

NGHIÊN CỨU SỰ CỐ CHÁY TRÊN TÀU BIỂN THÔNG QUA  
THỐNG KÊ DỮ LIỆU SỬ DỤNG PHƯƠNG PHÁP DENDROGRAM  
RESEARCH ON FIRE INCIDENTS ON SHIPS THROUGH DATA STATISTICS  
USING DENDROGRAM METHOD

ĐẶNG ĐÌNH CHIẾN<sup>1\*</sup>, VŨ ĐĂNG THÁI<sup>2</sup>, LÊ ĐỨC BÌNH<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Viện Đào tạo Quốc tế, Trường Đại học Hàng hải Việt Nam

<sup>2</sup>Khoa Hàng hải, Trường Đại học Hàng hải Việt Nam

\*Email liên hệ: dangdinhchien@vamaru.edu.vn

DOI: <https://doi.org/10.65154/jmst.898>

**Tóm tắt**

Cháy trên tàu biển là một nguy cơ nghiêm trọng đe dọa an toàn hàng hải, gây thiệt hại về người và tài sản. Nguyên nhân chủ yếu bao gồm sự cố kỹ thuật, chập chày hệ thống điện, rò rỉ nhiên liệu hoặc lỗi trong quá trình vận hành. Khi xảy ra cháy, đám khói và lửa có thể lan nhanh, gây khó khăn cho việc kiểm soát và cứu hộ. Các biện pháp phòng ngừa bao gồm kiểm tra định kỳ, bảo dưỡng hệ thống phòng cháy chữa cháy, huấn luyện nhân viên và tuân thủ các quy định an toàn quốc tế như SOLAS. Trong trường hợp cháy, việc sử dụng các thiết bị chữa cháy phù hợp và nhanh chóng sơ tán người là rất quan trọng để giảm thiểu thiệt hại. Công tác ứng phó hiệu quả yêu cầu sự phối hợp chặt chẽ giữa các thủy thủ, nhân viên và các cơ quan cứu hộ để đảm bảo an toàn tối đa cho tàu, con người và hàng hóa. Trong bài báo này, chúng tôi thực hiện nghiên cứu tổng quan về sự cố cháy trên tàu biển, thống kê dữ liệu sự cố cháy đã xảy ra kết hợp phương pháp phân nhóm hình cây (Dendrogram).

**Từ khóa:** Sự cố hàng hải, cháy trên tàu biển, phân tích dữ liệu, phương pháp phân nhóm hình cây.

**Abstract**

Fire on board ships is a serious risk to maritime safety, causing loss of life and property. The main causes include technical failures, electrical system short circuits, fuel leaks or operational errors. When a fire occurs, smoke and fire can spread rapidly, making it difficult to control and rescue. Preventive measures include regular inspections, maintenance of fire protection systems, staff training and compliance with international safety regulations such as SOLAS. In the event of a fire, the use of appropriate fire

fighting equipment and rapid evacuation of people are essential to minimize damage. Effective response requires close coordination between sailors, staff and rescue agencies to ensure maximum safety for ships, people and goods. In this paper, we conduct an overview study of fire incidents on ships, statistical data on fire incidents that have occurred in combination with the Dendrogram method.

**Keywords:** Maritime incidents, fire on ships, data analysis, Dendrogram method.

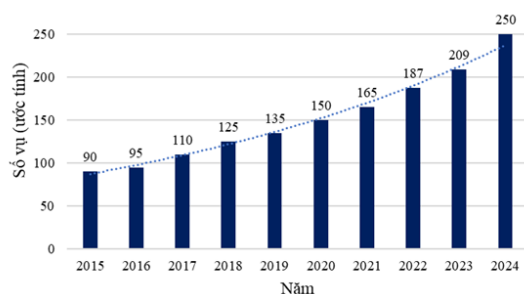
**1. Đặt vấn đề**

Trong những năm gần đây, vấn đề cháy trên tàu biển đã trở thành một mối quan tâm lớn trong lĩnh vực hàng hải toàn cầu, ảnh hưởng nghiêm trọng đến an toàn hàng hải, tài sản và con người [1-3].

Theo các báo cáo thống kê, hàng năm có hàng trăm vụ cháy xảy ra trên các tàu biển, gây thiệt hại về vật chất và đe dọa tính mạng của hành khách và thuyền viên trên tàu [4-7]. Đặc biệt, các vụ cháy không chỉ gây thiệt hại về vật chất mà còn làm gián đoạn hoạt động vận chuyển hàng hóa quốc tế, ảnh hưởng đến chuỗi cung ứng toàn cầu [8].

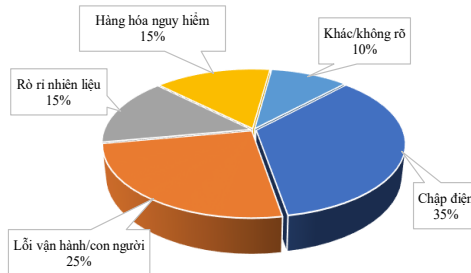
Nhiều nghiên cứu đã phân tích sâu các vụ cháy trong khoang máy, nguyên nhân do rò rỉ dầu, chập điện, và vấn đề bảo trì [9]. Hay tập trung vào các đối tượng hay xảy ra cháy như tàu Ro-Ro passenger [10], [11], tàu hàng [12], tàu container và việc vận chuyển hàng nguy hiểm [13].

Để hiểu rõ hơn về các đặc điểm, xu hướng, các yếu tố liên quan đến các vụ cháy và xây dựng kế hoạch phòng cháy phù hợp, một số nhà nghiên cứu đã ứng dụng các phương pháp phân tích đánh giá khác nhau như AHP [14], Bayesian network [12], AcciMap [15]. Trong nghiên cứu này, tác giả thống kê dữ liệu về sự cố cháy trên tàu biển trong thời gian qua kết hợp phương pháp phân tích dữ liệu Dendrogram, được triển khai



Nguồn: IMO GISIS

**Hình 1. Thống kê sự cố cháy trên tàu biển (giai đoạn 2015-2024)**



Nguồn: IMO GISIS

**Hình 2. Nguyên nhân xảy ra cháy**



**Hình 3. Tỷ lệ khu vực xảy ra cháy trên tàu**

thực hiện trên phần mềm tính toán và phân tích dữ liệu Matlab. Phương pháp này cho phép phân nhóm các vụ cháy dựa trên các đặc điểm như nguyên nhân, phạm vi thiệt hại, thời điểm xảy ra và vị trí trên tàu, từ đó giúp xác định các mô hình và mối liên hệ giữa các yếu tố này. Thông qua việc xây dựng cây phân nhóm (Dendrogram), có thể dễ dàng nhận diện các nhóm vụ cháy có đặc điểm tương đồng, từ đó đề xuất các biện pháp phòng ngừa và ứng phó phù hợp hơn.

Tính đến thời điểm hiện tại, chưa có nghiên cứu trong nước nào thực hiện phân tích dữ liệu cháy trên tàu biển. Liên quan đến vấn đề cháy trên tàu (với từ khóa tìm kiếm “cháy trên tàu biển” trên hệ thống công bố khoa học Scholar), các tài liệu/công trình đã công bố trong nước hầu hết là các báo cáo vụ việc nhỏ lẻ hoặc tập trung vào xây dựng hay phát triển các hệ thống báo cháy trên tàu. Đặc biệt, nếu kết hợp cả 2 từ khóa tìm kiếm “cháy trên tàu” và “dendrogram” hoàn toàn không có kết quả nào. Do đó, có thể nói đây là hướng đi hoàn toàn mới mà các nghiên cứu trong và ngoài nước chưa ai thực hiện.

## 2. Thống kê sự cố cháy trên tàu biển trên thế giới 10 năm gần đây

### 2.1. Số liệu thống kê

Thống kê số vụ cháy trên tàu hàng năm trong giai

đoạn 10 năm gần đây từ năm 2015 đến năm 2024 dựa trên tổng hợp từ các báo cáo thường niên của IMO được thể hiện trong Hình 1 [16].

Dữ liệu cho thấy, số vụ cháy trên tàu biển toàn cầu ghi nhận xu hướng gia tăng đáng lo ngại. Năm 2015 chỉ có khoảng 90 vụ, tuy nhiên con số này đã tăng đều qua từng năm, đạt 135 vụ vào năm 2019 và lên tới 165 vụ vào năm 2021. Xu hướng này tiếp tục bùng nổ trong giai đoạn gần đây, với 187 vụ năm 2022 và đạt đỉnh 250 vụ vào năm 2024.

Nguyên nhân gây cháy cũng được thống kê và thể hiện trong Hình 2. Theo đó, nguyên nhân chính được xác định chủ yếu do chập điện trong khoang máy, rò rỉ nhiên liệu, lỗi vận hành con người, và cháy từ hàng hóa nguy hiểm, đặc biệt là pin lithium-ion trên các tàu container và tàu chở ô tô.

Hình 3 minh họa khu vực xảy ra cháy cũng như tỷ lệ xuất hiện trong các sự cố cháy được thống kê. Khu vực xảy ra cháy phổ biến nhất là phòng máy chính, tiếp theo là khoang hàng và khu sinh hoạt. Các vụ cháy không chỉ gây thiệt hại lớn về tài sản mà còn đe dọa nghiêm trọng đến tính mạng thủy thủ đoàn và an toàn hàng hải toàn cầu. Việc tăng mạnh số vụ cháy trong giai đoạn 2022-2024 phản ánh rõ ràng yêu cầu cấp thiết về nâng cao tiêu chuẩn an toàn phòng cháy chữa cháy trên tàu biển hiện nay.

## 2.2. Tần suất

Dựa vào các báo cáo thống kê được thu thập, tần suất xảy ra các sự cố cháy trên tàu được mô tả như Bảng 1 sau.

**Bảng 1. Tần suất xảy ra cháy**

Loại/ Khu vực tàu	Tần suất
Cháy máy chính	~7 trên 10,000 tàu mỗi năm
Cháy máy phụ	~4 trên 10,000 tàu mỗi năm
Cháy hàng container	~40-45 vụ mỗi năm (khoảng 1 vụ mỗi 9 ngày)
Cháy tàu Ro-ro	>1% số tàu mỗi năm
Tổng hợp sự cố cháy	Trên 150 vụ mỗi năm

Bảng thống kê cho thấy phòng máy chính vẫn là khu vực có nguy cơ cháy cao nhất, với tần suất khoảng 7 vụ trên mỗi 10.000 tàu mỗi năm, phản ánh vai trò quan trọng nhưng đầy rủi ro của khu vực này. Phòng máy phụ đứng thứ hai, gây ra khoảng 4 vụ trên 10.000 tàu, cho thấy vấn đề bảo trì và kiểm soát nhiệt vẫn còn hạn chế. Đáng chú ý, cháy hàng container xảy ra khoảng 40-45 vụ mỗi năm, tức trung bình cứ 9 ngày lại có một sự cố, nhấn mạnh mối nguy hiểm tiềm tàng từ hàng hóa nguy hiểm, đặc biệt là pin lithium-ion. Đối với tàu Ro-ro, hơn 1% tổng số tàu gặp sự cố cháy mỗi năm, phản ánh cấu trúc đặc thù khiến việc kiểm soát lửa trở nên phức tạp. Tổng cộng, ngành hàng hải toàn cầu ghi nhận trên 200 vụ cháy hàng năm thời điểm hiện nay, cho thấy nhu cầu cấp bách về nâng cấp tiêu chuẩn an toàn phòng cháy trên tàu.

## 2.3. Hậu quả

Mức độ thiệt hại trong các sự cố cháy trên tàu và tỷ lệ xuất hiện trong dữ liệu thống kê được thể hiện tóm tắt trong Bảng 2.

**Bảng 2. Mức độ thiệt hại và tỷ lệ**

Hậu quả	Xu hướng/tỷ lệ
Mất toàn bộ tàu (Total loss)	~5-10 vụ/năm gần đây (đặc biệt RO-RO và container)
Thiệt hại lớn	10-15% số vụ
Thiệt hại vừa phải	30%
Thiệt hại nhẹ	50%
Ảnh hưởng đến thủy thủ đoàn	~10% số vụ có thương vong

Phân tích hậu quả các vụ cháy trên tàu biển giai đoạn 2015-2024 cho thấy tác động nghiêm trọng cả về vật chất lẫn con người. Khoảng 5-10 tàu bị mất hoàn toàn mỗi năm, chủ yếu là tàu RO-RO và container, gây tổn thất kinh tế hàng chục triệu USD cho mỗi vụ.

Bên cạnh đó, khoảng 10-15% vụ cháy được phân loại mức độ thiệt hại nặng, ảnh hưởng nghiêm trọng đến khả năng khai thác và vận hành tàu. Đáng chú ý, dù phần lớn vụ cháy chỉ gây thiệt hại nhẹ hoặc vừa, vẫn có tới 10% sự cố liên quan đến thương vong hoặc tử vong thủy thủ đoàn.

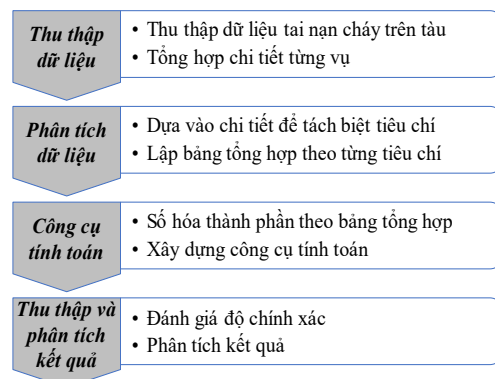
## 2.4. Đánh giá sơ bộ

Sự cố cháy trên tàu biển mang lại những hậu quả nghiêm trọng, ảnh hưởng không chỉ đến an toàn của tàu và hàng hóa mà còn đến con người và môi trường xung quanh. Nhất là khi mà xu hướng tai nạn cháy trên tàu ngày càng tăng mạnh trong những năm gần đây. Trước tiên, về con người, cháy nổ gây thiệt hại tới tính mạng và sức khỏe. Những đám cháy dữ dội, khí độc và khói đen có thể gây ngạt thở, bỏng hoặc thương tích nặng, thậm chí dẫn đến tử vong nếu không được xử lý kịp thời. Thứ hai, về mặt tài chính, sự cố cháy gây thiệt hại lớn về tài sản, bao gồm thiệt hại về tàu, hàng hóa và các thiết bị trên tàu. Chi phí sửa chữa, khắc phục hậu quả cũng như mất mát hàng hóa gây thiệt hại kinh tế đáng kể cho chủ tàu, doanh nghiệp vận tải và các bên liên quan. Thứ ba, về môi trường, cháy trên tàu biển có thể dẫn đến rò rỉ nhiên liệu, hóa chất hoặc các chất dễ cháy ra biển, gây ô nhiễm môi trường biển, ảnh hưởng đến hệ sinh thái và các sinh vật biển. Thứ tư, hậu quả về mặt pháp lý và hình sự cũng rất nặng nề. Cuối cùng, hậu quả lâu dài còn ảnh hưởng đến uy tín của doanh nghiệp vận tải, gây mất niềm tin từ khách hàng và các đối tác.

## 3. Đánh giá dữ liệu cháy sử dụng phương pháp dendrogram

### 3.1. Phương pháp thực hiện

Phương pháp thực hiện nghiên cứu được mô tả như Hình 4 gồm các bước: Thu thập dữ liệu - Phân tích dữ liệu - Xây dựng công cụ tính toán - Phân tích kết quả.



**Hình 4. Lý thuyết thực hiện nghiên cứu**

Trong đó, dữ liệu sự cố cháy trên tàu biển được thu thập trong 10 năm trở lại đây (khoảng 100 vụ nghiêm trọng/ điển hình từ năm 2015 đến 2024). Cụ thể, tập trung vào *Hậu quả* là các thiệt hại lớn về con người, tài sản gồm tàu-hàng hóa, và thiệt hại về môi trường, hay *Nguyên nhân* như các hình thái/ nguyên nhân gây cháy nổ thường xuyên xảy ra hoặc mới xuất hiện), phân tích và lập bảng tổng hợp theo các thành phần chính: Loại tàu, vị trí cháy, nguyên nhân, mức độ nghiêm trọng, tổn thất nhân mạng và điều kiện thời tiết. Sau đó, sử dụng công cụ Matlab để tính toán và thu thập kết quả.

### 3.2. Lý thuyết tính toán theo phương pháp Dendrogram

Dendrogram còn gọi là biểu đồ cây, biểu thị điểm tương đồng giữa các vectơ chú thích, tính toán phân cụm dựa trên yếu tố khoảng cách giữa các mục tiêu (dots) theo công thức Euclidean. Trong nghiên cứu này, buộc phải mã hóa số các thành phần/ tiêu chí đánh giá để có thể trực quan được giá trị khoảng cách này.

Cụ thể, có 2 sự cố cháy được mã hoá thành 2 vector:

$$x = [x_1, x_2, \dots, x_n], \quad y = [y_1, y_2, \dots, y_n]$$

Khi đó, khoảng cách Euclidean giữa 2 điểm được tính bằng công thức:

$$d_{(x,y)} = \sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - y_i)^2} \quad (1)$$

Trục ngang (*x-axis*) trên dendrogram là sắp xếp vị trí của từng vụ cháy tàu được số hóa;

Trục đứng (*y-axis*) trên dendrogram là khoảng cách giữa các cụm khi hợp nhất.

Càng lên cao, các cụm được gộp ở khoảng cách xa hơn, nghĩa là các cụm đó khác nhau nhiều hơn.

Trong nghiên cứu này, các đặc trưng được mã hóa gồm:

- Loại tàu (*ShipType*);
- Vị trí cháy trên tàu (*FireLocation*);
- Nguyên nhân (*Cause*);
- Mức độ thiệt hại (*Severity*);
- Tổn thất con người (*CrewLoss*);
- Thời tiết (*WeatherCondition*).

Sau khi mã hoá số, các sự cố được xem là điểm trong không gian 6 chiều. Khoảng cách Euclidean đo mức độ tương tự (hoặc khác biệt) tổng thể giữa các sự cố, dựa trên tất cả các yếu tố đó.

Ví dụ trực quan, chẳng hạn có 2 sự cố cháy trên tàu A và B, thông tin thành phần như Bảng 3.

**Bảng 3. Thông tin thành phần sự cố cháy A và B**

Thành phần	Sự cố A	Sự cố B
ShipType	Cargo	Passenger
FireLocation	EngineRoom	Accommodation
Cause	Electrical	HumanError
Severity	Medium	High
CrewLoss	No	Yes
WeatherCondition	Calm	Rough

#### Bước 1: Mã hoá số

Giá trị số mã hoá tương ứng với mỗi thành phần được lựa chọn cài đặt theo định hướng nghiên cứu.

**Bảng 4. Giá trị số được mã hóa tương ứng**

Thành phần	Giá trị số
ShipType	Cargo = 1, Passenger = 4
FireLocation	EngineRoom = 1, Accommodation = 3
Cause	Electrical = 1, HumanError = 4
Severity	Medium = 2, High = 3
CrewLoss	No = 0, Yes = 1
WeatherCondition	Calm = 1, Rough = 3

Như vậy, vị trí tương ứng của A và B trong ma trận 6 chiều lần lượt như sau:

$$A = [1, 1, 1, 2, 0, 1]$$

$$B = [4, 3, 4, 3, 1, 3]$$

#### Bước 2: Tính khoảng cách theo công thức Euclidean

Khoảng cách được tính theo công thức (1). Trong trường hợp này được tính như sau:

$$d_{(A,B)} = \sqrt{(1-4)^2 + (1-3)^2 + (1-4)^2 + (2-3)^2 + (0-1)^2 + (1-3)^2}$$

Cụ thể hơn, có thể tính giá trị của từng thành phần như Bảng 5.

**Bảng 5. Giá trị của mỗi thành phần tương ứng**

Thành phần	Công thức	Giá trị
ShipType	$(1-4)^2 = 9$	9
FireLocation	$(1-3)^2 = 4$	4
Cause	$(1-4)^2 = 9$	9
Severity	$(2-3)^2 = 1$	1
CrewLoss	$(0-1)^2 = 1$	1
WeatherCondition	$(1-3)^2 = 4$	4
<b>Tổng</b>		<b>28</b>

Sau đó, lấy căn bậc hai của tổng:  $\sqrt{28} \approx 5,29$ .

Như vậy, khoảng cách giữa A và B = 5,29, giá trị này càng lớn nghĩa là 2 sự cố càng khác nhau (về loại

tàu, vị trí cháy, nguyên nhân, thiệt hại,...).

### 3.3. Thực hiện tính toán trên MATLAB

Trong nghiên cứu này, tác giả sử dụng công cụ tính toán là phần mềm Matlab để thực hiện trực quan kết quả nghiên cứu của mình.

Các biến phân loại được mã hóa bằng phương pháp *Label Encoding*. Sau đó, dữ liệu được chuẩn hóa bằng phương pháp *Standardization* để tránh hiện tượng ưu tiên biến có giá trị lớn. Phân cụm phân cấp (*Hierarchical clustering*) được thực hiện với phương pháp liên kết *Ward* nhằm tối thiểu hóa phương sai trong cụm. Kết quả phân cụm được trực quan hóa thông qua dendrogram, cho phép xác định số lượng cụm phù hợp dựa trên khoảng cách cắt. Cuối cùng, mỗi nhóm được phân tích đặc điểm nhằm xác định các yếu tố nguy cơ đặc thù.

Cụ thể, file dữ liệu sau khi tổng hợp và thống kê dưới dạng file giống Excel thì lưu thành file csv cho tương thích. Sau đó, dùng `dummyvar` hoặc `grp2idx` để chuyển đổi text sang số.

```
% Chuyển từng cột sang numeric index
[~, shipTypeIdx] = grp2idx(data.ShipType);
[~, fireLocIdx] = grp2idx(data.FireLocation);
[~, causeIdx] = grp2idx(data.Cause);
[~, severityIdx] = grp2idx(data.Severity);
[~, crewLossIdx] = grp2idx(data.CrewLoss);
[~, weatherIdx] =
grp2idx(data.WeatherCondition);

% Ghép lại thành ma trận
encodedData = [shipTypeIdx, fireLocIdx,
causeIdx, severityIdx, crewLossIdx, weatherIdx];
```

Trong code Matlab, khoảng cách được tính bằng công thức:

```
% Tính khoảng cách Euclidean
distances = pdist(encodedData, 'euclidean');
```

`pdist`: Tính toán tất cả khoảng cách cặp giữa các hàng của `encodedData`.

`'euclidean'`: Dùng khoảng cách Euclidean, tức là khoảng cách theo công thức "đường thẳng" trong không gian nhiều chiều.

Tính khoảng cách và phân cụm:

```
% Tạo hierarchical cluster tree
tree = linkage(distances, 'ward');
% Vẽ dendrogram
figure;
dendrogram(tree, 20); % có thể chỉnh số cụm hiển
thị (20 hoặc số khác)
```

```
title('Dendrogram các sự cố cháy trên tàu
biển');
xlabel('Sự cố');
ylabel('Khoảng cách');
```

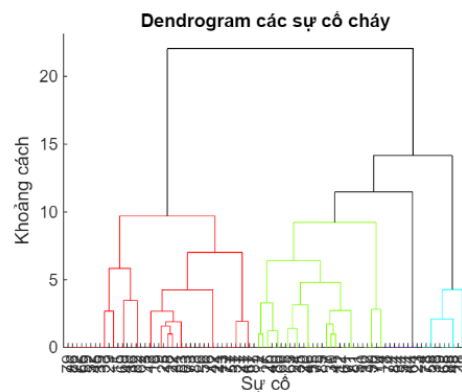
Trong Matlab, một cách tính toán và hiển thị trực quan hơn đó là có thể tạo heatmap ma trận khoảng cách (tùy chọn) tức là khoảng cách được chuyển thành các ma trận vuông tùy chọn mật độ theo khoảng cách

```
% Chuyển khoảng cách thành ma trận vuông
distMat = squareform(distances);
% Vẽ heatmap
figure;
heatmap(distMat, 'Colormap', hot);
title('Heatmap ma trận khoảng cách các sự cố');
```

## 4. Kết quả tính toán và thảo luận

### 4.1. Các kết quả

Hình 5 minh họa mối quan hệ phân cấp giữa các sự cố cháy trên tàu thông qua phương pháp phân cụm dendrogram. Các nhánh được chia thành bốn nhóm chính, được thể hiện bằng các màu sắc khác nhau (đỏ, xanh lá, xanh dương nhạt, và đen), cho thấy sự khác biệt rõ rệt giữa các nhóm sự cố.



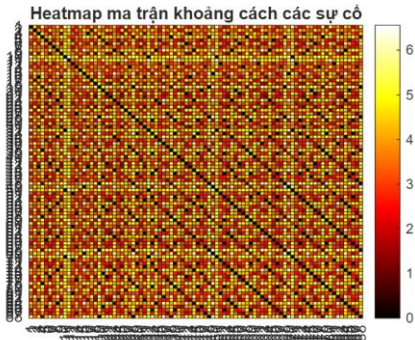
Hình 5. Dendrogram các sự cố cháy

Nhóm đầu tiên tập trung các vụ cháy có tính chất tương tự về nguyên nhân hoặc vị trí, ví dụ như các vụ cháy trong buồng máy. Nhóm thứ hai và thứ ba đại diện cho các sự cố xảy ra ở khu vực khác nhau, chẳng hạn như khoang hàng hay khu sinh hoạt, với mức độ thiệt hại và nguyên nhân khác biệt. Nhóm cuối cùng chứa các sự cố có đặc điểm ngoại lệ hoặc ít phổ biến.

Khoảng cách dọc (*y-axis*) thể hiện mức độ khác biệt, cho thấy có sự phân tách rõ giữa các nhóm ở mức khoảng cách lớn hơn 15.

Kết quả này giúp nhận diện các đặc điểm chung, phục vụ cho việc xây dựng chiến lược phòng cháy hiệu quả hơn.

Một kết quả khác thể hiện trong Hình 6 là bản đồ nhiệt (Heatmap) ma trận khoảng cách giữa các sự cố cháy, cho thấy mức độ tương đồng hoặc khác biệt giữa từng cặp sự cố. Các ô màu đen trên đường chéo chính biểu thị khoảng cách bằng 0, vì mỗi sự cố so với chính nó. Những ô màu vàng và đỏ xuất hiện rải rác cho thấy tồn tại các nhóm sự cố có mức độ tương đồng cao (khoảng cách nhỏ), trong khi những vùng sẫm hơn (đỏ đậm đến đen) biểu thị sự khác biệt lớn hơn giữa các sự cố.

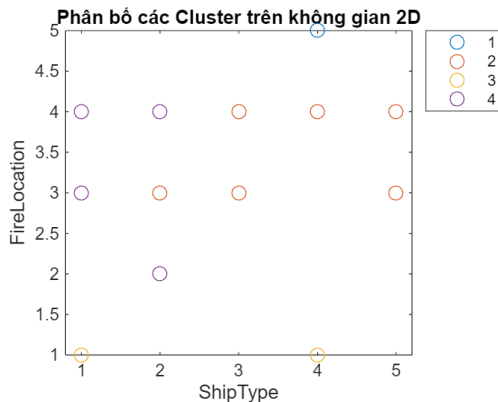


**Hình 6. Bản đồ nhiệt ma trận khoảng cách sự cố**

Sự phân bố màu sắc dày đặc và phân mảnh cho thấy dữ liệu có tính đa dạng cao, phản ánh sự phức tạp của các nguyên nhân và hoàn cảnh xảy ra cháy.

Heatmap này giúp trực quan hóa mối quan hệ toàn cục, hỗ trợ quá trình xác định các cụm sự cố để từ đó đưa ra các biện pháp quản lý rủi ro và phòng cháy chữa cháy phù hợp hơn cho từng nhóm tàu và điều kiện cụ thể.

Hình 7 thể hiện kết quả của sự phân bố các cụm (cluster) sự cố cháy theo hai biến chính: Loại tàu (ShipType) và vị trí cháy (FireLocation). Mỗi điểm đại diện cho một sự cố, được mã hóa màu sắc tương ứng với nhóm (cluster) mà sự cố đó thuộc về.



**Hình 7. Phân bố nhóm sự cố trên không gian 2D**

Có thể thấy, các điểm phân tán khá đều trên không gian 2D, cho thấy sự đa dạng trong kiểu tàu và vị trí cháy. Một số cluster tập trung ở các khu vực nhất định, phản ánh những nhóm sự cố liên quan mật thiết đến loại tàu cụ thể và vị trí xảy ra cháy, chẳng hạn như nhóm cluster 2 có xu hướng tập trung nhiều ở loại tàu thứ 3 và vị trí cháy thứ 4.

Biểu đồ này giúp nhận diện các mẫu phân bố đặc trưng, hỗ trợ xác định loại tàu và khu vực có nguy cơ cao để ưu tiên kiểm soát an toàn và xây dựng chiến lược phòng cháy chữa cháy phù hợp hơn.

#### 4.2. Thảo luận

Kết quả phân tích dendrogram cho thấy sự phân tách rõ rệt các sự cố cháy thành bốn nhóm chính, phản ánh tính đa dạng trong đặc điểm sự cố về nguyên nhân, vị trí và loại tàu. Việc các nhánh cây tách ra ở khoảng cách lớn trên dendrogram cho thấy các nhóm có sự khác biệt đáng kể, giúp định hướng việc xây dựng phương án phòng cháy chữa cháy riêng biệt cho từng nhóm tàu hoặc từng khu vực trên tàu.

Hình heatmap ma trận khoảng cách cung cấp một cái nhìn trực quan về mức độ tương đồng giữa các sự cố, với những ô màu sáng (vàng, cam) chỉ ra các cặp sự cố gần nhau về đặc điểm, trong khi những vùng tối hơn biểu thị sự khác biệt lớn. Việc có nhiều vùng màu rải rác và không tập trung thành cụm quá rõ rệt cho thấy dữ liệu có tính phức tạp và đa chiều, điều này càng khẳng định tính cần thiết của phương pháp phân cụm trong việc nhận diện các mẫu nguy cơ tiềm ẩn.

Biểu đồ phân bố các cluster trên không gian 2D (ShipType và FireLocation) đã minh họa mối quan hệ giữa loại tàu và khu vực xảy ra cháy, từ đó cung cấp thông tin thực tiễn phục vụ quản lý an toàn. Có thể nhận thấy một số cluster có xu hướng tập trung ở một số loại tàu hoặc vị trí nhất định. Điều này chứng tỏ rằng một số loại tàu có cấu trúc hoặc chức năng đặc thù, khiến chúng dễ phát sinh sự cố cháy ở những khu vực cụ thể.

Nhìn chung, kết quả phân tích nhiều chiều này giúp ngành hàng hải có cơ sở khoa học để đề xuất các giải pháp phòng chống cháy nổ đặc thù hơn, thay vì áp dụng chung cho mọi loại tàu. Cụ thể, có thể ưu tiên kiểm tra định kỳ và cải thiện hệ thống điện ở khu vực máy chính, tăng cường kiểm soát hàng hóa nguy hiểm trên tàu container và tàu Ro-ro, đồng thời củng cố huấn luyện cứu hỏa tại các vị trí dễ xảy ra cháy. Việc áp dụng mô hình phân cụm dendrogram và heatmap kết hợp với phân tích không gian 2D mang lại cái nhìn tổng thể, hỗ trợ ra quyết định chiến lược nhằm nâng cao hiệu quả phòng cháy chữa cháy, bảo

vệ tính mạng thủy thủ đoàn và giảm thiểu thiệt hại tài sản, môi trường.

## 5. Kết luận

Qua phân tích dữ liệu sự cố cháy trên tàu biển giai đoạn 2015-2024, nghiên cứu đã chỉ ra xu hướng gia tăng đáng lo ngại cả về số lượng và mức độ nghiêm trọng. Kết quả phân cụm dendrogram và heatmap cho thấy các nhóm sự cố có đặc điểm nguyên nhân và vị trí khác biệt rõ rệt, giúp nhận diện các khu vực và loại tàu có nguy cơ cao. Biểu đồ phân bố 2D khẳng định mối quan hệ giữa loại tàu và vị trí cháy, từ đó cung cấp cơ sở khoa học cho việc ưu tiên kiểm soát an toàn và cải tiến thiết kế phòng cháy. Những phát hiện này nhấn mạnh sự cần thiết của việc nâng cấp hệ thống kỹ thuật, tăng cường kiểm tra định kỳ, và đào tạo thủy thủ đoàn, nhằm giảm thiểu thiệt hại về người, tài sản và môi trường trong tương lai.

Nghiên cứu này mới chỉ tập trung vào các tai nạn sự cố cháy nổ trên tàu giai đoạn 2015-2024 và xoay quanh 100 vụ việc điển hình được lựa chọn chủ quan là những hạn chế của nghiên cứu. Trong những nghiên cứu tiếp theo, tác giả sẽ cố gắng thu thập đầy đủ, chính xác và cụ thể hơn, trong thời gian dài hơn để mang lại những kết quả tổng hợp tin cậy nhất có thể.

## Lời cảm ơn

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Trường Đại học Hàng hải Việt Nam trong đề tài mã số: **DT25-26.182**.

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Australian Maritime Safety Authority (2021), *Fire incidents on board ships show alarming increase*, AMSA Report, Canberra, Australia.
- [2] Hetherington, C., Flin, R. and Mearns, K. (2006), *Safety in shipping: The human element*, Safety Research, Vol.37, pp.401-411.
- [3] International Maritime Organization (2022), *Annual Overview of Marine Casualties and Incidents 2022*, IMO Report, London, UK.
- [4] Allianz Global Corporate & Specialty (2023), *Safety and Shipping Review 2023*, AGCS Report, Munich, Germany.
- [5] Cefor (2023), *Annual Report 2023: Claims Trends & Statistics*, Nordic Association of Marine Insurers, Oslo, Norway.
- [6] Japan Transport Safety Board (2023), *Statistics of marine accidents*, JTSB Report, Tokyo, Japan.
- [7] Marine Accident Investigation Branch (2022), *Annual Report 2022*, MAIB, Southampton, UK.
- [8] International Union of Marine Insurance (2022), *Statistics Report 2022*, IUMI, Hamburg, Germany.
- [9] Gard, A.S. (2022), *Engine room fires are still a major concern*, Gard Insight Report, Arendal, Norway.
- [10] SAFETY4SEA (2023), *Fire on vessels: A growing trend*. <https://safety4sea.com/cm-fire-on-vessels-a-growing-trend/>.
- [11] Szymoński, M. (2024), *Safety management on ro-ro passenger ships*, TransNav, the International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation, Vol.18, No.2, pp.281-285.
- [12] M Aydın, E Akyuz, G Boustras (2024), *A holistic safety assessment for cargo holds and decks fire & explosion risks under fuzzy Bayesian network approach*, Safety Science, Vol.176, 106555.
- [13] Krmeek, I. Kos, S. Brčić, D. (2021), *Analytical Research of the Container Ships Cargo Area Fires in the Period From 2010 to 2020*, Naše more, Vol.69(1), pp.62-69.
- [14] Barlas, B. Ozsoysal, R. Bayraktarkatal, E. & Ozsoysal, O.A. (2017), *A study on the identification of fire hazards on board: a case study*, CrossMark, Vol.68(4).
- [15] Kim, K. & Jeon, H. (2023), *The causes and responses to cargo hold fire accidents in RoRo ships using AcciMap*, Journal of International Maritime Safety, Environmental Affairs, and Shipping, Vol.7(4), p. 2274227.
- [16] International Maritime Organization. *GISIS: Marine Casualties and Incidents Database*. Website: <https://gis.imo.org/>.

Ngày nhận bài	:	07/11/2025
Ngày nhận bản sửa	:	05/01/2026
Ngày duyệt đăng	:	25/01/2026