

DOI:10.22144/ctujos.2025.106

MÔ HÌNH TỐI ƯU HÓA ĐA MỤC TIÊU NHẪM GIẢM CHI PHÍ VẬN CHUYỂN, PHÁT THẢI KHÍ CO₂ QUA BÀI TOÁN ĐỊNH TUYẾN VỚI TRỌNG TẢI XE HẠN CHẾ VÀ KHUNG THỜI GIAN (CVRPSTW)

Đặng Nhật Phi, Nguyễn Đặng Ngọc Hân, Đỗ Kim Yến, Nguyễn Trọng Trí Đức* và Trịnh Minh Phú

Trường Bách Khoa, Đại học Cần Thơ, Việt Nam

*Tác giả liên hệ (Corresponding author): nttduc@ctu.edu.vn

Thông tin chung (Article Information)

Nhận bài (Received): 17/01/2025

Sửa bài (Revised): 08/03/2025

Duyệt đăng (Accepted): 14/05/2025

Title: A multi-objective optimization model to reduce transportation costs and CO₂ emissions through the vehicle routing problem with capacitated vehicles and time windows (CVRPSTW)

Author: Dang Nhat Phi, Nguyen Dang Ngoc Han, Do Kim Yen, Nguyen Trong Tri Duc* and Trinh Minh Phu

Affiliation(s): College of Engineering, Can Tho University, Viet Nam

TÓM TẮT

Trong bài báo này, mô hình tối ưu hóa đa mục tiêu cho bài toán định tuyến phương tiện có giới hạn trọng tải và khung thời gian (CVRPSTW) được trình bày. Mục tiêu chính là tối thiểu chi phí vận chuyển và lượng phát thải CO₂ trong chuỗi cung ứng của hệ thống cửa hàng Bách Hóa Xanh. Mô hình kết hợp các yếu tố như tối ưu hóa lộ trình, ràng buộc về khung thời gian và cân nhắc các tác động môi trường. Các phương pháp được sử dụng trong nghiên cứu bao gồm việc áp dụng các thuật toán tối ưu hóa, cụ thể là phương pháp ϵ -Constraint mở rộng (AUGMECON) và phương pháp Euclidean để giải quyết các bài toán đa mục tiêu, sử dụng dữ liệu thực nghiệm từ chuỗi cửa hàng minh họa tính khả thi của mô hình. Kết quả giảm chi phí vận hành và lượng CO₂ một cách đáng kể. Ngoài ra, giải pháp Pareto cũng được xác định nhằm cân bằng giữa các mục tiêu chi phí và môi trường.

Từ khóa: Chuỗi cung ứng, CVRPSTW, đa mục tiêu, hoạch định tuyến đường, mô hình tối ưu hoá

ABSTRACT

This paper presents a multi-objective optimization model for the vehicle routing problem with load window and time constraints (CVRPSTW). The main objective is to minimize transportation costs and simultaneously CO₂ emissions in the supply chain of the Bach Hoa Xanh store system. The model incorporates factors such as route optimization, time constraints and environmental impact considerations. The Mixed Integer Linear Programming (MILP) includes the application of optimization algorithms, specifically the extended ϵ -Constraint method (AUGMECON) to solve multi-objective problems, and the Euclidean method using empirical data from the store chain to illustrate the feasibility of the model. The model results can significantly reduce operating costs and CO₂ emissions. In addition, the Pareto solution is also determined to balance cost and environmental objectives.

Keywords: CVRPSTW, Multi-objective, optimization model, supply chain, vehicle routing problem

1. GIỚI THIỆU

Hiện nay, nhu cầu vận chuyển hàng hóa ngày càng tăng cùng với sự phát triển của thương mại và dịch vụ việc tối ưu hoá các yếu tố vận chuyển không chỉ giúp doanh nghiệp tiết kiệm chi phí mà còn giảm tác động tiêu cực đến môi trường, đặc biệt trong thời kỳ biến đổi khí hậu. Mô hình bài toán định tuyến phương tiện có giới hạn sức chứa với khung thời gian mềm (Capacitated Vehicle Routing Problem with Soft Time Windows - CVRPSTW) hỗ trợ đưa ra các giải pháp hiệu quả, cân bằng giữa lợi ích kinh tế và trách nhiệm xã hội, đồng thời đáp ứng yêu cầu ngày càng sâu sắc về vấn đề giao thông đô thị và thời gian giao hàng. Đây là hướng nghiên cứu thiết thực và có tiềm năng ứng dụng cao.

Bách Hoá Xanh (BHX) là một trong những chuỗi cửa hàng chuyên bán lẻ thực phẩm tươi sống (thịt cá, rau củ, trái cây,...) và nhu yếu phẩm chất lượng, nguồn gốc rõ ràng, chủ yếu tại các tỉnh miền Nam, miền Đông và Nam Trung Bộ. Bách Hóa Xanh thành lập vào năm 2015 và được phát triển mạnh mẽ với hơn 2000 cửa hàng. Riêng trên địa bàn quận Ninh Kiều, thành phố Cần Thơ có đến 18 cửa hàng. Cùng với sự phát triển và một lượng lớn đơn hàng, Bách Hoá Xanh đòi hỏi phải tìm kiếm một nguồn cung cấp thực phẩm tươi sống để đáp ứng nhu cầu đó và thời gian giao hàng phải được đảm bảo đúng giờ. Ở quận Ninh Kiều nguồn cung cấp thực phẩm tươi sống chính đến từ các kho ở Hậu Giang, điều này không chỉ giúp giữ chân khách hàng mà còn giúp thực phẩm luôn được tươi ngon. Tuy nhiên, với sự phát triển mạnh mẽ của mạng lưới nhập hàng từ kho đến Bách Hoá Xanh cũng mang lại nhiều tác động xấu đến môi trường như tăng lượng phát thải khí CO₂, NO_x. Theo thống kê giao thông vận tải là nguồn phát thải khí nhà kính lớn thứ hai tại Việt Nam, chiếm 18% tổng lượng phát thải. Chính vì thế cần phải nỗ lực giảm thiểu những tác động này, thông qua việc lập kế hoạch và định tuyến quãng đường đi.

Với mục tiêu giảm thiểu tổng chi phí tuyến đường và với câu hỏi “Làm thế nào để tạo ra một lộ trình tối ưu cho một đội xe giao hàng tới một lượng khách hàng có sẵn?”. Anh and Thao (2021) đã nghiên cứu thuật toán di truyền và tìm kiếm để giải bài toán định tuyến xe. Trong bài báo, các kiến thức cơ bản định tuyến xe đã được trình bày rõ thêm, làm rõ thuật toán di truyền và tiến hành thực nghiệm với bộ dữ liệu được phân loại cụ thể. Sau đó, Tham and Trinh (2023) đã xây dựng mô hình toán nhằm tối thiểu tổng chi phí thông qua việc lựa chọn tuyến đường có thời gian di chuyển ngắn nhất dựa trên mô

hình bài toán định tuyến phương tiện xe (Vehicle Routing Problem - VRP) và mô hình lập trình phi tuyến (Non-linear Programming-NLP). Kết quả mô hình VRP đã cung cấp tuyến đường tối ưu phân phối nông sản từ kho sơ chế đến 18 cửa hàng BHX xung quanh quận Ninh Kiều. Ở các nghiên cứu trên, những kết quả được đưa ra mang thiết thực và có tính ứng dụng cao. Tuy nhiên, vẫn còn những vấn đề chưa được đề cập đến như chưa đề cập đến lượng phát thải khí CO₂ trong quá trình vận chuyển và chi phí phải chịu khi giao hàng không đúng thời hạn.

Để giải quyết các vấn đề về vận chuyển hàng hóa từ kho Hậu Giang đến Bách Hoá Xanh là một vấn đề nan giải và cần đưa ra các giải pháp để làm giảm bớt ảnh hưởng xấu đến môi trường. Đồng thời cần đưa ra những biện pháp trực quan để thử nghiệm độ hiệu quả. Từ đó, các vấn đề sau đã được giải quyết:

- Giảm chi phí vận chuyển: Tối ưu hóa tuyến đường giúp tiết kiệm nhiên liệu, thời gian di chuyển và nhân lực, từ đó giảm chi phí vận hành cho doanh nghiệp.
- Giảm phát khí CO₂: Cung cấp chế độ thải khí trong quá trình vận hành, góp phần bảo vệ môi trường và giảm tác động tích cực đến biến đổi khí hậu.
- Cân bằng giữa lợi ích kinh tế và môi trường: Giải pháp phù hợp với các mục tiêu phát triển bền vững đã được đề xuất, đáp ứng yêu cầu kinh doanh và trách nhiệm xã hội.

2. CƠ SỞ LÝ THUYẾT

2.1. Bài toán định tuyến xe có thời gian giao hàng (VRPTW)

Hoạch định tuyến đường (Vehicle Routing Problem-VRP) được biết đến là một bài toán giải quyết các vấn đề liên quan đến thiết kế tuyến đường, nó tập trung vào việc tối thiểu hóa tổng khoảng cách vận chuyển hoặc tổng chi phí vận chuyển. Được Dantzig and Ramseur (1959) lần đầu đề xuất dựa trên bài toán Người giao hàng (Travelling Salesman Problem-TSP).

Sau đó, Clarke and Wright (1964) đã cải tiến cách giải của Dantzig and Ramser (1959) bằng cách sử dụng một cách tiếp cận khác, được gọi là thuật toán tiết kiệm. Bài toán hoạch định tuyến đường với hạn chế về khung thời gian (Vehicle Routing Problem with Time Window-VRPTW) là một biến thể của bài toán VRP. VRPTW là một tập hợp nhiều tuyến đường và một chuỗi nhiều khách hàng, mỗi khách hàng đều có những khung thời gian nhận hàng khác nhau. Nếu người giao hàng đến trước hoặc sau

thời gian hạn chế thì phương tiện đó không thể vận chuyển hàng hóa đến khách hàng.

Tuy nhiên, kết quả nghiên cứu của Balakrishnan (1993) cho thấy nếu người giao hàng chịu trả một khoản chi phí phạt nhất định thì vẫn được phép giao hàng, đó được gọi là hoạch định tuyến đường với khung thời gian mềm (Vehicle Routing Problem with soft time windows-VRPSTW). Kuo (2010) đã thêm yếu tố tốc độ vận chuyển vào mô hình tính toán tiêu thụ nhiên liệu với bài toán định tuyến phương tiện phụ thuộc vào thời gian (Time - Dependent VPT - TDVRP). Những nghiên cứu được thực hiện về VRP có cân nhắc đến vấn đề môi trường đã được phát triển từ rất sớm từ những năm 2000. Các nghiên cứu có thể kể được đến như: Ubada et al. (2011) đã giới thiệu thuật ngữ “Green logistics” trong quản lý chuỗi hậu cần. Các tác giả đã xem xét việc giảm thiểu khoảng cách và lượng khí thải ô nhiễm trong trường hợp thực tế tại một công ty phân phối thực phẩm tại Tây Ban Nha. Lin et al. (2014), tổng hợp và phân loại các nghiên cứu về Green-VRP (Green Vehicle Problem - G-VRP). Tác giả trình bày các biến thể như Green-VRP, PRP và Reverse Logistics. Bài viết cũng nêu khoảng trống nghiên cứu và đề xuất hướng phát triển trong tương lai.

Cùng với đó, Le et al. (2022) đã đề xuất kết hợp phương pháp ‘cluster-first-route-second’ và thuật toán k-means để giải quyết bài toán định tuyến xe có thời gian giao hàng (VRPTW) trong lĩnh vực logistics, tập trung vào việc phân phối hàng để lưu trữ như cá, gà, bò và heo tại Việt Nam.

Bên cạnh đó, Logistics đang trở thành một lĩnh vực quan trọng, dẫn dắt sự phát triển kinh tế của Việt Nam. Tuy nhiên, tình trạng logistics hiện tại ở Việt Nam vẫn còn một số vấn đề, chẳng hạn như chi phí cao và khả năng cạnh tranh thấp so với các quốc gia khác trên thế giới. Cụ thể, chi phí vận chuyển chiếm một tỷ lệ rất lớn trong tổng chi phí logistics. Do đó, trong thế giới ngày nay, việc cải thiện mạng lưới giao thông và tối ưu hóa phân phối hàng hóa là những ưu tiên chính. Vì vậy, Hoa et al. (2023) đã nghiên cứu phát triển một thuật toán tối ưu hóa vận tải sử dụng thuật toán di truyền (Genetic Algorithm - GA) để giải quyết vấn đề định tuyến phương tiện (VRP), đồng thời điều chỉnh vấn đề định tuyến phương tiện có sức chứa (Capacity VRP - CVRP) với một thuật toán chọn phương tiện. Kết quả cho thấy tổng khoảng cách di chuyển giảm 39,5%, tỷ lệ phát thải CO₂ giảm 27,1%, và tỷ lệ lấp đầy công suất xe tăng từ 56,38% lên 97,14%.

Việc quy hoạch tuyến đường (VRP) trong chuỗi cung ứng lạnh là hết sức cần thiết. Bởi vì các loại

sản phẩm dễ hư hỏng cần bảo quản dưới nhiệt độ cần thiết để đảm bảo chất lượng của sản phẩm. Vì vậy, trong chuỗi cung ứng lạnh việc tối thiểu thời gian và tuyến đường vận chuyển là những yêu cầu thiết yếu nhất. Nguyen et al. (2022) đã đề xuất một biến thể mới của bài toán định tuyến phương tiện (VRP) với một ràng buộc mới về giới hạn dưới của công suất phương tiện, điều này chưa được nghiên cứu trong tài liệu. Các yêu cầu của bài toán đến từ một trong những công ty phân phối sữa lớn nhất tại Việt Nam. Với hơn 1000 điểm khách hàng được bao gồm trong một kế hoạch trung bình, công ty mất ít nhất một ngày làm việc để lập kế hoạch lộ trình. Việc áp dụng phương pháp này đã dẫn đến sự nhanh chóng trong việc tạo ra giải pháp, nhiệm vụ mà trước đây mất một ngày giờ chỉ còn hai giờ.

2.2. Bài toán giải quyết phát thải CO₂

Trong quá trình vận hành, các phương tiện này thải ra một lượng lớn khí độc hại, gây ô nhiễm môi trường và ảnh hưởng trực tiếp đến sức khỏe của người tham gia giao thông cũng như cư dân sống gần các tuyến đường. Số lượng khí thải ngày càng tăng lên theo từng năm, tỷ lệ thuận với sự gia tăng của các phương tiện giao thông đường bộ. Ai et al. (2019) cũng đã có bài phân tích với mô hình đa mục tiêu với ràng buộc về lượng phát thải CO₂ và tổng chi phí vận chuyển trên địa bàn thành phố Cần Thơ trong việc hoạch định tuyến đường đơn sản phẩm.

Bài nghiên cứu được thực hiện nhằm tập trung vào việc phát triển mô hình định tuyến xe bền vững. Mô hình quy hoạch tuyến tính số nguyên hỗn hợp (Mixed Integer Linear Programming - MILP) được phát triển để xử lý các yếu tố như tải trọng xe, khoảng cách, và khung thời gian. Các mục tiêu đa dạng được tối ưu hóa bằng phương pháp Tchebycheff có trọng số, tạo ra các giải pháp Pareto nhằm cân bằng mục tiêu kinh tế và môi trường.

Kết quả mô hình đạt được giảm thiểu 46,7% tác động môi trường với chi phí tăng không đáng kể (0,1%). Các giải pháp tối ưu hóa cho thấy sự cân bằng giữa chi phí vận chuyển và tác động khí thải. Gần đây nhất, Zhao et al. (2024) đã đề xuất một giải thuật toán di truyền đa mục tiêu thích ứng (AMoGA-GIS) nhằm giải quyết vấn đề định tuyến phương tiện và có xét đến các yếu tố môi trường, sự hài lòng của khách hàng.

2.3. Bài toán đa mục tiêu

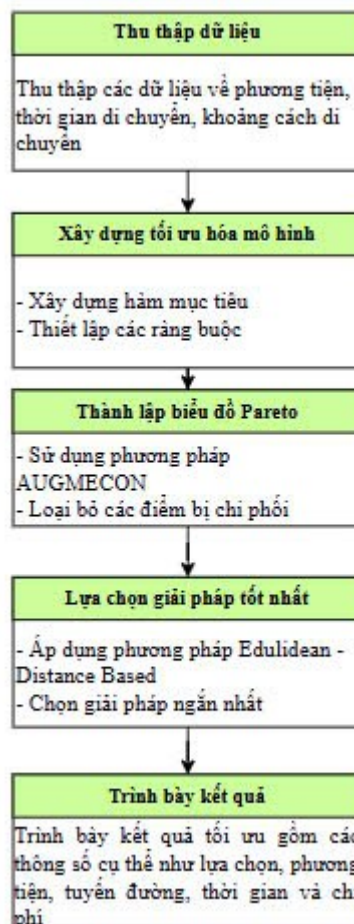
Tối ưu hóa đa mục tiêu (Multiple Objective Optimization) là một lĩnh vực nghiên cứu quan trọng, đặc biệt trong các hệ thống thực tế nơi cần cân nhắc giữa nhiều mục tiêu mâu thuẫn. Khởi đầu từ

nghiên cứu của Zadeh (1963), bài toán tối ưu không theo giá trị vô hướng được đề xuất, nhấn mạnh rằng không thể tìm ra một lời giải duy nhất mà thay vào đó là tập hợp các giải pháp Pareto tối ưu. Đến những năm 1970, Haimes et al. (1971) giới thiệu phương pháp ϵ -Constraint, tối ưu một tiêu chí chính và biến các tiêu chí khác thành ràng buộc. Tuy nhiên, hạn chế của phương pháp này là không đảm bảo khám phá hết tập hợp Pareto trong trường hợp các mục tiêu không lồi. Sang thế kỷ 21, Deb et al. (2002) phát triển thuật toán NSGA-II, một bước đột phá trong sử dụng các thuật toán tiến hóa để tìm kiếm đồng thời nhiều giải pháp Pareto tối ưu. Thuật toán này đã được áp dụng rộng rãi trong các lĩnh vực như thiết kế công nghiệp, nơi các mục tiêu như chi phí và độ bền sản phẩm thường mâu thuẫn nhau.

Đặc biệt, một cải tiến quan trọng của phương pháp ϵ -Constraint là AUGMECON (Augmented ϵ -Constraint Method) do Mavrotas (2009) đề xuất. AUGMECON bổ sung thành phần trọng số vào hàm mục tiêu, cho phép kiểm soát ưu tiên giữa các tiêu chí, đồng thời giảm số lượng ràng buộc không cần thiết. Ví dụ, Mavrotas đã áp dụng phương pháp này trong quản lý năng lượng để tối thiểu hóa chi phí vận hành và giảm tác động môi trường, đạt được kết quả Pareto tối ưu hiệu quả hơn các phương pháp truyền thống. Cùng với đó, AUGMECON đã được áp dụng để tối ưu hóa lộ trình vận chuyển cho các chuỗi cung ứng trong ngành thực phẩm tại châu Âu, nơi cần cân bằng giữa chi phí vận hành, thời gian giao hàng, và tác động môi trường. Gần đây, phiên bản nâng cao AUGMECON2 được sử dụng trong các bài toán quy mô lớn, chẳng hạn Gassner et al. (2021) đã áp dụng để tối ưu hóa hệ thống giao thông công cộng ở Châu Âu, cân bằng giữa chi phí vận hành, hiệu suất, và giảm phát thải CO₂. Việc ứng dụng của AUGMECON còn mở rộng trong quản lý tài nguyên nước, thiết kế kỹ thuật và đặc biệt là chuỗi cung ứng nông nghiệp tại Việt Nam, nơi bài toán tối ưu hóa việc phân phối sản phẩm cân bằng giữa chi phí nhiên liệu, giảm thất thoát sản phẩm và thời gian giao hàng.

3. PHÁT TRIỂN MÔ HÌNH TOÁN

Để đạt được mục tiêu nghiên cứu, các bước thực hiện đã được xây dựng một cách khoa học và có hệ thống. Quy trình này được thực hiện nhằm đảm bảo tính chính xác và logic trong quá trình phân tích, sau đây là các bước thực hiện:



Hình 1. Sơ đồ các bước thực hiện nghiên cứu

3.1. Mô hình MILP

Trong chuỗi cung ứng việc đảm bảo tính đúng giờ và hiệu quả vận hành, giúp tối ưu việc giao nhận hàng, giảm thời gian chờ và nâng cao hiệu quả trong toàn bộ chuỗi cung ứng. Để cải thiện quá trình vận chuyển và giao hàng đúng thời gian quy định từ kho đến các cửa hàng Bách Hóa Xanh, việc xây dựng mạng lưới phân phối bằng mô hình quy hoạch tuyến đường CVRPTW với nhiều sản phẩm và các chuyến đi đã được thực hiện trong nghiên cứu này. Mục tiêu được đặt ra trong mô hình nhằm giảm tối thiểu tổng chi phí bao gồm chi phí cố định của mỗi phương tiện, chi phí vận chuyển, chi phí phạt cho mỗi giờ đến sớm, trễ của phương tiện trong quá trình phục vụ khách hàng, cùng với đó là tối thiểu lượng phát thải CO₂ được thải ra trong khi phương tiện di chuyển.

3.1.1. Các giả định của mô hình

Mô hình được xây dựng với một số giả định sau:

– Mỗi khách hàng chỉ có thể được phục vụ bởi duy nhất một phương tiện. Số lượng xe và tải trọng mỗi xe được thể hiện ở phụ lục Bảng P1.

– Mỗi phương tiện bắt đầu và kết thúc hành trình tại trung tâm kho.

– Tổng nhu cầu trên một tuyến đường cụ thể không được vượt quá sức chứa của phương tiện. Nhu cầu của khách hàng được thể hiện ở phụ lục Bảng P4.

– Mỗi khách hàng phải được phục vụ trong khoảng thời gian quy định nghiêm ngặt (hard time window).

– Thời gian phục vụ hoặc chờ đợi tại mỗi khách hàng phải nằm trong giới hạn cho phép. Khoảng thời gian phục vụ của mỗi khách hàng được thể hiện ở phụ lục Bảng P4.

– Các khoảng thời gian nghiêm ngặt (hard time window) cần được tuân thủ tuyệt đối.

– Đối với các khoảng thời gian linh hoạt/mềm (soft time window), có thể chấp nhận vi phạm nhưng sẽ phải chịu một mức chi phí cố định. Thời gian linh hoạt và thời gian nghiêm ngặt được thể hiện ở phụ lục Bảng P5

3.1.2. Tập hợp

Các tập hợp (chỉ số). Gọi $G(N, A)$ là một đồ thị có hướng, trong đó N là tập hợp các đỉnh và A là tập hợp các cung (i, j) đại diện cho các kết nối giữa kho và khách hàng.

$N = \{o, d, 1, 2, 3, \dots, n\}$ là tập hợp các nút, trong đó:

o : nút gốc,

d : nút đích,

$N^* = N \setminus \{o, d\}$ là tập hợp các nút ngoại trừ nút gốc và nút đích.

$A(i, j): i, j \in N, i \neq j$: là tập hợp các cung.

$K = \{1, 2, 3, \dots, v\}$: là tập hợp các phương tiện.

$P = \{1, 2, 3, \dots, p\}$: là tập hợp các loại sản phẩm.

$R = \{1, 2, 3, \dots, r\}$: là tập hợp các chuyến đi.

3.1.2. Tham số

$ds_{i,j}$ là khoảng cách giữa khách hàng i và j (km),

t_{ij} là thời gian (giờ) từ khách hàng i đến j ,

$dm_{i,p}$ là nhu cầu của khách hàng i với sản phẩm p (kg),

M là một số lớn tùy ý,

δ_k lượng khí CO₂ phát thải trên mỗi km (g-CO₂),

TC_k là chi phí cố định cho mỗi kilômet di chuyển của mỗi phương tiện k (VND/km),

$LC_{k,p}$ là chi phí cho mỗi đơn vị quãng đường di chuyển trên mỗi đơn vị tải trọng của sản phẩm được vận chuyển bởi phương tiện k (VND/km),

s_i là thời gian phục vụ tại khách hàng i (giờ),

a_i là giới hạn dưới của thời gian mềm cho điểm i ,

b_i là giới hạn trên của thời gian mềm cho điểm i ,

LB_i giới hạn dưới của thời gian cứng cho điểm i ,

UB_i giới hạn trên của thời gian cứng cho điểm i ,

Pl chi phí phạt cho mỗi giờ đến sớm (VND/giờ),

Pu chi phí phạt cho mỗi giờ đến trễ (VND/giờ).

3.1.3. Biến quyết định

$X_{k,r,i,j} = 1$, nếu phương tiện k di chuyển trực tiếp từ i đến j trong chuyến r , $X_{k,r,i,j} = 0$, không có phương tiện k di chuyển từ i đến j trong chuyến đi r .

$XT_{k,r,i,j,p}$ lượng sản phẩm loại p được vận chuyển từ điểm i đến điểm j bằng phương tiện k trong chuyến đi r .

$XL_{k,r,i,p}$ là lượng sản phẩm loại p được giao tại điểm i bởi phương tiện k trong chuyến đi r .

$W_{k,r,i}$ là thời gian bắt đầu phục vụ tại điểm i của xe k trong chuyến đi r .

$WL_{k,r,i} = \max\{a_i - W_{k,r,i}, 0\}$ là mức độ vi phạm giới hạn dưới của khoảng thời gian mềm.

$WU_{k,r,i} = \max\{b_i - W_{k,r,i}, 0\}$ là mức độ vi phạm giới hạn trên của khoảng thời gian mềm.

$U_{k,r,t,p} = 1$, nếu một phương tiện k giao một sản phẩm p trong khoảng t trong một chuyến đi r , $U_{k,r,t,p} = 0$ không có phương tiện k giao sản phẩm p trong t trong chuyến đi r .

$Y_{k,r,i} = 1$ nếu phương tiện k có ghé qua khách hàng i trong chuyến đi r , $Y_{k,r,i} = 0$ không có phương tiện k nào ghé qua khách hàng i trong chuyến đi r .

3.1.4. Hàm mục tiêu

Hàm tối thiểu chi phí:

$$\text{Minimize } Z = z1 + z2 + z3 \quad (1)$$

Chi phí di chuyển của xe k được tính dựa trên khoảng cách di chuyển từ điểm i đến j với chi phí cố định cho mỗi kilomet di chuyển của phương tiện k .

$$z1 = \sum_k \sum_r \sum_i ds_{i,j} \cdot X_{k,r,i,j} \cdot TC_k \quad (2)$$

Chi phí vận chuyển được tính bằng khoảng cách di chuyển từ điểm i đến j với chi phí cho mỗi đơn vị quãng đường di chuyển trên mỗi đơn vị tải trọng của sản phẩm được vận chuyển bởi phương tiện và lượng sản phẩm được vận chuyển đến điểm j .

$$z2 = \sum_k \sum_r \sum_i \sum_j \sum_p XT_{k,r,i,j,p} \cdot ds_{i,j} \cdot LC_{k,p} \quad (3)$$

Chi phí phạt do thời gian giao hàng của phương tiện đến sớm hoặc trễ.

$$z3 = \sum_k \sum_r \sum_i (Pl \cdot WL_{k,r,i} + Pu \cdot WU_{k,r,i}) \quad (4)$$

Hàm tối thiểu CO₂:

$$z4 = \sum_k \sum_r \sum_i \sum_j \sum_p XT_{k,r,i,j,p} \cdot ds_{i,j} \cdot \delta_k \quad (5)$$

3.1.5. Ràng buộc

Ràng buộc xác định nút i có được phục vụ hay không, biểu thị mối liên kết giữa biến $X_{k,r,i,j}$ và $Y_{k,r,i}$, biến $Y_{k,r,i}$ chỉ nhận giá trị 1 nếu có ít nhất 1 cung $X_{k,r,i,j}$ xuất phát từ nút i .

$$Y_{k,r,i} \geq \sum_{j \in N} X_{k,r,i,j} \quad \forall k \in K, r \in R, i \in N \quad (6)$$

Ràng buộc ra vào kho: Xe chỉ được phép xuất phát từ kho và trở lại kho đúng 1 lần và tổng số cung đi vào nút i bằng tổng số cung đi ra khỏi nút i .

$$\sum_{j \in N} X_{k,r,depot,j} = 1 \quad \forall k \in K, r \in R \quad (7)$$

$$\sum_{j \in N} X_{k,r,j,depot} = 1 \quad \forall k \in K, r \in R \quad (8)$$

$$\sum_{j \in N} X_{k,r,i,j} - \sum_{j \in N} XT_{k,r,j,i,p} = 0$$

$$\forall k \in K, r \in R, i \in N, i \neq depot \quad (9)$$

Ràng buộc về số lần phục vụ tại các khách hàng: Mỗi khách hàng chỉ được phục vụ đúng một xe và một lần duy nhất.

$$\sum_k \sum_r \sum_{j \in N} X_{k,r,i,j} = 1 \quad \forall i \in N, i \neq depot \quad (10)$$

Ràng buộc về số chuyến di chuyển: Trong một chuyến đi r khách hàng i chỉ được phục vụ tối đa một lần.

$$\sum_{j \in N} X_{k,r,i,j} \leq 1 \quad \forall i \in N$$

$$i \neq depot, \forall k \in K, r \in R \quad (11)$$

Ràng buộc về giới hạn tải trọng của xe cho từng sản phẩm: Tổng tải trọng cho sản phẩm p khi xe k xuất phát từ kho trong chuyến r không được vượt quá tải trọng của xe.

$$\sum_{j \in N} XT_{k,r,depot,j,p} \leq Cp_k$$

$$\forall k \in K, r \in R, p \in P \quad (12)$$

Ràng buộc đảm bảo đáp ứng nhu cầu của từng khách hàng: Tổng lượng sản phẩm p được giao đến khách hàng i phải bằng đúng nhu cầu của từng khách hàng i và loại sản phẩm p .

$$\sum_k \sum_r XL_{k,r,i,p} = dm_{i,p}$$

$$\forall i \in N, i \neq depot, p \in P \quad (13)$$

Ràng buộc tổng lượng giao từ kho bằng tổng nhu cầu: Tổng lượng sản phẩm p được giao từ kho bằng tổng nhu cầu của tất cả khách hàng.

$$\sum_k \sum_r \sum_j XT_{k,r,depot,j,p} = \sum_j dm_{j,p}$$

$$\forall p \in P \quad (14)$$

Ràng buộc luồng sản phẩm phải được bảo toàn: Tổng lượng sản phẩm từ kho trừ lượng sản phẩm giao bằng lượng sản phẩm còn lại cho khách hàng kế tiếp.

$$\sum_i XT_{k,r,i,n,p} - XL_{k,r,n,p} = \sum_j XT_{k,r,n,j,p}$$

$$\forall k \in K, r \in R, n \in N, p \in P \quad (15)$$

Ràng buộc đảm bảo sản phẩm chỉ được vận chuyển khi có xe di chuyển giữa các nút i và j .

$$XT_{k,r,i,j,p} \leq X_{k,r,i,j} \cdot M$$

$$\forall k \in K, r \in R, i \in N, j \in N, p \in P \quad (16)$$

Ràng buộc loại bỏ các đường vòng vô nghĩa trong hành trình của xe: Không cho phép xe k thực hiện chuyến đi từ một nút i quay trở lại chính nó.

$$X_{k,r,i,i} = 0 \quad \forall k \in K, r \in R, i \in N \quad (17)$$

Ràng buộc giới hạn thời gian xe di chuyển giữa các nút: Thời gian đến nút j phụ thuộc vào thời gian bắt đầu phục vụ, thời gian di chuyển và thời gian phục vụ tại i . Maxub là giới hạn khoảng thời gian tối đa giữa hai nút.

$$W_{k,r,i} + t_{i,j} + s_i - W_{k,r,j} \leq \maxub_{i,j} + (1 - X_{k,r,i,j}) \cdot M$$

$$\forall k \in K, r \in R, i, j \in N, j \neq \text{depot} \quad (18)$$

Ràng buộc giới hạn thời gian phục vụ khách hàng: Thời gian phục vụ tại mỗi khách hàng i nằm trong khoảng LB đến UB.

$$LB_i \leq W_{k,r,i} + (1 - Y_{k,r,i}) \cdot M$$

$$\forall k \in K, r \in R, i \in N, i \neq \text{depot} \quad (19)$$

$$W_{k,r,i} - (1 - Y_{k,r,i}) \cdot M \leq UB_i$$

$$\forall k \in K, r \in R, i \in N, i \neq \text{depot} \quad (20)$$

Ràng buộc phạt về thời gian phục trễ và sớm: Các biến phạt sớm WL và trễ WU được xác định dựa trên thời gian đến $W_{k,r,i}$ so với thời gian giới hạn của a_i và b_i của khách hàng.

$$WL_{k,r,i} \geq a_i - W_{k,r,i} - (1 - \sum_j X_{k,r,i,j}) \cdot M$$

$$\forall k \in K, r \in R, i \in N \quad (21)$$

$$WU_{k,r,i} \geq W_{k,r,i} - b_i - (1 - \sum_j X_{k,r,i,j}) \cdot M$$

$$\forall k \in K, r \in R, i \in N \quad (22)$$

Ràng buộc này đảm bảo thời gian đến depot của một chuyến xe đến từ nút i được quản lý một cách hợp lý giữa các chuyến đi liên tiếp.

$$W_{k,r,i} + t_{i,\text{depot}} - (1 - X_{k,r,i,\text{depot}}) \cdot M \leq W_{k,r,\text{depot}}$$

$$\forall k \in K, r \in R, i \in N \quad (23)$$

3.2. Đa mục tiêu

3.2.1. Giới thiệu phương pháp AUGMECON

Phương pháp AUGMECON (Augmented ϵ -Constraint Method) giúp khắc phục các nhược điểm như tạo ra nghiệm không hiệu quả và tốn kém thời gian tính toán khi áp dụng cho các bài toán phức tạp. Phương pháp giúp đảm bảo nghiệm thu được luôn là nghiệm hợp lý và cải thiện hiệu quả tính toán thông qua việc loại bỏ các vòng lặp dư thừa. Trong bài toán tối ưu hóa đa mục tiêu. Cách tiếp cận thông dụng nhất là tối ưu hóa một hàm mục tiêu trong khi xem các hàm mục tiêu còn lại là ràng buộc. Công

thức tổng quát của phương pháp AUGMECON như sau:

$$\text{Min} \left(z_1(x) - \Omega \times \left(\frac{\lambda_2}{r_2} + \dots + \frac{\lambda_p}{r_p} \right) \right) \quad (24)$$

Ràng buộc

$$z_2(x) + \lambda_2 = \epsilon_2$$

$$z_j(x) + \lambda_j = \epsilon_j$$

$$z_p(x) + \lambda_p = \epsilon_p$$

$$\lambda_2, \dots, \lambda_p \geq 0$$

Ở đây $z_1(x)$ là hàm mục tiêu chính, $z_2(x), \dots, z_p(x)$ là các hàm mục tiêu phụ, Ω là một số rất nhỏ (thường dao động từ 10^{-6} tới 10^{-3}), λ_j, r_j lần lượt là biến dư và khoảng giá trị của hàm mục tiêu j .

3.2.2. Các bước thực hiện cụ thể của phương pháp AUGMECON

Bước 1: Tính giới hạn dưới và giới hạn trên của các hàm mục tiêu và lập bảng Payoff

- Giải mô hình đơn mục tiêu Z_1 giới hạn dưới (Z_1^L) của hàm mục tiêu Z_1 .
- Giải mô hình đơn mục tiêu Z_2 , giới hạn dưới (Z_2^L) của hàm mục tiêu Z_2 .
- Để tính giới hạn trên (Z_1^U) của hàm mục tiêu Z_1 , hàm mục tiêu Z_2 phải được giảm thiểu sao cho hàm mục tiêu Z_2 không vượt quá giới hạn dưới của nó (Z_2^L).
- Để tính giới hạn trên (Z_2^U) của hàm mục tiêu Z_2 , hàm mục tiêu Z_1 phải được giảm thiểu sao cho hàm mục tiêu Z_1 không vượt quá giới hạn dưới của nó (Z_1^L).

Bước 2: Phương pháp ràng buộc epsilon tăng càng có dạng sau:

$$\text{Min} \left(z_1(x) - \Omega \times \left(\frac{\lambda_2}{r_2} + \dots + \frac{\lambda_p}{r_p} \right) \right)$$

$$z_2(x) + \lambda_2 = \epsilon_2$$

$$z_j(x) + \lambda_j = \epsilon_j$$

$$z_p(x) + \lambda_p = \epsilon_p$$

$$\lambda_2, \dots, \lambda_p \geq 0$$

Xác định ϵ_2 bằng công thức:

$$\epsilon_2 = Z_L^2 + Z_U^2 - Z_L^2 \quad \forall k = 0, 1, 2, \dots, GP - 1$$

Trong đó:

- Ω là đại diện cho một số nhỏ (thường nằm trong khoảng từ 10^{-6} đến 10^{-3})
- λ_2 là biến phụ và r_2 là phạm vi của hàm mục tiêu thứ hai
- GP (Grid Point) đại diện cho số lượng điểm lưới để trích xuất Pareto và được xác định bởi bởi Dominated Solutions

Bước 3: Chạy mô hình với các giá trị khác nhau của ϵ_2 tìm giá trị tối ưu thu được AUGMECON

Bước 4: Vẽ Pareto frontier và loại bỏ Dominated Solutions

Pareto frontier là một khái niệm thể hiện tập hợp các giải pháp không thể làm tổn thương ít nhất một mục tiêu khi cải thiện một mục tiêu mà không làm tổn thương một mục tiêu khác. Các giải pháp non-dominated đều cải thiện được bất kỳ mục tiêu nào mà không làm tổn thương một mục tiêu khác.

Non-dominated solutions còn được gọi là Pareto-optimal solutions, tức là các giải pháp trong không gian tối ưu hóa đa mục tiêu. Việc thể hiện của Pareto frontier là một tập hợp các giải pháp mà không có giải pháp nào khác có thể cải thiện một mục tiêu mà không làm tổn thương ít nhất một mục tiêu khác.

Dominated solutions là các giải pháp mà có ít nhất một giải pháp khác tốt hơn, nghĩa là các giải pháp dominated có thể cải thiện một mục tiêu mà không làm tổn thương một mục tiêu khác.

Các giải pháp non-dominated trên biên Pareto frontier và không thể cải thiện thêm mà không làm tổn thương một mục tiêu khác. Điều này có thể được cải thiện bằng cách di chuyển tới các điểm Pareto mà không làm tổn thương bất kỳ mục tiêu nào.

3.2.3. Phương pháp dựa trên khoảng cách Euclidean

Mặc dù đường biên Pareto luôn cung cấp một tập hợp nhiều giải pháp thay thế với các giá trị khác nhau của các mục tiêu, tuy nhiên vẫn cần chọn một phương pháp phù hợp nhất để giải quyết vấn đề ra quyết định đa tiêu chí. Trong nghiên cứu này, phương pháp ra quyết định được sử dụng là dựa trên khoảng cách Euclidean để xác định giải pháp tối ưu cuối cùng (FOS).

Do các giá trị mục tiêu có các thang đo và đơn vị khác nhau, bước đầu tiên không thể thiếu là chuẩn hóa dữ liệu. Phương trình (24) cung cấp cách tiếp cận phổ biến nhất để chuyển đổi tất cả các mục tiêu thành các giá trị có thể so sánh với nhau được:

$$f_{ij}^{norm} = \frac{f_{ij} - (f_{ij})}{(f_{ij}) - (f_{ij})} \quad (26)$$

Trong đó, chỉ số i biểu thị số thứ tự của giải pháp tối ưu, còn chỉ số j biểu thị mục tiêu thứ j cần được tối ưu hóa. Sau khi chuẩn hóa, phương pháp xếp hạng ưu tiên dựa trên sự tương đồng với giải pháp lý tưởng (TOPSIS) được thực hiện.

"Điểm lý tưởng" (ideal) và "điểm tệ nhất" (nadir) lần lượt tương ứng với điểm tốt nhất và điểm không mong muốn nhất. Dựa trên cơ sở này, các chỉ số có thể được tính toán bằng khoảng cách như sau:

$$ED_{i+(i-)}^{ideal(nadir)} = \sqrt{\sum_{j=1}^n (f_{ij} - f_j^{ideal(nadir)})^2} \quad (27)$$

Giải pháp có khoảng cách tương đối nhỏ nhất là giải pháp mong muốn và được cho là giải pháp tối ưu cuối cùng (FOS)

$$C_i = \left(\frac{ED_i^-}{ED_i^+ + ED_i^-} \right) \quad (28)$$

4. TRƯỜNG HỢP ÁP DỤNG

Trong nghiên cứu, phần mềm PyCharm được sử dụng và viết với bộ giải CPLEX để giải mô hình lập trình phi tuyến. Cấu hình máy tính được sử dụng là Intel(R) CoreTM i5-3337U CPU @ 1.80GHz 1.80 GHz, RAM 4GB. Mô hình chạy trong khoảng 3 phút.

Trong bài báo, việc áp dụng trường hợp nghiên cứu tại chuỗi cung ứng Bách Hóa Xanh từ kho Hậu Giang đến các cửa hàng bán lẻ rải rác ở địa bàn quận Ninh Kiều, Thành Phố Cần Thơ đã được thực hiện. Các số liệu được trình bày ở phần phụ lục đã được sử dụng, bên cạnh đó phương pháp AUGMECON đã được áp dụng và kết quả thu được bằng payoff của hai hàm mục tiêu chi phí và lượng phát thải CO₂ được trình bày ở bảng sau:

Các giá trị trong bảng được tính bằng cách tối ưu từng hàm mục tiêu riêng lẻ, sau đó phương pháp AUGMECON được sử dụng để xác định giá trị cực biên của tập Pareto.

Dựa trên bảng payoff của hai hàm mục tiêu Z1 và Z2, phương pháp AUGMECON đã được sử dụng để tính toán và thu được 10 kết quả nằm trong khoảng giữa giới hạn trên và giới hạn dưới của các hàm mục tiêu. Các kết quả này được trình bày chi tiết trong Bảng 2. Mỗi điểm trong bảng đại diện cho một nghiệm Pareto được tìm bằng phương pháp AUGMECON. Các giá trị trong bảng phản ánh sự đánh đổi giữa hai mục tiêu trong quá trình tối ưu hóa.

Bảng 1. Payoff của tổng chi phí và lượng phát thải CO2

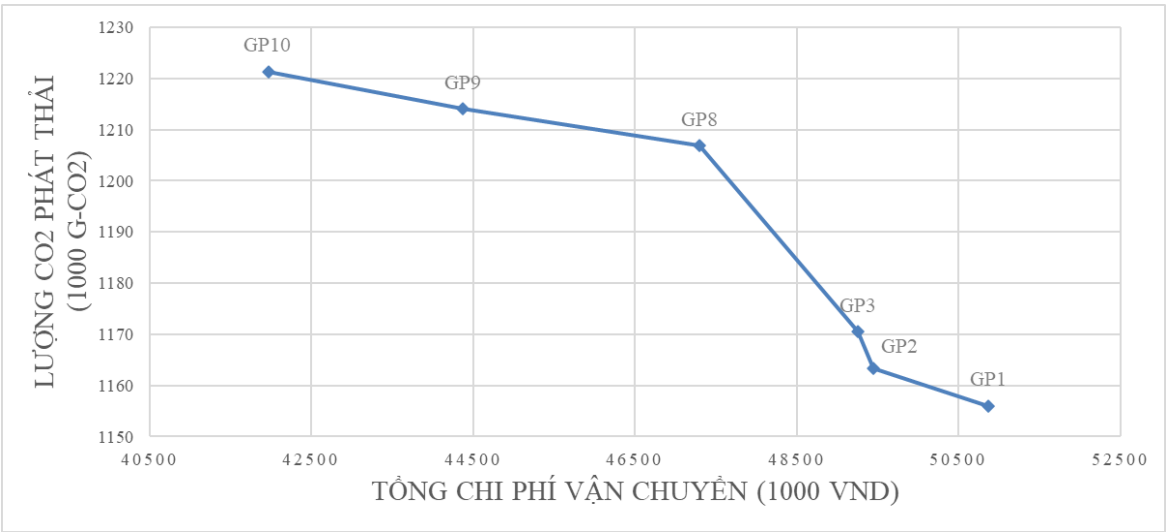
	Z₁ (Tổng chi phí)	Z₂ (lượng phát thải CO₂)
Z_1^L : Tối ưu hóa riêng hàm mục tiêu 1	41.558.600	-
Z_2^L : Tối ưu hóa riêng hàm mục tiêu 2	-	1.155.980
Z_1^U : Tối ưu hóa hàm mục tiêu 1 với điều kiện $Z_2 \leq Z_2^L$	50.865.600	-
Z_2^U : Tối ưu hóa hàm mục tiêu 2 với điều kiện $Z_1 \leq Z_1^L$	-	1.221.360

Bảng 2. Giá trị tối ưu của các hàm mục tiêu thu được bằng phương pháp AUGMECON

Grid point	ϵ	Z1 (Tổng chi phí)	Z2 (lượng phát thải CO₂)
GP1	1.155.980	50.865.600	1.155.980
GP2	1.163.244,444	49.451.900	1.163.244
GP3	1.170.508,889	49.261.500	1.170.508,
GP4	1.177.773,333	49.261.500	1.177.773
GP5	1.185.037,778	49.261.500	1.185.037
GP6	1.192.302,222	49.261.500	1.192.302
GP7	1.199.566,667	49.261.500	1.199.566
GP8	1.206.831,111	47.293.600	1.206.831
GP9	1.214.095,556	44.371.900	1.214.095
GP10	1.221.360	41.964.700	1.221.360

Để có được kết quả tốt nhất, tập hợp các giải pháp không bị chi phối nên được sử dụng để tạo thành biểu đồ Pareto. Để làm được điều này, các giải pháp bị chi phối cần được xác định và loại bỏ chúng khỏi tập hợp các giải pháp khả thi. Như được trình

bày trong Bảng 2, GP3, GP4, GP5 và GP6 là các giải pháp bị chi phối vì các điểm này bị GP3 chi phối. Do đó, để có các giải pháp Pareto, những điểm lưới này cần được loại bỏ khỏi tập hợp các giải pháp khả thi. Biểu đồ Pareto thu được từ phương pháp AUGMECON được minh họa trong Hình 1.



Hình 1. Biểu đồ thể hiện giải pháp Pareto

Để có thể chọn ra được phương án tốt nhất từ các phương án trên, phương án Euclidean đã được sử dụng và cho kết quả được trình bày trong Bảng 3. Trong đó f1 và f2 là các giá trị đã được chuẩn hóa theo công thức (26). Khoảng cách tới điểm lý tưởng và điểm tệ nhất lần lượt là EDi+ và EDi- được tính theo công thức (27). Cuối cùng, giá trị C_i nhỏ nhất

sẽ được chọn để làm phương án tối ưu nhất được tính theo (28).

Sau khi tính toán, kết quả cho thấy phương án 8 phương án tốt nhất với C_i là 0,319, phương án này giúp cân bằng giữa tổng chi phí vận chuyển và lượng khí CO₂ phát thải.

Bảng 3. Kết quả của bài báo

Phương án	f1	f2	EDi+	EDi-	C_i
1	1,000	0,000	1,000	1,000	0,500
2	0,841	0,111	0,848	0,903	0,516
3	0,820	0,222	0,849	0,798	0,485
8	0,599	0,778	0,982	0,459	0,319
9	0,270	0,889	0,929	0,738	0,443
10	0,000	1,000	1,000	1,000	0,500

Từ kết quả tối ưu được lựa chọn ra cho thấy hàm mục tiêu Z1 có tổng chi phí là 47.293.600 VND và hàm mục tiêu Z2 có lượng phát thải 1.206.831,111 g/CO₂. Kết quả được đưa ra với 2 chuyến đi và 2 xe được sử dụng, để đáp ứng tổng nhu cầu của 10 cửa hàng. Thứ tự giao hàng và lượng hàng vận chuyển

cho từng sản phẩm và từng cửa hàng được trình bày trong Bảng 4 và Bảng 6.

Thời gian bắt đầu phục vụ tại các địa điểm theo từng xe và chuyến. Đồng thời là các phương tiện vi phạm khung thời gian quy định được tính toán mức phạt nhằm đánh giá mức độ tuân thủ thời gian được trình bày chi tiết trong Bảng 5.

Bảng 4. Thứ tự giao hàng của phương tiện

Kí hiệu xe	Chuyến	Tuyến đường	Sản phẩm	Tổng lượng vận chuyển của xe (kg)
V1	1	0 - 2 - 4 - 0	P1	605
			P2	774
	2	0 - 7 - 0	P1	354
			P2	347
V2	1	0 - 3 - 1 - 6 - 5 - 10 - 0	P1	1629
			P2	1876
	2	0 - 9 - 8 - 0	P1	882
			P2	867

Bảng 5. Thời gian phục vụ và thời gian vi phạm

Xe	Chuyến	Địa điểm	Thời gian bắt đầu phục vụ ($W_{k,r,i}$)	Thời gian đến sớm hơn so với giới hạn	Thời gian đến trễ hơn so với giới hạn
1	1	0	5		
		2	8		
		4	9,5		0,5
	2	0	10,622		
		7	11,807	0,307	
2	1	0	5		
		3	6,16		
		1	7		
		6	7,796		0,204
		5	8,447		
	2	10	9,06		
		0	10,283		
		9	11,5		
		8	12,5		

Bảng 6. Lượng vận chuyển của từng chuyến theo từng sản phẩm và phương tiện

Xe	Chuyến đi	Cửa hàng (i)	Cửa hàng (j)	Sản phẩm	Lượng giao hàng (kg)
V1	1	0	2	P1	605
				P2	774
		2	4	P1	351
				P2	262
		4	0	P1	0
				P2	0
	2	0	7	P1	354
				P2	347
		7	0	P1	0
				P2	0
V2	1	0	3	P1	1629
				P2	1876
		3	1	P1	1277
				P2	1515
		1	6	P1	899
				P2	1290
		6	5	P1	554
				P2	777
		5	10	P1	222
				P2	453
		10	0	P1	0
				P2	0
	2	0	9	P1	882
				P2	867
		9	8	P1	496
				P2	492
		8	0	P1	0
				P2	0

5. KẾT LUẬN

Trong bài báo, một mô hình tối ưu hóa đa mục tiêu đã được phát triển, kết hợp ràng buộc về trọng tải xe và khung thời gian (CVRPSTW). Chuỗi cửa hàng Bách Hóa Xanh được lựa chọn làm ví dụ minh họa cho mô hình này. Kết quả mô phỏng cho thấy mô hình đã xác định được tuyến đường hiệu quả nhất để vận chuyển hàng hóa từ kho Hậu Giang đến 10 cửa hàng Bách Hóa Xanh trong địa bàn quận Ninh Kiều, góp phần giảm thiểu chi phí vận chuyển và lượng khí CO2 thải ra trong chuỗi cung ứng.

Bên cạnh những kết quả đạt được, song vẫn tồn tại một số mặt hạn chế. Cụ thể, phạm vi áp dụng chỉ giới hạn ở tuyến đường từ kho Hậu Giang đến 10

cửa hàng trong quận Ninh Kiều, chưa phản ánh toàn diện chuỗi cung ứng của Bách Hóa Xanh. Hơn nữa, kết quả nghiên cứu chưa được so sánh và đối chiếu với dữ liệu phân phối thực tế. Do đó, trong khuôn khổ nghiên cứu này, mô hình chỉ giải quyết một phần các vấn đề trong chuỗi phân phối và chưa thể coi là giải pháp tối ưu hoàn toàn. Để nâng cao hiệu quả, mô hình cần được mở rộng ra toàn bộ chuỗi cung ứng của Bách Hóa Xanh, đồng thời so sánh kết quả mô phỏng với dữ liệu thực tế để xác minh tính khả thi.

LỜI CẢM Ạ

Nghiên cứu được tài trợ bởi Trường Đại học Cần Thơ, mã số: TSV2025-132.

TÀI LIỆU THAM KHẢO (REFERENCES)

- Ai, H. T. T., Thi, N. T., & Can, N. V. (2019). A multiple objective model for vehicle routing problem with time windows: a case study. *Applied Mechanics and Materials*, 889, 588-596. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.889.588>
- Anh, C. N., & Thao, T. B. (2022). Application of the Tabu Search algorithm in solving the vehicle routing problem. *Journal of Science & Technology*, 38, 37-43.
- Balakrishnan, N. (1993). Simple heuristics for the vehicle routing problem with soft time windows. *Journal of the Operational Research Society*, 44(3), 279-287. <https://doi.org/10.1057/jors.1993.53>
- Clarke, G., & Wright, J. W. (1964). Scheduling of vehicles from a central depot to a number of delivery points. *Operations research*, 12(4), 568-581. <https://doi.org/10.1287/opre.12.4.568>
- Dantzig, G. B., & Ramser, J. H. (1959). The truck dispatching problem. *Management science*, 6(1), 80-91. <https://doi.org/10.1287/mnsc.6.1.80>
- Deb, K., Pratap, A., Agarwal, S., & Meyarivan, T. (2002). A fast and elitist multiobjective genetic algorithm: NSGA-II. *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, 6(2), 182-197. <https://doi.org/10.1109/4235.996017>
- Defra. (2008). *Guidelines to Defra's GHG Conversion Factors: Methodology Paper for Transport Emission Factors*.
- Gassner, T., Perez, C., & Finke, T. (2021). Multi-objective optimization using the augmented ϵ -constraint method: Applications in transportation systems. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 92, 102726. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2021.102726>
- Haimes, Y. Y., Lasdon, L. S., & Wismer, D. A. (1971). On a bicriterion formulation of the problems of integrated system identification and system optimization. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, 1(3), 296-297. <https://doi.org/10.1109/TSMC.1971.4308298>
- Hoa, N. T. X., Anh, V. H., Anh, N. Q., & Ha, N. D. V. (2023, August). Applying genetic algorithm for capacitated vehicle routing problem and vehicle selection-Case study of Vietnam logistics company. In AIP Conference Proceedings (Vol. 2485, No. 1). AIP Publishing. <https://doi.org/10.1063/5.0105455>
- Kuo, Y. (2010). Using simulated annealing to minimize fuel consumption for the time-dependent vehicle routing problem. *Computers & Industrial Engineering*, 59(1), 157-165. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2010.03.012>
- Le, T. D. C., Nguyen, D. D., Oláh, J., & Pakurár, M. (2022). Clustering algorithm for a vehicle routing problem with time windows. *Transport*, 37(1), 17-27. <https://doi.org/10.3846/transport.2022.16850>
- Lin, C., Choy, K. L., Ho, G. T., Chung, S. H., & Lam, H. Y. (2014). Survey of green vehicle routing problem: past and future trends. *Expert Systems with Applications*, 41(4), 1118-1138. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2013.07.107>
- Mavrotas, G. (2009). Effective implementation of the ϵ -constraint method in multi-objective mathematical programming problems. *Applied Mathematics and Computation*, 213(2), 455-465. <https://doi.org/10.1016/j.amc.2009.03.037>
- Nguyen, T. H., Pham, Q. D., & Bui, Q. T. (2022). Modeling and solving a multi-trip multi-distribution center vehicle routing problem with lower-bound capacity constraints. *Computers & Industrial Engineering*, 172, 108597. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2022.108597>
- Tham, T. T., & Trinh, N. Đ. (2023). An optimization model for distribution route in cold chain of agricultural product. *Can Tho University Journal of Science*, 59, 1-8. 10.22144/ctu.jvn.2023.023
- Ubeda, S., Arcelus, F. J., & Faulin, J. (2011). Green logistics at Eroski: A case study. *International Journal of Production Economics*, 131(1), 44-51. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2010.04.041>
- Zadeh, L. (1963). Optimality and non-scalar-valued performance criteria. *IEEE transactions on Automatic Control*, 8(1), 59-60. 10.1109/TAC.1963.1105511
- Zhao, W., Bian, X., & Mei, X. (2024). An Adaptive Multi-Objective Genetic Algorithm for Solving Heterogeneous Green City Vehicle Routing Problem. *Applied Sciences*, 14(15), 6594. <https://doi.org/10.3390/app14156594>