VẬT LIỆU & XÂY DỰNG
Tạp chí Vật liệu và Xây dựng
ISSN 1859 - 381X
Website: www. jomc.vn

Quản lý rủi ro động đối với tiến độ thi công xây dựng: Khung lý thuyết tích hợp

Nguyễn Nhật Hùng[1], Đinh Thanh Ngọc[2], Nguyễn Hồng Hải[3], Trần Quang Đức[3], Nguyễn Quốc Toản[3]*

[1] Bệnh viện Quân y 175

[2] Học viện Hậu cần

[3] Khoa Kinh tế và Quản lý xây dựng, trường Đại học Xây dựng Hà Nội

TỪ KHOÁ

Quản lý rủi ro động
Tiến độ thi công
Mạng Bayes động
Cảnh báo sớm
Học máy giải thích được
Quản lý xây dựng

TÓM TẮT

Rủi ro tiến độ thay đổi cùng điều kiện thi công và chịu ảnh hưởng của các biện pháp quản lý đã thực hiện. Bài báo đề xuất khung lý thuyết tích hợp để mô tả quá trình này, dựa trên tổng quan có chủ đích 34 tài liệu và phân tích khái niệm. Sáu nền tảng được sử dụng gồm quản lý rủi ro liên tục, mạng tiến độ, tư duy hệ thống, suy luận Bayes, điều khiển phản hồi và ra quyết định dưới bất định. Khung xác định bốn thuộc tính: quan sát theo thời gian, cập nhật kế thừa trạng thái trước, biểu diễn phụ thuộc và độ trễ, phản hồi từ hành động. Các cấu phần gồm bối cảnh, bằng chứng, trạng thái rủi ro tiềm ẩn, kết quả cần dự báo, hành động phản ứng và kết quả kỳ sau; mạng tiến độ mô tả cách ảnh hưởng truyền tới mốc hoàn thành. Mạng Bayes động là một lựa chọn để suy luận trạng thái, còn học máy hỗ trợ đối chứng và giải thích dự báo. Sáu mệnh đề nghiên cứu được xây dựng cùng chỉ báo đo lường và điều kiện áp dụng. Đóng góp của bài là làm rõ quan hệ giữa cập nhật rủi ro và quyết định quản lý. Khung chưa được kiểm định bằng dữ liệu dự án; hiệu quả cảnh báo và giá trị quyết định cần được đánh giá trong nghiên cứu thực nghiệm tiếp theo.

KEYWORDS

Dynamic risk management
Construction schedule
Dynamic Bayesian network
Early warning
Explainable machine learning
Construction management

ABSTRACT

Schedule risks evolve with site conditions and are influenced by the management measures already implemented. This paper proposes an integrated theoretical framework to describe this process, based on a purposive review of 34 sources and conceptual analysis. Six foundations are used: continuous risk management, schedule networks, systems thinking, Bayesian inference, feedback control, and decision-making under uncertainty. The framework identifies four properties: time-indexed observation, updating that inherits prior states, representation of dependencies and time lags, and feedback from actions. The components include context, evidence, latent risk state, forecast outcome, response action, and next-period outcome; the schedule network describes how effects propagate to completion milestones. A dynamic Bayesian network is one option for state inference, while machine learning supports benchmarking and explanation of forecasts. Six research propositions are developed along with measurement indicators and boundary conditions. The paper's contribution is to clarify the relationship between risk updating and management decisions. The framework has not been validated with project data; warning effectiveness and decision value need to be assessed in further empirical research.

1. Đặt vấn đề

Tiến độ thi công là kết quả tổng hợp của các quá trình kỹ thuật, tổ chức, hợp đồng và môi trường. Một sai lệch cục bộ có thể lan qua quan hệ trước - sau, làm giảm dự trữ và gây chậm mốc. Rủi ro hiếm khi độc lập: mưa lớn hạn chế tiếp cận công trường, gây gián đoạn vận chuyển và thiếu vật liệu, trong khi áp lực bù tiến độ lại làm tăng nguy cơ làm lại. Chuỗi tác động này biến đổi theo thời gian, có độ trễ và chịu ảnh hưởng ngược từ quyết định quản lý.

International Organization for Standardization [1] và Project Management Institute [2] xem quản lý rủi ro là quá trình tích hợp, liên tục và gắn với quyết định. Tuy nhiên trong thực hành xây dựng, bảng đăng ký rủi ro, ma trận xác suất - tác động và mô phỏng Monte Carlo thường được thiết lập tại một thời điểm, với phân phối thời lượng và cấu trúc phụ thuộc giả định cố định [3-5]. Chạy lại mô hình tĩnh với dữ liệu mới chưa đủ tạo thành quản lý động nếu mô hình không kế thừa trạng thái và không học từ kết quả phản ứng.

Nhiều nghiên cứu đã ứng dụng công cụ định lượng cho rủi ro tiến độ: mạng Bayes tại Việt Nam [6]; động lực học hệ thống [7]; kết hợp Bayes, học máy và Monte Carlo [8]; tiếp cận Bayes - Monte Carlo cho hạ tầng [9, 10]. Những công trình này chủ yếu tập trung lượng hóa hoặc dự báo, chưa khái quát chuỗi từ cảnh báo đến hành động và cập nhật chu kỳ kế tiếp thành cơ chế quản lý thống nhất. Tại Việt Nam, bên cạnh các nghiên cứu về mạng Bayes và mô phỏng, một số công trình gần đây tập trung nhận diện nhân tố chậm tiến độ bằng Delphi và hồi quy [33] hoặc dự báo chậm do nguyên nhân khiếu nại bằng mạng niềm

*Liên hệ tác giả: toannq@huce.edu.vn
Nhận ngày 31/08/2026, sửa xong ngày 17/09/2026, chấp nhận đăng ngày 18/09/2026
Link DOI: https://doi.org/10.54772/jomc.05.2026.1507

tin Bayes [34], cho thấy nhu cầu kết nối phân tích tĩnh với cơ chế cập nhật và phản hồi vẫn còn bỏ ngỏ.

Khoảng trống mang tính khái niệm nhiều hơn công nghệ. Nếu "động" chỉ được hiểu là cập nhật dữ liệu thường xuyên hoặc dùng AI, nghiên cứu sẽ nhầm tốc độ xử lý thông tin với năng lực quản lý thích ứng, trong khi quản lý bất định vốn rộng hơn quản lý danh mục sự kiện [11-13].

Bài báo trả lời ba câu hỏi: thuộc tính nào là điều kiện cần của quản lý rủi ro tiến độ động; nền tảng lý thuyết nào giải thích quá trình này; và cấu trúc nào định hướng đo lường và kiểm định? Đóng góp là tích hợp sáu nền tảng thường tách rời, xác lập ranh giới giữa đánh giá lặp, dự báo động và quản lý động, đồng thời đề xuất vòng khép kín từ bằng chứng đến phản hồi cùng sáu mệnh đề kiểm định được. Khung được xây dựng cho thi công xây dựng nói chung; các bối cảnh cụ thể như công trình giao thông miền núi chỉ đóng vai trò ví dụ kiểm định ở phần thảo luận.

Để minh họa khả năng áp dụng, bài báo chọn công trình giao thông miền núi và biên giới phía Bắc Việt Nam làm bối cảnh kiểm định gợi ý. Đây là loại dự án có địa hình chia cắt, thời tiết theo mùa rõ, tiếp cận thi công phụ thuộc tuyến vận chuyển dài và chuỗi cung ứng vật tư dễ đứt gãy. Những đặc điểm này tạo ra biến động mạnh theo thời gian, quan hệ phụ thuộc giữa các rủi ro và độ trễ giữa hành động quản lý với kết quả tiến độ, tức là những điều kiện mà khung động được thiết kế để mô tả. Việc chọn một bối cảnh cụ thể ở đây không nhằm giới hạn phạm vi lý thuyết của khung, mà để chuẩn bị cho phần thảo luận về kiểm định và ứng dụng ở Mục 8.1.

2. Phương pháp nghiên cứu

Nghiên cứu sử dụng tổng quan tích hợp định hướng vấn đề, kết hợp phân tích khái niệm và tổng hợp lý thuyết, phù hợp khi câu hỏi nằm ở giao điểm nhiều dòng tri thức [14]. Đây không phải tổng quan hệ thống bao quát toàn bộ công bố. Tập tài liệu được lựa chọn có chủ đích nhằm phục vụ tổng hợp lý thuyết; quy trình chọn lọc được mô tả dưới đây để bảo đảm khả năng kiểm tra, không nhằm tái lập một mẫu toàn diện.

Tìm kiếm được thực hiện trên Scopus, Web of Science, Google Scholar và Crossref, kết hợp tra cứu trên cổng nhà xuất bản (Elsevier, Springer, Wiley, ASCE, Taylor & Francis) và trang tổ chức tiêu chuẩn (ISO, PMI). Tổ hợp từ khóa tiếng Anh gồm "construction schedule delay risk" kết hợp lần lượt với "dynamic", "Bayesian", "Monte Carlo", "machine learning", "system dynamics", "risk response", "early warning". Từ khóa tiếng Việt tương ứng được dùng để tra cứu bổ sung. Phạm vi thời gian từ năm 2000 đến tháng 8/2026; các công trình kinh điển trước năm 2000 được giữ lại khi cần cho nền tảng lý thuyết. Ngày tìm kiếm cuối cùng: 15/8/2026.

Tổng số kết quả ban đầu sau khi loại trùng lặp là 412 bản ghi. Sau bước sàng lọc tiêu đề và tóm tắt, 96 bản ghi được giữ lại để đọc toàn văn. Qua đọc toàn văn, 54 tài liệu bị loại vì không đáp ứng tiêu chí cung cấp nguyên lý nền tảng, phương pháp trực tiếp hoặc ứng dụng làm rõ cơ chế. Trong 42 tài liệu còn lại, 12 tài liệu tiếp tục bị loại do trùng nội dung với các nguồn đã chọn hoặc chất lượng phương pháp không đủ để làm bằng chứng trung tâm. Tập cuối cùng gồm 34 nguồn, mã hóa theo thời gian, phụ thuộc, cập nhật, đầu ra, hành động và phản hồi (Bảng 1). Danh mục 34 nguồn này trùng với 34 tài liệu tham khảo [1-34]; không có nguồn nào ngoài danh mục được sử dụng làm bằng chứng trung tâm.

Xử lý trùng lặp được thực hiện bằng cách so khớp DOI và tiêu đề trên phần mềm quản lý tài liệu; các bản ghi trùng DOI được giữ lại một bản duy nhất, ưu tiên phiên bản có đầy đủ thông tin xuất bản. Việc mã hóa do tác giả thứ nhất thực hiện; tác giả thứ hai mã hóa độc lập 20 % mẫu. Bất đồng được giải quyết bằng thảo luận nhóm; nếu không đạt đồng thuận, tác giả liên hệ quyết định cuối cùng. Tỷ lệ đồng thuận ban đầu đạt 85 %; các trường hợp bất đồng tập trung ở cách phân loại nghiên cứu "dự báo động" và "đánh giá lặp".

Tổng hợp gồm bốn bước: chuẩn hóa khái niệm; đối chiếu giả định lý thuyết với đặc điểm thi công; xác định vai trò bổ sung giữa mạng tiến độ, mô hình xác suất, điều khiển và quyết định; liên kết cấu phần thành khung và chuyển quan hệ thành mệnh đề. Tính chặt chẽ được kiểm tra qua nhất quán nội tại, đối chiếu nghiên cứu gần nhất và khả năng thao tác hóa [15, 16]. Đây là nghiên cứu lý thuyết thuần túy, không sử dụng dữ liệu sơ cấp hay thứ cấp để kiểm định thực nghiệm; các quan hệ đề xuất là giả thuyết cần kiểm định bằng dữ liệu dọc hoặc thí điểm tiến cứu.

Bảng 1. Quy trình tổng quan tích hợp.

Thành phần	Nội dung thực hiện
Câu hỏi	Thuộc tính của tính động; nền tảng giải thích; cấu trúc có thể đo lường và kiểm định.
Phạm vi	Định hướng công bố từ năm 2000 đến tháng 8/2026; bổ sung công trình nền tảng trước năm 2000.
Truy tìm	Từ khóa Anh - Việt; cổng nhà xuất bản, DOI và tổ chức tiêu chuẩn; truy ngược, truy xuôi.
Lựa chọn	Nguồn có giá trị nguyên lý, phương pháp trực tiếp hoặc ứng dụng làm rõ cơ chế; loại nguồn chỉ liệt kê yếu tố chậm hoặc thiếu thông tin phương pháp.
Tổng hợp	34 nguồn; mã hóa theo thời gian, phụ thuộc, cập nhật, đầu ra, hành động và phản hồi; tích hợp thành cấu phần và mệnh đề.

3. Cơ sở lý thuyết

3.1. Quản lý rủi ro liên tục và mạng tiến độ (CPM)

Quản lý rủi ro cung cấp logic mục tiêu - bất định - phản ứng. Theo ISO 31000:2018, rủi ro là ảnh hưởng của bất định lên mục tiêu [1]; quản lý rủi ro tiến độ do đó phải theo dõi sự thay đổi của bất định và điều chỉnh phản ứng, không dừng ở nhận diện sự kiện. Tính "liên tục" là tiền đề của tính động, nhưng chỉ trở thành động đầy đủ khi đánh giá sau kế thừa trạng thái trước và kết quả phản ứng.

Lý thuyết mạng tiến độ giải thích cách hậu quả lan truyền: CPM biểu diễn công việc, thời lượng và quan hệ logic; biến động của một công

việc chỉ ảnh hưởng mốc khi truyền qua mạng và tiêu thụ dự trữ. Đường găng có thể dịch chuyển khi thời lượng, trình tự hay lịch nguồn lực thay đổi, nên mạng tại thời điểm t cần được xem là G_t có phiên bản, phù hợp với bằng chứng về mẫu hình chậm trên mạng dự án [17]. CPM cung cấp cấu trúc truyền dẫn nhưng không tự xác định xác suất trạng thái.

Kết hợp hai nền tảng giải quyết hai cấp độ thường tách rời: cấp quản trị (rủi ro nào cần theo dõi, ai có thẩm quyền phản ứng) và cấp kỹ thuật (sai lệch truyền tới mốc nào, còn bao nhiêu dự trữ địa can thiệp). Rủi ro nên được xếp hạng theo xác suất tiêu hao dự trữ, xác suất trở thành công việc găng và mức tổn thất tại mỗi liên quan, thay vì theo "mức nghiêm trọng" chung; khi điều kiện cơ sở thay đổi, cả trạng thái rủi ro lẫn cấu trúc truyền dẫn phải được lưu vết.

3.2. Tư duy hệ thống và động lực học hệ thống

Khối lượng tồn đọng và hao hụt dự trữ có thể tích lũy qua nhiều kỳ trước khi biểu hiện thành chậm mốc. Tăng ca giúp giảm tồn đọng trong ngắn hạn, nhưng mệt mỏi hoặc làm lại có thể làm giảm lợi ích đó ở các kỳ sau. Động lực học hệ thống giải thích những vòng phản hồi và độ trễ này trong hệ thống xã hội và kỹ thuật của dự án [7, 18-20].

Trong điều khiển phản hồi, trạng thái thực tế được đối chiếu với mục tiêu để lựa chọn hành động; kết quả của hành động lại được dùng cho kỳ điều chỉnh tiếp theo. Cơ chế này nối dự báo với trách nhiệm quản lý. Khoảng thời gian giữa hai lần cập nhật phải xét đồng thời tốc độ biến đổi hiện trường và thời gian huy động biện pháp.

Mưa, thời gian vận chuyển, mức sẵn sàng của thiết bị và tồn kho là những chỉ báo có thể xuất hiện trước chậm trễ. Sai lệch khối lượng hoặc số ngày chậm thường được ghi nhận muộn hơn. Một mô hình chỉ dùng nhóm chỉ báo kết quả có thể phát hiện sai lệch khi thời gian can thiệp đã ngắn. Do đó, cần theo dõi cả tín hiệu dẫn dắt và hệ quả về chi phí, chất lượng, an toàn của biện pháp bù tiến độ.

3.3. Suy luận Bayes và mạng Bayes động

Dữ liệu thi công thường thiếu, không đồng nhất và có ít biến cố nghiêm trọng. Suy luận Bayes cho phép kết hợp tri thức trước với bằng chứng mới để cập nhật phân phối trạng thái; mạng Bayes biểu diễn phụ thuộc có điều kiện giữa các biến thay vì cộng các điểm rủi ro độc lập. Tuy nhiên, mạng Bayes tĩnh chỉ mô tả một lát thời gian.

Mạng Bayes động (Dynamic Bayesian Network, DBN) mở rộng bằng cung liên thời gian, từ R_{t-1} đến R_t và từ A_{t-1} đến R_t, cho phép trạng thái hiện tại kế thừa quá khứ, phản ánh độ trễ và tạo dự báo nhiều bước [21, 22]. Một DBN chỉ trở thành bộ phận của quản lý động khi đầu ra gắn với mạng tiến độ, ngưỡng hành động và phản hồi [6, 9, 10, 23].

Ở cấp hoạt động, Nguyen Anh Duc [31] đã mở rộng PERT bằng cập nhật Bayes với phân phối log-normal và beta cải tiến, cho thấy phương sai ước lượng giảm dần theo tiến trình dự án, phù hợp với quan sát rằng bất định thời lượng co lại khi thông tin tích lũy. Kết quả này củng cố luận điểm rằng mô hình xác suất tiến độ cần được cập nhật theo chu kỳ, dù nghiên cứu đó chưa gắn cập nhật với hành động quản lý. Ở góc độ chi phí - thời gian, Nguyen Anh Duc [32] kết hợp Monte Carlo với EVM để tạo dải dự báo thay vì giá trị đơn, phản ánh tương quan giữa kéo dài thời gian và gia tăng chi phí. Hai công trình này bổ sung nền tảng phương pháp cho G_t và $Y_{t,h}$ trong khung đề xuất, đặc biệt ở khả năng biểu diễn bất định dưới dạng phân phối.

Chất lượng dự báo xác suất phải được đánh giá bằng cả khả năng phân biệt và hiệu chỉnh: Brier score và biểu đồ hiệu chỉnh kiểm tra mức phù hợp giữa xác suất dự báo với tần suất quan sát [24]. Điều kiện cần để một quyết định dựa trên xác suất 0,70 có ý nghĩa thực nghiệm ổn định. DBN hỗ trợ xử lý dữ liệu thiếu nhưng không loại bỏ yêu cầu quản trị dữ liệu: cấu trúc quá dày dễ gây quá khớp, quá đơn giản lại bỏ qua kênh lan truyền quan trọng.

3.4. Ra quyết định dưới bất định và học máy giải thích được

Một cảnh báo chỉ hỗ trợ quyết định khi nhà quản lý có thể so sánh các phương án khả thi. Chi phí, thời gian huy động và hậu quả về chất lượng, an toàn cần được xem xét cùng tổn thất tiến độ [25]. Nghiên cứu lựa chọn phản ứng bằng mạng Bayes cũng đã đặt hành động vào quá trình phân tích [26]. Ngưỡng cảnh báo vì vậy phải phản ánh sự khác nhau giữa hậu quả bỏ sót chậm trễ và chi phí báo động giả.

Học máy được sử dụng để nhận diện quan hệ phi tuyến và tạo mô hình đối chứng cho DBN. SHAP (SHapley Additive exPlanations) giải thích đóng góp của các biến vào đầu ra dự báo [27]. Giá trị giải thích này không xác định tác động nhân quả của việc thay đổi một biến. Quyết định can thiệp vẫn cần căn cứ kỹ thuật và thẩm quyền của người quản lý.

Quyết định còn phụ thuộc khả năng thực thi: hai phương án cùng tổn thất kỳ vọng có thể khác nhau về thời gian huy động, ngân sách hoặc thẩm quyền. Thư viện phản ứng cần mô tả điều kiện kích hoạt, nguồn lực, độ trễ và giới hạn áp dụng; con người giữ vai trò phê chuẩn, hệ thống cung cấp xác suất và lý do cảnh báo.

4. Định nghĩa và thuộc tính của quản lý rủi ro động

Từ các nền tảng trên, quản lý rủi ro động đối với tiến độ thi công được định nghĩa là quá trình tổ chức nhằm quan sát lặp theo thời gian, cập nhật trạng thái rủi ro có điều kiện bằng chứng mới, dự báo phân phối kết quả tiến độ trong một cửa sổ xác định, lựa chọn phản ứng theo giá trị quyết định và dùng kết quả phản ứng để hiệu chỉnh chu kỳ kế tiếp, đặt tính động ở toàn bộ cơ chế quản lý, không ở riêng thuật toán.

Tính động gồm bốn thuộc tính cần đồng thời hiện diện: (1) quan sát có dấu thời gian; (2) cập nhật có điều kiện, ước lượng kỳ t kế thừa trạng thái và hành động kỳ trước; (3) mô hình biểu diễn phụ thuộc, chuyển trạng thái và độ trễ; (4) phản hồi quản lý, hành động và kết quả trở thành dữ liệu của chu kỳ sau.

Ranh giới khái niệm khá rõ: khảo sát chuyên gia một lần là đánh giá tĩnh; ma trận cập nhật hằng tuần nhưng mỗi kỳ độc lập là đánh giá lặp; mô hình dự báo bằng chuỗi thời gian nhưng không nối với phản ứng là dự báo động. Chỉ khi cảnh báo dẫn đến hành động được ghi

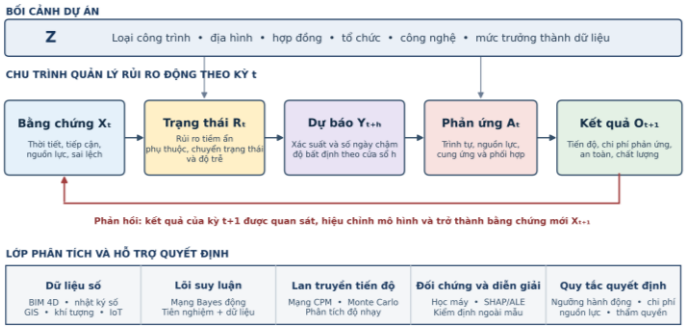
nhận và hệ thống học từ kết quả đó, mới hình thành quản lý rủi ro động đầy đủ.

Khung chỉ phát huy đầy đủ khi dự án có biến động đủ lớn; tiến độ có phụ thuộc kỹ thuật hoặc nguồn lực; dữ liệu được ghi theo chu kỳ và liên kết với WBS hoặc phân đoạn; bộ máy quản lý có thẩm quyền phản ứng trước khi hậu quả trở nên không thể đảo ngược. Tần suất cập nhật Δt và cửa sổ dự báo h phải phù hợp tốc độ thay đổi, chất lượng dữ liệu và thời gian huy động.

Đơn vị phân tích cần xác định trước khi đo lường: cấp dự án phù hợp quyết định danh mục nhưng che khuất biến động hiện trường; cấp công tác quá chi tiết làm tăng dữ liệu thưa. Gói công việc - tuần hoặc phân đoạn tuyến - tuần là lựa chọn trung gian, gắn với một mốc, một ngưỡng chậm và một cửa sổ dự báo cụ thể. Mỗi chu kỳ cần lưu ảnh chụp dữ liệu, phiên bản mô hình, phiên bản tiến độ, quyết định và kết quả để tạo dấu vết kiểm toán.

5. Khung lý thuyết tích hợp

Khung đề xuất gồm sáu cấu phần. Bối cảnh Z mô tả điều kiện thay đổi chậm (loại công trình, địa hình, hợp đồng, năng lực tổ chức); bằng chứng X_t gồm tín hiệu biến đổi theo thời gian (thời tiết, tiếp cận, nhân lực, thiết bị, vật tư, khối lượng, RFI, sai lệch). Trạng thái rủi ro tiềm ẩn R_t là mức phơi nhiễm tại chu kỳ t, tạo lớp trung gian giải thích vì sao nhiều tín hiệu khác nhau dẫn đến cùng một nguy cơ. Đầu ra $Y_{t,h}$ là phân phối chậm tiến độ trong cửa sổ h (xác suất vượt ngưỡng, ngày chậm kỳ vọng, khoảng dự báo, xác suất trở thành công việc găng). Hành động phản ứng A_t gồm thay đổi trình tự, điều chuyển nguồn lực, đổi nguồn cung hoặc xử lý vướng mắc; kết quả $O_{t,1}$ gồm sai lệch thực tế, chi phí phản ứng và ảnh hưởng chất lượng - an toàn. Đưa A_t và $O_{t,1}$ vào khung ngăn sai lầm quy mọi cải thiện sau cảnh báo cho mô hình (Hình 1).



Hình 1. Khung lý thuyết tích hợp quản lý rủi ro động đối với tiến độ thi công.

$$P(R_t \mid R_{t-1}, X_t, A_{t-1}, Z) \quad (1)$$

$$P(Y_{t+h} \mid R_t, G_t, Z) \quad (2)$$

Trong đó:

Z là bối cảnh;

X_t là bằng chứng;

R_t là trạng thái rủi ro tiềm ẩn;

$Y_{t,h}$ là dự báo;

A_t là hành động phản ứng;

G_t là mạng tiến độ.

Biểu thức (1) mô tả phân phối trạng thái sau khi tiếp nhận bằng chứng. Với DBN, bước suy luận còn cần mô hình chuyển trạng thái và mô hình quan sát. Biểu thức (2) mô tả dự báo theo phương án vận hành nền; đánh giá một phương án can thiệp khác phải cập nhật các giả định về hành động và mạng tiến độ tương ứng.

$$a *_t = \underset{a \in \mathcal{A}_t}{arg\,min}\, E[L(Y_{t+h}(a), a) \mid I_t] \quad (3)$$

Hành động được lựa chọn bằng cách so sánh tổn thất kỳ vọng của các phương án khả thi theo biểu thức (3).

Trong đó:

$I_t = \{X_1{:}t, A_1{:}t{-}1, O_1{:}t, Z, G_t\}$ là tập thông tin quan sát được tại chu kỳ t;

$\mathcal{A}_t$ là tập hành động khả thi;

$L(Y_{t,h}, a)$ là hàm tổn thất khi chọn hành động a trong khi kết quả tiến độ thực tế thuộc phân phối $Y_{t,h}$.

Các biểu thức xác định logic quan hệ, không áp đặt một thuật toán duy nhất. Giá trị quyết định V so sánh tổn thất kỳ vọng khi dùng mô hình với quy trình nền hoặc kịch bản không can thiệp.

G_t chuyển dự báo trạng thái thành hậu quả đối với mốc thông qua quan hệ logic, dự trữ và xác suất trở thành công việc găng; mọi điều chỉnh tiến độ hợp lệ phải được lưu phiên bản. DBN phù hợp với lõi suy luận vì biểu diễn được trạng thái tiềm ẩn và chuyển trạng thái; cấu trúc ban đầu hình thành từ lý thuyết và chuyên gia, sau đó học tham số từ dữ liệu. Mô hình học máy phi tuyến dùng làm đối chứng, còn trí tuệ nhân tạo giải thích được (Explainable AI, XAI) hỗ trợ giải thích cảnh báo. Cơ chế quản lý vẫn do khung xác định: một hệ thống chính xác về thống kê nhưng cảnh báo quá muộn hoặc tạo nhiều báo giả không được xem là thành công.

Vòng vận hành gồm năm bước: tiếp nhận và kiểm tra chất lượng X_t; suy luận R_t; lan truyền qua G_t để dự báo $Y_{t,h}$; đánh giá phương án và phê chuẩn A_t; đối chiếu $O_{t,1}$ với dự báo để cập nhật tham số. Nhịp dự báo cần tách khỏi nhịp tái huấn luyện để hạn chế mô hình phản ứng quá mức với nhiễu ngắn hạn.

Giá trị quyết định V nên được lượng hóa so với quy trình nền: lợi ích gồm tổn thất tiến độ tránh được; chi phí gồm thu thập dữ liệu, vận hành hệ thống và hậu quả báo giả. Phân tích đường cong quyết định giúp xác định vùng ngưỡng mà việc dùng mô hình có lợi hơn chiến lược "luôn can thiệp" hay "không can thiệp", đặt thuật toán dưới mục tiêu quản lý (Bảng 2).

6. So sánh với các cách tiếp cận hiện có

Các công cụ hiện hành giải quyết những lớp khác nhau: ma trận hỗ trợ sàng lọc; CPM mô tả logic và dự trữ; Monte Carlo lan truyền bất định; Bayes cập nhật niềm tin; động lực học hệ thống mô tả vòng phản hồi; học máy nhận diện phi tuyến; lý thuyết quyết định so sánh phản ứng. Hạn chế xuất hiện khi một công cụ được dùng thay cho toàn bộ hệ thống quản lý.

Phần tích hợp được đề xuất tập trung vào quan hệ giữa dữ liệu theo chu kỳ, phân phối chậm tiến độ, hành động và kết quả quan sát. Giá trị của quan hệ này cần được đánh giá bằng độ hiệu chỉnh, thời gian báo trước và tổn thất kỳ vọng. Bảng 3 đối chiếu một số công trình tiêu biểu theo phạm vi đóng góp; việc một công trình không đặc tả đầy đủ vòng quản lý không đồng nghĩa công trình đó có thiếu sót so với mục tiêu nghiên cứu ban đầu.

Bảng 2. Cấu phần, nội hàm và chỉ báo đo lường của khung đề xuất.

Cấu phần	Nội hàm	Chỉ báo gợi ý	Nguồn và tần suất
Bối cảnh Z	Điều kiện thay đổi chậm, xác định rủi ro nền và tính chuyển giao.	Loại công trình, địa hình, hợp đồng, tổ chức, công nghệ.	Hồ sơ dự án; cập nhật khi có thay đổi lớn.
Bằng chứng X_t	Tín hiệu quan sát được tại thời điểm t.	Mưa, tiếp cận, nhân lực, thiết bị, vật tư, RFI, khối lượng, sai lệch.	Nhật ký/BIM/GIS/hệ thống quản lý; ngày hoặc tuần.
Trạng thái R_t	Trạng thái rủi ro tiềm ẩn, suy luận từ bằng chứng quan sát.	Trạng thái logistics, nguồn lực, kỹ thuật, phối hợp, căng thẳng tiến độ.	Suy luận từ dữ liệu và chuyên gia; theo chu kỳ t.
Kết quả $Y_{t,h}$	Kết quả tại t+h; mô hình dự báo phân phối của kết quả này.	Xác suất vượt ngưỡng, ngày chậm kỳ vọng, khoảng dự báo, xác suất găng.	Mạng tiến độ và mô hình xác suất; theo mỗi lần cập nhật.
Hành động phản ứng A_t	Can thiệp được lựa chọn sau cảnh báo.	Đổi trình tự, điều chuyển nguồn lực, thay nguồn cung, xử lý vướng mắc.	Nhật ký quyết định; thời điểm, chi phí, người chịu trách nhiệm.
Kết quả $O_{t,1}$	Kết quả tiến độ và hệ quả của can thiệp.	Sai lệch thực tế, chi phí phản ứng, chất lượng, an toàn, mức chấp nhận.	Hồ sơ nghiệm thu/tiến độ/chi phí; kỳ kế tiếp.
Giá trị quyết định V	Lợi ích quản lý của việc dùng cảnh báo.	Tổn thất tránh được, lợi ích ròng, thời gian báo trước, tỷ lệ báo giả.	So sánh với quy trình nền hoặc kịch bản không can thiệp.

Bảng 3. So sánh khung đề xuất với một số nghiên cứu định lượng tiêu biểu.

Nghiên cứu	Cập nhật theo thời gian	Phụ thuộc và lan truyền	Hành động/phản hồi	Phạm vi đóng góp
Luu et al. [6]	Bayes tĩnh theo bằng chứng tại thời điểm phân tích	Mạng niềm tin biểu diễn quan hệ giữa yếu tố rủi ro	Tập trung lượng hóa rủi ro bằng mạng niềm tin	Nền tảng lượng hóa rủi ro tiến độ trong bối cảnh Việt Nam
Wang & Yuan [7]	Diễn biến theo thời gian trong mô phỏng	Vòng phản hồi và tương tác ở cấp hệ thống	Phản ứng được phản ánh qua kịch bản	Giải thích tương tác và diễn biến chậm ở cấp hệ thống
Chen et al. [9]	Cập nhật Bayes kết hợp Monte Carlo	Phụ thuộc rủi ro và lan truyền vào tiến độ	Trọng tâm là suy luận rủi ro	Tiền đề trực tiếp cho lõi Bayes-Monte Carlo
Fitzsimmons et al. [8]	Học từ dữ liệu lịch sử quy mô lớn	Mô hình lai Bayes-học máy-Monte Carlo	Trọng tâm là phân tích rủi ro bằng mô hình lai	Cơ sở cho phân tích tiến độ dựa trên dữ liệu lịch sử
Chen et al. [10]	Cập nhật và quản lý bất định	Bayes-Monte Carlo cho hạ tầng	Xem xét chiến lược quản lý rủi ro	Cung cấp tiếp cận quản lý rủi ro bằng Bayes và Monte Carlo
Nguyen Anh Duc [31]	Cập nhật Bayes lặp cho phân phối thời lượng hoạt động	PERT mở rộng với cấu trúc mạng; chưa mô hình hóa phụ thuộc giữa các nhóm rủi ro	Chưa bao gồm hành động phản ứng	Tiền đề cho lõi cập nhật Bayes cấp hoạt động; bổ sung nền tảng xác suất cho G_t
Nguyen Anh Duc [32]	Ước lượng theo chu kỳ tháng với hệ số tương quan chi phí - thời gian	Tương quan chậm - vượt chi phí ở cấp hoạt động	Đầu ra là dải dự báo phục vụ lập kế hoạch dự phòng	Bổ sung chiều chi phí - thời gian vào $Y_{t,h}$; chưa nội sinh hóa A_t
Khung đề xuất	Quan sát lặp và chuyển trạng thái t→t+1	DBN gắn mạng tiến độ, độ trễ và biến bối cảnh	A_t và $O_{t,1}$ là cấu phần nội sinh	Tích hợp dự báo với quyết định, phản hồi, điều kiện biên và đo giá trị sử dụng

Cần lưu ý rằng các nhận xét trong Bảng 3 chỉ phản ánh phạm vi và mô hình thực tế của từng công trình, không nhằm đánh giá các nghiên cứu trước là "thiếu" nội dung nằm ngoài mục tiêu của họ. Chẳng hạn, Luu et al. [6] tập trung lượng hóa rủi ro tiến độ bằng mạng Bayes tĩnh; Wang & Yuan [7] mô phỏng diễn biến hệ thống mà không nhằm suy luận xác suất cấp công việc; Nguyen Anh Duc [31, 32] cải tiến công cụ ước lượng xác suất ở cấp hoạt động mà không đặt mục tiêu xây dựng

vòng quản lý khép kín. Khung đề xuất bổ sung lớp tích hợp, không thay thế các đóng góp đó.

7. Các mệnh đề nghiên cứu

Mệnh đề 1 - Giá trị của bằng chứng động: Khi kiểm soát bối cảnh và dùng cùng thiết kế kiểm định, thông tin biến đổi theo thời gian cùng trạng thái kỳ trước được kỳ vọng cải thiện dự báo so với đặc trưng tĩnh.

Mệnh đề 2 - Quan hệ phụ thuộc: Biểu diễn đúng các quan hệ phụ thuộc có điều kiện được kỳ vọng cải thiện dự báo xác suất so với giả định độc lập, nhất là khi công việc có mức liên kết cao.

Mệnh đề 3 - Độ trễ: Nếu ảnh hưởng truyền qua trạng thái trung gian có độ trễ, mô hình liên thời gian có thể cung cấp cảnh báo sớm hơn mô hình chỉ dùng thông tin cùng kỳ.

Mệnh đề 4 - Ý kiến chuyên gia: Trong điều kiện dữ liệu ít hoặc biến cố hiếm, ý kiến chuyên gia phù hợp có thể cải thiện dự báo ngoài mẫu. Tiên nghiệm sai lệch hoặc quá mạnh có thể làm giảm hiệu năng, nên phải kiểm tra độ nhạy.

Mệnh đề 5 - Phản hồi quản lý: Lịch sử hành động có thể cải thiện dự báo chuyển trạng thái so với mô hình bỏ qua can thiệp. Đánh giá hiệu quả thực của hành động phải xử lý sai lệch lựa chọn, vì nhóm được can thiệp thường có mức rủi ro ban đầu cao hơn.

Mệnh đề 6 - Giá trị quyết định: Khi chi phí phản ứng và hậu quả báo giả được xác định nhất quán, mô hình có xác suất được hiệu chỉnh và thời gian báo trước đủ dài được kỳ vọng tạo giá trị quyết định cao hơn mô hình chỉ tối ưu độ chính xác phân loại.

8. Thảo luận

Sự kết hợp các nền tảng làm rõ trách nhiệm của từng bộ phận trong khung. Mạng tiến độ xác định nơi chậm trễ có thể lan tới, còn mô hình xác suất ước lượng mức bất định. Điều khiển phản hồi tổ chức việc cập nhật sau hành động, và lý thuyết quyết định cung cấp tiêu chí lựa chọn phương án. Nếu tách các bộ phận này, một dự báo chính xác vẫn có thể đến quá muộn hoặc dẫn đến biện pháp không khả thi.

Đóng góp khái niệm nằm ở việc mô tả đồng thời trạng thái R_t, mạng G_t và lịch sử phản ứng. Đưa A_t cùng $O_{t,1}$ vào cấu trúc phân tích giúp xem xét vì sao cùng một cảnh báo có thể dẫn tới kết quả khác nhau giữa các dự án. Tuy nhiên, đây mới là đề xuất cấu trúc; giá trị giải thích bổ sung so với các mô hình đã có cần được kiểm định, không thể suy ra chỉ từ sơ đồ.

8.1. Hàm ý kiểm định và ứng dụng

Kiểm định khung trong nghiên cứu tiếp theo cần dữ liệu dọc ở cấp gói công việc - thời gian hoặc phân đoạn - thời gian, với tập huấn luyện/kiểm tra chia theo dự án và theo thời gian. Đánh giá nên gồm ROC-AUC/PR-AUC cho phân biệt; Brier score và biểu đồ hiệu chỉnh cho xác suất; recall tại ngưỡng hành động, thời gian báo trước và tỷ lệ báo giả cho cảnh báo; net benefit hoặc tổn thất kỳ vọng cho quyết định, so sánh với mô hình nền đơn giản.

Đối với doanh nghiệp, điều kiện tiên quyết là chuẩn hóa tiến độ và dữ liệu tác nghiệp: mã WBS liên kết với nhật ký, khối lượng, vật tư, nguồn lực; lưu thời điểm cắt dữ liệu và phiên bản đường cơ sở. Lộ trình hợp lý là từ mô hình nền đến Bayes - Monte Carlo, DBN, rồi mới tích hợp sâu với BIM 4D hoặc GIS. Kinh nghiệm từ các nghiên cứu cập nhật Bayes cấp hoạt động [31] và dải dự báo chi phí - thời gian [32] cho thấy doanh nghiệp có thể bắt đầu bằng việc chuẩn hóa phân phối thời lượng và tương quan chi phí - thời gian trước khi mở rộng sang mô hình chuyển trạng thái.

Công trình giao thông miền núi, biên giới phía Bắc là một ví dụ về bối cảnh kiểm định phù hợp vì địa hình, thời tiết, tiếp cận và chuỗi cung ứng dài tạo biến động, phụ thuộc và độ trễ rõ, phù hợp với đặc điểm quản trị dự án tại Việt Nam đã được ghi nhận [28, 29, 33]. Đây là suy luận về sự phù hợp của một bối cảnh cụ thể, không phải định vị khung cho riêng loại công trình này; hiệu quả cần được kiểm định trên nhiều dự án và mùa thi công.

8.2. Giới hạn và hướng nghiên cứu tiếp theo

Nghiên cứu còn bốn giới hạn: tổng quan tích hợp không bao quát như tổng quan hệ thống; khung chưa được kiểm định bằng dữ liệu sơ cấp hay thứ cấp; ranh giới giữa trạng thái tiềm ẩn và chỉ báo phụ thuộc bối cảnh; tác động phản ứng có thể bị nhiễu do lựa chọn can thiệp và thay đổi đường cơ sở. DBN biểu diễn hướng quan hệ dựa trên thời gian và tri thức chuyên gia nhưng không tự chứng minh nhân quả [30]; SHAP giải thích dự báo chứ không chứng minh hiệu quả can thiệp.

Nghiên cứu tiếp theo nên gồm ba giai đoạn: Delphi hoặc phỏng vấn cấu trúc để xác nhận cấu phần và độ trễ; dữ liệu hồi cứu đa dự án để so sánh DBN với các mô hình nền; và thí điểm tiến cứu theo thiết kế bậc thang hoặc chuỗi thời gian gián đoạn để đánh giá cảnh báo có làm thay đổi hành vi và giảm tổn thất tiến độ hay không.

9. Kết luận

Bài báo xây dựng cơ sở khoa học cho quản lý rủi ro động đối với tiến độ thi công bằng cách tích hợp quản lý rủi ro liên tục, mạng tiến độ, tư duy hệ thống, suy luận Bayes, điều khiển phản hồi và ra quyết định dưới bất định. Tính động được xác định bằng bốn thuộc tính: quan sát lặp theo thời gian; cập nhật xác suất có điều kiện; biểu diễn phụ thuộc, chuyển trạng thái và độ trễ; phản hồi từ hành động quản lý.

Khung liên kết bằng chứng, trạng thái rủi ro, kết quả dự báo, hành động và phản hồi trên nền mạng tiến độ có phiên bản. Sáu mệnh đề cùng các chỉ báo đo lường xác định những nội dung cần kiểm định tiếp theo. Trong ứng dụng, ưu tiên trước hết là dữ liệu có dấu thời gian và hồ sơ quyết định đủ tin cậy; việc lựa chọn DBN hay mô hình học máy phải dựa trên kết quả đối chứng. Bài chưa cung cấp bằng chứng thực nghiệm về mức giảm chậm tiến độ hoặc hiệu quả kinh tế của khung.

Tuyên bố về việc sử dụng AI tạo sinh

ChatGPT được sử dụng để hỗ trợ phát triển bản thảo, biên tập ngôn ngữ và trình bày sơ đồ. Các tác giả chịu trách nhiệm kiểm tra lập luận, trích dẫn, nội dung chuyên môn và bản thảo được gửi công bố.

Tuyên bố về xung đột lợi ích

Các tác giả xin cam đoan không có bất kỳ xung đột lợi ích nào liên quan đến việc thực hiện và công bố bài báo này.

Tài liệu tham khảo

[1]. International Organization for Standardization, ISO 31000:2018 Risk Management – Guidelines. Geneva, Switzerland: ISO, 2018.

[2]. Project Management Institute, Risk Management in Portfolios, Programs, and Projects: A Practice Guide. Newtown Square, PA, USA: PMI, 2024.

[3]. A. Taroun, "Towards a better modelling and assessment of construction risk: Insights from a literature review," Int. J. Proj. Manag., vol. 32, no. 1, pp. 101–115, 2014, doi: 10.1016/j.ijproman.2013.03.004.

[4]. F. Acebes, J. M. González-Varona, A. López-Paredes, and J. Pajares, "Beyond probability-impact matrices in project risk management: A quantitative methodology for risk prioritisation," Humanit. Soc. Sci. Commun., vol. 11, Art. 670, 2024, doi: 10.1057/s41599-024-03180-5.

[5]. A. Khodabakhshian, T. Puolitaival, and L. Kestle, "Deterministic and probabilistic risk management approaches in construction projects: A systematic literature review and comparative analysis," Buildings, vol. 13, no. 5, Art. 1312, 2023, doi: 10.3390/buildings13051312.

[6]. V. T. Luu, S. Y. Kim, N. V. Tuan, and S. O. Ogunlana, "Quantifying schedule risk in construction projects using Bayesian belief networks," Int. J. Proj. Manag., vol. 27, no. 1, pp. 39–50, 2009, doi: 10.1016/j.ijproman.2008.03.003.

[7]. J. Wang and H. Yuan, "System dynamics approach for investigating the risk effects on schedule delay in infrastructure projects," J. Manag. Eng., vol. 33, no. 1, Art. 04016029, 2017, doi: 10.1061/(ASCE)ME.1943-5479.0000472.

[8]. J. P. Fitzsimmons, R. Lu, Y. Hong, and I. Brilakis, "Construction schedule risk analysis – A hybrid machine learning approach," J. Inf. Technol. Constr., vol. 27, pp. 70–93, 2022, doi: 10.36680/j.itcon.2022.004.

[9]. L. Chen, Q. Lu, S. Li, W. He, and J. Yang, "Bayesian Monte Carlo simulation-driven approach for construction schedule risk inference," J. Manag. Eng., vol. 37, no. 2, 2021, doi: 10.1061/(ASCE)ME.1943-5479.0000884.

[10]. L. Chen, Q. Lu, and D. Han, "A Bayesian-driven Monte Carlo approach for managing construction schedule risks of infrastructures under uncertainty," Expert Syst. Appl., vol. 212, Art. 118810, 2023, doi: 10.1016/j.eswa.2022.118810.

[11]. S. Ward and C. Chapman, "Transforming project risk management into project uncertainty management," Int. J. Proj. Manag., vol. 21, no. 2, pp. 97–105, 2003, doi: 10.1016/S0263-7863(01)00080-1.

[12]. O. Perminova, M. Gustafsson, and K. Wikström, "Defining uncertainty in projects – A new perspective," Int. J. Proj. Manag., vol. 26, no. 1, pp. 73–79, 2008, doi: 10.1016/j.ijproman.2007.08.005.

[13]. T. Aven, "Risk assessment and risk management: Review of recent advances on their foundation," Eur. J. Oper. Res., vol. 253, no. 1, pp. 1–13, 2016, doi: 10.1016/j.ejor.2015.12.023.

[14]. H. Snyder, "Literature review as a research methodology: An overview and guidelines," J. Bus. Res., vol. 104, pp. 333–339, 2019, doi: 10.1016/j.jbusres.2019.07.039.

[15]. D. A. Whetten, "What constitutes a theoretical contribution?," Acad. Manag. Rev., vol. 14, no. 4, pp. 490–495, 1989, doi: 10.5465/amr.1989.4308371.

[16]. S. Gregor, "The nature of theory in information systems," MIS Q., vol. 30, no. 3, pp. 611–642, 2006, doi: 10.2307/25148742.

[17]. A. Vázquez, C. Marasinou, G. Kalogridis, and C. Ellinas, "Activity delay patterns in project networks," Phys. A, vol. 637, Art. 129570, 2024, doi: 10.1016/j.physa.2024.129570.

[18]. J. W. Forrester, Industrial Dynamics. Cambridge, MA, USA: MIT Press, 1961.

[19]. J. D. Sterman, Business Dynamics: Systems Thinking and Modeling for a Complex World. New York, NY, USA: McGraw-Hill, 2000.

[20]. J. M. Lyneis and D. N. Ford, "System dynamics applied to project management: A survey, assessment, and directions for future research," Syst. Dyn. Rev., vol. 23, no. 2–3, pp. 157–189, 2007, doi: 10.1002/sdr.377.

[21]. K. P. Murphy, "Dynamic Bayesian networks: Representation, inference and learning," Ph.D. dissertation, Univ. of California, Berkeley, CA, USA, 2002.

[22]. D. Koller and N. Friedman, Probabilistic Graphical Models: Principles and Techniques. Cambridge, MA, USA: MIT Press, 2009.

[23]. O. Nwadiog, N. N. Naismith, A. Ghaffarianhoseini, A. GhaffarianHoseini, and J. Tookey, "Dynamic Bayesian network modelling for predicting adaptability of time performance during time influencing factors disruptions in construction enterprise," Eng. Constr. Archit. Manag., vol. 28, no. 10, pp. 2994–3013, 2021, doi: 10.1108/ECAM-05-2020-0371.

[24]. G. W. Brier, "Verification of forecasts expressed in terms of probability," Mon. Weather Rev., vol. 78, no. 1, pp. 1–3, 1950, doi: 10.1175/1520-0493(1950)078<0001:VOFEIT>2.0.CO;2.

[25]. J. G. March and Z. Shapira, "Managerial perspectives on risk and risk taking," Manag. Sci., vol. 33, no. 11, pp. 1404–1418, 1987, doi: 10.1287/mnsc.33.11.1404.

[26]. S. Arabi, E. Eshtehardian, and I. Shafiei, "Using Bayesian networks for selecting risk-response strategies in construction projects," J. Constr. Eng. Manag., vol. 148, no. 8, Art. 04022067, 2022, doi: 10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0002310.

[27]. S. M. Lundberg and S. I. Lee, "A unified approach to interpreting model predictions," in Adv. Neural Inf. Process. Syst., vol. 30, 2017, pp. 4765–4774.

[28]. L. Le-Hoai, Y. D. Lee, and J. Y. Lee, "Delay and cost overruns in Vietnam large construction projects: A comparison with other selected countries," KSCE J. Civ. Eng., vol. 12, pp. 367–377, 2008, doi: 10.1007/s12205-008-0367-7.

[29]. N. Le, O. Chong, and K. Sullivan, "Construction risks in developing countries: A Vietnam case study," J. Adv. Perform. Inf. Value, vol. 12, no. 1, pp. 30–49, 2020, doi: 10.37265/japiv.v12i1.41.

[30]. J. Pearl, Causality: Models, Reasoning, and Inference, 2nd ed. Cambridge, U.K.: Cambridge Univ. Press, 2009, doi: 10.1017/CBO9780511803161.

[31]. N. A. Duc, "Enhancing program evaluation and review technique (PERT) for construction project scheduling with Bayesian updating and appropriate probability distributions," J. Sci. Technol. Civ. Eng. (JSTCE) – HUCE, vol. 18, no. 4, pp. 132–147, 2024, doi: 10.31814/stce.huce2024-18(4)-11.

[32]. N. A. Duc, "Risk-based earned value management with cost–time mutual effect to enhance construction forecasts and management," J. Sci. Technol. Civ. Eng. (JSTCE) – HUCE, vol. 19, no. 2, pp. 62–77, 2025, doi: 10.31814/stce.huce2025-19(2)-05.

[33]. P. X. Anh, T. P. Nam, N. Q. Toan, H. D. Long, and B. V. Thi, "Factors affecting the delay of urban development investment projects: A case of Vietnam," Int. J. Innov. Res. Sci. Stud., vol. 6, no. 3, pp. 495–506, 2023, doi: 10.53894/ijirss.v6i3.1553.

[34]. V. T. Nguyen, S. T. Do, C. N. N. Tran, and Z. M. Aung, "Developing a Bayesian belief network model for quantifying and predicting claim causes-related schedule delays," Int. J. Constr. Manag., vol. 25, no. 1, pp. 32–45, 2025.