

TIỀM NĂNG ỨNG DỤNG MÔ HÌNH ĐỒ THỊ CÓ TRỌNG SỐ ĐỂ TỐI ƯU HÓA LỘ TRÌNH THU GOM SƠ CẤP CHẤT THẢI RẮN SINH HOẠT: NGHIÊN CỨU TẠI QUẬN SƠN TRÀ, THÀNH PHỐ ĐÀ NẴNG

THE POTENTIAL OF WEIGHTED GRAPH MODELS FOR HOUSEHOLD SOLID WASTE COLLECTION ROUTE OPTIMIZATION: A CASE STUDY IN SON TRA, DANANG

Lê Hoàng Sơn*, Nguyễn Ngọc Phương

Trường Đại học Bách khoa - Đại học Đà Nẵng, Việt Nam¹

*Tác giả liên hệ / Corresponding author: lhson@dut.udn.vn

(Nhận bài / Received: 15/6/2023; Sửa bài / Revised: 04/4/2024; Chấp nhận đăng / Accepted: 06/4/2024)

Tóm tắt - Nghiên cứu tiềm năng ứng dụng đồ thị có trọng số để tối ưu hóa lộ trình thu gom sơ cấp chất thải rắn sinh hoạt tại quận Sơn Trà, thành phố Đà Nẵng. 153 trong số 247 lộ trình thu gom đã được khảo sát bằng thiết bị GPS, sau đó bản đồ số hóa bằng QGIS để phân tích các thông số như chiều dài, vận tốc, thời gian. Từ dữ liệu bản đồ số hóa, đồ thị có trọng số về khoảng cách của mỗi lộ trình được xây dựng để tối ưu hóa lộ trình thu gom. Kết quả cho thấy, việc áp dụng mô hình đồ thị có trọng số để tối ưu hóa lộ trình di chuyển giúp cho chiều dài lộ trình thu gom sau khi tối ưu có giá trị trung bình $1,9 \pm 0,2$ km, thấp hơn 5% - 17% so với quãng đường thực tế là $2,4 \pm 0,3$ km. Kết quả kiểm định Paired sample t-Test so sánh hai trị trung bình của 2 nhóm khảo sát và tối ưu, kết quả cho thấy sự khác biệt có ý nghĩa thống kê.

Từ khóa - Chất thải rắn sinh hoạt; Thu gom chất thải; GIS/GPS; Lộ trình thu gom; Tối ưu hóa

Abstract - This study focuses on the potential of household solid waste collection route optimization by weighted graph models: a case study in Son Tra, Danang. 153 out of 247 collection routes were surveyed by GPS equipment, and then digitized by QGIS to analyze parameters such as length, velocity, and time. From the GIS data, a weighted graph of the distance of each route is constructed to optimize the collection route. The results show that, the application of a weighted graph model to optimize the travel route helps the length of the collection route after optimization to have an average value of 1.9 ± 0.2 km, lower than 5% - 17% compared to the actual distance of 2.4 ± 0.3 km. The Paired sample t-Test results showed that the difference is statistically significant.

Key words - Household solid waste; Waste collection; GIS/GPS; Collection route; Optimization

1. Đặt vấn đề

Tăng trưởng dân số, phát triển kinh tế và đô thị hóa tại các thành phố đã và đang gây ra nhiều áp lực đến quản lý chất thải rắn (CTR) đô thị. Quá trình đô thị hóa tạo ra nhu cầu lớn hơn về tiêu thụ sản phẩm, hàng hóa và dịch vụ, khiến cho CTR không ngừng tăng khối lượng, đa dạng về thành phần, và mức độ nguy hại. Tiêu thụ hàng hóa và sản phẩm tiêu dùng gia tăng, đặc biệt là các sản phẩm đóng gói và sản phẩm có chu kỳ sử dụng ngắn. Văn hóa tiêu dùng hiện đại thường khuyến khích sự tiêu thụ với quy mô lớn và sự đổi mới liên tục, ngày càng tạo ra nhiều CTR hơn, đặc biệt là chất thải rắn sinh hoạt (CTRSH) [1]. CTRSH phát sinh ở Việt Nam hiện nay khoảng 23,6 triệu tấn/năm 35.000 tấn/ngày tại khu vực đô thị và 28.000 tấn/ngày tại khu vực nông thôn, tăng 46% so với năm 2010. Trong đó, khoảng 25% tổng lượng phát sinh tại các thành phố, đô thị lớn như Thành phố Hồ Chí Minh (3,4 triệu tấn/năm), thủ đô Hà Nội (2,4 triệu tấn/năm), Bình Dương (0,97 triệu tấn/năm), Thanh Hoá (0,8 triệu tấn/năm), Hải Phòng (0,7 triệu tấn/năm), Đồng Nai (0,69 triệu tấn/năm), Quảng Ninh (0,56 triệu tấn/năm), Bình Thuận (0,54 triệu tấn/năm) và Đà Nẵng (0,39 triệu tấn/năm) [2]. Theo báo cáo, khoảng 83 - 85% CTR phát sinh tại các đô thị được thu gom và xử lý, còn lại khoảng 15 - 17% bị thải bỏ ra môi trường hoặc xử lý không phù hợp như chôn lấp lộ thiên tại bãi đất, ao hồ hoặc đốt lộ thiên, gây ô nhiễm môi trường nghiêm trọng. Lượng CTRSH không ngừng tăng đã trở thành gánh nặng

với cơ quan quản lý trong việc đảm bảo thu gom và xử lý toàn bộ rác thải.

Quy hoạch tổng thể quốc gia đề ra chỉ tiêu phấn đấu đến năm 2030, tỷ lệ chất thải rắn sinh hoạt đô thị được thu gom, xử lý theo tiêu chuẩn, quy chuẩn đạt 95% [3]. Đối với quản lý môi trường đô thị, việc xã hội hóa công tác thu gom và vận chuyển đã ảnh hưởng tích cực đến tỷ lệ thu gom và vận chuyển CTRSH. Theo Bộ tài nguyên và Môi trường, tỷ lệ thu gom CTRSH đã có cải thiện qua các năm, trung bình từ 78% (năm 2008) tăng lên 92% (năm 2019). Trong đó, tỷ lệ thu gom CTRSH khu vực nội thành các đô thị đặc biệt, đô thị loại I rất cao, từ 95,5% (Cần Thơ) đến 100% (TP. Hồ Chí Minh và Đà Nẵng). Bên cạnh đó, dịch vụ thu gom đã được mở rộng tới các đô thị loại V. Tại các đô thị, đơn vị chức năng tổ chức thu gom tại nhà, thu gom theo cụm dân cư và thu gom tại các vị trí công cộng [2].

Mặc dù, người dân có đóng phí vệ sinh môi trường định kỳ, tuy nhiên khoảng phí này chỉ đủ chi trả khoảng 20 - 25% chi phí thu gom và vận chuyển chất thải rắn sinh hoạt đô thị, phần còn lại từ ngân sách của địa phương, do Ủy ban nhân dân các tỉnh, thành phố xem xét, quyết định, thường từ 48 - 55% chi phí dịch vụ công ích đô thị [4]. Tuy nhiên, vẫn tồn tại hiện tượng mỗi địa phương ban hành một mức phí vệ sinh môi trường khác nhau tạo sự thiếu đồng bộ, thống nhất. Việc áp dụng định mức giá dịch vụ thu gom bằng cơ giới thấp hơn nhiều so với thủ công đã không khuyến khích các doanh nghiệp đầu tư đổi mới công nghệ, thiết bị hiện đại để tăng

¹ The University of Danang - University of Science and Technology, Vietnam (Le Hoang Son, Nguyen Ngoc Phuong)

năng suất, giảm lao động nặng nhọc cho công nhân [5]. Thông thường, tại các khu vực thu nhập thấp, chi phí thu gom, vận chuyển CTRSH thường chiếm 70 – 90% chi phí quản lý CTR đô thị [6]. Do đó, để tăng năng suất, giảm chi phí hoạt động, việc tối ưu hóa các lộ trình thu gom là việc cần thiết đối với đơn vị thu gom, vận chuyển [7].

Việc tối ưu hóa lộ trình đã được áp dụng rộng rãi đối với ngành dịch vụ vận tải, tuy nhiên đối với công tác thu gom CTR đô thị thì vẫn còn hạn chế. Hiện tại, các đơn vị thu gom trên địa bàn thành phố xây dựng lộ trình còn thủ công, chủ yếu dựa vào kinh nghiệm của người lao động, và họ cần am hiểu địa hình, tình hình giao thông tại khu vực phụ trách. Người lao động tự xác định lộ trình làm việc theo thói quen và điều chỉnh dần nên mất nhiều thời gian và không có cơ sở. Mục tiêu chung trong việc quy hoạch lộ trình thu gom là giảm số chuyến (cắt giảm phương tiện, nhân công) cũng như giảm quãng đường di chuyển (tiết kiệm thời gian, nhiên liệu) [8]. Nhiều nghiên cứu chỉ ra rằng, việc áp dụng các phương pháp tối ưu hóa lộ trình thu gom sẽ cải thiện đáng kể năng suất lao động, tiết kiệm thời gian và công sức, tăng tính cạnh tranh giữa các đơn vị thu gom. Các phương pháp tối ưu sử dụng phổ biến như GIS [9]–[14], hoặc đồ thị mô hình có trọng số [15]–[18]. Do đó, mục tiêu của nghiên cứu này là tối ưu hóa lộ trình thu gom sơ cấp chất thải rắn sinh hoạt tại Quận Sơn Trà, Thành phố Đà Nẵng bằng mô hình đồ thị có trọng số.

2. Giải quyết vấn đề

2.1. Phương pháp nghiên cứu

2.1.1. Khu vực nghiên cứu



Hình 1. Khu vực nghiên cứu

Nghiên cứu được tiến hành tại quận Sơn Trà, thành phố Đà Nẵng, phạm vi nghiên cứu được lựa chọn là các khu dân cư có lộ trình thu gom sơ cấp chất thải rắn sinh hoạt (CTRSH) được Xí nghiệp môi trường (XNMT) Sơn Trà (thuộc URENCO Đà Nẵng) quản lý. Hoạt động thu gom CTRSH tại các quận thực hiện qua các phương thức chính bao gồm: thu gom tại cụm dân cư (thùng rác đặt cố định trên đường phố, thùng rác đặt theo giờ), thu gom tại nhà (xe ba gác, xe cuốn ép). Tổng khối lượng chất thải rắn thu gom trên địa bàn quận Sơn Trà khoảng 185 tấn/ngày. Chất thải rắn thu gom ở các phường An Hải Đông, An Hải Bắc, Nại Hiên Đông, Mân Thái trên 24 tấn/ngày, đặc điểm ở các phường này là mật độ dân cư đông, nhiều cơ sở kinh doanh dịch vụ lớn và chợ. Phường An Hải Tây, Phước Mỹ, Thọ Quang có lượng chất thải rắn thu gom dưới 20 tấn/ngày. Tại thời điểm tiến hành nghiên cứu (tháng 3 năm 2023),

XNMT Sơn Trà đang quản lý 28 công nhân phụ trách 247 lộ trình thu gom sơ cấp CTRSH hàng ngày.

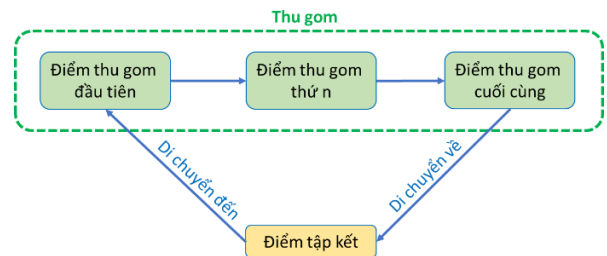
2.1.2. Phương pháp khảo sát

Phương pháp thu thập dữ liệu được thực hiện bằng việc khảo sát trực tiếp tại khu vực nghiên cứu. Dựa trên kế hoạch sản xuất của Xí nghiệp môi trường Sơn Trà, nhóm nghiên cứu liên hệ với công nhân phụ trách để thu thập thông tin liên quan đến thời gian, địa điểm làm việc tại các lộ trình khảo sát. Bắt đầu lộ trình thu gom, điều tra viên sẽ di chuyển theo công nhân bằng phương tiện cá nhân, sử dụng ứng dụng Locus map trên điện thoại thông minh để ghi lại các thông tin liên quan bao gồm: lộ trình khảo sát, tọa độ điểm tập kết (ĐTK), tọa độ điểm bắt đầu (ĐBD), tọa độ điểm kết thúc (ĐKT). Mỗi lộ trình thu gom bao gồm 03 giai đoạn:

Di chuyển đến: bắt đầu từ “điểm tập kết” di chuyển đến “điểm thu gom đầu tiên”.

Thu gom: Bắt đầu từ “điểm thu gom đầu tiên” đến “điểm thu gom cuối cùng”.

Di chuyển về: Bắt đầu từ “điểm thu gom cuối cùng” đến “điểm tập kết”.



Hình 2. Các thành phần của lộ trình thu gom CTRSH

Thời gian khảo sát từ tháng 12 năm 2022 đến tháng 3 năm 2023. Mỗi lộ trình được tiến hành khảo sát lặp lại 3 lần vào các thời điểm khác nhau nhằm đảm bảo tính đại diện. Các bước khảo sát, thu thập và xử lý dữ liệu được thể hiện trong Hình 3.



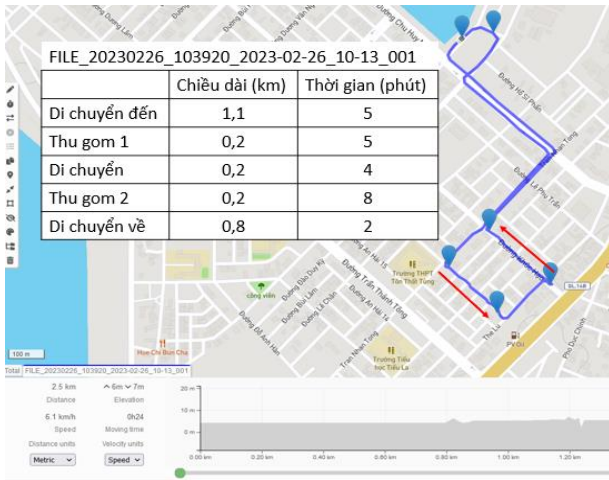
Hình 3. Các bước thu thập và xử lý dữ liệu

2.1.3. Phương pháp xây dựng bản đồ

Thông tin mỗi bản ghi bao gồm lộ trình khảo sát, hình ảnh điểm bắt đầu lộ trình, điểm bắt đầu thu gom, điểm kết thúc thu gom, điểm kết thúc lộ trình, tọa độ GPS, chú thích được lưu dưới định dạng *.JSON (Javascript Object Notation). JSON có định dạng đơn giản, dễ dàng sử dụng và truy vấn hơn XML nên được sử dụng phổ biến để tạo các bản lưu trong cơ sở dữ liệu. Trong nghiên cứu này, hệ tọa độ VN-2000, múi chiếu 3 độ, kinh tuyến trực 107°45' được sử dụng tương ứng với khu vực thành phố Đà Nẵng.

Dữ liệu thông tin được xử lý trên QGIS, khoảng cách, thời gian, vận tốc di chuyển ứng với mỗi giai đoạn được phân tích theo dữ liệu thu thập tại hiện trường. Từ kết quả lộ trình thu thập được trên bản đồ QGIS, nhóm nghiên cứu tiến hành

xây dựng đồ thị có trọng số bao gồm các đỉnh, khoảng cách giữa các đỉnh để phục vụ cho quá trình tối ưu hóa. Hình 4 thể hiện kết quả xử lý trên nền QGIS của dữ liệu khảo sát ngày 26/2/2023 tại khu vực phường Thọ Quang.



Hình 4. Kết quả lộ trình lúc 10:13 26/2/2023

2.1.4. Phương pháp phân tích số liệu

Kết quả phân tích được trình bày với giá trị trung bình và độ lệch chuẩn (Mean ± SD). Phép kiểm định so sánh từng cặp (Paired sample t-Test) được áp dụng để phân tích ảnh hưởng của khối lượng CTRSH đến vận tốc di chuyển đến và đi, cũng như phân tích hiệu quả của việc tối ưu hóa lộ trình thu gom đến quãng đường di chuyển. Để so sánh tốc độ di chuyển giữa giai đoạn di chuyển và giai đoạn thu gom, tác giả sử dụng phương pháp phân tích phương sai. Phương pháp phân tích phương sai cũng được sử dụng để so sánh chiều dài, thời gian, vận tốc của các lộ trình thuộc các phường.

2.2. Đối tượng nghiên cứu

Đối tượng nghiên cứu là lộ trình thu gom sơ cấp CTRSH bằng xe thô sơ tại quận Sơn Trà, thành phố Đà Nẵng. Cỡ mẫu được xác định dựa theo công thức (1), kết quả phân bố cỡ mẫu theo khu vực được trình bày trong Bảng 1. Dựa vào quy mô cỡ mẫu, nhóm nghiên cứu tiến hành lựa chọn ngẫu nhiên các lộ trình thu gom tại mỗi phường. Do đó, việc chọn mẫu đảm bảo tính đại diện, nhất quán cho đối tượng nghiên cứu tại mỗi phường.

$$n = \frac{N}{1+N \times e^2} = \frac{247}{1+247 \times 0,05^2} = 153 \tag{1}$$

Trong đó: n: Cỡ mẫu, 153 lộ trình;

N: Tổng thể số lộ trình, 247 lộ trình;

e: Sai số chuẩn cho phép, chọn 0,05.

Bảng 1. Phân bố cỡ mẫu theo khu vực

Phường	Số lộ trình	Cỡ mẫu
An Hải Bắc	53	33
An Hải Đông	15	9
An Hải Tây	26	16
Mân Thái	42	26
Nại Hiên Đông	36	22
Phước Mỹ	22	14
Thọ Quang	53	33
Tổng	247	153

2.3. Phương tiện nghiên cứu

Điều tra viên sử dụng điện thoại thông minh có kết nối 4G, có camera, có GPS và được cài đặt phần mềm Locus map để thu thập dữ liệu tại hiện trường. Dữ liệu lộ trình khảo sát, vị trí điểm tập kết, điểm bắt đầu, điểm kết thúc được lưu trữ trong bộ nhớ của điện thoại, sau đó được kết nối với máy tính để tiếp tục xử lý trên QGIS.

Dữ liệu về lộ trình, tọa độ được phân tích và trực quan hóa trên phần mềm QGIS. Nhóm nghiên cứu xử lý sơ bộ số liệu với phần mềm MS Excel, sau đó phân tích tương quan và phân tích phương sai trên phần mềm R. Cuối cùng, mô hình tối ưu hóa được thực thi bằng add-ins Open Solver trên phần mềm MS Excel.

2.4. Mô hình đồ thị trọng số

Mô hình đồ thị (Graph, ký hiệu G) có trọng số là một cấu trúc dữ liệu trong đó các cạnh của đồ thị (Edges, ký hiệu E) không chỉ biểu diễn mối quan hệ giữa các đỉnh (Vertices, ký hiệu V) mà còn mang thông tin về mức độ liên kết giữa chúng thông qua trọng số. Trọng số có thể biểu thị các yếu tố như khoảng cách, chi phí, thời gian, hoặc mức độ tương tự giữa các đỉnh. E là tập hợp các cặp (u,v) với u và v là hai đỉnh thuộc V. Bậc của đỉnh v là tổng số cạnh liên thuộc với v và được ký hiệu là deg(v). Trong mạng giao thông, trọng số có thể đại diện cho khoảng cách giữa các địa điểm hoặc thời gian di chuyển giữa chúng. Mô hình đồ thị có trọng số có thể được sử dụng để tối ưu hóa lộ trình di chuyển hoặc dự đoán thời gian đi lại. Để lưu trữ đồ thị và thực hiện các thuật toán, việc biểu diễn, mô tả đồ thị dưới dạng cấu trúc dữ liệu thích hợp là cần thiết, và trong nghiên cứu này, ma trận có trọng số được áp dụng.

Với $G = (V, E)$ là một đơn đồ thị có n đỉnh, được đánh số 1, 2,...n. Khi đó đồ thị có thể biểu diễn bằng một ma trận vuông $X = [x[i,j]]$ cấp n, trong đó:

$x[i,j] = 1$ nếu $(i,j) \in E$: tồn tại quãng đường đi từ điểm i đến điểm j.

$x[i,j] = 0$ nếu $(i,j) \notin E$: không tồn tại quãng đường đi từ điểm i đến điểm j.

Với V_i , giá trị của $x[i,i]$ được đặt bằng 0.

Tương tự, ta có thể biểu diễn đồ thị vô hướng có trọng số theo khoảng cách bằng một ma trận vuông $D = [d[i,j]]$ cấp n, trong đó:

$d[i,j] = d_{ij}$ nếu $(i,j) \in E$: khoảng cách từ điểm i đến điểm j.

$d[i,j] = \infty$ nếu $(i,j) \notin E$: không tồn tại quãng đường từ i đến j.

Với V_i , giá trị của $d[i,i]$ được đặt bằng ∞ .

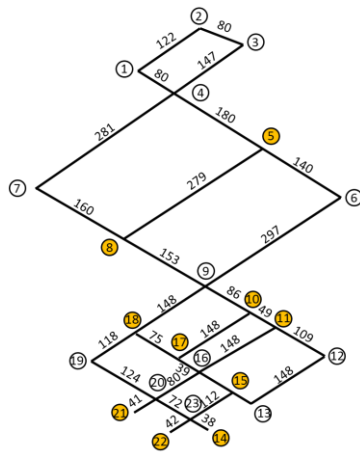
Hàm mục tiêu xác định chiều dài lộ trình di chuyển sẽ là: $f = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n (x_{ij} \times d_{ij})$

Khi đó, để tối ưu hóa lộ trình di chuyển, ta cần tìm cực tiểu của hàm mục tiêu: $f \rightarrow \min$.

Để xác định cực tiểu của hàm mục tiêu, thuật toán Fleury tìm chu trình Euler, thuật toán Floyd tìm đường đi ngắn nhất giữa mọi cặp đỉnh trên đồ thị, ma trận có trọng số theo định lý định lý Goodman và Hedetniemi đã được áp dụng [9].

2.5. Bài toán tối ưu lộ trình thu gom

XNMT Sơn Trà trang bị cho mỗi người công nhân 01 xe thô sơ có thể tích chứa 660L để thực hiện thu gom CTRSH từ các hộ gia đình dọc theo các tuyến đường của quận. Mỗi buổi sáng, xe thu gom xuất phát từ ĐTK, di chuyển đến ĐBD để tiến hành thu gom, sau khi đầy xe tại ĐKT, sẽ di chuyển quay về lại ĐTK để hoàn thành một lộ trình. Yêu cầu của bài toán đòi hỏi xe phải đi qua tất cả các con đường có phát sinh CTRSH, và quay về lại ĐTK. Vì vậy, để tiết kiệm chi phí đi lại, bài toán yêu cầu phải quy hoạch được lộ trình đi chuyển sao cho quãng đường đi chuyển là ngắn nhất.



Hình 5. Bản đồ lộ trình thu gom tại phường Thợ Quang

Bản đồ lộ trình thu gom tại phường Thợ Quang được số hóa bằng ma trận liên thông vô hướng, có trọng số là khoảng cách giữa các đỉnh để biểu diễn các con đường như Hình 5. Các bước tối ưu hóa lộ trình thu gom:

Bước 1: Xác định tất cả các đỉnh bậc lẻ, sử dụng thuật toán Floyd tìm đường đi ngắn nhất giữa mọi cặp đỉnh với nhau.

Bước 2: Xây dựng đồ thị mới là đồ thị đầy đủ với trọng số của mỗi cạnh trên đồ thị đầy đủ là giá trị đường đi ngắn nhất đã tìm được ở Bước 1.

Bước 3: Xác định bộ ghép cực đại có trọng số cực tiểu trên đồ thị đầy đủ.

Bước 4: Sử dụng thuật toán Fleury để kiểm tra chu trình Euler.

3. Kết quả và thảo luận

3.1. Hiện trạng thu gom sơ cấp

Theo kết quả khảo sát tại quận Sơn Trà, mỗi ngày trung bình có khoảng 247 chuyến thu gom CTRSH từ khu dân cư đưa về điểm tập kết, với khối lượng ước tính khoảng 48,9 tấn/ngày. Toàn bộ CTRSH này sau đó được xe cơ giới vận chuyển đến trạm trung chuyển hoặc khu xử lý bãi rác Khánh Sơn. Mỗi sáng, người công nhân bắt đầu chuyến đầu tiên vào lúc 6h30 và kết thúc công việc vào lúc 15h cùng ngày, với khối lượng công việc trung bình khoảng 9 lộ trình. Mỗi lộ trình, người công nhân di chuyển quãng đường có chiều dài trung bình khoảng $2,4 \pm 0,3$ (km) với thời gian trung bình $18,4 \pm 4,3$ (phút), vận tốc di chuyển trung bình $7,7 \pm 1,6$ (km/h), chi tiết được trình bày trong Bảng 2.

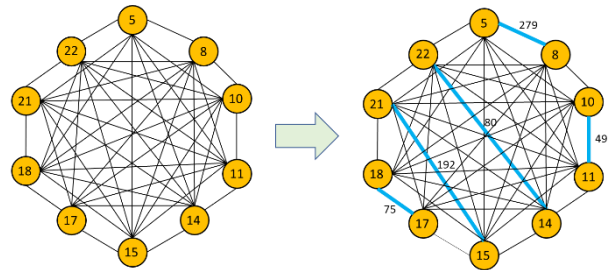
Bảng 2. Thống kê mô tả về lộ trình thu gom sơ cấp

Giai đoạn	Quãng đường (km)	Thời gian (phút)	Vận tốc (km/h)
Di chuyển đến	$1,0 \pm 0,2$	$3,6 \pm 0,9$	$16,3 \pm 2,8$
Di chuyển về	$1,0 \pm 0,2$	$4,0 \pm 1,2$	$16,2 \pm 6,2$
Thu gom	$0,4 \pm 0,1$	$10,8 \pm 3,3$	$2,3 \pm 0,3$
Mỗi lộ trình	$2,4 \pm 0,3$	$18,4 \pm 4,3$	$7,7 \pm 1,6$

Với khối lượng chênh lệch khi di chuyển đến và di chuyển về khoảng 198kg, nhưng vận tốc di chuyển đến và về hầu như không thay đổi, trung bình khoảng 16 km/h, và kết quả kiểm định bằng t-Test paired two samples cho thấy không có sự khác biệt có ý nghĩa thống kê ($T_0=0,056$; $p=0,95$). Tuy nhiên, vận tốc trong quá trình thu gom là $2,3 \pm 0,3$ km/h, nhỏ hơn rất nhiều so với vận tốc di chuyển đến và về $16,3 \pm 4,5$ km/h, và sự khác biệt này có ý nghĩa thống kê khi kiểm định bằng phân tích phương sai ($F_0=46,165$; $p<0,001$). Nhóm nghiên cứu cũng tiến hành phân tích sự khác biệt giữa các lộ trình thuộc các phường khác nhau, tuy nhiên sự khác biệt không có ý nghĩa thống kê ($p>0,05$).

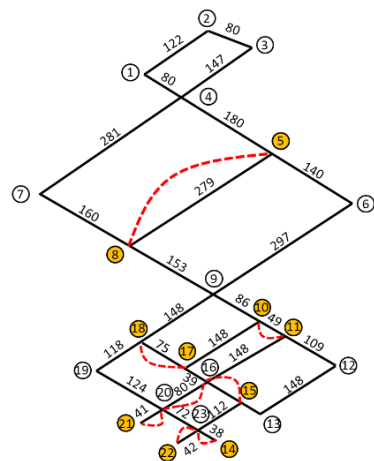
3.2. Tối ưu hóa lộ trình thu gom

Từ đồ thị mô hình hóa lộ trình X tại Hình 6, nhóm nghiên cứu tiến hành xác định các đỉnh các đỉnh bậc lẻ, bao gồm (5), (8), (10), (11), (14), (15), (17), (18), (21), (22), và tính toán xác định bộ ghép cực đại có trọng số cực tiểu. Kết quả trình bày trong Hình 6 cho thấy, có 5 cặp ghép với tổng trọng số là nhỏ nhất, bao gồm: (5 – 8), (10 – 11), (14 – 22), (15 – 21), và (17 – 18).



Hình 6. Xác định bộ ghép cực đại có trọng số cực tiểu

Cuối cùng, dựa vào thuật toán Fleury để duyệt ma trận tìm được ở bước thứ 3, ta có chu trình đường đi Euler là kết quả cần tìm, được trình bày ở Hình 7.



Hình 7. Mô hình đồ thị Euler sau khi tối ưu

Kết quả chiều dài lộ trình thu gom sau khi tối ưu có giá trị 2,05 km, thấp hơn 0,4km (16%) so với quãng đường thực tế là 2,45 km.

Tiến hành tương tự cho các lộ trình thu gom còn lại, sau đó tiến hành kiểm định Paired sample t-Test so sánh hai trị trung bình của 2 nhóm khảo sát và tối ưu, kết quả cho thấy sự khác biệt có ý nghĩa thống kê với $T_0=8,57$; $p<0,001$, kết quả trình bày trong Bảng 3.

Bảng 3. Kết quả t-Test: Paired Two Sample for Means

	Khảo sát	Tối ưu
n	153	153
Lộ trình (km)	2,4 ± 0,3	1,9 ± 0,2
Tỷ lệ rút ngắn lộ trình (%)	5% - 17%	
Hệ số tương quan Pearson	0,98***	
T_0	8,57***	

***: $p<0,001$

Kết quả tối ưu cho thấy, tỷ lệ rút ngắn lộ trình so với thực tế có thể đạt được từ 5% đến 17% tùy vào mỗi lộ trình. Kết quả tương đồng với kết quả nghiên cứu của Navarro và cộng sự thực hiện tại Bolivia với khoảng cách rút ngắn là 7% [16]. Một nghiên cứu khác tại Tunisia cho kết quả tỷ lệ rút ngắn lộ trình có thể đạt được là 4,19% đến 14,68% do Rim Sallem và cộng sự thực hiện [8]. Kinobe và cộng sự đã kết luận đơn vị thu gom CTRSH tại thành phố Kampala có thể giảm từ 2 – 40% quãng đường đi chuyển khi áp dụng tối ưu hóa lộ trình [7].

4. Kết luận

Nghiên cứu này cho thấy, tiềm năng ứng dụng mô hình đồ thị có trọng số tối ưu hóa lộ trình thu gom sơ cấp chất thải rắn sinh hoạt tại Quận Sơn Trà, Thành phố Đà Nẵng, và kết quả cho thấy, đây là một công cụ đề xuất thay đổi lộ trình phù hợp hơn so với thực trạng, góp phần cải thiện quãng đường di chuyển, và có thể giảm thiểu chi phí vận hành.

Kết quả phân tích cho thấy, thời gian trung bình của 1 chuyến thu gom là $18,4 \pm 4,3$ phút, với quãng đường di chuyển trung bình là $2,4 \pm 0,3$ km. Vận tốc trong quá trình thu gom là $2,3 \pm 0,3$ km/h, nhỏ hơn rất nhiều so với vận tốc di chuyển đến và về $16,3 \pm 4,5$ km/h, và sự khác biệt này có ý nghĩa thống kê khi kiểm định bằng phân tích phương sai.

Việc áp dụng mô hình đồ thị có trọng số để tối ưu hóa lộ trình di chuyển giúp cho chiều dài lộ trình thu gom sau khi tối ưu có giá trị trung bình $1,9 \pm 0,2$ km, thấp hơn 5% - 17% so với quãng đường thực tế là $2,4 \pm 0,3$ km. Kết quả kiểm định Paired sample t-Test so sánh hai trị trung bình của 2 nhóm khảo sát và tối ưu, kết quả cho thấy sự khác biệt có ý nghĩa thống kê.

Hạn chế của nghiên cứu lần này mới tập trung vào lộ trình thu gom sơ cấp, chưa tính đến các yếu tố có thể ảnh hưởng đến lộ trình thu gom như mật độ giao thông theo thời gian, thói quen sinh hoạt của người dân và cơ sở hạ tầng của lộ trình thu gom thứ cấp.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] United Nation Environmental Program, "Developing Integrated Solid Waste Management Plan", Osaka, Japan, 2009.
- [2] Ministry of Natural Resource and Environment, "National Environmental Status Report 2019: Domestic solid waste management", Hanoi, Vietnam, 2020.
- [3] National Assembly of Vietnam, "National master plan for the period 2021 - 2030, vision to 2050", Hanoi, Vietnam, 2023.
- [4] Ministry of Construction, "Circular guidance on determination and management of costs of urban public services No.: 14/2017/TT-BXD, 2017.
- [5] Journal of Environment and Urban, "Discussion on costs of collection, transportation, and treatment of household solid waste", quanly.moitruongvadothi.vn, 2022 [online]. Available: <https://quanly.moitruongvadothi.vn/1/13615/Tong-thuat-Toa-dam-Chi-phi-thu-gom-van-chuyen-xu-ly-chat-thai-ran-sinh-hoat.aspx> [Accessed April 24, 2024].
- [6] A. S. Aremu, "In town tour optimization of conventional mode for municipal solid waste collection", *Niger. J. Technol.*, vol. 32, no. 3, pp. 443–449, 2013.
- [7] J. R. Kinobe, T. Bosona, G. Gebresenbet, C. B. Niwagaba, and B. Vinnerås, "Optimization of waste collection and disposal in Kampala city", *Habitat Int.*, vol. 49, pp. 126–137, 2015, doi: 10.1016/j.habitatint.2015.05.025.
- [8] R. Sallem, M. M. Serbaji, A. M. Alamri, A. Kallel, and I. Trabelsi, "Optimal routing of household waste collection using ArcGIS application: a case study of El Bousten district, Sfax city, Tunisia", *Arab. J. Geosci.*, vol. 14, no. 11, 2021, doi: 10.1007/s12517-021-07265-2.
- [9] T. Ogwueleke, "Route optimization for solid waste collection: Onitsha (Nigeria) case study", *J. Appl. Sci. Environ. Manag.*, vol. 13, no. 2, pp. 6–11, 2010, doi: 10.4314/jasem.v13i2.55299.
- [10] S. Sahoo, S. Kim, B. I. Kim, B. Kraas, and A. Popov, "Routing optimization for Waste Management", *Interfaces (Providence)*, vol. 35, no. 1, pp. 24–36, 2005, doi: 10.1287/inte.1040.0109.
- [11] J. Q. Li, D. Borenstein, and P. B. Mirchandani, "Truck scheduling for solid waste collection in the City of Porto Alegre, Brazil", *Omega*, vol. 36, no. 6, pp. 1133–1149, 2008, doi: 10.1016/j.omega.2006.04.007.
- [12] M. K. Ghose, A. K. Dikshit, and S. K. Sharma, "A GIS based transportation model for solid waste disposal - A case study on Asansol municipality", *Waste Manag.*, vol. 26, no. 11, pp. 1287–1293, 2006, doi: 10.1016/j.wasman.2005.09.022.
- [13] P. N. Huyen, "Assessing the Current Situation and Application of Gis Technology in the Management of Domestic Solid Waste Collection and Transportation in Dong Hoi City, Quang Binh Province", Master dissertation, The University of Danang - University of Science and Technology, Danang, Vietnam, 2015.
- [14] P. H. Thang, "Research on GIS application to improve the efficiency of household solid waste collection in Dien Bien Phu city, Dien Bien province", Master dissertation, University of Natural Resource and Environment Hanoi, Hanoi, Vietnam, 2017.
- [15] H. D. Tuyen, "Postman Problem and Application to Find Optimal Garbage Collection Vehicle Route in Dong Hoi City", *Quang Binh University - Journal of Science and Technology*, vol. 4, no. 1, pp. 1–6, 2015.
- [16] N. Ferronato, G. Preziosi, M. A. Gorrity Portillo, E. G. Guisbert Lizarazu, and V. Torretta, "Assessment of municipal solid waste selective collection scenarios with geographic information systems in Bolivia", *Waste Manag.*, vol. 102, pp. 919–931, 2020, doi: 10.1016/j.wasman.2019.12.010.
- [17] J. Janela, M. C. Mourão, and L. Santiago Pinto, "Arc routing with trip-balancing and attractiveness measures - A waste collection case study", *Comput. Oper. Res.*, vol. 147, no. November 2021, p. 105934, 2022, doi: 10.1016/j.cor.2022.105934.
- [18] M. A. Hannan *et al.*, "Solid waste collection optimization objectives, constraints, modeling approaches, and their challenges toward achieving sustainable development goals", *J. Clean. Prod.*, vol. 277, p. 123557, 2020, doi: 10.1016/j.jclepro.2020.123557.