

# CÂN BẰNG THỜI GIAN VÀ CHI PHÍ TRONG THI CÔNG CÁC DỰ ÁN ĐẦU TƯ CÔNG BẰNG THUẬT TOÁN TỐI ƯU HÓA ĐA MỤC TIÊU

BALANCING TIME AND COST IN THE CONSTRUCTION OF PUBLIC INVESTMENT PROJECTS USING MULTI-OBJECTIVE OPTIMIZATION ALGORITHMS

ThS. Khải Quốc Bình<sup>1</sup>, NCS. Trần Nhật Quang<sup>1,2\*</sup>, PGS.TS Trần Đức Học<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Sở Xây dựng Thành phố Hồ Chí Minh, <sup>2</sup>Trường Đại học Bách Khoa, Đại học Quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh

\*Tác giả liên hệ: tnquang.sdh251@hcmut.edu.vn

**Tóm tắt:** Trong giai đoạn hiện nay ở Việt Nam, nguồn lực đầu tư công đang khẳng định vai trò quan trọng trong việc tạo nên tăng trưởng và đây vẫn sẽ là động lực hàng đầu để hiện thực hóa mục tiêu tăng trưởng hai con số giai đoạn 2026 – 2030. Đối với các dự án đầu tư xây dựng sử dụng vốn đầu tư công, việc cân bằng giữa thời gian thi công và chi phí đầu tư đang trở thành một vấn đề quan trọng trong quản lý dự án thay vì chỉ tập trung vào yếu tố chi phí như trước đây. Hai mục tiêu này có mối quan hệ cân bằng phức tạp, đòi hỏi các phương pháp tối ưu hóa hiệu quả ngay từ giai đoạn lập kế hoạch. Nghiên cứu này đề xuất một phương pháp tiếp cận mới dựa trên thuật toán tối ưu hóa đa mục tiêu cộng sinh tìm kiếm (MOSOS) nhằm tối ưu hóa đồng thời thời gian và chi phí trong các dự án đầu tư công. Mô hình được xây dựng để xác định tập nghiệm Pareto tối ưu, phản ánh rõ mối quan hệ cân bằng giữa hai mục tiêu. Phương pháp đề xuất được áp dụng cho một dự án xây dựng thực tế và so sánh với các thuật toán tiến hóa đa mục tiêu phổ biến bao gồm đa mục tiêu bầy đàn, thuật toán di truyền sắp xếp không trội. Kết quả thực nghiệm cho thấy MOSOS có khả năng tìm kiếm hiệu quả và tạo ra tập nghiệm Pareto chất lượng cao, góp phần nâng cao hiệu quả tối ưu hóa thời gian - chi phí trong quản lý dự án đầu tư công.

**Từ khóa:** Tối ưu hóa đa mục tiêu, Cân bằng thời gian - chi phí, Dự án đầu tư công, Thuật toán MOSOS.

## 1. Mở đầu

Thời gian và chi phí là hai yếu tố cốt lõi, gắn bó chặt chẽ và có mối quan hệ tương hỗ trong các dự án xây dựng. Trên thực tế, việc rút ngắn thời gian thi công thường đi kèm với sự gia tăng chi phí thực hiện do yêu cầu bổ sung nguồn lực, thiết bị và công nghệ. Ngược lại, việc cắt giảm chi phí có thể làm kéo dài tiến độ dự án. Do đó, khả năng tối ưu hóa đồng thời hai yếu tố thời gian và chi phí đóng vai trò quyết định đến hiệu quả quản lý dự án cũng như năng lực cạnh tranh của các doanh nghiệp xây dựng. Việc tìm kiếm các giải pháp cân bằng tối ưu giữa thời gian và chi phí vì thế trở thành một vấn đề đặc biệt quan trọng đối với các nhà quản lý xây dựng [1].

**Abstract:** In Vietnam today, public investment plays a crucial role in driving growth and will remain the primary driver for achieving double-digit growth targets in the 2026-2030 period. For construction projects using public investment capital, balancing construction time and investment costs is becoming a critical issue in project management, rather than focusing solely on cost as in the past. These two objectives have a complex trade-off relationship, requiring effective optimization methods from the planning stage. This study proposes a new approach based on the multi-objective symbiotic search optimization (MOSOS) algorithm to simultaneously optimize time and cost in public investment projects. The model is constructed to determine the optimal Pareto solution set, clearly reflecting the trade-off relationship between the two objectives. The proposed method is applied to a real construction project and compared with common multi-objective evolution algorithms, including swarm multi-objective and non-dominant genetic sorting algorithms. Experimental results show that MOSOS is capable of efficiently searching and generating high-quality Pareto solution sets, contributing to improved time-cost optimization in public investment project management.

**Key words:** Multi-objective optimization, Time-cost tradeoff, Public investment project, MOSOS algorithm.

Trong những năm gần đây, nền kinh tế Việt Nam đã đạt được tốc độ tăng trưởng nhanh, kéo theo sự phát triển mạnh mẽ của cơ sở hạ tầng và quá trình đô thị hóa. Đầu tư công vào các dự án xây dựng, đặc biệt trong các lĩnh vực hạ tầng, giáo dục và y tế, ngày càng được chú trọng. Theo báo cáo của Bộ Xây dựng, ngành xây dựng tiếp tục duy trì mức tăng trưởng tích cực, đóng vai trò quan trọng trong phát triển kinh tế - xã hội. Tuy nhiên, nhiều dự án xây dựng, đặc biệt là các dự án sử dụng vốn đầu tư công, vẫn đang đối mặt với những vấn đề tồn tại kéo dài như chậm tiến độ, vượt chi phí, lãng phí nguồn lực và hiệu quả quản lý thấp. Thực trạng này cho thấy nhu cầu cấp thiết phải nghiên cứu và áp dụng các phương pháp tối ưu hóa hiệu quả hơn cho

bài toán cân bằng thời gian và chi phí trong các dự án xây dựng tại Việt Nam [2].

Trong quản lý dự án hiện đại, bài toán cân bằng thời gian - chi phí (Time - Cost Trade-off, TCT) được xem là một bài toán tối ưu hóa đa mục tiêu điển hình [3]. Nhiều phương pháp đã được đề xuất nhằm giải quyết bài toán này, bao gồm các phương pháp tìm kiếm heuristic, các mô hình quy hoạch toán học như quy hoạch tuyến tính, cũng như các thuật toán tối ưu hóa dựa trên nền tảng tiến hóa [4]. Các nghiên cứu trong và ngoài nước đã áp dụng nhiều thuật toán khác nhau như thuật toán đàn kiến, thuật toán di truyền, tối ưu hóa bầy đàn và các biến thể tối ưu hóa đa mục tiêu nhằm tìm kiếm các phương án thi công tối ưu về thời gian và chi phí. Mặc dù đạt được một số kết quả tích cực, các phương pháp truyền thống và một số thuật toán metaheuristic vẫn còn hạn chế khi xử lý các bài toán có không gian tìm kiếm lớn, hàm mục tiêu phi tuyến và nhiều ràng buộc thực tế.

Với sự phát triển của các kỹ thuật tính toán, các thuật toán metaheuristic, đặc biệt là các thuật toán tiến hóa, đã cho thấy hiệu quả vượt trội trong việc giải quyết các bài toán tối ưu hóa đa mục tiêu phức tạp. Trong số đó, thuật toán sinh vật cộng sinh tìm kiếm (Symbiotic Organisms Search - SOS) nổi bật nhờ cấu trúc đơn giản, số lượng tham số điều khiển ít và khả năng hội tụ tốt. Nhiều nghiên cứu đã chứng minh hiệu quả của SOS so với các thuật toán tiến hóa phổ biến khác trong các bài toán kỹ thuật và lập tiến độ [5].

Xuất phát từ những ưu điểm trên, nghiên cứu này mở rộng thuật toán sinh vật cộng sinh tìm kiếm (SOS) từ đơn mục tiêu sang đa mục tiêu và đề xuất thuật toán MOSOS để giải quyết bài toán cân bằng thời gian - chi phí trong các dự án đầu tư công tại Thành phố Hồ Chí Minh. Các đóng góp chính của nghiên cứu gồm: (i) xây dựng mô hình cân bằng thời gian - chi phí có xét đến các yếu tố thực tế của dự án; (ii) phát triển thuật toán tối ưu hóa đa mục tiêu MOSOS nhằm tìm kiếm hiệu quả tập nghiệm Pareto phản ánh mối quan hệ cân bằng giữa thời gian và chi phí; và (iii) đánh giá hiệu quả của thuật toán đề xuất thông qua so sánh với các thuật toán tối ưu hóa đa mục tiêu phổ biến trên các trường hợp nghiên cứu thực tế.

## 2. Tổng quan về các nghiên cứu liên quan

Dự án đầu tư công là các dự án do Nhà nước tổ chức đầu tư nhằm thực hiện các mục tiêu phát triển kinh tế - xã hội, bảo đảm an ninh, quốc phòng, cung cấp dịch vụ công thiết yếu và thúc đẩy phát triển bền vững, đặc biệt trong những lĩnh vực mà khu vực tư nhân ít tham gia. Các dự án này thường

có quy mô lớn, có tác động lan tỏa rộng và góp phần quan trọng vào xây dựng kết cấu hạ tầng, nâng cao chất lượng đời sống, tạo việc làm và thúc đẩy tăng trưởng bền vững.

Nguồn vốn thực hiện đầu tư công bao gồm vốn ngân sách nhà nước và vốn từ nguồn thu hợp pháp của các cơ quan nhà nước, đơn vị sự nghiệp công lập dành để đầu tư theo quy định của pháp luật về đầu tư công. Quá trình chuẩn bị, lập, thẩm định, quyết định đầu tư, triển khai, giám sát và đánh giá hiệu quả dự án phải tuân thủ nghiêm ngặt các quy định của Luật Đầu tư công 2024, Nghị định 85/2025/NĐ-CP quy định chi tiết thi hành một số điều của Luật Đầu tư công và các văn bản quy phạm pháp luật khác có liên quan, trong đó quy định đầy đủ trình tự thủ tục, tiêu chí phân nhóm dự án, thẩm quyền quyết định, thẩm định, đấu thầu, phê duyệt kế hoạch và cơ chế xử lý vi phạm để đảm bảo hiệu quả, minh bạch, trách nhiệm giải trình và phù hợp với chiến lược phát triển kinh tế - xã hội quốc gia.

Bài toán tối ưu cân bằng giữa thời gian và chi phí (Time - Cost Tradeoff - TCT) là một trong những vấn đề cốt lõi trong quản lý dự án xây dựng, có ý nghĩa quan trọng cả về mặt lý thuyết lẫn thực tiễn. Kể từ khi được đề xuất từ những năm 1960, bài toán TCT đã được chứng minh thuộc lớp NP-hard, khiến việc tìm lời giải tối ưu trở nên đặc biệt khó khăn khi quy mô và số biến quyết định của dự án tăng lên. Trong bối cảnh đó, nhiều hướng tiếp cận khác nhau đã được phát triển nhằm mô hình hóa và giải quyết bài toán tối ưu cân bằng giữa thời gian hoàn thành dự án và chi phí thực hiện. Ở giai đoạn đầu, các phương pháp toán học truyền thống được ưu tiên nhằm tìm kiếm lời giải tối ưu chính xác, bao gồm tuyến tính hóa [6], lập trình động [7] và lập trình tuyến tính số nguyên hỗn hợp [8]. Mặc dù có cơ sở lý thuyết chặt chẽ, các phương pháp này nhanh chóng bộc lộ hạn chế khi áp dụng cho các dự án xây dựng thực tế do độ phức tạp tính toán cao, khó mở rộng và kém hiệu quả đối với các bài toán quy mô lớn. Đặc biệt, tính NP-hard của bài toán TCT khiến các phương pháp toán học không còn khả thi khi số lượng phương án thi công và ràng buộc gia tăng.

Để khắc phục những hạn chế đó, các phương pháp heuristic đã được phát triển như một giải pháp thay thế, dựa trên kinh nghiệm và các quy tắc thực nghiệm để tìm kiếm lời giải chấp nhận được trong thời gian tính toán hợp lý. Các nghiên cứu tiêu biểu có thể kể đến như Moselhi [9], Siemens [10] và Pendharkar [11]. Tuy nhiên, các phương pháp heuristic thường chỉ tối ưu hóa một mục tiêu đơn lẻ, không đảm bảo tối ưu toàn cục và không cung cấp được tập hợp các nghiệm Pareto, do đó

hạn chế khả năng hỗ trợ ra quyết định trong các bài toán tối ưu đa mục tiêu về tiến độ. Những khó khăn trong việc xử lý không gian quyết định rời rạc, quy mô lớn và đa mục tiêu đã thúc đẩy sự chuyển dịch mạnh mẽ sang các thuật toán metaheuristic, đặc biệt là các thuật toán tiến hóa. Feng, et al. [12] đã đề xuất một thuật toán di truyền (GA) dựa trên tiếp cận Pareto để tối ưu hóa đồng thời thời gian và chi phí xây dựng, cho phép thu hẹp không gian tìm kiếm và đạt được độ chính xác cao. Hegazy [13] tiếp tục phát triển GA cho bài toán TCT bằng cách tích hợp các yếu tố thực tế như chi phí gián tiếp, thưởng – phạt tiến độ và triển khai mô hình trong phần mềm quản lý dự án thương mại. Bên cạnh GA, nhiều thuật toán tiến hóa và đàn bầy khác cũng được đề xuất nhằm nâng cao hiệu quả tìm kiếm nghiệm Pareto. Yang [14] giới thiệu thuật toán tối ưu hóa bầy đàn ưu tú với cơ chế lưu trữ nghiệm không bị chi phối, cho phép tạo ra toàn bộ Pareto front trong một lần chạy và xử lý linh hoạt các dạng hàm chi phí – thời gian khác nhau. Kalhor và Khanzadi [36] áp dụng phương pháp đàn kiến kết hợp lý thuyết tập mờ để giải quyết bài toán TCT trong điều kiện không chắc chắn, qua đó xem xét mức độ chấp nhận rủi ro của người ra quyết định.

Tại Việt Nam, bài toán tối ưu thời gian - chi phí cũng nhận được sự quan tâm đáng kể. Luân and Nhân [15] đã áp dụng thuật toán đàn kiến kết hợp trọng số thích ứng để giải quyết bài toán TCT đa mục tiêu. Hoàng Nhật Đức [16] đề xuất thuật toán tiến hóa vi phân với cơ chế đột biến cải tiến, cho kết quả vượt trội so với GA. Khánh [17] phát triển mô hình lai GA-PSO nhằm tối ưu đồng thời thời gian, chi phí và nhân lực, đồng thời tích hợp lý thuyết mờ để xử lý tính không chắc chắn trong ước lượng chi phí. Gần đây, Hiếu [18] đã giới thiệu thuật toán Tối ưu hóa đa mục tiêu nhóm xã hội (MOSGO) cho bài toán tối ưu thời gian - chi phí trong các dự án xây dựng có quan hệ tổng quát. Kết quả thực nghiệm cho thấy MOSGO đạt hiệu quả cao hơn so với nhiều thuật toán tiến hóa đa mục tiêu phổ biến, đồng thời cung cấp tập nghiệm Pareto chất lượng phục vụ quá trình ra quyết định.

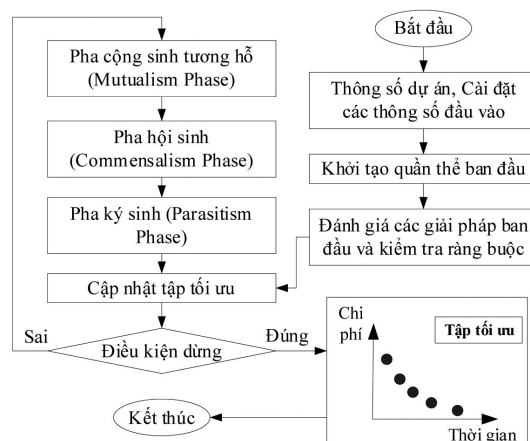
Tổng hợp các nghiên cứu cho thấy bài toán tối ưu cân bằng thời gian và chi phí vẫn là một hướng nghiên cứu trọng tâm trong quản lý dự án xây dựng. Sự phát triển đa dạng của các thuật toán metaheuristic và tiến hóa không chỉ phản ánh tính phức tạp của bài toán mà còn nhấn mạnh tầm quan trọng của việc tìm kiếm các phương pháp tối ưu hiệu quả, linh hoạt và phù hợp với điều kiện thực tế của dự án.

### 3. Đề xuất thuật toán đa mục tiêu

Để giải quyết bài toán cân bằng thời gian - chi

phí trong các dự án xây dựng, nghiên cứu này đề xuất thuật toán tối ưu hóa sinh vật cộng sinh tìm kiếm đa mục tiêu để xác định tập nghiệm Pareto tối ưu cho hai mục tiêu trái ngược là rút ngắn thời gian thi công và giảm thiểu chi phí thực hiện. Sơ đồ tổng quát của thuật toán MOSOS được trình bày trong Hình 1. Thuật toán MOSOS bắt đầu bằng việc thiết lập các thông số điều khiển và khởi tạo quần thể ban đầu, trong đó mỗi cá thể đại diện cho một phương án thi công khả thi của dự án. Các cá thể được mã hóa dựa trên lựa chọn phương án thi công cho từng công việc và phải thỏa mãn các ràng buộc kỹ thuật cũng như mối quan hệ công việc của sơ đồ mạng dự án. Sau đó, các cá thể ban đầu được đánh giá theo hai hàm mục tiêu, bao gồm tổng thời gian hoàn thành dự án và tổng chi phí thực hiện.

Quá trình tìm kiếm của MOSOS được thực hiện thông qua ba pha cộng sinh chính: pha cộng sinh tương hỗ (Mutualism phase), pha hội sinh (Commensalism phase) và pha ký sinh (Parasitism phase). Pha cộng sinh tương hỗ cho phép hai cá thể cùng điều chỉnh vị trí nhằm cải thiện chất lượng lời giải của cả hai. Pha hội sinh giúp một cá thể cải thiện lời giải dựa trên thông tin của cá thể khác mà không gây ảnh hưởng đến cá thể còn lại, qua đó tăng cường khả năng khám phá không gian tìm kiếm. Pha ký sinh tạo ra các cá thể mới bằng cách thay thế một phần cấu trúc lời giải, góp phần duy trì tính đa dạng và tránh rơi vào cực trị cục bộ. Sau mỗi vòng lặp, các nghiệm được đánh giá và sắp xếp theo nguyên tắc không trội, từ đó cập nhật tập nghiệm Pareto tối ưu thể hiện mối quan hệ cân bằng giữa thời gian và chi phí. Thuật toán tiếp tục lặp cho đến khi điều kiện dừng được thỏa mãn. Kết quả cuối cùng là một tập nghiệm Pareto, cung cấp cơ sở khoa học hỗ trợ nhà quản lý dự án lựa chọn phương án thi công phù hợp với các ưu tiên cụ thể về tiến độ và chi phí.



Hình 1. Thuật toán tối ưu hóa đa mục tiêu cho bài toán cân bằng thời gian chi phí

## 4. Trường hợp nghiên cứu

### 4.1. Dữ liệu

Mô hình tối ưu hóa đa mục tiêu được đề xuất được áp dụng để tối ưu hóa đồng thời tiến độ và chi phí của một dự án nhà dân dụng thực tế. Kết quả tối ưu thu được từ mô hình sẽ được so sánh với thuật toán di truyền sắp xếp không trội thế hệ thứ hai. Dự án nghiên cứu là một tiến độ thi công một dự án thi công trường học tại TP.HCM sử dụng vốn đầu tư công bao gồm 38 công việc, trong đó mỗi công việc có hai phương án thi công

tương ứng với chế độ bình thường và chế độ khẩn trương. Bảng 1 các phương án thi công cùng với thời gian và chi phí tương ứng của từng công việc được liệt kê trong. Với hai phương án cho mỗi công việc, tổng số tổ hợp phương án thi công có thể đạt tới 238, dẫn đến không gian tìm kiếm rất lớn và không khả thi để giải bằng phương pháp liệt kê. Do đó, thuật toán cộng sinh tìm kiếm đa mục tiêu được áp dụng nhằm giải quyết bài toán cân bằng giữa thời gian và chi phí trong thi công dự án sử dụng vốn đầu tư công.

**Bảng 1. Dữ liệu công trình**

| STT | Loại công trình: Trường học 5 tầng | Mối quan hệ công tác | Thông thường     |                   | Khẩn trương      |                   |
|-----|------------------------------------|----------------------|------------------|-------------------|------------------|-------------------|
|     |                                    |                      | Thời gian (ngày) | Chi phí (tỷ đồng) | Thời gian (ngày) | Chi phí (tỷ đồng) |
| 1   | Móng                               | -                    | 120              | 20                | 102              | 24                |
| 2   | Tường chắn đất                     | 1                    | 45               | 6                 | 38               | 7,2               |
| 3   | Cột tầng trệt                      | 1FS+3                | 20               | 3                 | 17               | 3,6               |
| 4   | Dầm và sàn tầng trệt               | 3FS+2                | 30               | 5                 | 25               | 6                 |
| 5   | Cột tầng 1                         | 4FS+3                | 18               | 2,8               | 15               | 3,36              |
| 6   | Dầm và sàn tầng 1                  | 5FS+2                | 28               | 4,8               | 23               | 5,76              |
| 7   | Cột tầng 2                         | 6FS+3                | 18               | 2,8               | 15               | 3,36              |
| 8   | Dầm và sàn tầng 2                  | 7FS+2                | 28               | 4,8               | 23               | 5,76              |
| 9   | Cột tầng 3                         | 8FS+3                | 18               | 2,8               | 15               | 3,36              |
| 10  | Dầm và sàn tầng 3                  | 9FS+2                | 28               | 4,8               | 23               | 5,76              |
| 11  | Cột tầng 4                         | 10FS+3               | 18               | 2,8               | 15               | 3,36              |
| 12  | Dầm và sàn tầng 4                  | 11FS+2               | 28               | 4,8               | 23               | 5,76              |
| 13  | Cột tầng 5                         | 12FS+3               | 18               | 2,8               | 15               | 3,36              |
| 14  | Dầm và sàn tầng 5                  | 13FS+2               | 28               | 4,8               | 24               | 5,76              |
| 15  | Cột mái                            | 14FS+3               | 10               | 1,6               | 8                | 1,92              |
| 16  | Dầm và sàn mái                     | 15FS+2               | 20               | 3,8               | 17               | 4,56              |
| 17  | Công tác xây gạch tầng trệt        | 4FS+3                | 22               | 3,2               | 19               | 3,84              |
| 18  | Hệ thống cơ điện (MEP) tầng trệt   | 17FS+2               | 14               | 2,2               | 12               | 2,64              |
| 19  | Hệ thống điện tầng trệt            | 18FS+1               | 12               | 1,6               | 10               | 1,92              |
| 20  | Công tác xây gạch tầng 1           | 6FS+3                | 20               | 3                 | 17               | 3,6               |
| 21  | Hệ thống cơ điện (MEP) tầng 1      | 20FS+2               | 13               | 2                 | 11               | 2,4               |
| 22  | Hệ thống điện tầng 1               | 21FS+1               | 11               | 1,5               | 9                | 1,8               |
| 23  | Công tác xây gạch tầng 2           | 8FS+3                | 20               | 3                 | 17               | 3,6               |
| 24  | Hệ thống cơ điện (MEP) tầng 2      | 23FS+2               | 13               | 2                 | 11               | 2,4               |
| 25  | Hệ thống điện tầng 2               | 24FS+1               | 11               | 1,5               | 9                | 1,8               |
| 26  | Công tác xây gạch tầng 3           | 10FS+3               | 19               | 2,9               | 16               | 3,48              |
| 27  | Hệ thống cơ điện (MEP) tầng 3      | 26FS+2               | 12               | 1,9               | 10               | 2,28              |
| 28  | Hệ thống điện tầng 3               | 27FS+1               | 10               | 1,4               | 8                | 1,68              |
| 29  | Công tác xây gạch tầng 4           | 12FS+3               | 19               | 2,9               | 16               | 3,48              |
| 30  | Hệ thống cơ điện (MEP) tầng 4      | 29FS+2               | 12               | 1,9               | 10               | 2,28              |
| 31  | Hệ thống điện tầng 4               | 30FS+1               | 10               | 1,4               | 8                | 1,68              |
| 32  | Công tác xây gạch tầng 5           | 14FS+3               | 18               | 2,8               | 15               | 3,36              |



tiêu còn hạn chế. MOSOS không chỉ đạt được các nghiệm có chất lượng tốt hơn (chi phí thấp hơn với cùng thời gian hoàn thành), mà còn tạo ra nhiều phương án khả thi hơn cho người ra quyết định. Kết quả so sánh này khẳng định ưu thế của MOSOS trong việc duy trì cân bằng giữa khai thác và khám phá, qua đó nâng cao hiệu quả giải quyết bài toán tối ưu hóa đa mục tiêu cân bằng thời gian và chi phí trong quản lý dự án xây dựng.

### 5. Kết luận

Bài báo đã đề xuất và phát triển thuật toán tối ưu hóa đa mục tiêu sinh vật cộng sinh tìm kiếm (MOSOS) nhằm giải quyết bài toán cân bằng thời gian và chi phí trong các dự án xây dựng sử dụng vốn đầu tư công. Trên cơ sở mô hình hóa bài toán theo hướng đa mục tiêu, thuật toán MOSOS được xây dựng để tìm kiếm tập nghiệm Pareto, phản ánh đầy đủ mối quan hệ cân bằng giữa hai mục tiêu quan trọng và trái ngược là thời gian hoàn thành và chi phí thực hiện dự án. Kết quả áp dụng cho dự án xây dựng thực tế cho thấy MOSOS có khả năng tạo ra tập nghiệm Pareto phân bố rộng, đồng đều và liên tục trên toàn bộ biên đường cong thời gian và chi phí. So sánh với thuật toán NSGA-II cho thấy MOSOS vượt trội cả về chất lượng các giải pháp (chi phí thấp hơn tại cùng mức thời gian) lẫn số lượng và sự đa dạng của các phương án thi công khả thi. Điều này chứng tỏ khả năng cân bằng hiệu quả giữa khai thác và khám phá không gian lời giải của thuật toán đề xuất, đặc biệt trong các bài toán có không gian quyết định lớn và ràng buộc phức tạp.

Tập các giải pháp tối ưu thu được không chỉ có ý nghĩa về mặt toán học mà còn mang giá trị thực tiễn cao, cho phép nhà quản lý dự án linh hoạt lựa chọn phương án thi công phù hợp với điều kiện tài chính, yêu cầu tiến độ và bối cảnh thực tế của dự án đầu tư công. Do đó, MOSOS có thể được xem là một công cụ hỗ trợ ra quyết định hiệu quả trong công tác lập kế hoạch và quản lý dự án xây dựng. Trong các nghiên cứu tiếp theo, thuật toán MOSOS có thể được mở rộng để xem xét thêm các mục tiêu khác như chất lượng, rủi ro, phát thải môi trường hoặc sự không chắc chắn của dữ liệu đầu vào, qua đó nâng cao hơn nữa tính ứng dụng và độ tin cậy của mô hình trong thực tiễn quản lý dự án xây dựng. □

#### Tài liệu tham khảo

- [1] V. Toğan and M. A. Eirgash, "Time-Cost Trade-off Optimization of Construction Projects using Teaching Learning Based Optimization," *KSCE Journal of Civil Engineering*, vol. 23, no. 1, pp. 10-20, 2019/01/01/ 2019.
- [2] T. C. T. Kê, "Báo cáo xu hướng sản xuất kinh doanh ngành

công nghiệp chế biến, chế tạo và xây dựng quý iv năm 2023, dự báo quý i năm 2024," 2024.

- [3] C.-W. Feng, L. Liu, and S. A. Burns, "Using Genetic Algorithms to Solve Construction Time-Cost Trade-Off Problems," *Journal of Computing in Civil Engineering*, vol. 11, no. 3, pp. 184-189, 1997.
- [4] D.-H. Tran, L. Luong-Duc, M.-T. Duong, T.-N. Le, and A.-D. Pham, "Opposition multiple objective symbiotic organisms search (OMOSOS) for time, cost, quality and work continuity tradeoff in repetitive projects," *Journal of Computational Design and Engineering*, vol. 5, no. 2, pp. 160-172, 2017.
- [5] D.-T. Nguyen, L. Le-Hoai, P. Basenda Tarigan, and D.-H. Tran, "Tradeoff time cost quality in repetitive construction project using fuzzy logic approach and symbiotic organism search algorithm," *Alexandria Engineering Journal*, vol. 61, no. 2, pp. 1499-1518, 2022/02/01/ 2022.
- [6] J. E. Kelley, "Critical-Path Planning and Scheduling: Mathematical Basis," *Operations Research*, vol. 9, no. 3, pp. 296-320, 1961/06/01 1961.
- [7] D. R. Robinson, "A Dynamic Programming Solution to Cost-Time Tradeoff for CPM," *Management Science*, vol. 22, no. 2, pp. 158-166, 1975/10/01 1975.
- [8] S. Sakellaropoulos and A. P. Chassiakos, "Project time-cost analysis under generalised precedence relations," *Advances in Engineering Software*, vol. 35, no. 10, pp. 715-724, 2004/10/01/ 2004.
- [9] O. Moselhi, "Scheduling compression using the direct stiffness method," *Can. J. Civ. Engrg*, vol. 20, no. 1, pp. 65-72, 1993.
- [10] N. Siemens, "A simple CPM time-cost tradeoff algorithm," *Management Science*, vol. 17, no. 6, pp. 354-363, 1971.
- [11] P. C. Pendharkar, "Cost minimizing target setting heuristics for making inefficient decision-making units efficient," *International Journal of Production Economics*, vol. 162, pp. 1-12, 2015/04/01/ 2015.
- [12] C.-W. Feng, L. Liu, and S. A. Burns, "Using Genetic Algorithms to Solve Construction Time-Cost Trade-Off Problems," *Journal of Computing in Civil Engineering*, vol. 11, no. 3, July 01, 1997.
- [13] T. Hegazy, "Optimization of construction time-cost trade-off analysis using genetic algorithms," *Canadian Journal of Civil Engineering*, vol. 26, no. 6, pp. 685-697, 1999.
- [14] I.-T. Yang, "Using Elitist Particle Swarm Optimization to Facilitate Bicriterion Time-Cost Trade-Off Analysis," *Journal of Construction Engineering and Management*, vol. 133, no. 7, pp. 498-505, 2007.
- [15] P. H. Luân and D. T. Nhân, "Nghiên cứu ứng dụng thuật toán ACO (ant colony optimization) tối ưu thời gian và chi phí cho dự án xây dựng," *TẠP CHÍ PHÁT TRIỂN KH&CN*, vol. 13, pp. 17-30, 2010.
- [16] N. Q. L. Hoàng Nhật Đức, Phạm Quang Nhật, "Tối ưu hóa tiến độ và chi phí cho dự án xây dựng sử dụng thuật toán tiến hóa vi phân," *Tạp chí Khoa học và Công nghệ - Đại học Duy Tân* vol. 1, no. 14, pp. 135-141, 2015.
- [17] T. Đ. Khánh, "Xây dựng mô hình tối ưu hóa thời gian - chi phí - nhân lực cho dự án xây dựng (Ứng dụng thuật giải GA-PSO và Lý thuyết mờ)," Master, Khoa Kỹ thuật Xây dựng, Đại học Bách Khoa - ĐHQG TP. Hồ Chí Minh, 2014.
- [18] N. T. Hiếu, "Tối ưu thời gian chi phí dự án sử dụng thuật toán tối ưu hóa nhóm xã hội (SGO) và phương pháp ra quyết định đa tiêu chí " Thạc sỹ, Khoa Kỹ thuật Xây dựng, Đại học Bách Khoa - ĐHQG TP. Hồ Chí Minh, 2020.