

Mối quan hệ giữa thời gian và rủi ro trong dự án xây dựng

Tạ Văn Phan¹

¹ Khoa Công trình, Trường Đại học Thủy lợi

TỪ KHOÁ

Dự án xây dựng
Mối quan hệ thời gian – rủi ro
Phân tích rủi ro tiến độ
Mô phỏng Monte Carlo
BIM 4D
Quản lý tiến độ xây dựng

TÓM TẮT

Thời gian và rủi ro là hai yếu tố cơ bản có ảnh hưởng đáng kể đến hiệu quả thực hiện các dự án xây dựng. Trong thực tiễn, các dự án xây dựng thường xuyên đối mặt với tình trạng chậm tiến độ do tác động của nhiều yếu tố bất định như điều kiện thời tiết bất lợi, thay đổi thiết kế, gián đoạn nguồn cung vật liệu, biến động năng suất lao động và sự thay đổi giá cả thị trường. Ngược lại, việc kéo dài thời gian thực hiện dự án lại làm gia tăng mức độ phơi nhiễm đối với các rủi ro mới, từ đó hình thành mối quan hệ phản hồi giữa thời gian và rủi ro. Nghiên cứu này phân tích cơ chế tương tác giữa thời gian và rủi ro, đồng thời đánh giá tác động của chúng đến chi phí, chất lượng và hiệu quả đầu tư của dự án xây dựng. Bên cạnh đó, nghiên cứu đề xuất khung quản lý tiến độ dựa trên rủi ro thông qua việc tích hợp mô phỏng Monte Carlo và BIM 4D nhằm đánh giá xác suất hoàn thành dự án, nhận diện các rủi ro tiến độ trọng yếu và trực quan hóa các kịch bản thi công khác nhau. Kết quả nghiên cứu cho thấy việc tích hợp quản trị rủi ro vào công tác lập tiến độ và tăng cường ứng dụng công nghệ số có thể nâng cao đáng kể khả năng dự báo tiến độ, hỗ trợ ra quyết định chủ động và cải thiện hiệu quả quản lý dự án xây dựng.

KEYWORDS

Construction Project
Time-risk relationship
Schedule risk analysis
Monte Carlo simulation
BIM 4D
Construction schedule management

ABSTRACT

Time and risk are two fundamental factors that significantly influence the performance of construction projects. In practice, construction projects frequently experience schedule delays due to various uncertainties, such as adverse weather conditions, design changes, material supply disruptions, labor productivity fluctuations, and market price volatility. Conversely, prolonged project durations increase the exposure to additional risks, thereby creating a feedback loop between time and risk. This study analyzes the interaction mechanism between project duration and risk and examines their impacts on project cost, quality, and investment efficiency. Furthermore, a risk-based schedule management framework integrating Monte Carlo simulation and BIM 4D is proposed to evaluate the probability of project completion, identify critical schedule risks, and visualize alternative construction scenarios. The findings indicate that integrating risk management into project scheduling and adopting digital technologies can significantly improve schedule forecasting, support proactive decision-making, and enhance the overall effectiveness of construction project management.

1. Đặt vấn đề

Ngành xây dựng có đặc điểm là thời gian thực hiện dự án kéo dài, chịu tác động của nhiều yếu tố không chắc chắn và có mức độ phức tạp cao. Theo nhiều nghiên cứu, tỷ lệ dự án xây dựng chậm tiến độ trên thế giới dao động từ 40–70 %, đặc biệt phổ biến ở các dự án hạ tầng kỹ thuật, giao thông và công trình dân dụng quy mô lớn [3], [4], [6]. Chậm tiến độ không chỉ làm gia tăng chi phí đầu tư mà còn kéo theo nhiều hệ quả như giảm hiệu quả kinh tế, phát sinh tranh chấp hợp đồng và ảnh hưởng đến mục tiêu phát triển kinh tế - xã hội.

Trong quản lý dự án xây dựng, thời gian thường được xem là một trong ba mục tiêu cơ bản của tam giác quản lý dự án gồm chi phí, thời gian và chất lượng [1], [2]. Tuy nhiên, thời gian không chỉ là một chỉ tiêu quản lý đơn thuần mà còn là một nguồn phát sinh và khuếch đại rủi ro. Mỗi sự thay đổi về tiến độ đều có khả năng tạo ra những rủi

ro mới, đồng thời mức độ rủi ro của dự án cũng tác động trực tiếp đến khả năng hoàn thành dự án đúng thời hạn.

Do đó, việc nghiên cứu mối quan hệ giữa thời gian và rủi ro trong xây dựng có ý nghĩa khoa học và thực tiễn quan trọng, góp phần hoàn thiện cơ sở lý luận về quản trị dự án cũng như hỗ trợ các chủ thể tham gia dự án xây dựng nâng cao hiệu quả quản lý.

2. Cơ sở lý luận về thời gian và rủi ro trong xây dựng

2.1. Khái niệm thời gian trong xây dựng

Thời gian xây dựng là khoảng thời gian cần thiết để hoàn thành toàn bộ các công việc của dự án từ giai đoạn chuẩn bị đầu tư, thiết kế, thi công đến nghiệm thu và đưa công trình vào khai thác sử dụng.

Thời gian thực hiện dự án được xác định trên cơ sở:

- Quy mô và tính chất công trình;
- Điều kiện kỹ thuật và công nghệ thi công;

*Liên hệ tác giả: tavanphan@gmail.com

Nhận ngày 05/06/2026, sửa xong ngày 19/06/2026, chấp nhận đăng ngày 20/06/2026

Link DOI: <https://doi.org/10.54772/jomc.04.2026.1407>

- Nguồn lực lao động, vật liệu và thiết bị;
- Điều kiện tự nhiên và môi trường;
- Năng lực quản lý của các chủ thể tham gia dự án.

2.2. Khái niệm rủi ro trong xây dựng

Rủi ro trong xây dựng là các sự kiện hoặc điều kiện không chắc chắn có khả năng xảy ra và tác động đến mục tiêu của dự án về thời gian, chi phí, chất lượng, an toàn và môi trường. Rủi ro là một trong những nguyên nhân chủ yếu dẫn đến chậm tiến độ trong các dự án xây dựng [3], [4].

Các nhóm rủi ro chủ yếu bao gồm:

- Rủi ro kỹ thuật;
- Rủi ro tài chính;
- Rủi ro pháp lý;
- Rủi ro thị trường;
- Rủi ro môi trường và thời tiết;
- Rủi ro về nguồn lực;
- Rủi ro quản lý và tổ chức.

3. Mối quan hệ giữa thời gian và rủi ro trong xây dựng

3.1. Rủi ro là nguyên nhân dẫn đến kéo dài thời gian dự án

Phần lớn các nguyên nhân chậm tiến độ đều bắt nguồn từ các yếu tố rủi ro. Khi một sự kiện bất định xảy ra, kế hoạch tiến độ ban đầu bị phá vỡ và làm thay đổi trình tự thực hiện các công việc.

Một số rủi ro điển hình ảnh hưởng đến thời gian dự án gồm:

Rủi ro thay đổi thiết kế

Các thay đổi về thiết kế trong quá trình thi công dẫn đến phải dừng thi công, điều chỉnh hồ sơ kỹ thuật, thực hiện công tác phá dỡ hoặc thi công lại.

Rủi ro về cung ứng vật liệu

Biến động thị trường hoặc đứt gãy chuỗi cung ứng có thể gây thiếu hụt vật liệu, làm gián đoạn hoạt động thi công.

Rủi ro về năng lực nhà thầu

Nhà thầu có năng lực quản lý yếu, thiếu nhân lực hoặc thiết bị thi công không đáp ứng yêu cầu sẽ làm giảm năng suất và kéo dài thời gian thực hiện dự án.

Rủi ro thời tiết và thiên tai

Mưa bão, ngập lụt, nắng nóng cực đoan và các hiện tượng thời tiết bất thường thường làm gián đoạn hoạt động thi công ngoài hiện trường.

3.2. Thời gian kéo dài làm gia tăng rủi ro của dự án

Quan hệ giữa thời gian và rủi ro không mang tính một chiều. Khi thời gian thực hiện dự án kéo dài, mức độ phơi nhiễm rủi ro của dự án tăng lên đáng kể.

Các rủi ro phát sinh do kéo dài thời gian gồm:

Gia tăng rủi ro tài chính

- Chi phí nhân công tăng;

- Chi phí máy móc tăng;
- Chi phí quản lý dự án tăng;
- Chi phí lãi vay tăng;
- Biến động giá vật liệu.

Gia tăng rủi ro pháp lý và hợp đồng

Việc chậm tiến độ có thể dẫn đến:

- Vi phạm các điều khoản hợp đồng;
- Bị phạt chậm tiến độ;
- Phát sinh khiếu nại và tranh chấp;
- Nguy cơ chấm dứt hợp đồng.

Gia tăng rủi ro chất lượng

Tiến độ kéo dài thường tạo áp lực đẩy nhanh thi công trong giai đoạn cuối, làm tăng nguy cơ:

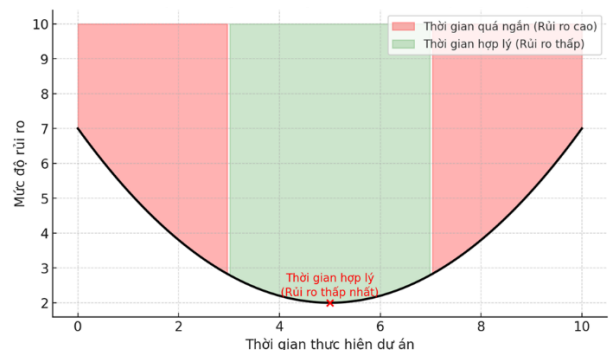
- Thi công không đúng quy trình;
- Giảm chất lượng công trình;
- Gia tăng sai sót kỹ thuật;
- Tăng chi phí sửa chữa.

3.3. Mối quan hệ “hình chữ U”

Thời gian hợp lý là điểm cân bằng, rủi ro thấp nhất.

Nếu quá dài hoặc quá ngắn thì rủi ro đều tăng.

Đây chính là nguyên lý của “tam giác quản lý dự án” (thời gian – chi phí – chất lượng), khi thay đổi một yếu tố sẽ tác động trực tiếp đến rủi ro.



Hình 1. Mối quan hệ chữ U giữa thời gian và rủi ro trong xây dựng.

Đây là biểu đồ mô tả mối quan hệ chữ U giữa thời gian và rủi ro trong xây dựng:

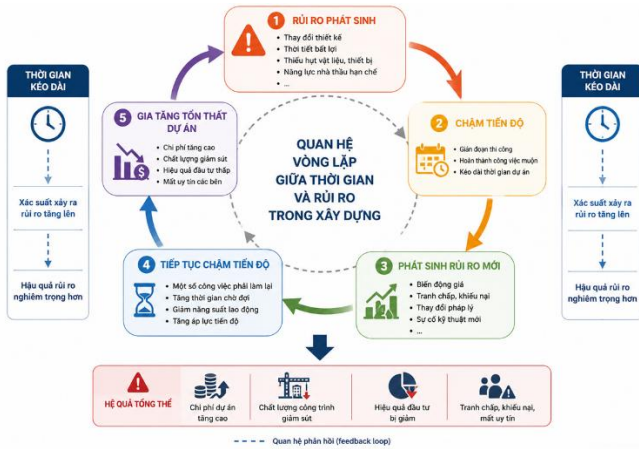
- Khi thời gian quá ngắn → rủi ro tăng do áp lực tiến độ.
- Khi thời gian quá dài → rủi ro tăng do biến động, phát sinh.
- Chỉ ở mốc thời gian hợp lý → rủi ro ở mức thấp nhất.

3.4. Quan hệ vòng lặp giữa thời gian và rủi ro

Mối quan hệ giữa thời gian và rủi ro trong xây dựng có thể được mô tả theo cơ chế vòng lặp [5], [6]:

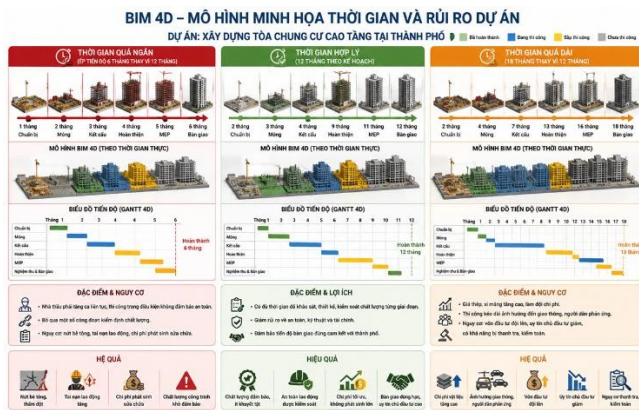
Rủi ro phát sinh → Chậm tiến độ → Phát sinh rủi ro mới → Tiếp tục chậm tiến độ → Gia tăng tổn thất dự án.

Mức độ tác động của rủi ro thường tăng theo thời gian thực hiện dự án [4], [6]. Dự án càng kéo dài thì xác suất xuất hiện các biến cố bất định càng lớn, đồng thời hậu quả của các rủi ro cũng trở nên nghiêm trọng hơn.



Hình 2. Quan hệ vòng lặp giữa thời gian và rủi ro.

3.5. Ví dụ dự án xây dựng tòa chung cư cao tầng tại thành phố



Hình 3. Mô hình minh họa thời gian và rủi ro dự án xây dựng tòa chung cư cao tầng.

Thời gian xây dựng (hoặc thi công ngắn) (Rút ngắn tiến độ 6 tháng thay vì 12 tháng)

- Nhà thầu phải tăng ca liên tục, thi công trong điều kiện không đảm bảo an toàn.

- Bỏ qua một số công đoạn kiểm định chất lượng.

- Nguy cơ: nứt bê tông, tai nạn lao động, chi phí phát sinh sửa chữa.

Thời gian quá dài (18 tháng thay vì 12 tháng)

- Giá thép, xi măng tăng cao, làm đội chi phí.

- Thi công kéo dài ảnh hưởng đến giao thông, người dân phản ứng.

- Nguy cơ: vốn đầu tư đội lên, uy tín chủ đầu tư giảm, có khả năng bị thanh tra, kiểm toán

Thời gian hợp lý (12 tháng)

- Có đủ thời gian để khảo sát, thiết kế, kiểm soát chất lượng từng giai đoạn.

- Giảm rủi ro về an toàn, kỹ thuật và tài chính.

- Đảm bảo tiến độ bàn giao đúng cam kết với thành phố.

Như vậy, nếu rút ngắn quá mức hay kéo dài không cần thiết, rủi ro đều tăng. Chỉ khi lập tiến độ hợp lý và quản lý chặt chẽ, dự án mới đạt hiệu quả tối ưu.

4. Tác động của mối quan hệ thời gian – rủi ro đến hiệu quả dự án xây dựng

Mối quan hệ giữa thời gian và rủi ro trong dự án xây dựng không chỉ ảnh hưởng đến tiến độ thực hiện mà còn tác động dây chuyền đến chi phí, chất lượng công trình và hiệu quả đầu tư. Hai yếu tố này tạo thành một cơ chế phản hồi, trong đó rủi ro làm kéo dài thời gian thực hiện dự án, trong khi sự kéo dài thời gian tiếp tục làm gia tăng xác suất xuất hiện các rủi ro mới và làm nghiêm trọng hơn hậu quả của các rủi ro hiện hữu.

Về bản chất, mức độ phơi nhiễm rủi ro (Risk Exposure - RE) của dự án có xu hướng tăng theo thời gian:

$$RE = f(T)$$

Trong đó:

- RE: Mức độ phơi nhiễm rủi ro của dự án;
- T: Thời gian thực hiện dự án.

Khi thời gian thực hiện dự án tăng lên, số lượng biến cố bất định có khả năng xảy ra ngày càng nhiều, làm cho chi phí, chất lượng và hiệu quả đầu tư của dự án bị tác động theo cấp số nhân thay vì theo quan hệ tuyến tính.

4.1. Tác động đến chi phí dự án

a) Gia tăng chi phí trực tiếp

Trong dự án xây dựng, thời gian và chi phí có mối quan hệ đồng biến. Khi tiến độ kéo dài, nhiều khoản chi phí trực tiếp tiếp tục phát sinh như:

- Chi phí nhân công;
- Chi phí sử dụng máy và thiết bị thi công;
- Chi phí điện, nước và nhiên liệu;
- Chi phí vật liệu phát sinh do hao hụt và bảo quản.

Ví dụ: Đối với dự án chung cư cao tầng có giá trị hợp đồng 500 tỷ đồng, nếu tiến độ kéo dài thêm 6 tháng thì:

- Chi phí nhân công có thể tăng từ 5–10 %;
- Chi phí thiết bị tăng từ 3–5 %;
- Chi phí quản lý công trường tăng từ 10–15 %.

Như vậy, tổng chi phí phát sinh có thể lên tới hàng chục tỷ đồng.

b) Gia tăng chi phí gián tiếp

Chi phí gián tiếp thường tăng nhanh hơn chi phí trực tiếp khi dự án bị chậm tiến độ, bao gồm:

- Chi phí quản lý dự án
- Chi phí duy trì bộ máy quản lý;
- Chi phí tư vấn giám sát;
- Chi phí hành chính và vận hành công trường;
- Chi phí bảo hiểm công trình.

Nếu thời gian kéo dài thêm 50 %, các khoản chi phí quản lý thường tăng tương ứng hoặc cao hơn do hiệu quả sử dụng nguồn lực giảm.

- Chi phí tài chính

Đối với các dự án sử dụng vốn vay:

- Lãi vay tiếp tục phát sinh;
- Chi phí cơ hội của dòng tiền tăng;
- Khả năng mất cân đối tài chính gia tăng.

Ví dụ: Dự án vay 300 tỷ đồng với lãi suất 10 %/năm. Nếu chậm tiến độ 6 tháng:

$$C_{lãi} = 300 \times 10 \% \times 6/12 = 15 \text{ (tỷ đồng)}$$

Chỉ riêng chi phí lãi vay đã phát sinh thêm khoảng 15 tỷ đồng.

c) Gia tăng chi phí do biến động giá

Ngành xây dựng có mức độ phụ thuộc lớn vào thị trường nguyên vật liệu. Khi thời gian thực hiện dự án kéo dài [17], [18]:

- Giá thép có thể tăng;
- Giá xi măng có thể tăng;
- Giá nhiên liệu và chi phí vận chuyển tăng;
- Chi phí thuê thiết bị tăng.

Ví dụ: Nếu giá thép tăng 12 % trong thời gian chậm tiến độ và khối lượng thép của dự án chiếm 120 tỷ đồng thì:

$$\Delta C = 120 \times 12 \% = 14,4 \text{ (tỷ đồng)}$$

Điều này cho thấy rủi ro thời gian có khả năng chuyển hóa trực tiếp thành rủi ro chi phí.

d) Tác động của việc ép tiến độ

Ngược lại, khi rút ngắn tiến độ quá mức, chi phí dự án cũng gia tăng đáng kể do:

- Tăng ca;
- Bố trí nhiều mũi thi công đồng thời;
- Huy động thêm thiết bị;
- Gia tăng chi phí quản lý an toàn.

Chi phí tăng tốc thường tăng phi tuyến theo mức độ rút ngắn tiến độ. Do đó, cả kéo dài thời gian và ép tiến độ quá mức đều có thể làm chi phí dự án tăng cao.

4.2. Tác động đến chất lượng công trình

a) Giảm hiệu quả kiểm soát chất lượng

Khi tiến độ bị kéo dài hoặc bị ép quá mức, hệ thống kiểm soát chất lượng thường bị ảnh hưởng nghiêm trọng.

Các hoạt động có nguy cơ bị cắt giảm:

- Kiểm tra vật liệu đầu vào;

- Kiểm tra nghiệm thu từng công đoạn;
- Thí nghiệm vật liệu;
- Quan trắc biến dạng công trình.

Hệ quả là:

- Sai sót kỹ thuật không được phát hiện kịp thời;
- Khuyết tật công trình tích lũy theo thời gian;
- Chi phí sửa chữa gia tăng.

b) Tăng nguy cơ sai sót kỹ thuật khi ép tiến độ

Trong thực tế, áp lực hoàn thành tiến độ thường dẫn đến:

- Thi công tăng ca liên tục;
- Làm việc ngoài giờ;
- Chồng chéo nhiều công việc.

Người lao động trong điều kiện mệt mỏi dễ dẫn đến:

- Sai số thi công;
- Bố trí cốt thép không đúng thiết kế;
- Bảo dưỡng bê tông không đầy đủ;
- Thi công không đúng quy trình.

Đối với kết cấu bê tông cốt thép, việc tháo cốp pha sớm hoặc không đủ thời gian bảo dưỡng có thể gây:

- Nứt bê tông;
- Giảm cường độ chịu lực;
- Tăng độ võng;
- Giảm tuổi thọ công trình.

c) Tăng rủi ro về an toàn lao động

Tiến độ bị rút ngắn thường đi kèm:

- Mật độ lao động cao;
- Thi công đồng thời nhiều hạng mục;
- Gia tăng áp lực công việc.

Điều này làm tăng nguy cơ:

- Ngã cao;
- Va chạm thiết bị;
- Sập đổ cục bộ;
- Tai nạn điện.

Một tai nạn lao động nghiêm trọng không chỉ gây thiệt hại về con người mà còn tiếp tục làm chậm tiến độ, phát sinh chi phí và tạo ra vòng lặp rủi ro mới.

d) Kéo dài thời gian cũng làm suy giảm chất lượng

Nhiều nghiên cứu cho thấy các dự án kéo dài quá lâu thường xuất hiện:

- Vật liệu xuống cấp do lưu kho dài ngày;
- Thiết bị thi công bị hao mòn;
- Nhân sự thay đổi liên tục;
- Thiếu tính liên tục trong công tác quản lý.

Kết quả là chất lượng công trình có xu hướng suy giảm mặc dù thời gian thực hiện dài hơn.

4.3. Tác động đến hiệu quả đầu tư

a) Giảm hiệu quả sử dụng vốn

Một trong những mục tiêu quan trọng của đầu tư xây dựng là đưa công trình vào khai thác đúng thời điểm.

Khi dự án chậm tiến độ:

- Vốn đầu tư bị ứ đọng;
- Dòng tiền bị trì hoãn;
- Chi phí cơ hội gia tăng.

Ví dụ: Dự án chung cư dự kiến bàn giao sau 12 tháng nhưng thực tế hoàn thành sau 18 tháng.

Chủ đầu tư bị mất:

- Doanh thu bán hàng;
- Doanh thu cho thuê;
- Cơ hội tái đầu tư.

Hiệu quả sử dụng vốn vì vậy giảm đáng kể.

b) Kéo dài thời gian thu hồi vốn

Giả sử:

- Vốn đầu tư: 500 tỷ đồng;
- Lợi nhuận khai thác dự kiến: 80 tỷ đồng/năm.

Nếu dự án chậm tiến độ 6 tháng. Doanh thu bị chậm:

$$80 \times 6/12 = 40 \text{ (tỷ đồng)}$$

Đồng thời chi phí lãi vay vẫn tiếp tục phát sinh. Thời gian hoàn vốn vì vậy bị kéo dài đáng kể.

c) Giảm giá trị hiện tại ròng của dự án

Giá trị hiện tại ròng (NPV) phụ thuộc rất lớn vào thời điểm phát sinh dòng tiền.

Khi dự án chậm đưa vào khai thác:

$$NPV = \sum_{t=1}^n \frac{CF_t}{(1+r)^t} - I_0$$

Trong đó:

- CF_t : dòng tiền tại năm t ;
- r : suất chiết khấu;
- I_0 : vốn đầu tư ban đầu.

Khi thời gian hoàn thành dự án kéo dài:

- Dòng tiền đến muộn hơn;
- Giá trị hiện tại của dòng tiền giảm;
- NPV giảm;
- Tỷ suất hoàn vốn nội bộ (IRR) giảm.

Do đó, hiệu quả tài chính của dự án bị suy giảm đáng kể.

d) Giảm hiệu quả kinh tế – xã hội

Đối với các dự án hạ tầng và công trình công cộng, chậm tiến độ còn gây ra nhiều tổn thất gián tiếp:

- Tắc nghẽn giao thông;
- Ô nhiễm môi trường;
- Chậm phát huy hiệu quả đầu tư công;
- Giảm năng lực phục vụ của hệ thống hạ tầng;
- Phát sinh khiếu nại của người dân.

Đối với chủ đầu tư:

- Giảm uy tín;
- Giảm khả năng huy động vốn cho các dự án tiếp theo;
- Tăng nguy cơ thanh tra, kiểm toán và tranh chấp hợp đồng.

Thảo luận:

Có thể khái quát mối quan hệ giữa thời gian, rủi ro và hiệu quả dự án theo chuỗi tác động: Rủi ro phát sinh → Chậm tiến độ → Chi phí tăng → Chất lượng suy giảm → Hiệu quả đầu tư giảm → Phát sinh rủi ro mới → Tiếp tục chậm tiến độ.

Chuỗi tác động này cho thấy thời gian không chỉ là một chỉ tiêu tiến độ mà còn là biến trung gian làm khuếch đại tác động của rủi ro đối với toàn bộ hiệu quả dự án xây dựng. Vì vậy, mục tiêu của quản lý dự án hiện đại không phải là rút ngắn thời gian bằng mọi giá hoặc kéo dài thời gian để tăng mức độ an toàn, mà là xác định **thời gian tối ưu**, trong đó tổng chi phí và tổng mức độ rủi ro của dự án đạt giá trị nhỏ nhất, đồng thời bảo đảm chất lượng và hiệu quả đầu tư dài hạn.

5. Một số giải pháp quản lý thời gian gắn với quản trị rủi ro

Từ những phân tích ở trên có thể thấy rằng thời gian và rủi ro trong dự án xây dựng tồn tại mối quan hệ tương tác hai chiều và mang tính khuếch đại lẫn nhau. Mọi rủi ro phát sinh đều có khả năng tác động đến tiến độ, trong khi sự kéo dài thời gian thực hiện dự án tiếp tục làm gia tăng mức độ phơi nhiễm rủi ro. Vì vậy, quản lý tiến độ theo phương pháp truyền thống, coi thời gian thực hiện các công tác là giá trị cố định, không còn phù hợp đối với các dự án xây dựng hiện đại có quy mô lớn và mức độ phức tạp cao.

Quản lý thời gian trong điều kiện có rủi ro cần được chuyển đổi từ tư duy quản lý tất định sang quản lý tiến độ dựa trên rủi ro, trong đó tiến độ dự án được xem là một biến ngẫu nhiên chịu tác động đồng thời của nhiều yếu tố bất định [2], [7]. Trên cơ sở đó, một số giải pháp quản lý thời gian gắn với quản trị rủi ro được đề xuất như sau.

5.1. Tích hợp quản trị rủi ro vào lập tiến độ

a) Chuyển từ lập tiến độ tất định sang lập tiến độ theo kịch bản

Trong thực tế, phần lớn các dự án xây dựng hiện nay được lập tiến độ theo một giá trị duy nhất cho mỗi công tác. Tuy nhiên, thời gian thực hiện công việc trên công trường luôn chịu ảnh hưởng của nhiều yếu tố như:

- Điều kiện thời tiết;
- Khả năng cung ứng vật tư;
- Năng lực nhân sự;
- Thiết bị thi công;
- Các thay đổi về thiết kế;
- Các yếu tố pháp lý và môi trường.

Do đó, ngay từ giai đoạn lập tiến độ cần nhận diện toàn bộ các nguồn rủi ro có khả năng ảnh hưởng đến thời gian thực hiện dự án.

Quá trình lập tiến độ nên thực hiện theo các bước:

- Bước 1. Phân rã dự án thành các gói công việc.
- Bước 2. Nhận diện các rủi ro tác động đến từng công việc.
- Bước 3. Đánh giá xác suất xảy ra và mức độ ảnh hưởng.
- Bước 4. Xây dựng các kịch bản tiến độ.
- Bước 5. Xác định thời gian dự phòng.

b) Đánh giá rủi ro theo ma trận xác suất – tác động

Mức độ rủi ro của mỗi công việc có thể được xác định theo:

$$R = P \times I$$

Trong đó:

- R (Risk Score): Mức độ rủi ro;
- P (Probability): Xác suất xảy ra rủi ro;
- I (Impact): Mức độ tác động của rủi ro.

Mức độ rủi ro của một công việc hoặc một sự kiện được xác định bằng tích giữa xác suất xảy ra và mức độ tác động của rủi ro. P phản ánh khả năng xảy ra của sự kiện rủi ro, còn I phản ánh mức độ ảnh hưởng của rủi ro đến mục tiêu của dự án như thời gian, chi phí, chất lượng hoặc an toàn. Giá trị R càng lớn thì mức độ ưu tiên kiểm soát rủi ro càng cao.

Ví dụ: Nếu xác suất xảy ra rủi ro: $P=0,6$; Mức độ tác động: $I=0,8$.

$$R = 0,6 \times 0,8 = 0,48$$

Giá trị $R = 0,48$ cho thấy đây là rủi ro ở mức tương đối cao và cần được ưu tiên đưa vào kế hoạch ứng phó trong quản lý tiến độ dự án xây dựng.

c) Bố trí thời gian dự phòng theo mức độ rủi ro

Thời gian dự phòng không nên được xác định theo kinh nghiệm chủ quan mà cần được xây dựng trên cơ sở phân tích rủi ro.

Thời gian dự phòng có thể xác định theo: $B_i = f(P, I)$

Trong đó:

- B_i : thời gian dự phòng;
- P: xác suất xảy ra rủi ro;
- I: mức độ tác động.

Việc bố trí thời gian dự phòng hợp lý giúp:

- Hạn chế nguy cơ chậm tiến độ dây chuyền;
- Giảm chi phí phát sinh;
- Tăng khả năng chống chịu của tiến độ dự án.

5.2. Áp dụng phương pháp phân tích rủi ro tiến độ

a) Phương pháp PERT

Mô hình PERT cho phép xem thời gian thực hiện công việc là biến ngẫu nhiên [10].

- Đối với mỗi công tác

+ Thời gian kỳ vọng của công việc:

$$t_e = \frac{a + 4m + b}{6}$$

Trong đó:

- t_e : Thời gian kỳ vọng;
- a: Thời gian lạc quan – thời gian ngắn nhất nếu mọi điều kiện thuận lợi;
- m: Thời gian phổ biến nhất – thời gian có khả năng xảy ra cao nhất;
- b: Thời gian bi quan – thời gian dài nhất khi gặp nhiều bất lợi.

Ý nghĩa

Công thức giả định thời gian thực hiện công việc tuân theo phân bố Beta và coi giá trị mmm có độ tin cậy cao hơn nên được nhân hệ số 4.

Vì vậy:

- Không lấy trung bình đơn thuần của a, m, b;
- Kết quả phản ánh tốt hơn điều kiện thực tế thi công.

Ví dụ trong dự án xây dựng: Công tác thi công cọc khoan nhồi có các ước lượng:

- Thời gian lạc quan: $a = 12$ ngày;
- Thời gian phổ biến: $m = 18$ ngày;
- Thời gian bi quan: $b = 30$ ngày.

$$\text{Khi đó: } t_e = \frac{12 + 4 \times 18 + 30}{6} = 19(\text{ngày})$$

Như vậy, mặc dù thời gian phổ biến nhất là 18 ngày, nhưng do vẫn tồn tại khả năng gặp các điều kiện bất lợi nên thời gian kỳ vọng của công tác được xác định là 19 ngày.

$$\text{Độ lệch chuẩn của thời gian thực hiện: } \sigma = \frac{b-a}{6}$$

Độ lệch chuẩn phản ánh mức độ không chắc chắn của thời gian thực hiện công việc:

- σ nhỏ $\rightarrow$ thời gian thực hiện ổn định, ít rủi ro;
- σ lớn $\rightarrow$ thời gian thực hiện biến động mạnh, rủi ro cao.

Ví dụ: Tiếp tục với công tác cọc khoan nhồi: $a = 12$ ngày; $b = 30$ ngày.

$$\text{Ta có: } \sigma = \frac{30-12}{6} = 3(\text{ngày})$$

Điều này có nghĩa là thời gian thi công công tác cọc khoan nhồi có mức dao động trung bình khoảng ± 3 ngày quanh giá trị kỳ vọng.

PERT giúp nhà quản lý:

- Đánh giá mức độ bất định của thời gian;
- Xác định các công việc có biến động lớn;
- Xây dựng kế hoạch tiến độ linh hoạt hơn.

b) Mô phỏng Monte Carlo

Mô phỏng Monte Carlo là phương pháp sử dụng các số ngẫu nhiên để mô phỏng hàng nghìn kịch bản thực hiện dự án, từ đó xác định phân bố xác suất của thời gian hoàn thành dự án trong điều kiện tồn tại các yếu tố bất định [8], [9].

(1) Thời gian thực hiện của từng công việc

Giả sử dự án gồm n công việc, thời gian thực hiện của công việc thứ i là một biến ngẫu nhiên: $T_i \sim f_i(x)$

Trong đó: T_i : thời gian thực hiện ngẫu nhiên của công việc thứ i ; $f_i(x)$: hàm phân bố xác suất của T_i , có thể là phân bố Beta-PERT, tam giác, chuẩn hoặc lognormal tùy theo đặc điểm dữ liệu.

Ví dụ: Công tác thi công cột tầng 1 được ước lượng:

- Thời gian lạc quan: $a = 8$ ngày;
- Thời gian phổ biến: $m = 10$ ngày;
- Thời gian bi quan: $b = 15$ ngày.

Khi đó: $T_i \sim \text{PERT}(8, 10, 15)$. Điều này có nghĩa là thời gian thi công công tác không cố định mà dao động trong khoảng từ 8 đến 15 ngày.

(2) Thời gian hoàn thành dự án

Giả sử các công việc thuộc đường găng, thời gian hoàn thành dự án được xác định:

$$T = \sum_{i=1}^n T_i$$

Trong đó: T là thời gian hoàn thành dự án; n là số lượng công việc; T_i là thời gian ngẫu nhiên của công việc thứ i .

Do mỗi T_i là biến ngẫu nhiên nên T cũng là một biến ngẫu nhiên.

(3) Thực hiện mô phỏng Monte Carlo

Ở lần mô phỏng thứ k , hệ thống sẽ lấy ngẫu nhiên một giá trị của từng công việc:

$$T_1^{(k)}, T_2^{(k)}, \dots, T_n^{(k)}$$

$$\text{Khi đó: } T^{(k)} = \sum_{i=1}^n T_i^{(k)}$$

Trong đó:

$T^{(k)}$: thời gian hoàn thành dự án ở lần mô phỏng thứ k ; $k = 1, 2, \dots, N$; N là số lần mô phỏng.

Sau N lần mô phỏng:

$T^{(1)}, T^{(2)}, \dots, T^{(N)}$ sẽ thu được tập hợp các giá trị thời gian hoàn thành dự án.

Ví dụ minh họa đối với dự án chung cư cao tầng: Giả sử dự án gồm 5 công tác thuộc đường găng (Bảng 1):

Bảng 1. Phân bố PERT của một số công tác.

Công tác	Phân bố PERT (ngày)
Móng	PERT(25, 30, 40)
Tầng hầm	PERT(40, 50, 65)
Kết cấu thân	PERT(120, 150, 180)
Hoàn thiện	PERT(60, 75, 90)
Hạ tầng	PERT(20, 25, 35)

Sau 10000 lần mô phỏng:

- Thời gian nhỏ nhất: 285 ngày;
- Thời gian kỳ vọng: 338 ngày;
- Độ lệch chuẩn: 24 ngày;
- Xác suất hoàn thành trong 300 ngày: 28 %;
- Xác suất hoàn thành trong 360 ngày: 89 %.

Cách tiếp cận này cho phép chuyển từ quản lý tiến độ theo giá trị bất định sang quản lý tiến độ theo xác suất, góp phần nâng cao khả năng dự báo và quản trị rủi ro trong các dự án xây dựng.

c) Phân tích đường găng có xét đến rủi ro

Trong điều kiện có rủi ro, đường găng không phải lúc nào cũng cố định. Phân tích đường găng có xét đến rủi ro cho phép nhận diện các đường găng động [9].

Một công việc không nằm trên đường găng trong kế hoạch ban đầu nhưng có mức độ biến động lớn hoàn toàn có thể trở thành đường găng mới.

Do đó cần:

- Theo dõi đường găng động;
 - Phân tích độ nhạy tiến độ;
 - Xác định các công việc có nguy cơ chuyển thành công việc găng.
- Cách tiếp cận này giúp giảm nguy cơ bị động trong quản lý tiến độ.

d) Mô phỏng BIM 4D

Mô hình mô phỏng BIM 4D cho phép trực quan hóa các kịch bản tiến độ [11], [13], [14], [15]. BIM 4D cho phép tích hợp:

- Mô hình 3D;
- Tiến độ thi công;
- Trạng thái thực hiện;
- Dữ liệu rủi ro.

Khi kết hợp với Monte Carlo, BIM 4D có thể:

- Mô phỏng nhiều kịch bản tiến độ;
- Trực quan hóa các khu vực có nguy cơ chậm tiến độ;
- Xác định xung đột thi công;
- Đánh giá tác động của các phương án điều chỉnh tiến độ.

Nhà quản lý không chỉ nhìn thấy công trình sẽ được xây dựng như thế nào mà còn biết được công trình có thể bị chậm ở đâu, khi nào và với xác suất bao nhiêu.

5.3. Tăng cường ứng dụng công nghệ số

a) Theo dõi tiến độ theo thời gian thực

Việc ứng dụng BIM, trí tuệ nhân tạo và dữ liệu lớn cho phép theo dõi tiến độ theo thời gian thực [11], [12], [13]. Việc tích hợp BIM với:

- IoT;
- Drone;
- Thiết bị định vị;
- Công nghệ quét laser 3D;

Cho phép cập nhật khối lượng thi công theo thời gian thực. Sai lệch giữa tiến độ thực tế và kế hoạch được phát hiện gần như ngay lập tức.

b) Dự báo sớm rủi ro tiến độ bằng trí tuệ nhân tạo

Trí tuệ nhân tạo có thể khai thác dữ liệu lịch sử của hàng trăm dự án để:

- Dự báo nguy cơ chậm tiến độ;
- Nhận diện nguyên nhân chủ yếu;
- Dự báo thời gian hoàn thành mới;
- Đề xuất phương án điều chỉnh.

Mô hình dự báo có thể được xây dựng dưới dạng:

$$T = f(X_1, X_2, \dots, X_n)$$

là mô hình tổng quát, thể hiện rằng thời gian hoàn thành dự án (T) phụ thuộc vào nhiều biến đầu vào (X_i).

c) Hỗ trợ ra quyết định

Cảnh báo sớm các nguy cơ chậm tiến độ và hỗ trợ ra quyết định quản lý [12], [14], [16]. Dữ liệu lớn và AI giúp nhà quản lý:

- Lựa chọn phương án thi công tối ưu;
- Điều chỉnh nguồn lực;
- Xây dựng kế hoạch dự phòng;
- Xác định ngưỡng rủi ro chấp nhận được.

Nhờ đó, quá trình quản lý tiến độ chuyển từ phản ứng bị động sang quản lý chủ động dựa trên dự báo.

Thảo luận

Các giải pháp nêu trên đều hướng đến mục tiêu chuyển đổi từ quản lý tiến độ truyền thống sang quản lý tiến độ dựa trên rủi ro, trong đó thời gian không còn được xem là một giá trị cố định mà là một biến ngẫu nhiên cần được dự báo, giám sát và điều chỉnh liên tục. Việc tích hợp quản trị rủi ro, mô phỏng Monte Carlo, BIM 4D, tăng cường ứng dụng công nghệ số cho phép nâng cao khả năng dự báo, tăng tính linh hoạt của kế hoạch tiến độ và giảm thiểu tác động dây chuyền của các rủi ro đến hiệu quả dự án xây dựng [8], [9], [11], [12].

6. Kết luận

Nghiên cứu đã làm rõ rằng thời gian và rủi ro trong dự án xây dựng không tồn tại độc lập mà có mối quan hệ tương tác hai chiều, mang tính động và có khả năng khuếch đại lẫn nhau. Một mặt, các yếu tố rủi ro như thay đổi thiết kế, gián đoạn nguồn cung, điều kiện thời tiết bất lợi, hạn chế về nguồn lực và năng lực quản lý là những nguyên nhân chủ yếu dẫn đến chậm tiến độ dự án. Mặt khác, khi thời gian thực hiện dự án bị kéo dài, mức độ phơi nhiễm rủi ro của dự án tiếp tục gia tăng, làm tăng xác suất xuất hiện các biến cố bất định mới cũng như làm nghiêm trọng hơn hậu quả của các rủi ro hiện hữu đối với chi phí, chất lượng và hiệu quả đầu tư.

Kết quả nghiên cứu cũng cho thấy mối quan hệ giữa thời gian và rủi ro có dạng “hình chữ U”. Khi thời gian thực hiện dự án quá ngắn,

áp lực hoàn thành tiến độ làm gia tăng rủi ro về chất lượng, an toàn và chi phí tăng tốc. Ngược lại, khi thời gian thực hiện dự án quá dài, dự án phải đối mặt với nhiều rủi ro hơn do biến động thị trường, thay đổi pháp lý, suy giảm hiệu quả sử dụng nguồn lực và phát sinh chi phí tài chính. Chỉ tại một khoảng thời gian thực hiện hợp lý, tổng mức độ rủi ro của dự án mới đạt giá trị thấp nhất.

Đặc biệt, nghiên cứu đã chỉ ra sự tồn tại của cơ chế vòng lặp phản hồi giữa thời gian và rủi ro theo chuỗi tác động: Rủi ro phát sinh → Chậm tiến độ → Gia tăng mức độ phơi nhiễm rủi ro → Phát sinh rủi ro mới → Tiếp tục chậm tiến độ. Đây là cơ chế làm cho các tác động bất lợi của dự án có xu hướng tích lũy và khuếch đại theo thời gian.

Từ những kết quả trên có thể khẳng định rằng mục tiêu của quản lý dự án hiện đại không phải là rút ngắn hoặc kéo dài thời gian thực hiện dự án bằng mọi giá, mà là xác định và duy trì khoảng thời gian tối ưu tương ứng với mức rủi ro chấp nhận được. Việc tích hợp quản trị rủi ro vào công tác lập và kiểm soát tiến độ, đồng thời ứng dụng các công cụ như PERT, mô phỏng Monte Carlo, BIM 4D và trí tuệ nhân tạo, sẽ góp phần nâng cao khả năng dự báo, hỗ trợ ra quyết định chủ động và nâng cao hiệu quả thực hiện các dự án xây dựng trong điều kiện nhiều bất định hiện nay.

Tài liệu tham khảo

- [1]. Project Management Institute (PMI) (2021). *A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK® Guide)*, 7th Edition, Project Management Institute, Newtown Square, PA, USA.
- [2]. Kerzner, H. (2022). *Project Management: A Systems Approach to Planning, Scheduling, and Controlling*, 13th Edition, John Wiley & Sons, Hoboken, NJ, USA.
- [3]. Flanagan, R., & Norman, G. (1993). *Risk Management and Construction*, Blackwell Science Ltd., Oxford, UK.
- [4]. Schuyler, J.R. (2001). *Risk and Decision Analysis in Projects*, Project Management Institute, Newtown Square, PA, USA.
- [5]. Hillson, D. (2002). *Extending the Risk Process to Manage Opportunities*, International Journal of Project Management, 20(3), 235–240.
- [6]. Chapman, C., & Ward, S. (2011). *How to Manage Project Opportunity and Risk: Why Uncertainty Management Can Be a Much Better Approach Than Risk Management*, 3rd Edition, John Wiley & Sons, Chichester, UK.
- [7]. Moder, J.J., Phillips, C.R., & Davis, E.W. (1983). *Project Management with CPM, PERT and Precedence Diagramming*, 3rd Edition, Van Nostrand Reinhold, New York, USA.
- [8]. Vose, D. (2008). *Risk Analysis: A Quantitative Guide*, 3rd Edition, John Wiley & Sons, Chichester, UK.
- [9]. Hulett, D.T. (2009). *Practical Schedule Risk Analysis*, Gower Publishing Limited, Surrey, UK.
- [10]. Hajdu, M., & Bokor, O. (2014). “The Effects of Different Activity Distributions on Project Duration in PERT Networks”, *Procedia – Social and Behavioral Sciences*, 119, 766–775.
- [11]. Eastman, C., Teicholz, P., Sacks, R., & Liston, K. (2018). *BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Designers, Engineers, Contractors, and Facility Managers*, 3rd Edition, John Wiley & Sons, Hoboken, NJ, USA.
- [12]. Succar, B. (2009). “Building Information Modelling Framework: A Research and Delivery Foundation for Industry Stakeholders”, *Automation in Construction*, 18(3), 357–375.

- [13]. Bryde, D., Broquetas, M., & Volm, J.M. (2013). "The Project Benefits of Building Information Modelling (BIM)", *International Journal of Project Management*, 31(7), 971–980.
- [14]. 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.
- [15]. Sacks, R., Eastman, C., Lee, G., & Teicholz, P. (2018). *BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling*, 3rd Edition, John Wiley & Sons, Hoboken, NJ, USA.
- [16]. Elbeltagi, E., Hegazy, T., & Grierson, D. (2005). "Comparison among Five Evolutionary-Based Optimization Algorithms", *Advanced Engineering Informatics*, 19(1), 43–53.
- [17]. Nguyễn Văn Chơn (2019). *Quản lý dự án đầu tư xây dựng công trình*, Nhà xuất bản Xây dựng, Hà Nội.
- [18]. Bùi Mạnh Hùng, Lê Kiều (2020). *Quản lý dự án đầu tư xây dựng công trình*, Nhà xuất bản Xây dựng, Hà Nội.