



Tạp chí điện tử
Khoa học và Công nghệ Giao thông
Trang website: <https://jstt.vn/index.php/vn>



Article info

Type of article:

Original research paper

DOI:

<https://doi.org/10.58845/jstt.utt.2026.vn.6.7.98-115>

***Corresponding author:**

Email address:

vttbchau@ctu.edu.vn

Received: 07/01/2026

Received in Revised Form:

29/06/2026

Accepted: 30/07/2026

Cost analysis and proposed logistics optimization model for the processed food industry

Vo Tran Thi Bich Chau*, Nguyen Ngoc Ha, Truong Thi Tu My

Faculty of Industrial Management, College of Engineering, Can Tho University, Campus II, 3/2 Street, Ninh Kieu Ward, Can Tho, Vietnam

Abstract: Vietnam's processed food industry is expanding rapidly and plays a vital role in the national economy; however, high logistics costs remain a significant challenge to competitiveness. Logistics expenses account for approximately 16–17% of GDP, considerably higher than the global average. This study analyzes logistics cost structures and proposes an optimized logistics model tailored to the characteristics of the processed food sector using the Mixed-Integer Linear Programming (MILP) approach. The research procedure consists of five steps: data collection, cost analysis, model formulation, model solving, and assessment of operational risks and implementation feasibility using Failure Mode and Effects Analysis (FMEA) and Strengths, Weaknesses, Opportunities, and Threats (SWOT) analysis. The model aims to minimize total transportation costs while adhering to practical constraints related to vehicle capacity, travel distance, time, and driver regulations. A case study conducted at a Vietnamese food processing enterprise demonstrates that logistics costs were reduced by 16.81–31.32%, with an average decrease of 25.7% compared to pre-optimization levels. The MILP model proves to be practical and highly applicable for small and medium-sized enterprises, providing a scientific basis for improving logistics efficiency and contributing to the development of sustainable logistics in the future.

Keywords: Logistics, cost optimization, MILP, FMEA, processed food.



Thông tin bài viết

Dạng bài viết:

Bài báo nghiên cứu

DOI:

<https://doi.org/10.58845/jstt.utt.2026.vn.6.7.98-115>

*Tác giả liên hệ:

Địa chỉ Email:

vttbchau@ctu.edu.vn

Ngày nộp bài: 07/01/2026

Ngày nộp bài sửa: 29/06/2026

Ngày chấp nhận: 30/07/2026

Phân tích chi phí và đề xuất mô hình tối ưu hoá logistics cho ngành thực phẩm chế biến

Võ Trần Thị Bích Châu*, Nguyễn Ngọc Hà, Trương Thị Tú Mỹ
Khoa Quản lý Công nghiệp, Trường Bách khoa, Đại học Cần Thơ, Khu II, đường 3/2, phường Ninh Kiều, Cần Thơ, Việt Nam

Tóm tắt: Ngành thực phẩm chế biến Việt Nam đang phát triển nhanh, đóng góp quan trọng cho tăng trưởng kinh tế, song chi phí logistics vẫn là thách thức lớn ảnh hưởng đến năng lực cạnh tranh của doanh nghiệp. Hiện nay, chi phí logistics chiếm khoảng 16–17% GDP, cao hơn đáng kể so với mức trung bình toàn cầu. Nghiên cứu này tập trung phân tích cơ cấu chi phí logistics và đề xuất mô hình tối ưu hóa logistics phù hợp với đặc thù ngành thực phẩm chế biến, sử dụng phương pháp Quy hoạch tuyến tính hỗn hợp số nguyên (MILP-Mixed-Integer Linear Programming). Quy trình nghiên cứu gồm năm bước: thu thập dữ liệu thực tế, phân tích chi phí, xây dựng mô hình, giải mô hình và đánh giá rủi ro cùng tính khả thi thông qua phân tích dạng sai hỏng và tác động (Failure Mode and Effects Analysis – FMEA) và phân tích điểm mạnh, điểm yếu, cơ hội, thách thức (Strengths, Weaknesses, Opportunities, Threats – SWOT). Mô hình được thiết lập nhằm tối thiểu hóa tổng chi phí vận tải trong các ràng buộc thực tế về tải trọng, thời gian, quãng đường và quy định lao động. Kết quả áp dụng tại một doanh nghiệp chế biến thực phẩm cho thấy chi phí logistics giảm từ 16,81% đến 31,32%, trung bình 25,7% so với trước khi tối ưu. Mô hình MILP chứng minh tính hiệu quả và khả năng ứng dụng cao đối với các doanh nghiệp vừa và nhỏ, đồng thời mở ra định hướng nghiên cứu phát triển logistics bền vững trong tương lai.

Từ khóa: Logistics, tối ưu hoá chi phí, MILP, FMEA, thực phẩm chế biến.

1. Giới thiệu

1.1. Bối cảnh nghiên cứu

Ngành thực phẩm chế biến Việt Nam đang ghi nhận tốc độ tăng trưởng mạnh mẽ, với giá trị sản xuất năm 2024 tăng 7,4% và dự kiến đạt 7,52% trong nửa đầu năm 2025 [1]. Trong chuỗi giá trị của ngành, logistics đóng vai trò then chốt khi đảm bảo sự kết nối liên tục giữa vùng nguyên liệu, nhà máy sản xuất và thị trường tiêu thụ. Tuy nhiên, theo Hiệp hội Doanh nghiệp Dịch vụ Logistics Việt Nam [2], chi phí logistics của nước ta vẫn ở mức cao, chiếm khoảng 16,8–17% GDP, cao

hơn đáng kể so với mức trung bình toàn cầu là 10,6%. Tỷ lệ này tác động trực tiếp đến giá thành sản phẩm và khả năng cạnh tranh của hàng hóa Việt Nam trên thị trường quốc tế.

Đặc biệt tại khu vực Đồng bằng sông Cửu Long (ĐBSCL) – trung tâm sản xuất nông, thủy sản lớn nhất cả nước – chi phí logistics chiếm tới 30% giá thành của một số mặt hàng chủ lực. Khu vực này còn phải đối mặt với nhiều thách thức như quãng đường vận chuyển dài, cơ sở hạ tầng hạn chế, phương tiện chuyên chở thiếu đồng bộ và chi phí vận hành cao [3, 4]. Những yếu tố này khiến

logistics trở thành một trong những rào cản lớn đối với sự phát triển bền vững của ngành thực phẩm chế biến. Trong bối cảnh đó, việc phân tích chi phí và xây dựng mô hình tối ưu hóa logistics cho doanh nghiệp, tiêu biểu là Công ty Cổ phần Chế biến Thực phẩm ABC, trở nên cần thiết nhằm nâng cao hiệu quả phân phối và năng lực cạnh tranh của doanh nghiệp.

Bên cạnh đó, các nghiên cứu trong nước về mô hình tối ưu hóa logistics cho ngành thực phẩm chế biến còn tương đối ít, đặc biệt là những nghiên cứu ứng dụng các phương pháp toán học tiên tiến như Quy hoạch tuyến tính hỗn hợp số nguyên (Mixed-Integer Linear Programming – MILP). Phần lớn các nghiên cứu hiện nay mới tập trung vào mô tả thực trạng hoặc đề xuất giải pháp mang tính định tính, trong khi các mô hình tối ưu hóa định lượng với khả năng xử lý đồng thời nhiều ràng buộc thực tế vẫn chưa được khai thác sâu [5]. Một số nghiên cứu gần đây đã bước đầu ứng dụng mô hình MILP trong logistics lạnh và chuỗi cung ứng nông sản, tuy nhiên phạm vi nghiên cứu còn hạn chế và chưa phổ biến trong lĩnh vực thực phẩm chế biến [6]. Khoảng trống nghiên cứu này đặt ra yêu cầu cấp thiết cần phát triển những mô hình vừa mang tính khoa học, vừa có khả năng ứng dụng thực tiễn cao nhằm giảm chi phí, nâng cao hiệu quả vận hành và hướng tới phát triển logistics bền vững.

Hiện nay, hoạt động logistics trong ngành thực phẩm chế biến tại Việt Nam vẫn chưa được tối ưu hóa một cách toàn diện. Nhiều doanh nghiệp gặp khó khăn trong việc hoạch định tuyến đường, lựa chọn phương tiện phù hợp và kiểm soát chi phí vận hành. Việc thiếu các công cụ định lượng để xác định phương án vận chuyển tối ưu dẫn đến chi phí logistics cao, hiệu suất sử dụng đội xe thấp và khả năng đáp ứng yêu cầu của thị trường còn hạn chế. Tình trạng này nếu kéo dài sẽ khiến chi phí logistics tiếp tục là gánh nặng lớn, làm giảm lợi nhuận và kìm hãm khả năng cạnh tranh của doanh nghiệp [7, 8].

Trên cơ sở những vấn đề đã được xác định, nghiên cứu này hướng đến ba mục tiêu chính. Thứ

nhất, phân tích cơ cấu chi phí logistics và nhận diện các yếu tố ảnh hưởng đến tổng chi phí trong doanh nghiệp chế biến thực phẩm. Thứ hai, xây dựng mô hình tối ưu hóa chi phí phân phối dựa trên phương pháp MILP nhằm tìm ra phương án vận chuyển có chi phí thấp nhất trong điều kiện thực tế. Thứ ba, kiểm chứng tính khả thi của mô hình thông qua đánh giá định lượng bằng phần mềm tối ưu hóa và phân tích định tính bằng công cụ FMEA và SWOT. Những mục tiêu này nhằm cung cấp bằng chứng khoa học và thực tiễn để doanh nghiệp có thể ứng dụng trong quá trình hoạch định và cải tiến hoạt động logistics.

2. Cơ sở lý thuyết

2.1. Tổng quan về tối ưu hoá Logistics

Hoạt động logistics đóng vai trò then chốt trong việc bảo đảm chuỗi cung ứng vận hành hiệu quả, đặc biệt đối với ngành thực phẩm chế biến – lĩnh vực đòi hỏi tốc độ, độ chính xác và điều kiện bảo quản nghiêm ngặt trong quá trình phân phối. Để giải quyết các thách thức này, nhiều phương pháp tối ưu hóa đã được phát triển nhằm nâng cao hiệu quả vận tải và phân phối hàng hóa. Trong đó, các phương pháp tiêu biểu bao gồm quy hoạch tuyến tính (Linear Programming – LP), MILP, bài toán định tuyến phương tiện (Vehicle Routing Problem – VRP), các thuật toán tìm kiếm kinh nghiệm và các thuật toán tìm kiếm siêu kinh nghiệm.

Phương pháp LP là công cụ tối ưu hóa tuyến tính cơ bản, thường được sử dụng trong các bài toán có cấu trúc đơn giản và ràng buộc tuyến tính [9]. Tuy nhiên, khi bài toán có nhiều yếu tố rời rạc như số lượng phương tiện, tuyến đường, hoặc giới hạn thời gian phục vụ, phương pháp MILP tỏ ra vượt trội hơn nhờ khả năng mô hình hóa các biến nhị phân và liên tục trong cùng một hệ thống [10].

Song song đó, VRP là hướng nghiên cứu phổ biến tập trung vào xác định tuyến đường tối ưu cho đội xe nhằm giảm tổng chi phí và thời gian vận chuyển [11]. Trong thực tiễn, nhiều thuật toán tìm kiếm kinh nghiệm và siêu kinh nghiệm, như thuật toán di truyền (Genetic Algorithm – GA), tìm kiếm

tabu (Tabu Search – TS) và tối ưu hóa đàn kiến (Ant Colony Optimization – ACO), được sử dụng để giải các bài toán có quy mô lớn hoặc cấu trúc phức tạp. Các thuật toán này cho phép tìm lời giải gần tối ưu trong thời gian tính toán phù hợp, nhưng nhìn chung không bảo đảm đạt nghiệm tối ưu toàn cục [12].

Theo tổng quan của Laporte năm 2009, các phương pháp giải bài toán định tuyến phương tiện có những ưu điểm và hạn chế khác nhau. Các thuật toán tìm kiếm kinh nghiệm và siêu kinh nghiệm có ưu thế về tốc độ tính toán và khả năng xử lý bài toán quy mô lớn, trong khi các phương pháp chính xác có thể xác định và chứng minh tính tối ưu của nghiệm khi quá trình giải được hoàn tất [13]. Nghiên cứu của Bazirha cho thấy mô hình MILP có thể biểu diễn các yêu cầu thực tế như thời gian nghỉ, giới hạn hành trình và năng lực phương tiện [14]. Do đó, MILP trở thành hướng tiếp cận phù hợp cho các nghiên cứu đòi hỏi độ chính xác cao và khả năng mô phỏng chi tiết điều kiện thực tế vận hành.

Từ nền tảng lý thuyết chung về tối ưu hóa logistics, các nghiên cứu gần đây bắt đầu hướng sự quan tâm mạnh mẽ đến lĩnh vực logistics thực phẩm – nơi yếu tố thời gian và chất lượng bảo quản có tác động trực tiếp đến hiệu quả kinh tế. Vào năm 2020, Utama và cộng sự tiến hành tổng quan 59 công trình nghiên cứu, cho thấy hầu hết mô hình tập trung vào tối thiểu hóa chi phí và thời gian, trong khi các yếu tố môi trường và chuỗi lạnh còn được đề cập hạn chế [15]. Tiếp nối, Wang năm 2021 xây dựng mô hình tối ưu đa mục tiêu cho chuỗi cung ứng hàng dễ hỏng đa phương thức, đồng thời tích hợp yếu tố phát thải CO₂ và chất lượng sản phẩm, giúp giảm chi phí 12–15% mà vẫn duy trì chất lượng hàng hóa [16]. Zhu et al. năm 2021 cũng phát triển mô hình định tuyến phương tiện có xét đến độ tươi và phát thải, kết quả cho thấy lượng khí thải giảm tới 17% mà chỉ làm tăng chi phí ở mức nhỏ [17].

Các công trình trên phản ánh xu hướng phát triển mới trong nghiên cứu logistics, chuyển từ mô hình tối ưu chi phí đơn mục tiêu sang hướng tiếp

cận đa mục tiêu, kết hợp giữa hiệu quả kinh tế, bảo vệ môi trường và tính bền vững. Tuy nhiên, phần lớn các nghiên cứu vẫn mang tính lý thuyết hoặc tập trung vào các hệ thống logistics quy mô lớn. Trong khi đó, các doanh nghiệp vừa và nhỏ trong ngành thực phẩm chế biến tại Việt Nam vốn có nguồn lực hạn chế và điều kiện vận hành đặc thù vẫn thiếu những mô hình tối ưu hóa có khả năng ứng dụng thực tế.

Từ thực trạng này, đề tài hướng đến việc xây dựng mô hình tối ưu hóa chi phí logistics dựa trên phương pháp MILP, nhằm đáp ứng nhu cầu cấp thiết về một công cụ định lượng khoa học, phù hợp với đặc điểm hoạt động của các doanh nghiệp chế biến thực phẩm Việt Nam.

2.2. Ứng dụng trong ngành thực phẩm chế biến

Logistics trong ngành thực phẩm có những đặc thù riêng, bởi sản phẩm thường dễ hư hỏng, yêu cầu cao về thời gian giao hàng và trong nhiều trường hợp cần đến chuỗi lạnh để duy trì chất lượng. Việc tối ưu hóa logistics vì thế đóng vai trò quan trọng trong việc giảm chi phí, nâng cao hiệu quả phân phối và đảm bảo an toàn thực phẩm.

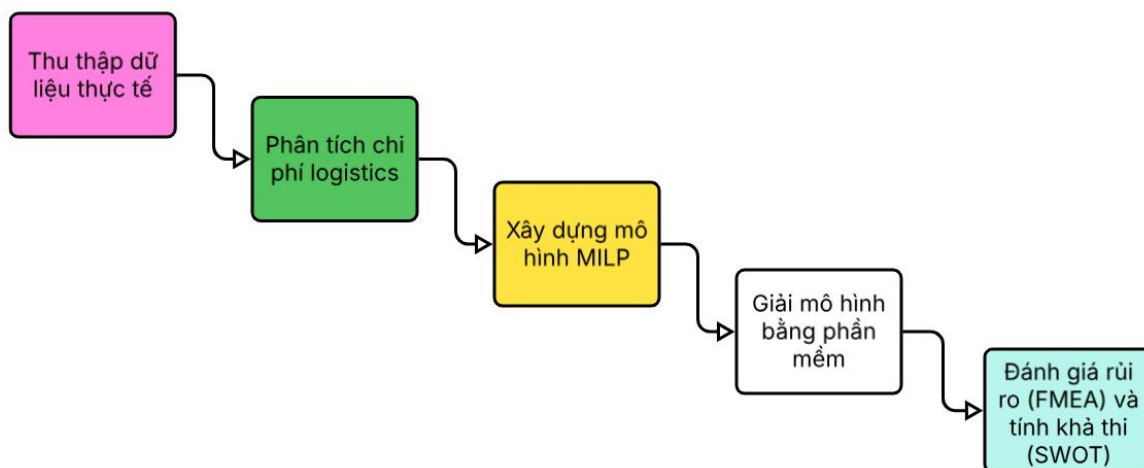
Các nghiên cứu trong nước đã bắt đầu tiếp cận bài toán này. Chẳng hạn, Thắm và Trinh vào năm 2023 [5] đã xây dựng mô hình VRP cho hệ thống bán lẻ tại Cần Thơ, qua đó đề xuất giải pháp định tuyến xe nhằm giảm chi phí và thời gian giao hàng trong bối cảnh đô thị hóa nhanh. Nghiên cứu này cho thấy tiềm năng ứng dụng các mô hình tối ưu hóa vào thực tiễn phân phối thực phẩm tại Việt Nam, đặc biệt ở các thành phố lớn.

Tuy nhiên, khoảng trống nghiên cứu vẫn còn rõ rệt. Cho đến nay, chưa có công trình nào ứng dụng mô hình MILP một cách toàn diện cho doanh nghiệp chế biến thực phẩm trong nước. Các nghiên cứu hiện tại chủ yếu tập trung vào VRP hoặc heuristic, trong khi MILP – vốn có khả năng mô tả chính xác hơn các ràng buộc thực tế – chưa được khai thác. Điều này đặt ra nhu cầu cấp thiết về việc phát triển mô hình tối ưu hóa logistics phù hợp với đặc thù ngành thực phẩm chế biến Việt Nam, nhằm vừa giảm chi phí vận hành vừa nâng cao năng lực cạnh tranh.

2.3. Cơ sở lựa chọn MILP

Trong bối cảnh nghiên cứu tối ưu hóa logistics, mô hình MILP được lựa chọn làm phương pháp trọng tâm của nghiên cứu này nhờ các ưu điểm vượt trội về độ chính xác, tính linh hoạt và khả năng mô hình hóa chi tiết [18]. Trước hết, MILP cho phép biểu diễn các ràng buộc phức tạp như tải trọng, thời gian làm việc, giới hạn hành trình và năng lực phương tiện, giúp mô hình phản ánh sát thực tế hoạt động logistics trong doanh nghiệp chế biến thực phẩm [5]. Bên cạnh đó, MILP đảm bảo tìm được nghiệm tối ưu toàn cục, khác với các phương pháp heuristic chỉ đưa ra lời giải gần đúng. Một ưu điểm khác là MILP phù hợp với quy mô dữ liệu trung bình, điều kiện phổ biến của các doanh nghiệp vừa và nhỏ tại Việt Nam, mà vẫn đảm bảo kết quả chính xác mà không đòi hỏi hệ thống tính toán quá phức tạp. Nhờ vậy, mô hình này không chỉ mang tính khoa học mà còn khả thi trong ứng dụng thực tế.

Từ những lý do trên, MILP được xem là công cụ phù hợp để tối ưu hóa hoạt động phân phối trong ngành thực phẩm chế biến, góp phần giảm chi phí logistics, nâng cao hiệu quả sử dụng phương tiện và hướng tới phát triển logistics bền vững.



Hình 1. Quy trình nghiên cứu

Bước 3: Xây dựng mô hình MILP

Mô hình MILP được thiết lập nhằm tối thiểu hóa tổng chi phí vận tải và xây dựng các ràng buộc dựa trên các yếu tố nhu cầu, tải trọng, thời gian vận hành và nguồn lực phương tiện. Mô hình sử

3. Phương pháp nghiên cứu

3.1. Quy trình nghiên cứu

Nghiên cứu được thực hiện theo quy trình gồm năm bước liên tiếp nhằm bảo đảm tính logic và tính khả thi trong việc xây dựng mô hình tối ưu hóa chi phí logistics cho doanh nghiệp chế biến thực phẩm.

Quy trình nghiên cứu được trình bày trong Hình 1, gồm năm bước liên tiếp: thu thập dữ liệu thực tế, phân tích chi phí logistics, xây dựng mô hình MILP, giải mô hình bằng phần mềm và đánh giá rủi ro cùng tính khả thi. Quy trình này kết hợp tối ưu hóa định lượng với phân tích vận hành nhằm hỗ trợ việc lựa chọn phương án vận tải phù hợp với điều kiện của doanh nghiệp.

Bước 1: Thu thập dữ liệu thực tế

Dữ liệu được thu thập từ hoạt động vận tải và phân phối, bao gồm danh sách điểm giao, nhu cầu theo thời gian, quãng đường di chuyển, thời gian phục vụ, đặc điểm phương tiện và cơ cấu chi phí.

Bước 2: Phân tích chi phí logistics

Xác định các khoản chi phí và tỷ trọng của chúng (định phí và biến phí). Xem mức độ ảnh hưởng và nhận diện các yếu tố chi phối tổng chi phí.

dụng biến nhị phân để xác định tuyến và các biến liên tục cho lượng hàng giao.

Bước 4: Giải mô hình bằng phần mềm

Mô hình được đưa vào phần mềm tối ưu hóa để tìm phương án phân phối phù hợp nhất. Kết quả

đầu ra giúp xác định phương án vận hành có chi phí thấp nhất.

Bước 5: Đánh giá rủi ro (FMEA) và tính khả thi (SWOT)

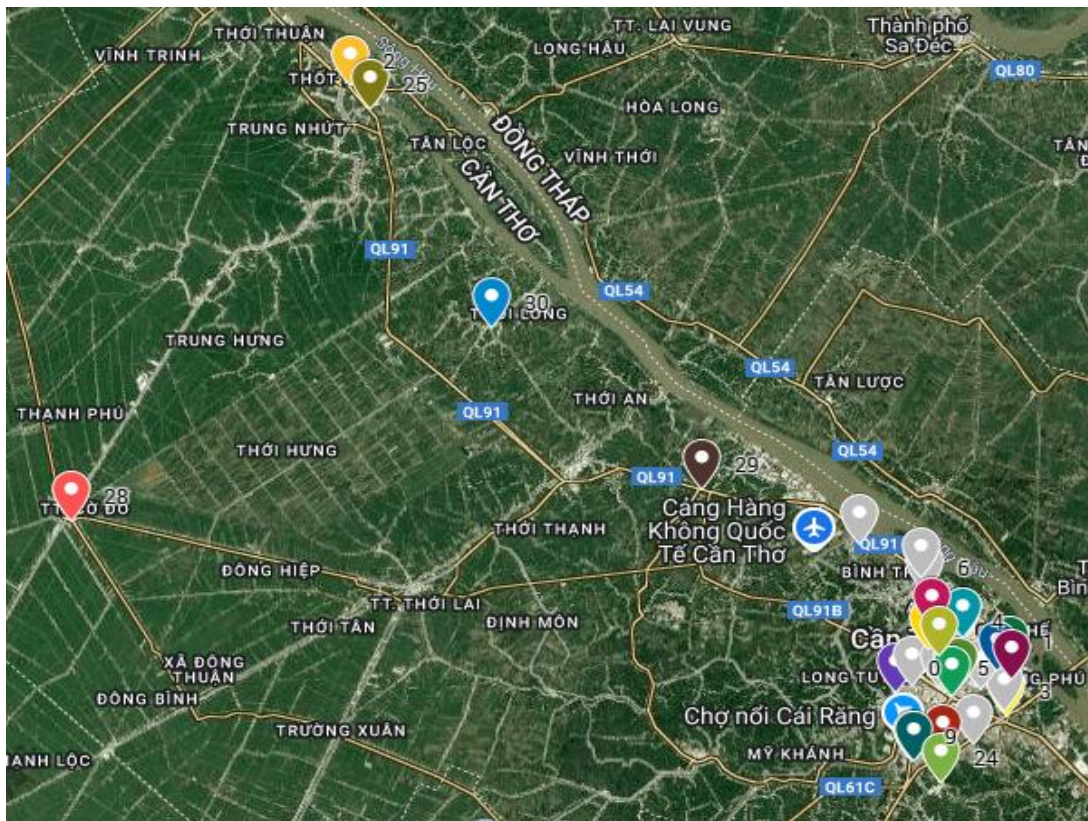
FMEA được sử dụng để phân tích rủi ro trong hoạt động vận tải thông qua chỉ số RPN, giúp xác định các rủi ro cần ưu tiên kiểm soát. Bên cạnh đó, việc phân tích SWOT được dùng để đánh giá tính khả thi của hệ thống theo các yếu tố điểm mạnh, điểm yếu, cơ hội và thách thức.

3.2. Dữ liệu đầu vào

Dữ liệu đầu vào phục vụ mô hình bao gồm bốn nhóm thông tin chính: Nhu cầu phân phối: số

lượng hàng cần giao tại từng điểm và sự biến động theo từng kỳ; Đặc tính phương tiện: số lượng xe, tải trọng và giới hạn vận hành; Cơ cấu chi phí: định phí phương tiện và biến phí phát sinh theo quãng đường và thời gian di chuyển; Mạng lưới vận chuyển: danh sách điểm giao, khoảng cách giữa các điểm và thời gian phục vụ (Hình 2).

Nghiên cứu được thực hiện theo hướng nghiên cứu trường hợp (case study) tại Công ty Cổ phần Chế biến Thực phẩm ABC. Do đó, kết quả phản ánh đặc điểm vận hành logistics của doanh nghiệp nghiên cứu và là cơ sở tham khảo cho các doanh nghiệp có quy mô và điều kiện tương tự.



Hình 2. Vị trí khách hàng hiện tại của công ty

Nguồn: Nhóm tác giả tổng hợp

3.3. Mô hình MILP

Mô hình hướng đến việc mô phỏng mối quan hệ giữa khối lượng hàng hóa, phương tiện vận chuyển, quãng đường di chuyển và tổng chi phí phát sinh, qua đó giúp xác định phương án vận hành tiết kiệm hơn, tối ưu hóa sử dụng xe và giảm thiểu chi phí logistics. Để tối ưu hóa hoạt động phân phối, mô hình toán học được xây dựng với mục tiêu tối thiểu tổng chi phí vận chuyển, trên cơ

sở các giả định và dữ liệu như sau:

- Một số tuyến có thể phát sinh chi phí trạm thu phí.
- Tốc độ xe ổn định, thời gian di chuyển tính theo khoảng cách thực tế.
- Mỗi xe có sức chứa giới hạn và phải xuất phát - quay về kho trong ngày.
- Tài xế tuân thủ quy định về thời gian lái xe và thời gian nghỉ.

- Phương tiện hoạt động trong một khung giờ cố định, số chuyến mỗi ngày bị giới hạn.

- Nếu chạy thêm chuyến, xe cần thời gian nạp hàng và thời gian chờ tối thiểu.

- Phương tiện vận hành ổn định, không xảy ra hư hỏng.

- Tổng hàng giao trong một chuyến không vượt quá tải trọng xe.

3.3.1. Tập hợp của mô hình MILP

$N = \{0, 1, 2, \dots, n\}$: tập hợp các điểm trong mạng lưới; trong đó (0) là kho trung tâm và các điểm $(1, 2, \dots, n)$ là khách hàng.

$C = \{1, 2, \dots, n\}$: tập hợp các khách hàng cần được phục vụ.

$T = \{1, 2, \dots, m\}$: tập hợp loại xe tải được sử dụng trong hệ thống, ví dụ xe 1 tấn và xe 2 tấn. Mỗi loại xe có các đặc tính kỹ thuật riêng như sức chứa, chi phí cố định, mức tiêu hao nhiên liệu và phí trạm thu phí.

$K = \{1, 2, \dots, q\}$: tập hợp các xe cụ thể trong đội xe của doanh nghiệp.

$K_t = \{k \in K \mid t(k) = t\}$

K_t : tập hợp các xe cụ thể thuộc loại xe (t), với $t \in T$.

$T(k)$: loại xe tương ứng của xe cụ thể (k), với $k \in K$.

$H = \{1, 2, \dots, H_{\max}\}$: tập hợp các chuyến tối đa mà một xe có thể thực hiện trong một ngày làm việc.

$H_{\max}$: số chuyến tối đa mà một xe có thể thực hiện trong một ngày.

$A = \{(i, j) \in N \times N \mid i \neq j\}$: tập hợp các cung đường có thể di chuyển giữa các điểm trong mạng lưới.

Trong mô hình, chỉ số (t) được sử dụng để biểu diễn loại xe, còn chỉ số (k) được sử dụng để biểu diễn từng xe cụ thể. Việc tách riêng hai tập hợp này giúp mô hình phân biệt rõ giữa đặc tính kỹ thuật của từng loại xe và quyết định vận hành của từng xe trong thực tế.

Trong đó: $(i, j \in N)$, $(t \in T)$, $(k \in K)$.

3.3.2. Tham số của mô hình MILP

q_i : Nhu cầu của khách hàng (i) (thùng), với $i \in C$

Q_t : Sức chứa tối đa của xe loại (t) (thùng)

I_t : Số lượng xe tối đa hiện có của loại xe (t)

F_t : Chi phí cố định cho mỗi chuyến của xe loại (t) (VNĐ/chuyến)

C_t^{load} : Chi phí bốc xếp cho mỗi thùng hàng (VNĐ/thùng)

C_t^{handling} : Chi phí bốc xếp cho mỗi thùng hàng khi sử dụng xe loại t (VNĐ/thùng), với $t \in T$.

r_t : Mức tiêu hao nhiên liệu của xe loại (t) (lít/km)

p_f : Giá nhiên liệu (VNĐ/lít)

D_{ij} : Khoảng cách từ điểm (i) đến điểm (j) (km), với $i, j \in A$

E_{ij} : Tham số nhị phân, bằng 1 nếu cung đường từ (i) đến (j) có trạm thu phí; ngược lại bằng 0

C_t^{toll} : phí trạm thu phí/BOT đối với xe loại t (VNĐ/lượt hoặc VNĐ/chuyến)

t_{ij} : Thời gian di chuyển giữa i và j (giờ), với $i, j \in A$

s_j : Thời gian phục vụ tại khách hàng j (giờ)

v : Vận tốc trung bình của xe (km/h)

t_s, t_e : Thời gian bắt đầu và kết thúc làm việc trong ngày (giờ)

$T_{\max}^w$: Giới hạn tổng thời gian làm việc trong ngày của tài xế (giờ)

$T_{\max}^c$: Thời gian lái liên tục tối đa trước khi tài xế phải nghỉ (giờ)

t_b : Thời gian nghỉ bắt buộc của tài xế sau mỗi khoảng thời gian lái xe liên tục (giờ)

t_{rf} : Thời gian nạp hàng cố định tại kho cho mỗi chuyến (giờ)

t_g : Thời gian tối thiểu giữa hai chuyến liên tiếp của cùng một xe (giờ)

M: hằng số đủ lớn được sử dụng để kích hoạt hoặc vô hiệu hóa các ràng buộc logic khi xe hoặc chuyến xe không được sử dụng. Trong nghiên cứu này, giá trị M được lựa chọn dựa trên giới hạn trên hợp lý của thời gian làm việc trong ngày và tổng thời gian vận hành tối đa, nhằm tránh làm mất nghiệm khả thi nhưng không quá lớn để hạn chế sai số số học khi giải mô hình.

Trong đó, các tham số có chỉ số (t) phản ánh

đặc tính của loại xe, chẳng hạn sức chứa, chi phí cố định, mức tiêu hao nhiên liệu và phí trạm thu phí. Các quyết định vận hành như xe có được sử dụng hay không, xe đi qua cung đường nào và thực hiện bao nhiêu chuyến được xác định theo từng xe cụ thể (k). Cách ký hiệu này giúp tránh nhầm lẫn giữa biến và tham số trong mô hình MILP.

3.3.3. Biến quyết định

x_{ijt} : Biến nhị phân, bằng 1 nếu xe loại t đi trực tiếp từ điểm i đến điểm j; ngược lại bằng 0 (với $i, j \in N, t \in T$)

l_{it} : Lượng hàng còn lại trên xe loại t sau khi rời điểm i.

$y_t = 1$; nếu loại xe t được sử dụng; ngược lại = 0.

Các biến thời gian giúp kiểm soát giới hạn lao động của tài xế:

tr_t : Số chuyến đi được thực hiện bởi xe loại t.

T_{st} : Tổng thời gian phục vụ khách hàng (giờ) của xe loại t.

b_t : Số lần nghỉ của lái xe loại t.

T_{nrt} : Tổng thời gian nạp hàng (giờ) của xe loại t.

T_{wt} : Tổng thời gian làm việc (bao gồm lái xe, phục vụ, nghỉ và nạp hàng) của xe loại t.

3.3.4. Hàm mục tiêu

$$\min Z = \sum_{t \in T} (f_t y_t + C_t^{\text{fuel}} + C_t^{\text{toll}} + C_t^{\text{handling}})$$

Trong đó:

Khoản mục này tính chi phí nhiên liệu mà xe tiêu tốn khi di chuyển trên từng đoạn đường. Chi phí được xác định theo quãng đường đi, mức tiêu hao của xe và giá nhiên liệu. Mục đích là hướng mô hình lựa chọn các tuyến ngắn và tiết kiệm hơn.

$$C_t^{\text{fuel}} = \sum_{i \in N} \sum_{j \in N} d_{ij} r_t p_f x_{ijt} \quad (1)$$

Chi phí trạm thu phí chỉ phát sinh khi xe đi qua các đoạn đường có trạm thu phí. Vì không phải tuyến nào cũng thu phí, mô hình sẽ cân nhắc giữa tuyến có phí và tuyến không phí để chọn phương án hợp lý nhất về mặt chi phí. Điều này giúp đánh giá đúng chi phí thực tế của từng tuyến.

$$C_t^{\text{toll}} = \sum_{i \in N} \sum_{j \in N} e_{ij} \text{toll}_t x_{ijt} \quad (2)$$

Chi phí bốc xếp được tính theo số thùng giao

cho từng khách hàng và dựa trên số lượng thùng phải giao.

$$C_t^{\text{handling}} = \sum_{j \in C} \sum_{i \in N} c_t d_j x_{ijt} \quad (3)$$

3.3.5. Ràng buộc

Ràng buộc (4) và (5): Đảm bảo tính khả thi và tính liên tục của quá trình vận chuyển trong mô hình MILP. Ràng buộc (4): Đảm bảo rằng mỗi khách hàng chỉ được phục vụ đúng một lần bởi một phương tiện trong toàn bộ hệ thống vận tải. Ràng buộc (5): Đảm bảo tính liên tục của tuyến vận tải (bảo toàn luồng di chuyển). Cụ thể, nếu một xe đi vào khách hàng j thì xe đó cũng phải rời khỏi khách hàng j, tránh trường hợp tuyến bị đứt đoạn hoặc xe dừng giữa hành trình.

$$\sum_{t \in T} \sum_{i \in N} x_{ijt} = 1 \quad \forall j \in C \quad (4)$$

$$\sum_{i \in N} x_{ijt} - \sum_{k \in N} x_{jkt} = 0 \quad \forall j \in C, \forall t \in T \quad (5)$$

Ràng buộc (6): Mỗi xe tải phải xuất phát từ kho trung tâm và quay lại kho sau khi hoàn tất giao hàng, đồng thời không vượt quá số lượng xe được phép hoạt động.

$$\sum_{j \in C} x_{0jt} = \sum_{i \in C} x_{i0t} \leq L_t \quad \forall t \in T \quad (6)$$

Ràng buộc (7) và (8): Được xây dựng nhằm kiểm soát tải trọng hàng hóa trên phương tiện trong suốt quá trình vận chuyển. Ràng buộc (7): Mô tả sự thay đổi tải trọng của xe sau khi phục vụ khách hàng, trong đó lượng hàng còn lại trên xe tại điểm j bằng lượng hàng tại điểm trước đó trừ đi nhu cầu giao cho khách hàng j, đồng thời không vượt quá sức chứa của phương tiện. Ràng buộc (8): Xác định tải trọng ban đầu của xe khi xuất phát từ kho trung tâm bằng sức chứa tối đa của loại xe tương ứng.

$$l_{jt} \leq l_{it} - d_j + Q_t (1 - x_{ijt}) \quad \forall i \in N, j \in C, i \neq j, \forall t \in T \quad (7)$$

$$l_{0t} = Q_t \quad \forall t \in T \quad (8)$$

Ràng buộc (9): Đảm bảo tải trọng hàng hóa trên mỗi xe luôn nằm trong phạm vi cho phép. Cụ thể, lượng hàng mà xe t chở đến khách hàng j phải lớn hơn hoặc bằng 0 và không vượt quá sức chứa tối đa của xe.

$$0 \leq l_{jt} \leq Q_t \quad \forall j \in C, \forall t \in T \quad (9)$$

Ràng buộc (10) và (11): Quan hệ giữa số chuyến và số lần nạp hàng. Ràng buộc (10) xác định số chuyến xe dựa trên số lần xe rời kho. Ràng buộc (11) giới hạn số lần nạp hàng sao cho phù hợp với số chuyến của xe.

$$tr_t = \sum_{j \in C} x_{0jt} \quad \forall t \in T \quad (10)$$

$$tr_t - 1 \leq nr_t \leq tr_t \quad \forall t \in T \quad (11)$$

Ràng buộc (12), (13): Tính tổng thời gian lái xe và phục vụ khách hàng của mỗi loại xe. Ràng buộc (12) Xác định tổng thời gian lái xe bằng cách cộng toàn bộ thời gian di chuyển trên các cung đường mà xe thực hiện. Ràng buộc (13) Xác định tổng thời gian phục vụ bằng cách cộng thời gian phục vụ tại các khách hàng mà xe ghé đến.

$$T_{dt} = \sum_{i \in N} \sum_{j \in N, i \neq j} t_{ij} \cdot x_{ijt} \quad \forall t \in T \quad (12)$$

$$T_{st} = \sum_{j \in C} \sum_{i \in N, i \neq j} s_j \cdot x_{ijt} \quad \forall t \in T \quad (13)$$

Ràng buộc (14), (15) và (16): Giới hạn thời gian lái xe và thời gian nạp hàng. Ràng buộc (14) giới hạn thời gian lái xe, đảm bảo xe t không vượt mức cho phép. Ràng buộc (15) và (16) tính thời gian nạp hàng dựa trên số lần nạp; tổng thời gian vận hành phải bao gồm phần thời gian nạp này.

$$b_t \cdot t_c \leq T_{dt} + M(1 - y_t) \quad \forall t \in T \quad (14)$$

$$T_{nrt} \geq nr_t(t_{rf} + t_{rv}) + M(1 - y_t) \quad \forall t \in T \quad (15)$$

Khi $y_t = 1$, hai ràng buộc kết hợp thành

$$T_{nrt} = nr_t(t_{rf} + t_{rv}) \quad (16)$$

Khi $y_t = 0$, hai ràng buộc được nói lỏng bởi hằng số M . Vì vậy, cần có các ràng buộc khác bảo đảm $nr_t = 0$ và $t_{rf} = 0$ khi xe không hoạt động.

Ràng buộc (17): Tổng thời gian làm việc trong ngày của tài xế bao gồm thời gian lái xe, thời gian phục vụ khách hàng, thời gian nghỉ bắt buộc và thời gian nạp hàng.

$$T_{wt} = T_{dt} + T_{st} + b_t \cdot t_b + T_{nrt} \quad \forall t \in T \quad (17)$$

Ràng buộc (18) và (19): Ràng buộc (18) đảm bảo tổng thời gian làm việc của tài xế không vượt quá mức cho phép theo số chuyến. Ràng buộc (19) giới hạn thời gian lái xe của tài xế trong phạm vi

tương ứng với số chuyến.

$$T_{wt} \leq t_w \cdot tr_t + M(1 - y_t) \quad \forall t \in T \quad (18)$$

$$T_{dt} \leq t_d \cdot tr_t + M(1 - y_t) \quad \forall t \in T \quad (19)$$

Ràng buộc (20): Đảm bảo các chuyến xe phải được hoàn thành trong khung giờ làm việc cho phép; nếu chuyến không thực hiện, ràng buộc sẽ được vô hiệu hóa bằng hằng số lớn M .

$$T_{wt} \leq (t_e - t_s) \cdot tr_t + M(1 - y_t) \quad \forall t \in T \quad (20)$$

Ràng buộc (21): Đảm bảo giữa hai chuyến liên tiếp, tài xế phải có thời gian nghỉ ngơi và nạp hàng tối thiểu theo quy định.

$$T_{nrt} + t_b \cdot nr_t \geq t_g \cdot nr_t \quad \forall t \in T \quad (21)$$

Ràng buộc (22): Các biến thời gian chỉ được kích hoạt khi xe thực sự hoạt động; nếu chuyến không thực hiện thì các biến này sẽ không được kích hoạt.

$$T_{dt}, T_{st}, T_{wt} \leq M \cdot y_t \quad \forall t \in T \quad (22)$$

3.4. Phương pháp đánh giá

Kết quả nghiên cứu được đánh giá theo hai hướng chính: định lượng và định tính, nhằm bảo đảm tính toàn diện của mô hình tối ưu hóa. Về mặt định lượng, nghiên cứu tiến hành so sánh tổng chi phí vận tải trước và sau khi áp dụng mô hình MILP để xác định mức độ cải thiện hiệu quả chi phí. Đồng thời, mức giảm chi phí được phân tích chi tiết theo từng tuần hoặc từng tuyến vận chuyển nhằm đánh giá sự ổn định và tính nhất quán của mô hình trong các giai đoạn hoạt động khác nhau. Ngoài ra, phân tích độ nhạy được thực hiện bằng cách thay đổi các thông số đầu vào như nhu cầu giao hàng, tải trọng phương tiện và chi phí nhiên liệu, từ đó xác định mức độ ảnh hưởng của từng yếu tố đến kết quả tối ưu.

Ở hướng định tính, hai công cụ phân tích chính được sử dụng là FMEA và SWOT. Phân tích FMEA (Failure Mode and Effects Analysis) được áp dụng nhằm nhận diện và đánh giá các rủi ro tiềm ẩn trong hoạt động logistics. Thông qua việc tính toán chỉ số RPN (Risk Priority Number), các rủi ro được xếp hạng theo mức độ ưu tiên để đề xuất biện pháp kiểm soát phù hợp. Bên cạnh đó, phân tích SWOT (Strengths, Weaknesses,

Opportunities, Threats) được sử dụng để đánh giá tính khả thi của mô hình, dựa trên việc xem xét các yếu tố nội tại của doanh nghiệp và bối cảnh môi trường bên ngoài [6, 19]. Cách tiếp cận kết hợp giữa định lượng và định tính này giúp đảm bảo rằng kết quả tối ưu của mô hình MILP không chỉ có ý nghĩa về mặt toán học mà còn có giá trị thực tiễn, phù hợp với điều kiện vận hành thực tế của các doanh nghiệp chế biến thực phẩm tại Việt Nam.

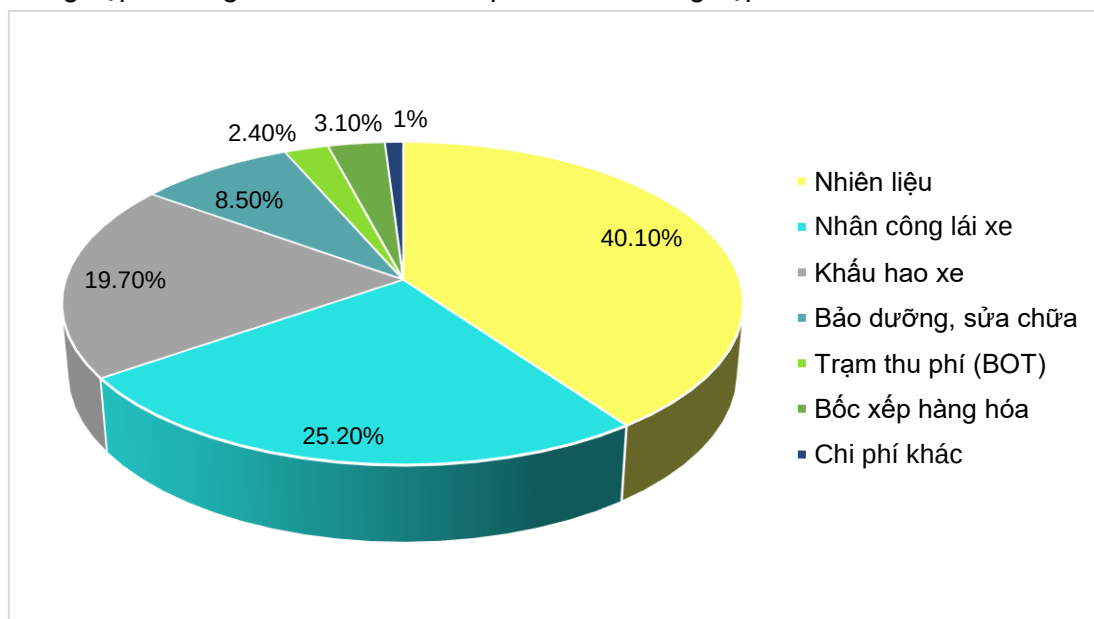
4. Kết quả nghiên cứu

4.1. Cơ cấu chi phí hiện tại

Kết quả tổng hợp dữ liệu từ hoạt động logistics của Công ty Cổ phần Chế biến Thực phẩm ABC cho thấy chi phí logistics chiếm tỷ trọng đáng kể trong hoạt động kinh doanh, ảnh hưởng trực tiếp đến hiệu quả vận hành và năng lực cạnh tranh của doanh nghiệp. Trong năm 2024, chi phí

logistics chiếm khoảng 17,2% doanh thu. Xét về cơ cấu chi phí, nhiên liệu chiếm tỷ trọng lớn nhất (40,1%), tiếp theo là chi phí nhân công lái xe (25,2%), khấu hao phương tiện (19,7%), bảo dưỡng và sửa chữa (8,5%), phí trạm thu phí BOT (2,4%), chi phí bốc xếp hàng hóa (3,1%) và các chi phí khác (1,0%). Hình 3 minh họa cơ cấu chi phí logistics của doanh nghiệp, cho thấy nhiên liệu, nhân công lái xe và khấu hao phương tiện là ba khoản mục chủ yếu, chiếm tổng cộng 85,0% tổng chi phí logistics.

Kết quả này cho thấy việc tối ưu hóa tuyến đường vận chuyển, nâng cao hiệu suất sử dụng phương tiện và kiểm soát chi phí nhiên liệu là những giải pháp quan trọng nhằm giảm chi phí logistics và nâng cao hiệu quả hoạt động của doanh nghiệp.



Hình 3. Biểu đồ thể hiện cơ cấu chi phí logistics

- Nhiên liệu: Chiếm tỷ trọng lớn nhất do nhiều tuyến ngắn và điểm dừng giao hàng liên tục.

- Nhân công: Đứng thứ hai, cho thấy chi phí lao động lái xe chiếm phần đáng kể trong tổng chi phí vận tải.

- Khấu hao & bảo dưỡng: Tỷ trọng lớn, khó giảm trong ngắn hạn, nhưng việc phân bổ và sử dụng phương tiện chưa đồng đều khiến chi phí chưa tối ưu.

- Bốc xếp & BOT: Chiếm tỷ trọng nhỏ nhưng vẫn là các chi phí phát sinh cố định trong quá trình

vận hành.

Cơ cấu chi phí trên cho thấy việc cải thiện lộ trình giao hàng và phân bổ phương tiện có thể tác động trực tiếp đến hai khoản mục lớn nhất là nhiên liệu và nhân công lái xe. Bên cạnh đó, hiệu suất sử dụng xe trung bình hiện chỉ đạt khoảng 68% công suất tải, trong khi tỷ lệ xe di chuyển rỗng ở mức 15–18%. Những đặc điểm này cho thấy tiềm năng cải thiện hoạt động lập kế hoạch vận tải. Vì vậy, nghiên cứu sử dụng mô hình MILP nhằm lựa chọn tuyến đường và phương tiện phù hợp, hạn chế

quãng đường di chuyển không tải và giảm tổng chi phí vận hành.

4.2. So sánh chi phí vận tải trước và sau tối ưu hóa

4.2.1. So sánh chi phí vận tải trước và sau tối ưu

Mô hình MILP được áp dụng nhằm xác định phương án vận tải tối ưu cho từng tuần trong giai đoạn nghiên cứu. Trên cơ sở kết quả tối ưu thu được, chi phí vận chuyển sau tối ưu được ghi nhận và so sánh trực tiếp với chi phí thực tế trước tối ưu, qua đó đánh giá hiệu quả của mô hình trong việc giảm chi phí và nâng cao hiệu suất vận hành. Mức tiết kiệm chi phí được xác định dựa trên chênh lệch giữa tổng chi phí vận hành của phương án hiện tại và phương án tối ưu. Cụ thể, công thức tính như sau:

$$\text{Mức tiết kiệm chi phí} = \text{Tổng chi phí hiện tại} - \text{Tổng chi phí phương án tối ưu} \quad (23)$$

Ngoài ra, để đánh giá rõ hơn hiệu quả, tỷ lệ tiết kiệm chi phí cũng được xác định theo công thức:

$$\text{Tỷ lệ tiết kiệm (\%)} = \frac{\text{Mức tiết kiệm}}{\text{Tổng chi phí hiện tại}} \times 100\% \quad (24)$$

Việc xác định các chỉ tiêu này giúp lượng hóa mức độ cải thiện của phương án tối ưu so với thực tế vận hành. Kết quả được trình bày ở Bảng 1.

Kết quả so sánh cho thấy chi phí vận tải giảm đáng kể sau khi áp dụng mô hình MILP, với mức tiết kiệm dao động từ 16,81% đến 31,32%, trung bình 25,7% so với chi phí thực tế. Mức giảm này chứng minh mô hình có hiệu quả cao trong việc tối ưu hóa tuyến vận tải, phân bổ phương tiện hợp lý và rút ngắn quãng đường di chuyển.

Bảng 1. So sánh chi phí vận chuyển trước và sau khi tối ưu

Tuần	Chi phí trước khi tối ưu (VNĐ)	Chi phí sau khi tối ưu (VNĐ)	Chênh lệch (VNĐ)	Tỷ lệ giảm (%)
1	3.747.704	2.809.920,4	937.783,60	25,02%
2	3.228.532	2.267.940,75	960.591,25	29,75%
3	2.807.837	2.335.829,9	472.007,10	16,81%
4	2.985.216	2.050.316,5	934.899,50	31,32%

Trong bốn tuần khảo sát, tuần 4 ghi nhận tỷ lệ giảm chi phí cao nhất, đạt 31,32%, tương ứng mức tiết kiệm 934.899,50 đồng. Tuần 3 có tỷ lệ giảm thấp nhất, đạt 16,81%, tương ứng 472.007,10 đồng. Xét theo giá trị tuyệt đối, tuần 2 có mức tiết kiệm cao nhất với 960.591,25 đồng. Tổng chi phí tiết kiệm trong bốn tuần đạt 3.305.281,45 đồng, tương đương trung bình 826.320,36 đồng mỗi tuần. Trung bình cộng tỷ lệ giảm chi phí của bốn tuần đạt khoảng 25,7%. Kết quả cho thấy mô hình MILP giúp giảm chi phí vận tải trong toàn bộ giai đoạn khảo sát, đồng thời đáp ứng các ràng buộc đã thiết lập về tải trọng và thời gian vận hành.

4.2.2. Phân bổ phương tiện và tuyến vận tải sau tối ưu

Sau khi mô hình MILP được giải, các tuyến vận tải được phân bổ lại hợp lý theo từng tuần, bao

gồm loại xe sử dụng, số chuyến, thời gian lái xe, thời gian phục vụ và tuyến đường cụ thể. Kết quả được tổng hợp trong Bảng 2, phản ánh toàn bộ dữ liệu tối ưu hóa của doanh nghiệp.

Các tuyến vận tải được gom theo khu vực giao hàng để phản ánh đúng đặc thù vận hành của doanh nghiệp. Cụ thể, lộ trình phân phối được duy trì cố định theo lịch định kỳ: Thứ Hai phục vụ khu vực Ninh Kiều – Cái Răng, Thứ Tư phục vụ Bình Thủy – Ô Môn, và Thứ Sáu phục vụ Thốt Nốt – Cờ Đỏ. Việc sắp xếp này giúp mô hình phản ánh đúng lịch trình giao hàng thực tế, đồng thời đảm bảo tính khả thi và ổn định trong vận hành.

Tuần 1: Có 4 tuyến, trong đó 2 tuyến thực hiện vào Thứ Hai và mỗi ngày Thứ Tư, Thứ Sáu có 1 tuyến. Thời gian lái xe dao động từ 0,33–2,8 giờ, phản ánh sự khác biệt giữa tuyến ngắn nội thành và tuyến xa ngoại thành. Tuyến xe 2 tấn (2T) Thứ

Hai có thời gian phục vụ cao nhất (0,83 giờ) do số điểm giao nhiều; tuyến dài nhất tuần là tuyến Thứ Sáu với xe 1 tấn (1T), tổng thời gian 3,13 giờ.

Tuần 2: Gồm 3 tuyến (2 tuyến xe 1T, 1 tuyến xe 2T). Thời gian lái xe dao động 0,36–1,76 giờ,

trong đó tuyến Thứ Tư là tuyến xa nhất. Tổng thời gian làm việc đạt mức cao nhất ở Thứ Tư (2,43 giờ). Thời gian phục vụ tương đối đồng đều (0,67–0,83 giờ), thể hiện sự cân bằng số điểm giao giữa các tuyến.

Bảng 2. Kết quả phân bổ phương tiện và tuyến vận tải theo mô hình MILP

Tuần	Thứ	Loại xe	Số chuyến	Thời gian lái xe (h)	Thời gian phục vụ (h)	Tuyến
1	Thứ 2	1T	1	0,3325	0,33333	0–16–1–0
		2T	1	0,4175	0,83334	0–12–24–15–21–19–0
	Thứ 4	1T	1	1,1875	0,5	0–8–29–26–0
		1T	1	2,8	0,33333	0–28–2–0
2	Thứ 2	1T	1	0,5013	0,66667	0–11–3–10–9–0
		2T	1	0,36	0,83334	0–5–13–14–17–4–0
	Thứ 4	1T	1	1,7625	0,66667	0–6–7–29–30–0
		2T	1	0,6475	1	0–23–20–22–16–18–27–0
3	Thứ 4	1T	1	0,6175	0,33333	0–26–8–0
		1T	1	2,85	0,5	0–28–25–2–0
	Thứ 2	1T	1	0,4725	0,66667	0–9–21–19–4–0
		2T	1	0,4025	0,83333	0–5–3–11–10–12–0
4	Thứ 4	1T	1	0,57	0,33333	0–7–6–0

Tuần 3: Gồm 3 tuyến (1 tuyến xe 2T và 2 tuyến xe 1T). Thời gian lái xe trải từ 0,62 đến 2,85 giờ, trong đó tuyến Thứ Sáu là dài nhất với tổng thời gian làm việc 3,35 giờ – cao nhất trong 4 tuần. Thời gian phục vụ biến động 0,33–1,00 giờ, cho thấy sự khác biệt lớn về phân bổ điểm giao.

Tuần 4: Có 3 tuyến (2 tuyến xe 1T, 1 tuyến xe 2T). Thời gian lái xe thấp nhất trong toàn bộ giai đoạn (0,40–0,57 giờ), phản ánh các điểm giao gần nhau và tuyến đường ngắn. Tổng thời gian làm việc chỉ 0,90–1,24 giờ, thấp hơn đáng kể so với các tuần trước, giúp tiết kiệm đáng kể chi phí nhiên liệu và nhân công.

Kết quả trên chứng minh mô hình MILP đã tối ưu hóa đáng kể phân bổ phương tiện và tuyến vận tải, đảm bảo khai thác tối đa công suất phương tiện, giảm quãng đường trống, đồng thời duy trì lịch giao hàng ổn định. Đây là cơ sở định lượng quan trọng cho việc đánh giá hiệu quả chi phí logistics ở phần tiếp theo.

4.3. Phân tích độ nhạy

Phân tích độ nhạy được thực hiện nhằm đánh giá mức độ linh hoạt và ổn định của mô hình MILP khi các yếu tố đầu vào thay đổi. Tuần 3 được chọn làm tuần cơ sở để kiểm tra phản ứng của mô hình đối với hai biến quan trọng:

- (1) mức nhu cầu tại các điểm bán lẻ
- (2) số lượng xe tải tham gia vận chuyển.

4.3.1. Thay đổi mức nhu cầu

Để đánh giá ảnh hưởng của nhu cầu đến chi phí, mô hình được thử nghiệm với các mức từ -20%, -10%, -5%, +5%, +10%, +20% (lần lượt tương ứng với các trường hợp từ 1 đến 6) so với nhu cầu cơ sở. Được thể hiện cụ thể ở Hình 4 để minh họa tổng chi phí vận tải tương ứng với từng kịch bản thay đổi nhu cầu trong tuần 3.

Kết quả cho thấy tổng chi phí thay đổi tỷ lệ thuận với nhu cầu, nhưng với mức độ biến động thấp hơn. Cụ thể:

Ở các kịch bản giảm nhu cầu (-20%, -10%,

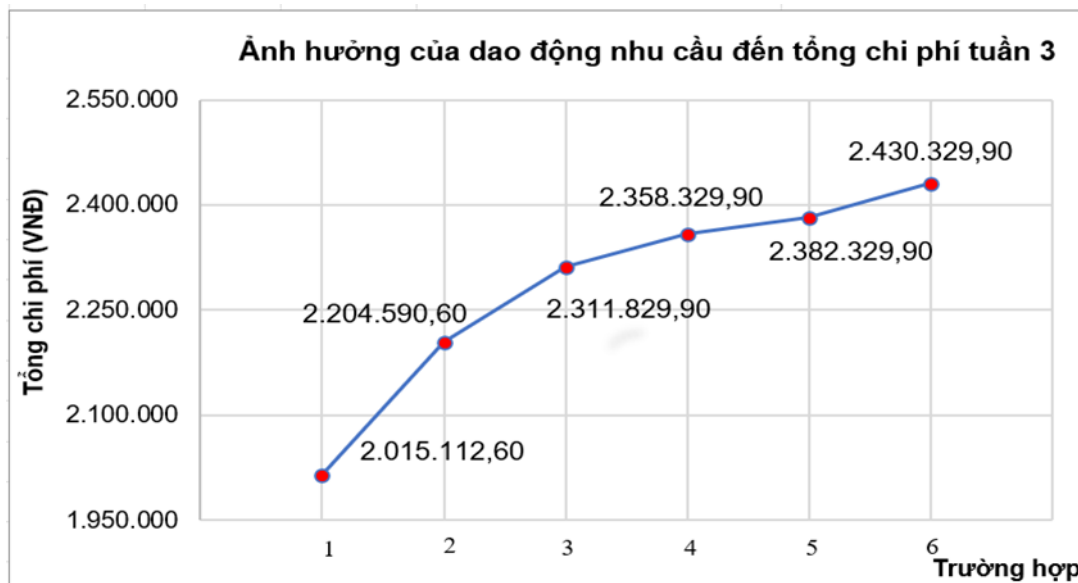
-5%), tổng chi phí giảm nhẹ, trong khi cấu trúc tuyến vận tải gần như không thay đổi, thể hiện khả năng thích ứng tốt của mô hình với biến động nhỏ.

Ở các kịch bản tăng nhu cầu (+5%, +10%, +20%), chi phí tăng nhưng mức tăng nhỏ hơn tỷ lệ tăng nhu cầu, chứng tỏ mô hình có khả năng hấp thụ biến động trong giới hạn tải trọng cho phép.

Từ mức tăng +5% lên +10%, chi phí chỉ tăng

khoảng 24.000 VNĐ, cho thấy các phương tiện vẫn hoạt động trong ngưỡng tải tối ưu, chưa cần điều chỉnh thêm tuyến hoặc bổ sung xe.

Kết quả này khẳng định mô hình MILP có độ ổn định cao trước sự biến động của nhu cầu thị trường và hoàn toàn phù hợp để ứng dụng trong các doanh nghiệp có sản lượng giao hàng biến đổi theo mùa vụ.



Hình 4. Tổng chi phí tuần 3 ứng với các mức dao động nhu cầu

4.3.2. Thay đổi số lượng xe tải sử dụng trong vận chuyển

Để đánh giá ảnh hưởng của quy mô đội xe, mô hình được kiểm tra qua năm kịch bản thay đổi số lượng phương tiện, gồm: giảm xe 1 tấn (1T), giảm xe 2 tấn (2T), tăng xe 1T, tăng xe 2T và tăng cả hai loại xe. Mô hình được chạy độc lập cho ba ngày giao hàng trong tuần 3 (Thứ Hai, Thứ Tư,

Thứ Sáu).

Các trường hợp không có nghiệm khả thi chủ yếu xuất phát từ việc tổng nhu cầu giao hàng vượt quá tải trọng khả dụng của đội xe sau khi giảm phương tiện, khiến mô hình không thể đồng thời thỏa mãn ràng buộc tải trọng và yêu cầu phục vụ toàn bộ khách hàng. Các trường hợp này được ký hiệu là NA trong Bảng 3.

Bảng 3. Tổng hợp chi phí vận hành theo các trường hợp thay đổi số lượng xe

Ngày	Giảm 1T	Giảm 2T	Tăng 1T	Tăng 2T	Tăng cả hai
Thứ 2	778.457,2	NA	778.457,2	778.457,2	778.457,2
Thứ 4	632.947,6	550.460,7	550.460,7	550.460,7	550.460,7
Thứ 6	1.006.912	NA	1.006.912	1.006.912	1.006.912

- Phân tích kết quả:

Thứ Hai: Chi phí ở các kịch bản khả thi đều giữ nguyên 778.457,2 VNĐ, cho thấy mô hình không nhạy với thay đổi số lượng xe. Trường hợp giảm xe 2T không khả thi, khẳng định xe 2T là phương tiện bắt buộc để đáp ứng tải trọng trong

ngày này.

Thứ Tư: Hầu hết các phương án duy trì chi phí tối ưu 550.460,7 VNĐ, ngoại trừ trường hợp giảm xe 1T, khi đó chi phí tăng lên 632.947,6 VNĐ. Đây là ngày duy nhất chi phí thay đổi khi điều chỉnh số lượng xe, cho thấy tuyến vận tải ngày Thứ Tư

phụ thuộc vào xe 1T nhiều hơn so với các ngày khác.

Thứ Sáu: Tất cả các phương án khả thi đều giữ nguyên chi phí 1.006.912 VNĐ, tương tự mô hình gốc. Trường hợp giảm xe 2T không khả thi do nhu cầu ngày này yêu cầu tải trọng lớn. Điều này chứng minh mô hình duy trì chi phí tối ưu ngay cả khi số lượng xe thay đổi trong giới hạn hợp lý.

Các trường hợp không có nghiệm khả thi (NA) xuất hiện khi giảm số lượng xe 2T vào Thứ

Hai và Thứ Sáu. Nguyên nhân là do nhu cầu giao hàng trong các ngày này vượt quá khả năng đáp ứng của đội xe còn lại. Khi không sử dụng xe 2T, mô hình buộc phải tăng số chuyến bằng xe 1T. Tuy nhiên, phương án này tiếp tục vi phạm các ràng buộc về tải trọng, thời gian lái xe và thời gian làm việc của tài xế (cụ thể ở ràng buộc 18,19 và 20). Do đó, mô hình không thể tìm được phương án vận hành thỏa mãn đồng thời tất cả các ràng buộc đã thiết lập.

Bảng 4. Kết quả phân tích FMEA

STT	Rủi ro tiềm ẩn	Nguyên nhân	Hậu quả	(S)	(O)	(D)	RPN
1	Xe hư hỏng giữa đường	Xe cũ, thiếu bảo dưỡng định kỳ	Trễ giao hàng, phát sinh chi phí sửa chữa	8	6	5	240
2	Tắc nghẽn giao thông khu vực	Giờ cao điểm, thi công đường	Giao hàng chậm, ảnh hưởng lịch sản xuất của khách	7	7	5	245
3	Tai nạn giao thông nhẹ	Tài xế mệt mỏi, thiếu tập trung	Thiệt hại hàng hóa, ảnh hưởng uy tín doanh nghiệp	8	5	6	240
4	Hàng bị ẩm hoặc dính bụi trong xe tải	Thùng xe không kín, thời tiết mưa	Giảm chất lượng hàng khô, có thể bị trả lại	7	6	6	252
5	Sai sót trong giao – nhận hàng	Thiếu đối chiếu phiếu, nhân viên mới	Giao nhầm hàng, mất uy tín	8	6	5	240
6	Tài xế thiếu kinh nghiệm hoặc vi phạm quy định	Chưa được đào tạo đầy đủ, thiếu ý thức an toàn	Nguy cơ tai nạn, hư hại hàng hóa	7	6	6	252
7	Chi phí nhiên liệu tăng	Biến động giá xăng dầu	Tăng chi phí vận hành, giảm lợi nhuận	6	7	4	168
8	Trễ thời gian do quy trình điều phối chưa tối ưu	Lịch giao hàng chưa hợp lý, thiếu công cụ theo dõi	Tăng thời gian chờ, giảm hiệu suất vận tải	7	6	5	210

Tổng hợp kết quả phân tích độ nhạy cho thấy mô hình MILP có tính ổn định và khả năng thích ứng cao với biến động về nhu cầu và quy mô đội xe. Khi các yếu tố đầu vào thay đổi, chi phí vận hành chỉ biến động trong phạm vi hẹp, chứng tỏ mô hình có khả năng duy trì hiệu quả chi phí ổn

định và khả năng phục vụ khách hàng mà không cần điều chỉnh cấu trúc vận hành lớn. Điều này khẳng định mô hình MILP không chỉ hiệu quả trong điều kiện chuẩn mà còn linh hoạt trong bối cảnh thực tế, giúp doanh nghiệp kiểm soát chi phí, tối ưu năng lực phân phối và chủ động ứng phó rủi ro khi

thị trường hoặc nguồn lực thay đổi.

4.4. Đánh giá rủi ro bằng FMEA

Phương pháp FMEA được sử dụng để đánh giá ba chỉ số chính: S (mức độ nghiêm trọng), O (tần suất xảy ra) và D (khả năng phát hiện), dựa trên dữ liệu thực tế từ hoạt động vận tải nội địa của Công ty Cổ phần Chế biến Thực phẩm ABC, kết hợp với lịch sử sự cố và ý kiến chuyên môn từ bộ phận điều phối. Mục tiêu là nhận diện những nguy cơ tiềm ẩn có thể ảnh hưởng đến chi phí, thời gian và chất lượng dịch vụ, đồng thời kiểm chứng tính khả thi của các tuyến tối ưu do mô hình MILP đề xuất.

Chỉ số RPN được xác định theo công thức:

$$RPN = S \times O \times D \quad (25)$$

Kết quả được phân tích cụ thể ở Bảng 4. Kết quả phân tích FMEA (Bảng 4) cho thấy các rủi ro có chỉ số RPN cao (≥ 240) tập trung chủ yếu ở hai nhóm: Sự cố phương tiện và nhân sự, bao gồm xe hư hỏng giữa đường (RPN 240); và tài xế thiếu kinh nghiệm hoặc vi phạm quy định (RPN 252). Những rủi ro này có tác động trực tiếp đến chi phí vận hành và độ tin cậy giao hàng, đồng thời tiềm ẩn nguy cơ gián đoạn chuỗi cung ứng.

Các yếu tố gây chậm trễ giao hàng, như tắc nghẽn giao thông (RPN 245) và quy trình điều phối chưa tối ưu (RPN 210). Đây là những rủi ro ảnh hưởng mạnh đến thời gian giao hàng và năng suất vận tải, đặc biệt trong các khu vực nội thành hoặc giờ cao điểm.

Ngoài ra, các rủi ro liên quan đến chất lượng hàng hóa, như hàng bị ẩm hoặc dính bụi (RPN 252), cũng được xếp vào nhóm cần ưu tiên kiểm soát do có thể ảnh hưởng đến chất lượng sản phẩm và uy tín thương hiệu. Ngược lại, các rủi ro có RPN thấp hơn như biến động chi phí nhiên liệu (RPN 168) hay sai sót trong giao – nhận hàng (RPN 240) được đánh giá là ít ảnh hưởng hơn đến hiệu suất tổng thể, song vẫn cần được giám sát định kỳ để đảm bảo ổn định chi phí và chất lượng dịch vụ.

4.5. Đánh giá SWOT

Dựa trên kết quả tối ưu hóa từ mô hình MILP, dữ liệu vận tải bốn tuần và phân tích độ nhạy, nhóm nghiên cứu tiến hành đánh giá tổng hợp theo mô hình SWOT nhằm xác định các yếu tố ảnh hưởng đến hoạt động phân phối của doanh nghiệp. Kết quả đánh giá được thể hiện ở Bảng 5.

Bảng 5. Kết quả phân tích bằng ma trận SWOT

Yếu tố	Nội dung chính
Điểm mạnh (S)	<ul style="list-style-type: none"> - Giảm chi phí vận tải 16,81–31,32%. - Điều phối tuyến, tần suất và loại xe linh hoạt. - Dữ liệu mô phỏng sát thực tế, độ tin cậy cao. - Hỗ trợ ra quyết định dựa trên cơ sở định lượng.
Điểm yếu (W)	<ul style="list-style-type: none"> - Phụ thuộc vào mức độ cập nhật dữ liệu. - Không xét yếu tố ngẫu nhiên (kẹt xe, sự cố kỹ thuật). - Quy mô đội xe nhỏ, hạn chế khả năng mở rộng. - Chuyển đổi số logistics được thúc đẩy mạnh.
Cơ hội (O)	<ul style="list-style-type: none"> - Nhu cầu thực phẩm tiện lợi tăng nhanh. - Hỗ trợ cắt giảm nhiên liệu, giảm phát thải. - Cơ hội hợp tác với các đơn vị công nghệ. - Giá nhiên liệu biến động mạnh.
Thách thức (T)	<ul style="list-style-type: none"> - Hạ tầng giao thông ĐBSCL còn hạn chế. - Tính mùa vụ làm nhu cầu biến động lớn. - Cạnh tranh logistics gia tăng.

Dựa trên bảng kết quả phân tích SWOT, cho thấy mô hình tối ưu hóa tuyến vận tải có tính khả thi cao khi triển khai thực tế. Các điểm mạnh về khả năng giảm chi phí đáng kể, tính linh hoạt trong điều phối và độ tin cậy của dữ liệu giúp mô hình vận hành ổn định ngay cả khi điều kiện đầu vào thay đổi. Trong khi đó, các điểm yếu chủ yếu liên quan đến công tác quản lý dữ liệu và quy mô đội xe, đều là các yếu tố có thể cải thiện thông qua tổ chức và đầu tư.

Bối cảnh bên ngoài hiện mang lại nhiều cơ hội như xu hướng chuyển đổi số logistics, nhu cầu thị trường tăng và các yêu cầu về vận tải xanh, tạo điều kiện để mô hình phát huy hiệu quả. Các thách thức như biến động nhiên liệu, hạ tầng hạn chế hay tính mùa vụ chủ yếu là rủi ro môi trường và có thể được kiểm soát bằng các kịch bản dự phòng.

Tổng hợp bốn nhóm yếu tố cho thấy ưu thế và cơ hội đang chiếm ưu thế, trong khi các hạn chế và rủi ro đều nằm trong phạm vi có thể quản trị được. Điều này khẳng định mô hình có tính ứng dụng cao và phù hợp để triển khai nhằm tối ưu chi phí và nâng cao hiệu quả vận tải trong thực tế.

4.6. Thảo luận kết quả

Kết quả từ mô hình MILP cho thấy chi phí vận tải giảm trung bình 25,7%, cao hơn đáng kể so với mức 12–15% được ghi nhận trong nghiên cứu của Wang vào năm 2021 [16]. Điều này chứng tỏ việc áp dụng mô hình MILP dựa trên dữ liệu thực tế của doanh nghiệp chế biến thực phẩm tại Việt Nam mang lại hiệu quả tối ưu rõ rệt hơn, đặc biệt trong bối cảnh các tuyến đường phân phối phức tạp và nhu cầu thị trường thường xuyên biến động. Tuy nhiên, nghiên cứu của Wang năm 2021 có ưu điểm khi kết hợp thêm yếu tố phát thải CO₂ và chất lượng sản phẩm, cho phép đánh giá mô hình theo hướng đa mục tiêu và phát triển bền vững. Vì vậy, có thể xem kết quả của nghiên cứu này là bước kế thừa và mở rộng, góp phần định hướng cho việc phát triển mô hình MILP theo hướng logistics xanh và tối ưu hóa đa mục tiêu trong tương lai.

Mô hình MILP cũng thể hiện tính linh hoạt và khả năng mở rộng cao, có thể xử lý hiệu quả các ràng buộc thực tế như tải trọng, thời gian lái xe, số

chuyến và chi phí phát sinh. Kết quả phân tích cho thấy mô hình hoạt động ổn định với dữ liệu quy mô vừa và nhỏ, phù hợp với đặc thù của doanh nghiệp chế biến thực phẩm trong nước, nơi nguồn lực vận tải còn hạn chế. Bên cạnh đó, cấu trúc mô hình cho phép mở rộng quy mô ứng dụng sang các mạng lưới vận tải lớn hơn hoặc đa cấp (multi-echelon) mà vẫn đảm bảo độ chính xác và khả năng kiểm soát chi phí, thể hiện tiềm năng ứng dụng thực tiễn cao không chỉ ở cấp độ doanh nghiệp mà còn ở quy mô chuỗi cung ứng toàn ngành, đặc biệt khi được kết hợp với các công cụ tối ưu hóa nâng cao.

Để nâng cao giá trị ứng dụng, nghiên cứu đề xuất ba hướng phát triển tiếp theo. Thứ nhất, tích hợp mục tiêu giảm phát thải carbon vào mô hình nhằm hỗ trợ hoạch định vận tải theo hướng logistics xanh. Thứ hai, kết hợp mô hình MILP với các thuật toán tìm kiếm siêu kinh nghiệm như GA, ACO và TS để xử lý bài toán quy mô lớn và rút ngắn thời gian tính toán; chất lượng nghiệm cần được đánh giá thông qua đối chiếu với nghiệm tối ưu hoặc cận phù hợp. Thứ ba, bổ sung các yếu tố liên quan đến chất lượng sản phẩm và điều kiện bảo quản trong chuỗi lạnh nhằm mở rộng phạm vi áp dụng cho nhóm hàng dễ hỏng.

Kết quả nghiên cứu khẳng định mô hình MILP mang lại hiệu quả vượt trội trong tối ưu hóa hoạt động vận tải của ngành thực phẩm chế biến. Mô hình không chỉ giúp giảm đáng kể chi phí logistics mà còn thể hiện tính linh hoạt, khả năng mở rộng và tính ứng dụng cao trong bối cảnh Việt Nam. Đồng thời, các hướng cải tiến được đề xuất mở ra cơ hội phát triển logistics bền vững, góp phần nâng cao năng lực cạnh tranh của doanh nghiệp và toàn ngành trong thời kỳ hội nhập.

5. Kết luận

Nghiên cứu đã xây dựng và ứng dụng mô hình MILP nhằm tối ưu hóa hoạt động vận tải trong doanh nghiệp chế biến thực phẩm tại Việt Nam. Kết quả cho thấy mô hình giúp giảm chi phí logistics trung bình 25,7%, với mức tiết kiệm dao động từ 16,81% đến 31,32%, đồng thời nâng cao hiệu quả sử dụng phương tiện và tính ổn định trong vận hành. Mô hình chứng minh được tính khả thi

và hiệu quả cao, đặc biệt phù hợp với các doanh nghiệp vừa và nhỏ, nơi nguồn lực còn hạn chế nhưng yêu cầu về tính cạnh tranh ngày càng tăng.

Bên cạnh kết quả tối ưu về chi phí, mô hình MILP còn thể hiện tính linh hoạt và khả năng thích ứng tốt với các thay đổi về nhu cầu, tải trọng và số lượng phương tiện. Phân tích độ nhạy, FMEA và SWOT cho thấy mô hình có độ ổn định cao, rủi ro vận hành nằm trong phạm vi kiểm soát, và có thể mở rộng quy mô ứng dụng khi điều kiện đầu vào thay đổi. Hơn nữa, mô hình có tiềm năng phát triển theo hướng logistics xanh, thông qua việc tích hợp yếu tố phát thải carbon, quản lý chuỗi lạnh và dữ liệu thời gian thực, góp phần quan trọng trong việc nâng cao năng lực cạnh tranh và thúc đẩy phát triển bền vững cho ngành chế biến thực phẩm Việt Nam. Và đồng thời cho thấy mô hình có tiềm năng ứng dụng đối với các doanh nghiệp chế biến thực phẩm có đặc điểm vận hành tương đồng.

Về khía cạnh ứng dụng thực tiễn, doanh nghiệp nên triển khai hệ thống quản lý vận tải (Transport Management System – TMS) để tự động hóa quy trình lập kế hoạch, điều phối và giám sát hoạt động vận chuyển. Khi kết hợp với mô hình MILP, hệ thống này sẽ giúp doanh nghiệp ra quyết định nhanh hơn, giảm sai sót và tối ưu hóa hiệu suất sử dụng phương tiện. Đồng thời, Nhà nước cần đầu tư đồng bộ vào hạ tầng logistics, đặc biệt tại khu vực Đồng bằng sông Cửu Long, nhằm giảm chi phí vận tải, rút ngắn thời gian giao hàng và tăng cường khả năng kết nối chuỗi cung ứng thực phẩm. Chính sách hỗ trợ doanh nghiệp trong chuyển đổi số và ứng dụng công nghệ logistics xanh cũng là yếu tố quan trọng để nâng cao năng suất toàn ngành.

Về phương diện nghiên cứu, các công trình tiếp theo nên tập trung mở rộng mô hình MILP theo hướng đa mục tiêu, kết hợp thêm yếu tố phát thải carbon, độ tươi sản phẩm và độ tin cậy giao hàng, nhằm phản ánh chính xác hơn thực tế hoạt động logistics trong ngành thực phẩm. Ngoài ra, việc tích hợp các thuật toán metaheuristic như Genetic Algorithm (GA), Ant Colony Optimization (ACO) hoặc Tabu Search sẽ giúp xử lý dữ liệu quy mô lớn,

rút ngắn thời gian tính toán nhưng vẫn đảm bảo độ chính xác của nghiệm tối ưu. Những hướng mở rộng này sẽ góp phần hoàn thiện mô hình, giúp nó tiệm cận hơn với thực tiễn vận hành doanh nghiệp và hỗ trợ phát triển chuỗi cung ứng thực phẩm bền vững tại Việt Nam.

Tuyên bố về việc sử dụng AI tạo sinh

Trong quá trình chuẩn bị bài báo này, (các) tác giả đã không sử dụng công cụ AI để tạo ra nội dung cho bài báo.

Tài liệu tham khảo

- [1] VinaStrategy. (2025). Báo cáo ngành chế biến thực phẩm Việt Nam 2025. <https://vinastrategy.com/bao-cao-nganh-che-bien-thuc-pham-viet-nam-2025/> (truy cập ngày 16/06/2026).
- [2] Hiệp hội Doanh nghiệp Dịch vụ Logistics Việt Nam (VLA). (2024). Bản tin VLA số 103. <https://vla.com.vn/wp-content/uploads/2024/06/BAN-TIN-VLA-SO-103-01.06.2024-1.pdf> (truy cập ngày 13/06/2026).
- [3] P.T. Hải. (2024). Chi phí logistics ở Việt Nam: Thực trạng và giải pháp. *Tạp chí Kinh tế – Tài chính*. <https://tapchikinhjetaichinh.vn/chi-phi-logistics-o-viet-nam-thuc-trang-va-giai-phap-49318.html> (truy cập ngày 13/06/2026)
- [4] N.V. Lượng, N.Đ.M. Tú, N.P. Phương. (2025). Một số giải pháp thúc đẩy phát triển ngành logistics Việt Nam. *Tạp chí Kinh tế – Tài chính*. <https://nghiencuu.tapchikinhjetaichinh.vn/mot-so-giai-phap-thuc-day-phat-trien-nganh-logistics-viet-nam-78730.html> (truy cập ngày 23/05/2026)
- [5] T.T. Thắm, N.Đ. Trinh. (2023). Mô hình tối ưu hóa tuyến đường vận chuyển trong chuỗi cung ứng lạnh nông sản. *Tạp chí Khoa học Đại học Cần Thơ*, 59, 1-8. <https://doi.org/10.22144/ctu.jvn.2023.023>.
- [6] L.M. Ngọc, N.T.T. Đức, V.T.T.B. Châu. (2025). Tối ưu hóa logistics lạnh bằng mô hình MILP-FMEA. *Tạp chí Khoa học và Công nghệ Cần Thơ*, 7, 77-89. <https://sti.gov.vn/publication/toi-uu-hoa-logistics-lanh-bang-mo-hinh-milp->

- fmea-NDcwMjYy (truy cập ngày 23/05/2026).
- [7] Lan Anh. (2020). Tháo “nút thắt” chi phí logistics. Báo Công Thương. <https://congthuong.vn/thao-nut-that-chi-phi-logistics-147542.html> (truy cập ngày 13/06/2026)
- [8] Pháp Luật Online. (2023). Chi phí logistics Việt Nam cao hơn bình quân chung thế giới. <https://plo.vn/chi-phi-logistics-viet-nam-cao-hon-binh-quan-chung-the-gioi-post764632.html> (truy cập ngày 13/06/2026).
- [9] G.B. Dantzig. (2002). Linear programming. *Operations Research*, 50(1), 42-47. <https://doi.org/10.1287/opre.50.1.42.17798>
- [10] L.A. Wolsey. (2008). Mixed integer programming. *Wiley Encyclopedia of Computer Science and Engineering*, 1-10. <https://doi.org/10.1002/9780470050118.ecse.244>
- [11] P. Toth, D. Vigo. (Eds.). (2014). Vehicle routing: problems, methods, and applications. *Society for industrial and applied mathematics*. <https://doi.org/10.1137/1.9781611973594>
- [12] S.M. Almufti, A.A. Shaban, Z.A. Ali, R.I. Ali, J.A. Dela Fuente, R.R. Asaad. (2023). Overview of Metaheuristic Algorithms. *Polaris Global Journal of Scholarly Research and Trends*, 2(2), 10-32. <https://doi.org/10.58429/pgjsrt.v2n2a144>
- [13] G. Laporte. (2009). Fifty Years of Vehicle Routing. *Transportation Science*, 43(4), 408-416. <https://doi.org/10.1287/trsc.1090.0301>
- [14] M. Bazirha. (2025). A novel MILP formulation and an efficient heuristic for the vehicle routing problem with Lunch Break. *Annals of Operations Research*, 351(1), 253-278. <https://doi.org/10.1007/s10479-023-05742-3>
- [15] D.M. Utama, S.K. Dewi, A. Wahid, I. Santoso. (2020). The vehicle routing problem for perishable goods: A systematic review. *Cogent Engineering*, 7(1), 1816148. <https://doi.org/10.1080/23311916.2020.1816148>
- [16] C.-N. Wang, N.-L. Nhieu, Y.-C. Chung, H.-T. Pham. (2021). Multi-Objective Optimization Models for Sustainable Perishable Intermodal Multi-Product Networks with Delivery Time Window. *Mathematics*, 9(4), 379. <https://doi.org/10.3390/math9040379>
- [17] S. Zhu, H. Fu, Y. Li. (2021). Optimization Research on Vehicle Routing for Fresh Agricultural Products Based on the Investment of Freshness-Keeping Cost in the Distribution Process. *Sustainability*, 13(14), 8110. <https://doi.org/10.3390/su13148110>
- [18] A. Louati, R. Lahyani, A. Aldaej, R. Mellouli, M. Nusir. (2021). Mixed Integer Linear Programming Models to Solve a Real-Life Vehicle Routing Problem with Pickup and Delivery. *Applied Sciences*, 11(20), 9551. <https://doi.org/10.3390/app11209551>
- [19] C.R. Irawan. (2024). SWOT Analysis as a Company Strategy for Business Competition. *Siber Journal of Transportation and Logistics*, 1(4), 164–171. <https://doi.org/10.38035/sjtl.v1i4.158>