

ĐÁNH GIÁ LÃNG PHÍ TRONG XÂY DỰNG BẰNG PHÂN TÍCH NHÂN TỐ VÀ CÁC MÔ HÌNH TRÍ TUỆ NHÂN TẠO

Trần Đức Học^{a,b}, Nguyễn Thiện Anh^{a,b}, Lương Đức Long^{a,b}, Nguyễn Ngọc Thoan^{c,*}

^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 TP. Hồ Chí Minh, phường Linh Trung, TP. Thủ Đức, TP. Hồ Chí Minh, Việt Nam

^cKhoa Xây dựng Dân dụng và Công nghiệp, Trường Đại học Xây dựng Hà Nội,
55 đường Giải Phóng, quận Hai Bà Trưng, Hà Nội, Việt Nam

Nhận ngày 27/6/2022, Sửa xong 23/9/2022, Chấp nhận đăng 05/10/2022

Tóm tắt

Các hoạt động phi giá trị gia tăng hay còn gọi là lãng phí gây ra giảm giá trị của dự án nhưng vẫn chưa được quan tâm nhiều trong công tác quản lý xây dựng hiện nay. Nghiên cứu này xác định các yếu tố ảnh hưởng gây lãng phí trong thi công xây dựng bằng cách thực hiện bảng câu hỏi khảo sát về tần suất xuất hiện của những nguyên nhân gây lãng phí trong thi công xây dựng. Đối tượng khảo sát là những người có kinh nghiệm xây dựng và quản lý các dự án nhà cao tầng tại TP. Hồ Chí Minh. Kết quả phân tích nhân tố cho thấy có 8 nhóm chính được trích ra với 75,5% phương sai được giải thích cho tất cả các yếu tố lãng phí trong các dự án xây dựng. Giá trị trung bình của việc tăng chi phí dự án do những lãng phí này là khoảng 8,75% tổng chi phí dự án. Tiếp theo, các thuật toán trí tuệ nhân tạo bao gồm mạng nơ ron nhân tạo (ANN), hồi quy tuyến tính (LR), máy hỗ trợ véc tơ hồi quy (SVR) được sử dụng để ước tính tác động của các yếu tố lãng phí đến chi phí thực hiện dự án. Kết quả phân tích cho thấy sự khác biệt giữa giá trị dự đoán và giá trị thực tế là khá nhỏ và thuật toán hồi quy tuyến tính cho kết quả dự đoán tốt nhất.

Từ khóa: quản lý xây dựng; lãng phí trong xây dựng; phân tích nhân tố; trí tuệ nhân tạo; SPSS.

EVALUATION WASTE IN CONSTRUCTION BY FACTOR ANALYSIS AND ARTIFICIAL INTELLIGENCE ALGORITHMS

Abstract

Non-value added activities, also known as waste, cause a decrease in the value of the project, but have not yet received much attention in the current construction management. This study mainly aims to examine the influence of waste factors on project implementation costs by conducting a survey questionnaire on the frequency of occurrence of the causes of waste in construction. Surveying people are those who have experience in construction and management of high-rise projects in Ho Chi Minh City. The results of factor analysis show that there are 8 main extracted groups with 75.5% of variance explained for all waste factors in construction projects. The average value of the increase in project costs due to these wastes is about 8.75% of the total project cost. Following, artificial intelligence algorithms including artificial neural network (ANN), linear regression (LR), support vector regression machine (SVR) are used to estimate the impact of these factors to the project implementation cost. The analysis results show that the difference between the predicted value and the actual value is quite small and the linear regression algorithm yielded the best prediction results.

Keywords: construction management; waste in construction; factor analysis; artificial intelligence; SPSS.

[https://doi.org/10.31814/stce.huce\(nuce\)2022-16\(5V\)-13](https://doi.org/10.31814/stce.huce(nuce)2022-16(5V)-13) © 2022 Trường Đại học Xây dựng Hà Nội (ĐHXDHN)

*Tác giả đại diện. Địa chỉ e-mail: thoannn@huce.edu.vn (Thoan, N. N.)

1. Giới thiệu

Những năm gần đây thị trường xây dựng gặp rất nhiều khó khăn do những dự án bất động sản hạn chế được cấp giấy phép xây dựng bởi vì nhiều vấn đề về pháp lý đầu tư dự án. Để thích nghi và đối phó với tình trạng khó khăn, nhiều doanh nghiệp trong ngành xây dựng đã áp dụng chiến lược phát triển khác nhau như: duy trì các mảng hoạt động kinh doanh cốt lõi (thì công xây lắp, thì công cọc hay công trình ngầm, ...), đồng thời các đơn vị cũng mở rộng hoạt động kinh doanh sang lĩnh vực bất động sản, thủy điện, năng lượng tái tạo... [1]. Các doanh nghiệp cũng chủ động thay đổi cơ cấu tổ chức, ứng dụng công nghệ trong quản lý thì công, máy móc, vật tư thiết bị nhằm tối đa hóa lợi nhuận. Bên cạnh đó, việc thi công đúng tiến độ, giảm thiểu sai sót, đảm bảo an toàn lao động, tránh lãng phí cũng được các nhà thầu đặc biệt quan tâm.

Quy mô và sự phức tạp của các dự án xây dựng ngày càng tăng do đó đòi hỏi năng lực nhà thầu phải phát triển một cách mạnh mẽ. Bên cạnh đó, công tác quản lý dự án cũng đòi hỏi phải có những phương pháp và cách tiếp cận mới mẻ để có thể đảm bảo các dự án xây dựng được triển khai một cách thành công [2]. Với những yêu cầu đa mục tiêu bao gồm rút ngắn thời gian, giảm chi phí và nâng cao lợi nhuận cho các dự án, công cụ xây dựng tinh gọn (Lean Construction) đã được hình thành, áp dụng và phát triển rất nhiều trong thời gian gần đây [3–5].

Hầu hết các dự án thi công xây lắp ở Việt Nam chưa thật sự hiệu quả, hiệu suất thấp và từ đó gây ra nhiều lãng phí về mặt tài nguyên như chi phí, thời gian và các nguồn lực khác. Theo triết lý sản xuất mới nói chung và trong thi công xây dựng nói riêng, lãng phí được nhìn nhận là bất kỳ sự không hiệu quả nào trong việc sử dụng các loại thiết bị máy móc, nguồn nhân lực, tài chính, thời gian lớn hơn những nhu cầu cần thiết của việc hoàn thành một sản phẩm nhất định [6]. Lãng phí bao gồm hư hỏng, hao phí về vật chất và hoặc sử dụng để thực hiện các công việc không cần thiết, những công việc tạo thêm thời gian và chi phí nhưng không gia tăng thêm giá trị của sản phẩm [7]. Vì vậy, lãng phí phải được hiểu là bất kỳ tổn thất nào được sinh ra bởi các công việc tạo ra chi phí nhưng không tăng thêm bất kỳ giá trị nào cho sản phẩm từ sự đánh giá của chủ đầu tư.

Khái niệm quản lý tinh gọn được Koskela đưa vào ngành xây dựng vào năm 1991 tại hội nghị đầu tiên của Nhóm xây dựng tinh gọn quốc tế [8]. Kể từ đó, xây dựng tinh gọn đã phát triển thành các kỹ thuật quản lý đa dạng trong ngành xây dựng, nhằm loại bỏ lãng phí, nâng cao năng suất và hiệu quả, và tối đa hóa giá trị [9]. Việc thực hiện xây dựng tinh gọn vẫn còn tương đối mới so với các phương thức quản lý chính thống. Thiếu nhận thức về xây dựng tinh gọn vẫn là một thách thức lớn [10] và một số nghiên cứu thậm chí còn cho rằng khái niệm xây dựng tinh gọn vẫn đang trong giai đoạn phát triển ban đầu [11].

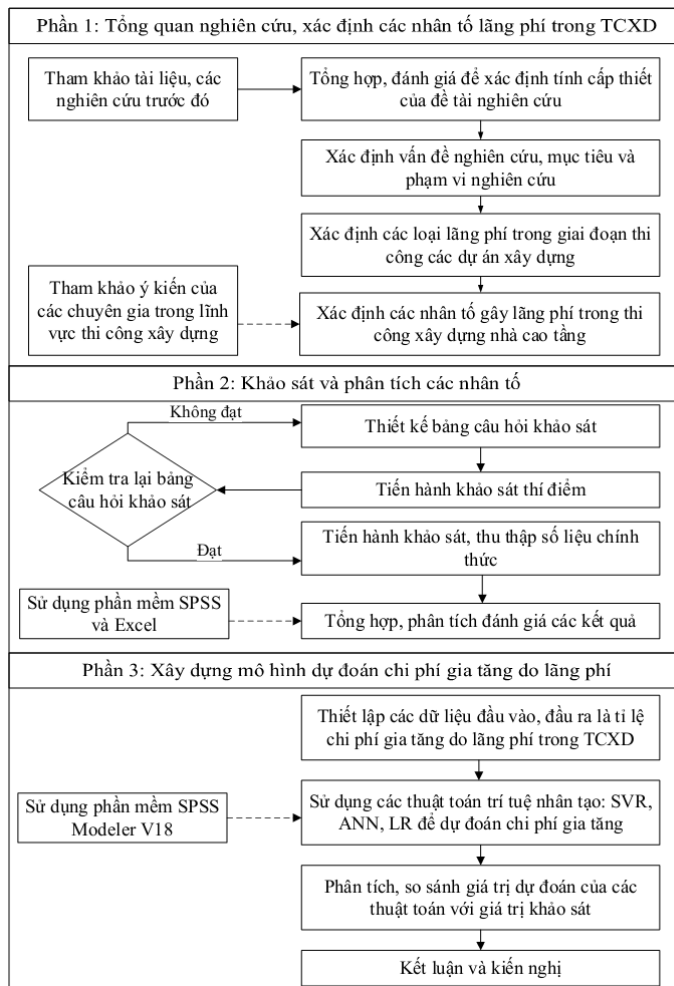
Xây dựng tinh gọn có nền tảng hơi khác so với quản lý tinh gọn ban đầu cho lĩnh vực sản xuất do bản chất của quá trình sản xuất. Các nguyên tắc của xây dựng tinh gọn có thể được tóm tắt thành 6 điểm: giảm tính thay đổi, giảm thời gian chu kỳ, tính đơn giản, điểm chuẩn, tăng tính linh hoạt của đầu ra và tăng tính minh bạch của quy trình [12]. Các nhà nghiên cứu khác coi quy trình sản xuất và loại bỏ lãng phí là các nguyên tắc cốt lõi của xây dựng tinh gọn [13]. Trong triết lý sản xuất tinh gọn, lãng phí trong xây dựng được chia thành 8 nhóm được thể hiện trong Hình 1 [14].

Nghiên cứu này chỉ ra nguyên nhân gây ra sự lãng phí dựa trên triết lý sản xuất tinh gọn, từ đó giảm thiểu chi phí, cải thiện hiệu quả thi công xây lắp và sau cùng là đảm bảo yêu cầu của khách hàng [15]. Mục tiêu của nghiên cứu dựa vào công cụ phân tích nhân tố và các mô hình trí tuệ nhân tạo để đánh giá sự lãng phí trong thi công xây dựng nhà cao tầng. Các nguyên nhân gây lãng phí trong việc quản lý triển khai dự án sẽ được làm sáng tỏ thông qua đánh giá mức độ gia tăng chi phí thực hiện dự án. Qua đó cung cấp cho những nhà quản lý có cái nhìn cụ thể hơn về những lãng phí tiềm tàng trong mỗi hoạt động trên công trường về vật liệu, thiết bị, nguồn nhân lực [16].



Hình 1. Tám loại lãng phí trong xây dựng tinh gọn

2. Phương pháp nghiên cứu, thu thập dữ liệu và phân tích



Hình 2. Quy trình và phương pháp nghiên cứu

Quy trình thực hiện nghiên cứu được thể hiện như Hình 2 bao gồm 3 phần để đạt được mục tiêu nghiên cứu. Phần 1: Tổng quan về lãng phí trong thi công xây dựng (TCXD) dựa trên các nguyên tắc

của xây dựng tinh gọn. Phần 2: Xác định các nhân tố gây lãng phí trong thi công xây dựng các công trình nhà cao tầng, mức độ ảnh hưởng đến chi phí thực hiện dự án. Phần 3: Xây dựng mô hình dự đoán tỉ lệ phần trăm chi phí gia tăng do các yếu tố lãng phí gây ra dựa trên các thuật toán trí tuệ nhân tạo.

2.1. Xác định các nhân tố gây lãng phí trong TCXD

Phạm vi nghiên cứu là các dự án nhà cao tầng đang trong giai đoạn thi công xây dựng ở Tp. HCM và khu vực lân cận. Nghiên cứu đã chỉ ra được 30 nhân tố gây lãng phí trong thi công xây dựng nhà cao tầng bao gồm: 19 nhân tố từ các tài liệu, nghiên cứu trước; 7 nhân tố từ các ý kiến chuyên gia; và 4 nhân tố do tác giả đề xuất. Bảng 1 liệt kê các nhóm nhân tố gây lãng phí trong TCXD.

Bảng 1. Các nhân tố lãng phí trong thi công xây dựng

STT	Mã biến	Các nhân tố lãng phí trong TCXD	Tham khảo
I		Sản xuất quá mức	
1	SXQM1	Phân bổ quá mức hoặc không cần thiết vật liệu/thiết bị trên công trường	[17, 18]
2	SXQM1	Phân bổ quá mức hoặc không cần thiết công nhân trên công trường	[17–19]
3	SXQM1	Sản xuất/ gia công quá nhiều dẫn đến dư thừa	[17, 19]
II		Chờ đợi	
4	CD1	Chờ đợi người khác hoàn thành công việc, trước khi công việc tiếp theo có thể bắt đầu	[17, 19, 20]
5	CD2	Chờ đợi vật liệu, thiết bị được giao đến công trường	[17]
6	CD3	Chờ đợi công nhân/ tổ đội di chuyển đến địa điểm thi công	[17, 19]
7	CD4	Chờ đợi máy móc, thiết bị phục vụ cho công tác thi công	[19]
III		Di chuyển không cần thiết	
8	DKCT1	Thời gian vận chuyển vật tư, máy móc, thiết bị đến nơi thi công	[19]
9	DKCT2	Di dời vật liệu, thiết bị do xếp chồng lên nhau	Tác giả đề xuất
10	DKCT3	Di dời bãi vật liệu, bãi gia công	Tác giả đề xuất
11	DKCT4	Dọn dẹp mặt bằng trước khi thi công	Ý kiến chuyên gia
IV		Quy trình, cách thức làm việc không cần thiết	
12	QTKCT1	Các thủ tục và cách thức làm việc không cần thiết	[19]
13	QTKCT2	Quy trình phê duyệt kéo dài	Ý kiến chuyên gia
14	QTKCT3	Các công tác định vị, đo lường trước khi thi công	Ý kiến chuyên gia
15	QTKCT4	Nghiệm thu, kiểm tra nhiều lần	Tác giả đề xuất

STT	Mã biến	Các nhân tố lãng phí trong TCXD	Tham khảo
V		Tồn kho	
16	TK1	Vật liệu/ thiết bị bị mất cắp/ thất lạc ở công trường trong thời gian thi công	[17, 19]
17	TK2	Vật tư, máy móc, thiết bị tồn kho không được sử dụng	[17, 19]
18	TK3	Khuyết tật chất lượng cấu kiện, sản phẩm	[17, 19]
19	TK4	Vật liệu bị hư hỏng / xuống cấp trong thời gian thi công	[17, 19]
VI		Chuyển động dư thừa	
20	CDDT1	Thời gian công nhân di chuyển trên công trường hoặc giữa các khu vực thi công	[17, 19]
21	CDDT2	Thời gian kiểm tra, giám sát, nghiệm thu các công tác thi công	Ý kiến chuyên gia
22	CDDT3	Thời gian giao tiếp, hướng dẫn giữa kỹ sư và công nhân, giữa nhà thầu chính và thầu phụ, tổ đội thi công	[17, 19]
VII		Sai lỗi thi công	
23	SLTC1	Sự cố về máy móc, thiết bị trong quá trình thi công	[17, 19, 20]
24	SLTC2	Sửa chữa, làm lại sản phẩm do sai lỗi trong quá trình thi công	[17–19]
25	SLTC3	Sai sót hoặc khác biệt trong bản vẽ thi công	[17, 19]
26	SLTC4	Tạo chất thải rắn/ rác thải trong quá trình thi công	Ý kiến chuyên gia
27	SLTC5	Rủi ro, tai nạn lao động trên công trường	[17–19]
VIII		Năng lực của nhân viên không được sử dụng	
28	NLNV1	Sự sáng tạo của nhân viên không được sử dụng	Ý kiến chuyên gia
29	NLNV2	Sự bất cập giữa trình độ nhân viên và vị trí được đảm nhiệm	Tác giả đề xuất
30	NLNV3	Chưa quản lý và tận dụng hết khả năng làm việc của nhân viên	Ý kiến chuyên gia

Bảng 1 đưa ra được 8 nhóm từ 30 nhân tố chính ảnh hưởng đến tần suất xuất hiện lãng phí. Sau đó tiến hành lập bảng câu hỏi chi tiết để thực hiện khảo sát chính thức. Bảng khảo sát được lập dựa vào Google Forms sau đó được gửi trực tuyến cho người được khảo sát qua zalo, viber, telegram, email, ... Tổng số lượng bảng câu hỏi gửi đi là 224 (100%). Số lượng phản hồi là 168 chiếm 69%, trong đó 18 bảng câu hỏi trả lời không hợp lệ chiếm 7%. Cuối cùng thu được 150 bảng câu hỏi (61%) hợp để để tiến hành phân tích nhân tố.

Đối tượng được khảo sát là những kỹ sư ở cấp quản lý của các nhà thầu xây dựng hàng đầu ở Việt Nam như: Hòa Bình, Coteccons, Ricons, Newteccons, Central, ..., các chuyên viên quản lý dự án của chủ đầu tư, các kỹ sư tư vấn giám sát, tư vấn quản lý dự án, ... Bảng 2 thể hiện đặc trưng của đối tượng khảo sát (ĐTKS).

Bảng 2. Đặc trưng của đối tượng khảo sát

I	Kinh nghiệm	Số lượng	Tỷ lệ (%)
1	Dưới 3 năm	32	21,3
2	Từ 3 đến 5 năm	45	30,0
3	Từ 5 đến 10 năm	49	32,7
4	Trên 10 năm	24	16
II	Vai trò của ĐTKS	Số lượng	Tỷ lệ (%)
1	Chủ đầu tư	38	25,3
2	Nhà thầu thi công	82	54,7
3	TVQLDA/TVGS	10	6,7
4	Tư vấn thiết kế	20	13,3

2.2. Kiểm định độ tin cậy thang đo – Cronbach's Alpha

Kết quả kiểm định Cronbach's Alpha cho nhóm tần suất xuất hiện lãng phí được thể hiện ở Bảng 3. Kết quả kiểm định cho thấy các hệ số tương quan biến tổng phù hợp. Hệ số Cronbach's Alpha các biến quan sát nằm trong khoảng $0,6 \leq \alpha \leq 1$ cho thấy thang đo lượng tốt và đạt độ tin cậy. Từ kết quả trên các biến quan sát được chấp nhận và sử dụng cho phân tích nhân tố khám phá.

Bảng 3. Kết quả kiểm định Cronbach's Alpha

NHÓM TẦN SUẤT XUẤT HIỆN LÃNG PHÍ				
Nhân tố	Trung bình thang đo nếu loại biến	Phương sai thang đo nếu loại biến	Tương quan biến tổng	Hệ số Cronbach's Alpha nếu loại biến
1. Sản xuất quá mức: $\alpha = 0,876$				
SXQM1	7,39	4,011	0,781	0,805
SXQM2	7,35	4,069	0,774	0,812
SXQM3	7,25	4,268	0,727	0,854
2. Chờ đợi: $\alpha = 0,855$				
CD1	10,55	10,411	0,667	0,827
CD2	10,17	9,925	0,765	0,786
CD3	10,19	10,425	0,746	0,797
CD4	10,61	10,185	0,623	0,849
3. Di chuyển không cần thiết: $\alpha = 0,837$				
DCKCT1	9,39	4,816	0,775	0,752
DCKCT2	9,35	4,619	0,704	0,778
DCKCT3	9,26	4,838	0,638	0,808
DCKCT4	9,26	5,093	0,575	0,835
4. Quy trình, cách thức làm việc không cần thiết: $\alpha = 0,880$				
QTKCT1	9,89	4,418	0,777	0,832

NHÓM TẦN SUẤT XUẤT HIỆN LÃNG PHÍ				
Nhân tố	Trung bình thang đo nếu loại biến	Phương sai thang đo nếu loại biến	Tương quan biến tổng	Hệ số Cronbach's Alpha nếu loại biến
QTKCT2	10,18	4,847	0,711	0,857
QTKCT3	10,11	4,853	0,768	0,838
QTKCT4	9,79	4,460	0,718	0,857
5. Tồn kho: $\alpha = 0,813$				
TK1	11,18	4,686	0,644	0,761
TK2	11,07	4,331	0,644	0,759
TK3	11,17	4,636	0,601	0,779
TK4	10,71	4,236	,643	0,760
6. Chuyển động dư thừa: $\alpha = 0,765$				
CĐDT1	5,23	3,818	0,550	0,745
CĐDT2	5,17	2,466	0,627	0,680
CĐDT3	5,18	3,142	0,664	0,615
7. Sai lỗi thi công: $\alpha = 0,899$				
SLTC1	11,73	19,190	0,737	0,879
SLTC2	11,64	19,064	0,744	0,878
SLTC3	11,75	19,315	0,701	0,887
SLTC4	11,73	19,043	0,723	0,882
SLTC5	11,73	18,039	0,841	0,856
8. Năng lực của nhân viên không được sử dụng: $\alpha = 0,805$				
NLNV1	6,39	2,601	,647	0,739
NLNV2	6,69	2,415	,692	0,691
NLNV3	6,63	2,907	,623	0,765

2.3. Phân tích nhân tố khám phá – EFA

Bảng 4. Kết quả kiểm định KMO & Barlett's

Kiểm định KMO và Barlett		
Thước đo mức độ thích hợp của việc lấy mẫu		0,808
Kiểm định Bartlett	Approx. Chi-Square	2435,215
	df	435
	Sig.	0,000

Từ bảng kiểm định KMO & Barlett's, có thể thấy: Hệ số KMO = 0,808 > 0,5; nên sử dụng phân tích nhân tố cho nghiên cứu này là phù hợp. Kiểm định Barlett's với mức ý nghĩa sig = 0,00 < 0,5, cho thấy các biến quan sát có tương quan trong tổng thể và sử dụng phân tích nhân tố EFA là phù hợp.

Principal Components Analysis (PCA) là phép trích mặc định được gán trong nhiều phần mềm phân tích dữ liệu thống kê. PCA giả định rằng các biến quan sát không có phương sai riêng (unique variance), nghĩa là 100% sự biến đổi của biến quan sát đều được giải thích bởi các nhân tố được trích. Do vậy, với PCA, các nhân tố được trích ra sẽ thường sẽ có tổng phương sai trích là lớn nhất so với các phép trích còn lại.

Bảng 5. Phần trăm giải thích cho các biến và tổng phương sai trích

Nhân tố	Tổng phương sai trích								
	Giá trị eigenvalue ban đầu			Chỉ số sau khi trích			Chỉ số sau khi xoay		
	Tổng	% Phương sai	% Phương sai tích lũy	Tổng	% Phương sai	% Phương sai tích lũy	Tổng	% Phương sai	% Phương sai tích lũy
1	7,617	25,391	25,391	7,617	25,391	25,391	3,645	12,150	12,150
2	2,784	9,279	34,671	2,784	9,279	34,671	2,999	9,997	22,147
3	2,520	8,401	43,071	2,520	8,401	43,071	2,837	9,455	31,602
4	2,261	7,537	50,608	2,261	7,537	50,608	2,807	9,358	40,960
5	2,088	6,959	57,567	2,088	6,959	57,567	2,674	8,915	49,875
6	1,570	5,233	62,800	1,570	5,233	62,800	2,431	8,104	57,979
7	1,489	4,963	67,762	1,489	4,963	67,762	2,247	7,490	65,469
8	1,437	4,789	72,551	1,437	4,789	72,551	2,125	7,082	72,551
9	,783	2,611	75,161						
10	,713	2,376	77,537						
11	,689	2,298	79,835						
12	,570	1,899	81,734						
13	,533	1,775	83,509						
14	,483	1,610	85,119						
15	,451	1,502	86,621						
16	,414	1,381	88,001						
17	,389	1,297	89,299						
18	,373	1,242	90,541						
19	,341	1,136	91,677						
20	,338	1,126	92,804						
21	,308	1,028	93,832						
22	,281	,938	94,770						
23	,269	,897	95,667						
24	,247	,823	96,490						
25	,238	,792	97,283						
26	,197	,658	97,941						
27	,179	,597	98,538						
28	,164	,548	99,086						
29	,149	,496	99,582						
30	,125	,418	100,000						
Phân tích thành phần chính									

Bảng 5 cho biết kết quả dữ liệu dùng để phân tích nhân tố hoàn toàn phù hợp. Trị số Eigenvalue $1,437 > 1$ là đại diện cho phần biến thiên được giải thích bởi mỗi nhân tố, 8 nhân tố được trích xuất có ý nghĩa tóm tắt thông tin tốt nhất. Tổng phương sai trích (Total Variance Explained): $72,551 > 50\%$, cho thấy 8 nhân tố được trích phản ánh $72,55\% > 50\%$ (chứng tỏ $72,55\%$ biến thiên của dữ liệu).

Bảng 6. Phần trăm giải thích cho các biến và tổng phương sai trích

Nhân tố	Ma trận xoay nhân tố							
	Nhân tố							
	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6	PC7	PC8
SLTC5	,872							
SLTC2	,790							
SLTC3	,768							
SLTC4	,758							
SLTC1	,749							
QTKCT1		,862						
QTKCT2		,806						
QTKCT3		,802						
QTKCT4		,777						
DCKCT1			,866					
DCKCT2			,842					
DCKCT3			,762					
DCKCT4			,717					
CĐ2				,857				
CĐ3				,771				
CĐ4				,752				
CĐ1				,741				
TK3					,802			
TK2					,800			
TK1					,769			
TK4					,755			
SXQM2						,863		
SXQM1						,851		
SXQM3						,787		
NLNV2							,864	
NLNV1							,833	
NLNV3							,825	
CĐDT3								,839
CĐDT2								,811
CĐDT1								,766

Kết quả phân tích nhân tố khám phá EFA ở Bảng 6, tác giả tiến hành phân nhóm như sau:

Nhóm PC1 bao gồm 5 yếu tố lãng phí do “Sai lỗi thi công”. Những nguyên nhân này tạo ra một lượng rác thải rắn khá lớn ở công trường, tốn nhiều mặt bằng để chứa và thời gian, chi phí để vận chuyển đi nơi khác. Để hạn chế những vấn đề này, các nhà thầu cần chú trọng đến nguyên tắc “Làm

đúng ngay từ đầu” và đặc biệt chú trọng đến công tác an toàn lao động – vệ sinh môi trường – phòng cháy chữa cháy.

Nhóm PC2 bao gồm hai yếu tố ban đầu liên quan đến quy trình làm việc. Trong ngành xây dựng ở Việt Nam, các quy trình và quy trình làm việc không cần thiết tồn tại trong hoạt động hiện tại như một đặc tính cố hữu. Do đó, nhiều nỗ lực giảm thiểu chúng đã được thực hiện trên thực tế để “tinh gọn” các quy trình thực hiện. Nó rất dễ xảy ra khi có sai sót hoặc thông tin không rõ ràng trong bản vẽ thiết kế và thông số kỹ thuật.

Nhóm PC3 là nhóm về các yếu tố thời gian di chuyển trong công trường. Sản xuất tinh gọn cho thấy rằng các dòng công việc là liên tục. Một trong những phương pháp được sử dụng nhiều nhất để ngăn chặn sự gián đoạn này là làm việc theo ca (hoặc giờ). Hơn nữa, phân chia công việc một cách hợp lý là một cách tốt để giảm bớt căng thẳng cho người lao động, từ đó nâng cao hiệu quả sản xuất.

Nhóm PC4 Chờ đợi người khác hoàn thành công việc của họ là một loại lãng phí thời gian không mang tính chất đóng góp theo sự công nhận của sản xuất tinh gọn. Tuy nhiên, tiến độ giao các thiết bị và vật liệu đó đến công trường thường bị chậm do bị ảnh hưởng bởi nhiều nguyên nhân không lường trước được trong quá trình thi công như trượt giá, thay đổi thiết kế do chủ đầu tư, liên lạc giữa các bên kém hiệu quả, trục trặc về giao thông, thiếu nguyên liệu.

Nhóm PC5 gồm các yếu tố về “Tồn kho”. Theo triết lý sản xuất tinh gọn, Tồn kho là cách nói chung để chỉ ra các vấn đề về vật liệu, máy móc, thiết bị ở công trường nhưng không được sử dụng. Các chuyên gia trong ngành xây dựng cho rằng hoạt động này là hoạt động bắt buộc để thực hiện công việc. Do đó, họ đã không nhìn nhận đó là sự lãng phí cần được giảm bớt hoặc loại bỏ dưới góc độ sản xuất tinh gọn.

Nhóm PC6 bao gồm ba yếu tố ban đầu chủ yếu liên quan đến việc phân bổ nguồn lực của nhà thầu trong giai đoạn xây dựng. Theo triết lý của sản xuất tinh gọn trong xây dựng, phân bổ nguồn lực quá mức được coi là lãng phí vì nó dẫn đến tình trạng tồn kho, hư hỏng và lộn xộn trên công trường. Đây là một hiện tượng khó tránh khỏi vì trong thực tế không có một phương pháp thi công hoàn hảo nào.

Nhóm PC7 bao gồm những yếu tố về năng lực làm việc của người lao động nhưng không được sử dụng đúng cách. Đây là những yếu tố được bổ sung gần đây của sản xuất tinh gọn. Trong ngành xây dựng Việt Nam, việc thiếu hụt nhân sự cho vị trí phù hợp khiến những người phải đảm nhiệm thêm những vai trò không phải là thế mạnh của mình. Hoặc các cấp quản lý không tận dụng hết sự sáng tạo của mỗi nhân viên cấp dưới của mình, gây lãng phí nguồn nhân lực của tổ chức.

Nhóm PC8 liên quan đến hai yếu tố ban đầu liên quan đến thời gian liên lạc và vận chuyển tại chỗ. Cả hai đều thuộc nhóm lãng phí thời gian đóng góp theo phân loại của sản xuất tinh gọn. Đồng thời, vật tư và thiết bị được cung cấp để công việc có thể được bắt đầu. Để ngăn chặn vấn đề này, người quản lý nên có kế hoạch phân phối nguyên vật liệu phù hợp cho từng đội công nhân theo mức độ ưu tiên của đội đó.

3. Mô hình dự đoán ảnh hưởng của lãng phí

Kết quả phân tích nhân tố đã chỉ ra rằng chỉ có 72,55% phương sai được tính cho các yếu tố lãng phí trong nghiên cứu này theo năm thành phần được trích xuất. Theo quy tắc chung, phương sai được giải thích lớn hơn 80% là tiêu chí cắt bỏ. Do đó, kết quả này không thể được sử dụng trong phân tích tương lai. Có nghĩa là tất cả các biến được đề cập trong Bảng 6 phải được xem xét đồng thời. Các thuật toán trí tuệ nhân tạo bao gồm mạng nơ ron nhân tạo (ANN), hồi quy tuyến tính (LR), máy hỗ trợ véc tơ hồi quy (SVR) được sử dụng để ước tính tác động của các yếu tố lãng phí đến chi phí thực hiện dự án.

3.1. Mạng nơ-ron nhân tạo (ANNs)

Mạng nơ-ron nhân tạo là một mô hình tính toán được xây dựng dựa trên các mạng nơ-ron sinh học. Cấu trúc ANN cơ bản có ba lớp chính - lớp dữ liệu đầu vào, lớp ẩn và lớp đầu ra [21, 22]. Lớp đầu vào bao gồm 30 nơ-ron là đại diện cho 30 nhân tố chính ảnh hưởng đến tần suất xuất hiện lãng phí, sau đó được chuyển qua một hoặc nhiều lớp ẩn để tính toán và lớp đầu ra là phần trăm chi phí dự án tăng lên. Mạng ANN bắt đầu các thủ tục tính toán bằng cách sử dụng một mảng số X cho lớp đầu vào trong xử lý thần kinh. Sau đó, đầu vào x_i sử dụng một hàm truyền để chuyển tiếp tới n nơ-ron trong lớp ẩn. W được sử dụng để kết hợp các nơ-ron vào đầu ra. Phương trình (1) được áp dụng để tính toán kết quả đầu ra của mỗi lớp

$$Y_{kn} = f(W_{n,m,k}X_m + b_{i,k}) \quad (1)$$

trong đó $f()$ là hàm kích hoạt, k biểu thị số lớp, n biểu thị số lượng nơ-ron, m biểu thị số trọng lượng cho mỗi nơ-ron chuyển giao, i biểu thị số nút thiên vị.

3.2. Mô hình hồi quy tuyến tính (LR)

Mô hình hồi quy tuyến tính đa biến (LR - linear regression) là các mô hình thống kê về mối quan hệ giữa biến phụ thuộc (biến phản hồi) và biến độc lập (biến giải thích) có thể được phát triển bằng cách sử dụng hồi quy tuyến tính [23, 24]. Mô hình hồi quy được xây dựng thông qua công thức (2) dưới đây.

$$Y = \beta_0 + \sum_{i=1}^n \beta_i X_i + \varepsilon \quad (2)$$

trong đó Y là biến phụ thuộc đại diện cho phần trăm chi phí dự án tăng lên, β_0 là hằng số, β_i là hệ số hồi quy ($i = 1, 2, \dots, n$), ε là sai số. Nghiên cứu này sử dụng phân tích hồi quy nhiều lần sử dụng nhiều biến (X_i) là các nhân tố chính ảnh hưởng đến tần suất xuất hiện lãng phí.

3.3. Máy hỗ trợ vector hồi quy (SVR)

SVR là một phiên bản hồi quy của máy hỗ trợ vector. SVR đã được sử dụng rộng rãi trong việc giải các bài toán hồi quy. Được phát triển bởi Vapnik [25], SVR có xu hướng giảm thiểu giới hạn trên của lỗi tổng quát hơn là giảm thiểu lỗi thực nghiệm trong mạng nơ-ron [26]. Mô hình chung của SVR cho bài toán dự đoán được thể hiện như công thức (3)

$$f(x) = \sum_{j=1}^n \omega_j g_j(x) + b \quad (3)$$

trong đó ω_i biểu thị trọng số; $g_i(x)$ biểu thị một nhóm các phép biến đổi phi tuyến b biểu thị số dư.

3.4. Chỉ số đánh giá hiệu suất

Các chỉ số sau đây được sử dụng để đánh giá hiệu quả cũng như độ chính xác của mô hình trong quá trình dự đoán.

- Hệ số xác định (R^2)

$$R^2 = 1 - \sum_{i=1}^n (y - y')^2 / \sum_{i=1}^n (y - \bar{y})^2 \quad (4)$$

- Sai số phần trăm tuyệt đối trung bình

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{y - y'}{y} \right| \quad (5)$$

- Sai số toàn phương trung bình

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y' - y)^2} \quad (6)$$

- Chỉ số hiệu suất (Performance Index - PI) dùng để đo lường hiệu suất dự đoán của một mô hình một cách toàn diện bằng cách xem xét nhiều chỉ số đánh giá. Thay vì đánh giá sự khác biệt giữa giá trị thực tế và giá trị dự đoán, PI được sử dụng để so sánh hiệu suất dự đoán của các mô hình dự đoán khác nhau. Công thức toán học cho PI là:

$$PI_a = \frac{1}{3} \frac{R_{\min}^2}{R_a^2} + \frac{1}{3} \frac{RMSE_a}{RMSE_{\max}} + \frac{1}{3} \frac{MAPE_a}{MAPE_{\max}} \quad (7)$$

trong đó y' là giá trị dự đoán; y là giá trị thực tế; và n là số lượng mẫu dữ liệu. PI_a , R_a^2 , $RMSE_a$, và $MAPE_a$ là PI , R^2 , $RMSE$, và $MAPE$ của mô hình dự đoán a ; R_{\min}^2 là R^2 tối thiểu trong so sánh, và $RMSE_{\max}$ và $MAPE_{\max}$ là $RMSE$ và $MAPE$ tối đa trong so sánh. Có thể thấy từ phương trình rằng PI loại bỏ sự khác biệt về độ lớn giữa ba chỉ số đánh giá bằng cách tiêu chuẩn hóa, so sánh các giá trị chỉ số của mỗi dự đoán với hiệu suất chỉ số kém nhất trong số các so sánh. Không giống như từng chỉ số, PI xem xét tất cả các chỉ số có sẵn và đo lường hiệu suất của mô hình một cách toàn diện hơn. Trong nghiên cứu này, R^2 , $RMSE$ và $MAPE$ được coi là quan trọng như nhau trong việc đo lường hiệu suất dự đoán; do đó, chúng được gán với cùng trọng số trong phương trình PI . Giá trị PI nhỏ hơn cho thấy hệ suất dự đoán tốt hơn và ngược lại.

4. Thiết lập thực nghiệm

4.1. Mô tả và chuẩn bị dữ liệu

Dữ liệu cho các mô hình trí tuệ nhân tạo được thể hiện ở Bảng 7.

Bảng 7. Dữ liệu khảo sát chi phí gia tăng do lãng phí

Số lượng mẫu	150
Min	7,3
Max	10,5
Median	8,8
Mean	8,77
Std. Deviation	0,607

4.2. Cấu trúc mô hình

Các thông số mô hình dự đoán (ANN, LR, và SVR) được đặt dựa theo đề xuất của các nghiên cứu trước, phương pháp thử sai và các thiết lập mặc định của phần mềm trong quá trình huấn luyện và thử nghiệm. Việc cài đặt này đảm bảo việc dễ dàng trong việc vận hành và độ chính xác của mô hình một cách khách quan. Hình 3 minh họa cài đặt biến đầu vào và đầu ra. Hình 4 thể hiện việc nhập liệu thông số hoạt động của các mô hình trong phần mềm. Hình 5 minh họa cách xây dựng các mô hình dự đoán ảnh hưởng của các nhân tố gây lãng phí.

Field	Measurement	Values	Missing	Check	Role
chocoi4	Continuous	(1 0.5 0)		None	Input
doicanhiet1	Continuous	(2 0.5 0)		None	Input
doicanhiet2	Continuous	(2 0.5 0)		None	Input
doicanhiet3	Continuous	(2 0.5 0)		None	Input
doicanhiet4	Continuous	(2 0.5 0)		None	Input
gietkhongcanhiet1	Continuous	(2 0.5 0)		None	Input
gietkhongcanhiet2	Continuous	(2 0.5 0)		None	Input
gietkhongcanhiet3	Continuous	(2 0.5 0)		None	Input
gietkhongcanhiet4	Continuous	(2 0.5 0)		None	Input
tonkho1	Continuous	(1 0.5 0)		None	Input
tonkho2	Continuous	(2 0.5 0)		None	Input
tonkho3	Continuous	(2 0.5 0)		None	Input
tonkho4	Continuous	(1 0.5 0)		None	Input
cdathua1	Continuous	(1 0.4 0)		None	Input
cdathua2	Continuous	(1 0.5 0)		None	Input
cdathua3	Continuous	(1 0.5 0)		None	Input
stihcong1	Continuous	(1 0.5 0)		None	Input
stihcong2	Continuous	(1 0.5 0)		None	Input
stihcong3	Continuous	(1 0.5 0)		None	Input
stihcong4	Continuous	(1 0.5 0)		None	Input
stihcong5	Continuous	(1 0.5 0)		None	Input
ninhkhongsudung1	Continuous	(1 0.5 0)		None	Input
ninhkhongsudung2	Continuous	(1 0.5 0)		None	Input
ninhkhongsudung3	Continuous	(1 0.5 0)		None	Input
Langphi	Continuous	(7 0.11 0)		None	Target

Hình 3. Xác định biến đầu vào và đầu ra

SettingsAnnotations

Partition field:

Partition

Partitions:

☒ Train and test
 ☐ Train, test and validation

Training partition size:

80

Label: Training

Value = "1_Training"

Testing partition size:

20

Label: Testing

Value = "2_Testing"

Validation partition size:

0

Label: Validation

Value = "3_Validation"

Total size:

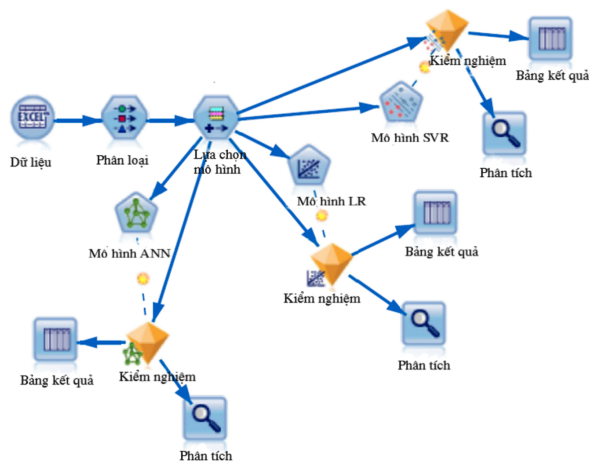
100%

Values:

☐ Use system-defined values ("1", "2" and "3")
 ☒ Append labels to system-defined values
 ☐ Use labels as values

☒ Repeatable partition assignment

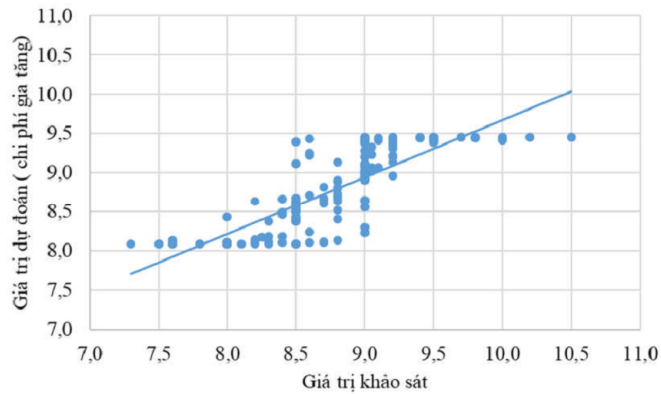
Hình 4. Thông số đầu vào của mô hình



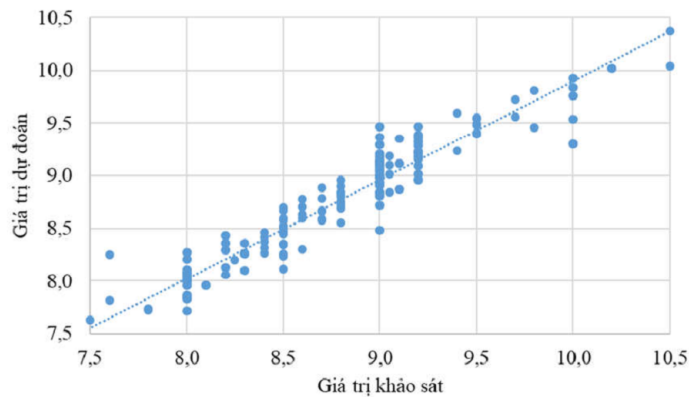
Hình 5. Mô hình các thuật toán dự đoán ảnh hưởng của lãng phí bằng SPSS Modeler V18

5. Kết quả thực nghiệm

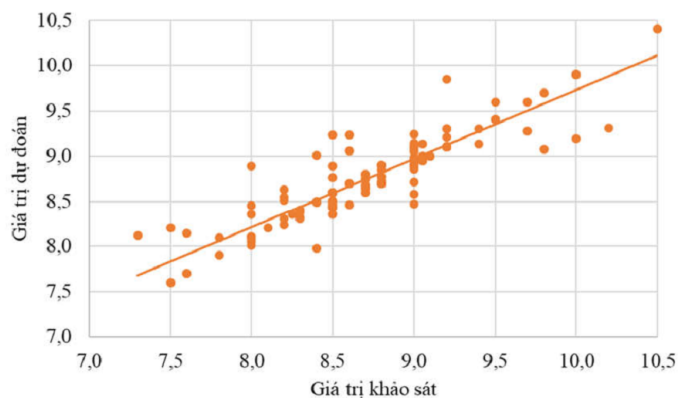
5.1. Kết quả dự đoán



(a) Mô hình ANN

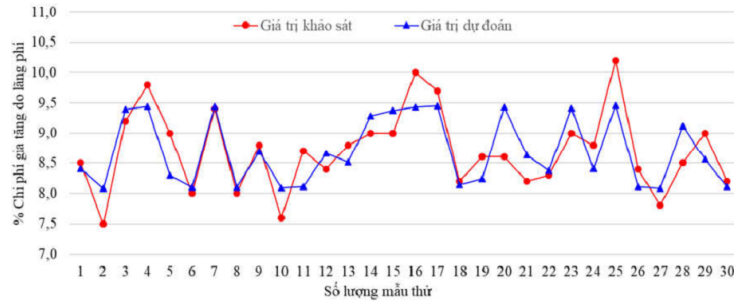


(b) Mô hình Linear Regression

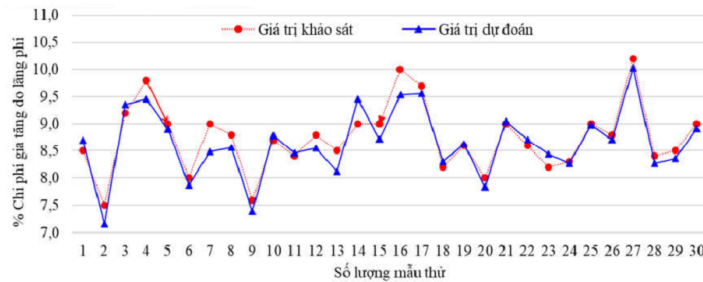


(c) Mô hình SVR

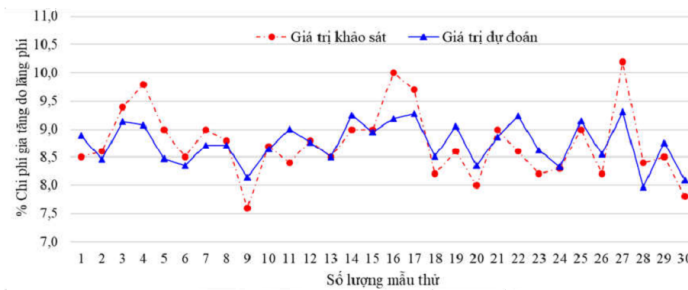
Hình 6. Sự phân bố của giá trị khảo sát và dự đoán bằng mô hình trí tuệ nhân tạo



(a) ANN



(b) LR



(c) SVR

Hình 7. Sự phân bố của giá trị khảo sát và dự đoán bằng mô hình trí tuệ nhân tạo

5.2. So sánh kết quả của các mô hình

Kết quả dự đoán tỉ lệ chi phí gia tăng do lãng phí của 3 mô hình ANN, LR, SVR lần lượt là 7,78%; 8,75%; 8,80% so với giá trị khảo sát là 8,77%. Các giá trị này là trung bình của kết quả dự đoán của 3 mô hình được thể hiện ở Hình 6. Giá trị khảo là giá trị trung bình (Mean) của 150 phiếu khảo sát ở Bảng 5.

Bảng 8. Hiệu suất của 3 mô hình

Mô hình	R^2	RMSE	MAPE (%)	PI (Xếp hạng)
LR	0,906	0,185	1,543	0,42
ANN	0,700	0,332	2,709	0,62
SVR	0,830	1,915	3,958	0,95

Để xác minh thêm độ chính xác của mô hình dự đoán chi phí gia tăng, 3 mô hình ANN, LR và SVR được xem xét để dự đoán mức phần trăm chi phí gia tăng do lãng phí trong thi công xây dựng các dự án cao tầng. Kết quả dự đoán của ba mô hình này từ phần mềm SPSS Modeler V18 và PI được sử dụng để đánh giá hiệu suất giữa các mô hình. PI dùng để đo lường hiệu suất dự đoán của mô hình một cách toàn diện bằng cách xem xét ba chỉ số đánh giá, đó là R2, RMSE và MAPE. Giá trị $PI \leq 1$ và PI càng nhỏ thì hiệu suất dự đoán của mô hình càng tốt. Hình 4 thể hiện sự phân bố của giá trị khảo sát so với giá trị dự đoán từ ba mô hình ANN, LR và SVR. Kết quả Hình 6 và 7 cho thấy rằng mô hình LR có giá trị dự đoán gần với giá trị mô phỏng nhất. Điều này phù hợp với chỉ số hiệu suất của các mô hình được thể hiện trong Bảng 8 hiệu suất dự đoán của ba mô hình được xếp hạng dựa vào giá trị PI, trong đó mô hình LR được xếp hạng số 1, lần lượt là mô hình ANN và SVR.

6. Kết luận

Nghiên cứu này dựa trên 150 dữ liệu khảo sát từ những người có kinh nghiệm trong thi công xây dựng và quản lý dự án. Kỹ thuật phân tích nhân tố chính được sử dụng để xác định mối quan hệ tiềm ẩn giữa 30 yếu tố lãng phí ban đầu. Tiếp theo các mô hình trí tuệ nhân tạo được áp dụng để dự đoán và đánh giá tác động của các yếu tố lãng phí đến chi phí thực hiện dự án. Các kết quả của nghiên cứu này như sau:

1. Tám nhóm thành phần, cụ thể là “Sai lỗi do thi công”, “chờ đợi”, “quy trình làm việc”, “giao tiếp và vận chuyển”, “sản xuất quá mức” và ”di chuyển không cần thiết” và “năng lực của nhân viên không được sử dụng”, được trích xuất với 75,5% phương sai được giải thích cho 30 yếu tố lãng phí trong dự án xây dựng. Điều này chỉ ra rằng mối quan hệ tiềm ẩn giữa các yếu tố lãng phí ban đầu là đáng kể vì phương sai của nó lớn hơn 50% theo quy luật chung.

2. Giá trị trung bình của việc tăng chi phí thực hiện dự án do các yếu tố lãng phí là khoảng 8,75% tổng chi phí dự án. Các mô hình trí tuệ nhân tạo được phát triển để dự đoán ảnh hưởng của các yếu tố lãng phí đến chi phí thực hiện dự án. Kết quả cho thấy sự khác biệt giữa giá trị dự đoán và giá trị thực tế là khá nhỏ.

3. Nghiên cứu này đã xem xét ảnh hưởng của các yếu tố lãng phí đến dự án xây dựng theo quan điểm của xây dựng tinh gọn. Kết quả đã chứng minh rằng những yếu tố lãng phí này đang tồn tại trong các quy trình thực hiện thực tế và chúng có tác động mạnh đến chi phí dự án. Kết quả nghiên cứu giúp các bên tham gia dự án, đặc biệt là các tổng thầu hoặc nhà thầu phụ ngăn ngừa và kiểm soát lãng phí trên công trường hiệu quả. Kết quả còn là cơ sở để chủ đầu tư kiểm tra năng lực quản lý, thi công giữa nhà thầu và đơn vị tư vấn trước và trong giai đoạn thực hiện.

Lời cảm ơn

Nghiên cứu được tài trợ bởi Đại học Quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh (ĐHQG-HCM) trong khuôn khổ Đề tài mã số DS2022-20-01.

Tài liệu tham khảo

- [1] *Tình hình xây dựng quý IV và năm 2021*.
- [2] Nguyen, D.-T., Le-Hoai, L., Tarigan, P. B., Tran, D.-H. (2022). [Tradeoff time cost quality in repetitive construction project using fuzzy logic approach and symbiotic organism search algorithm](#). *Alexandria Engineering Journal*, 61(2):1499–1518.
- [3] Salem, O., Solomon, J., Genaidy, A., Minkarah, I. (2006). [Lean Construction: From Theory to Implementation](#). *Journal of Management in Engineering*, 22(4):168–175.

- [4] Aslam, M., Gao, Z., Smith, G. (2020). [Framework for selection of lean construction tools based on lean objectives and functionalities](#). *International Journal of Construction Management*, 22(8):1559–1570.
- [5] Aravindh, M. D., Nakkeeran, G., Krishnaraj, L., Arivusudar, N. (2022). [Evaluation and optimization of lean waste in construction industry](#). *Asian Journal of Civil Engineering*, 23(5):741–752.
- [6] Igwe, C., Nasiri, F., Hammad, A. (2021). [An empirical study on non-physical waste factors in the construction industry](#). *Engineering, Construction and Architectural Management*, 29(10):4088–4106.
- [7] Yuan, H., Wu, H., Zuo, J. (2018). [Understanding Factors Influencing Project Managers' Behavioral Intentions to Reduce Waste in Construction Projects](#). *Journal of Management in Engineering*, 34(6).
- [8] Li, S., Wu, X., Zhou, Y., Liu, X. (2017). [A study on the evaluation of implementation level of lean construction in two Chinese firms](#). *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 71:846–851.
- [9] AlSehaimi, A. O., Fazenda, P. T., Koskela, L. (2014). [Improving construction management practice with the Last Planner System: a case study](#). *Engineering, Construction and Architectural Management*, 21(1): 51–64.
- [10] Enshassi, A., Saleh, N., Mohamed, S. (2019). [Application level of lean construction techniques in reducing accidents in construction projects](#). *Journal of Financial Management of Property and Construction*, 24 (3):274–293.
- [11] Sarhan, J. G., Xia, B., Fawzia, S., Karim, A. (2017). [Lean Construction Implementation in the Saudi Arabian Construction Industry](#). *Construction Economics and Building*, 17(1):46–69.
- [12] Bashir, A. M., Suresh, S., Oloke, D. A., Proverbs, D. G., Gameson, R. (2013). The Application of Lean Construction Tools in United Kingdom Construction Organisations: Findings From a Qualitative Inquiry. *AEI 2013*, American Society of Civil Engineers.
- [13] Senaratne, S., Wijesiri, D. (2008). Lean Construction as a Strategic Option: Testing its Suitability and Acceptability in Sri Lanka. *Lean Construction Journal*, 34–48.
- [14] Ali, S. A. A., Arun, C. (2014). *Time waste in construction process management*. National Institute of Technology, Calicut, India.
- [15] Khoa, H. N., Hoje, T. Đ., Long, L. Đ. (2020). [Đề xuất thuật toán đa mục tiêu nhóm xã hội và phương pháp ra quyết định đa tiêu chí cho bài toán thời gian, chi phí, rủi ro trong tiến độ dự án](#). *Tạp chí Khoa học Công nghệ Xây dựng (KHCN XD)-ĐH XDHN*, 14(5V):1–10.
- [16] Abdallah, M., Talib, M. A., Feroz, S., Nasir, Q., Abdalla, H., Mahfood, B. (2020). [Artificial intelligence applications in solid waste management: A systematic research review](#). *Waste Management*, 109:231–246.
- [17] Bajjou, M. S., Chafi, A. (2019). [Identifying and Managing Critical Waste Factors for Lean Construction Projects](#). *Engineering Management Journal*, 32(1):2–13.
- [18] Alwi, S., Mohamed, S., Hampson, K. (2002). Waste in the Indonesian construction projects. *Proceedings of the 1st CIB-W107 International Conference-Creating a Sustainable Construction Industry in Developing Countries*, CSIR, 305–315.
- [19] Khanh, H. D., Kim, S. Y. (2014). [Identifying causes for waste factors in high-rise building projects: A survey in Vietnam](#). *KSCE Journal of Civil Engineering*, 18(4):865–874.
- [20] Bajjou, M. S., Chafi, A. (2021). [Exploring the critical waste factors affecting construction projects](#). *Engineering, Construction and Architectural Management*, 29(6):2268–2299.
- [21] Học, T. Đ., Tài, L. T. (2020). [Tối ưu hóa ước tính mức tiêu thụ năng lượng trong các tòa nhà dựa trên các thuật toán trí tuệ nhân tạo](#). *Tạp chí Khoa học Công nghệ Xây dựng (KHCN XD) - ĐHXDHN*, 14(1V): 35–45.
- [22] Hoàn, P. T. (2021). [Ước lượng khả năng chịu nén đúng tâm của cột ống thép nhồi bê tông bằng thuật toán máy học](#). *Tạp chí Khoa học Công nghệ Xây dựng (KHCN XD) - ĐHXDHN*, 15(3V):69–78.
- [23] Lorenz, F., Neter, J., Wasserman, W., Kutner, M. H. (1986). [Applied Linear Statistical Models](#). *Journal of the American Statistical Association*, 81(396):1126.
- [24] Sinnakaudan, S. K., Ghani, A. A., Ahmad, M. S., Zakaria, N. A. (2006). [Multiple Linear Regression Model for Total Bed Material Load Prediction](#). *Journal of Hydraulic Engineering*, 132(5):521–528.
- [25] Vapnik, V. N. (1995). *The Nature of Statistical Learning Theory*. Springer New York.
- [26] SPSS (2007). *Clementine 12.0 Algorithm Guide*. Chicago, USA: Integral Solutions Limited.