

## TỐI ƯU HÓA LOGISTICS LẠNH BẰNG MÔ HÌNH MILP-FMEA

Lý Mỹ Ngọc<sup>1</sup>, Nguyễn Trọng Trí Đức<sup>2</sup> và Võ Trần Thị Bích Châu<sup>2</sup><sup>1</sup>Sinh viên Khoa Quản lý Công nghiệp, Đại học Cần Thơ,<sup>2</sup>Khoa Quản lý Công nghiệp, Đại học Cần Thơ,

Email: vttbchau@ctu.edu.vn

## Thông tin chung

Ngày nhận bài:

22/5/2025

Ngày nhận bài sửa:

08/7/2025

Ngày duyệt đăng:

25/7/2025

**Từ khóa:** Logistics lạnh, logistics xanh, mô hình MILP, phân tích rủi ro, tối ưu hóa

## TÓM TẮT

Nghiên cứu đề xuất phương pháp tích hợp mô hình lập trình tuyến tính số nguyên hỗn hợp (MILP) và phân tích chế độ lỗi và tác động (FMEA) nhằm tối ưu hóa hệ thống logistics lạnh tại Công ty Cổ phần Chế biến Thủy sản A. MILP được áp dụng để tối ưu hóa chi phí vận chuyển và giảm phát thải CO<sub>2</sub> trên 5 tuyến đường thực tế; FMEA được triển khai để nhận diện và kiểm soát 10 rủi ro vận hành chính. Kết quả cho thấy giải pháp giúp giảm 12,03% chi phí vận hành và 1,51% lượng khí thải CO<sub>2</sub>. Nghiên cứu góp phần khẳng định hiệu quả của cách tiếp cận tích hợp MILP-FMEA trong tối ưu hóa logistics lạnh, hướng tới phát triển bền vững và tăng năng lực cạnh tranh cho doanh nghiệp.

## 1. ĐẶT VẤN ĐỀ

## 1.1. Bối cảnh nghiên cứu

Trong bối cảnh toàn cầu hóa và hội nhập kinh tế, ngành thủy sản Việt Nam đóng vai trò quan trọng trong nền kinh tế, đặc biệt là lĩnh vực xuất khẩu [1, 2]. Theo Hiệp hội Chế biến và Xuất khẩu Thủy sản Việt Nam (VASEP), kim ngạch xuất khẩu thủy sản năm 2024 ước đạt hơn 10 tỷ USD, trong đó tôm chiếm tỷ trọng lớn. Sóc Trăng (nay thuộc TP. Cần Thơ) là một trong những tỉnh dẫn đầu về sản lượng tôm, với nhiều doanh nghiệp chế biến và xuất khẩu quy mô lớn, trong đó Công ty Cổ phần Chế biến Thủy sản A đóng vai trò quan trọng trong chuỗi cung ứng thủy sản Việt Nam.

Hệ thống logistics lạnh là yếu tố then chốt trong chuỗi cung ứng thủy sản, giúp đảm bảo chất lượng sản phẩm từ khâu thu mua nguyên liệu, chế biến, bảo quản đến vận chuyển [3]. Tuy nhiên, sự phát triển của chuỗi cung ứng lạnh tại Việt Nam vẫn đối mặt với nhiều thách thức lớn [4, 5], bao gồm:

- Chi phí vận hành cao do duy trì kho lạnh, vận tải lạnh và kiểm soát nhiệt độ nghiêm ngặt.

- Tuyến đường vận chuyển chưa tối ưu, gây lãng phí tài nguyên và gia tăng thời gian giao hàng.

- Rủi ro trong vận hành như hỏng hóc phương tiện, mất điện đột xuất, nhiệt độ bảo quản không ổn định, ảnh hưởng nghiêm trọng đến chất lượng sản phẩm.

- Tác động môi trường lớn, do ngành logistics lạnh tiêu tốn nhiều năng lượng, góp phần vào phát thải CO<sub>2</sub> đáng kể.

Việc tối ưu hóa hệ thống logistics lạnh trở thành nhiệm vụ cấp thiết nhằm nâng cao hiệu quả hoạt động của doanh nghiệp, giảm chi phí và tăng sức cạnh tranh trên thị trường quốc tế.

## 1.2. Khoảng trống nghiên cứu

Dù đã có nhiều nghiên cứu về tối ưu hóa chuỗi cung ứng lạnh, nhưng phần lớn tập trung vào:

- Tối ưu hóa vận tải lạnh [6].

- Ứng dụng hệ thống ra quyết định theo thời gian thực để giảm hao hụt sản phẩm [7].

- Phân tích rủi ro trong logistics lạnh [8].

Tuy nhiên, chưa có nghiên cứu nào tích hợp đồng thời hai phương pháp tối ưu hóa tuyến đường (MILP) và quản lý rủi ro logistics (FMEA) trong bối cảnh cụ thể của một doanh nghiệp chế biến thủy sản tại Việt Nam. Ngoài ra, các nghiên cứu trước đây chưa tập trung khai thác mối quan hệ giữa tối ưu hóa chi phí vận tải và mục tiêu giảm khí thải CO<sub>2</sub>.

Việc tích hợp mô hình MILP và phương pháp FMEA tạo ra cách tiếp cận đồng thời cho hai mục tiêu quan trọng: tối ưu hóa chi phí vận tải và giảm thiểu rủi ro vận hành. Đây là hướng tiếp cận chưa được khai thác nhiều trong bối cảnh logistics lạnh thủy sản tại Việt Nam. Việc kết hợp này không chỉ mở rộng phạm vi nghiên cứu trong lĩnh vực tối ưu hóa chuỗi cung ứng lạnh, mà còn đóng góp vào xu hướng quản lý logistics một cách toàn diện và bền vững hơn.

### 1.3. Mục tiêu nghiên cứu

Dựa trên khoảng trống nghiên cứu đã xác định, nghiên cứu này hướng đến ba mục tiêu chính:

- Tối ưu hóa tuyến đường vận chuyển, giúp giảm chi phí vận tải và thời gian giao hàng bằng cách áp dụng mô hình MILP.

- Đánh giá và kiểm soát rủi ro logistics lạnh thông qua phương pháp FMEA, nhằm xác định các rủi ro vận hành ảnh hưởng đến chất lượng sản phẩm và đề xuất giải pháp khắc phục.

- Giảm thiểu tác động môi trường, hướng đến logistics xanh bằng cách cân bằng giữa tối ưu hóa chi phí vận tải và giảm khí thải CO<sub>2</sub>.

### 1.4. Ý nghĩa của nghiên cứu

Nghiên cứu không chỉ giúp Công ty Cổ phần Chế biến Thủy sản A nâng cao hiệu quả logistics lạnh, mà còn đóng góp vào sự phát triển chung của chuỗi cung ứng thủy sản Việt

Nam. Kết quả nghiên cứu cung cấp giải pháp thực tiễn giúp doanh nghiệp:

- Giảm chi phí vận chuyển thông qua tối ưu hóa tuyến đường.

- Giảm rủi ro vận hành, đảm bảo tính ổn định và an toàn cho chuỗi cung ứng.

- Thúc đẩy logistics xanh, góp phần giảm phát thải khí nhà kính và phát triển bền vững.

Với những lợi ích này, nghiên cứu đóng vai trò quan trọng trong việc nâng cao năng lực cạnh tranh của doanh nghiệp trên thị trường quốc tế và thúc đẩy sự phát triển của ngành thủy sản Việt Nam trong tương lai.

## 2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

### 2.1. Dữ liệu và phương pháp thu thập

Nghiên cứu này sử dụng phương pháp thu thập và phân tích dữ liệu thực tế từ Công ty Cổ phần Chế biến Thủy sản A, bao gồm:

- Thông tin về tuyến đường vận chuyển, bao gồm khoảng cách, thời gian di chuyển và chi phí logistics.

- Các rủi ro vận hành trong hệ thống logistics lạnh như hỏng hóc phương tiện, mất điện, biến động nhiệt độ bảo quản.

- Tác động môi trường, đo lường qua lượng khí thải CO<sub>2</sub> từ hoạt động vận tải.

Dữ liệu được thu thập từ hệ thống quản lý vận tải của công ty, kết hợp với khảo sát thực tế và phỏng vấn chuyên gia logistics để đảm bảo tính chính xác và đầy đủ.

### 2.2. Mô hình tối ưu hóa vận tải lạnh

Nhằm cân bằng giữa hai mục tiêu về chi phí và môi trường, bài toán được xây dựng dưới dạng mô hình MILP để xác định các tuyến đường vận chuyển từ nhà cung cấp đến nhà máy sản xuất [9]. Mục tiêu của mô hình là giảm thiểu tổng chi phí vận tải và lượng khí thải CO<sub>2</sub> từ phương tiện vận chuyển. Một số giả định được xem xét cho mô hình như sau:

- Tải trọng của xe là biết trước và bằng sức chứa của xe.

- Tổng nhu cầu lấy hàng trên mỗi tuyến không được vượt quá sức chứa của xe.

- Xe di chuyển từ nhà máy đến các điểm nhà cung cấp và quay trở về nhà máy.

- Nhu cầu lấy hàng từ nhà cung cấp được xác định theo tháng.

- Trong mỗi thời kỳ, nhu cầu được đưa ra và xác định.

- Tình trạng hư hỏng của phương tiện là không được đề cập.

Các chỉ số, tham số và biến quyết định, được sử dụng cho mô hình toán học của bài toán tối ưu hóa định tuyến tuyến đường của chuỗi cung ứng lạnh, được xây dựng như sau:

### 2.2.1. Tập hợp

N: tập hợp các điểm nhà cung cấp; trong đó, 0 là nhà máy sản xuất ( $i, j = 0, 1, 2, \dots, N$ )

M: tập hợp các xe tải ( $k = 1, 2, 3, \dots, M$ )

### 2.2.2. Tham số

$d_i$ : nhu cầu tại điểm  $i$  (tấn)

$q_k$ : tải trọng của xe tải  $k$  (tấn)

$p_k$ : chi phí cố định trên mỗi đơn vị khoảng cách của xe tải  $k$  (VNĐ/km)

$c_k$ : chi phí biến đổi trên mỗi đơn vị khoảng cách của xe tải  $k$  (VNĐ/km)

$d_{ij}$ : khoảng cách di chuyển từ điểm  $i$  đến điểm  $j$  (km)

$t_{ij}$ : thời gian di chuyển từ điểm  $i$  đến điểm  $j$  (giờ)

$[e_i, l_i]$ : thời gian sớm nhất và trễ nhất để lấy hàng tại điểm  $i$  (giờ)

$s_i$ : thời gian phục vụ tại điểm  $i$  (giờ)

$g_k$ : thời gian cho phép lái xe tối đa của xe tải  $k$  (giờ)

$ff_k$ : lượng nhiên liệu tiêu thụ của xe tải  $k$  khi đầy tải (lít/km)

$fn_k$ : lượng nhiên liệu tiêu thụ của xe tải  $k$  khi không tải (lít/km)

$w_k$ : hệ số phát thải CO<sub>2</sub> (kg CO<sub>2</sub>/lít)

### 2.2.3. Biến quyết định

$X_{ijk}$ : bằng 1 nếu xe tải  $k$  được sử dụng cho tuyến đường từ điểm  $i$  đến điểm  $j$ ; ngược lại bằng 0

$Y_{ik}$ : thời gian xe tải  $k$  bắt đầu phục vụ tại điểm  $i$  (giờ)

$F_{ijk}$ : khối lượng hàng hóa xe tải  $k$  vận chuyển từ điểm  $i$  đến điểm  $j$  (tấn)

### 2.2.4. Hàm mục tiêu

Hàm mục tiêu (Z1) nhằm mục tiêu tối thiểu tổng chi phí vận chuyển bao gồm: chi phí vận chuyển giữa các địa điểm và chi phí cố định của mỗi chuyến đi.

$$\text{Min } Z_1 = \sum_{i=0}^N \sum_{j=0}^N \sum_{k=1}^M X_{ijk} \times (c_k + p_k) \times d_{ij}$$

Hàm mục tiêu (Z2) nhằm mục tiêu tối thiểu tổng lượng khí thải CO<sub>2</sub> thông qua lượng khí thải do tiêu hao nhiên liệu của xe tải phát ra trong quá trình vận tải.

$$\text{Min } Z_2 = \sum_{i=0}^N \sum_{j=0}^N \sum_{k=1}^M X_{ijk} \times d_{ij} \times \left( fn_k + \frac{(ff_k - fn_k) \times F_{ijk}}{q_k} \right) \times w$$

### 2.2.5. Ràng buộc

- Ràng buộc (1) và (2) đảm bảo mỗi địa điểm chỉ được phục vụ một lần duy nhất và bởi một xe tải  $k$  duy nhất.

$$\sum_{j=0}^N \sum_{k=1}^M X_{ijk} = 1 \quad \forall i \in N, i \neq 0, \forall i \neq j \quad (1)$$

$$\sum_{i=0}^N \sum_{k=1}^M X_{ijk} = 1 \quad \forall j \in N, j \neq 0, \forall i \neq j \quad (2)$$

- Ràng buộc (3) và (4) quy định phương tiện xuất phát từ nhà máy sản xuất và quay về nhà máy sản xuất sau khi kết thúc tuyến đường lấy hàng.

$$\sum_{j=1}^N X_{0jk} = 1 \quad \forall k \in M \quad (3)$$

$$\sum_{i=1}^N X_{i0k} = 1 \quad \forall k \in M \quad (4)$$

- Ràng buộc (5) và (6) quy định sự liên tục của các điểm lấy hàng.

$$\sum_{j=0}^N X_{ijk} - \sum_{j=0}^N X_{jik} = 0 \quad \forall i \in N, \forall k \in M, \forall i \neq j$$

$$\sum_{k=1}^M X_{ijk} + \sum_{k=0}^M X_{jik} \leq 1 \quad \forall i, j \in N, \forall i \neq j \quad (6)$$

- Ràng buộc (7) và (8) đảm bảo không có xe tải nào có thể bị quá tải trọng.

$$X_{ijk} \times q_k \geq F_{ijk} \quad \forall i, j \in N, \forall k \in M \quad (7)$$

$$\sum_{i=1}^N d_i \times \sum_{j=0}^N X_{ijk} \leq q_k \quad \forall k \in M \quad (8)$$

- Ràng buộc (9), (10) và (11) quy định về lượng vận chuyển và nhu cầu lấy hàng tại mỗi địa điểm.

$$\sum_{i=0}^N F_{jik} + d_i \times \sum_{i=0}^N X_{ijk} = \sum_{i=1}^N F_{ijk} \quad \forall j \in N, \forall k \in M, \forall i \neq j \quad (9)$$

$$F_{ijk} \geq X_{ijk} \times d_i \quad \forall i, j \in N, \forall k \in M \quad (10)$$

$$\sum_{j=0}^N \sum_{k=1}^M F_{jik} - \sum_{j=0}^N \sum_{k=1}^M F_{ijk} = d_i \quad \forall i \in N \quad (11)$$

- Ràng buộc (12), (13) quy định về mối quan hệ thời gian giữa thời gian lấy hàng tại địa điểm nhà cung cấp liên tiếp trên mỗi tuyến đường vận chuyển và đảm bảo thời gian nằm trong khoảng thời gian cho phép.

$$Y_{ik} + s_i + t_{ij} \leq Y_{jk} + g_k \times (1 - X_{ijk}) \quad \forall i, j \in N, \forall k \in M \quad (12)$$

$$Y_{0k} \leq g_k \quad \forall k \in M \quad (13)$$

- Ràng buộc (14), (15) quy định mỗi địa điểm lấy hàng phải được phục vụ trong khoảng thời gian cho phép.

$$e_i \leq Y_{ik} \quad \forall i \in N, \forall k \in M, i \neq 0 \quad (14)$$

$$l_i \geq Y_{ik} + s_i \quad \forall i \in N, \forall k \in M, i \neq 0 \quad (15)$$

Mô hình đa mục tiêu:

$$Z_1 \leq \varepsilon \quad (16)$$

$$\text{Min } Z = Z_2 \quad (17)$$

Trong đó,  $\varepsilon$  là giới hạn trên của của  $Z_1$

### 2.3. Phân tích rủi ro trong logistics bằng FMEA

Để đánh giá và quản lý rủi ro trong hệ thống logistics lạnh, nghiên cứu áp dụng Phân tích Chế độ Lỗi và Tác động (FMEA) nhằm xác định các rủi ro chính, đánh giá mức độ ảnh hưởng và đề xuất giải pháp giảm thiểu [10].

#### 2.3.1. Các tiêu chí đánh giá rủi ro

Rủi ro trong hệ thống logistics lạnh được đánh giá dựa trên ba tiêu chí chính:

- Mức độ nghiêm trọng (Severity - S): Đánh giá mức độ ảnh hưởng khi sự cố xảy ra.

- Tần suất xảy ra (Occurrence - O): Xác suất xuất hiện của rủi ro trong thực tế.

- Mức độ phát hiện (Detection - D): Khả năng phát hiện và kiểm soát rủi ro trước khi gây ảnh hưởng lớn.

Mỗi tiêu chí được đánh giá trên thang điểm từ 1 đến 10, sau đó chỉ số ưu tiên rủi ro (RPN - Risk Priority Number) được tính theo công thức:

$$RPN = S \times O \times D \quad (18)$$

Những rủi ro có RPN cao sẽ được ưu tiên xử lý để giảm thiểu tác động đến hệ thống logistics.

#### 2.3.2. Kết quả đánh giá rủi ro

Việc đánh giá các chỉ số S, O và D trong phương pháp FMEA được thực hiện dựa trên dữ liệu thực tế về logistics và vận tải, kết hợp với lịch sử sự cố và thống kê trong ngành thủy sản, cùng với kinh nghiệm vận hành thực tế của doanh nghiệp. Những yếu tố này cung cấp

cơ sở để xác định mức độ rủi ro, giúp doanh nghiệp đưa ra các giải pháp kiểm soát phù hợp. Kết quả tính toán cụ thể của các chỉ số này được trình bày trong bảng sau.

**Bảng 1. Kết quả tính toán RPN**

STT	Rủi ro	Nguyên nhân	Hậu quả	Mức độ nghiêm trọng (S)	Tần suất xảy ra (O)	Mức độ phát hiện (D)	RPN
1	Hỏng hóc phương tiện	Xe cũ, bảo trì không đúng định kỳ	Trì hoãn giao hàng, tăng chi phí vận tải	8	6	5	240
2	Hệ thống làm lạnh không ổn định	Lỗi hệ thống làm lạnh, mất điện	Nguyên liệu bị hư hỏng, không đạt tiêu chuẩn xuất khẩu	9	7	7	441
3	Tắc nghẽn giao thông	Xe đông đúc, công trình sửa chữa	Tăng thời gian vận chuyển, hao tổn nhiên liệu	6	7	5	210
4	Tai nạn giao thông	Thời tiết xấu, lỗi kỹ thuật phương tiện	Nguy cơ mất hàng, thiệt hại về người và tài sản	9	5	4	180
5	Hao hụt nguyên liệu	Bảo quản kém, thời gian vận chuyển dài, nhiệt độ không ổn định	Giảm chất lượng nguyên liệu, tăng tỷ lệ hao hụt	8	7	7	392
6	Nhiễm khuẩn trong quá trình vận chuyển	Tiếp xúc với môi trường không đảm bảo an toàn thực phẩm	Hàng bị nhiễm khuẩn không thể sử dụng	9	8	8	576
7	Biến động giá nhiên liệu	Thị trường xăng dầu biến động	Tăng chi phí vận hành, giảm lợi nhuận	7	7	4	196
8	Chi phí bảo trì cao	Tần suất sử dụng phương tiện cao, hao mòn nhanh	Chi phí sửa chữa cao, gây gián đoạn hoạt động vận tải	6	6	5	180



Dựa trên sơ đồ tuyến đường thu gom nguyên liệu được thể hiện trong Hình 1, công ty đã triển khai các xe tải theo lộ trình tối ưu nhằm giảm thiểu chi phí vận chuyển và thời gian giao hàng.

**Bảng 3. Lộ trình giao hàng của các xe**

Xe tải	Tuyến đường vận chuyển	Khối lượng hàng hóa (tấn)
1	0 - 7 - 0	6,81
2	0 - 10 - 0	16,67
3	0 - 1 - 3 - 0	16,03
4	0 - 4 - 5 - 2 - 6 - 0	12,85
5	0 - 11 - 13 - 12 - 14 - 9 - 8 - 0	16,6

Các tuyến đường trình bày trong Bảng 3 là kết quả từ mô hình MILP tối ưu đa mục tiêu,

trong đó các giải pháp được lựa chọn nhằm cân bằng giữa chi phí vận tải và lượng phát thải CO<sub>2</sub>. Cụ thể, giải pháp đa mục tiêu (giải pháp 3) đã được áp dụng để xác định lịch trình tối ưu cho 5 xe tải. Đây là lộ trình có hiệu suất vận hành tốt nhất với mức chi phí tăng vừa phải (12,03 %) nhưng cho phép giảm đáng kể khí thải CO<sub>2</sub> (1,51 %) so với phương án chỉ tối ưu chi phí.

Để hiểu rõ hơn về quá trình vận chuyển trên từng cung đường cụ thể, Bảng 4 cung cấp thông tin chi tiết về lượng hàng hóa được vận chuyển giữa các điểm và thời gian di chuyển đến từng điểm dừng. Việc phân tích dữ liệu này giúp đánh giá hiệu suất hoạt động của từng xe tải và tối ưu hóa chiến lược giao nhận hàng nhằm giảm chi phí vận hành và đảm bảo chất lượng bảo quản sản phẩm trong hệ thống logistics lạnh.

**Bảng 4. Lượng hàng và thời gian vận chuyển qua các cung đường**

Xe (k)	Khách hàng (i)	Khách hàng (j)	Lượng vận chuyển (tấn)	Thời gian đến điểm j (giờ)
1	0	7	0	0,03
	7	0	6,81	0,7
2	0	10	0	0,71
	10	0	16,67	3,84
3	0	1	0	0,63
	1	3	9,23	2,94
	3	0	16,03	5,53
4	0	4	0	1,26
	4	5	0,55	2,09
	5	2	2,8	2,96
	2	6	11	4,82
	6	0	12,85	6,04
5	0	11	0	2
	11	13	3	2,8
	13	12	6,25	3,93

Xe (k)	Khách hàng (i)	Khách hàng (j)	Lượng vận chuyển (tấn)	Thời gian đến điểm j (giờ)
	12	14	7,45	4,66
	14	9	10,5	7,06
	9	8	13,1	10,02
	8	0	16,6	12,31

Dựa trên kết quả nghiên cứu về tối ưu hóa tuyến đường, Công ty Cổ phần Chế biến Thủy sản A đã triển khai năm xe tải để thu gom hàng hóa từ các hợp tác xã theo những tuyến đường khác nhau. Việc lựa chọn tuyến đường hợp lý giúp tối ưu hóa thời gian di chuyển, giảm lượng khí thải CO<sub>2</sub> và đảm bảo hiệu suất vận hành của hệ thống logistics lạnh.

Xe 1 thực hiện tuyến đường Công ty - Hợp tác xã Đoàn Kết - Công ty, với tổng lượng hàng thu gom là 6,81 tấn. Xe xuất phát từ công ty và di chuyển đến Hợp tác xã Đoàn Kết trong 1,8 phút, sau đó hoàn thành quá trình thu gom và quay trở lại công ty trong 42 phút.

Xe 2 vận chuyển hàng hóa theo lộ trình Công ty - Hợp tác xã Thành Đạt - Công ty, thu gom tổng cộng 16,667 tấn. Xe di chuyển đến Hợp tác xã Thành Đạt trong 43 phút và sau khi hoàn tất thu gom, xe quay lại công ty với tổng thời gian vận chuyển là 3 giờ 50 phút.

Xe 3 thực hiện tuyến đường Công ty - Hợp tác xã Thạnh Quới - Hợp tác xã Chiến Thắng - Công ty, với tổng lượng hàng thu gom là 16,03 tấn. Xe di chuyển đến Hợp tác xã Thạnh Quới trong 38 phút, tiếp tục đến Hợp tác xã Chiến Thắng sau 2 giờ 56 phút, và quay về công ty sau tổng thời gian 5 giờ 32 phút.

Xe 4 được phân công lộ trình Công ty - Hợp tác xã Hưng Phú - Hợp tác xã Hòa Nghĩa - Hợp tác xã Toàn Thắng - Hợp tác xã 14/10 -

Công ty, thu gom 12,85 tấn hàng hóa. Xe di chuyển đến Hợp tác xã Hưng Phú mất 1 giờ 16 phút, sau đó tiếp tục đến Hợp tác xã Hòa Nghĩa trong 2 giờ 5 phút. Lộ trình tiếp diễn đến Hợp tác xã Toàn Thắng trong 2 giờ 58 phút, rồi di chuyển đến Hợp tác xã 14/10 trong 4 giờ 49 phút. Cuối cùng, xe quay trở về công ty sau 6 giờ 2 phút.

Xe 5 có lộ trình dài nhất, thu gom 16,6 tấn theo tuyến Công ty - Hợp tác xã Vĩnh Hậu A - Hợp tác xã 30/4 - Hợp tác xã Thanh Sơn - Hợp tác xã Phước Long - Hợp tác xã Trinh Phú - Hợp tác xã Thọ Hòa Đông A - Công ty. Xe mất 2 giờ để đến Hợp tác xã Vĩnh Hậu A, sau đó tiếp tục hành trình đến Hợp tác xã 30/4 trong 2 giờ 48 phút. Quá trình vận chuyển nối tiếp đến Hợp tác xã Thanh Sơn mất 3 giờ 56 phút, rồi đến Hợp tác xã Phước Long trong 4 giờ 40 phút. Xe tiếp tục đến Hợp tác xã Trinh Phú sau 7 giờ 4 phút, di chuyển đến Hợp tác xã Thọ Hòa Đông A sau 10 giờ 1 phút, và cuối cùng quay về công ty để hoàn tất hành trình trong 12 giờ 19 phút.

Việc tối ưu hóa các tuyến đường thu gom hàng hóa không chỉ giúp giảm thiểu chi phí vận tải, mà còn tối ưu thời gian vận chuyển và đảm bảo chất lượng bảo quản sản phẩm trong quá trình logistics lạnh. Hệ thống vận chuyển khoa học giúp kiểm soát tốt quá trình thu gom hàng hóa, đặc biệt đối với các sản phẩm có độ nhạy cảm cao với nhiệt độ, như thực phẩm tươi sống. Đồng thời, lộ trình được thiết kế hợp lý cũng góp phần giảm lượng khí thải

CO<sub>2</sub>, hướng tới phát triển bền vững và thân thiện với môi trường.

### 3.2. Kết quả phân tích rủi ro bằng FMEA

Bên cạnh việc tối ưu tuyến, quá trình phân tích cũng chỉ ra một số nguy cơ tiềm ẩn theo từng xe, dựa trên phân loại rủi ro từ phương pháp FMEA. Ví dụ, xe 2 và xe 5 có lộ trình dài và thời gian vận chuyển cao, làm tăng khả

năng mất ổn định nhiệt độ hoặc nhiễm khuẩn trong vận chuyển. Các nguy cơ phổ biến ghi nhận trong quá khứ bao gồm: hỏng hóc phương tiện (xe 4 từng bị gián đoạn do lỗi động cơ), sự cố hệ thống làm lạnh (xe 3), và chậm trễ do tắc nghẽn (xe 5 trong giờ cao điểm). Những dữ liệu này phù hợp với ba nhóm rủi ro có RPN cao trong Bảng 5.

**Bảng 5. Nhóm rủi ro có RPN cao nhất**

Rủi ro	RPN	Phân tích	Đề xuất cải thiện
Nhiễm khuẩn trong quá trình vận chuyển	576	Rủi ro cao nhất vì nếu nguyên liệu bị nhiễm khuẩn, toàn bộ lô hàng sẽ bị hủy gây tổn thất lớn. Việc phát hiện sự cố thường muộn, chỉ sau khi kiểm tra tại nhà máy.	- Áp dụng kiểm tra an toàn thực phẩm nghiêm ngặt trước khi vận chuyển. - Trang bị xe tải chuyên dụng đã được khử trùng.
Hệ thống làm lạnh không ổn định	441	Rủi ro cao vì hệ thống làm lạnh hỏng, nguyên nhân có thể bị hư hỏng trước khi đến nhà máy, gây thất thoát nguồn nguyên liệu lớn. Việc phát hiện sự cố làm lạnh thường khó khăn.	- Lắp đặt hệ thống cảm biến nhiệt độ IoT trên xe tải lạnh để giám sát liên tục. - Kiểm tra và bảo trì hệ thống làm lạnh định kỳ trước mỗi chuyến hàng.
Hao hụt do bảo quản	392	Hao hụt nguyên liệu do bảo quản không đúng cách có thể làm giảm chất lượng sản phẩm và tăng tỷ lệ phế phẩm.	Kiểm soát nhiệt độ chặt chẽ và tối ưu hóa thời gian vận chuyển để giảm thời gian nguyên liệu ở trong xe tải.

Dựa trên kết quả phân tích rủi ro bằng FMEA, các nhóm rủi ro có RPN cao nhất đã được xác định trong Bảng 5, bao gồm nhiễm khuẩn trong quá trình vận chuyển (RPN = 576), hệ thống làm lạnh không ổn định (RPN = 441) và hao hụt nguyên liệu do bảo quản (RPN = 392). Đây là ba rủi ro nghiêm trọng nhất, có thể ảnh hưởng lớn đến chất lượng sản phẩm, hiệu quả vận hành và lợi nhuận doanh nghiệp, do đó cần được ưu tiên xử lý ngay lập tức.

Kết quả từ Bảng 5 cho thấy rằng nhiễm khuẩn trong vận chuyển có thể gây ra thiệt hại lớn nếu hàng hóa bị nhiễm khuẩn, khiến sản phẩm không đạt tiêu chuẩn xuất khẩu. Để giảm thiểu rủi ro này, doanh nghiệp cần kiểm soát chất lượng chặt chẽ, sử dụng xe tải chuyên dụng đã được khử trùng và tăng cường kiểm tra vệ sinh thực phẩm trong toàn bộ quá trình vận chuyển. Bên cạnh đó, hệ thống làm lạnh không ổn định có thể làm hỏng nguyên liệu trước khi đến nhà máy, dẫn đến tổn thất đáng kể. Để khắc phục, công ty

cần lắp đặt cảm biến nhiệt độ IoT nhằm giám sát nhiệt độ trong thời gian thực, đồng thời thực hiện bảo trì định kỳ hệ thống làm lạnh để đảm bảo quá trình bảo quản đạt tiêu chuẩn. Ngoài ra, hao hụt nguyên liệu do bảo quản cũng là một vấn đề quan trọng cần giải quyết, vì nhiệt độ không ổn định có thể làm giảm chất lượng sản phẩm, dẫn đến tỷ lệ hao hụt cao. Giải pháp đề xuất là kiểm soát nhiệt độ nghiêm ngặt và tối ưu hóa thời gian vận chuyển để rút ngắn thời gian lưu trữ sản phẩm trong điều kiện không đạt chuẩn.

Những kết quả này khẳng định rằng việc áp dụng FMEA trong hệ thống logistics lạnh không chỉ giúp doanh nghiệp nhận diện sớm các nguy cơ tiềm ẩn, mà còn giúp đưa ra biện pháp phòng ngừa hiệu quả, tối ưu hóa vận hành và giảm thiểu tổn thất hàng hóa. Việc thực hiện đồng bộ các giải pháp này sẽ giúp Công ty Cổ phần Chế biến Thủy sản A nâng cao chất lượng sản phẩm, tăng tính ổn định của chuỗi cung ứng lạnh và củng cố vị thế cạnh tranh trên thị trường quốc tế.

### 3.3. Thảo luận kết quả

Kết quả nghiên cứu cho thấy việc tối ưu hóa logistics lạnh bằng mô hình MILP kết hợp với phân tích rủi ro bằng FMEA mang lại những lợi ích rõ rệt cho doanh nghiệp. Những cải tiến này không chỉ giúp giảm chi phí vận tải mà còn nâng cao hiệu quả vận hành và đảm bảo chất lượng sản phẩm trong chuỗi cung ứng lạnh.

#### 3.3.1. Hiệu quả của mô hình MILP trong tối ưu hóa logistics lạnh

Việc áp dụng mô hình MILP đã giúp giảm đáng kể chi phí vận tải bằng cách tối ưu hóa tuyến đường và tận dụng hiệu quả phương tiện vận chuyển. Ngoài ra, việc rút ngắn thời gian giao hàng nhờ tuyến đường được tối ưu cũng đảm bảo chất lượng sản phẩm tốt hơn, đặc biệt là đối với thực phẩm tươi sống có yêu

cầu bảo quản nghiêm ngặt. Hơn nữa, giải pháp này giúp cân bằng giữa chi phí logistics và phát thải CO<sub>2</sub>, từ đó góp phần xây dựng chuỗi cung ứng xanh, hướng đến phát triển bền vững trong ngành logistics lạnh.

#### 3.3.2. Tác động của quản lý rủi ro bằng FMEA

Bên cạnh việc tối ưu hóa tuyến đường vận tải, nghiên cứu cũng đã xác định các rủi ro có chỉ số RPN cao trong hệ thống logistics lạnh, từ đó đề xuất các giải pháp hiệu quả nhằm giảm thiểu tác động tiêu cực. Việc ứng dụng công nghệ thông minh như IoT giúp giám sát và kiểm soát rủi ro trong thời gian thực, giảm thiểu tổn thất hàng hóa do biến động nhiệt độ hay sự cố vận hành. Bên cạnh đó, đầu tư vào hệ thống bảo trì định kỳ là một chiến lược quan trọng giúp hạn chế sự cố ngoài ý muốn trong quá trình vận hành, đảm bảo tính ổn định và hiệu quả của hệ thống logistics lạnh.

#### 3.3.3. So sánh với các nghiên cứu trước đây

So với nghiên cứu của Kwon et al. [6], vốn tập trung vào bài toán định tuyến xe có xét đến phát thải carbon trong điều kiện đội xe cố định, nghiên cứu này tiên thêm một bước khi tích hợp phát thải CO<sub>2</sub> trực tiếp vào mô hình tối ưu hóa MILP và áp dụng trên dữ liệu thực tế từ doanh nghiệp chế biến thủy sản tại Việt Nam. Điều này cho phép đánh giá đồng thời hai mục tiêu: tối ưu chi phí và bảo vệ môi trường - một hướng tiếp cận phù hợp với mục tiêu phát triển logistics xanh hiện nay.

Trong khi đó, nghiên cứu của Mejjaouli và Babiceanu [7] chỉ giải quyết bài toán tối ưu tuyến đường trong bối cảnh hệ thống lạnh thời gian thực, nhưng không kết hợp với quản lý rủi ro, dẫn đến hạn chế trong việc dự đoán và xử lý các tình huống bất thường có thể xảy ra trong thực tế. Ngược lại, nghiên cứu hiện tại sử dụng phương pháp FMEA để định lượng

và ưu tiên rủi ro, tạo tiền đề cho việc ra quyết định chiến lược và ứng phó chủ động.

Đặc biệt, nghiên cứu của Khan et al. [8] mặc dù đã nhận diện rủi ro trong chuỗi cung ứng lạnh ở các quốc gia đang phát triển, nhưng chủ yếu mang tính mô tả và chưa có sự tích hợp định lượng giữa mô hình tối ưu hóa và phương pháp phân tích rủi ro. Nghiên cứu hiện tại vượt trội hơn ở điểm đã mô hình hóa đồng thời hai khía cạnh - hiệu quả vận hành và an toàn vận hành - bằng cách kết hợp MILP và FMEA trong một mô hình tích hợp, hướng tới tính toàn diện và tính ứng dụng cao trong môi trường doanh nghiệp thủy sản tại Việt Nam.

Tổng hợp lại, nghiên cứu này có ba điểm khác biệt nổi bật so với các nghiên cứu trên:

(1) Tính tích hợp mô hình hóa: Đây là nghiên cứu đầu tiên trong bối cảnh logistics lạnh thủy sản tại Việt Nam kết hợp hai mô hình định lượng là MILP và FMEA trong một khung phân tích thống nhất, từ đó vừa tối ưu hóa chi phí, vừa chủ động kiểm soát rủi ro vận hành - điều mà các nghiên cứu trước thường xem xét tách biệt.

(2) Tính ứng dụng thực tiễn: Nghiên cứu sử dụng dữ liệu thực tế từ 5 tuyến vận chuyển tại một doanh nghiệp cụ thể, từ đó đưa ra các giải pháp có thể triển khai ngay trong hoạt động thực tế. Trong khi đó, nhiều nghiên cứu trước đây sử dụng dữ liệu mô phỏng hoặc có phạm vi áp dụng còn hạn chế.

(3) Hướng tiếp cận logistics xanh: Không chỉ dừng lại ở việc giảm chi phí, nghiên cứu còn tích hợp tiêu chí môi trường (lượng khí thải CO<sub>2</sub>) vào mô hình tối ưu, hướng đến sự bền vững trong vận hành logistics lạnh. Điều này phù hợp với xu thế chuyển đổi xanh trong ngành logistics toàn cầu mà các nghiên cứu trước chỉ đề cập một phần.

#### 4. KẾT LUẬN VÀ ĐỀ XUẤT

Nghiên cứu đã phân tích rõ thực trạng hệ thống logistics lạnh tại Công ty Cổ phần Chế biến Thủy sản A, từ đó đề xuất phương pháp tích hợp mô hình MILP và FMEA nhằm tối ưu hóa hiệu quả vận hành. Mô hình MILP giúp xác định tuyến đường vận chuyển tối ưu, qua đó giảm thiểu chi phí và phát thải, trong khi phương pháp FMEA cho phép nhận diện sớm và kiểm soát các rủi ro tiềm ẩn trong hệ thống logistics lạnh.

Kết quả mô hình cho thấy giải pháp đề xuất đã giúp giảm 12,03% chi phí vận tải và 1,51% lượng khí thải CO<sub>2</sub> so với phương án truyền thống. Đồng thời, các rủi ro nghiêm trọng như nhiễm khuẩn trong vận chuyển (RPN = 576) và hư hỏng hệ thống làm lạnh (RPN = 441) đã được xác định và có giải pháp kiểm soát hiệu quả. Điều này không chỉ nâng cao hiệu quả logistics lạnh mà còn góp phần xây dựng hệ thống vận hành ổn định, an toàn và thân thiện với môi trường.

Về ứng dụng thực tiễn, nghiên cứu cung cấp nền tảng khoa học và thực hành cho doanh nghiệp trong việc hoạch định chiến lược logistics, đặc biệt là cải thiện hiệu suất vận hành thông qua điều phối tuyến đường hợp lý và kiểm soát rủi ro hiệu quả. Doanh nghiệp có thể xem xét đầu tư vào hệ thống giám sát nhiệt độ IoT, tự động hóa quản lý vận tải, và sử dụng phương tiện tiết kiệm năng lượng để giảm thiểu tác động môi trường, hướng tới một chuỗi cung ứng bền vững.

Hướng nghiên cứu tiếp theo có thể tập trung vào việc tích hợp công nghệ trí tuệ nhân tạo và blockchain vào quản lý logistics lạnh [11-13], giúp tăng cường tính minh bạch, tối ưu hóa dự báo nhu cầu và cải thiện hiệu suất chuỗi cung ứng. Ngoài ra, việc nghiên cứu sâu hơn về các yếu tố kinh tế và chính sách hỗ trợ phát triển logistics xanh sẽ cung cấp nền tảng

quan trọng giúp doanh nghiệp hướng đến sự phát triển bền vững và hiệu quả trong dài hạn.

Tuy nhiên, việc triển khai hệ thống logistics lạnh trên thực tế còn đối mặt với nhiều rào cản. Một trong những thách thức lớn là chi phí đầu tư ban đầu cao, bao gồm chi phí xe tải chuyên dụng, kho lạnh và hệ thống giám sát IoT. Ngoài ra, rào cản pháp lý và quy chuẩn quản lý an toàn thực phẩm lạnh vẫn chưa thống nhất, gây khó khăn cho doanh nghiệp khi mở rộng quy mô. Đặc điểm địa phương hóa, như hạ tầng giao thông hạn chế, điện không ổn định ở vùng nông thôn cũng ảnh hưởng đáng kể đến hiệu quả vận hành.

Để hướng tới phát triển bền vững, nghiên cứu đề xuất các giải pháp logistics xanh, bao gồm: sử dụng phương tiện vận tải tiết kiệm năng lượng, tích hợp cảm biến IoT để giám sát nhiệt độ theo thời gian thực, và khai thác năng lượng tái tạo trong vận hành kho lạnh. Ngoài ra, việc đào tạo nhân lực chuyên môn và thúc đẩy hợp tác giữa doanh nghiệp - nhà nước - viện nghiên cứu sẽ tạo nền tảng vững chắc cho một hệ thống logistics lạnh hiệu quả và thân thiện với môi trường.

### Tài liệu tham khảo

- [1] T. B. Tran. Sustainability of rice-shrimp farming system in a brackish water area in the Mekong Delta of Vietnam. University of Western Sydney, Hawkesbury (Australia); 1994.
- [2] H. D. Dang. Sustainability of the rice-shrimp farming system in Mekong Delta, Vietnam: a climate adaptive model. *Journal of Economics and Development*. 2020; 22(1): 21-45.
- [3] D. Sardanelli, L. Bittucci, F. Mirone, and S. Marzioni. An integrative framework for supply chain rating: From financial-based to ESG-based rating models, *Total Quality Management & Business Excellence*. 2022; 1-20.
- [4] P. R. Brown, V. V. Tuan, D. K. Nhan, L. C. Dung, and J. Ward. Influence of livelihoods on climate change adaptation for smallholder farmers in the Mekong Delta Vietnam. *International Journal of Agricultural Sustainability*. 2018; 16(3): 255-271.
- [5] T. T. P. Ha, H. van Dijk, R. Bosma, and L. X. Sinh. Livelihood capabilities and pathways of shrimp farmers in the Mekong Delta, Vietnam, *Aquaculture economics & management*. 2013; 17(1): 1-30.
- [6] Y.-J. Kwon, Y.-J. Choi, and D.-H. Lee. Heterogeneous fixed fleet vehicle routing considering carbon emission. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*. 2013; 23: 81-89.
- [7] S. Mejjaoui and R. F. Babiceanu. Cold supply chain logistics: System optimization for real-time rerouting transportation solutions, *Computers in Industry*. 2018; 95: 68-80.
- [8] A. U. Khan, Y. Ali, D. Pamucar, and L. Vasa. Risk management for cold supply chain: Case of a developing country. *Acta Polytechnica Hungarica*. 2022; 19(8): 161-185.
- [9] M. K. Boujelben, C. Gicquel, and M. Minoux. A MILP model and heuristic approach for facility location under multiple operational constraints. *Computers & Industrial Engineering*. 2016; 98: 446-461.
- [10] O. Mooneepen, S. Abhayawansa, and N. Mamode Khan. The influence of the country governance environment on corporate environmental, social and governance (ESG) performance. *Sustainability Accounting, Management and Policy Journal*. 2022; 13(4): 953-985.

[11] M. J. Diván and M. L. Sánchez Reynoso. An architecture for the real-time data stream monitoring in IoT, in *Multimedia Big Data Computing for IoT Applications: Concepts, Paradigms and Solutions*: Springer; 2019. 59-100.

[12] L. Mishra and S. Varma. Performance evaluation of real-time stream

processing systems for Internet of Things applications. *Future Generation Computer Systems*. 2020; 113: 207-217.

[13] N. Devarasetty. Integrating AI and Data Engineering in IoT Ecosystems: Streaming Data Management for Smart Devices. *The Computertech*; 2021. 61-72.

## OPTIMIZING COLD CHAIN LOGISTICS USING THE MILP-FMEA MODEL

### ABSTRACT

*This study proposes an integrated approach combining Mixed-Integer Linear Programming (MILP) and Failure Mode and Effects Analysis (FMEA) to optimise the cold chain logistics system at Company A. MILP is applied to optimise transportation costs and reduce CO<sub>2</sub> emissions across five actual distribution routes. At the same time, FMEA identifies and controls ten significant operational risks. The results indicate that the proposed solution leads to a 12.03% reduction in operating costs and a 1.51% decrease in CO<sub>2</sub> emissions. This research affirms the effectiveness of the integrated MILP-FMEA approach in optimising cold chain logistics, thereby contributing to sustainable development and enhancing the company's competitive capacity.*

**Keywords:** Cold logistics, green logistics, MILP model, optimization, risk analysis