

# XẾP HẠNG RỦI RO TAI NẠN LAO ĐỘNG TRONG THI CÔNG PHẦN THÂN NHÀ CAO TẦNG

Lê Thị Phương Loan<sup>a</sup>, Nguyễn Ngọc Thoan<sup>a,\*</sup>, Trần Quang Dũng<sup>a</sup>, Nguyễn Anh Đức<sup>a</sup>,  
Lê Thái Hòa<sup>a</sup>, Doãn Hiệu<sup>a</sup>

<sup>a</sup>Khoa 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 13/01/2023, Sửa xong 21/02/2023, Chấp nhận đăng 18/5/2023

## Tóm tắt

Đánh giá rủi ro an toàn lao động trong xây dựng rất quan trọng đối với các bên liên quan trong việc cung cấp các nhận thức về rủi ro tiềm năng, từ đó dẫn đến hiệu quả quản lý rủi ro an toàn lao động. Xếp hạng rủi ro là một trong những kết quả của quá trình đánh giá rủi ro. Nghiên cứu này phân tích các phương pháp đánh giá rủi ro, từ đó lựa chọn phương pháp hệ thống cho điểm rủi ro và so sánh cặp để đánh giá rủi ro an toàn trong xây dựng phần thân nhà cao tầng. Kết quả nghiên cứu cho thấy những rủi ro hàng đầu trong xây dựng phần thân nhà cao tầng tại Việt Nam là: 1) sập đổ kết cấu, máy móc và thiết bị; 2) ngã cao; và 3) điện giật. Kết quả nghiên cứu này giúp các bên liên quan phân bổ tài nguyên hiệu quả hơn trong các chiến lược kiểm soát rủi ro trước và trong quá trình xây dựng. Ngoài ra, phương pháp đánh giá rủi ro sử dụng trong nghiên cứu này là cơ sở để xây dựng các phương pháp chính xác hơn để đánh giá rủi ro cho các dạng công trình và các giai đoạn thi công khác nhau.

*Từ khóa:* đánh giá rủi ro; xếp hạng rủi ro; so sánh theo cặp; tai nạn trong xây dựng; an toàn trong xây dựng.

## OCCUPATIONAL RISK RANKING IN THE CONSTRUCTION OF SUPERSTRUCTURE OF HIGH-RISE BUILDINGS

### Abstract

Occupational risk assessment in construction is crucial in providing stakeholders with valuable insights on potential hazards, enabling more efficient occupational risk management. The risk ranking is one of the results of a risk assessment process. This study analyzed various risk assessment methods and chose the risk scoring system and pairwise comparison to assess the safety risks in the construction of high-rise building superstructure. The results of the research revealed the most critical risks in high-rise building construction in Vietnam: 1) collapse of structures, machinery, and equipment; 2) falls from height; and 3) electrocution. The findings of this study have the potential to inform stakeholders in making informed decisions on resource allocation for risk mitigation before and during construction. Additionally, the risk assessment method used in this research can serve as a foundation for formulating more refined methods to evaluate risks of different types of buildings and construction phases.

*Keywords:* risk assessment; risk ranking; pairwise comparison; construction accidents; construction safety.

[https://doi.org/10.31814/stce.huce2023-17\(3V\)-12](https://doi.org/10.31814/stce.huce2023-17(3V)-12) © 2023 Trường Đại học Xây dựng Hà Nội (ĐHXDHN)

## 1. Giới thiệu

Một trong những nguyên nhân cơ bản của tai nạn lao động là sự quản lý an toàn thiếu hiệu quả của doanh nghiệp [1]. Nói cách khác, muốn giảm số vụ tai nạn lao động, yếu tố quản lý an toàn (safety management) cần được đảm bảo. Vai trò then chốt của quản lý an toàn cũng được công nhận trong phòng tránh tai nạn xây dựng, thông qua các nghiên cứu về nguyên nhân cơ bản gây tai nạn lao động

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

(root causes of construction accidents) [2, 3] và các nghiên cứu về các yếu tố quyết định hiệu quả của công tác an toàn (critical factors affecting safety performance) [4–8].

Hiệu quả của quản lý an toàn (safety management performance) bị chi phối bởi hệ thống quản lý an toàn (occupational safety and health system) [9, 10]. Chính vì vậy, quản lý an toàn hiện đại tập trung vào xây dựng một hệ thống quản lý cho hiệu quả cao, ví dụ như các hệ thống quản lý an toàn của OSHA, HSE, ISO [11]. Mục tiêu chung của các hệ thống này là xây dựng một công cụ để quản lý rủi ro an toàn lao động (occupational risk management). Điều này cho thấy, quản lý rủi ro an toàn lao động là phương thức tiếp cận tiên tiến đã được công nhận ở phạm vi toàn thế giới vì mục đích giảm thiểu tai nạn lao động.

Trong quản lý rủi ro an toàn lao động, bước đầu tiên và then chốt chính là đánh giá rủi ro (risk assessment) [12]. Rủi ro trong an toàn lao động (occupational risk) thường được định nghĩa là sự kết hợp giữa hậu quả của một sự kiện và khả năng xảy ra của sự kiện đó [13, 14]. Đánh giá rủi ro thường bao gồm 3 bước chính: 1) Xác định mối nguy (hazard identification); 2) Ước tính rủi ro của các dạng tai nạn gắn với mối nguy đó (risk estimation); 3) Đưa ra một tuyên bố về rủi ro [12]. Đánh giá rủi ro từ lâu đã được công nhận là có vai trò quan trọng trong đảm bảo hiệu quả của công tác an toàn và vệ sinh lao động cho công nhân trên công trường xây dựng. Một trong những kết quả quan trọng của đánh giá rủi ro là xếp hạng rủi ro (risk ranking). Xếp hạng rủi ro cho biết trong từng giai đoạn, rủi ro nào là lớn, cần ưu tiên đối phó và phòng tránh. Để có kế hoạch an toàn hiệu quả, các nhà thầu cần phải xếp hạng rủi ro tai nạn trong từng giai đoạn.

Tai nạn lao động trong xây dựng tại Việt Nam thường ở mức cao trong nhiều năm qua. Theo thông báo tình hình tai nạn lao động 5 năm gần đây (từ 2017 đến 2021) [15], ngành xây dựng thường chiếm khoảng 15% tổng số vụ tai nạn và khoảng 15% tổng số người chết vì tai nạn lao động trên cả nước, đứng đầu trong các lĩnh vực sản xuất kinh doanh. Đặc biệt, giai đoạn thi công phần thân nhà cao tầng được biết đến là giai đoạn có nhiều tai nạn nghiêm trọng nhất. Một trong những lý do khiến công tác an toàn lao động trong thi công phần thân nhà cao tầng kém hiệu quả là do công tác lập kế hoạch an toàn. Kế hoạch an toàn của các nhà thầu quá chung chung, việc áp dụng đánh giá rủi ro nói chung và xếp hạng rủi ro nói riêng khi lập kế hoạch còn khó khăn do thiếu cơ sở dữ liệu và nghiên cứu.

Hiện nay, tại Việt Nam, có rất ít nghiên cứu về xếp hạng rủi ro trong thi công nhà cao tầng. Nghiên cứu của Tú P. Q. và Toàn N. N. [16] trình bày nguyên lý phân tích rủi ro khi thi công hố đào sâu và các biện pháp giảm thiểu. Mục tiêu của nghiên cứu không phải là xếp hạng rủi ro. Nghiên cứu của Tuấn N. A. và cs. [17] đã phát triển một công cụ đánh giá rủi ro trong thi công nhà cao tầng. Tuy nhiên, kết quả xếp hạng rủi ro có được từ công cụ này khá chủ quan do điểm đánh giá là do người dùng nhập. Căn cứ vào những phân tích trên, mục tiêu nghiên cứu của đề tài là đưa ra một kết quả xếp hạng rủi ro đáng tin cậy trong thi công xây dựng phần thân nhà cao tầng tại Việt Nam.

## 2. Các nghiên cứu trước đây về đánh giá rủi ro tai nạn lao động trong thi công xây dựng

Các phương pháp đánh giá rủi ro hiện nay có thể chia làm 3 nhóm chính: định tính, định lượng và bán định lượng [12]. Các phương pháp định tính ví dụ như bảng kê (checklist), phân tích mối nguy ban đầu (preliminary hazard analysis), phân tích nguy hiểm và khả năng vận hành (hazard and operability studies) là những phương pháp đơn giản. Phương pháp phân tích mối nguy ban đầu đánh giá các rủi ro tai nạn ở mức: thấp, trung bình, cao, rất cao; cho phép sơ bộ xác định các rủi ro ở mức cao để tiến hành phân tích sâu hơn [18, 19]. Phương pháp bảng kê rất tiện lợi nhưng chỉ phù hợp khi kiểm tra một công tác cụ thể [20]. Phương pháp phân tích nguy hiểm và khả năng vận hành xác định các yếu tố có thể gây sai sót và hậu quả gây ra cho hệ thống nếu xảy ra sai sót [21–23]. Phương pháp này cũng chỉ xác định định tính mức rủi ro. Kết quả của những phương pháp kể trên thường được cho bởi một nhóm nhỏ chuyên gia trên công trường nên có thể chưa phản ánh đúng mức rủi ro [24].

Các phương pháp định lượng như phân tích cây lỗi (fault tree analysis), phân tích cây quyết định (decision tree analysis), phân tích độ nhạy (sensitivity analysis) được sử dụng để đưa ra các giá trị rủi ro dưới dạng số nhưng thường đòi hỏi số liệu thống kê [25–29]. Trong khi đó, số liệu thống kê về dạng tai nạn và nguyên nhân tai nạn lao động trong xây dựng tại Việt Nam khó tiếp cận và thiếu độ tin cậy. Các phương pháp bán định lượng như hệ thống cho điểm rủi ro (risk scoring system), phân tích hoạt động và hình thức sinh lỗi (failure mode and effects analysis) căn cứ vào sự cho điểm của các chuyên gia để xác định giá trị rủi ro [1, 30]. Gọi là các phương pháp bán định lượng vì mặc dù giá trị rủi ro được biểu thị dưới dạng số, các giá trị này lại thu được từ sự ước lượng của các chuyên gia chứ không phải từ dữ liệu thống kê tai nạn. Các phương pháp bán định lượng đã được sử dụng để xếp hạng rủi ro trong nhiều nghiên cứu trước đây về an toàn trong thi công xây dựng [31–41].

Hệ thống cho điểm rủi ro là một phương pháp đánh giá rủi ro dựa trên công thức tính mức rủi ro. Công thức tính mức rủi ro phổ biến nhất là công thức gồm hai thành phần như sau [1]:

$$R = S.P \quad (1)$$

trong đó  $R$  là mức rủi ro;  $S$  là mức nghiêm trọng của tai nạn;  $P$  là mức khả năng xảy ra tai nạn. Các công thức gồm 3 thành phần cũng được sử dụng rộng rãi, ví dụ như công thức dưới đây [1]:

$$R = S.P.E \quad (2)$$

trong đó  $R$  là mức rủi ro;  $S$  là mức nghiêm trọng của tai nạn;  $P$  là mức khả năng xảy ra tai nạn khi có sự tiếp xúc với mối nguy;  $E$  là tần suất tiếp xúc với mối nguy. Ngoài ra, một số hệ thống cũng sử dụng công thức tính rủi ro như sau [1]:

$$R = S.O.D \quad (3)$$

trong đó  $R$  là mức rủi ro;  $S$  là mức nghiêm trọng của tai nạn;  $O$  là mức khả năng xuất hiện sai sót;  $D$  là mức khả năng phát hiện sai sót để sửa chữa kịp thời.

Hệ thống cho điểm rủi ro bị một số tác giả phê phán là các điểm số được cho bởi chuyên gia không phản ánh các giá trị thực tế của xác suất hoặc hậu quả của rủi ro [1, 24]. Tuy nhiên, phương pháp này có những lợi ích như: 1) đáp ứng được mong muốn số hóa các vấn đề của các kỹ sư [1]; 2) cho phép dễ dàng xếp hạng các rủi ro theo mức độ từ cao đến thấp để người quản lý ưu tiên giải quyết [37, 42]; 3) dễ hiểu và dễ sử dụng với những người không có kiến thức sâu về an toàn; 4) không đòi hỏi dữ liệu thống kê tai nạn.

Nhiều nghiên cứu sử dụng hệ thống chấm điểm đã thu thập dữ liệu thông qua các phương pháp lấy ý kiến của nhiều chuyên gia, ví dụ như các nghiên cứu [32, 36, 40, 41]. Hallowell và cs. [36] đã phân tích công tác ván khuôn ra làm nhiều công tác thành phần và đánh giá rủi ro của các công tác thành phần. Điểm số của tần suất xảy ra tai nạn và mức độ nghiêm trọng của tai nạn được xác định từ phương pháp Delphi. Nghiên cứu của Rozenfeld và cs. [40] đã đánh giá mức độ rủi ro của từng dạng tai nạn dựa trên phương pháp CJSA (Construction Job Safety Analysis). Trong phương pháp CJSA, điểm số được xác định thông qua phỏng vấn sâu ý kiến của chuyên gia.

Sanni-Anibire và cs. [41] đã xây dựng một hệ thống chấm điểm rủi ro liên quan đến các dạng tai nạn chính trên công trường (ví dụ: tai nạn sập đổ, tai nạn vật rơi, tai nạn điện...). Trong nghiên cứu này, dữ liệu dùng để tính điểm được lấy từ phương pháp so sánh cặp do chính Sanni-Anibire và cs. thiết lập, tuy nhiên phương pháp được sử dụng lại không chứng minh tính nhất quán của kết quả. Trong nghiên cứu của Aminbakhsh và cs. [32], điểm số của mức độ nghiêm trọng của các dạng tai nạn đã được xác định bằng phương pháp so sánh cặp (pairwise comparison). Phương pháp so sánh này là một phần của phương pháp AHP, được mô tả bởi Saaty [43]. Nó đã được sử dụng rộng rãi trong

nhiều lĩnh vực. Phương pháp này có nhiều ưu điểm như: 1) việc xếp hạng của các đối tượng sẽ được cân nhắc kỹ do một đối tượng được so sánh nhiều lần; 2) tính nhất quán của kết quả xếp hạng được đảm bảo bằng tỷ lệ nhất quán CR (Consistency Ratio).

Từ phần tổng quan nghiên cứu trên có thể thấy xây dựng một hệ thống chấm điểm là một hướng đơn giản và khả thi để đánh giá rủi ro trong thi công xây dựng phần thân nhà cao tầng. Các dữ liệu để xác định mức độ của mức nghiêm trọng và mức khả năng xảy ra có thể được xây dựng thông qua khảo sát ý kiến chuyên gia. Phương pháp này cho phép tăng độ tin cậy của kết quả so với các phương pháp định tính và khắc phục được vấn đề về thiếu dữ liệu thống kê dạng tai nạn trong thi công xây dựng tại Việt Nam.

### 3. Phương pháp nghiên cứu

#### 3.1. Các bước nghiên cứu chính

Các bước nghiên cứu chính được mô tả trong Hình 1. Đầu tiên, chúng tôi đã nghiên cứu các công bố khoa học trước đây để tổng hợp các dạng tai nạn lao động phổ biến và nghiêm trọng trong thi công xây dựng nói chung (Bảng 1). Các nghiên cứu được lựa chọn là các bài báo xuất bản trong các tạp chí uy tín, trình bày các số liệu thống kê về tai nạn lao động trong xây dựng tại các nước trên thế giới.

Bảng 1. Các dạng tai nạn phổ biến trong thi công xây dựng

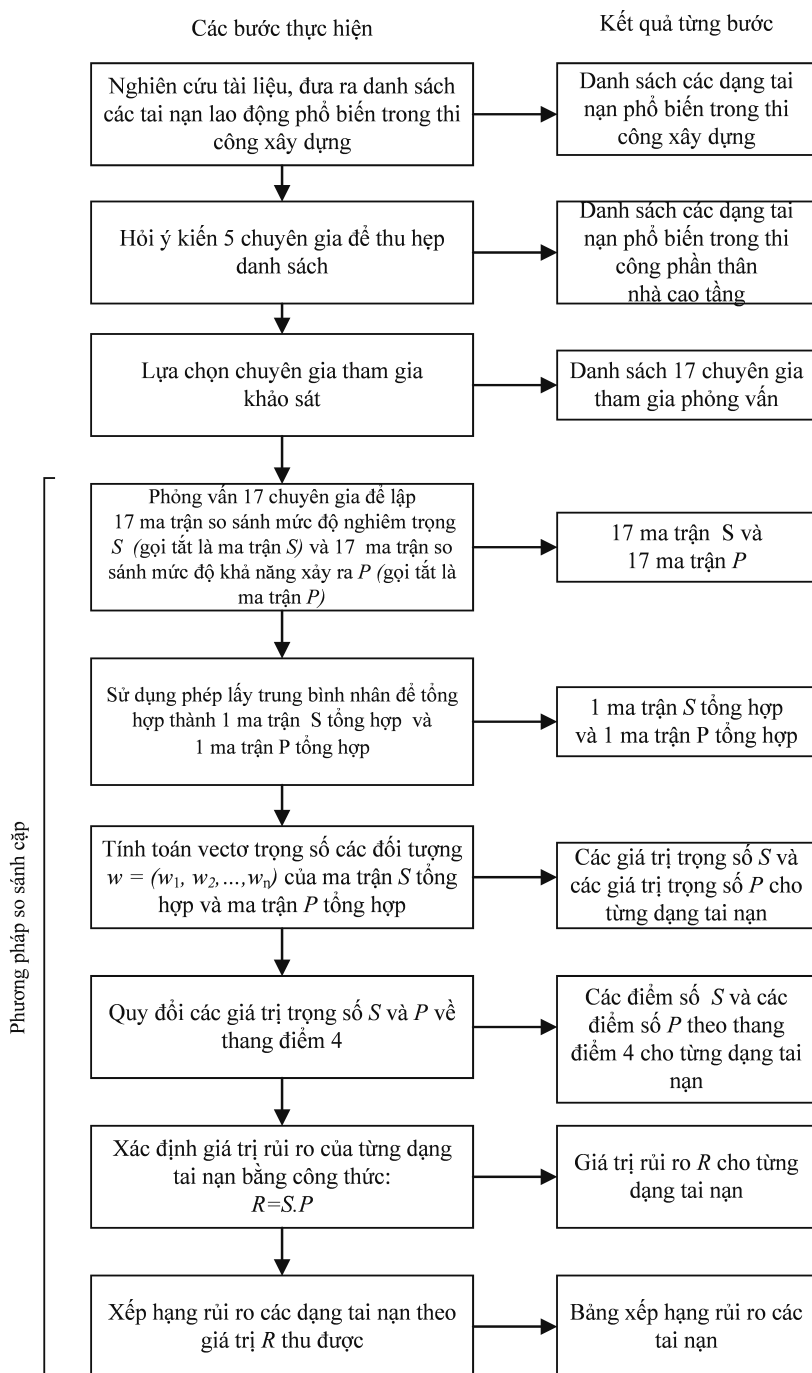
Tài liệu	Dạng tai nạn							
	Ngã cao	Điện	Vật rơi	Va chạm	Sập kết cấu	Đào đất	Thiết bị cầm tay	Cháy nổ
1. Kartam và Bouz [44]	x	x	x	x	x	x	x	
2. Al-Tabtabai [45]	x	x	x					x
3. Ling và cs. [46]	x	x	x	x	x	x		
4. Fung và cs. [35]	x	x	x	x	x	x		
5. Haslam và cs. [47]	x	x	x	x		x		x
6. Liu và Tsai [48]	x		x		x	x		
7. Gürçanlı và cs. [49]	x	x	x		x		x	
8. Hughes và Ferrett [50]	x		x	x		x		x

Sau khi nhóm nghiên cứu họp trao đổi nhóm với 5 chuyên gia an toàn lao động trong xây dựng, danh sách được rút gọn lại một lần nữa, gồm có 6 dạng tai nạn phổ biến trong thi công phần thân nhà cao tầng như sau:

- 1.Sập đổ kết cấu, máy và thiết bị;
- 2.Ngã cao;
- 3.Tai nạn do máy cầm tay;
- 4.Vật rơi, văng bắn;
- 5.Cháy nổ;
- 6.Điện giật

Tiếp theo, nhóm nghiên cứu đã lựa chọn công thức tính rủi ro là công thức (1). Trên thực tế, rủi ro là một khái niệm có thể được hiểu khác nhau tùy vào tình huống, điều quan trọng là khái niệm đó phải giúp ích cho quá trình ra quyết định với mục đích làm giảm thiệt hại do tai nạn [29]. Với mục tiêu xếp hạng rủi ro tai nạn trong giai đoạn lập kế hoạch sơ bộ, công thức (1) được lựa chọn do tính đơn giản của nó. Công thức này cũng được sử dụng để xếp hạng rủi ro tai nạn trong thi công xây dựng ở nhiều nghiên cứu trước đây [32, 33, 51–53]. Phương pháp lấy ý kiến chuyên gia đã được lựa

chọn để xác định các giá trị số cho mức độ nghiêm trọng  $S$  và mức khả năng xảy ra  $P$  của từng dạng tai nạn.



Hình 1. Quy trình nghiên cứu

Trong bước khảo sát ý kiến chuyên gia, nếu như sử dụng các thang được mô tả trong những nghiên cứu trước đây của Hollowell và cs. [54] hoặc của Rozenfeld và cs. [40], kết quả nhận về có thể là tất cả các mối nguy đều có mức độ khả năng xảy ra và nghiêm trọng như nhau. Do đó, chúng tôi đã lựa

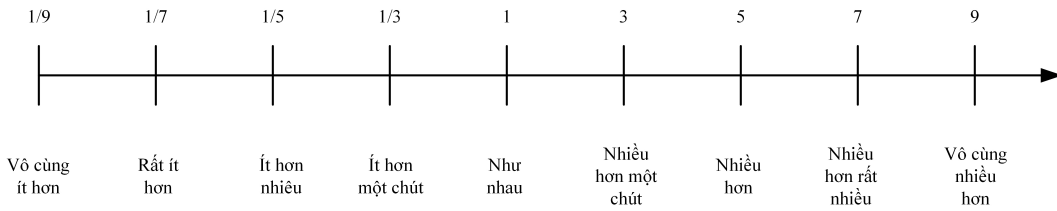
chọn sử dụng phương pháp so sánh theo cặp của Saaty [43] để tính điểm cho mức độ nghiêm trọng S và mức khả năng xảy ra P. Mục 3.2 mô tả cụ thể về phương pháp này.

### 3.2. Phương pháp so sánh theo cặp

Phương pháp so sánh theo cặp gồm các bước cơ bản như mô tả dưới đây:

#### a. Bước 1 - Xây dựng ma trận so sánh (comparison matrix)

Chúng ta có  $n$  các đối tượng cần được xếp hạng mức độ ưu tiên. Để xếp hạng ưu tiên của các đối tượng, đầu tiên, người đánh giá cần phải điền các giá trị vào một nửa ma trận vuông cấp  $n$ . Mỗi giá trị  $a_{ij}$  của ma trận thể hiện đánh giá của chuyên gia về mức độ ưu tiên của đối tượng  $i$  so với đối tượng  $j$ .  $a_{ij}$  có thể nhận các giá trị từ 1/9 đến 9. Trong đó, số 1 thể hiện mức độ ưu tiên của hai đối tượng là tương đương nhau. Các giá trị lớn hơn 1 tương ứng với mức độ ưu tiên lớn hơn của đối tượng  $i$  so với đối tượng  $j$ , các giá trị nhỏ hơn 1 tương ứng với mức độ ưu tiên nhỏ hơn của đối tượng  $i$  so với đối tượng  $j$ . Thang đánh giá của phương pháp được thể hiện ở Hình 2.



Hình 2. Thang đánh giá mức độ ưu tiên của đối tượng  $i$  so với đối tượng  $j$

Đường chéo của ma trận là các giá trị 1. Người đánh giá chỉ cần hoàn thiện 1 nửa của ma trận. Một nửa còn lại của ma trận sẽ được xác định như sau:  $a_{ji}$  bằng nghịch đảo của  $a_{ij}$ . Điều này đảm bảo tính logic của phương pháp vì nếu đối tượng  $i$  có mức độ ưu tiên gấp  $a_{ij}$  lần đối tượng  $j$ , đối tượng  $j$  phải có mức độ ưu tiên bằng  $1/a_{ij}$  lần mức độ ưu tiên của đối tượng  $i$ . Ma trận so sánh có dạng như sau:

$$A = \begin{bmatrix} 1 & a_{12} & a_{13} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & 1 & a_{23} & \dots & a_{2n} \\ a_{31} & a_{32} & 1 & \dots & a_{3n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{n1} & a_{n2} & a_{n3} & \dots & 1 \end{bmatrix} \quad a_{ij} = 1/a_{ji} \text{ với mọi } i, j \quad (4)$$

#### b. Bước 2 - Tính toán véc tơ trọng số các đối tượng (eigenvector)

Bước tiếp theo là phải tính toán véc tơ trọng số. Véc tơ trọng số  $w = (w_1, w_1, \dots, w_n)$  thể hiện trọng số của các đối tượng căn cứ vào ma trận vừa lập. Véc tơ này được tính toán bằng phương pháp giá trị trung bình của các cột đã được chuẩn hóa (ANC method) [43]. Theo phương pháp này, sau khi đã có ma trận so sánh ở bước 1, cần chuyển ma trận này về ma trận đã được chuẩn hóa các cột. Các phần tử của ma trận mới này được xác định như sau:

$$w_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sum_{k=1}^n a_{kj}} \quad (5)$$

trong đó,  $w_{ij}$  là phần tử nằm ở hàng  $i$  cột  $j$  của ma trận đã được chuẩn hóa;  $a_{ij}$  là phần tử nằm ở hàng  $i$  cột  $j$  của ma trận ban đầu;  $a_{kj}$  là phần tử nằm ở bất cứ hàng  $k$  nào thuộc cột  $j$  của ma trận ban

đầu. Sau đó, các thành phần của véc tơ trọng số được tính toán như sau:

$$w_i = \frac{\sum_{j=1}^n w_{ij}}{n} \quad (6)$$

trong đó,  $w_i$  là thành phần thứ  $i$  của véc tơ trọng số;  $w_{ij}$  là phần tử nằm ở hàng  $i$  cột  $j$  của ma trận đã được chuẩn hóa,  $n$  là cấp của ma trận hay chính là số đối tượng được so sánh.

### c. Bước 3 - Tính toán tỷ lệ nhất quán $CR$

Phương pháp so sánh theo cặp là một phương pháp dựa vào kinh nghiệm cá nhân, do đó có thể không đảm bảo tính nhất quán tuyệt đối. Tính nhất quán tuyệt đối là khi, giả sử,  $x$  có mức độ ưu tiên gấp 3 lần  $y$  và  $y$  có mức độ ưu tiên gấp 2 lần  $z$  thì  $x$  phải có mức độ ưu tiên gấp 6 lần  $z$ . Tuy nhiên, Saaty đã chỉ ra rằng có thể kiểm soát mức độ nhất quán của câu trả lời thông qua tỷ lệ nhất quán  $CR$ . Nếu giá trị của tỷ lệ nhất quán  $CR$  nhỏ hơn 0,1 thì ma trận so sánh có thể xem là chấp nhận được.

Tỷ lệ  $CR$  được xác định bằng công thức:

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (7)$$

trong đó  $CR$  là tỷ lệ nhất quán;  $CI$  là chỉ số nhất quán;  $RI$  là chỉ số ngẫu nhiên.

Chỉ số  $CI$  được xác định bằng công thức:

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \quad (8)$$

trong đó  $CI$  là chỉ số nhất quán;  $\lambda_{\max}$  là giá trị riêng lớn nhất của ma trận so sánh cặp;  $n$  là số đối tượng được so sánh.

Giá trị  $\lambda_{\max}$  được xác định bằng công thức:

$$\lambda_{\max} = \sum_{i=1}^n w_i \cdot \sum_{j=1}^n a_{ij} \quad (9)$$

trong đó  $\lambda_{\max}$  là giá trị riêng lớn nhất của ma trận so sánh cặp;  $w_i$  là trọng số của đối tượng  $i$ ;  $a_{ij}$  là giá trị của phần tử đứng ở hàng  $i$ , cột  $j$  trong ma trận so sánh cặp;  $n$  là số đối tượng được so sánh.

Chỉ số ngẫu nhiên  $RI$  được xác định từ Bảng 2.

Bảng 2. Bảng chỉ số ngẫu nhiên

$n$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
$RI$	0,00	0,00	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49	1,51	1,54	1,56	1,57	1,59

### d. Thống nhất ý kiến chuyên gia

Phương pháp so sánh theo cặp sẽ rất đơn giản nếu chỉ có một người đánh giá. Khi muốn tổng hợp ý kiến của nhiều chuyên gia, để có được trọng số cuối cùng, có hai cách: 1) bỏ phiếu thống nhất và 2) đánh giá độc lập.

Trong phương pháp bỏ phiếu thống nhất, cả nhóm phải bàn bạc để đưa ra một giá trị duy nhất cho mỗi phần tử  $a_{ij}$  trong ma trận. Như vậy có thể rất mất thời gian mới có thể đi tới kết quả cuối cùng hoặc nhiều người trong nhóm sẽ gạt bỏ ý kiến cá nhân để đi theo một số ít người. Trong phương pháp



đánh giá độc lập, mỗi thành viên sẽ tự cho một giá trị  $a_{ij}$ . Ma trận kết quả tổng hợp được tạo lập bằng cách lấy trung bình nhân (geometric mean) của các giá trị  $a_{ij}$  cho bởi các chuyên gia. Sau đó, giá trị của các trọng số được tính như đã nêu ở bước 2.

Phương pháp đánh giá độc lập cho phép tạo ra các giá trị đại diện cho ý kiến của các thành viên trong nhóm trong khi vẫn tôn trọng quyết định của họ. Phép lấy trung bình nhân giữ nguyên tính nghịch đảo của ma trận mới hình thành. Do đó, nó là cách thức phù hợp nhất để tổng hợp nhiều ý kiến khác nhau. Trong phương pháp này, kết quả sẽ đảm bảo nếu chỉ số  $CR$  của từng câu trả lời nhỏ hơn 0,1 và chỉ số  $CR$  của câu trả lời cuối cùng nhỏ hơn 0,1. Thực tế là nếu chỉ số  $CR$  của từng người nhỏ hơn 0,1 thì chỉ số  $CR$  cuối cùng chắc chắn cũng nhỏ hơn 0,1.

### 3.3. Ứng dụng so sánh theo cặp để tính điểm mức nghiêm trọng $S$ và mức khả năng xảy ra $P$

Vì việc thống nhất ý kiến của nhiều chuyên gia là rất khó thực hiện, kết quả được thu thập nhờ vào phương pháp đánh giá cá nhân được trình bày ở mục 3.2.d. Do phương pháp này tương đối phức tạp và giá trị của  $CR$  cần phải nhỏ hơn 0,1 thì kết quả mới có giá trị, chúng tôi đã phỏng vấn trực tiếp từng chuyên gia.

Chúng tôi đã lựa chọn 17 chuyên gia tham gia vào khảo sát, tiến hành phỏng vấn với họ, vị trí công tác và số năm kinh nghiệm trong lĩnh vực được phỏng vấn của các chuyên gia được nêu trong Bảng 3 và Bảng 4. Các chuyên gia này đã trải qua nhiều vị trí công tác khác nhau nhưng đều là những người có trên 10 năm kinh nghiệm tại những vị trí liên quan đến an toàn thi công xây dựng nhà cao tầng (cán bộ ban quản lý dự án, cán bộ kỹ thuật, chỉ huy trưởng công trường, cán bộ phòng an toàn công ty xây dựng, tư vấn giám sát, nhà nghiên cứu về an toàn trong thi công xây dựng). Họ là các cán bộ thuộc các tổng công ty, tập đoàn xây dựng lớn tại Việt Nam như Hòa Bình, Delta, Ecoba, Vinaconex. Những chuyên gia này thường xuyên tiếp xúc với các số liệu tổng hợp về tai nạn hoặc được chứng kiến những vụ tai nạn thực tế trong thi công xây dựng nhà cao tầng. Một file excel có sẵn công thức tính toán theo phương pháp so sánh cặp đã được xây dựng, cho phép tính toán kết quả ngay lập tức từ các cuộc phỏng vấn.

Bảng 3. Cơ cấu vị trí công tác của các chuyên gia tham gia nghiên cứu

TT	Vị trí công tác	Số người	Tỷ lệ (%)
1	Giám đốc/phó giám đốc, trưởng phòng an toàn công ty xây dựng	5	29,4
2	Trưởng/phó ban quản lý dự án	6	35,3
3	Cán bộ kỹ thuật	3	17,6
4	Chỉ huy trưởng công trường	1	5,9
5	Tư vấn giám sát	1	5,9
6	Giảng viên, nhà nghiên cứu về an toàn trong thi công xây dựng	1	5,9

Bảng 4. Cơ cấu số năm kinh nghiệm làm việc tại những vị trí liên quan đến an toàn trong thi công xây dựng nhà cao tầng

Số năm công tác (năm)	Số người	Tỷ lệ (%)
10 đến 14	6	35,3
15 đến 20	7	41,2
trên 20	4	23,5

Trước khi phỏng vấn, nội dung của phương pháp đã được phổ biến tới từng chuyên gia. Mỗi chuyên gia được yêu cầu thực hiện 2 phép so sánh cặp. Câu hỏi của phép so sánh theo cặp thứ nhất là:



“Theo hiểu biết và kinh nghiệm của Ông/Bà, hãy so sánh mức độ nghiêm trọng của các dạng tai nạn trong thi công xây dựng phần thân nhà cao tầng”. Ý nghĩa của các ký hiệu trong phép so sánh cặp thứ nhất như sau:

- A1: Mức độ nghiêm trọng của tai nạn “Sập đổ kết cấu, máy và thiết bị”
- A2: Mức độ nghiêm trọng của tai nạn “Ngã cao”
- A3: Mức độ nghiêm trọng của tai nạn “Tai nạn do máy cầm tay”
- A4: Mức độ nghiêm trọng của tai nạn “Vật rơi, văng bắn”
- A5: Mức độ nghiêm trọng của tai nạn “Cháy nổ”
- A6: Mức độ nghiêm trọng của tai nạn “Điện giật”

Câu hỏi của phép so sánh theo cặp thứ hai là: “Theo hiểu biết và kinh nghiệm của ông bà, hãy so sánh mức khả năng xảy ra của các dạng tai nạn trong thi công xây dựng phần thân nhà cao tầng”. Ý nghĩa của các ký hiệu trong phép so sánh cặp thứ hai như sau:

- A1: Mức khả năng xảy ra của tai nạn “Sập đổ kết cấu, máy và thiết bị”
- A2: Mức khả năng xảy ra của tai nạn “Ngã cao”
- A3: Mức khả năng xảy ra của tai nạn “Tai nạn do máy cầm tay”
- A4: Mức khả năng xảy ra của tai nạn “Vật rơi, văng bắn”
- A5: Mức khả năng xảy ra của tai nạn “Cháy nổ”
- A6: Mức khả năng xảy ra của tai nạn “Điện giật”

Với mỗi một phép so sánh theo cặp, các chuyên gia được yêu cầu cho điểm vào nửa trên trong bảng ma trận so sánh (với thang điểm như ở Hình 1). Nửa bên dưới của ma trận sẽ được tự động lấp đầy số liệu theo nguyên tắc  $a_{ji} = 1/a_{ij}$ . Các giá trị của ma trận chuẩn hóa các cột, véc tơ trọng số,  $\lambda_{\max}$ ,  $CI$ ,  $CR$  cũng được tính toán ngay lập tức. Cuộc phỏng vấn chỉ kết thúc khi kết quả của phép so sánh cặp cho chỉ số  $CR < 0,1$ . Ví dụ về kết quả của so sánh cặp theo ý kiến của một chuyên gia được mô tả trong Bảng 5 và Bảng 6.

Bảng 5. Kết quả từ cuộc phỏng vấn với một chuyên gia - Nội dung so sánh về mức độ nghiêm trọng giữa các tai nạn

Ma trận so sánh						Ma trận chuẩn hóa các cột						Véc tơ trọng số	Các giá trị
1,00	7,00	5,00	1,00	3,00	3,00	0,332	0,292	0,326	0,332	0,346	0,321	0,325	$\lambda_{\max} = 6,18$ $CI = 0,035$ $RI = 1,24$ $CR = 0,028 < 0,1$
0,14	1,00	0,33	0,14	0,33	0,33	0,047	0,042	0,022	0,047	0,038	0,036	0,039	
0,20	3,00	1,00	0,20	0,33	1,00	0,066	0,125	0,065	0,066	0,038	0,107	0,078	
1,00	7,00	5,00	1,00	3,00	3,00	0,332	0,292	0,326	0,332	0,346	0,321	0,325	
0,33	3,00	3,00	0,33	1,00	1,00	0,111	0,125	0,196	0,111	0,115	0,107	0,127	
0,33	3,00	1,00	0,33	1,00	1,00	0,111	0,125	0,065	0,111	0,115	0,107	0,106	

#### 4. Kết quả và bàn luận

Ma trận so sánh tổng hợp ý kiến 17 chuyên gia, ma trận chuẩn hóa các cột, véc tơ trọng số và các giá trị tương ứng liên quan đến mức độ nghiêm trọng của các dạng tai nạn được trình bày trong Bảng 7.

Ma trận so sánh tổng hợp ý kiến 17 chuyên gia, ma trận chuẩn hóa các cột, véc tơ trọng số và các giá trị tương ứng liên quan đến mức khả năng xảy ra của các dạng tai nạn được trình bày trong Bảng 8.

Quy đổi các trọng số của các dạng tai nạn về thang điểm 4. Theo đó, giá trị trọng số lớn nhất được quy thành 4 điểm, các giá trị khác được tính toán theo tỷ lệ. Sau đó, sử dụng công thức (1), ta có mức rủi ro của các dạng tai nạn được xếp hạng như trong Bảng 9.

Bảng 6. Kết quả từ cuộc phỏng vấn với một chuyên gia - Nội dung so sánh về khả năng xảy ra giữa các tai nạn

Ma trận so sánh						Ma trận chuẩn hóa các cột						Véc tơ trọng số	Các giá trị
1,00	0,20	0,20	3,00	1,00	0,33	0,065	0,056	0,056	0,136	0,075	0,071	0,077	$\lambda_{\max} = 6,47$ $CI = 0,93$ $RI = 1,24$ $CR = 0,075 < 1$
5,00	1,00	1,00	5,00	5,00	1,00	0,326	0,278	0,282	0,227	0,375	0,214	0,284	
5,00	1,00	1,00	7,00	5,00	1,00	0,326	0,278	0,282	0,318	0,375	0,214	0,299	
0,33	0,20	0,14	1,00	0,33	0,33	0,022	0,056	0,040	0,045	0,025	0,071	0,043	
1,00	0,20	0,20	3,00	1,00	1,00	0,065	0,056	0,056	0,136	0,075	0,214	0,100	
3,00	1,00	1,00	3,00	1,00	1,00	0,196	0,278	0,282	0,136	0,075	0,214	0,197	

Bảng 7. Kết quả tổng hợp ý kiến chuyên gia - Nội dung so sánh về mức độ nghiêm trọng giữa các tai nạn

Ma trận so sánh tổng hợp						Ma trận chuẩn hóa các cột						Véc tơ trọng số	Các giá trị
1,00	3,01	5,52	4,43	3,27	2,51	0,41	0,43	0,42	0,41	0,37	0,40	0,41	$\lambda_{\max} = 6,04$ $CI = 0,007$ $RI = 1,24$ $CR = 0,006 < 1$
0,33	1,00	1,84	1,56	1,25	1,08	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,17	0,15	
0,18	0,54	1,00	0,68	0,65	0,55	0,07	0,08	0,08	0,06	0,07	0,09	0,08	
0,23	0,64	1,47	1,00	0,70	0,58	0,09	0,09	0,11	0,09	0,08	0,09	0,09	
0,31	0,80	1,54	1,44	1,00	0,53	0,13	0,12	0,12	0,13	0,11	0,09	0,11	
0,40	0,92	1,83	1,72	1,87	1,00	0,16	0,13	0,14	0,16	0,21	0,16	0,16	

Bảng 8. Kết quả tổng hợp ý kiến chuyên gia - Nội dung so sánh về mức khả năng xảy ra giữa các tai nạn

Ma trận so sánh tổng hợp						Ma trận chuẩn hóa các cột						Véc tơ trọng số	Các giá trị
1,00	0,43	1,59	0,84	3,39	0,58	0,14	0,12	0,16	0,15	0,21	0,13	0,15	$\lambda_{\max} = 6,05$ $CI = 0,01$ $RI = 1,24$ $CR = 0,008 < 1$
2,34	1,00	2,75	1,66	4,70	1,20	0,33	0,29	0,28	0,29	0,29	0,27	0,29	
0,63	0,36	1,00	0,59	1,77	0,46	0,09	0,11	0,10	0,10	0,11	0,11	0,10	
1,18	0,60	1,69	1,00	2,69	0,83	0,16	0,18	0,17	0,18	0,16	0,19	0,17	
0,30	0,21	0,57	0,37	1,00	0,35	0,04	0,06	0,06	0,07	0,06	0,08	0,06	
1,74	0,83	2,15	1,21	2,84	1,00	0,24	0,24	0,22	0,21	0,17	0,23	0,22	

Mục tiêu của nghiên cứu là xếp hạng rủi ro các dạng tai nạn trong thi công xây dựng phần thân nhà cao tầng. Theo Bảng 9, kết quả xếp hạng mức rủi ro theo thứ tự từ cao đến thấp lần lượt là: 1) sập đổ kết cấu, máy và thiết bị; 2) ngã cao; 3) điện giật; 4) vật rơi văng bắn; 5) tai nạn do máy cẩu tay; 6) cháy nổ. Đặc biệt, mức rủi ro của tai nạn sập đổ kết cấu, máy và thiết bị được đánh giá cao hơn nhiều so với các dạng tai nạn khác (mức rủi ro là 8,32 so với mức rủi ro của tai nạn xếp thứ 2 là 5,76). Kết quả này cho thấy, theo đánh giá của các chuyên gia, các tai nạn liên quan đến sập đổ kết cấu, máy và thiết bị ở Việt Nam vừa rất nghiêm trọng vừa có tính phổ biến tương đối cao. Trên thực tế, trong những năm gần đây, có nhiều vụ tai nạn nghiêm trọng sập đổ cần trục, giàn giáo, ván khuôn khi thi công nhà cao tầng đã được đưa lên các phương tiện thông tin đại chúng. Điều này cho thấy, các nhà thầu hiện nay vẫn đầu tư chưa đúng mức vào các biện pháp kiểm soát rủi ro của dạng tai nạn này. Dạng tai nạn ngã cao tuy chỉ xếp thứ 2 về mức rủi ro nhưng lại có mức độ phổ biến lớn nhất (mức phổ biến là 4). Sự phổ biến của dạng tai nạn ngã cao cũng được khẳng định ở nhiều nghiên cứu thống kê trên thế giới [35, 45, 47–49]. Dạng tai nạn điện có mức rủi ro ở vị trí thứ 3, với mức độ phổ biến

tương đối lớn (mức phổ biến là 3,01/4) cho thấy tai nạn điện vẫn là vấn đề cần được quan tâm nhiều hơn ở Việt Nam.

Bảng 9. Xếp hạng mức rủi ro các dạng tai nạn

STT	Dạng tai nạn	Trọng số đại diện cho mức độ nghiêm trọng của tai nạn ( $S$ )	Trọng số đại diện cho mức khả năng xảy ra của tai nạn ( $P$ )	Giá trị của $S$ (quy đổi ra thang 4)	Giá trị của $P$ (quy đổi ra thang 4)	$R = S.P$	Xếp hạng mức rủi ro
1	Sập đổ kết cấu, máy và thiết bị	0,41	0,15	4,00	2,08	8,32	1
2	Ngã cao	0,15	0,29	1,44	4,00	5,76	2
3	Tai nạn do máy cầm tay	0,08	0,10	0,74	1,40	1,04	5
4	Vật rơi, văng bắn	0,1	0,17	0,92	2,38	2,19	4
5	Cháy nổ	0,12	0,06	1,13	0,84	0,95	6
6	Điện giật	0,16	0,22	1,58	3,01	4,76	3

Kết quả xếp hạng rủi ro này có điểm khác so với một số nghiên cứu ở một số nước. Nghiên cứu [41] xếp hạng mức rủi ro cho các dạng tai nạn trong thi công xây dựng ở Ả rập xê út lần lượt là: 1) vật rơi, văng bắn; 2) tiếp xúc chất độc; 3) điện giật, bỏng. Nghiên cứu [55] xếp hạng mức rủi ro cho các dạng tai nạn trong thi công xây dựng ở nước Thổ Nhĩ Kỳ lần lượt là: 1) ngã cao; 2) tai nạn do máy thiết bị; 3) điện giật. Điều này cho thấy xếp hạng mức rủi ro có kết quả khác nhau ở các nước khác nhau. Nguyên nhân có thể là do sự khác biệt giữa các nước về tốc độ phát triển của ngành xây dựng, cũng như khác biệt về nhận thức an toàn và chế độ xử phạt tai nạn lao động. Ví dụ như tai nạn sập đổ máy, thiết bị có yêu cầu nghiêm ngặt về an toàn như cần trục, dàn giáo không phổ biến ở nhiều quốc gia trên thế giới. Tuy nhiên ở Việt Nam, tai nạn này, theo đánh giá của các chuyên gia vẫn ở mức tương đối phổ biến. Điều này có thể do các nhà thầu Việt Nam chưa thực sự tuân thủ các yêu cầu của pháp luật về thiết kế, thi công, kiểm tra và bảo trì các thiết bị này. Đây cũng là vấn đề cần nhận được sự quan tâm hơn nữa từ các cơ quan nhà nước.

## 5. Kết luận

Để xếp hạng mức rủi ro cho các dạng tai nạn trong thi công phần thân nhà cao tầng, nghiên cứu này đã sử dụng công thức xác định giá trị rủi ro theo mức nghiêm trọng và mức khả năng xảy ra của tai nạn. Điểm số của mức nghiêm trọng và mức khả năng xảy ra được xác định bằng phương pháp so sánh theo cặp, tổng hợp ý kiến từ nhiều chuyên gia. Phương pháp nghiên cứu có độ tin cậy phụ thuộc chủ yếu vào kinh nghiệm chuyên gia. Tuy nhiên, phương pháp này là phù hợp với mục tiêu nghiên cứu là xếp hạng rủi ro tai nạn trong giai đoạn lập kế hoạch của dự án. Mặt khác, phương pháp không đòi hỏi các dữ liệu thống kê dạng tai nạn – các dữ liệu hiện tại vẫn khó tiếp cận ở Việt Nam.

Kết quả cho thấy, xếp hạng mức rủi ro theo thứ tự từ cao đến thấp lần lượt là: 1) sập đổ kết cấu, máy và thiết bị; 2) ngã cao; 3) điện giật; 4) vật rơi văng bắn; 5) tai nạn do máy cầm tay; 6) cháy nổ. Như vậy, để giảm thiểu thiệt hại do các tai nạn trong thi công xây dựng phần thân công trình nhà cao tầng, các bên liên quan cần phân bổ nhiều nguồn lực hơn nữa vào các biện pháp đảm bảo an toàn phòng tránh các dạng tai nạn do sập đổ kết cấu, máy và thiết bị; ngã cao và điện giật. Các biện pháp cơ bản cần tập trung đầu tư bao gồm: thiết kế, thi công, kiểm định và kiểm tra các thiết bị có yêu cầu nghiêm ngặt về an toàn như cần trục tháp và dàn giáo theo đúng quy định của pháp luật; tăng cường sử dụng các biện pháp kỹ thuật và huấn luyện phòng chống ngã cao, điện giật.

Kết quả nghiên cứu cho thấy một cái nhìn tổng quan về tình hình tai nạn trong thi công xây dựng phần thân nhà cao tầng tại Việt Nam. Nghiên cứu đã tổng hợp được ý kiến của các chuyên gia để cho

ra kết quả xếp hạng rủi ro trong thi công phần thân. Tuy nhiên, số lượng chuyên gia tham gia nghiên cứu là chưa nhiều và chủ yếu là các chuyên gia đến từ khu vực phía Bắc Việt Nam. Các nghiên cứu trong tương lai có thể dựa trên kết quả của nghiên cứu này để phát triển các nghiên cứu đánh giá rủi ro ở mức độ chính xác hơn cho từng công trình và từng giai đoạn thi công, ví dụ như phát triển các công thức tính mức rủi ro có nhiều thành phần hơn. Căn cứ vào kết quả nghiên cứu, các bên liên quan như các nhà hoạch định chính sách, chủ đầu tư, tư vấn giám sát, nhà thầu cần nghiên cứu sâu hơn để tìm ra các giải pháp làm giảm rủi ro tai nạn trong thi công xây dựng nhà cao tầng.

### Lời cảm ơn

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Trường Đại học Xây dựng Hà Nội (HUCE) trong đề tài mã số 26-2022/KHXD.

### Tài liệu tham khảo

- [1] Manuele, F. A. (2020). *Advanced Safety Management: Focusing on Z10, 0, 45001, and Serious Injury Prevention*. John Wiley & Sons.
- [2] Abdelhamid, T. S., Everett, J. G. (2000). [Identifying Root Causes of Construction Accidents](#). *Journal of Construction Engineering and Management*, 126(1):52–60.
- [3] Hamid, A. R. A., Abd Majid, M. Z., Singh, B. (2008). Causes of accidents at construction sites. *Malaysian journal of civil engineering*, 20(2).
- [4] Alruqi, W. M., Hallowell, M. R. (2019). [Critical Success Factors for Construction Safety: Review and Meta-Analysis of Safety Leading Indicators](#). *Journal of Construction Engineering and Management*, 145 (3).
- [5] Charehzehi, A., Ahankoob, A. (2012). Enhancement of safety performance at construction site. *International Journal of Advances in Engineering & Technology*, 5(1):303.
- [6] Durdyev, S., Mohamed, S., Lay, M. L., Ismail, S. (2017). [Key Factors Affecting Construction Safety Performance in Developing Countries: Evidence from Cambodia](#). *Construction Economics and Building*, 17(4):48–65.
- [7] Mohammadi, A., Tavakolan, M., Khosravi, Y. (2018). [Factors influencing safety performance on construction projects: A review](#). *Safety Science*, 109:382–397.
- [8] Usukhbayar, R., Choi, J. (2020). [Critical safety factors influencing on the safety performance of construction projects in Mongolia](#). *Journal of Asian Architecture and Building Engineering*, 19(6):600–612.
- [9] Cheng, E. W. L., Li, H., Fang, D. P., Xie, F. (2004). [Construction safety management: an exploratory study from China](#). *Construction Innovation*, 4(4):229–241.
- [10] Li, Y., Ning, Y., Chen, W. T. (2018). [Critical Success Factors for Safety Management of High-Rise Building Construction Projects in China](#). *Advances in Civil Engineering*, 2018:1–15.
- [11] Jones, R. (2017). ISO 45001 and the evolution of occupational health and safety management systems. *IOSH-Institution of Occupational Safety and Health Paper*, 1–9.
- [12] Pinto, A., Nunes, I. L., Ribeiro, R. A. (2011). [Occupational risk assessment in construction industry – Overview and reflection](#). *Safety Science*, 49(5):616–624.
- [13] ISO (2018). *ISO 45001/2018 -Occupational health and safety management systems - requirements with guidance for use*.
- [14] OHSAS 18001:2007. *Occupational health and safety management systems*. British Standard.
- [15] Cục An toàn lao động, Bộ lao động thương binh và xã hội. [Thống kê tình hình tai nạn lao động năm 2017, 2018, 2019, 2020, 2021](#). Truy cập ngày 10/11/2023.
- [16] Tú, P. Q., Toàn, N. N. (2020). [Phân tích rủi ro trong thi công hố đào sâu](#). *Tạp chí Khoa học Công nghệ Xây dựng (KHCN XD) - ĐHXDHN*, 14(5V):101–117.
- [17] Tuấn, N. A., Hùng, N. P., Linh, N. S. K., Vang, T. V. (2018). *Công cụ đánh giá rủi ro an toàn lao động trong thi công xây dựng nhà cao tầng*. Viện khoa học An toàn và Vệ sinh lao động.
- [18] Brereton, S., McLouth, L., Odell, B., Singh, M., Tobin, M., Trent, M., Yatabe, J. (1997). [Overview of the preliminary safety analysis of the national ignition facility](#). *Journal of Fusion Energy*, 16:85–94.

- [19] Wells, G., Wardman, M., Whetton, C. (1993). [Preliminary safety analysis](#). *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 6(1):47–60.
- [20] Jou, Y.-T., Lin, C. J., Yenn, T.-C., Yang, C.-W., Yang, L.-C., Tsai, R.-C. (2009). [The implementation of a human factors engineering checklist for human–system interfaces upgrade in nuclear power plants](#). *Safety Science*, 47(7):1016–1025.
- [21] Crawley, F., Tyler, B. (2015). *HAZOP: Guide to best practice*. Elsevier.
- [22] Niu, Y., Chen, Q. (2018). [Identification and management of unsafe behaviors of lifting workers on the construction site based on HAZOP](#). *MATEC Web of Conferences*, 175:02004.
- [23] Wang, F., Gao, J. (2012). [A novel knowledge database construction method for operation guidance expert system based on HAZOP analysis and accident analysis](#). *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 25(6):905–915.
- [24] Lingard, H., Rowlinson, S. (2004). *Occupational Health and Safety in Construction Project Management*. Routledge.
- [25] Hammer, W., Price, D. (2001). *Occupational safety management and engineering*. Pearson.
- [26] Hollnagel, E. (2016). *Barriers and Accident Prevention*. Routledge.
- [27] Kliem, R. L., Ludin, I. S. (2019). *Reducing Project Risk*. Routledge.
- [28] Loosemore, M., Raftery, J., Reilly, C., Higgon, D. (2012). *Risk Management in Projects*. Routledge.
- [29] Cooper, D., Grey, S., Raymond, G., Walker, P. (2005). *Managing risk in large projects and complex procurements*. Wiley.
- [30] Sevcik, F. (1981). Current and future concepts in FMEA(Failure Modes and Effects Analysis). *Annual Reliability and Maintainability Symposium, Philadelphia, Pa*, 414–421.
- [31] Abdelgawad, M., Fayek, A. R. (2010). [Risk Management in the Construction Industry Using Combined Fuzzy FMEA and Fuzzy AHP](#). *Journal of Construction Engineering and Management*, 136(9): 1028–1036.
- [32] Aminbakhsh, S., Gunduz, M., Sonmez, R. (2013). [Safety risk assessment using analytic hierarchy process \(AHP\) during planning and budgeting of construction projects](#). *Journal of Safety Research*, 46:99–105.
- [33] Baradan, S., Usmen, M. A. (2006). [Comparative Injury and Fatality Risk Analysis of Building Trades](#). *Journal of Construction Engineering and Management*, 132(5):533–539.
- [34] Colman, N., Stone, K., Arnold, J., Doughty, C., Reid, J., Younker, S., Hebbar, K. B. (2019). [Prevent Safety Threats in New Construction through Integration of Simulation and FMEA](#). *Pediatric Quality & Safety*, 4(4):e189.
- [35] Fung, I. W. H., Tam, V. W. Y., Lo, T. Y., Lu, L. L. H. (2010). [Developing a Risk Assessment Model for construction safety](#). *International Journal of Project Management*, 28(6):593–600.
- [36] Hallowell, M. R., Gambatese, J. A. (2009). [Activity-Based Safety Risk Quantification for Concrete Formwork Construction](#). *Journal of Construction Engineering and Management*, 135(10):990–998.
- [37] Jannadi, O. A., Almishari, S. (2003). [Risk Assessment in Construction](#). *Journal of Construction Engineering and Management*, 129(5):492–500.
- [38] Ma, G., Wu, M. (2019). [A Big Data and FMEA-based construction quality risk evaluation model considering project schedule for Shanghai apartment projects](#). *International Journal of Quality & Reliability Management*, 37(1):18–33.
- [39] Mete, S. (2019). [Assessing occupational risks in pipeline construction using FMEA-based AHP-MOORA integrated approach under Pythagorean fuzzy environment](#). *Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal*, 25(7):1645–1660.
- [40] Rozenfeld, O., Sacks, R., Rosenfeld, Y., Baum, H. (2010). [Construction Job Safety Analysis](#). *Safety Science*, 48(4):491–498.
- [41] Sanni-Anibire, M. O., Mahmoud, A. S., Hassanain, M. A., Salami, B. A. (2020). [A risk assessment approach for enhancing construction safety performance](#). *Safety Science*, 121:15–29.
- [42] Krieger, G. R., Montgomery, J. F. (1997). *Accident prevention manual for business & industry: Administration & programs*. National Safety Council.
- [43] Saaty, R. W. (1987). [The analytic hierarchy process—what it is and how it is used](#). *Mathematical Modelling*, 9(3-5):161–176.

- [44] Kartam, N. A., Bouz, R. G. (1998). [Fatalities and injuries in the Kuwaiti construction industry](#). *Accident Analysis & Prevention*, 30(6):805–814.
- [45] Al-Tabtabai, H. M. (2002). Analyzing construction site accidents in Kuwait. *Kuwait J. Sci. Eng*, 29(2): 213–238.
- [46] Ling, F. Y. Y., Liu, M., Woo, Y. C. (2009). [Construction fatalities in Singapore](#). *International Journal of Project Management*, 27(7):717–726.
- [47] Haslam, R. A., Hide, S. A., Gibb, A. G. F., Gyi, D. E., Pavitt, T., Atkinson, S., Duff, A. R. (2005). [Contributing factors in construction accidents](#). *Applied Ergonomics*, 36(4):401–415.
- [48] Liu, H.-T., Lin Tsai, Y. (2012). [A fuzzy risk assessment approach for occupational hazards in the construction industry](#). *Safety Science*, 50(4):1067–1078.
- [49] Gunduz, M., Birgonul, M. T., Ozdemir, M. (2018). [Development of a safety performance index assessment tool by using a fuzzy structural equation model for construction sites](#). *Automation in Construction*, 85: 124–134.
- [50] Hughes, P., Ferrett, E. (2012). [Introduction to Health and Safety in Construction](#). Routledge.
- [51] Abul-Haggag, O. Y., Barakat, W. (2013). Application of fuzzy logic for risk assessment using risk matrix. *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*, 3(1):49–54.
- [52] Al-Anbari, S., Khalina, A., Alnuaimi, A., Normariah, A., Yahya, A. (2015). [Risk assessment of safety and health \(RASH\) for building construction](#). *Process Safety and Environmental Protection*, 94:149–158.
- [53] Gürçanlı, G. E., Müngen, U. (2009). [An occupational safety risk analysis method at construction sites using fuzzy sets](#). *International Journal of Industrial Ergonomics*, 39(2):371–387.
- [54] Hagan, P. E., Montgomery, J. F., O'Reilly, J. T. (2001). *Accident prevention manual for business & industry: Administration & programs*. National Safety Council Itasca, IL.
- [55] Abukhashabah, E., Summan, A., Balkhyour, M. (2020). [Occupational accidents and injuries in construction industry in Jeddah city](#). *Saudi Journal of Biological Sciences*, 27(8):1993–1998.