần sự thỏa hiệp giữa các phán đoán liên kề
Nghịch đảo	Giá trị trung gian	Nếu $b_{ij} = 3$ thì $b_{ji} = 1/3$

biên. Kết quả khảo sát được biểu thị bằng các giá trị cụ thể, tạo thành ma trận đánh giá. Thang đo của ma trận đánh giá được định nghĩa như trong Bảng 1.

Đối với n yếu tố rủi ro, ma trận đánh giá B được xây dựng như một ma trận nghịch đảo dương dựa trên kết quả lấy ý kiến khảo sát chuyên gia.

$$B = \begin{bmatrix} b_{11} & b_{12} & b_{13} & \dots & b_{1n} \\ b_{21} & b_{22} & b_{23} & \dots & b_{2n} \\ b_{31} & b_{32} & b_{33} & \dots & b_{3n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ b_{n1} & b_{n2} & b_{n3} & \dots & b_{nn} \end{bmatrix} \quad (1)$$

Trong đó:

$b_{ii}=1$: Các phần tử trên đường chéo chính là ảnh hưởng so với với chính nó;

$b_{ij} > 0$: Tất cả các phần tử đều dương;

$b_{ij}=1/b_{ji}$: Tính chất nghịch đảo.

3.2. Tính toán trọng số cho các yếu tố

Sau khi xây dựng ma trận đánh giá, phương pháp giá trị riêng được áp dụng để tính vectơ trọng số. Quá trình này chuyển kết quả so sánh cặp thành trọng số chuẩn hóa, thể hiện đóng góp tương đối của từng yếu tố đối với rủi ro tổng thể:

$$U_i = \sqrt[n]{\prod_{j=1}^n b_{ij}} = (b_{i1} \times \dots \times b_{in})^{1/n} \quad (2)$$

Trong đó:

n : Là số lượng các yếu tố cần so sánh;

\prod : Là biểu thị tích của tất cả các phần tử trong hàng thứ i .

Vectơ trọng số được tính toán bằng cách chuẩn hoá giá trị trung bình:

$$V_i = \frac{U_i}{\sum_{i=1}^n U_i} \quad (3)$$

Trọng số chuẩn hóa cuối cùng được tính toán như sau:

$$W_i = \frac{V_i}{\sum_{i=1}^n V_i} \quad (4)$$

Điều này đảm bảo rằng $\sum W_i = 1$, từ đó trọng số có thể được hiểu như tỷ lệ phần trăm.

3.3. Kiểm tra tính nhất quán

Một trong những bước quan trọng của phương pháp AHP là xác minh tính nhất quán của đánh giá chuyên gia. Việc nhận định hoàn toàn nhất quán ở con người rất hiếm gặp, nhưng sự không nhất quán quá mức cho thấy kết quả so sánh không đáng tin cậy và cần phải đánh giá lại.

Giá trị riêng lớn nhất thể hiện mức độ gần với sự nhất quán hoàn toàn của ma trận:

$$\lambda_{max} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{(BW)_i}{W_i} \quad (5)$$

Trong đó:

BW : Là tích ma trận véc to của B và W ;

$(BW)_i$: Là thành phần thứ i của tích BW .

Chỉ số nhất quán (*Consistency Index - CI*) chỉ ra độ lệch so với tính nhất quán hoàn hảo:

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \quad (6)$$

Đối với tính nhất quán hoàn hảo, $\lambda_{max}=n$, khi đó $CI=0$. Giá trị CI càng lớn cho thấy mức độ không nhất quán càng cao.

Tỷ lệ nhất quán (*Consistency Ratio - CR*) so sánh chỉ số CI được tính toán với chỉ số ngẫu nhiên (*Random Index - RI*), đại diện cho tính nhất quán dự kiến của một ma trận được tạo ngẫu nhiên:

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (7)$$

Nếu $CR < 0,10$: Sự nhất quán của ma trận có thể chấp nhận được, trọng số đáng tin cậy

Nếu $CR \geq 0,10$: Đánh giá của chuyên gia cần phải sửa đổi.

Thông qua phương pháp AHP, các đánh giá của chuyên gia được phân tích, sắp xếp hành ma trận so sánh cặp và xử lý để đi đến vectơ trọng số chuẩn hóa. Quá trình này đảm bảo tính nhất quán, từ đó trọng số thu được có thể đại diện đáng tin cậy cho sự đồng thuận của các chuyên gia về tầm ảnh hưởng của các

yếu tố. Kết quả của quá trình này là vector trọng số $W=[w_1, w_2, w_3, \dots, w_n]$ với w_i biểu thị trọng số của chỉ số i .

4. Đánh giá toàn diện mờ rủi ro khi dẫn tàu trên luồng

Phương pháp đánh giá toàn diện mờ (FCE) áp dụng các nguyên tắc toán học mờ vào việc đánh giá các hệ thống phức tạp, nhằm mục đích xử lý và định lượng thông tin không chắc chắn và mơ hồ. Mô hình này trước tiên yêu cầu xây dựng một cách khoa học hệ thống chỉ số đánh giá cho đối tượng đánh giá và sau đó, gán trọng số tương ứng dựa trên tầm quan trọng của từng chỉ số. Tiếp theo, ma trận quan hệ mờ được sử dụng để chuyển đổi tình trạng thực tế của từng chỉ số thành độ thuộc. Quá trình này bao gồm việc thiết kế hàm phụ thuộc, đây là bước quan trọng trong việc ánh xạ các giá trị chỉ số vào phạm vi $[0, 1]$ để phản ánh sự đóng góp của chúng vào các cấp độ đánh giá. Bằng cách tích hợp các độ thuộc này và kết hợp chúng với trọng số của từng chỉ số sẽ hình thành một đánh giá toàn diện về hiệu suất tổng thể của đối tượng đánh giá. Quá trình đánh giá toàn diện mờ bao gồm 3 khía cạnh: Xác định tập hợp yếu tố, lập ma trận mức độ thuộc và phát triển mô hình đánh giá toàn diện mờ hai cấp.

Rủi ro khi dẫn tàu trong nghiên cứu này được phân ra thành 3 nhóm yếu tố cấp một cùng với các yếu tố cấp hai. Tập hợp các yếu tố này (D) đại diện cho tất cả các chỉ số rủi ro và được tổ chức theo cấu trúc phân cấp như sau:

Yếu tố cấp một (cấp độ mục tiêu) là:

$D=\{D_1, D_2, D_3\}$ với D_1 = Yếu tố liên quan đến thao tác của sỹ quan hàng hải; D_2 = Yếu tố liên quan đến tàu; D_3 = Yếu tố liên quan đến môi trường.

Yếu tố cấp hai (cấp độ chỉ số) bao gồm:

$D_1=\{D_{11}, D_{12}, D_{13}, D_{14}, D_{15}, D_{16}, D_{17}, D_{18}\}$ (8 chỉ số liên quan đến thao tác của sỹ quan hàng hải);

$D_2=\{D_{21}, D_{22}, D_{23}, D_{24}, D_{25}, D_{26}\}$ (6 chỉ số liên quan đến tình trạng tàu);

$D_3=\{D_{31}, D_{32}, D_{33}, D_{34}, D_{35}, D_{36}, D_{37}\}$ (7 chỉ số liên quan đến môi trường).

Nghiên cứu này áp dụng phương pháp đánh giá đa cấp độ để thích ứng với các loại chỉ số và nhu cầu đánh giá khác nhau bao gồm năm mức độ rủi ro khác nhau $E=\{e_1, e_2, e_3, e_4, e_5\} = \{\text{thấp, tương đối thấp, trung bình, tương đối cao, cao}\}$, trong đó mỗi yếu tố e_j đại diện cho một mức độ rủi ro. Mỗi mức độ rủi ro trong tương ứng với một điểm số được sử dụng để tính toán rủi ro định lượng $\{95, 85, 75, 65, 60\}$ với điểm số cao hơn

cho thấy mức độ rủi ro thấp hơn. Mức độ rủi ro thấp được chấm 95 điểm thay vì 100 điểm để phản ánh sự không chắc chắn vốn có và rủi ro còn sót lại không thể loại bỏ hoàn toàn ngay cả trong các hoạt động ngoài khơi trong điều kiện tối ưu. Các chỉ số rủi ro trong việc dẫn tàu trên luồng đều cần được đánh giá theo tập hợp đánh giá E để xác định mức độ rủi ro của chúng. Quá trình đánh giá sẽ khác nhau tùy thuộc vào hàm phụ thuộc, cuối cùng đều cho ra độ thuộc (r_{ij}) và vector độ thuộc (R_i) theo từng yếu tố, tạo thành ma trận mức độ thuộc (R). Độ thuộc là khái niệm quan trọng nhất trong đánh giá tổng hợp mờ, thể hiện khả năng nhiều chuyên gia đánh giá đối tượng đánh giá theo yếu tố ở mức e_j . Vector độ thuộc có dạng $R_i=(r_{i1}, r_{i2}, \dots, r_{im})$ với $i=1, 2, \dots, n$ và $\sum_{j=1}^m r_{ij} = 1$.

Từ đó, ma trận mức độ thuộc được tổng hợp:

$$R = (R_1, R_2, \dots, R_n)^T \quad (8)$$

Vector đánh giá toàn diện (A) được tính toán.

$$A_i = W_i \cdot R_i \quad (9)$$

Trong đó W_i là trọng số của từng chỉ số riêng lẻ, và sau khi tính toán với ma trận mức độ thuộc R_i tương ứng, một đánh giá tổng hợp mờ cho mỗi chỉ số được thu được, tạo nên đánh giá tổng hợp mờ cấp một, đại diện cho hồ sơ rủi ro tổng thể khi xem xét tất cả các chỉ số với trọng số quan trọng tương ứng của chúng như sau:

$$A = W \cdot (A_1, A_2, \dots, A_n)^T \quad (10)$$

5. Thục nghiệm tính toán

Để xác minh tính hiệu quả của phương pháp, nghiên cứu đã tiến hành đánh giá toàn diện việc dẫn tàu của một tàu hàng rời trên khu vực luồng Hải Phòng. Tàu có chiều dài 120m, mớn nước 5,5m, hành trình trong luồng với vận tốc 8km.

Dữ liệu thu thập được từ tàu trong quá trình di chuyển qua khu vực luồng Hải Phòng đã được phân tích bằng phương pháp đề xuất. Dữ liệu bao gồm độ chính xác định vị, tốc độ, khoảng cách đến ranh giới và các tàu khác, hiệu suất giữ hướng và tất cả các chỉ số có thể đo lường khác. Kết hợp với các đánh giá sơ bộ từ các chuyên gia, kết quả đánh giá rủi ro đối với ba nhóm yếu tố cấp một áp dụng phương pháp phân tích thứ bậc (AHP) như trình bày ở Mục 3 được tính toán như Bảng 2.

Áp dụng các phương trình từ Mục 3, ta có:

Giá trị riêng lớn nhất: $\lambda_{max} = 3,0094$;

Chỉ số nhất quán: $CI = (3,0094 - 3)/(3-1) = 0,0047$;

Chỉ số ngẫu nhiên: $RI = 0,58$ (với $n=3$);

Tỷ lệ nhất quán: $CR = 0,0047/0,58 = 0,0081 < 0$.

Bảng 2. Trọng số của nhóm yếu tố cấp một

	D1	D2	D3	U _i	V _i	W _i
D1	1	3	2	6	1.817	0.540
D2	1/3	1	3/2	1/2	0.794	0.236
D3	1/2	2/3	1	1/3	0.754	0.224
	-	-	-	-	3.365	1.000

Ma trận đánh giá B vượt qua kiểm tra tính nhất quán. Như vậy, vectơ trọng số $W=(0,540, 0,236, 0,224)$ là đáng tin cậy. Kết quả này cho thấy, nhóm yếu tố liên quan đến thao tác của sỹ quan hàng hải chiếm 54,0%, nhóm yếu tố liên quan đến tàu chiếm 23,6% và nhóm yếu tố môi trường chiếm 22,4% rủi ro khi tàu hành trình trên luồng. Điều này phản ánh sự đồng thuận của các chuyên gia rằng hiệu suất và khả năng ra quyết định của sỹ quan hàng hải là những yếu tố quan trọng nhất khi dẫn tàu.

Bảng 3. Trọng số của từng yếu tố

Yếu tố	Trọng số	Yếu tố	Trọng số	Yếu tố	Trọng số
D11	0.237	D21	0.096	D31	0.061
D12	0.112	D22	0.162	D32	0.169
D13	0.315	D23	0.432	D33	0.284
D14	0.039	D24	0.263	D34	0.079
D15	0.077	D25	0.032	D35	0.298
D16	0.172	D26	0.015	D36	0.058
D17	0.028			D37	0.051
D18	0.020				

Bằng phương pháp tương tự, trọng số của tất cả các yếu tố cấp hai, kết quả được thể hiện trong Bảng 3. Tất cả các giá trị trọng số cấp hai đều thông qua kiểm tra tính nhất quán, $C < 0,10$. Việc phân bổ trọng số phản ánh đánh giá của các chuyên gia đối với quá trình dẫn tàu trên luồng. Các rủi ro chính thường đến từ việc không kiểm soát đúng tốc độ, thiết bị có vấn đề, chất lượng vị trí được xác định chưa tốt và các hạn chế về môi trường (tầm nhìn, mật độ giao thông, gió). Hệ thống 21 chỉ báo hoàn chỉnh đảm bảo không bỏ sót bất kỳ yếu tố rủi ro nào, đồng thời ưu tiên một cách thích hợp những yếu tố ảnh hưởng trực tiếp nhất đến an toàn hàng hải.

Ma trận mức độ thuộc của các nhóm yếu tố cấp một D_1, D_2, D_3 đối với mức rủi ro e_j lần lượt như sau:

$$R_1 = \begin{bmatrix} 1.00 & 0.00 & 0.00 & 0.00 & 0.00 \\ 0.97 & 0.03 & 0.00 & 0.00 & 0.00 \\ 0.95 & 0.05 & 0.00 & 0.00 & 0.00 \\ 0.80 & 0.20 & 0.00 & 0.00 & 0.00 \\ 0.98 & 0.02 & 0.00 & 0.00 & 0.00 \\ 0.92 & 0.08 & 0.00 & 0.00 & 0.00 \\ 0.99 & 0.01 & 0.00 & 0.00 & 0.00 \\ 0.80 & 0.00 & 0.20 & 0.00 & 0.00 \end{bmatrix}$$

$$R_2 = \begin{bmatrix} 0.00 & 0.80 & 0.20 & 0.00 & 0.00 \\ 0.00 & 0.00 & 1.00 & 0.00 & 0.00 \\ 0.64 & 0.32 & 0.04 & 0.00 & 0.00 \\ 0.68 & 0.28 & 0.04 & 0.00 & 0.00 \\ 0.80 & 0.20 & 0.00 & 0.00 & 0.00 \\ 0.72 & 0.24 & 0.04 & 0.00 & 0.00 \end{bmatrix}$$

$$R_3 = \begin{bmatrix} 0.56 & 0.40 & 0.04 & 0.00 & 0.00 \\ 0.00 & 0.80 & 0.20 & 0.00 & 0.00 \\ 0.20 & 0.68 & 0.12 & 0.00 & 0.00 \\ 0.00 & 0.80 & 0.20 & 0.00 & 0.00 \\ 0.28 & 0.60 & 0.12 & 0.00 & 0.00 \\ 0.00 & 0.70 & 0.30 & 0.00 & 0.00 \\ 0.60 & 0.36 & 0.04 & 0.00 & 0.00 \end{bmatrix}$$

Với ma trận mức độ thuộc của các nhóm yếu tố cấp một, chỉ số rủi ro của từng yếu tố cấp hai được tính toán và đánh giá như trong Bảng 4.

Bảng 4. Chỉ số rủi ro của các yếu tố cấp hai

Yếu tố	Chỉ số	Đánh giá
D11	95.0	Thấp
D12	94.7	Thấp
D13	94.5	Thấp
D14	93.0	Thấp
D15	94.8	Thấp
D16	94.2	Thấp
D17	94.9	Thấp
D18	91.0	Thấp
D21	83.0	Tương đối thấp
D22	75.0	Trung bình
D23	91.0	Thấp
D24	91.4	Thấp
D25	93.0	Thấp
D26	91.8	Thấp
D31	88.2	Tương đối thấp
D32	83.0	Tương đối thấp
D33	85.8	Tương đối thấp
D34	83.0	Tương đối thấp
D35	83.6	Tương đối thấp
D36	82.0	Tương đối thấp
D37	89.6	Tương đối thấp

Từ véc tơ trọng số W và ma trận mức độ thuộc R , véc tơ đánh giá toàn diện của từng yếu tố cấp một có kết quả như sau: $A_1=[0,937, 0,059, 0,004, 0, 0]$; $A_2=[0,584, 0,277, 0,139, 0, 0]$; $A_3=[0,285, 0,602, 0,113, 0, 0]$.

Véc tơ đánh giá toàn diện của cả quá trình dẫn tàu trên luồng như sau: $A=[0,556, 0,342, 0,102, 0, 0]$;

Chỉ số rủi ro của quá trình dẫn tàu trên luồng là:
 $0.556 \times 95 + 0.342 \times 85 + 0.102 \times 75 + 0 \times 65 + 0 \times 60 = 89.54$

Với kết quả này, rủi ro của quá trình dẫn tàu hàng rời trên luồng Hải Phòng trong trường hợp này được đánh giá là “Tương đối thấp”.

6. Kết luận

Nghiên cứu này tập trung phân tích, đánh giá 3 yếu tố quan trọng ảnh hưởng đến việc dẫn tàu trên luồng, đó là con người, tàu và môi trường. Từ đó, một phương pháp đánh giá dựa trên sự phối hợp ba yếu tố này đã được xây dựng. Trước hết, thông qua phân tích tách rời các yếu tố cấp một, các yếu tố quan trọng cấp hai đã được xác định và chỉ số đánh giá rủi ro của từng yếu tố này được tính toán. Kết quả thực nghiệm trong trường hợp nghiên cứu cụ thể cho thấy các yếu tố vận hành của sỹ quan hàng hải đóng góp mạnh nhất vào sự an toàn trong chuyến hành trình được đánh giá, có khả năng bù đắp cho một số hạn chế của tàu và môi trường tại thời điểm thực hiện đánh giá. Các yếu tố về tàu trong trường hợp này ở mức chấp nhận được. Các yếu tố môi trường tại thời điểm và khu vực khảo sát đặt ra những thách thức vừa phải, được quản lý tốt nhưng cần được chú trọng hơn nữa. Cần lưu ý rằng kết quả đánh giá sẽ thay đổi tùy theo trình độ và kinh nghiệm của người dẫn tàu, đặc điểm kỹ thuật và tình trạng của từng con tàu, cũng như điều kiện môi trường khác nhau (thời tiết, thủy triều, tầm nhìn, mật độ giao thông) tại các thời điểm và vị trí khác nhau trong luồng Hải Phòng. Phương pháp này cung cấp cơ sở khoa học cho các công ty vận tải và cơ quan quản lý cảng trong việc thực hiện các biện pháp thích hợp để giảm thiểu rủi ro, bảo đảm an toàn cho tàu và các cơ sở hạ tầng.

Lời cảm ơn

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Trường Đại học Hàng hải Việt Nam trong đề tài mã số: **DT25-26.06**.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Z. Xiao, X. Fu, L. Zhang, and R. S. M. Goh (2020), *Traffic pattern mining and forecasting technologies in maritime traffic service networks: A comprehensive survey*, IEEE Trans. Intell. Transp. Syst., Vol.21, pp.796-825.
- [2] J. Park and J.-S. Jeong (2021), *An estimation of ship collision risk based on relevance vector machine*, J. Mar. Sci. Eng., Vol.9, No.5, p.538.
- [3] J. W. Wamugi et al. (2025), *Harbour traffic hazard*

map for real-time assessing domestic ferry accident causes in Kenya's Likoni ferry route using fuzzy Bayesian network, Ocean Eng., Vol.340, p.122388.

- [4] Y. F. Wang, L. W. Huang, G. H. Shen, and M. M. Jia (2018), *A risk evaluation model for channel navigation based on the gray-fuzzy theory*, EURASIP J. Wirel. Commun. Netw., Vol.2018, p.153.
- [5] Z. Li, J. Zhu, J. Zhu, and C. Huang (2019), *Post-evaluation of navigation safety with the implementation of ship routing based on matter element method*, Saf. Environ. Eng., Vol.26, pp.181-186.
- [6] C. Wang, F. Jiang, Q. Ma, Y. Ma, Q. Zhong, and B. Meng (2017), *Environment risk evaluation for channel piloting based on entropy weight and matter-element model*, Navig. China, Vol.40, pp.44-49.
- [7] Y. Park, J. Kim, and V. Aydogdu (2013), *A study on the development the maritime safety assessment model in Korea waterway*, J. Navig. Port Res., Vol.37, pp.567-574.
- [8] T. N. Luong, S. Hwang, and N. Im (2021), *Harbour traffic hazard map for real-time assessing waterway risk using marine traffic hazard index*, Ocean Eng., Vol.239, p.109884.
- [9] B. L. Liu, Z. C. Li, Y. D. Wang, and D. A. Sheng (2021), *Short-term berth planning and ship scheduling for a busy seaport with channel restrictions*, Transp. Res. Part E Logist. Transp. Rev., Vol.154, p.102467.
- [10] D. D. Liu, G. Y. Shi, and Z. Kang (2021), *Fuzzy scheduling problem of vessels in one-way waterway*, J. Mar. Sci. Eng., Vol.9, p.1064.
- [11] M. Xue, X. Fang, and H. Ren (2013), *An assessment model of ship berthing*, Navig. China, Vol.36, pp.46-49.
- [12] Z. L. Liu, S. Z. Yuan, L. H. Zheng, J. Y. Jiang, and Y. X. Sun (2021), *Development status and trend of ship automatic berthing technology*, Shipbuild. China, Vol. 62, pp.293-304.

Ngày nhận bài:	07/01/2026
Ngày nhận bản sửa:	30/01/2026
Ngày duyệt đăng:	28/02/2026