

PHÁT TRIỂN THUẬT TOÁN LAI GHÉP KIẾN SỰ TỬ (ALO) ĐỂ TỐI ƯU CHI PHÍ LOGISTICS CHO CẤU KIỆN BÊ TÔNG ĐÚC SẴN

Phạm Vũ Hồng Sơn^{a,b}, Huỳnh Trung Hiếu^{a,b,*}

^aKhoa Kỹ thuật Xây dựng, Trường Đại học Bách Khoa TP. Hồ Chí Minh,
268 đường Lý Thường Kiệt, quận 10, TP. Hồ Chí Minh, Việt Nam

^bĐại học Quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh, phường Linh Trung, quận Thủ Đức, TP. Hồ Chí Minh, Việt Nam

Nhận ngày 14/6/2021, Sửa xong 20/8/2021, Chấp nhận đăng 20/8/2021

Tóm tắt

Công trình xây dựng sử dụng cấu kiện bê tông đúc sẵn (BTĐS) đang trở thành xu hướng hàng đầu của ngành Xây dựng thế giới. Trong các khoản chi phí để thực hiện những công trình loại này, thì chi phí logistics cho cấu kiện bê tông đúc sẵn luôn chiếm tỉ trọng lớn. Các nghiên cứu về tối ưu chi phí logistics trước đây chỉ tập trung vào chi phí vận chuyển, chi phí kho bãi mà thiếu đi các yếu tố quan trọng khác như là chi phí mua hàng, quản lý, bốc xếp và lắp đặt. Vì vậy, nghiên cứu này dựa trên phương pháp chi phí dựa trên các hoạt động (Activity-based costing-ABC) để lập ra mô hình tính chi phí logistics cho cấu kiện bê tông đúc sẵn một cách toàn diện hơn. Nghiên cứu phát triển thuật toán lai ghép mới giữa kiến sự tử (ALO) và phương pháp học đối diện (Opposition-based learning), phương pháp đột biến và trao đổi chéo (Mutation and crossover strategy) để tối ưu hóa chi phí dựa trên ABC. Kết quả so sánh đánh giá đã chứng minh thuật toán lai ghép mới có kết quả vượt trội so với thuật toán sói xám GWO, thuật toán tối ưu bầy đàn PSO, thuật toán lai ghép chuồn chuồn – bầy đàn DA-PSO và thuật toán ALO nguyên bản trong bài toán tìm chi phí logistics cho cấu kiện BTĐS.

Từ khóa: thuật toán kiến sự tử ALO; chi phí logistics; tối ưu hóa quá trình vận chuyển; cấu kiện bê tông đúc sẵn; thuật toán tối ưu bầy đàn.

DEVELOPING THE HYBRID ANTLION ALGORITHM (ALO) TO OPTIMIZE LOGISTICS COSTS FOR PRECAST CONCRETE STRUCTURES

Abstract

Precast concrete component utilization for building projects has been considered to become the leading trend in construction industry around the world. The logistics costs for precast concrete elements have usually accounted for a large proportion in whole costs executing projects. According to previous studies of logistics cost optimization that have been focused on the costs of transportation and warehouse, however, other necessary costs have not been examined carefully as costs of purchase, management, installation. Therefore, this study provides the comprehensive model of logistics expenditures for precast concrete structures using the Activity-based costing method. Also, this study develops the ALO algorithm by combining with other algorithms as opposition-based learning, mutation and crossover strategy to optimize costs. The results of the comparison and evaluation have proved that the new hybrid algorithm has superior results compared to the grey wolf algorithm, the particle swarm optimization, the dragonfly - particle swarm algorithm (DA-PSO) in the problem of finding logistics costs for precast concrete structures.

Keywords: Ant Lion Optimizer (ALO); logistics cost; optimize inventory and delivery; precast concrete structures; particle swarm optimization.

[https://doi.org/10.31814/stce.huce\(nuce\)2022-16\(1V\)-05](https://doi.org/10.31814/stce.huce(nuce)2022-16(1V)-05) © 2021 Trường Đại học Xây dựng Hà Nội (ĐHXDHN)

*Tác giả đại diện. Địa chỉ e-mail: huynhtrunghieu112@gmail.com (Hiếu, H. T.)

1. Giới thiệu

Trong thời đại ngày nay, ngành xây dựng đã không ngừng đưa ra những cải tiến, phát minh công nghệ trong nhiều lĩnh vực bao gồm vật liệu, máy móc thiết bị và biện pháp kỹ thuật thi công như: mô hình thông tin công trình (BIM) [1]; bê tông cốt sợi [2]; công nghệ in 3D [3]. Trong đó, thi công công trình lắp ghép cấu kiện bê tông đúc sẵn (BTĐS) đã và đang là xu hướng ở hiện tại, trong tương lai của ngành Xây dựng thế giới [4, 5]. Theo báo cáo của Polaris Market Research (2019) [6], quy mô thị trường BTĐS toàn cầu dự kiến đạt 149,1 tỷ USD vào năm 2026, tăng trưởng với tốc độ tăng trưởng hằng năm kép CAGR (Compounded Annual Growth rate) là 6,6%. Công nghệ thi công công trình bằng cấu kiện BTĐS đem lại nhiều lợi ích về kinh tế, môi trường, xã hội và còn có thể cải thiện độ bền kết cấu công trình nhờ việc tạo ứng suất trước. Các lợi ích có thể kể đến như là: (i) Tốn ít nguồn lực và nhân công làm việc, giảm rủi ro xảy ra tai nạn trên công trường; (ii) chất lượng cấu kiện bê tông được nâng cao và đồng đều; (iii) thời gian thực hiện dự án được rút ngắn; (iv) giảm tác động đến ô nhiễm môi trường. Bên cạnh những ưu điểm thì công nghệ này cũng có những mặt còn hạn chế như: (i) Vì cấu kiện BTĐS thường có kích thước và trọng lượng lớn nên khó khăn trong vận chuyển, lắp đặt tại công trường; (ii) yêu cầu có đội ngũ kỹ sư, công nhân đủ trình độ về kỹ thuật lắp ghép, xử lý mối nối đúng quy trình kỹ thuật; (iii) Dễ dẫn đến sự gián đoạn tại vị trí khớp nối giữa các cấu kiện BTĐS, ảnh hưởng đến khả năng chịu lực và thẩm do nứt.

Để tối ưu được chi phí thực hiện dự án thì việc tối ưu chi phí logistics cho cấu kiện BTĐS là rất quan trọng. Điều này không những giúp tăng tính hiệu quả về tiết kiệm chi phí chung cho dự án mà còn giúp giải quyết các rủi ro kèm theo nếu công tác logistics không được thực hiện tốt như là tiến độ, tiền phạt và chi phí nhân công. Hơn nữa, vấn đề tối ưu chi phí Logistics cần đặt biệt quan tâm hơn ở các dự án có nguồn vốn hạn hẹp, năng suất của nhà máy chế tạo ít, kinh nghiệm quản lý chưa tốt và các dự án ở vị trí đông đúc, diện tích công trường xây dựng bị giới hạn cho việc lưu trữ.

Gần đây có nhiều nghiên cứu về việc áp dụng công nghệ 4.0 và AI (Artificial intelligence) vào quản lý xây dựng như: Phát triển thuật toán chó rừng vằn hồng để tối ưu hóa quá trình vận chuyển [7]; Tối ưu hóa bình đồ công trường sử dụng thuật toán lai ghép vi khuẩn và đàn kiến [8]; Giám sát tiến độ và khối lượng thực tế bằng mô hình 3D trên dữ liệu đám mây thông qua nền tảng Autodesk Forge [9].

Về mô hình tính chi phí logistics cho cấu kiện BTĐS, đã có nhiều nghiên cứu với các mức độ bao quát khác nhau, từ khâu lưu kho ở nhà máy, kho trung gian, đến vận chuyển, bố trí cấu kiện trên công trường và vận chuyển lên cao. Một số nghiên cứu nổi bật như Liu và cs. [10] ứng dụng mô hình thời gian thực được trích xuất từ mô hình thông tin công trình 4D (BIM) để tối ưu quá trình lưu trữ và vận chuyển cấu kiện BTĐS theo thời gian thực. Din và cs. [11] nghiên cứu tối ưu chi phí logistics xây dựng ở Ai Cập theo mô hình kế hoạch cung ứng vật liệu (Construction Logistic Planning). Hsu và cs. [12] đề xuất mô hình toán học để tối ưu kế hoạch logistics cho công trình xây dựng lắp ghép. Hisham và Khaled [13] đã đề xuất một mô hình tối ưu logistics trong xây dựng đa mục tiêu. Tai và cs. [14] đã sử dụng chương trình LINGO 12.0 để tối ưu chi phí logistics và sản xuất cấu kiện BTĐS. By và Choong [15] đã áp dụng phương pháp Just-in-time (JIT) để quản lý kế hoạch vận chuyển cấu kiện BTĐS từ nhà máy đến công trường. Fang và Ng [16] đã lập mô hình tính chi phí logistics cho cấu kiện BTĐS bằng phương pháp tính chi phí dựa trên hoạt động (ABC).

Bên cạnh những đóng góp đáng ghi nhận thì các mô hình chi phí logistics cho cấu kiện BTĐS trong các nghiên cứu trước đây vẫn còn những mặt hạn chế như: (i) chưa xét kỹ đến các yếu tố chi phí cần thiết (mua hàng, bốc xếp, lắp đặt, quản lý, cơ hội); (ii) chỉ trình bày áp dụng giải quyết các tình huống đơn giản; (iii) thiếu các thành phần chi phí logistics tương ứng với mô hình đề xuất; (iv) còn đặt nhiều giả thiết cho bài toán; (v) chưa giải quyết bài toán gồm nhiều nhà máy, kho trung gian, công

trường. Vì vậy, nghiên cứu này đề xuất sử dụng mô hình ước lượng chi phí logistics chi tiết và toàn diện hơn, không chỉ bao gồm chi phí vận chuyển, chi phí lưu trữ và còn tính đến chi phí mua hàng, quản lý, lắp đặt và thi công, dựa trên phương pháp Activity-based costing (ABC).

Để giải quyết mục tiêu tối ưu chi phí logistics, ngày nay các phương pháp giải thuật khám phá (Meta – heuristic) được nhiều nhà nghiên cứu lựa chọn. Các phương pháp giải thuật khám phá có thể cải thiện khả năng tìm kiếm lời giải tối ưu bằng cách tính toán lặp đi lặp lại liên quan đến một tiêu chí nhất định mà không đưa ra quá nhiều giả định về vấn đề tối ưu. Các nghiên cứu trước đây thường sử dụng thuật toán di truyền GA [7–9, 13], thuật toán chuồn chuồn DA [17] để tối ưu chi phí logistics và quá trình sản xuất cấu kiện BTĐS. Các nghiên cứu trước đây vấp phải các hạn chế như: (i) thiếu sự cải tiến, phát triển cho thuật toán gốc nên chưa khắc phục được các hạn chế của thuật toán; (ii) áp dụng phương pháp toán học đòi hỏi nhiều thông tin đầu vào và quá trình xử lý phức tạp; (iii) chưa so sánh, đánh giá thể mạnh với các thuật toán khác; (iv) đặt nhiều giả thiết dẫn đến bài toán mất tính tự nhiên.

Nghiên cứu này áp dụng thuật toán kiến sư tử (ALO), là một thuật toán giải thuật khám phá được giới thiệu vào năm 2015 bởi Mirjalili [15]. Cho đến hiện tại, ALO đã được áp dụng và phát triển trong nhiều lĩnh vực, tuy nhiên chưa được áp dụng vào bài toán tối ưu chi phí logistics. Các nghiên cứu trước đây đã chứng minh ALO có nhiều điểm mạnh, phù hợp để giải quyết các vấn đề tối ưu như thuật toán đơn giản, ít các thông số đầu vào, tốc độ hội tụ cao, khả năng khám phá cục bộ mạnh, quần thể ở vòng lặp tiếp theo được lựa chọn vừa có tính ngẫu nhiên vừa có tính kế thừa giá trị tối ưu ở vòng lặp trước. Tuy nhiên ALO cũng có những điểm yếu cần khắc phục như: khả năng khám phá chưa mạnh mặc dù duy trì sự cân bằng giữa khai thác và khám phá, dễ dẫn đến tối ưu cục bộ khi không gian tìm kiếm lớn, các tham số trong thuật toán qua các lần lặp có xu hướng hội tụ về cùng một giá trị. Đã có một số nghiên cứu đề xuất các cách cải tiến và phát triển thuật toán ALO như: Wang và cs. [16] đã cải tiến ALO bằng các mẫu tìm kiếm đường xoắn ốc (Spiral Complex Path); Tian và cs. [17] đã lai ghép ALO với PSO trong nghiên cứu tìm kiếm thông số hệ thống điều khiển tuabin thủy lực; Zhang và cs. [18] đã chứng minh việc kết hợp phương pháp tìm kiếm hỗn loạn (Chaos search) vào ALO mang lại kết quả tối ưu hơn khi kiểm tra so sánh trên 13 hàm chuẩn; Ba và cs. [19] đã kết hợp phương pháp Lévy và ALO trong bài toán sơ đồ học tập trực giao. Trong nghiên cứu này, để khắc phục các mặt hạn chế, thuật toán ALO được lai ghép với phương pháp học đối diện Opposition-based learning (OBL) [20], phương pháp đột biến và trao đổi chéo Mutation and crossover strategy (MCS) [21], đồng thời thay thế phương pháp lựa chọn bánh xe Roulette bằng phương pháp lựa chọn cạnh tranh Tournament selection (TS) [22]. Hình 3 trình bày về lưu đồ thuật toán lai ghép ALO-TS-OBL-MCS.

2. Phương pháp nghiên cứu

2.1. Thuật toán kiến sư tử (ALO)

Thuật toán ALO bắt chước hành vi thông minh của loài kiến sư tử trong việc săn mồi (thường là kiến) trong tự nhiên. Năm bước chính trong việc săn mồi gồm: *Sự di chuyển ngẫu nhiên của các con mồi; xây dựng bầy; nhốt kiến trong bầy; bắt mồi; xây dựng lại bầy*. Các bước di chuyển ngẫu nhiên của kiến được biểu diễn qua công thức:

$$X(t) = [0, \text{cumsum}(2r(t_1) - 1), \text{cumsum}(2r(t_2) - 1), \dots, \text{cumsum}(2r(t_n) - 1)] \quad (1)$$

trong đó *cumsum* là tổng tích lũy, *n* là số lần lặp tối đa, *t* là vòng lặp (bước di chuyển) hiện tại và *r(t)* là một hàm ngẫu nhiên được định nghĩa như sau:

$$r(t) = \begin{cases} 1 & \text{if } rand > 0.5 \\ 0 & \text{if } rand \leq 0.5 \end{cases} \quad (2)$$

trong đó *rand* là số ngẫu nhiên được tạo ra với phân phối đồng nhất trong khoảng [0, 1].

Để giữ các bước đi ngẫu nhiên của kiến bên trong không gian tìm kiếm, vị trí của kiến được chuẩn hóa bằng phương trình sau:

$$X_i^t = \frac{(X_i^t - a_i) \times (d_i^t - c_i^t)}{(b_i - a_i)} + c_i^t \quad (3)$$

trong đó *a_i*, *b_i* là bước đi ngẫu nhiên nhỏ nhất và lớn nhất của biến thứ *i*; *c_i^t*, *d_i^t* là giá trị nhỏ nhất và lớn nhất của biến thứ *i* tại lần lặp thứ *t*.

Để mô hình hóa các hành vi của kiến trong bầy của kiến sư tử, các phương trình sau đây được đưa ra:

$$c_i^t = Antlion_i^t + c^t \quad (4)$$

$$d_i^t = Antlion_i^t + d^t \quad (5)$$

$$c^t = \frac{c^t}{I}; \quad (6)$$

$$d^t = \frac{d^t}{I}; \quad (7)$$

$$I^t = 10^w \frac{t}{T} \quad (8)$$

trong đó *c^t*, *d^t* là giá trị nhỏ nhất và lớn nhất của tất cả các biến tại lần lặp thứ *t*. *Antlion_i^t* là vị trí của kiến sư tử thứ *i* tại lần lặp thứ *t*. *T* là số lần lặp tối đa. *I* là tỉ số trượt và *w* là hằng số được xác định dựa trên lần lặp hiện tại, *w* = [2, 3, 4, 5, 6] khi *t* lớn hơn [0, 1*T*; 0, 5*T*; 0, 75*T*; 0, 9*T*; 0, 95] một cách tương ứng.

Vị trí kiến sư tử ưu tú (giải pháp tốt nhất) ở mỗi lần lặp được lưu lại và ảnh hưởng đến sự di chuyển của tất cả các con kiến trong các lần lặp. Vì vậy, vị trí mới của các con kiến được thể hiện thông qua phương trình sau:

$$Ant_i^t = \frac{R_A^t + R_E^t}{2} \quad (9)$$

trong đó *R_A^t* là bước đi ngẫu nhiên xung quanh antlion được chọn bằng thuật toán bánh xe roulette ở lần lặp thứ *t*, *R_E^t* là bước đi ngẫu nhiên quanh con kiến sư tử ưu tú ở lần lặp thứ *t* và *Ant_i^t* chỉ ra vị trí của con kiến thứ *i* ở lần lặp thứ *t*.

Sau khi tiêu thụ con mồi, kiến sư tử cập nhật lại vị trí mới để tăng cơ hội bắt được con mồi mới theo phương trình sau:

$$Antlion_i^t = Ant_i^t \quad \text{nếu} \quad f(Ant_i^t) > f(Antlion_i^t) \quad (10)$$

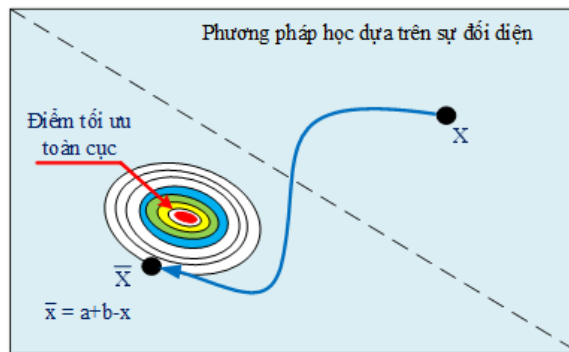
trong đó *t* là lần lặp hiện tại, *Antlion_i^t* là vị trí của antlion thứ *i* ở lần lặp thứ *t*, *Ant_i^t* là vị trí của kiến thứ *i* ở lần lặp thứ *t* và *f* là hàm thích nghi.

2.2. Phương pháp học dựa trên sự đối diện - Opposition-based learning (OBL)

Khái niệm về phương pháp học dựa trên sự đối diện và các ứng dụng của nó đã được Tizhoosh giới thiệu vào năm 2005 [23]. Cho $P(x_1, x_2, \dots, x_n)$ là một điểm trong không gian n chiều, $x_i \in [a_i, b_i], \forall i \in \{1, 2, \dots, n\}$. Điểm đối diện của P được định nghĩa là $\bar{P}(\bar{x}_1, \bar{x}_2, \dots, \bar{x}_n)$, trong đó:

$$\bar{x}_n = a_i + b_i - x_i$$

Hình 1 mô tả điểm đối diện \bar{X} của điểm X trong không gian tìm kiếm. Giả định $f(x)$ là một hàm số đo lường sự tối ưu của giải pháp. Nếu $f(\bar{P}) \geq f(P)$, thì điểm P có thể được thay thế bằng \bar{P} ; nếu không chúng ta tiếp tục với P .



Hình 1. Phương pháp học dựa trên sự đối diện OBL [24]

2.3. Phương pháp đột biến và trao đổi chéo - Mutation and crossover strategy (MCS)

Mutation và crossover là thuật toán khai thác thông dụng trong các giai đoạn của quá trình tối ưu hóa. Mỗi $x_i = \{x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{in}\}$ là một vectơ n hướng (dimensions).

Bước 1: Mutation – đột biến. Tạo ra một vector đột biến u_i bằng cách lựa chọn các thành phần ngẫu nhiên từ các vector x_a, x_b, x_c ($a \neq b \neq c \neq i$). Công thức như sau:

$$u_i = x_a + F(x_b - x_c) \quad (11)$$

trong đó F là số ngẫu nhiên, thể hiện mức độ kích thích xáo trộn của đột biến.

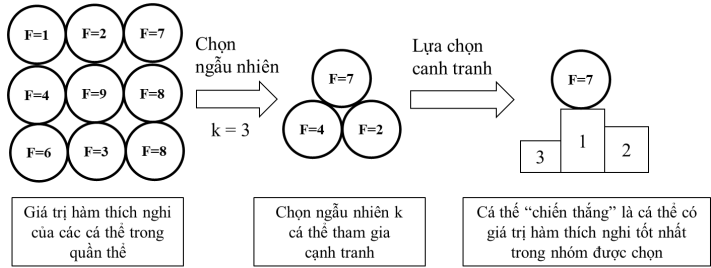
Bước 2: Crossover – đổi chéo. Tạo ra một vector thử nghiệm v_i bằng việc sử dụng một trao đổi chéo với vector đột biến. Vector thử nghiệm được tạo ra bằng cách lựa chọn ngẫu nhiên các thành phần từ vector u_i và vector mục tiêu x_i dựa trên hệ số xác suất p_c .

$$v_{ij} = \begin{cases} u_{ij}, & rand \leq p_c \text{ hoặc } j = j_o \\ x_{ij}, & \text{ngược lại} \end{cases} \quad (12)$$

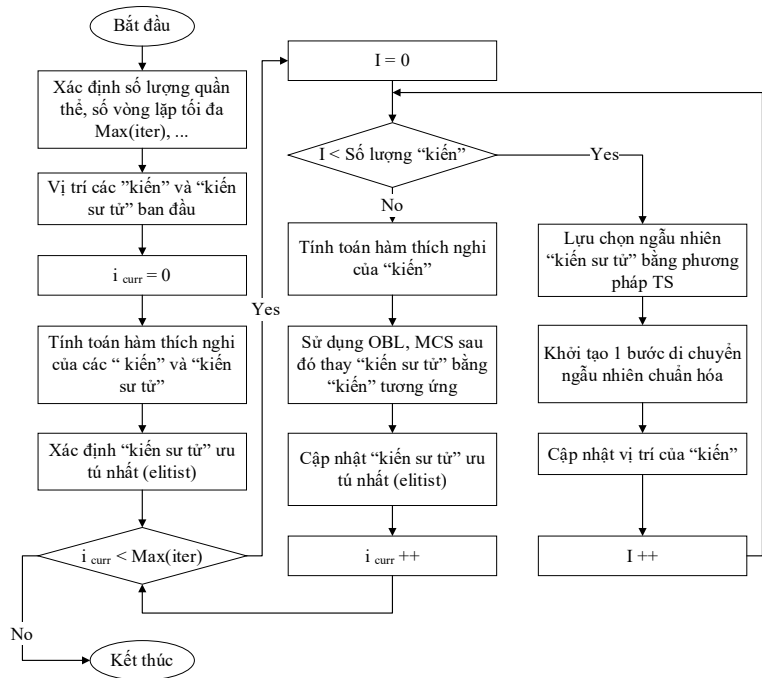
trong đó p_c là hệ số xác suất kiểm soát sự đa dạng của quần thể và làm giảm nguy cơ tối ưu cục bộ (trong nghiên cứu này lấy $p_c = 0,1$); j_o là một chỉ số thuộc $[1, 2, \dots, n]$ nhằm đảm bảo vector v_i có chứa ít nhất một thành phần từ vector đột biến u_i .

2.4. Phương pháp lựa chọn cạnh tranh - Tournament selection (TS)

Trong thuật toán ALO, tại bước lựa chọn kiến sư tử antlion, phương pháp bánh xe roulette sẽ được thay thế bằng phương pháp lựa chọn cạnh tranh. Phương pháp lựa chọn cạnh tranh sẽ tiến hành chọn ngẫu nhiên k phần tử và so sánh giá trị hàm mục tiêu. Phần tử nào có giá trị hàm mục tiêu tốt hơn sẽ được chọn (Hình 2). Phương pháp này giúp tăng nhanh khả năng tìm kiếm giá trị tối ưu của thuật toán ALO.



Hình 2. Mô phỏng một ví dụ về phương pháp lựa chọn cạnh tranh



Hình 3. Lưu đồ thực hiện thuật toán lai ghép ALO với TS, OBL, MCS

2.5. Mô hình logistics cho cấu kiện bê tông đúc sẵn

Tổng chi phí logistics xây dựng được tính toán dựa trên khái niệm của phương pháp ABC. Khi các nguồn lực, tài nguyên cho từng hoạt động logistics được xác định, chi phí logistics có thể được xác định dựa trên phương trình như sau:

$$K_L = K_P + K_{S1} + K_{S2} + K_{T1} + K_{T2} + K_{LF} + K_{S3} \tag{13}$$

với:

$$K_P = U_{pay} \times T_{work} + U_{depreciation} \times C_{contract} + U_{traffic} \times C_{contract} = FC_P \quad (14)$$

$$K_{S1} = FC_{S1} + \sum_{f=1}^F \sum_{t=1}^{T+P} \sum_{e=1}^E (R_{depreciation} + R_{administration} + R_{opportunity}) \times Q_{t,f,e} \quad (15)$$

$$FC_{S1} = \sum_{f=1}^F [(U_{pay} \times Q_{labor} + U_{rent} \times Q_{equip}) \times (T + P)] \quad (16)$$

$$K_{S2} = \sum_{t=1}^{T+P} \sum_{w=1}^W \sum_{e=1}^E (R_{rent} + R_{opportunity}) \times Q_{t,w,e} \quad (17)$$

$$K_{T1} = FC_{T1} + \sum_{t=1}^{P+T} \sum_{f=1}^F \sum_{w=1}^W R_{pay} \times \frac{d_{t,f,w,e}}{NL_{f,w}} \times D_{f,w} \quad (18)$$

$$K_{T2} = FC_{T2} + \sum_{t=1}^T \sum_{w=1}^W \sum_{s=1}^S \left(R_{pay} \times \frac{d_{t,w,s,e}}{NL_{w,s}} \times D_{w,s} + R_{penalty1} \times P_{delay} \times \frac{d_{t,w,s,e}}{NL_{w,s}} \right) \\ + \sum_{t=1}^T \sum_{w=1}^W \sum_{s=1}^S \sum_{e=1}^E R_{penalty2} [N_{t,s,e} - d_{t,w,s,e} | N_{t,s,e} > d_{t,w,s,e}] \quad (19)$$

$$FC_{T1} = [(U_{pay,driver} + U_{rent}) \times Q_{driver} + U_{depreciation} \times Q_{mat} + U_{pay,ins} \times Q_{ins}] \times (P + T) \quad (20)$$

$$FC_{T2} = [(U_{pay,driver} + U_{rent}) \times Q_{driver} + U_{depreciation} \times Q_{mat} + U_{pay,ins} \times Q_{ins}] \times T \quad (21)$$

$$K_{LF} = \sum_{s=1}^S (U_{pay} + U_{rent} + U_{depreciation}) \times Q = FC_{LF} \quad (22)$$

$$K_{S3} = \sum_{t=1}^T \sum_{s=1}^S \sum_{e=1}^E (R_{administration} + R_{depreciation} + R_{opportunity}) \times Q_{t,s,e} \quad (23)$$

trong đó:

- K_L : Chi phí logistics cho cấu kiện bê tông đúc sẵn;
- K_P, K_{S1} : Chi phí mua hàng và Chi phí lưu trữ tại nhà máy;
- K_{S2} : Chi phí lưu trữ tại kho trung gian;
- K_{S3} : Chi phí lưu trữ tại công trường;
- K_{T1}, K_{T2} : Chi phí vận chuyển từ đế kho trung gian, đến công trường;
- K_{LF} : Chi phí vận chuyển, bốc xếp và lắp ghép tại công trường;
- FC_P, FC_{LF} : Chi phí cố định trong K_P , chi phí cố định trong K_{LF} ;
- FC_{S1}, FC_{S2} : Chi phí cố định trong K_{S1} và K_{S2} ;
- FC_{T1}, FC_{T2} : Chi phí cố định trong K_{T1} và K_{T2} ;
- T, P : Lần lượt là thời gian thi công công trình và thời gian nhà máy sản xuất cấu kiện trước khi thi công;
- t : $t = [1, 2, \dots, T + P]$ biểu thị ngày thứ t ;
- e : $e = [1, 2, \dots, E]$ biểu thị các loại cấu kiện;
- f : $f = [1, 2, \dots, F]$ biểu thị các nhà máy;
- w : $w = [1, 2, \dots, W]$ biểu thị các kho trung gian;

- s : $s = [1, 2, \dots, S]$ biểu thị các công trường;
- Q : Tổng số lượng cầu kiện BTĐS cần có trong dự án;
- $Q_{t,f,e}$: Số lượng cầu kiện loại e được lưu trữ ở nhà máy f vào ngày thứ t ;
- $Q_{t,w,e}$: Số lượng cầu kiện loại e được lưu trữ ở nhà kho w vào ngày thứ t ;
- $Q_{t,e,e}$: Số lượng cầu kiện loại e được lưu trữ ở công trường s ngày thứ t ;
- $D_{f,w}, D_{w,s}$: Là khoảng cách từ nhà máy đến kho và từ kho đến công trường;
- $NL_{w,s}$: Lần lượt là số lượng cầu kiện mà một xe tải có thể vận chuyển từ nhà máy đến kho và từ kho đến công trường;
- $R_{penalty1}$: Mức phạt do hàng đến trễ;
- $R_{penalty2}$: Mức phạt do thiếu hàng;
- $d_{t,f,w,e}$: Số lượng cầu kiện loại e được vận chuyển từ công trường f đến kho trung gian w vào ngày thứ t ;
- $d_{t,w,s,e}$: Số lượng cầu kiện loại e được vận chuyển từ kho trung gian w đến công trường s vào ngày thứ t ;
- $N_{t,s,e}$: Nhu cầu sử dụng cầu kiện loại e tại công trường s vào ngày thứ t ;
- P_{delay} : Xác suất xe giao hàng đến công trường bị trễ;
- U_{pay} : Mức lương nhân viên, nhân công;
- U_{rent} : Mức giá thuê máy móc thiết bị, xe tải;
- T_{work} : Thời gian làm việc;
- $U_{depreciation}$: Mức khấu hao máy móc thiết bị trong chi phí mua sắm, vận chuyển;
- $C_{contract}$: Giá theo hợp đồng;
- $U_{traffic}$: Mức chi phí đi lại;
- $R_{administration}$: Mức lương cho nhân viên quản lý;
- $R_{depreciation}$: Mức khấu hao dụng cụ, thiết bị phụ trợ ;
- $R_{opportunity}$: Mức chi phí cơ hội;
- R_{rent} : Mức thuê kho bãi tại kho trung gian;
- Q_{labor}, Q_{equip} : Số lượng nhân công và máy móc thiết bị;
- Q_{driver} : Số lượng tài xế, xe tải;
- Q_{mat} : Số lượng vật tư phụ trợ trong vận chuyển;
- Q_{ins} : Số lượng nhân viên nghiệm thu đầu vào;
- $U_{pay,driver}$: Mức lương tài xế;
- $U_{pay,ins}$: Mức lương nhân viên nghiệm thu;
- R_{pay} : Mức chi phí nhiên liệu;

Tùy thuộc vào các hoạt động được sử dụng trong quá trình logistics, các nguồn lực, tài nguyên được sử dụng sẽ khác nhau, có thể được chia thành năm loại: Nhân công; Vật tư/vật liệu; Máy móc thiết bị; Cơ sở vật chất; Tài sản và vốn. Tổng chi phí logistics xây dựng được tính toán dựa trên phương pháp ABC như được xác định trong Bảng 1 đến Bảng 5.

Bảng 1. Các yếu tố trong chi phí mua sắm [16]

| Hoạt động | Loại | Tài nguyên | Chi phí tài nguyên | Chi phí vận hành |
|-----------|------------------|---|--------------------|--|
| | Nhân công | Nhân viên | Mức lương | Mức lương \times thời gian làm việc |
| Mua hàng | Máy móc thiết bị | Máy in, giấy, điện thoại, máy tính, ... | Mức khấu hao | Mức khấu hao \times giá hợp đồng |
| | Vốn | Chi phí đi lại | Mức chi phí đi lại | Mức chi phí đi lại \times giá hợp đồng |

Bảng 2. Các yếu tố trong chi phí lưu trữ tại kho trung gian [16]

| Hoạt động | Loại | Tài nguyên | Chi phí tài nguyên | Chi phí vận hành |
|--------------------------------|------|--|--------------------|---|
| Lưu trữ tại nhà kho trung gian | Vốn | Thuê | Mức thuê | Mức thuê \times số lượng lưu trữ \times thời gian lưu trữ |
| | | Chi phí cơ hội bị đóng băng trong hàng tồn kho | Mức chi phí cơ hội | Mức chi phí cơ hội \times số lượng lưu trữ \times thời gian lưu trữ |

Bảng 3. Các yếu tố trong chi phí lưu trữ tại nhà máy [16]

| Hoạt động | Loại | Tài nguyên | Chi phí tài nguyên | Chi phí vận hành |
|-----------------------------|--|-----------------------------------|---|--|
| Lưu trữ tại kho bãi nhà máy | Nhân công | Công nhân | Mức lương | Mức lương \times Tổng số lượng |
| | | Người quản lý | Mức lương | Mức lương quản lý \times số lượng lưu trữ \times thời gian lưu trữ |
| | Máy móc thiết bị | Xe tải xử lý, vận chuyển | Mức giá thuê | Mức giá thuê \times tổng số lượng |
| | | Dụng cụ thiết bị bằng sắt (xử lý) | Mức khấu hao | Mức khấu hao \times tổng số lượng |
| | Vật tư | Gỗ chèn | Mức khấu hao | Mức khấu hao \times số lượng lưu trữ \times thời gian lưu trữ |
| Vốn | Chi phí cơ hội bị đóng băng trong hàng tồn kho | Mức chi phí cơ hội | Mức chi phí cơ hội \times số lượng lưu trữ \times thời gian lưu trữ | |

Bảng 4. Các yếu tố trong chi phí vận chuyển [16]

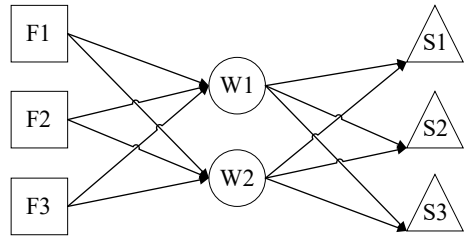
| Hoạt động | Loại | Tài nguyên | Chi phí tài nguyên | Chi phí vận hành |
|------------|------------------|------------------|--------------------|--|
| Vận chuyển | Nhân công | Tài xế | Mức lương | Mức lương \times tổng số lượng \times thời gian làm việc |
| | | Người nghiệm thu | Mức lương | Mức lương \times số lần giao hàng |
| | Máy móc thiết bị | Xe tải | Mức giá thuê | Mức giá thuê \times tổng số lượng \times thời gian thuê |
| | Vật tư | Gỗ chèn | Mức khấu hao | Mức khấu hao \times Tổng số lượng |
| | | Vật tư sắt | Mức khấu hao | Mức khấu hao \times Tổng số lượng |
| | Nhiên liệu | Xăng, dầu | Mức giá | Mức giá \times khoảng cách |
| | Vốn | Tiền phạt | Mức phạt | Mức phạt \times xác suất trễ \times số chuyến |

Bảng 5. Các yếu tố trong chi phí bốc xếp, lắp ghép và lưu trữ trong công trường [16]

| Hoạt động | Loại | Tài nguyên | Chi phí tài nguyên | Chi phí vận hành |
|-----------------------------------|------------------|----------------|--------------------|---|
| Đưa cầu kiện lên cao, lắp cố định | Nhân công | Công nhân | Mức lương | Mức lương \times tổng số lượng |
| | Máy móc thiết bị | Cầu tháp | Mức giá thuê | Giá thuê \times tổng số lượng |
| | Vật tư | Vật tư sắt | Mức khấu hao | Mức khấu hao \times tổng số lượng |
| Lưu trữ trên công trường | Vật tư | Gỗ chèn | Mức khấu hao | Mức khấu hao \times số lượng lưu trữ \times thời gian lưu trữ |
| | Vốn | Chi phí cơ hội | Mức chi phí cơ hội | Mức chi phí cơ hội \times số lượng lưu trữ \times thời gian lưu trữ |

3. Đánh giá mô hình toán

Trường hợp nghiên cứu được đề ra với dự án gồm 3 nhà máy sản xuất (F1, F2, F3), 2 kho trung gian (W1, W2) và 3 công trường (S1, S2, S3) (Hình 4). Các giả thiết được đặt ra: (i) Chỉ xem xét một loại cấu kiện (tham số loại cấu kiện e được bỏ qua); (ii) Các nhà kho có thể nhận hàng từ tất cả nhà máy và cung cấp đến tất cả công trường; (iii) Các nhà máy vận chuyển cấu kiện BTĐS đến các kho trung gian hàng ngày với số lượng cố định cho đến khi đủ số lượng cần giao; (iv) kế hoạch vận chuyển đến công trường theo từng khoảng thời gian cố định và số lượng được giao mỗi lần bằng tổng nhu cầu sử dụng; (v) Để đơn giản trong giải toán các chi phí cố định sẽ được lược bỏ. Các thông số đầu vào của bài toán được trình bày trong Bảng 6 đến Bảng 13.



Hình 4. Sơ đồ các nhà máy, kho trung gian, công trường

Bảng 6. Nhu cầu sử dụng cấu kiện BTĐS hàng ngày tại công trường S1

| | | | | | | | | | | | | | | |
|---------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| Ngày | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 |
| Nhu cầu | 9 | 9 | 9 | 9 | 9 | 9 | 9 | 21 | 15 | 15 | 12 | 12 | 12 | 12 |
| Ngày | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 |
| Nhu cầu | 12 | 12 | 12 | 14 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 13 | 13 | 13 | 7 |
| Ngày | 29 | 30 | 31 | 32 | 33 | 34 | 35 | 36 | 37 | 38 | 39 | 40 | 41 | 42 |
| Nhu cầu | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 |

Bảng 7. Nhu cầu sử dụng cấu kiện BTĐS hàng ngày tại công trường S2

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| Ngày | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 |
| Nhu cầu | 4 | 4 | 4 | 4 | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 | 10 | 10 | 10 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 |
| Ngày | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 31 | 32 | 33 | 34 | 35 | 36 | 37 | 38 |
| Nhu cầu | 8 | 14 | 14 | 14 | 14 | 14 | 14 | 14 | 14 | 14 | 14 | 14 | 14 | 14 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 |
| Ngày | 39 | 40 | 41 | 42 | 43 | 44 | 45 | 46 | 47 | 48 | 49 | 50 | 51 | 52 | 53 | 54 | 55 | 56 | 57 |
| Nhu cầu | 10 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 |
| Ngày | 58 | 59 | 60 | 61 | 62 | 63 | 64 | 65 | 66 | 67 | 68 | 69 | 70 | 71 | 72 | | | | |
| Nhu cầu | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 6 | 6 | 6 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | | | | |

Bảng 8. Nhu cầu sử dụng cầu kiện BTĐS hàng ngày tại công trường S3

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| Ngày | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 |
| Nhu cầu | 4 | 4 | 4 | 4 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 |
| Ngày | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 31 | 32 | 33 | 34 | 35 | 36 | 37 | 38 | 39 | 40 |
| Nhu cầu | 8 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 14 | 14 | 14 | 14 | 14 | 14 | 14 | 14 | 14 | 14 | 16 |
| Ngày | 41 | 42 | 43 | 44 | 45 | 46 | 47 | 48 | 49 | 50 | 51 | 52 | 53 | 54 | 55 | 56 | 57 | 58 | 59 | 60 |
| Nhu cầu | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 12 | 12 | 12 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 |
| Ngày | 61 | 62 | 63 | 64 | 65 | 66 | 67 | 68 | 69 | 70 | 71 | 72 | 73 | 74 | 75 | 76 | 77 | | | |
| Nhu cầu | 8 | 8 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 4 | 3 | 3 | 3 | | | |

Bảng 9. Năng suất tại các nhà máy

| Nhà máy | Năng suất |
|---------|-----------|
| F1 | 17 |
| F2 | 12 |
| F3 | 19 |

Bảng 10. Điều kiện lưu trữ tối đa tại các nhà máy, nhà kho, công trường

| | Số cầu kiện lưu trữ tối đa |
|-------------------|----------------------------|
| Nhà máy F3 | 100 |
| Kho trung gian W2 | 600 |
| Công trường S2 | 100 |
| Công trường S3 | 480 |

Bảng 11. Các thông số về chi phí lưu trữ được áp dụng trong trường hợp nghiên cứu

| Thông số | Diễn tả | Giá trị (USD/cầu kiện) |
|--|--|------------------------|
| $R_{administrationF1} + R_{depreciationF1} + R_{dopportunityF1}$ | Chi phí quản lý tại nhà máy F1 + Chi phí khấu hao tại nhà máy F1+ Chi phí cơ hội tại nhà máy F1 | 730 |
| $R_{administrationF2} + R_{depreciationF2} + R_{dopportunityF2}$ | Chi phí quản lý tại nhà máy F2 + Chi phí khấu hao tại nhà máy F2 + Chi phí cơ hội tại nhà máy F2 | 900 |
| $R_{administrationF3} + R_{depreciationF3} + R_{dopportunityF3}$ | Chi phí quản lý tại nhà máy F3 + Chi phí khấu hao tại nhà máy F3 + Chi phí cơ hội tại nhà máy F3 | 750 |
| $R_{opportunityW} + R_{rentW}$ | Chi phí cơ hội tại nhà kho W1, W2 + Chi phí cho thuê tại nhà kho W1, W2 | 910 |
| $R_{administrationS1} + R_{depreciationS1} + R_{dopportunityS1}$ | Chi phí quản lý tại công trường S1 + Chi phí khấu hao tại công trường S1 + Chi phí cơ hội tại công trường S1 | 1240 |
| $R_{administrationS2} + R_{depreciationS2} + R_{dopportunityS2}$ | Chi phí quản lý tại công trường S2 + Chi phí khấu hao tại công trường S2 + Chi phí cơ hội tại công trường S2 | 900 |
| $R_{administrationS3} + R_{depreciationS3} + R_{dopportunityS3}$ | Chi phí quản lý tại công trường S3 + Chi phí khấu hao tại công trường S3 + Chi phí cơ hội tại công trường S3 | 200 |

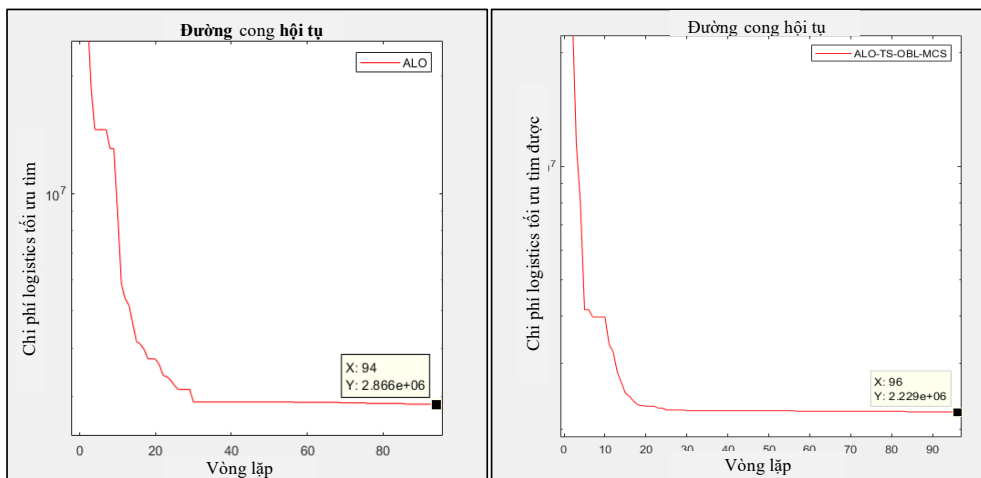
Bảng 12. Các thông số về chi phí vận chuyển và phạt trong trường hợp nghiên cứu

| Thông số | Diễn tả | Giá trị (USD/cầu kiện) |
|---------------|--|---------------------------|
| P_{payF11} | Chi phí vận chuyển từ công trường F1 tới nhà kho W1 | 25 |
| P_{payF12} | Chi phí vận chuyển từ công trường F1 tới nhà kho W2 | 15 |
| P_{payF21} | Chi phí vận chuyển từ công trường F2 tới nhà kho W1 | 8 |
| P_{payF22} | Chi phí vận chuyển từ công trường F2 tới nhà kho W2 | 20 |
| P_{payF31} | Chi phí vận chuyển từ công trường F3 tới nhà kho W1 | 17 |
| P_{payF32} | Chi phí vận chuyển từ công trường F3 tới nhà kho W2 | 22 |
| P_{payS11} | Chi phí vận chuyển từ nhà kho W1 tới công trường S1 (gồm cả phí phạt do trễ với xác suất 5%) | 6 |
| P_{payS21} | Chi phí vận chuyển từ nhà kho W2 tới công trường S1 (gồm cả phí phạt do trễ với xác suất 5%) | 15 |
| P_{payS12} | Chi phí vận chuyển từ nhà kho W1 tới công trường S2 (gồm cả phí phạt do trễ với xác suất 5%) | 21 |
| P_{payS22} | Chi phí vận chuyển từ nhà kho W2 tới công trường S2 (gồm cả phí phạt do trễ với xác suất 5%) | 24 |
| P_{payS13} | Chi phí vận chuyển từ nhà kho W1 tới công trường S3 (gồm cả phí phạt do trễ với xác suất 5%) | 6 |
| P_{payS23} | Chi phí vận chuyển từ nhà kho W2 tới công trường S3 (gồm cả phí phạt do trễ với xác suất 5%) | 3 |
| $R_{penalty}$ | Chi phí phạt vì không cung cấp đủ số lượng | 100 |

Bảng 13. Thông số đầu vào trong các thuật toán

| Thuật toán áp dụng | ALO | ALO-TS-OBL-MCS |
|--------------------------|-----|----------------|
| Số cá thể trong quần thể | 150 | 150 |
| Số vòng lặp tối đa | 100 | 100 |

Thực hiện chạy bài toán hơn 20 lần bằng phần mềm Matlab 2019b, chọn kết quả và hình ảnh của lần chạy tốt nhất làm kết quả cuối cùng và trình bày thuyết minh.



Hình 5. So sánh kết quả và tốc độ hội tụ giữa các thuật toán (lần chạy tốt nhất)

Bảng 14. Kết quả chi phí logistics tối ưu tìm được

| | ALO | ALO-TS-OBL-MCS |
|----------------------------|-------------|----------------|
| Chi phí Logistics cần tìm | 2866250 USD | 2228710 USD |
| Số vòng lặp bắt đầu hội tụ | 32 | 27 |

Vì các tham số về số lượng cầu kiện được lưu trữ tại các địa điểm có thể suy ra từ số lượng cầu kiện được vận chuyển đến nhà kho và đến công trường nên tham số cần tối ưu “vị trí tối ưu của kiện” trong hàm mục tiêu chỉ cần xét đến các tham số về số lượng vận chuyển $d_{t,f,w,e}$ và $d_{t,w,s,e}$. Với giả thiết ban đầu, giá trị các tham số $d_{t,f,w,e}$ sẽ bằng nhau trong với 1 tuyến giao hàng từ công trường đến nhà kho nhất định. Bảng 15 đến Bảng 18 thể hiện giá trị tối ưu của các tham số $d_{t,f,w,e}$ và $d_{t,w,s,e}$ tìm được bằng thuật toán ALO-TS-OBL-MCS.

Bảng 15. Kết quả tối ưu về kế hoạch vận chuyển cầu kiện BTĐS đến kho

| | Số ngày vận chuyển liên tục | Số cầu kiện vận chuyển mỗi ngày |
|-----------------------|-----------------------------|---------------------------------|
| Nhà máy F1 đến kho W1 | 0 | 0 |
| Nhà máy F1 đến kho W2 | 77 | 17 |
| Nhà máy F2 đến kho W1 | 1 | 5 |
| Nhà máy F2 đến kho W2 | 0 | 0 |
| Nhà máy F3 đến kho W1 | 42 | 10 |
| Nhà máy F3 đến kho W2 | 0 | 0 |

Bảng 16. Kết quả tối ưu về số lượng cầu kiện vận chuyển đến công trường F1

| | | | | | | | | | | | | | | |
|----------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| Ngày thứ | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 |
| Số lượng | 9 | 9 | 9 | 9 | 9 | 9 | 9 | 21 | 15 | 15 | 12 | 12 | 12 | 12 |
| Ngày thứ | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 |
| Số lượng | 12 | 12 | 12 | 14 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 13 | 13 | 13 | 7 |
| Ngày thứ | 29 | 30 | 31 | 32 | 33 | 34 | 35 | 36 | 37 | 38 | 39 | 40 | 41 | 42 |
| Số lượng | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 |

Bảng 17. Kết quả tối ưu về số lượng cầu kiện vận chuyển đến công trường F2

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| Ngày | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 |
| Nhu cầu | 4 | 4 | 4 | 4 | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 | 10 | 10 | 10 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 |
| Ngày | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 31 | 32 | 33 | 34 | 35 | 36 | 37 | 38 |
| Nhu cầu | 8 | 14 | 14 | 14 | 14 | 14 | 14 | 14 | 14 | 14 | 14 | 14 | 14 | 14 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 |
| Ngày | 39 | 40 | 41 | 42 | 43 | 44 | 45 | 46 | 47 | 48 | 49 | 50 | 51 | 52 | 53 | 54 | 55 | 56 | 57 |
| Nhu cầu | 10 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 |
| Ngày | 58 | 59 | 60 | 61 | 62 | 63 | 64 | 65 | 66 | 67 | 68 | 69 | 70 | 71 | 72 | | | | |
| Nhu cầu | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 6 | 6 | 6 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | | | | |

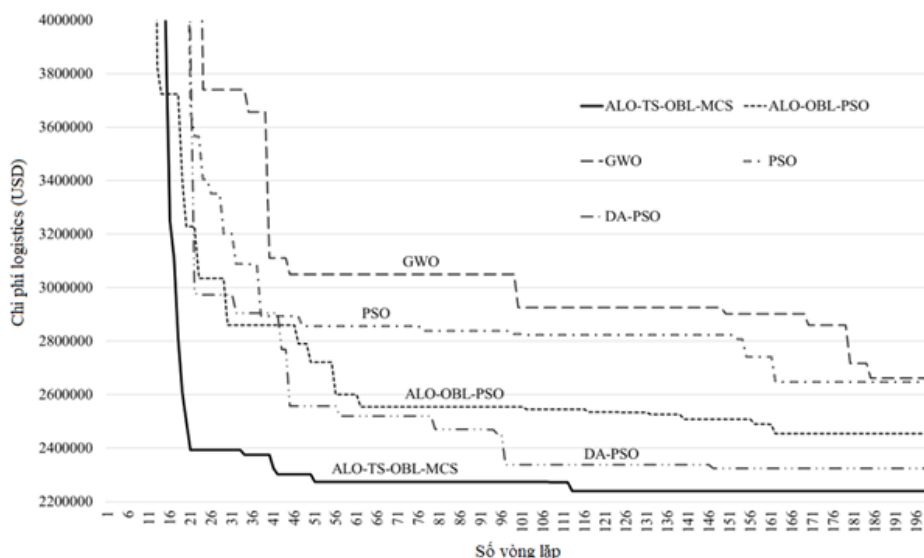
Bảng 18. Kết quả tối ưu về số lượng cầu kiện vận chuyển đến công trường F3

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---------|-----|----|----|----|-----|----|----|----|----|----|----|----|-----|----|----|----|----|----|----|----|
| Ngày | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 |
| Nhu cầu | 40 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 54 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 76 | 0 | 0 | 0 |
| Ngày | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 31 | 32 | 33 | 34 | 35 | 36 | 37 | 38 | 39 | 40 |
| Nhu cầu | 0 | 0 | 0 | 0 | 102 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 114 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Ngày | 41 | 42 | 43 | 44 | 45 | 46 | 47 | 48 | 49 | 50 | 51 | 52 | 53 | 54 | 55 | 56 | 57 | 58 | 59 | 60 |
| Nhu cầu | 124 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 72 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 60 | 0 | 0 | 0 |
| Ngày | 61 | 62 | 63 | 64 | 65 | 66 | 67 | 68 | 69 | 70 | 71 | 72 | 73 | 74 | 75 | 76 | 77 | | | |
| Nhu cầu | 0 | 0 | 0 | 0 | 48 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 19 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | |

Để kiểm tra tính tối ưu của thuật toán lai ghép ALO-TS-OBL-MCS, tiến hành so sánh với các thuật toán thường dùng khác như GWO [25], PSO [26], DA-PSO [17], ALO-OBL-PSO [27]. Tiến hành chạy mỗi bài toán 20 lần và chọn ra kết quả tối ưu nhất để so sánh. Bảng 19 và Hình 6 trình bày kết quả so sánh giữa các thuật toán.

Bảng 19. Giá trị đề xuất cho một số tham số sử dụng trong các thuật toán

| GWO | PSO | DA-PSO | ALO-OBL-PSO |
|--|---|--|---|
| - Hệ số r_1, r_2 , xác suất p : ngẫu nhiên trong khoảng $[0, 1]$ | - Trọng số quán tính w giảm tuyến tính từ 0,4 đến 0,9 | - Trọng số quán tính w giảm tuyến tính từ 0.4 đến 0.9 [17] | - Trọng số quán tính w giảm tuyến tính từ 0,4 đến 0,9 |
| - Vector \vec{d} giảm tuyến tính từ 2 đến 0 | | - Hệ số kẻ thù $e = 1$ [17] | |



Hình 6. Biểu đồ so sánh kết quả tối ưu khi giải bằng các thuật toán

Theo Bảng 14 và 20, Hình 5 và 6, thuật toán ALO-TS-OBL-MCS cho ra kết quả tối ưu hơn các thuật toán ALO, GWO, PSO, DA-PSO, ALO-OBL-PSO. Có thể giải thích kết quả này là do thuật

toán ALO-TS-OBL-MCS có được nhiều ưu điểm từ các thuật toán được lai ghép. Kết quả so sánh góp phần khẳng định thuật toán ALO-TS-OBL-MCS được đề xuất là hợp lý và phù hợp để giải bài toán tối ưu chi phí logistics.

Bảng 20. So sánh các kết quả tối ưu khi giải bằng các thuật toán

| | ALO-TS-OBL-MCS | ALO-OBL-PSO | GWO | PSO | DA-PSO |
|-----------------------------|----------------|-------------|---------|---------|----------|
| Số cá thể ban đầu | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 |
| Số vòng lặp tối đa | 200 | 200 | 200 | 200 | 200 |
| Chi phí logistics (USD) | 2239490 | 2454758 | 2626547 | 2648299 | 2325355 |
| Số vòng lặp bắt đầu hội tụ | 113 | 162 | 198 | 162 | 147 |
| Thời gian giải thuật (giây) | 2036,007 | 1932,052 | 729,941 | 503,814 | 1537,424 |

4. Kết luận và đề xuất

Mô hình tính chi phí logistics cho cấu kiện BTĐS được đề xuất trong nghiên cứu này không những xét đến các khoản chi phí vận chuyển, lưu trữ mà còn bổ sung các khoản chi phí cần thiết khác như mua hàng, quản lý, bốc xếp, lắp đặt. Cùng với việc xét đến các ràng buộc (năng suất sản xuất, khả năng lưu trữ, nhu cầu sử dụng), mô hình logistics đề xuất đã giúp giải quyết bài toán tối ưu chi phí tương đơn giản nhưng thực sự lại khá khó và tốn nhiều thời gian xử lý. Nghiên cứu này hỗ trợ việc lập kế hoạch sản xuất, vận chuyển, cung ứng cấu kiện BTĐS, đồng thời tối ưu trong lập bình đồ công trường (diện tích kho bãi lưu trữ). Thông qua các kết quả có được, nghiên cứu chứng minh thuật toán lai ghép ALO-TS-OBL-MCS cho ra kết quả tối ưu hơn các thuật toán PSO, GWO, DA-PSO, ALO-OBL-PSO và ALO nguyên bản trong bài toán tìm chi phí logistics cho cấu kiện BTĐS.

Nghiên cứu này mở ra một số hướng nghiên cứu mới có thể thực hiện trong tương lai như: Mở rộng mô hình tính chi phí logistics khi xét đến chi phí mua vật liệu ở nhà máy, quy cách sắp xếp, bố trí hợp lý cấu kiện BTĐS để tối ưu thời gian cấu lắp và tiết kiệm diện tích kho bãi tại công trường; Thực hiện bài toán tối ưu đa mục tiêu về chi phí logistics, thời gian thi công và các vấn đề khác trong dự án; Mô hình cần xem xét sự linh hoạt trong kế hoạch nhập cấu kiện dựa trên tình hình thực tế tại công trường.

Tài liệu tham khảo

- [1] Azhar, S. (2011). [Building information modeling \(BIM\): Trends, benefits, risks, and challenges for the AEC industry](#). *Leadership and management in engineering*, 11(3):241–252.
- [2] Vairagade, V. S., Kene, K. S. (2012). Introduction to steel fiber reinforced concrete on engineering performance of concrete. *International journal of scientific & technology research*, 1(4):141.
- [3] Sakin, M., Kiroglu, Y. C. (2017). [3D Printing of Buildings: Construction of the Sustainable Houses of the Future by BIM](#). *Energy Procedia*, 134:702–711.
- [4] Yee, A. A., Eng, P. H. D. (2001). [Structural and economic benefits of precast/prestressed concrete construction](#). *PCI journal*, 46(4):34–43.
- [5] Yee, A. A., Eng, P. H. D. (2001). [Social and environmental benefits of precast concrete technology](#). *PCI journal*, 46(3):14–19.
- [6] Polaris Market Research (2019). *Precast Concrete Market Share, Size, Trends, & Industry Analysis Report, By Element (Walls & Barriers, Columns & Beams, Floors & Roofs, Paving Slabs); By Application; By End-User; By Region and Segment Forecast, 2019 – 2026*.

- [7] Sơn, P. V. H., Khôi, T. T. (2021). [Phát triển thuật toán chó rừng vằn hồng để tối ưu hóa quá trình vận chuyển và giảm ô nhiễm khí thải CO2 trong công nghiệp và dân dụng](#). *Tạp chí Khoa học Công nghệ Xây dựng (KHCVXD) - ĐHXDHN*, 15(2V):98–109.
- [8] Sơn, P. V. H. (2021). [Optimization of construction site layout using dynamic hybrid bacterial and ant colony algorithm](#). *Journal of Science and Technology in Civil Engineering (STCE) - HUCE*, 15(3):44–54.
- [9] Sơn, P. V. H., Bảo, N. Đ. (2021). [Giám sát tiến độ và khối lượng thực tế bằng mô hình 3D trên dữ liệu đám mây thông qua nền tảng Autodesk Forge](#). *Tạp chí Khoa học Công nghệ Xây dựng (KHCVXD) - ĐHXDHN*, 15(3V):123–138.
- [10] Liu, D., Li, X., Chen, J., Jin, R. (2020). [Real-Time Optimization of Precast Concrete Component Transportation and Storage](#). *Advances in Civil Engineering*, 2020:1–18.
- [11] Shamma, M. N. E. D. A., Shawki, K. M., Bassioni, H. A. (2017). [Optimization of Construction Logistics Planning Cost in Egypt Using Genetic Algorithms](#). *Journal of Information Technology & Software Engineering*, 07(04).
- [12] Hsu, P.-Y., Angeloudis, P., Aurisicchio, M. (2018). [Optimal logistics planning for modular construction using two-stage stochastic programming](#). *Automation in Construction*, 94:47–61.
- [13] Said, H., El-Rayes, K. (2014). [Automated multi-objective construction logistics optimization system](#). *Automation in Construction*, 43:110–122.
- [14] Chen, J.-H., Yan, S., Tai, H.-W., Chang, C.-Y. (2017). [Optimizing profit and logistics for precast concrete production](#). *Canadian Journal of Civil Engineering*, 44(6):393–406.
- [15] Pheng, L. S., Chuan, C. J. (2001). [Just-in-time management of precast concrete components](#). *Journal of Construction Engineering and Management*, 127(6):494–501.
- [16] Fang, Y., Ng, S. T. (2011). [Applying activity-based costing approach for construction logistics cost analysis](#). *Construction Innovation*, 11(3):259–281.
- [17] Sơn, P. V. H., Duy, N. H. C., Dat, P. T. (2021). [Optimization of Construction Material Cost through Logistics Planning Model of Dragonfly Algorithm—Particle Swarm Optimization](#). *KSCCE Journal of Civil Engineering*, 25(7):2350–2359.
- [18] Mirjalili, S. (2015). [The ant lion optimizer](#). *Advances in engineering software*, 83:80–98.
- [19] Guo, M. W., Wang, J. S., Zhu, L. F., Guo, S. S., Xie, W. (2020). [Improved ant lion optimizer based on spiral complex path searching patterns](#). *IEEE Access*, 8:22094–22126.
- [20] Tian, T., Liu, C., Guo, Q., Yuan, Y., Li, W., Yan, Q. (2018). [An improved ant lion optimization algorithm and its application in hydraulic turbine governing system parameter identification](#). *Energies*, 11(1):95.
- [21] Zhenxing, Z., Rennong, Y., Huanyu, L., Yuhuan, F., Zhenyu, H., Ying, Z. (2019). [Antlion optimizer algorithm based on chaos search and its application](#). *Journal of Systems Engineering and Electronics*, 30(2):352–365.
- [22] Ba, A. F., Huang, H., Wang, M., Ye, X., Gu, Z., Chen, H., Cai, X. (2020). [Levy-based antlion-inspired optimizers with orthogonal learning scheme](#). *Engineering with Computers*, 1–22.
- [23] Tizhoosh, H. R. (2005). [Opposition-based learning: a new scheme for machine intelligence](#). *International conference on computational intelligence for modelling, control and automation and international conference on intelligent agents, web technologies and internet commerce (CIMCA-IAWTIC'06)*, IEEE, 1:695–701.
- [24] Roseline, J. V., Saravanan, D. (2019). [Crossover and Mutation Strategies applied in Job Shop Scheduling Problems](#). *Journal of Physics: Conference Series*, IOP Publishing, 1377(1):012031.
- [25] Mirjalili, S., Mirjalili, S. M., Lewis, A. (2014). [Grey wolf optimizer](#). *Advances in engineering software*, 69:46–61.
- [26] Kennedy, J., Eberhart, R. (1995). [Particle swarm optimization](#). *Proceedings of ICNN'95-international conference on neural networks*, IEEE, 4:1942–1948.
- [27] Tian, T., Liu, C., Guo, Q., Yuan, Y., Li, W., Yan, Q. (2018). [An improved ant lion optimization algorithm and its application in hydraulic turbine governing system parameter identification](#). *Energies*, 11(1):95.