TRƯỜNG ĐẠI HỌC XÂY DỰNG HÀ NỘI

KHOA KINH TẾ VÀ QUẢN LÝ XÂY DỰNG

--------📖--------

ĐỒ ÁN TỐT NGHIỆP

CHUYÊN NGÀNH: KINH TẾ XÂY DỰNG

THUYẾT MINH

GIẢI PHÁP TÍCH HỢP BIM VÀ AI TẠO SINH (GENAI) ĐỂ NÂNG CAO HIỆU QUẢ CÔNG TÁC QUẢN LÝ TIẾN ĐỘ XÂY DỰNG

TRƯỞNG KHOA : PGS. TS. NGUYỄN QUỐC TOẢN

GIẢNG VIÊN HƯỚNG DẪN : PGS. TS. NGUYỄN QUỐC TOẢN

: TS. NGUYỄN VĂN TÂM

SINH VIÊN : PHẠM QUỐC KHIÊM

LỚP : 66KTE

MÃ SỐ SINH VIÊN : 0277366

HÀ NỘI – 2026

TRƯỜNG ĐẠI HỌC XÂY DỰNG HÀ NỘI

KHOA KINH TẾ VÀ QUẢN LÝ XÂY DỰNG

CỘNG HÒA XÃ HỘI CHỦ NGHĨA VIỆT NAM

Độc lập – Tự do – Hạnh phúc

PHIẾU GIAO NHIỆM VỤ ĐỒ ÁN TỐT NGHIỆP

Họ và tên sinh viên:	**Phạm Quốc Khiêm**	Mã số sinh viên: **0277366**	Lớp: **66KTE**
Ngành đào tạo:	**Kinh tế xây dựng**	Hệ đào tạo:	**Chính quy – Anh ngữ**
Tên đề tài đồ án tốt nghiệp:	**Giải pháp tích hợp BIM và AI tạo sinh (GenAI) để nâng cao hiệu quả công tác quản lý tiến độ xây dựng**		
Khoa:	**Kinh tế và Quản lý xây dựng**	Bộ môn:	**Tổ chức kế hoạch**
Giảng viên hướng dẫn chính:	**PGS.TS. Nguyễn Quốc Toản**	Email/Điện thoại: **toannq@huce.edu.vn**	
Giảng viên hướng dẫn phụ:	**TS. Nguyễn Văn Tâm**	Email/Điện thoại: **tamnv2@huce.edu.vn**	
Đơn vị hỗ trợ (nếu có):	Tên: Địa chỉ:		
Thời gian thực hiện đồ án:	**Từ ngày 30/3/2026 đến ngày 22/07/2026**	Học kỳ đồ án tốt nghiệp:	**Học kỳ 2 (2025-2026)**

1. Mục tiêu và yêu cầu của đồ án tốt nghiệp:

Đồ án tốt nghiệp nhằm vận dụng kiến thức về Kinh tế xây dựng, quản lý tiến độ xây dựng, BIM và GenAI để xác định và đánh giá các giải pháp tích hợp BIM–GenAI tại Việt Nam. Sinh viên sử dụng AHP để xác định mức độ ưu tiên của các giải pháp và DEMATEL để phân tích các mối quan hệ ảnh hưởng giữa chúng, từ đó đề xuất khung tích hợp và lộ trình triển khai. Các sản phẩm của đồ án phải đáp ứng yêu cầu học thuật, dựa trên dữ liệu đáng tin cậy và phân tích nhất quán, đồng thời thể hiện năng lực nghiên cứu độc lập, tư duy phản biện và kỹ năng công nghệ thông tin.

2. Phạm vi, nội dung công việc và sản phẩm yêu cầu:

2.1. Phạm vi: Nghiên cứu tập trung vào các giải pháp tích hợp Mô hình thông tin công trình (BIM) và Trí tuệ nhân tạo tạo sinh (GenAI) nhằm nâng cao hiệu quả quản lý tiến độ xây dựng trong ngành xây dựng Việt Nam. Nghiên cứu đánh giá mức độ ưu tiên tương đối và các mối quan hệ ảnh hưởng theo nhận định giữa các giải pháp được đề xuất, đồng thời xây dựng khung tích hợp và lộ trình triển khai. Hiệu quả vận hành của

một hệ thống BIM–GenAI hoàn chỉnh trên một dự án xây dựng thực tế nằm ngoài phạm vi của nghiên cứu.

2.2. Nội dung báo cáo và tính toán:

Mở đầu
Chương 1: Cơ sở lý luận về tích hợp BIM và AI tạo sinh (GenAI) trong quản lý tiến độ xây dựng
Chương 2: Phương pháp nghiên cứu
Chương 3: Phân tích kết quả nghiên cứu
Chương 4: Đề xuất giải pháp tích hợp BIM và GenAI trong quản lý tiến độ xây dựng
Chương 5: Nguyên mẫu Chatbot AI hỗ trợ tra cứu pháp lý phục vụ quản lý tiến độ xây dựng
Chương 6: Kết luận

Sản phẩm yêu cầu: báo cáo đồ án tốt nghiệp; kết quả tổng quan tài liệu và khung nghiên cứu; công cụ khảo sát chuyên gia; bảng tính AHP và DEMATEL; các bảng, hình, ma trận, sơ đồ nguyên nhân–kết quả và sơ đồ lộ trình triển khai; phụ lục; slide thuyết trình; và các sản phẩm khác phục vụ bảo vệ đồ án tốt nghiệp. Cấu trúc báo cáo gồm sáu chương chính như đã xác định trong nghiên cứu.

3. Dữ liệu đầu vào, giả định, tiêu chuẩn/quy chuẩn kỹ thuật và phần mềm/công cụ sử dụng (nếu có):

Các bài báo khoa học đã qua phản biện, bài báo hội nghị, sách chuyên khảo, báo cáo kỹ thuật và các công bố có liên quan đến quản lý tiến độ xây dựng, BIM, Trí tuệ nhân tạo, GenAI và chuyển đổi số.

Các chính sách, chiến lược, quy định và tài liệu hướng dẫn của Việt Nam liên quan đến triển khai BIM, Trí tuệ nhân tạo, chuyển đổi số, quản trị dữ liệu, an ninh mạng và quản lý dự án xây dựng.

Kết quả tham vấn chuyên gia được sử dụng để rà soát và xác nhận các giải pháp triển khai được đề xuất.

- Các đánh giá so sánh cặp thu thập từ 14 chuyên gia phục vụ phân tích AHP.

- Các đánh giá về mức độ ảnh hưởng trực tiếp thu thập từ hội đồng chuyên gia phục vụ phân tích DEMATEL.

- Thông tin chuyên môn mô tả lĩnh vực chuyên môn, kinh nghiệm và nền tảng chuyên ngành của các chuyên gia tham gia nghiên cứu.

4. Kế hoạch và các mốc tiến độ đề xuất:

STT	Kế hoạch*	Thời gian (Mốc)	Sản phẩm - Đánh giá
1	- Chuẩn bị và hoàn thiện bộ dữ liệu đầu vào và đề cương chi tiết đồ án tốt nghiệp. - Thực hiện tổng quan tài liệu sơ bộ.	Trong 2 tuần đầu (Mốc M1): trước ngày 13/4/2026	**Sản phẩm:** - Đề cương chi tiết đồ án tốt nghiệp; - Kết quả tổng quan tài liệu sơ bộ; - Mục tiêu nghiên cứu, câu hỏi nghiên cứu, phạm vi và phương

	- Xây dựng khung nghiên cứu và kế hoạch làm việc cá nhân/nhóm (nếu có).		pháp nghiên cứu đề xuất; - Kế hoạch làm việc cá nhân/nhóm (nếu có). - Sinh viên chỉ được thay đổi tên đề tài trong 2 tuần đầu này. - **Đánh giá:** bởi giảng viên hướng dẫn và Bộ môn.
2	- Thực hiện tham vấn chuyên gia và hoàn thiện các giải pháp đề xuất; - Chuẩn bị bảng hỏi AHP và DEMATEL.	Trong 6 tuần (Mốc M2 - từ Tuần 3 đến hết Tuần 8): trước ngày 25/5/2026	- **Sản phẩm:** - Hoàn thành phần Mở đầu và Chương 1; - Hoàn thiện bản dự thảo Chương 2; - Danh sách các giải pháp tích hợp BIM–GenAI đã được xác nhận; - Khung nghiên cứu và bảng hỏi khảo sát; - Kết quả tham vấn chuyên gia sơ bộ.
3	Thực hiện đồ án đến hết học kỳ, bao gồm: - Thu thập và xử lý dữ liệu đánh giá chuyên gia; - Thực hiện tính toán AHP và xếp hạng các giải pháp đề xuất; - Thực hiện tính toán DEMATEL và phân tích các mối quan hệ ảnh hưởng; - Tích hợp và thảo luận các kết quả AHP–DEMATEL; - Xây dựng khung BIM–GenAI đề xuất và lộ trình triển khai; - Hoàn thiện và chỉnh sửa báo cáo đồ án tốt nghiệp.	Trong 7 tuần (Mốc M3 - từ Tuần 9 đến hết Tuần 15): trước ngày 16/6/2026	**Sản phẩm:** - Báo cáo đồ án tốt nghiệp hoàn chỉnh; - Bảng tính AHP và DEMATEL; - Bảng xếp hạng mức độ ưu tiên và sơ đồ nguyên nhân–kết quả; - Khung tích hợp BIM–GenAI đề xuất; - Lộ trình triển khai theo các điểm kiểm soát giai đoạn (phase-gate) dựa trên quan hệ phụ thuộc; - Phụ lục, hình, bảng và các sản phẩm nghiên cứu khác.

4	Chuẩn bị và trình bày bảo vệ đồ án tốt nghiệp.	Mốc M4: trước ngày 26/7/2026	**Sản phẩm:** - Báo cáo đồ án tốt nghiệp chính thức; - Slide thuyết trình bảo vệ; - Kết quả phân tích AHP–DEMATEL và các tài liệu hỗ trợ; - Sơ đồ khung và lộ trình triển khai; - Các sản phẩm khác theo yêu cầu của Hội đồng chấm đồ án. - **Đánh giá:** bảo vệ đồ án tốt nghiệp trước Hội đồng chấm đồ án.

5. Đánh giá học phần:

Việc đánh giá tại các Mốc M1 và M2 là điều kiện tiên quyết để tiếp tục thực hiện đồ án tốt nghiệp. Điểm học phần cuối cùng, được đánh giá theo chuẩn đầu ra của học phần, dựa trên kết quả tại Mốc M4 (bảo vệ đồ án tốt nghiệp trước Hội đồng chấm đồ án), đánh giá của giảng viên hướng dẫn và đánh giá của giảng viên phản biện. Trọng số của các thành phần đánh giá được quy định trong Hướng dẫn thực hiện đồ án tốt nghiệp của Khoa Kinh tế và Quản lý xây dựng.

Sinh viên
(Ký, ghi rõ họ tên)

Phạm Quốc Khiêm

Giảng viên hướng dẫn
(Ký, ghi rõ họ tên)

PGS.TS. Nguyễn Quốc Toản

Trưởng khoa
Kinh tế và Quản lý Xây dựng

PGS.TS. Nguyễn Quốc Toản

HANOI UNIVERSITY OF CIVIL ENGINEERING

FACULTY OF CONSTRUCTION ECONOMICS AND MANAGEMENT

SOCIALIST REPUBLIC OF VIETNAM

Independence - Freedom - Happiness

GRADUATION PROJECT ASSIGNMENT

Student's full name:	**Pham Quoc Khiem**	Student ID: **0277366**	Class: **66KTE**
Programme:	**Construction Economics**	Programme type:	**Full time - English**
Graduation project title:	**BIM and Generative Artificial Intelligence (GenAI) Integration Solutions for Enhancing Construction Schedule Management**		
Faculty:	**Construction Economics and Management**	Academic Department:	**Department of Construction Planning and Organization**
Senior supervisor:	**Assoc. Prof. Dr. Nguyen Quoc Toan**	Email/Phone: **toannq@huce.edu.vn**	
Associate Supervisor:	**Dr. Nguyen Van Tam**	Email/Phone: **tamnv2@huce.edu.vn**	
Supporting organisation (if any):	Name: Address:		
Project duration:	**From 30/3/2026 to 22/07/2026**	Graduation project semester:	**Semester 2 (2025-2026)**

1. Objectives and requirements of the graduation project:

The graduation project aims to apply knowledge of Construction Economics, construction schedule management, BIM, and GenAI to identify and evaluate BIM–GenAI integration solutions in Vietnam. The student uses AHP to prioritize the solutions and DEMATEL to analyse their influence relationships, then proposes an integrated framework and implementation roadmap. The outputs must meet academic requirements, be based on reliable data and consistent analysis, and demonstrate independent research, critical thinking, and information technology skills.

2. Scope, work contents, and required deliverables:

2.1. Scope: The study focuses on solutions for integrating Building Information Modeling (BIM) and Generative Artificial Intelligence (GenAI) to enhance construction schedule management in the Vietnamese construction industry. The study evaluates the

relative priorities and perceived influence relationships among the proposed solutions and develops an integrated implementation framework and roadmap. The operational effectiveness of a complete BIM–GenAI system on an actual construction project is outside the scope of the study

2.2. Contents of the report and calculations:

- **Introduction**

Chapter 1: Theoretical Foundations of BIM–GenAI Integration for Construction Schedule Management

Chapter 2: Theoretical Framework and Research Methodology

Chapter 3: Analysis of Research Findings

Chapter 4: Proposed BIM–GenAI Integration Solutions for Construction Schedule Management

Chapter 5: Chatbot AI Prototype for Legal Information Retrievel in Construction Schedule Management

Chapter 6: Conclusion

Required deliverables: graduation project report; literature-review and research-framework outputs; expert-survey instruments; AHP and DEMATEL calculation spreadsheets; tables, figures, matrices, cause–effect diagrams, and implementation-roadmap diagrams; appendices; presentation slides; and other outputs required for the graduation project defence. The report structure follows the six main chapters defined in the study.

3. Input data, assumptions, standards/technical regulations, and software/tools used (if any):

Peer-reviewed journal articles, conference papers, academic books, technical reports, and other relevant publications concerning construction schedule management, BIM, Artificial Intelligence, GenAI, and digital transformation.

Vietnamese policies, strategies, regulations, and guidance documents related to BIM implementation, Artificial Intelligence, digital transformation, data governance, cybersecurity, and construction project management.

Expert-consultation results used to review and validate the proposed implementation solutions.

- Pairwise-comparison judgments collected from 14 experts for the AHP analysis.
- Direct-influence assessments collected from the expert panel for the DEMATEL analysis.
- Professional information describing the expertise, experience, and disciplinary backgrounds of the participating experts.

4. Proposed schedule and milestones:

No.	Plan*	Time (Milestone)	Deliverables - Assessment
1	- Prepare and finalise the input dataset and detailed graduation	Within the first 2 weeks (Milestone M1): by 13/4/2026	**Deliverables:** - Detailed graduation project outline;

	project outline. - Conduct the preliminary literature review. - Develop the research framework and individual/group work plan (if any).		- Preliminary literature-review results; - Proposed research objectives, questions, scope, and methodology; - Individual/group work plan (if any). - The student may change the project title only within these first 2 weeks. - **Assessment:** by the supervisor and the Academic Division.
2	- Conduct expert consultation and refine the proposed solutions; - Prepare the AHP and DEMATEL questionnaires.	Within 6 weeks (Milestone M2 - from Week 3 to the end of Week 8): by 25/5/2026	- **Deliverables:** - Completion of the Introduction and Chapter 1; - Draft completion of Chapter 2; - Validated list of BIM–GenAI integration solutions; - Research framework and survey questionnaires; - Preliminary expert-consultation results.
3	Carry out the project up to the end of the semester, including: - Collect and process expert-judgment data; - Conduct AHP calculations and rank the proposed solutions; - Conduct DEMATEL calculations and analyse the influence relationships; - Integrate and discuss the AHP–DEMATEL findings; - Develop the proposed BIM–GenAI framework and implementation	Within 7 weeks (Milestone M3 - from Week 9 to the end of Week 15): by 16/6/2026	**Deliverables:** - Completed graduation project report; - AHP and DEMATEL calculation spreadsheets; - Priority-ranking tables and cause–effect diagrams; - Proposed BIM–GenAI integration framework; - Dependency-based phase-gate implementation roadmap; - Appendices, figures, tables, and other research outputs.

	roadmap; - Complete and revise the graduation project report.		
4	Graduation project defence preparation and presentation.	Milestone M4: by 26/7/2026	**Deliverables:** - Final graduation project report; - Defence presentation slides; - AHP–DEMATEL analytical results and supporting documents; - Framework and roadmap diagrams; - Other outputs required by the examination panel. - **Assessment:** graduation project defence before the examination panel.

5. Course assessment:

Assessment at Milestones M1 and M2 is a prerequisite for continuing the graduation project. The final course grade, assessed against the course learning outcomes, is based on the result at Milestone M4 (graduation project defence before the examination panel), the supervisor's assessment, and the reviewer's assessment. The weighting of assessment components is specified in the Faculty of Construction Economics and Management's Guidelines for Graduation Project Implementation.

Student	**Supervisor(s)**
(Signature with full name)	*(Signature with full name)*
	
Pham Quoc Khiem	**Assoc. Prof. Dr. Nguyen Quoc Toan**

Dean of faculty
Construction Economics and Management



Assoc. Prof. Dr. Nguyen Quoc Toan

LỜI CẢM ƠN

Tôi xin bày tỏ lòng biết ơn chân thành đến tất cả các cá nhân và tổ chức đã hỗ trợ và đóng góp vào quá trình hoàn thành đồ án tốt nghiệp này.

Trước hết, tôi xin gửi lời cảm ơn sâu sắc nhất đến giảng viên hướng dẫn của tôi, PGS.TS. Nguyễn Quốc Toản và TS. Nguyễn Văn Tâm, vì sự hướng dẫn tận tâm, những lời khuyên quý báu và sự hỗ trợ xuyên suốt quá trình thực hiện đồ án. Kiến thức chuyên môn, những nhận xét sâu sắc và sự góp ý kỹ lưỡng của Thầy đã giúp tôi cải thiện đáng kể định hướng nghiên cứu, phương pháp nghiên cứu, quá trình phân tích cũng như chất lượng tổng thể của đề tài.

Tôi cũng xin chân thành cảm ơn các chuyên gia và những người làm việc trong lĩnh vực chuyên môn đã tham gia vào quá trình tham vấn và khảo sát. Những đánh giá, nhận định cùng kinh nghiệm thực tiễn của họ đã tạo nền tảng quan trọng cho việc thực hiện các phân tích AHP và DEMATEL, đồng thời góp phần nâng cao độ tin cậy của các kết quả nghiên cứu.

Tôi xin gửi lời cảm ơn đến các giảng viên và cán bộ của Khoa Kinh tế và Quản lý Xây dựng, Trường Đại học Xây dựng Hà Nội vì sự hỗ trợ về mặt học thuật cũng như những kiến thức và kỹ năng quý báu đã được trang bị trong suốt quá trình học tập, giúp tôi có thể hoàn thành đồ án này.

Tôi cũng xin chân thành cảm ơn Nguyễn Quốc Đạt, sinh viên Khoa Công nghệ Thông tin, vì sự hỗ trợ kỹ thuật trong quá trình phát triển công cụ ứng dụng trí tuệ nhân tạo được sử dụng trong nghiên cứu này. Kiến thức chuyên môn về lập trình và trí tuệ nhân tạo của bạn đã đóng góp đáng kể vào việc triển khai công cụ trong thực tế.

Đặc biệt, tôi vô cùng biết ơn bố mẹ và gia đình vì tình yêu thương vô điều kiện, sự tin tưởng và những lời động viên trong suốt hành trình học tập của tôi.

Cuối cùng, tôi xin cảm ơn bạn bè, các bạn cùng lớp và đồng nghiệp vì sự thấu hiểu và hỗ trợ trong suốt quá trình thực hiện đồ án. Đồ án tốt nghiệp này sẽ không thể hoàn thành nếu thiếu những đóng góp quý báu của tất cả những cá nhân và tập thể đã được nhắc đến ở trên.

MỤC LỤC

LỜI CẢM ƠN i
MỤC LỤC ii
DANH MỤC HÌNH ẢNH viii
DANH MỤC BẢNG BIỂU ix
DANH MỤC TỪ VIẾT TẮT x
Mở đầu 1
1. Lý do lựa chọn đề tài 1
2. Tổng quan các nghiên cứu thuộc lĩnh vực đề tài 2
2.1 Các nghiên cứu trước đây về việc ứng dụng GenAI trong quản lý tiến độ thi công 2
2.2 Các nghiên cứu trước đây về việc ứng dụng BIM trong quản lý tiến độ xây dựng 6
2.3 Các nghiên cứu trước đây về việc ứng dụng GenAI và BIM trong ngành xây dựng 9
3. Khoảng trống nghiên cứu 14
3.1 Tổng hợp thành tựu nghiên cứu 14
3.2 Xác định khoảng trống nghiên cứu 14
4. Mục tiêu, đối tượng và phạm vi nghiên cứu của đề tài 16
4.1 Mục tiêu nghiên cứu 16
4.1.1 Mục tiêu tổng quát 16
4.1.2 Mục tiêu cụ thể 16
4.2 Đối tượng nghiên cứu và phạm vi nghiên cứu 16
4.2.1 Đối tượng nghiên cứu 16
4.2.2 Phạm vi nghiên cứu 17
5. Câu hỏi nghiên cứu 17
6. Phương pháp nghiên cứu 18
7. Kết quả đạt được của đề tài 18
8. Kết cấu của đề tài 19

CHƯƠNG 1. CƠ SỞ LÝ LUẬN VỀ TÍCH HỢP BIM VÀ AI TẠO SINH (GENAI) TRONG CÔNG TÁC QUẢN LÝ TIẾN ĐỘ XÂY DỰNG 20
1.1 Tổng quan về quản lý tiến độ xây dựng 20
1.1.1 Khái niệm quản lý tiến độ 20
1.1.2 Các phương pháp quản lý tiến độ truyền thống 20
1.1.3 Hạn chế của phương pháp truyền thống 21
1.2 Tổng quan về BIM trong quản lý tiến độ 22
1.2.1 Khái niệm và cấp độ BIM 22
1.2.2 BIM trong quản lý tiến độ (BIM 4D) 23
1.2.3 Lợi ích của BIM trong quản lý tiến độ 24
1.2.4 Hạn chế của BIM 24
1.3 Tổng quan về AI và AI tạo sinh (Generative AI) 25
1.3.1 Khái niệm trí tuệ nhân tạo (AI) 25
1.3.2 Khái niệm AI tạo sinh (Generative AI – GenAI) 26
1.3.3 Khả năng của GenAI trong quản lý tiến độ 27
1.4 Tích hợp BIM và AI/GenAI trong xây dựng 28
1.4.1 Tích hợp BIM–AI 28
1.4.2 Mô hình tích hợp BIM–GenAI 29
1.4.3 Ứng dụng tích hợp trong quản lý dự án 31
1.4.4 Lợi ích của tích hợp BIM–GenAI 32
1.4.5 Thách thức và rào cản 32
1.5 Kinh nghiệm nghiên cứu Trong nước và Ngoài nước 33
1.5.1 Kinh nghiệm từ các nước phát triển 33
1.5.2 Kinh nghiệm từ các nước đang phát triển 34
1.5.3 Thực trạng tại Việt Nam 34
1.5.4 Những thách thức chính tại Việt Nam 35
CHƯƠNG 2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU 36

2.1 Tổng quan phương pháp nghiên cứu đa tiêu chí (MCDM) 36
2.2 Phương pháp AHP 38
2.3 Phương pháp DEMATEL 41
2.4 Lý do lựa chọn kết hợp AHP và DEMATEL 44
2.5 Thiết kế nghiên cứu 45
2.6 Xác định các giải pháp và xây dựng cơ sở khảo sát chuyên gia 47
2.7 Thiết kế bảng câu hỏi khảo sát 48
2.7.1 Cơ sở xây dựng bảng hỏi 48
2.7.2 Cấu trúc bảng hỏi 49
2.7.3 Nội dung các giải pháp đánh giá 51
2.8 Phương pháp thu thập và xử lý dữ liệu 53
2.8.1 Đối tượng khảo sát 53
2.8.2 Quá trình phỏng vấn và thu thập dữ liệu 54
2.8.3 Kích thước mẫu 56
2.8.4 Xử lý dữ liệu 57
CHƯƠNG 3. PHÂN TÍCH KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU 59
3.1 Thống kê nhân khẩu học mẫu khảo sát 59
3.2 Kết quả phân tích AHP 60
3.3 Kết quả phân tích DEMATEL 64
3.4 Diễn giải kết quả DEMATEL 68
3.4.1 Các giải pháp có ảnh hưởng ròng 68
3.4.2 Các giải pháp chịu ảnh hưởng ròng và có mức độ liên kết cao 68
3.4.3 Thảo luận kết quả phân tích DEMATEL 69
3.5 Tích hợp kết quả AHP và DEMATEL 69
3.5.1 Ma trận kết hợp 69
3.5.2 Xác định giải pháp ưu tiên 71

3.5.3 Phân nhóm chiến lược 72
3.6 Thảo luận kết quả nghiên cứu 72
3.6.1 Tổng quan kết quả tích hợp 72
3.6.2 Đặc điểm thứ nhất: "Bẫy phụ thuộc" giữa mức độ ưu tiên và vai trò ảnh hưởng ròng 73
3.6.3 Đặc điểm thứ hai: Đào tạo nhân lực, khung pháp lý và chuẩn hóa dữ liệu – nhóm yếu tố nền tảng dẫn dắt hệ thống 74
3.6.4 Đặc điểm thứ ba: Vai trò trung tâm nhưng phụ thuộc của mô hình hợp tác đa bên chia sẻ dữ liệu 74
3.6.5 Đặc điểm thứ tư: Học hỏi từ thí điểm và bảo đảm xuyên suốt 75
3.6.6 Tổng hợp ý nghĩa và hàm ý cho việc đề xuất giải pháp 75
CHƯƠNG 4. ĐỀ XUẤT GIẢI PHÁP TÍCH HỢP BIM VÀ GENAI TRONG QUẢN LÝ TIẾN ĐỘ XÂY DỰNG 77
4.1 Quan điểm và nguyên tắc xây dựng giải pháp 77
4.2 Khung chiến lược và kiến trúc tích hợp BIM–GenAI 78
4.2.1 Khung chiến lược ba tầng 78
4.2.2 Kiến trúc tích hợp năm lớp 81
4.2.3 Mối liên hệ giữa khung chiến lược ba tầng và kiến trúc năm lớp 83
4.2.4 Mô hình dữ liệu tối thiểu phục vụ quản lý tiến độ 84
4.2.5 Quy trình vận hành có sự giám sát và phê duyệt của con người (human-in-the-loop) 86
4.2.6 Phân loại mức rủi ro của tình huống ứng dụng và thẩm quyền phê duyệt 89
4.3 Nội dung thực hiện các giải pháp 89
4.4 Lộ trình thực hiện giải pháp 91
4.4.1 Nguyên tắc xây dựng lộ trình 91
4.4.2 Lộ trình bốn giai đoạn 92
4.4.3 Các điểm quyết định chuyển giai đoạn 93

4.5 Điều kiện thực hiện giải pháp 94
4.5.1 Điều kiện thể chế và pháp lý 94
4.5.2 Điều kiện tổ chức và nguồn nhân lực 94
4.5.3 Điều kiện dữ liệu và công nghệ 94
4.5.4 Điều kiện tài chính và mua sắm 94
4.5.5 Điều kiện an toàn thông tin, đạo đức và trách nhiệm giải trình 94
4.5.6 Điều kiện đo lường và kiểm chứng 94
4.6 Cơ cấu tổ chức, phân vai và cơ chế quản trị triển khai 95
4.6.1 Cơ cấu quản trị đề xuất 95
4.6.2 Ma trận RACI tổng quát 96
4.6.3 Cơ chế họp, thay đổi và leo thang vấn đề 97
4.7 Kiến nghị triển khai đối với các nhóm chủ thể 97
4.7.1 Đối với cơ quan quản lý nhà nước 97
4.7.2 Đối với chủ đầu tư và ban quản lý dự án 97
4.7.3 Đối với tư vấn và nhà thầu 98
4.7.4 Đối với đơn vị công nghệ và nhà cung cấp BIM–GenAI 98
4.7.5 Đối với cơ sở đào tạo và nghiên cứu 98
4.8 Cơ chế nhân rộng, duy trì và cải tiến liên tục 98
4.8.1 Từ dự án thí điểm đến tiêu chuẩn doanh nghiệp 98
4.8.2 Nhân rộng sang dự án và danh mục khác 98
4.8.3 Cơ chế cải tiến liên tục 99
4.8.4 Phương án kiểm chứng và hiệu chỉnh khung đề xuất 99
4.8.5 Giới hạn của khung đề xuất 99
4.9 Kết luận Chương 4 99
CHƯƠNG 5. NGUYÊN MẪU CHATBOT AI HỖ TRỢ TRA CỨU PHÁP LÝ PHỤC VỤ QUẢN LÝ TIẾN ĐỘ XÂY DỰNG 101
5.1 Giới thiệu Chatbot AI Tư vấn tiến độ xây dựng 101

5.2 Kiến trúc và cơ chế hoạt động của Chatbot AI 101
5.2.1 Chuẩn bị và lập chỉ mục dữ liệu 102
5.2.2 Xử lý câu hỏi và truy xuất thông tin 103
5.2.3 Nguồn dữ liệu pháp lý của Chatbot 104
5.3 Giao diện và các chức năng chính của Chatbot 104
5.3.1 Trang chủ và lịch sử trò chuyện 104
5.3.2 Trang thông tin hướng dẫn 105
5.3.3 Trang liên hệ và hỗ trợ 106
5.4 Quy trình hướng dẫn sử dụng 106
5.5 Cơ chế xác thực đầu ra 107
5.6 Nguyên tắc sử dụng, mẫu câu hỏi và giới hạn của hệ thống 108
5.6.1 Nguyên tắc sử dụng 108
5.6.2 Mẫu câu hỏi đề xuất 109
5.6.3 Giới hạn sử dụng 109
5.7 Ý nghĩa của nguyên mẫu đối với khung tích hợp BIM–GenAI và hướng phát triển 109
5.8 Kết luận Chương 5 110
CHƯƠNG 6. KẾT LUẬN, ĐÓNG GÓP VÀ HẠN CHẾ CỦA NGHIÊN CỨU 111
6.1 Kết luận 111
6.2 Đóng góp của nghiên cứu 113
6.3 Hạn chế và hướng nghiên cứu trong tương lai 114
TÀI LIỆU THAM KHẢO 117

DANH MỤC HÌNH ẢNH

Hình 1: Các cấp độ của BIM 22
Hình 2: Mô phỏng 4D với Autodesk Revit, Microsoft Project và Fuzor [5] 23
Hình 3: Phân loại AI [51] 25
Hình 4: Cấu trúc của khung quản lý tiến độ được đề xuất [54] 29
Hình 5: Tích hợp BIM và AI để quản lý tiến độ linh hoạt [54] 30
Hình 6: Các bước thực hiện MCDM [75] 37
Hình 7: Thiết kế nghiên cứu 46
Hình 8: Sơ đồ quan hệ ảnh hưởng giữa các giải pháp tích hợp BIM -GenAI 67
Hình 9: Khung chiến lược ba tầng với chức năng bảo đảm xuyên suốt cho tích hợp BIM-GenAI trong quản lý tiến độ xây dựng 79
Hình 10: Kiến trúc năm lớp của hệ thống BIM–GenAI cho quản lý tiến độ xây dựng 82
Hình 11: Chu trình vận hành BIM–GenAI cho quản lý tiến độ xây dựng 87
Hình 12: Cơ chế hoạt động của Chatbot AI Tư vấn tiến độ xây dựng 102
Hình 13: Giao diện Trang chủ Chatbot AI Tư vấn tiến độ xây dựng 104
Hình 14: Giao diện Thông tin hướng dẫn sử dụng Chatbot AI 105
Hình 15: Giao diện Liên hệ tư vấn hỗ trợ thông tin 105
Hình 16: Quy trình sử dụng và xác thực đầu ra của Chatbot 106

DANH MỤC BẢNG BIỂU

Bảng 1: Các nghiên cứu trước đây về việc ứng dụng GenAI trong quản lý tiến độ xây dựng...3
Bảng 2: Các nghiên cứu trước đây về việc ứng dụng BIM trong quản lý tiến độ xây dựng.....7
Bảng 3: Các nghiên cứu trước đây về việc ứng dụng GenAI và BIM trong ngành xây dựng .10
Bảng 4: Mô tả các giải pháp nghiên cứu 52
Bảng 5: Thông tin các chuyên gia tham gia khảo sát 59
Bảng 6: Trọng số, kiểm tra nhất quán và kết quả xếp hạng bằng phương pháp AHP.....63
Bảng 7: Mức độ nổi trội và quan hệ ảnh hưởng ròng giữa các giải pháp theo đánh giá của chuyên gia.....65
Bảng 8: Ma trận tổng hợp kết quả AHP và DEMATEL 70
Bảng 9: Cấu trúc và chức năng của khung chiến lược ba tầng.....80
Bảng 10: Các thành phần và yêu cầu đầu ra của kiến trúc năm lớp 83
Bảng 11: Mối quan hệ giữa khung chiến lược ba cấp và kiến trúc năm lớp 84
Bảng 12: Các trường dữ liệu tối thiểu được đề xuất.....85
Bảng 13: Phân loại tình huống ứng dụng theo mức rủi ro.....89
Bảng 14: Nội dung thực hiện, sản phẩm đầu ra và điều kiện then chốt của mười giải pháp ...90
Bảng 15: Lộ trình triển khai tích hợp BIM–GenAI trong quản lý tiến độ.....92
Bảng 16: Các vai trò quản trị chính.....95
Bảng 17: Ma trận phân công trách nhiệm RACI (A: chịu trách nhiệm cuối cùng; R: trực tiếp thực hiện; C: được tham vấn; I: được thông báo).....96
Bảng 18: Các bước chính trong cơ chế hoạt động của chatbot 103
Bảng 19: Nội dung kiểm tra đầu ra trước khi sử dụng 108

DANH MỤC TỪ VIẾT TẮT

Từ viết tắt	Thuật ngữ đầy đủ (tiếng Anh)	Nghĩa tiếng Việt
ABM	Agent-Based Modeling	Mô hình hóa dựa trên tác tử
AEC	Architecture, Engineering, and Construction	Kiến trúc, Kỹ thuật và Xây dựng
AECO	Architecture, Engineering, Construction, and Operation	Kiến trúc, Kỹ thuật, Xây dựng và Vận hành
AHP	Analytic Hierarchy Process	Phương pháp phân tích thứ bậc
AI	Artificial Intelligence	Trí tuệ nhân tạo
ANN	Artificial Neural Network	Mạng nơ-ron nhân tạo
ANP	Analytic Network Process	Phương pháp phân tích mạng lưới
API	Application Programming Interface	Giao diện lập trình ứng dụng
ASEAN	Association of Southeast Asian Nations	Hiệp hội các quốc gia Đông Nam Á
BERT	Bidirectional Encoder Representations from Transformers	Biểu diễn mã hóa hai chiều từ mô hình Transformer
BIM	Building Information Modeling	Mô hình thông tin công trình
CCPM	Critical Chain Project Management	Quản lý dự án theo chuỗi găng
CDE	Common Data Environment	Môi trường dữ liệu chung
CI	Consistency Index	Chỉ số nhất quán
CIDB	Construction Industry Development Board	Hội đồng Phát triển Công nghiệp Xây dựng
CNN	Convolutional Neural Network	Mạng nơ-ron tích chập
COBie	Construction Operations Building Information Exchange	Trao đổi thông tin công trình phục vụ vận hành
CORENET	Construction and Real Estate Network	Mạng lưới Xây dựng và Bất động sản
CPM	Critical Path Method	Phương pháp đường găng
CR	Consistency Ratio	Tỷ số nhất quán
CSM	Construction Schedule Management	Quản lý tiến độ xây dựng
CSP	Constraint Satisfaction Problem	Bài toán thỏa mãn ràng buộc

Từ viết tắt	Thuật ngữ đầy đủ (tiếng Anh)	Nghĩa tiếng Việt
CV	Computer Vision	Thị giác máy tính
DEMATEL	Decision-Making Trial and Evaluation Laboratory	Phương pháp phòng thí nghiệm đánh giá và thử nghiệm ra quyết định
DES	Discrete Event Simulation	Mô phỏng sự kiện rời rạc
DL	Deep Learning	Học sâu
ELECTRE	Elimination and Choice Expressing Reality	Phương pháp loại trừ và lựa chọn thể hiện thực tế
ETL	Extract, Transform, and Load	Trích xuất, chuyển đổi và tải dữ liệu
FST	Fuzzy Set Theory	Lý thuyết tập mờ
GA	Genetic Algorithm	Thuật toán di truyền
GAN	Generative Adversarial Network	Mạng đối sinh
GenAI	Generative Artificial Intelligence	Trí tuệ nhân tạo tạo sinh
GNN	Graph Neural Network	Mạng nơ-ron đồ thị
GPT	Generative Pre-trained Transformer	Mô hình Transformer tạo sinh được tiền huấn luyện
GPU	Graphics Processing Unit	Bộ xử lý đồ họa
IFC	Industry Foundation Classes	Các lớp nền tảng công nghiệp
IoT	Internet of Things	Internet vạn vật
ISO	International Organization for Standardization	Tổ chức Tiêu chuẩn hóa Quốc tế
IT	Information Technology	Công nghệ thông tin
KPI	Key Performance Indicator	Chỉ số hiệu suất chính
LBM	Location-Based Management	Quản lý dựa trên vị trí
LBS	Location-Based Scheduling	Lập tiến độ dựa trên vị trí
LLM	Large Language Model	Mô hình ngôn ngữ lớn
LOB	Line of Balance	Phương pháp đường cân bằng
LOD	Level of Development	Mức độ phát triển
LPS	Last Planner System	Hệ thống Last Planner / Hệ thống người lập kế hoạch cuối cùng

Từ viết tắt	Thuật ngữ đầy đủ (tiếng Anh)	Nghĩa tiếng Việt
LSTM	Long Short-Term Memory	Mạng bộ nhớ dài-ngắn hạn
MCDA	Multi-Criteria Decision Analysis	Phân tích quyết định đa tiêu chí
MCDM	Multi-Criteria Decision Making	Ra quyết định đa tiêu chí
MEP	Mechanical, Electrical, and Plumbing	Cơ khí, Điện và Cấp thoát nước
ML	Machine Learning	Học máy
MOO	Multi-Objective Optimization	Tối ưu hóa đa mục tiêu
NLP	Natural Language Processing	Xử lý ngôn ngữ tự nhiên
NSGA-II	Non-dominated Sorting Genetic Algorithm II	Thuật toán di truyền sắp xếp không trội II
PDCA	Plan–Do–Check–Act	Lập kế hoạch – Thực hiện – Kiểm tra – Hành động
PERT	Program Evaluation and Review Technique	Kỹ thuật đánh giá và xem xét chương trình
PMI	Project Management Institute	Viện Quản lý Dự án
PPE	Personal Protective Equipment	Trang bị bảo hộ cá nhân
PROMETHEE	Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluations	Phương pháp tổ chức xếp hạng ưu tiên để đánh giá nâng cao
R-CNN	Region-Based Convolutional Neural Network	Mạng nơ-ron tích chập dựa trên vùng
RACI	Responsible, Accountable, Consulted, and Informed	Thực hiện, Chịu trách nhiệm, Được tham vấn và Được thông báo
RAG	Retrieval-Augmented Generation	Sinh nội dung tăng cường bằng truy xuất
RFI	Request for Information	Yêu cầu cung cấp thông tin
RI	Random Index	Chỉ số ngẫu nhiên
RL	Reinforcement Learning	Học tăng cường
RNN	Recurrent Neural Network	Mạng nơ-ron hồi tiếp
ROI	Return on Investment	Tỷ suất hoàn vốn đầu tư
SAW	Simple Additive Weighting	Phương pháp trọng số cộng đơn giản
SLA	Service-Level Agreement	Thỏa thuận mức dịch vụ

Từ viết tắt	Thuật ngữ đầy đủ (tiếng Anh)	Nghĩa tiếng Việt
SOP	Standard Operating Procedure	Quy trình vận hành tiêu chuẩn
SVM	Support Vector Machine	Máy véc-tơ hỗ trợ
TOPSIS	Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution	Kỹ thuật xếp hạng phương án theo độ tương đồng với giải pháp lý tưởng
UAV	Unmanned Aerial Vehicle	Phương tiện bay không người lái
UTAUT	Unified Theory of Acceptance and Use of Technology	Lý thuyết thống nhất về chấp nhận và sử dụng công nghệ
VIKOR	Multi-Criteria Optimization and Compromise Solution	Phương pháp tối ưu hóa đa tiêu chí và giải pháp thỏa hiệp
WBS	Work Breakdown Structure	Cấu trúc phân chia công việc

Mở đầu

1. Lý do lựa chọn đề tài

Ngành xây dựng đang đối mặt với yêu cầu ngày càng cao về hiệu quả quản lý dự án, đặc biệt là quản lý tiến độ xây dựng. Trong bối cảnh quy mô và mức độ phức tạp của các dự án không ngừng gia tăng, các phương pháp quản lý truyền thống bộc lộ nhiều hạn chế như cập nhật thông tin chậm, khó dự báo rủi ro, phối hợp giữa các bên chưa hiệu quả và phụ thuộc nhiều vào kinh nghiệm của nhà quản lý [1, 2]. Những hạn chế này làm gia tăng nguy cơ chậm tiến độ, vượt chi phí và giảm hiệu quả đầu tư. Vì vậy, việc ứng dụng các công nghệ số tiên tiến nhằm nâng cao hiệu quả quản lý tiến độ đã trở thành yêu cầu cấp thiết của ngành xây dựng.

Trong quá trình chuyển đổi số, Mô hình thông tin công trình (Building Information Modeling – BIM) được xem là công nghệ nền tảng, cho phép tích hợp, quản lý và chia sẻ dữ liệu trên một môi trường thống nhất, qua đó nâng cao khả năng phối hợp và hiệu quả quản lý dự án [3, 4]. Đặc biệt, BIM 4D hỗ trợ hiệu quả công tác lập kế hoạch, theo dõi và kiểm soát tiến độ. Tuy nhiên, BIM chủ yếu tập trung vào quản lý và trực quan hóa dữ liệu, trong khi khả năng tự động phân tích, dự báo và hỗ trợ ra quyết định còn hạn chế [3-5].

Sự phát triển của trí tuệ nhân tạo tạo sinh (Generative Artificial Intelligence – GenAI) đã mở ra cơ hội nâng cao năng lực khai thác dữ liệu và hỗ trợ ra quyết định. Các công cụ như ChatGPT, Gemini và Copilot có khả năng xử lý ngôn ngữ tự nhiên, phân tích dữ liệu, tổng hợp thông tin và đề xuất phương án tối ưu, cho thấy tiềm năng lớn trong quản lý dự án và quản lý tiến độ xây dựng [6, 7]. Tuy nhiên, các nghiên cứu hiện nay chủ yếu xem xét BIM và AI như những công nghệ độc lập, trong khi nghiên cứu về tích hợp BIM với GenAI cho quản lý tiến độ vẫn còn hạn chế, đặc biệt tại các quốc gia đang phát triển như Việt Nam.

Tại Việt Nam, việc triển khai BIM đang được thúc đẩy thông qua các chính sách của Chính phủ, đồng thời sự phát triển nhanh của GenAI tạo thêm nhiều cơ hội cho quản lý dự án xây dựng. Tuy nhiên, quá trình tích hợp hai công nghệ này vẫn gặp những rào cản về tiêu chuẩn dữ liệu, hạ tầng công nghệ, nguồn nhân lực và cơ chế chia sẻ thông tin. Do đó, việc xác định các giải pháp ưu tiên và làm rõ mối quan hệ giữa các giải pháp có ý nghĩa quan trọng trong việc xây dựng lộ trình triển khai hiệu quả.

Xuất phát từ thực tiễn đó, đề tài "Giải pháp tích hợp BIM và AI tạo sinh (GenAI) để nâng cao hiệu quả công tác quản lý tiến độ xây dựng" được thực hiện nhằm xác định các giải pháp trọng tâm và phân tích mối quan hệ tác động giữa chúng. Kết quả nghiên cứu góp phần bổ sung cơ sở lý luận và cung cấp luận cứ khoa học phục vụ xây dựng chiến lược triển khai BIM và GenAI, qua đó nâng cao hiệu quả quản lý tiến độ và thúc đẩy chuyển đổi số bền vững trong ngành xây dựng.

2. Tổng quan các nghiên cứu thuộc lĩnh vực đề tài

2.1 Các nghiên cứu trước đây về việc ứng dụng GenAI trong quản lý tiến độ thi công

Trong những năm gần đây, cùng với sự phát triển của trí tuệ nhân tạo tạo sinh (Generative Artificial Intelligence – GenAI), các nghiên cứu về ứng dụng công nghệ này trong quản lý tiến độ thi công xây dựng ngày càng gia tăng, mặc dù lĩnh vực này vẫn đang ở giai đoạn phát triển ban đầu. Một hướng nghiên cứu nổi bật tập trung vào việc ứng dụng các mô hình ngôn ngữ lớn (Large Language Models – LLMs) như ChatGPT và GPT-4o nhằm hỗ trợ tự động hóa quá trình lập, tối ưu hóa và cập nhật tiến độ thi công. Kết quả cho thấy GenAI có thể nâng cao hiệu quả lập kế hoạch, rút ngắn thời gian xử lý thông tin và cải thiện tính nhất quán trong quản lý tiến độ [8-12]. Bên cạnh đó, nhiều nghiên cứu khai thác các mô hình xử lý ngôn ngữ tự nhiên (NLP) như BERT, XLNet và GPT để phân tích dữ liệu phi cấu trúc từ hồ sơ dự án, biên bản họp và báo cáo hiện trường, góp phần nâng cao chất lượng phân tích và hỗ trợ ra quyết định[13-15].

Ngoài các nghiên cứu ứng dụng, nhiều công trình tổng quan đã chỉ ra quản lý tiến độ là một trong những lĩnh vực có tiềm năng ứng dụng GenAI lớn nhất trong quản lý xây dựng. Tuy nhiên, việc triển khai thực tiễn vẫn gặp nhiều rào cản như chi phí đầu tư cao, hạn chế về dữ liệu, thiếu nhân lực chuyên môn và số lượng nghiên cứu thực nghiệm còn ít [16-21]. Gần đây, một số nghiên cứu bắt đầu đề xuất các hệ thống AI có khả năng lập luận, kết hợp LLM với đồ thị tri thức và hệ thống đa tác tử nhằm hỗ trợ phân tích quan hệ công việc và tối ưu hóa quyết định trong các dự án phức tạp, song phần lớn mới dừng ở mức mô hình khái niệm [22].

Nhìn chung, GenAI cho thấy tiềm năng lớn trong việc tự động hóa lập kế hoạch, phân tích dữ liệu và hỗ trợ ra quyết định trong quản lý tiến độ xây dựng. Tuy nhiên, các nghiên cứu hiện nay vẫn chủ yếu tập trung vào khả năng kỹ thuật của mô hình, thiếu các minh chứng thực

nghiệm trên dự án thực tế và chưa có khung đánh giá thống nhất về hiệu quả ứng dụng. Đây là những khoảng trống cần được tiếp tục nghiên cứu và hoàn thiện trong thời gian tới.

Bảng 1: Các nghiên cứu trước đây về việc ứng dụng GenAI trong quản lý tiến độ xây dựng

Lĩnh vực nghiên cứu	Các nghiên cứu tiêu biểu	Trọng tâm nghiên cứu	Những đóng góp và phát hiện chính	Những thách thức và hạn chế chính
(1) Tự động hóa việc lập và tối ưu hóa tiến độ bằng GenAI/LLMs	[8-12, 23]	– Ứng dụng AI tạo sinh và các mô hình ngôn ngữ lớn (ChatGPT, GPT-4o, Microsoft Copilot, ALICE) để tự động lập, hiệu chỉnh và tối ưu hóa tiến độ xây dựng cho nhiều loại dự án khác nhau, bao gồm công trình ngầm, dầu khí và các dự án AEC nói chung. – Nghiên cứu các chiến lược kỹ thuật thiết kế câu lệnh (prompt engineering) nhằm điều chỉnh GenAI cho các nhiệm vụ lập tiến độ và nhận diện nguy cơ.	– Tiến độ do GenAI tạo ra có thể đạt thời lượng tương đương với tiến độ thực tế của dự án, cho thấy tiềm năng về độ chính xác trong ứng dụng thực tiễn. – ChatGPT có khả năng tạo ra các tiến độ có tính logic và nhất quán, đồng thời hỗ trợ tự động hóa công tác lập kế hoạch ở giai đoạn đầu đối với các dự án đơn giản. – Các mô hình quản lý dự án kết hợp giữa con người và AI, chẳng hạn như **CPM-AI**, góp phần nâng cao mức độ số hóa trong phân bổ nguồn lực và quản lý rủi ro. – Các mô hình GenAI được huấn luyện trên dữ liệu tiến độ lịch sử và bản đồ quy trình do chuyên gia xây dựng có thể hỗ trợ tự động hóa việc lập tiến độ cho các dự án phức tạp và đòi hỏi nhiều nguồn lực.	– Độ tin cậy vẫn còn hạn chế khi xử lý các yếu tố bất định của dự án, chẳng hạn như điều kiện địa chất. – Độ chính xác phụ thuộc đáng kể vào định dạng dữ liệu, chất lượng dữ liệu đầu vào và cách thiết kế câu lệnh. – Việc kiểm chứng chủ yếu mới được thực hiện trên các mẫu nhỏ hoặc các dự án đơn giản, do đó hạn chế khả năng khái quát hóa kết quả. – Chất lượng của dữ liệu thứ cấp cũng như sự thiên lệch theo bối cảnh và khu vực địa lý làm hạn chế khả năng áp dụng rộng rãi.

Lĩnh vực nghiên cứu	Các nghiên cứu tiêu biểu	Trọng tâm nghiên cứu	Những đóng góp và phát hiện chính	Những thách thức và hạn chế chính
(2) Trích xuất dữ liệu tiến độ và nhận diện các ràng buộc bằng NLP/LLM	[13-15]	– Sử dụng các kiến trúc **Xử lý ngôn ngữ tự nhiên (NLP)** và **Mô hình ngôn ngữ lớn (LLM)** như BERT, XLNet và GPT để trích xuất, phân loại và diễn giải các nội dung văn bản, hoạt động và ràng buộc liên quan đến tiến độ từ tài liệu lập kế hoạch và biên bản cuộc họp.	– **XLNet** cho hiệu quả tốt hơn **BERT** trong việc nhận diện và phân loại các hoạt động liên quan đến lập tiến độ xây dựng. – Các khung ứng dụng dựa trên **LLM** có thể tự động phân loại và theo dõi các ràng buộc của dự án từ nội dung thảo luận trong các cuộc họp lập kế hoạch, qua đó giúp nhà quản lý hiểu rõ hơn về các mô hình và xu hướng của các ràng buộc. – Các kỹ thuật khai phá dữ liệu dựa trên ngôn ngữ như **NLP, khai phá văn bản và LLM** cũng hỗ trợ các nhiệm vụ liên quan như phân tích hợp đồng và xử lý tài liệu an toàn.	– Hiệu suất của mô hình phụ thuộc đáng kể vào quá trình **tinh chỉnh (fine-tuning)**; các mô hình GPT áp dụng theo phương pháp **few-shot** mà không được tinh chỉnh có nguy cơ đưa ra các đánh giá chưa chính xác về các ràng buộc. – Kết quả nghiên cứu thường chỉ được xây dựng từ một dự án hoặc một bộ dữ liệu đơn lẻ, làm hạn chế tính vững chắc và khả năng chuyển giao kết quả sang các dự án hoặc bối cảnh khác.
(3) Tổng quan tài liệu và phân tích có hệ thống về việc ứng dụng AI/GenAI trong quản lý	[16-21]	– Thực hiện các nghiên cứu tổng quan có hệ thống và tổng quan tường thuật nhằm khái quát hiện trạng nghiên cứu và ứng dụng	– Xác định các lĩnh vực ứng dụng chính, bao gồm **dự toán chi phí, lập tiến độ, dự báo chậm tiến độ và giám sát an toàn**. – Làm rõ tiềm năng của **GenAI** trong nâng cao năng suất và hỗ trợ ra quyết định,	– Phần lớn các nghiên cứu tổng quan chỉ dựa trên số lượng cơ sở dữ liệu hạn chế, chẳng hạn chỉ sử dụng **Scopus**, và chủ yếu khai thác các

Lĩnh vực nghiên cứu	Các nghiên cứu tiêu biểu	Trọng tâm nghiên cứu	Những đóng góp và phát hiện chính	Những thách thức và hạn chế chính
và lập tiến độ xây dựng		**AI/GenAI** trong lập tiến độ xây dựng, dự toán chi phí, an toàn và quản lý **AECO** nói chung.	bao gồm các **LLM tích hợp RAG** được xây dựng trên dữ liệu riêng của doanh nghiệp. – Hệ thống hóa các rào cản đối với việc ứng dụng, chẳng hạn như **chi phí triển khai cao, thiếu chuyên môn và các vấn đề đạo đức**. – Phân loại các phương pháp AI như **học máy, thị giác máy tính, robot và NLP**, qua đó cho thấy vai trò của chúng trong hỗ trợ an toàn, lập kế hoạch và quản lý thiết bị.	nguồn tài liệu bằng tiếng Anh, dẫn đến nguy cơ bỏ sót các nghiên cứu liên quan. – Thiếu các nghiên cứu tình huống thực nghiệm; nghiên cứu về GenAI trong lập tiến độ vẫn chủ yếu ở mức **khái niệm hoặc thử nghiệm**, với rất ít trường hợp triển khai ở quy mô đầy đủ. – Hiện chưa có **hệ thống chỉ số chuẩn hóa** để đánh giá hiệu suất của GenAI trong các nhiệm vụ lập và quản lý tiến độ.
(4) AI dựa trên suy luận và hệ đa tác tử cho lập tiến độ cộng tác	[22]	– Khai thác **đồ thị tri thức, hệ đa tác tử và các LLM tích hợp RAG** nhằm hỗ trợ các quy trình kỹ thuật song song và cộng tác trong xây dựng.	– AI dựa trên khả năng suy luận có thể cải thiện sự phối hợp giữa các bên liên quan, giảm chậm trễ và nâng cao hiệu quả trong các quy trình kỹ thuật đồng thời có mức độ phức tạp cao.	– Đây vẫn là một hướng nghiên cứu mới nổi, chủ yếu mang tính **khái niệm**, với mức độ kiểm chứng thực nghiệm còn hạn chế. – Các phương thức tích hợp với những

Lĩnh vực nghiên cứu	Các nghiên cứu tiêu biểu	Trọng tâm nghiên cứu	Những đóng góp và phát hiện chính	Những thách thức và hạn chế chính
				hệ thống lập và quản lý tiến độ hiện có vẫn chưa được xác định rõ ràng.

2.2 Các nghiên cứu trước đây về việc ứng dụng BIM trong quản lý tiến độ xây dựng

Quản lý tiến độ là một trong những lĩnh vực ứng dụng tiêu biểu của Mô hình thông tin công trình (Building Information Modeling – BIM). Qua nhiều năm phát triển, các nghiên cứu đã xây dựng nền tảng lý thuyết và thực nghiệm tương đối hoàn thiện về trực quan hóa tiến độ, lập kế hoạch, tối ưu hóa lịch trình và hỗ trợ ra quyết định, qua đó khẳng định BIM là công nghệ cốt lõi trong chuyển đổi số ngành xây dựng.

Các nghiên cứu chủ yếu tập trung vào BIM 4D và 5D nhằm mô phỏng, trực quan hóa và giám sát tiến độ thi công. Việc tích hợp yếu tố thời gian và chi phí vào mô hình BIM giúp nâng cao khả năng theo dõi tiến độ, phối hợp giữa các bên, dự báo nguồn lực và phát hiện sớm nguy cơ chậm tiến độ [2, 5, 24-29]. Bên cạnh đó, nhiều nghiên cứu kết hợp BIM với các thuật toán tối ưu như Genetic Algorithm (GA), NSGA-II, Fuzzy Theory và Discrete Event Simulation (DES) để tối ưu thời gian, chi phí và nguồn lực, góp phần nâng cao hiệu quả lập tiến độ và hỗ trợ ra quyết định [30-35].

Ngoài ra, nhiều nghiên cứu đã phát triển các quy trình tự động tạo lập tiến độ từ mô hình BIM và tích hợp BIM với Lean Construction cùng các hệ thống quản lý dự án nhằm nâng cao tính nhất quán dữ liệu và hiệu quả phối hợp [3, 36-39]. Các nghiên cứu tổng quan cũng cho thấy xu hướng tích hợp BIM với AI, học máy (Machine Learning – ML), Internet vạn vật (IoT) và gần đây là trí tuệ nhân tạo tạo sinh (GenAI) để hướng tới các hệ thống quản lý dự án thông minh [40-42].

Nhìn chung, BIM đã khẳng định vai trò quan trọng trong nâng cao hiệu quả quản lý tiến độ. Tuy nhiên, việc triển khai vẫn gặp nhiều rào cản về năng lực ứng dụng, khả năng

tương tác dữ liệu, chi phí đầu tư và thiếu các nghiên cứu thực nghiệm quy mô lớn. Đặc biệt, các nghiên cứu tích hợp BIM với GenAI trong quản lý tiến độ còn hạn chế, cho thấy đây là hướng nghiên cứu nhiều tiềm năng.

Bảng 2: Các nghiên cứu trước đây về việc ứng dụng BIM trong quản lý tiến độ xây dựng

Lĩnh vực nghiên cứu	Các nghiên cứu tiêu biểu	Trọng tâm nghiên cứu	Những đóng góp và phát hiện chính	Những thách thức và hạn chế chính
(1) Trực quan hóa, mô phỏng tiến độ và ứng dụng nghiên cứu tình huống dựa trên BIM 4D/5D	[2, 5, 24-29]	– Ứng dụng **BIM 4D/5D** bằng cách liên kết dữ liệu tiến độ và chi phí với mô hình 3D nhằm trực quan hóa, mô phỏng và giám sát tiến độ thi công trong các dự án thực tế như công trình dân dụng, đập, đường giao thông và công trình lắp ghép/tiền chế	– Nâng cao khả năng trực quan hóa biện pháp thi công, theo dõi tiến độ và phối hợp giữa các bên liên quan. – Cho phép dự báo nhu cầu về nguồn lực, thiết bị và chi phí song song với quá trình theo dõi tiến độ. – Hỗ trợ giám sát chất lượng và an toàn thông qua việc tích hợp dữ liệu tiến độ–chi phí–nguồn lực. – Góp phần giảm chậm tiến độ, cải thiện phân bổ nguồn lực, phối hợp và quản lý rủi ro, chẳng hạn trong các dự án đường giao thông và đập.	– Hiệu quả ứng dụng phụ thuộc đáng kể vào năng lực BIM của các bên liên quan và khả năng của phần mềm. – Nhiều nghiên cứu tình huống thiếu kiểm chứng định lượng và chỉ được thực hiện trên một dự án đơn lẻ. – Các lợi ích chủ yếu được chứng minh trên một số loại dự án cụ thể, làm hạn chế khả năng khái quát hóa.
(2) Tối ưu hóa tiến độ dựa trên BIM bằng các thuật toán GA, NSGA-II, logic mờ và mô phỏng sự kiện rời rạc	[30-35]	– Kết hợp BIM với các kỹ thuật tối ưu hóa như **thuật toán di truyền (GA), NSGA-II, lý thuyết mờ và mô phỏng sự kiện rời rạc (DES)** nhằm giải quyết các bài toán lập	– Nâng cao khả năng xử lý dữ liệu, trực quan hóa và hỗ trợ ra quyết định thông qua việc tích hợp BIM với các thuật toán tối ưu hóa. – Tự động hóa việc lập tiến độ và xác định các phương án gần tối ưu, chẳng hạn sử dụng **NSGA-II** để giải quyết bài toán đánh đổi thời gian–chi phí.	– Thiếu các ứng dụng BIM mang tính chủ động và năng lực tối ưu hóa đa mục tiêu ở mức độ hoàn thiện. – Các vấn đề về đồng bộ hóa dữ liệu giữa các nền tảng phần mềm khác nhau vẫn tồn tại.

Lĩnh vực nghiên cứu	Các nghiên cứu tiêu biểu	Trọng tâm nghiên cứu	Những đóng góp và phát hiện chính	Những thách thức và hạn chế chính
		tiến độ đa mục tiêu, bao gồm đánh đổi thời gian–chi phí, chồng chéo giữa các hoạt động và bố trí camera phục vụ giám sát.	– Giảm sự chồng chéo giữa các hoạt động thi công và cải thiện phạm vi giám sát, ví dụ tăng khoảng **12% hiệu quả bố trí camera**. – Các khung tích hợp **BIM–GA–5D–dashboard** giúp cải thiện sự phối hợp giữa đội ngũ quản lý và kỹ thuật.	– Các khung phương pháp thường chỉ được kiểm chứng trong môi trường mô phỏng hoặc có kiểm soát thay vì trong các dự án thực tế ở quy mô đầy đủ.
(3) Tự động lập tiến độ và xây dựng khung quy trình dựa trên BIM	[3, 36-39]	– Phát triển các khung phương pháp có khả năng tự động tạo hoặc đơn giản hóa quá trình lập tiến độ trực tiếp từ mô hình BIM, đồng thời tích hợp dữ liệu thiết kế, chi phí, nguyên lý **Lean Construction** và tin học xây dựng trong toàn bộ vòng đời dự án.	– Các khung quy trình nhiều giai đoạn có cấu trúc, chẳng hạn phương pháp **CESI bốn giai đoạn**, giúp giảm khối lượng công việc thủ công cần thiết để phát triển mô hình BIM 4D. – Việc tích hợp các nguyên lý **Lean** với BIM 4D giúp nâng cao hiệu quả lập tiến độ và khả năng dự báo rủi ro trong xây dựng mô-đun. – Các khung **tin học xây dựng (Construction Informatics – CI)** dựa trên BIM giúp cải thiện giao tiếp giữa các bên liên quan, hỗ trợ ra quyết định và kiểm soát chi phí. – Các khung BIM theo vòng đời giúp cải thiện việc tích hợp thông tin tiến độ và nâng cao khả năng kiểm soát tổng thể dự án.	– Các khung phương pháp thường được phát triển và kiểm chứng trong điều kiện lý tưởng hóa hoặc chỉ thông qua một nghiên cứu tình huống đơn lẻ. – Vẫn phụ thuộc nhiều vào các thao tác thủ công do quá trình phát triển mô hình 3D/4D còn phân mảnh và trình độ BIM giữa các bên liên quan không đồng đều. – Cần có thêm các nghiên cứu kiểm chứng trong điều kiện thực tế và đánh giá khả năng mở rộng trên nhiều loại dự án khác nhau

Lĩnh vực nghiên cứu	Các nghiên cứu tiêu biểu	Trọng tâm nghiên cứu	Những đóng góp và phát hiện chính	Những thách thức và hạn chế chính
(4) Tổng quan tài liệu và phân tích trắc lượng thư mục về ứng dụng BIM trong quản lý tiến độ	[40-42]	– Thực hiện các nghiên cứu tổng quan có hệ thống và phân tích trắc lượng thư mục nhằm tổng hợp quá trình phát triển, xu hướng và khoảng trống nghiên cứu của các ứng dụng BIM trong quản lý tiến độ xây dựng, chủ yếu trong giai đoạn khoảng **2008–2025**	– – Khẳng định vai trò trung tâm của BIM trong quản lý tiến độ, chi phí và vòng đời dự án thông qua tích hợp **3D–4D–5D**. – Xác định xu hướng nghiên cứu ngày càng gia tăng theo hướng tích hợp **BIM với trí tuệ nhân tạo** nhằm tối ưu hóa công tác lập kế hoạch và tiến độ. – Xác định các cụm chủ đề nghiên cứu chính, chẳng hạn **mô phỏng 4D, quản lý logistics và phân tích tính bền vững**, đồng thời chỉ ra các khoảng trống kiến thức còn tồn tại.	– Việc ứng dụng BIM bị cản trở bởi hạn chế của phần mềm, sự kháng cự của các bên liên quan và việc chưa khai thác đầy đủ tiềm năng của BIM. – Chi phí triển khai cao, thiếu chuyên gia và thiếu tiêu chuẩn hóa vẫn là những rào cản phổ biến và kéo dài. – Phạm vi của các nghiên cứu tổng quan toàn diện vẫn còn hạn chế, do đó các xu hướng và khoảng trống nghiên cứu mới chỉ được xác định một phần.

2.3 Các nghiên cứu trước đây về việc ứng dụng GenAI và BIM trong ngành xây dựng

Sự phát triển của trí tuệ nhân tạo tạo sinh (Generative Artificial Intelligence – GenAI) đã thúc đẩy xu hướng tích hợp với Mô hình thông tin công trình (Building Information Modeling – BIM) nhằm nâng cao tự động hóa, phân tích dữ liệu và hỗ trợ ra quyết định trong quản lý xây dựng. Trong khi BIM đóng vai trò là nền tảng dữ liệu số, GenAI bổ sung khả năng xử lý ngôn ngữ tự nhiên và suy luận, tạo tiền đề cho các hệ thống quản lý xây dựng thông minh.

Các nghiên cứu chủ yếu tập trung vào tích hợp BIM với AI, học máy (Machine Learning – ML), xử lý ngôn ngữ tự nhiên (Natural Language Processing – NLP) và các mô hình ngôn ngữ lớn (Large Language Models – LLMs) để tự động lập kế hoạch, nhận diện công việc, cập

nhật tiến độ và hỗ trợ ra quyết định, qua đó giảm đáng kể khối lượng công việc thủ công [4, 7, 43-45]. Đồng thời, nhiều nghiên cứu tổng quan khẳng định tiềm năng của tích hợp BIM–GenAI trong quản lý thông tin và tự động hóa quy trình, nhưng cũng chỉ ra các thách thức về khả năng tương tác dữ liệu và tích hợp hệ thống [46-51].

Bên cạnh đó, một số nghiên cứu đã ứng dụng AI–BIM trong ước tính chi phí, giám sát thi công, tối ưu nguồn lực và kiểm tra tuân thủ, đồng thời nhấn mạnh vai trò của quản trị dữ liệu, chuẩn hóa thông tin BIM và năng lực số của đội ngũ triển khai [6, 52-56].

Nhìn chung, tích hợp BIM và GenAI được đánh giá là xu hướng phát triển của quản lý xây dựng thông minh. Tuy nhiên, phần lớn các nghiên cứu vẫn ở giai đoạn đề xuất hoặc thử nghiệm, trong khi các minh chứng trên dự án thực tế còn hạn chế và nhiều thách thức về dữ liệu, tiêu chuẩn hóa và triển khai vẫn chưa được giải quyết.

Bảng 3: Các nghiên cứu trước đây về việc ứng dụng GenAI và BIM trong ngành xây dựng

Lĩnh vực nghiên cứu	Các nghiên cứu tiêu biểu	Trọng tâm nghiên cứu	Những đóng góp và phát hiện chính	Những thách thức và hạn chế chính
(1) Các khung tạo lập tiến độ tự động dựa trên BIM kết hợp AI/ML/NLP	[4, 7, 43-45]	– Kết hợp BIM với các kỹ thuật AI/ML/NLP để tự động hóa công việc, cập nhật và tích hợp tiến trình với các mô hình 3D/4D — bao gồm xác định công việc, trình tự thiết lập và tiến trình cập nhật thực hiện.	– Các mô hình học máy (ML) được huấn luyện trên dữ liệu BIM định dạng IFC có khả năng tự động nhận diện các hoạt động thi công, thiết lập trình tự công việc, cũng như ước tính thời gian, chi phí và nguồn lực. – Các giải pháp dựa trên GPT kết hợp với Revit hoặc công nghệ xử lý ngôn ngữ tự nhiên (NLP) cho phép nhân viên tại công trường cập nhật tiến độ bằng giọng	– Các kết quả nghiên cứu thường dựa trên những trường hợp nghiên cứu đơn lẻ với sự kiểm chứng định lượng còn hạn chế. – Các đặc thù của dự án và khó khăn trong việc xử lý các hoạt động song song làm hạn chế khả năng áp dụng rộng rãi của các phương pháp lập kế hoạch dựa trên NLP. – Các giả định đơn giản hóa về mối quan hệ giữa các tác vụ

Lĩnh vực nghiên cứu	Các nghiên cứu tiêu biểu	Trọng tâm nghiên cứu	Những đóng góp và phát hiện chính	Những thách thức và hạn chế chính
			nói thông qua thiết bị di động. – Các khung làm việc kết hợp BIM với AI/ML sử dụng mô hình trình tự hoạt động (thay vì ma trận ràng buộc truyền thống) giúp cải thiện công tác lập kế hoạch chủ động và quản lý rủi ro. – Việc tích hợp BIM với AI và dữ liệu từ thiết bị thông minh, kết hợp cùng các hệ thống bản thể luận (ontology) chuyên ngành, được đề xuất nhằm tăng cường mức độ tự động hóa trong công tác lập tiến độ.	cùng với sự sai lệch dữ liệu vẫn có thể ảnh hưởng đến độ chính xác.
(2) Tích hợp LLM/GenAI với BIM: tổng quan tài liệu và phân tích toàn ngành	[46-51]	– Đánh giá cách thức các mô hình ngôn ngữ lớn (LLM) và AI tạo sinh đang được tích hợp với dữ liệu và quy trình làm việc của ngành BIM/AECO nhằm cải thiện công tác quản lý thông tin, ra quyết định, hoạt động đào tạo và năng lực triển khai	– Xác định các xu hướng chính định hình việc ứng dụng AI–BIM — bao gồm AI tạo sinh (Generative AI), các mô hình ngôn ngữ lớn (LLM) và học tăng cường (reinforcement learning) — được tổng hợp thành các khung mô hình như PERGE. – Làm nổi bật tiềm năng của GenAI/LLM trong việc chuyển đổi quy trình xây dựng,	– Khả năng tương thích với các phần mềm chuyên dụng trong ngành và hạn chế trong việc xử lý đa phương thức vẫn là những rào cản kỹ thuật đáng kể. – Một số bài tổng quan loại bỏ các loại hình ấn phẩm nhất định (ví dụ: các kênh thông tin chuyên ngành thiết kế), làm giảm tính toàn diện.

Lĩnh vực nghiên cứu	Các nghiên cứu tiêu biểu	Trọng tâm nghiên cứu	Những đóng góp và phát hiện chính	Những thách thức và hạn chế chính
		bản sao kỹ thuật số (digital twin).	công tác đào tạo chuyên môn và phát triển kỹ năng. – Xác định các yêu cầu về mức độ sẵn sàng của dữ liệu BIM và đề xuất các cải tiến nhằm hỗ trợ sự tích hợp BIM–AI hiệu quả hơn. – Ghi nhận xu hướng ngày càng phổ biến của việc sử dụng Bản sao kỹ thuật số (Digital Twins) song hành với sự tích hợp BIM–AI để hướng tới quản lý dự án thông minh hơn và tự động hóa cao hơn.	– Chất lượng dữ liệu, yêu cầu về năng lực tính toán và các vấn đề đạo đức tiếp tục kìm hãm việc ứng dụng rộng rãi hơn.
(3) Các ứng dụng AI-BIM trong dự toán chi phí, kiểm tra sự tuân thủ và tối ưu hóa nguồn lực/rủi ro.	[52-55]	– Ứng dụng sự kết hợp giữa AI và BIM (các mô hình ngôn ngữ lớn - LLM, học sâu, Bản sao số - Digital Twins) vào các chức năng quản lý cụ thể: dự toán chi phí, kiểm tra sự tuân thủ quy định, giám sát theo thời gian thực, cũng như tối ưu hóa nguồn lực và rủi ro.	– Các khung làm việc dựa trên LLM (ví dụ: sử dụng Model Context Protocol) giúp tự động hóa quy trình ước tính chi phí từ mô hình BIM, qua đó giảm đáng kể thời gian ước tính mà vẫn bảo đảm độ chính xác. – Các khung làm việc tự động kiểm tra sự tuân thủ BIM—kết hợp giữa LLM, học sâu (deep learning) và hệ thống bản thể luận (ontology)—giúp nâng cao hiệu quả và độ	– Các phương pháp AI truyền thống (hệ thống dựa trên quy tắc, hệ thống bản thể luận, học máy thông thường) bộc lộ khả năng thích ứng hạn chế và đòi hỏi lượng dữ liệu lớn; đây là những vấn đề mà các phương pháp tiếp cận dựa trên LLM hướng tới việc khắc phục. – Hầu hết các khung lý thuyết đều được kiểm chứng thông qua các nghiên cứu tình huống đơn lẻ hoặc

Lĩnh vực nghiên cứu	Các nghiên cứu tiêu biểu	Trọng tâm nghiên cứu	Những đóng góp và phát hiện chính	Những thách thức và hạn chế chính
			chính xác trong việc diễn giải các quy định. – Các khung làm việc kết hợp BIM và AI hỗ trợ giám sát theo thời gian thực, dự báo rủi ro và tối ưu hóa nguồn lực trong công tác lập tiến độ thi công. – Việc tích hợp BIM, Bản sao kỹ thuật số (Digital Twin) và AI giúp nâng cao hiệu quả lập tiến độ, giám sát và hiệu suất thi công tổng thể.	phương pháp tiếp cận khoa học thiết kế, với phạm vi thử nghiệm thực nghiệm trên quy mô lớn còn hạn chế.
(4) Quản trị, các yếu tố thúc đẩy áp dụng và mức độ sẵn sàng của nguồn nhân lực đối với việc tích hợp AI–BIM	[6, 56]	– Nghiên cứu các yếu tố thuộc về tổ chức và con người định hình việc áp dụng GenAI–BIM, bao gồm quản trị dữ liệu, khả năng tương tác liên nền tảng và ý định hành vi của các chuyên gia xây dựng trong việc sử dụng AI dựa trên mô hình ngôn ngữ lớn (LLM).	– Việc tích hợp BIM và AI cho thấy tiềm năng lớn trong việc cải thiện công tác quản lý tiến độ, chi phí, chất lượng và an toàn trong xây dựng. – Phân tích dựa trên mô hình UTAUT xác định kỳ vọng về hiệu quả, kỳ vọng về nỗ lực, ảnh hưởng xã hội và độ tin cậy của dịch vụ là những yếu tố then chốt thúc đẩy ý định áp dụng công nghệ này của các chuyên gia trong ngành xây dựng.	– Các thách thức về tích hợp dữ liệu và khả năng tương tác vẫn tồn tại giữa các nền tảng phần mềm và định dạng dữ liệu đa dạng. – Việc triển khai BIM–AI đòi hỏi chuyên môn đa ngành cũng như các quy trình quản trị dữ liệu và an ninh mạng vững chắc. – Các nghiên cứu thực nghiệm về hành vi tiếp nhận công nghệ còn hạn chế, làm hạn chế khả năng khái quát hóa kết quả giữa các

Lĩnh vực nghiên cứu	Các nghiên cứu tiêu biểu	Trọng tâm nghiên cứu	Những đóng góp và phát hiện chính	Những thách thức và hạn chế chính
				doanh nghiệp và khu vực.

3. Khoảng trống nghiên cứu

3.1 Tổng hợp thành tựu nghiên cứu

Từ tổng quan tài liệu trong và ngoài nước, có thể ghi nhận một số thành tựu nghiên cứu quan trọng như sau:

Thứ nhất, các nghiên cứu trước đã ghi nhận vai trò của BIM 4D trong nâng cao khả năng trực quan hóa không gian–thời gian, hỗ trợ phát hiện xung đột và cải thiện phối hợp trong quản lý tiến độ [41, 57].

Thứ hai, một số nghiên cứu ứng dụng học máy và học sâu đã báo cáo kết quả tích cực trong dự báo chậm tiến độ, nhận diện rủi ro và hỗ trợ tối ưu hóa nguồn lực trong các bộ dữ liệu và bối cảnh nghiên cứu cụ thể [58].

Thứ ba, các nghiên cứu gần đây về GenAI và LLM cho thấy tiềm năng hỗ trợ truy xuất thông tin BIM, lập kế hoạch và tương tác với dữ liệu dự án bằng ngôn ngữ tự nhiên; tuy nhiên, mức độ kiểm chứng thực tế vẫn còn hạn chế [9, 59, 60].

3.2 Xác định khoảng trống nghiên cứu

Mặc dù có những thành tựu kể trên, tổng quan tài liệu chỉ ra những khoảng trống nghiên cứu quan trọng và chưa được giải quyết:

Khoảng trống 1 – Thiếu nghiên cứu về sự tích hợp toàn diện giữa BIM và GenAI trong quản lý tiến độ xây dựng:

Các nghiên cứu hiện nay chủ yếu tập trung vào ứng dụng BIM hoặc GenAI như những công nghệ độc lập. Đối với BIM, phần lớn nghiên cứu hướng đến trực quan hóa tiến độ, mô phỏng 4D/5D, tối ưu hóa lập kế hoạch và quản lý dữ liệu dự án. Trong khi đó, các nghiên cứu về GenAI chủ yếu khai thác khả năng xử lý ngôn ngữ tự nhiên, tự động hóa lập tiến độ và hỗ trợ ra quyết định.

Mặc dù đã xuất hiện một số nghiên cứu bước đầu về BIM–LLM hoặc BIM–GenAI, các nghiên cứu này vẫn chủ yếu dừng ở mức phát triển nguyên mẫu hoặc khung khái niệm cho từng chức năng riêng lẻ. Hiện nay vẫn thiếu một khung tích hợp có tính hệ thống làm rõ cách thức kết hợp giữa BIM và GenAI nhằm hỗ trợ toàn bộ quá trình quản lý tiến độ xây dựng [56, 61].

Khoảng trống 2 – Thiếu các nghiên cứu đánh giá và ưu tiên các giải pháp triển khai BIM–GenAI

Phần lớn các công trình hiện nay tập trung chứng minh khả năng kỹ thuật của các công nghệ mới hoặc phát triển các mô hình AI, trong khi rất ít nghiên cứu đánh giá mức độ quan trọng của các giải pháp triển khai trong điều kiện thực tế. Đặc biệt, chưa có nhiều nghiên cứu phân tích đồng thời mức độ ưu tiên và mối quan hệ tác động giữa các giải pháp nhằm xác định đâu là các yếu tố đóng vai trò "đòn bẩy" trong quá trình triển khai BIM–GenAI. Điều này gây khó khăn cho các doanh nghiệp và cơ quan quản lý trong việc xây dựng lộ trình ứng dụng phù hợp [59].

Khoảng trống 3 – Thiếu các nghiên cứu thực nghiệm trong bối cảnh các quốc gia đang phát triển

Đa số các nghiên cứu về BIM và GenAI được thực hiện tại các quốc gia có mức độ chuyển đổi số cao như Hoa Kỳ, Anh, Singapore, Trung Quốc và một số nước châu Âu. Trong khi đó, các quốc gia đang phát triển có điều kiện hạ tầng công nghệ, trình độ nhân lực, khả năng đầu tư và hệ thống tiêu chuẩn rất khác biệt. Vì vậy, kết quả từ các nghiên cứu quốc tế chưa thể áp dụng trực tiếp cho các nước đang phát triển mà cần được kiểm chứng trong từng bối cảnh cụ thể [56].

Khoảng trống 4 – Thiếu nghiên cứu trong bối cảnh ngành xây dựng Việt Nam

Tại Việt Nam, mặc dù Chính phủ đã ban hành lộ trình áp dụng BIM và thúc đẩy Chiến lược quốc gia về trí tuệ nhân tạo, các nghiên cứu về tích hợp BIM và GenAI trong quản lý tiến độ xây dựng vẫn còn rất hạn chế. Trong phạm vi các tài liệu được khảo sát, các nghiên cứu đánh giá một cách có cấu trúc mức độ ưu tiên và quan hệ ảnh hưởng giữa các giải pháp triển khai BIM–GenAI trong quản lý tiến độ xây dựng tại Việt Nam vẫn còn rất hạn chế. Điều này tạo ra khoảng cách giữa định hướng chính sách và bằng chứng khoa học phục vụ quá trình triển khai trên thực tế [61].

4. Mục tiêu, đối tượng và phạm vi nghiên cứu của đề tài

4.1 Mục tiêu nghiên cứu

4.1.1 Mục tiêu tổng quát

Mục tiêu tổng quát của nghiên cứu là xây dựng một khung tích hợp giữa Mô hình thông tin công trình (BIM) và Trí tuệ nhân tạo tạo sinh (GenAI) có cơ sở khoa học và được phát triển ở cấp độ khái niệm nhằm hỗ trợ công tác quản lý tiến độ xây dựng tại Việt Nam. Nghiên cứu đồng thời đề xuất một lộ trình triển khai dựa trên quan hệ phụ thuộc, phù hợp với các điều kiện thể chế, tổ chức, dữ liệu và công nghệ của ngành xây dựng Việt Nam.

4.1.2 Mục tiêu cụ thể

Để đạt được mục tiêu tổng quát nêu trên, nghiên cứu xác định bốn mục tiêu cụ thể sau:

Thứ nhất, hệ thống hóa cơ sở lý luận về quản lý tiến độ xây dựng, công nghệ BIM và Trí tuệ nhân tạo tạo sinh (GenAI), đồng thời tổng quan các nghiên cứu trong và ngoài nước về việc ứng dụng và tích hợp hai công nghệ này trong lĩnh vực quản lý dự án xây dựng, từ đó nhận diện những khoảng trống nghiên cứu còn tồn tại.

Thứ hai, nhận diện và xây dựng một tập hợp các giải pháp triển khai BIM–GenAI cho quản lý tiến độ xây dựng trên cơ sở tổng hợp và phân tích các nghiên cứu trong và ngoài nước có liên quan, làm cơ sở cho việc đánh giá mức độ ưu tiên và cấu trúc ảnh hưởng theo nhận định của chuyên gia.

Thứ ba, xác định mức độ ưu tiên tương đối của các giải pháp triển khai BIM–GenAI được đề xuất và xem xét các mối quan hệ ảnh hưởng theo nhận định của chuyên gia bằng cách áp dụng phương pháp Phân tích thứ bậc (AHP) và phương pháp DEMATEL trên dữ liệu đánh giá chuyên gia.

Thứ tư, chuyển hóa kết quả kết hợp AHP và DEMATEL thành một khung chiến lược có thứ tự ưu tiên và lộ trình triển khai theo các điểm kiểm soát giai đoạn (phase-gate), phù hợp với bối cảnh chuyển đổi số của ngành xây dựng Việt Nam, đồng thời xây dựng các kiến nghị cho những nhóm chủ thể liên quan.

4.2 Đối tượng nghiên cứu và phạm vi nghiên cứu

4.2.1 Đối tượng nghiên cứu

Đối tượng nghiên cứu của đề tài gồm các giải pháp triển khai, cấu trúc mức độ ưu tiên và các mối quan hệ ảnh hưởng theo nhận định của chuyên gia liên quan đến tích hợp BIM–GenAI trong quản lý tiến độ xây dựng tại Việt Nam.

4.2.2 Phạm vi nghiên cứu

Phạm vi nội dung: Nghiên cứu xác định và đánh giá các giải pháp triển khai BIM–GenAI cho quản lý tiến độ xây dựng, phân tích mức độ ưu tiên tương đối và các mối quan hệ ảnh hưởng theo nhận định của chuyên gia, đồng thời phát triển một khung chiến lược và lộ trình triển khai ở cấp độ khái niệm. Nghiên cứu không kiểm chứng thực nghiệm hiệu quả vận hành của một hệ thống BIM–GenAI hoàn chỉnh trên một dự án xây dựng thực tế.

Phạm vi không gian: Nghiên cứu được thực hiện trong phạm vi ngành xây dựng tại Việt Nam.

Phạm vi đối tượng khảo sát: Các chuyên gia, nhà quản lý dự án, kỹ sư xây dựng, chuyên gia BIM và các cá nhân có kinh nghiệm trong lĩnh vực quản lý dự án xây dựng và ứng dụng công nghệ số.

Phạm vi thời gian: Dữ liệu khảo sát và thông tin phục vụ nghiên cứu được thu thập trong thời gian thực hiện đề tài.

5. Câu hỏi nghiên cứu

Xuất phát từ khoảng trống nghiên cứu về việc ứng dụng đồng thời Mô hình thông tin công trình (BIM) và trí tuệ nhân tạo tạo sinh (Generative Artificial Intelligence – GenAI) trong quản lý tiến độ xây dựng, đồ án tập trung trả lời bốn câu hỏi nghiên cứu cốt lõi.

Thứ nhất, những giải pháp triển khai nào có thể hỗ trợ việc tích hợp BIM và GenAI nhằm nâng cao công tác quản lý tiến độ xây dựng trong bối cảnh ngành xây dựng Việt Nam?

Thứ hai, mức độ ưu tiên tương đối của các giải pháp triển khai BIM–GenAI được xác định như thế nào dựa trên đánh giá của chuyên gia?

Thứ ba, giữa các giải pháp được đề xuất tồn tại những mối quan hệ ảnh hưởng nào, và giải pháp nào được chuyên gia đánh giá là nhóm có ảnh hưởng ròng hoặc nhóm chịu ảnh hưởng ròng trong hệ thống?

Thứ tư, kết quả kết hợp AHP và DEMATEL có thể được chuyển hóa như thế nào thành một khung triển khai dựa trên quan hệ phụ thuộc và lộ trình theo các điểm kiểm soát giai đoạn (phase-gate) phù hợp với điều kiện của ngành xây dựng Việt Nam?

Việc giải quyết các câu hỏi nghiên cứu này cung cấp cơ sở dựa trên bằng chứng khảo sát chuyên gia để cấu trúc mức độ ưu tiên và quan hệ phụ thuộc giữa các giải pháp. Khung đề xuất nhằm định hướng cho các bước thí điểm và điều chỉnh tiếp theo, không được xem là bằng chứng về hiệu quả triển khai thực tế.

6. Phương pháp nghiên cứu

Nghiên cứu kết hợp tổng hợp và phân tích tài liệu với cách tiếp cận định lượng dựa trên đánh giá chuyên gia. Trước hết, các nghiên cứu trong nước và quốc tế có liên quan được tổng hợp và phân tích nhằm xác định danh mục các giải pháp triển khai BIM–GenAI trong quản lý tiến độ xây dựng. Tiếp theo, dữ liệu đánh giá được thu thập từ 14 chuyên gia có kinh nghiệm liên quan đến xây dựng, BIM, quản lý dự án, chính sách và chuyển đổi số. Phương pháp Phân tích thứ bậc (AHP) được sử dụng để xác định mức độ ưu tiên tương đối của các giải pháp thông qua so sánh cặp, trong khi DEMATEL được sử dụng để xem xét cấu trúc ảnh hưởng trực tiếp và gián tiếp theo nhận định của chuyên gia.

7. Kết quả đạt được của đề tài

Từ việc phân tích các khoảng trống nghiên cứu đã được xác định, đề tài "Giải pháp tích hợp BIM và AI tạo sinh (GenAI) để nâng cao hiệu quả công tác quản lý tiến độ xây dựng" được thực hiện nhằm tạo ra một số đóng góp về mặt lý luận và hàm ý thực tiễn cho lĩnh vực nghiên cứu mới nổi này.

Thứ nhất, nghiên cứu đề xuất một khung chiến lược và vận hành BIM–GenAI được phát triển ở cấp độ khái niệm cho quản lý tiến độ xây dựng. Khung bao gồm các tầng triển khai, kiến trúc tích hợp, quy trình có sự giám sát và phê duyệt của con người, cơ chế quản trị và lộ trình theo các điểm kiểm soát giai đoạn. Các thành phần này là đề xuất thiết kế được hình thành từ tổng quan tài liệu và kết quả AHP–DEMATEL, chưa phải là một hệ thống đã được triển khai và kiểm chứng đầy đủ.

Thứ hai, nghiên cứu xây dựng mô hình phân tích tích hợp AHP và DEMATEL để phân biệt mức độ ưu tiên tương đối của các giải pháp với vai trò ảnh hưởng theo nhận định của

chuyên gia. Cách kết hợp này hỗ trợ diễn giải có cấu trúc hơn về các quan hệ phụ thuộc triển khai so với việc sử dụng riêng lẻ từng phương pháp.

Thứ ba, nghiên cứu cung cấp bằng chứng khảo sát chuyên gia về mức độ quan trọng tương đối và các quan hệ ảnh hưởng được nhận thức giữa các giải pháp triển khai BIM–GenAI trong bối cảnh Việt Nam. Kết quả này không tự thân chứng minh tính khả thi kỹ thuật hoặc hiệu quả cải thiện tiến độ của một hệ thống BIM–GenAI hoàn chỉnh; các nội dung đó cần được đánh giá thông qua dự án thí điểm, nghiên cứu trường hợp và dữ liệu theo thời gian.

Bằng việc kết hợp tổng quan tài liệu, đánh giá ưu tiên dựa trên chuyên gia, phân tích cấu trúc ảnh hưởng được nhận thức và phát triển khung đề xuất, nghiên cứu góp phần xử lý các khoảng trống đã xác định ở cấp độ khái niệm và hỗ trợ ra quyết định. Các dự án thí điểm và nghiên cứu trường hợp trong tương lai là cần thiết để đánh giá hiệu quả thực tiễn, khả năng chuyển giao và tính bền vững dài hạn của khung đề xuất.

8. Kết cấu của đề tài

Chương 1: Cơ sở lý luận về tích hợp BIM và AI tạo sinh (GenAI) trong công tác quản lý tiến độ xây dựng.

Chương 2: Cơ sở lý thuyết và phương pháp nghiên cứu.

Chương 3: Phân tích kết quả nghiên cứu.

Chương 4: Đề xuất giải pháp tích hợp BIM và AI tạo sinh trong công tác quản lý tiến độ xây dựng.

Chương 5: Nguyên mẫu Chatbot AI hỗ trợ tra cứu pháp lý phục vụ quản lý tiến độ xây dựng

Chương 6: Kết luận

CHƯƠNG 1. CƠ SỞ LÝ LUẬN VỀ TÍCH HỢP BIM VÀ AI TẠO SINH (GENAI) TRONG CÔNG TÁC QUẢN LÝ TIẾN ĐỘ XÂY DỰNG

1.1 Tổng quan về quản lý tiến độ xây dựng

1.1.1 Khái niệm quản lý tiến độ

Quản lý tiến độ xây dựng (Construction Schedule Management – CSM) là một nội dung cốt lõi của quản lý dự án, bao gồm việc lập kế hoạch, tổ chức, điều phối, giám sát và kiểm soát các hoạt động theo thời gian nhằm bảo đảm mục tiêu về tiến độ, nguồn lực, chi phí và chất lượng [7, 41]. Tiến độ xây dựng chuyển hóa mục tiêu dự án thành các công việc có trình tự, thời lượng và quan hệ phụ thuộc, qua đó tạo cơ sở cho phân bổ nguồn lực và kiểm soát quá trình thực hiện [3]

Theo Viện Quản lý Dự án Hoa Kỳ (PMI), quản lý tiến độ bao gồm xác định công việc, thiết lập trình tự, ước lượng nguồn lực và thời lượng, xây dựng, cập nhật và kiểm soát lịch trình [7, 62]

Các phần mềm như Microsoft Project và Primavera P6 hỗ trợ đáng kể quá trình này; tuy nhiên, chất lượng kế hoạch vẫn phụ thuộc vào dữ liệu đầu vào, kinh nghiệm chuyên gia và khả năng xử lý các ràng buộc phức tạp của dự án [7, 30].

1.1.2 Các phương pháp quản lý tiến độ truyền thống

1.1.2.1 Sơ đồ Gantt (Gantt Charts)

Biểu đồ Gantt là công cụ trực quan hóa các công việc trên trục thời gian, giúp theo dõi thời điểm bắt đầu, kết thúc, thời lượng và trạng thái thực hiện. Ưu điểm của phương pháp là dễ trình bày, thuận lợi cho trao đổi và theo dõi tổng thể; tuy nhiên, đối với dự án lớn, biểu đồ có thể trở nên phức tạp và chưa phản ánh đầy đủ các ràng buộc nguồn lực hoặc quan hệ logic phức tạp [1, 41].

1.1.2.2 Phương pháp Đường găng (Critical Path Method – CPM)

Phương pháp Đường găng (Critical Path Method – CPM) xác định chuỗi công việc quyết định thời gian hoàn thành dự án trên cơ sở thời lượng và quan hệ phụ thuộc giữa các hoạt

động. CPM hỗ trợ nhận diện công việc trọng yếu, phân tích ảnh hưởng của chậm trễ và ưu tiên nguồn lực, nhưng thường chưa mô tả đầy đủ các ràng buộc về nguồn lực và điều kiện không gian của thi công [1, 30, 41].

1.1.2.3 Kỹ thuật Đánh giá và Kiểm tra Dự án (Program Evaluation and Review Technique – PERT)

Kỹ thuật PERT xem xét tính không chắc chắn của thời lượng công việc và hỗ trợ đánh giá rủi ro tiến độ thông qua mạng lưới quan hệ giữa các hoạt động. So với CPM, PERT phù hợp hơn khi thời lượng có mức biến động cao, nhưng vẫn chủ yếu tập trung vào thời gian và quan hệ logic, chưa phản ánh đầy đủ ràng buộc về không gian và nguồn lực [4, 41].

1.1.2.4 Phương pháp Dây chuyền (Line-of-Balance – LOB)

Phương pháp Dây chuyền (Line-of-Balance – LOB) phù hợp với các dự án có tính lặp lại như nhà cao tầng, hạ tầng tuyến hoặc khu nhà ở. LOB kết hợp yếu tố thời gian và vị trí để duy trì dòng công việc liên tục giữa các tổ đội, qua đó hỗ trợ giảm chờ đợi và xung đột nguồn lực; đổi lại, phương pháp đòi hỏi dữ liệu và kế hoạch chi tiết về tốc độ thi công và trình tự giữa các khu vực [4].

1.1.2.5 Phương pháp Đường găng tới hạn (Critical Chain Project Management – CCPM)

Quản lý dự án theo chuỗi găng (Critical Chain Project Management – CCPM) mở rộng cách tiếp cận CPM bằng việc xem xét đồng thời quan hệ công việc, giới hạn nguồn lực và biến động thực hiện. Việc sử dụng chuỗi găng và các vùng đệm thời gian giúp bảo vệ mốc hoàn thành và theo dõi mức độ tiêu hao dự phòng, nhưng yêu cầu tổ chức nguồn lực và cập nhật thông tin chặt chẽ [4].

1.1.3 Hạn chế của phương pháp truyền thống

Mặc dù vẫn là nền tảng của công tác lập và kiểm soát tiến độ, các phương pháp truyền thống có một số hạn chế khi áp dụng cho dự án quy mô lớn và biến động cao. Việc ước lượng thời lượng và xử lý thay đổi còn phụ thuộc nhiều vào kinh nghiệm; các ràng buộc về nguồn lực

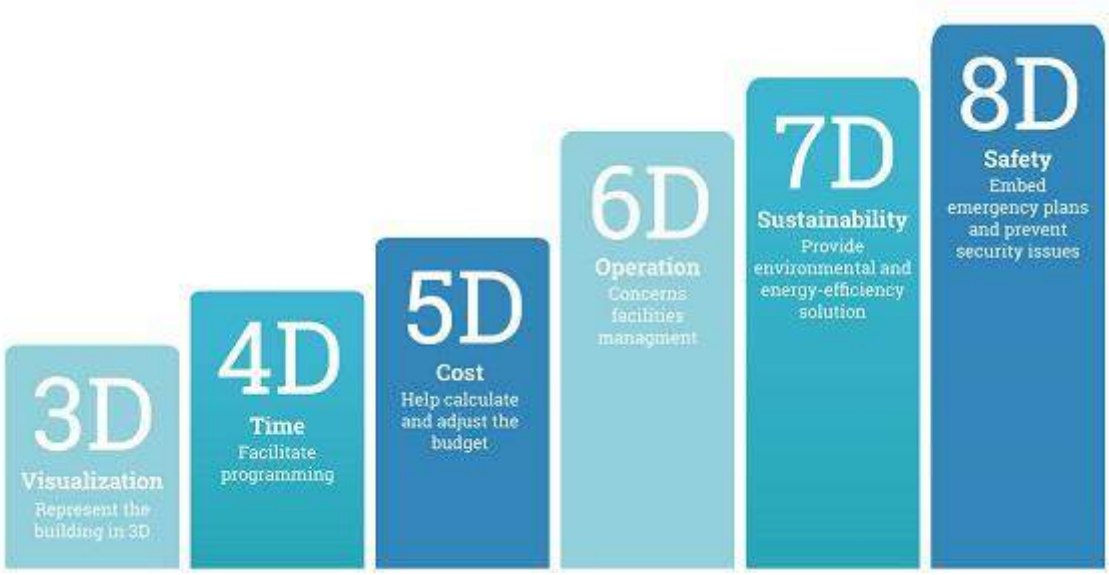
và không gian chưa luôn được phản ánh đầy đủ; thông tin tiến độ thường tách rời khỏi mô hình công trình và dữ liệu hiện trường; đồng thời quá trình cập nhật, chia sẻ và phân tích dữ liệu còn mang tính thủ công [1, 2, 4, 24].

Những hạn chế này làm giảm khả năng phản ứng theo thời gian thực và khai thác dữ liệu để dự báo hoặc hỗ trợ ra quyết định. Vì vậy, BIM 4D/5D, trí tuệ nhân tạo (AI), học máy và Internet vạn vật (IoT) ngày càng được nghiên cứu như các công nghệ bổ trợ nhằm tích hợp dữ liệu, trực quan hóa tiến độ và nâng cao năng lực phân tích trong quản lý dự án xây dựng [4, 41].

1.2 Tổng quan về BIM trong quản lý tiến độ

1.2.1 Khái niệm và cấp độ BIM

Mô hình thông tin công trình (Building Information Modeling – BIM) là phương pháp tạo lập và quản lý thông tin công trình trong môi trường số xuyên suốt vòng đời dự án. BIM kết hợp mô hình hình học với dữ liệu thuộc tính và thông tin quản lý, tạo một nền tảng dùng chung để các bên liên quan trao đổi, cập nhật và khai thác dữ liệu phục vụ thiết kế, thi công và vận hành [1, 28]. Nhờ đó, BIM hỗ trợ tăng cường phối hợp, giảm xung đột và cải thiện quản lý tiến độ, chi phí và nguồn lực [3, 28, 36, 40].

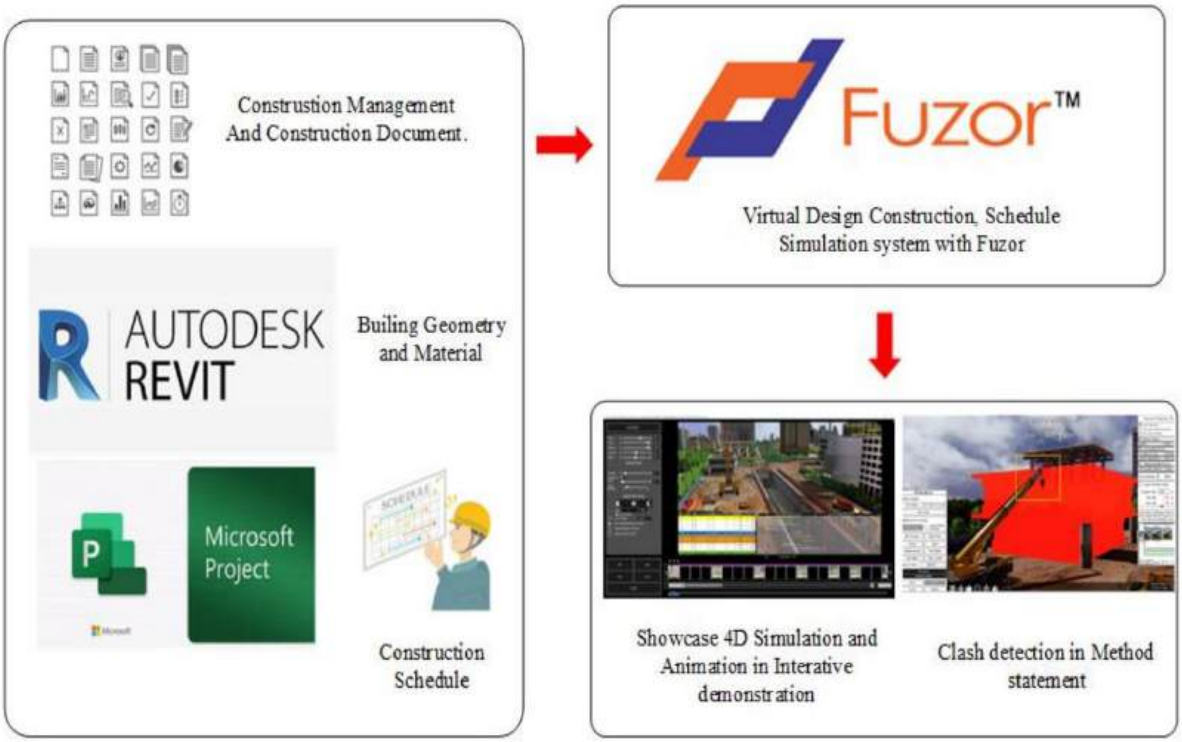


Hình 1: Các cấp độ của BIM

BIM cũng là nền tảng của các mô hình đa chiều (nD BIM), trong đó mô hình 3D có thể được liên kết với tiến độ (4D), chi phí (5D) và thông tin vận hành. Đối với nghiên cứu này, BIM 4D có ý nghĩa trực tiếp vì cho phép liên kết đối tượng công trình với hoạt động tiến độ, qua đó mô phỏng trình tự thi công và hỗ trợ phối hợp theo không gian – thời gian [28, 36].

1.2.2 BIM trong quản lý tiến độ (BIM 4D)

BIM 4D được hình thành bằng cách liên kết mô hình BIM 3D với kế hoạch tiến độ để mô phỏng quá trình thi công theo thời gian. Trong thực tiễn, các đối tượng của mô hình có thể được liên kết với hoạt động tiến độ thông qua những nền tảng như Navisworks hoặc Synchro Pro, tạo điều kiện cho việc kiểm tra trình tự, trực quan hóa trạng thái thi công và trao đổi thông tin giữa các bên [3, 4].



Hình 2: Mô phỏng 4D với Autodesk Revit, Microsoft Project và Fuzor [5]

So với việc chỉ sử dụng biểu đồ tiến độ, BIM 4D bổ sung chiều không gian cho công tác lập kế hoạch và kiểm soát, hỗ trợ nhận diện xung đột không gian – thời gian, đánh giá phương án thi công, quản lý logistics và nguồn lực, đồng thời so sánh tiến độ kế hoạch với tiến độ thực tế khi có dữ liệu hiện trường phù hợp [3, 5, 41]. BIM 4D vì vậy không thay thế các kỹ

thuật như CPM hay Gantt mà tạo một môi trường trực quan và tích hợp để nâng cao khả năng khai thác chúng.

1.2.3 Lợi ích của BIM trong quản lý tiến độ

Lợi ích chủ yếu của BIM trong quản lý tiến độ xuất phát từ khả năng liên kết dữ liệu thời gian với mô hình công trình. BIM 4D giúp trực quan hóa trình tự thi công, phát hiện sớm xung đột, hỗ trợ lập kế hoạch nguồn lực và logistics, đồng thời cải thiện theo dõi giữa trạng thái kế hoạch và thực tế [3-5, 27, 28, 36, 40].

Bên cạnh giá trị trực quan hóa, mô hình dùng chung còn hỗ trợ truyền đạt thông tin và phối hợp giữa các bên liên quan, qua đó tạo điều kiện cho việc ra quyết định dựa trên cùng một nguồn dữ liệu. Tuy nhiên, mức độ đạt được các lợi ích này phụ thuộc vào chất lượng dữ liệu, quy trình cập nhật, khả năng tương tác giữa các phần mềm và năng lực sử dụng BIM của tổ chức [1-5, 24, 27, 40].

1.2.4 Hạn chế của BIM

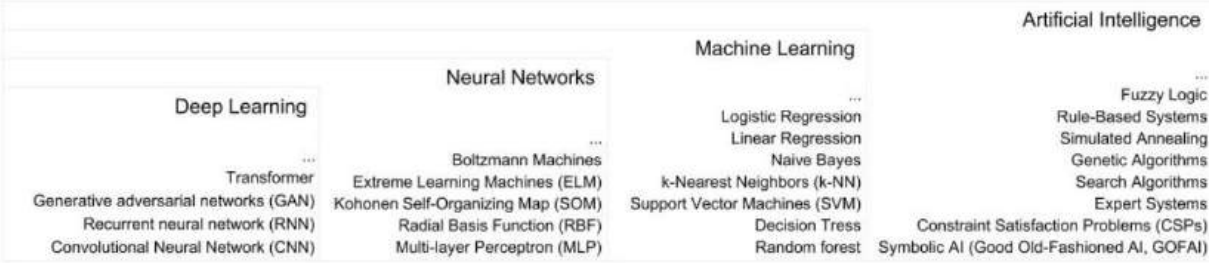
BIM 4D vẫn tồn tại các hạn chế về dữ liệu, khả năng tương tác và mức độ tự động hóa. Dữ liệu dự án thường được tạo lập từ nhiều phần mềm và theo các cấu trúc hoặc mức độ chi tiết khác nhau, khiến việc liên kết và đồng bộ mô hình với tiến độ còn cần nhiều thao tác thủ công. Khi thiết kế, nguồn lực hoặc điều kiện thi công thay đổi, quá trình cập nhật mô hình và lịch trình có thể không đủ nhanh để hỗ trợ quyết định theo thời gian thực [3, 4, 25, 27, 63].

Ngoài ra, BIM chủ yếu cung cấp nền tảng tích hợp và trực quan hóa thông tin, trong khi khả năng tự động phân tích dữ liệu, dự báo chậm tiến độ hoặc đề xuất phương án tối ưu còn hạn chế. Việc triển khai cũng chịu ảnh hưởng bởi chi phí, năng lực nhân lực, cơ chế chia sẻ dữ liệu, quyền sở hữu thông tin và trách nhiệm pháp lý [3, 4, 24, 25, 27, 40, 63]. Những hạn chế này tạo cơ sở cho việc xem xét tích hợp BIM với AI và GenAI.

1.3 Tổng quan về AI và AI tạo sinh (Generative AI)

1.3.1 Khái niệm trí tuệ nhân tạo (AI)

Trí tuệ nhân tạo (Artificial Intelligence – AI) là lĩnh vực phát triển các hệ thống có khả năng thực hiện những nhiệm vụ thường đòi hỏi trí tuệ con người, như học từ dữ liệu, nhận dạng, suy luận, giải quyết vấn đề và hỗ trợ ra quyết định [13, 20, 43, 62]. Trong xây dựng, AI được xem là nền tảng cho các công nghệ như học máy, học sâu, xử lý ngôn ngữ tự nhiên, thị giác máy tính và robot học.



Hình 3: Phân loại AI [51]

AI có thể hỗ trợ nhiều nhiệm vụ quản lý xây dựng như dự báo tiến độ, tối ưu hóa nguồn lực, phân tích tài liệu, giám sát hiện trường và hỗ trợ ra quyết định. Khả năng này đặc biệt có giá trị khi AI được kết hợp với BIM và các nguồn dữ liệu dự án để khai thác thông tin vượt ra ngoài chức năng trực quan hóa truyền thống [7, 14, 17, 43, 63].

Trong phạm vi đồ án, các nhánh AI được trình bày ở mức nền tảng để làm rõ nguồn gốc kỹ thuật của GenAI. Trọng tâm nghiên cứu được đặt vào GenAI và các mô hình ngôn ngữ lớn (LLMs), vì các công nghệ này mở rộng AI sang khả năng tạo sinh nội dung, tương tác bằng ngôn ngữ tự nhiên và tổng hợp tri thức theo ngữ cảnh [17, 53].

1.3.1.1 Học máy (Machine Learning – ML)

Học máy (Machine Learning – ML) phát triển các thuật toán có khả năng học mẫu từ dữ liệu để dự báo hoặc hỗ trợ quyết định mà không cần lập trình tường minh cho từng trường hợp. Trong quản lý tiến độ, ML có thể khai thác dữ liệu lịch sử và dữ liệu BIM để dự báo thời lượng, nhu cầu nguồn lực hoặc nguy cơ chậm tiến độ, qua đó hỗ trợ các hệ thống quản lý dựa trên dữ liệu [7, 14, 17, 43, 62, 63].

.

1.3.1.2 Học sâu (Deep Learning – DL)

Học sâu (Deep Learning – DL) là một nhánh của ML sử dụng mạng nơ-ron nhiều lớp để xử lý dữ liệu phức tạp như hình ảnh, văn bản và chuỗi thời gian. Các kiến trúc như CNN, LSTM và Transformer được ứng dụng trong nhận dạng, dự báo và xử lý ngôn ngữ; trong đó Transformer là nền tảng quan trọng của các mô hình ngôn ngữ lớn và GenAI [14, 17, 43, 53].

1.3.1.3 Xử lý ngôn ngữ tự nhiên (Natural Language Processing – NLP)

Xử lý ngôn ngữ tự nhiên (Natural Language Processing – NLP) cho phép máy tính phân tích, diễn giải và tạo ra ngôn ngữ của con người. Trong AEC, NLP có thể trích xuất thông tin từ hợp đồng, biên bản họp, báo cáo và hồ sơ dự án, hỗ trợ nhận diện công việc, ràng buộc và thông tin liên quan đến tiến độ từ dữ liệu phi cấu trúc [7, 14, 15, 47].

1.3.1.4 Thị giác máy tính (Computer Vision – CV)

Thị giác máy tính (Computer Vision – CV) khai thác hình ảnh và video để nhận diện đối tượng và trạng thái hiện trường. Trong xây dựng, dữ liệu từ camera hoặc UAV có thể được đối chiếu với BIM và tiến độ để hỗ trợ giám sát mức độ hoàn thành, kiểm soát chất lượng và an toàn; tuy nhiên, hiệu quả phụ thuộc vào điều kiện công trường, dữ liệu huấn luyện và năng lực tính toán [7, 14, 17, 20, 56].

1.3.1.5 Robot học

Robot học (Robotics) kết hợp AI, cảm biến, CV và BIM để hỗ trợ tự động hóa một số công tác thi công hoặc thu thập dữ liệu tại hiện trường. Mặc dù tiềm năng về năng suất và an toàn là đáng kể, việc triển khai rộng vẫn bị hạn chế bởi chi phí, môi trường công trường biến động và yêu cầu tích hợp công nghệ [20, 41, 63].

1.3.2 Khái niệm AI tạo sinh (Generative AI – GenAI)

AI tạo sinh (Generative Artificial Intelligence – GenAI) là một nhánh của AI có khả năng tạo ra nội dung mới như văn bản, hình ảnh, mô hình, mã lập trình hoặc các dạng dữ liệu

khác dựa trên dữ liệu huấn luyện và yêu cầu đầu vào. Khác với các hệ thống AI chủ yếu tập trung vào phân loại, nhận dạng hoặc dự báo, GenAI có thể tạo sinh và tổng hợp nội dung theo ngữ cảnh, qua đó hỗ trợ quá trình phân tích và ra quyết định [47].

Sự phát triển của GenAI gắn chặt với các mô hình ngôn ngữ lớn (Large Language Models – LLMs) dựa trên kiến trúc Transformer, học sâu và xử lý ngôn ngữ tự nhiên. Trong lĩnh vực AEC, các mô hình này có thể khai thác dữ liệu phi cấu trúc như văn bản, hồ sơ dự án và tài liệu kỹ thuật để hỗ trợ tổng hợp thông tin, lập kế hoạch, đánh giá rủi ro và tương tác với các hệ thống số [47, 48].

1.3.3 Khả năng của GenAI trong quản lý tiến độ

Trong quản lý tiến độ xây dựng, GenAI có thể hỗ trợ nhiều nhiệm vụ ở cấp độ thông tin và quyết định. Các nhóm khả năng chính bao gồm hỗ trợ lập kế hoạch, xem xét logic và rủi ro, tương tác với dữ liệu BIM bằng ngôn ngữ tự nhiên, và tự động hóa một phần công việc xử lý tài liệu [6, 7, 12, 14, 17, 21, 43, 47, 48, 56, 63].

1.3.3.1 Hỗ trợ tự động lập kế hoạch và xây dựng tiến độ thi công

Các mô hình LLM có thể hỗ trợ đề xuất cấu trúc phân rã công việc (WBS), trình tự thi công và tiến độ ban đầu từ thông tin dự án. Khi kết hợp với BIM và dữ liệu lịch sử, GenAI có thể cung cấp cơ sở tham khảo cho việc ước lượng thời lượng và nhu cầu nguồn lực, nhưng kế hoạch vẫn cần được chuyên gia hiệu chỉnh theo điều kiện thực tế [7, 17, 43].

1.3.3.2 Tối ưu hóa trình tự thi công và phân bổ nguồn lực

GenAI và các phương pháp AI có thể xem xét quan hệ phụ thuộc, điều kiện thi công và thông tin nguồn lực để hỗ trợ phân tích phương án tổ chức thi công. Vai trò phù hợp của GenAI là tạo và so sánh các phương án, trong khi việc lựa chọn phương án cần dựa trên dữ liệu dự án, mô hình tính toán chuyên biệt và đánh giá của người có chuyên môn [7, 12, 47, 48].

1.3.3.3 Kiểm tra logic tiến độ và dự báo rủi ro

Thông qua dữ liệu từ tiến độ, báo cáo hiện trường, biên bản họp và hồ sơ dự án, GenAI có thể hỗ trợ phát hiện quan hệ chưa hợp lý, nhận diện ràng buộc và tổng hợp các yếu tố có khả

năng ảnh hưởng đến tiến độ. Khả năng phân tích kịch bản có thể hỗ trợ chuẩn bị phương án ứng phó, nhưng không thay thế việc kiểm chứng bằng dữ liệu và phương pháp phân tích tiến độ phù hợp [7, 12, 14, 17, 21, 48].

1.3.3.4 Tăng cường tương tác với BIM và hỗ trợ ra quyết định

Khi được kết nối với BIM, các mô hình ngôn ngữ lớn có thể tạo giao diện tương tác bằng ngôn ngữ tự nhiên, cho phép người dùng truy vấn thông tin và yêu cầu tổng hợp dữ liệu mà không cần thao tác kỹ thuật phức tạp. Khả năng này có thể cải thiện khả năng tiếp cận thông tin và hỗ trợ phân tích các kịch bản thay đổi về thiết kế, nguồn lực hoặc điều kiện thi công [6, 47, 48, 56, 63].

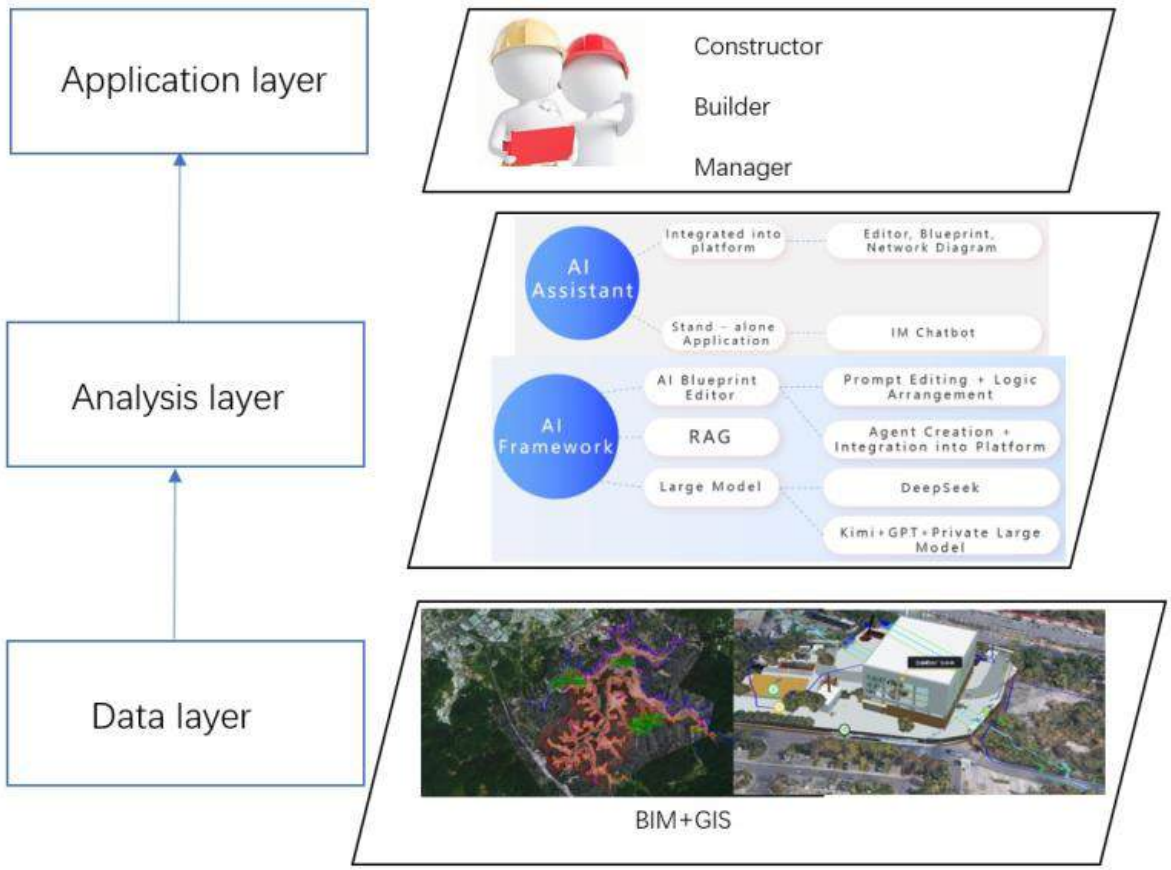
1.3.3.5 Hỗ trợ quản lý tri thức và tự động hóa tài liệu

GenAI còn có thể hỗ trợ tóm tắt biên bản họp, phân tích hợp đồng, truy xuất thông tin và chuẩn bị báo cáo. Việc khai thác dữ liệu phi cấu trúc giúp giảm khối lượng xử lý thông tin thủ công, nhưng đầu ra cần được đối chiếu với nguồn gốc dữ liệu và được người có chuyên môn xác nhận trước khi sử dụng cho các quyết định quan trọng [7, 12, 47, 48].

1.4 Tích hợp BIM và AI/GenAI trong xây dựng

1.4.1 Tích hợp BIM–AI

Tích hợp BIM–AI kết hợp vai trò của BIM như một nền tảng dữ liệu số với khả năng phân tích, dự báo và tối ưu hóa của AI. Trong quản lý tiến độ, dữ liệu BIM có thể được liên kết với dữ liệu lịch sử và dữ liệu hiện trường để hỗ trợ dự báo nguy cơ chậm tiến độ, đánh giá phương án thi công, tối ưu hóa nguồn lực và cập nhật kế hoạch khi có thay đổi [56].

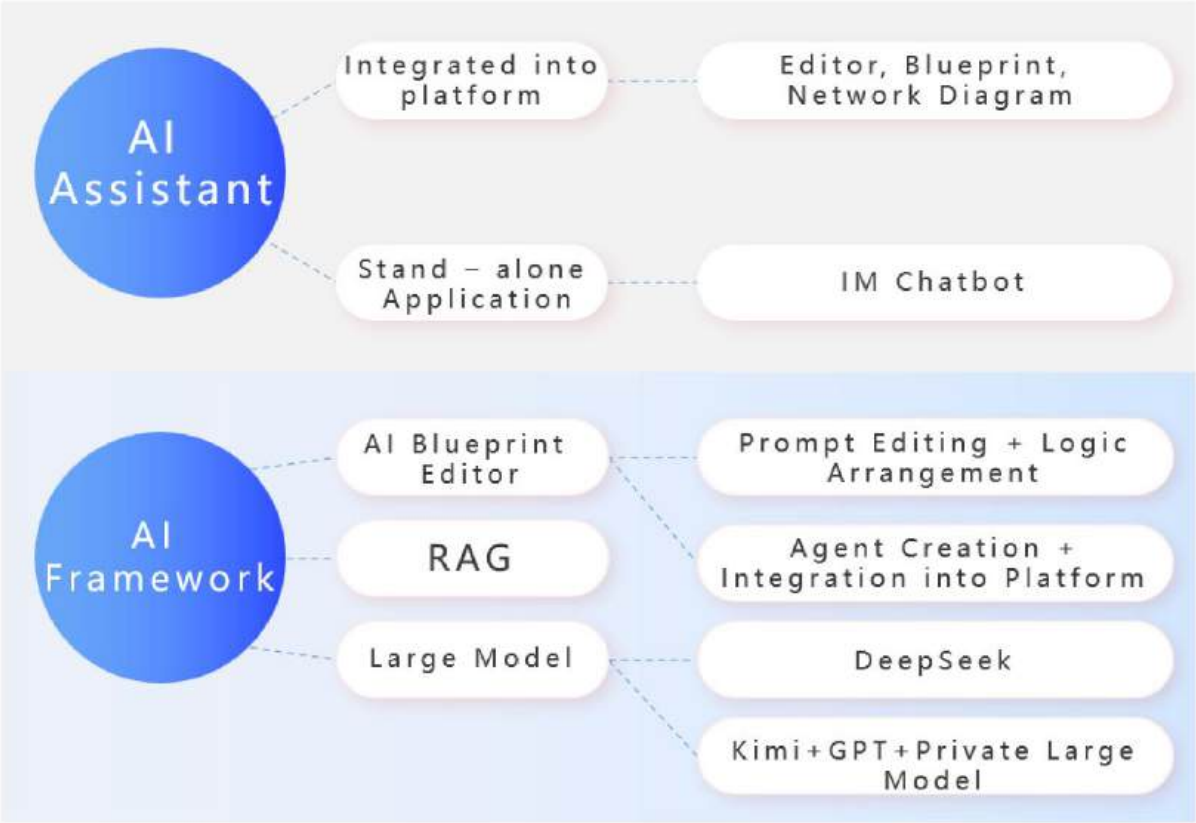


Hình 4: Cấu trúc của khung quản lý tiến độ được đề xuất [54]

Sự kết hợp này cũng hỗ trợ phân tích kịch bản và phối hợp giữa các bên thông qua môi trường dữ liệu chung. Tuy nhiên, giá trị của BIM–AI phụ thuộc vào chuẩn hóa dữ liệu, khả năng tương tác giữa các nền tảng, bảo mật thông tin và năng lực của người sử dụng. Đây là những điều kiện nền tảng cần được giải quyết trước khi mở rộng sang các ứng dụng GenAI có mức độ tự động hóa cao hơn [56].

1.4.2 Mô hình tích hợp BIM–GenAI

Các nghiên cứu trước đây có thể khái quát tích hợp BIM–AI thành ba hướng chính, phản ánh các chức năng từ thu thập dữ liệu, phân tích thông tin đến tự động hóa một số tác vụ. Ba mô hình này cung cấp cơ sở để xem xét cách GenAI có thể được bổ sung vào chuỗi xử lý BIM trong quản lý tiến độ [54].



Hình 5: Tích hợp BIM và AI để quản lý tiến độ linh hoạt [54]

1.4.2.1 Mô hình tích hợp AI để thu thập và cập nhật dữ liệu BIM theo thời gian thực

Mô hình thứ nhất sử dụng ML và CV để thu thập, nhận diện và cập nhật dữ liệu từ hình ảnh, video, cảm biến hoặc đám mây điểm vào mô hình BIM. Cách tiếp cận này giúp mô hình phản ánh trạng thái hiện trường kịp thời hơn và giảm một phần công việc cập nhật thủ công [54].

1.4.2.2 Mô hình AI hỗ trợ quản lý và phân tích dữ liệu BIM

Mô hình thứ hai tập trung khai thác dữ liệu BIM bằng AI để phát hiện xung đột, phân tích hiệu suất, dự báo, tối ưu hóa và hỗ trợ ra quyết định. Đối với GenAI, lớp phân tích có thể được mở rộng bằng khả năng tổng hợp thông tin và tương tác ngôn ngữ, nhưng vẫn cần dữ liệu BIM có cấu trúc và cơ chế kiểm chứng [54].

1.4.2.3 Mô hình tự động hóa các tác vụ dựa trên BIM bằng AI

Mô hình thứ ba hướng tới tự động hóa các tác vụ dựa trên BIM thông qua AI và robot. Trong quản lý tiến độ, ý nghĩa của mô hình này nằm ở khả năng kết nối thông tin kế hoạch với hành động hoặc phản hồi tại hiện trường; tuy nhiên, mức độ tự động hóa phải phù hợp với rủi ro, điều kiện công trường và thẩm quyền của con người [54].

1.4.3 Ứng dụng tích hợp trong quản lý dự án

Các ứng dụng tích hợp BIM–AI/GenAI trong quản lý dự án tập trung vào một số nhóm chức năng có liên quan trực tiếp đến tiến độ: hỗ trợ lập tiến độ, giám sát hiện trường, dự báo chậm trễ, tối ưu hóa nguồn lực và trình tự, và phân tích kịch bản. BIM cung cấp dữ liệu hình học và thông tin dự án, trong khi AI và GenAI bổ sung các công cụ phân tích, tối ưu hóa, nhận dạng và tương tác.

1.4.3.1 Tự động lập tiến độ xây dựng (Autonomous Scheduling)

Trong lập tiến độ, AI và GenAI có thể khai thác dữ liệu BIM và dữ liệu lịch sử để hỗ trợ xây dựng WBS, trình tự, thời lượng và nhu cầu nguồn lực ban đầu. Đầu ra tạo sinh phù hợp hơn với vai trò đề xuất hoặc khởi tạo để chuyên gia rà soát, thay vì được sử dụng như một tiến độ cam kết tự động [17, 43].

1.4.3.2 Giám sát tiến độ thời gian thực dựa trên BIM và Thị giác máy tính

BIM kết hợp với CV cho phép nhận diện trạng thái thi công từ hình ảnh, video hoặc UAV và đối chiếu với mô hình hoặc kế hoạch. Khi quy trình thu thập và liên kết dữ liệu được thiết kế phù hợp, cách tiếp cận này có thể giảm khối lượng kiểm tra thủ công và hỗ trợ cập nhật tiến độ kịp thời hơn [51, 54].

1.4.3.3 Dự báo và giảm thiểu rủi ro chậm tiến độ

AI có thể phân tích dữ liệu lịch sử và hiện trường để hỗ trợ nhận diện nguy cơ chậm tiến độ và đánh giá phương án ứng phó. Các thuật toán tối ưu, học tăng cường và phương pháp đa mục tiêu cũng có thể được tích hợp với BIM để xem xét đồng thời trình tự, nguồn lực, thời gian và các mục tiêu quản lý khác [54, 56].

1.4.3.4 Tối ưu hóa nguồn lực và trình tự thi công

BIM cung cấp dữ liệu về đối tượng, không gian và công việc, trong khi các thuật toán AI hỗ trợ tìm kiếm phương án phân bổ nguồn lực và trình tự thi công. Giá trị của tối ưu hóa phụ thuộc vào việc mô hình hóa đúng các ràng buộc thực tế và sử dụng các mô-đun tính toán phù hợp, thay vì chỉ dựa vào khả năng tạo sinh của LLM [17, 30].

1.4.3.5 Phân tích kịch bản và hỗ trợ ra quyết định (What-if Analysis)

Phân tích kịch bản (what-if analysis) cho phép đánh giá tác động của thay đổi thiết kế, thiếu hụt vật tư, điều kiện thi công hoặc các yếu tố bất định lên tiến độ. BIM cung cấp mô hình dự án, còn AI hỗ trợ xử lý nhiều kịch bản và tổng hợp kết quả để nhà quản lý xem xét các phương án dự phòng [56].

1.4.4 Lợi ích của tích hợp BIM–GenAI

Tích hợp BIM–GenAI có tiềm năng nâng cao khả năng khai thác dữ liệu BIM và giảm thời gian xử lý thông tin trong quản lý tiến độ. Các lợi ích chính bao gồm hỗ trợ lập và rà soát tiến độ, tăng khả năng nhận diện rủi ro, phân tích phương án, truy vấn thông tin bằng ngôn ngữ tự nhiên và cải thiện trao đổi thông tin giữa các bên liên quan [3, 5, 17, 27, 42, 51, 54].

Tuy nhiên, các lợi ích không nên được xem là tự động đạt được chỉ nhờ áp dụng công nghệ. Hiệu quả thực tế phụ thuộc vào dữ liệu, quy trình, năng lực người dùng, mức độ tích hợp với hệ thống hiện hữu và cơ chế kiểm chứng đầu ra. Vì vậy, BIM–GenAI cần được triển khai theo các trường hợp sử dụng cụ thể và được đánh giá bằng dữ liệu thực tế trước khi mở rộng quy mô [17, 27, 42, 54].

1.4.5 Thách thức và rào cản

Mặc dù có tiềm năng hỗ trợ tự động hóa và ra quyết định, tích hợp BIM–AI/GenAI vẫn đối mặt với các nhóm thách thức chính về dữ liệu và khả năng tương tác, chất lượng và tính sẵn có của dữ liệu, giới hạn của mô hình, năng lực nhân lực, chi phí đầu tư, bảo mật và trách nhiệm quản trị.

Trước hết, BIM và các nền tảng AI thường sử dụng cấu trúc dữ liệu và môi trường phần mềm khác nhau. Việc chuyển đổi dữ liệu BIM sang dạng có thể khai thác bởi AI, đồng bộ với các phần mềm tiến độ và duy trì dữ liệu theo thời gian thực vẫn thiếu các chuỗi công cụ và quy trình chuẩn hóa thống nhất. Bên cạnh đó, dữ liệu xây dựng thường phân tán, không đồng nhất và thiếu gán nhãn, làm hạn chế độ tin cậy và khả năng tổng quát hóa của mô hình [41, 48, 51, 53].

Các mô hình AI và GenAI cũng có giới hạn trong xử lý dữ liệu đa phương thức, hiểu ngữ cảnh chuyên ngành và tích hợp với các phần mềm BIM thông qua API hoặc định dạng độc quyền. Kết quả đầu ra vì vậy cần được kiểm tra, đặc biệt đối với các quyết định có ảnh hưởng trực tiếp đến tiến độ, hợp đồng hoặc trách nhiệm của các bên [48].

Về tổ chức, triển khai BIM–AI đòi hỏi nguồn nhân lực có hiểu biết đồng thời về xây dựng, BIM và dữ liệu, trong khi lực lượng có kỹ năng kết hợp này còn hạn chế. Chi phí phần mềm, hạ tầng tính toán, lưu trữ, thiết bị thu thập dữ liệu, đào tạo và duy trì hệ thống cũng có thể tạo rào cản đáng kể, đặc biệt đối với các doanh nghiệp có nguồn lực hạn chế [40, 41, 56].

Bảo mật và quyền riêng tư dữ liệu là một yêu cầu quan trọng khi dữ liệu thiết kế, tiến độ, tài chính hoặc vận hành được xử lý bởi các nền tảng AI, đặc biệt khi dữ liệu được chuyển ra ngoài hệ thống nội bộ hoặc sử dụng bởi dịch vụ bên thứ ba. Vì vậy, cần thiết lập cơ chế quản trị dữ liệu, kiểm soát truy cập, an ninh mạng, quy định về quyền sử dụng dữ liệu và trách nhiệm giải trình ngay từ quá trình thiết kế hệ thống.

1.5 Kinh nghiệm nghiên cứu Trong nước và Ngoài nước

1.5.1 Kinh nghiệm từ các nước phát triển

Kinh nghiệm từ các nước phát triển cho thấy triển khai BIM và AI hiệu quả thường gắn với ba điều kiện: chính sách và tiêu chuẩn rõ ràng, đầu tư vào năng lực con người, và nền tảng dữ liệu có cấu trúc. Vương quốc Anh và Singapore sử dụng chính sách, tiêu chuẩn và chương trình số hóa để thúc đẩy áp dụng BIM, trong khi kinh nghiệm triển khai BIM–AI nhấn mạnh rằng dữ liệu nhất quán và chiến lược quản lý dữ liệu là điều kiện tiên quyết để các mô hình AI tạo ra giá trị [56, 64].

1.5.2 Kinh nghiệm từ các nước đang phát triển

Tại các nước đang phát triển, kinh nghiệm cho thấy việc áp dụng BIM cần đi kèm với thí điểm, hỗ trợ đào tạo và lộ trình phù hợp với năng lực tổ chức. Trường hợp Malaysia và một số quốc gia ASEAN cho thấy mức độ áp dụng BIM không đồng nghĩa với mức độ trưởng thành trong khai thác dữ liệu và quản lý tích hợp; vì vậy, việc mở rộng công nghệ cần dựa trên mức độ sẵn sàng thực tế của doanh nghiệp và hệ sinh thái dự án [64, 65].

1.5.3 Thực trạng tại Việt Nam

Tại Việt Nam, khung chính sách về BIM đã từng bước được hình thành thông qua các quyết định, nghị định và hướng dẫn thúc đẩy áp dụng BIM trong hoạt động xây dựng. Các chính sách này tạo nền tảng quan trọng cho chuyển đổi số, nhưng nghiên cứu trong nước cho thấy yêu cầu pháp lý cần được đi kèm với năng lực triển khai, tiêu chuẩn dữ liệu, nguồn nhân lực và quy trình quản lý phù hợp để BIM tạo ra giá trị trong thực tiễn [66, 67].

Mức độ ứng dụng BIM trong quản lý tiến độ giữa các doanh nghiệp và dự án vẫn chưa đồng đều. Khả năng khai thác BIM 4D/5D, tích hợp dữ liệu và sử dụng BIM như một nền tảng quản lý thay vì chỉ phục vụ mô hình hóa còn bị hạn chế bởi chi phí đầu tư, thiếu nhân lực có kỹ năng số và sự phân tán trong quy trình quản lý dự án [40, 66, 68].

Nghiên cứu và ứng dụng AI/GenAI trong xây dựng tại Việt Nam đang ở giai đoạn phát triển ban đầu. Một số cơ sở đào tạo, nghiên cứu và doanh nghiệp đã bắt đầu xem xét AI cho phân tích dữ liệu, giám sát, quản lý rủi ro và hỗ trợ các quy trình BIM; tuy nhiên, việc triển khai rộng cần thêm bằng chứng thực nghiệm, dữ liệu phù hợp và nguồn nhân lực có năng lực kết hợp giữa chuyên môn xây dựng và công nghệ số [69, 70].

1.5.4 Những thách thức chính tại Việt Nam

Mặc dù BIM và AI mang lại nhiều tiềm năng cho ngành xây dựng, quá trình triển khai tại Việt Nam vẫn còn đối mặt với một số rào cản đáng kể.

- **Nguồn nhân lực**: Đội ngũ kỹ sư và nhà quản lý chưa đồng đều về năng lực số; một bộ phận nhân sự còn e ngại thay đổi, trong khi chương trình đào tạo tại nhiều cơ sở giáo dục chưa theo kịp sự phát triển nhanh của BIM và AI, dẫn đến thiếu hụt nhân lực có chuyên môn phù hợp [69, 70].
- **Chi phí đầu tư**: Việc triển khai BIM và AI đòi hỏi chi phí đáng kể cho bản quyền phần mềm, hạ tầng công nghệ, thiết bị tính toán hiệu năng cao (GPU) và đào tạo nhân lực, tạo áp lực tài chính đối với nhiều doanh nghiệp xây dựng, đặc biệt là doanh nghiệp vừa và nhỏ [69, 70].
- **Thiếu tiêu chuẩn và dữ liệu**: Hệ thống tiêu chuẩn về dữ liệu BIM, quy trình chia sẻ thông tin và cơ chế phối hợp giữa các bên liên quan vẫn chưa được hoàn thiện. Bên cạnh đó, dữ liệu dự án còn phân tán và chưa được chuẩn hóa, làm hạn chế khả năng khai thác hiệu quả của các mô hình AI [69, 70].

Những rào cản này cho thấy việc thúc đẩy ứng dụng BIM và AI tại Việt Nam không chỉ đòi hỏi đầu tư về công nghệ mà còn cần hoàn thiện khung tiêu chuẩn, phát triển nguồn nhân lực và xây dựng cơ sở dữ liệu số thống nhất để tạo nền tảng cho các giải pháp quản lý xây dựng thông minh.

CHƯƠNG 2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1 Tổng quan phương pháp nghiên cứu đa tiêu chí (MCDM)

Ra quyết định đa tiêu chí (Multi-Criteria Decision Making – MCDM) là nhóm phương pháp hỗ trợ cấu trúc hóa các bài toán ra quyết định có nhiều tiêu chí, cho phép kết hợp các thông tin định tính và định lượng để so sánh và xác định mức độ ưu tiên giữa các phương án [71]. Những nghiên cứu nền tảng đầu tiên liên quan đến MCDM có thể được truy nguyên từ công trình của Benjamin Franklin thông qua khái niệm "moral algebra". Kể từ những năm 1950, nhiều nhà nghiên cứu đã tập trung phát triển các phương pháp MCDM nhằm xây dựng các mô hình toán học hỗ trợ cấu trúc hóa bài toán ra quyết định và xác định mức độ ưu tiên giữa các phương án lựa chọn.

MCDM cho phép xem xét đồng thời nhiều tiêu chí định tính và định lượng trong quá trình lựa chọn phương án phù hợp. Trong thực tiễn, các tiêu chí như chi phí, chất lượng, thời gian hay hiệu quả vận hành thường được sử dụng phổ biến trong các bài toán ra quyết định [72]. Ngoài ra, mức độ quan trọng của từng tiêu chí thường được xác định thông qua ý kiến chuyên gia, trong đó mỗi tiêu chí được gán một trọng số tương ứng với vai trò của nó trong từng bối cảnh nghiên cứu cụ thể.

Hiện nay, MCDM được ứng dụng rộng rãi không chỉ trong các hoạt động thường nhật mà còn trong các bài toán có mức độ phức tạp cao liên quan đến đầu tư, quản lý và hoạch định chiến lược. Đối với các bài toán ra quyết định phức tạp, việc đánh giá cần được thực hiện thông qua một quy trình có cấu trúc và các công cụ hỗ trợ phù hợp nhằm nâng cao tính minh bạch, nhất quán và khả năng truy vết của quá trình ra quyết định. Trên thực tế, MCDM đóng vai trò quan trọng trong việc hỗ trợ cấu trúc hóa vấn đề, lập kế hoạch và lựa chọn phương án phù hợp dựa trên hệ thống ưu tiên của người ra quyết định [72].

Trong vài thập kỷ gần đây, nhiều phương pháp MCDM đã được phát triển và cải tiến với những đặc điểm khác nhau về thuật toán, phương pháp xác định trọng số, cách biểu diễn mức độ ưu tiên, khả năng xử lý dữ liệu không chắc chắn và kỹ thuật tổng hợp dữ liệu [73]. Mỗi phương pháp đều có những ưu điểm và hạn chế riêng tùy thuộc vào đặc điểm của bài toán nghiên cứu. Chẳng hạn, phương pháp Phân tích thứ bậc (Analytic Hierarchy Process – AHP) có ưu điểm là dễ áp dụng và dễ diễn giải, tuy nhiên phương pháp này còn gặp hạn chế khi tồn tại sự phụ thuộc giữa các tiêu chí và phương án. Trong khi đó, Lý thuyết tập mờ (Fuzzy Set

Theory – FST) cho phép xử lý dữ liệu không chính xác hoặc mang tính mơ hồ, mặc dù việc xây dựng và triển khai mô hình tương đối phức tạp. Nhìn chung, ưu điểm nổi bật của các phương pháp MCDM là khả năng xem xét đồng thời các yếu tố mâu thuẫn và không cân xứng trong quá trình ra quyết định. Tuy nhiên, kết quả đạt được thường là sự thỏa hiệp giữa nhiều mục tiêu khác nhau, do đó khó đạt được một nghiệm tối ưu tuyệt đối [74].



Hình 6: Các bước thực hiện MCDM [75]

Trong lĩnh vực kỹ thuật và quản lý xây dựng, MCDM được ứng dụng rộng rãi vì các quyết định xây dựng mang tính đa chiều điển hình. Quá trình ra quyết định trong lĩnh vực kỹ thuật thường mang tính phức tạp do phải xem xét đồng thời nhiều tiêu chí khác nhau và chịu ảnh hưởng bởi tính chủ quan trong quá trình đánh giá. Trong thực tế, các bài toán kỹ thuật không chỉ liên quan đến yếu tố kinh tế mà còn bao gồm các khía cạnh về kỹ thuật, môi trường, xã hội và hiệu quả vận hành. Vì vậy, việc lựa chọn phương án phù hợp đòi hỏi phải có một phương pháp hỗ trợ ra quyết định mang tính khách quan, minh bạch và có hệ thống [75].

Trong bối cảnh đó, phương pháp Ra quyết định đa tiêu chí (Multi-Criteria Decision Making – MCDM) được xem là một công cụ hiệu quả nhằm hỗ trợ đánh giá và lựa chọn phương án phù hợp dựa trên nhiều tiêu chí khác nhau. Phương pháp này cho phép tích hợp đồng thời các yếu tố định tính và định lượng, đồng thời hỗ trợ xử lý các mối quan hệ phức tạp giữa các tiêu chí trong quá trình ra quyết định [75].

Kể từ những năm 1970, các phương pháp MCDM đã được nghiên cứu, phát triển và ứng dụng rộng rãi trong nhiều lĩnh vực khác nhau, đặc biệt là kỹ thuật xây dựng và phát triển bền vững. Nhiều phương pháp mới đã được đề xuất và các phương pháp hiện có cũng liên tục được cải tiến nhằm nâng cao độ chính xác và khả năng ứng dụng thực tiễn. Điều này cho thấy

MCDM vẫn là một hướng nghiên cứu quan trọng và có giá trị cao trong việc hỗ trợ giải quyết các bài toán ra quyết định phức tạp hiện nay [75].

2.2 Phương pháp AHP

Phương pháp Phân tích thứ bậc (Analytic Hierarchy Process – AHP) là một trong những phương pháp ra quyết định đa tiêu chí (Multi-Criteria Decision Making – MCDM) được sử dụng phổ biến trong nghiên cứu và thực tiễn quản lý. Phương pháp này được phát triển bởi Thomas L. Saaty vào những năm 1970 nhằm hỗ trợ giải quyết các bài toán ra quyết định phức tạp có sự tham gia của nhiều tiêu chí khác nhau [76] . Điểm nổi bật của AHP là khả năng chuyển đổi các nhận định định tính của chuyên gia thành các giá trị định lượng thông qua kỹ thuật so sánh cặp và cấu trúc phân cấp, từ đó xác định mức độ ưu tiên tương đối giữa các tiêu chí hoặc phương án một cách có hệ thống và nhất quán. Trong quá trình phát triển, AHP đã được mở rộng thành nhiều biến thể như ANP (Analytic Network Process) và Fuzzy AHP nhằm xử lý các mối quan hệ phụ thuộc giữa các yếu tố cũng như giảm thiểu sự không chắc chắn trong đánh giá của chuyên gia.

Nhờ tính linh hoạt, khả năng diễn giải rõ ràng và cơ chế kiểm tra tính nhất quán của các phép so sánh cặp, AHP được ứng dụng rộng rãi trong nhiều lĩnh vực nghiên cứu. Trong ngành xây dựng, phương pháp này đã được sử dụng hiệu quả để đánh giá rủi ro, lựa chọn nhà thầu, xác định các yếu tố thành công của dự án, hỗ trợ triển khai BIM và phân tích các tiêu chí liên quan đến hiệu quả quản lý dự án [77]. Các nghiên cứu tổng quan cũng cho thấy AHP là công cụ được sử dụng thường xuyên trong các nghiên cứu về quản lý xây dựng, đặc biệt đối với các vấn đề đòi hỏi sự đánh đổi giữa nhiều tiêu chí khác nhau.

Trong nghiên cứu này, AHP được sử dụng để xác định mức độ ưu tiên tương đối của các giải pháp tích hợp BIM–GenAI trong quản lý tiến độ xây dựng dựa trên đánh giá của chuyên gia. Thông qua so sánh cặp, phương pháp cho phép lượng hóa mức độ quan trọng tương đối của từng giải pháp, từ đó xác định những giải pháp được chuyên gia đánh giá cần được ưu tiên xem xét trong quá trình xây dựng khung triển khai.

Quy trình áp dụng AHP trong nghiên cứu được thực hiện thông qua ba bước chính:

Bước 1: Xây dựng ma trận so sánh cặp

Dữ liệu đánh giá được thu thập thông qua bảng câu hỏi khảo sát dành cho các chuyên gia trong lĩnh vực xây dựng, BIM và chuyển đổi số. Các chuyên gia được yêu cầu thực hiện so sánh cặp giữa các giải pháp tích hợp BIM và AI tạo sinh đã được xác định ở giai đoạn trước nhằm đánh giá mức độ quan trọng tương đối của từng giải pháp đối với mục tiêu nâng cao hiệu quả quản lý tiến độ xây dựng.

Việc đánh giá được thực hiện theo thang đo 9 mức của Saaty [76], trong đó giá trị 1 thể hiện hai giải pháp có mức độ quan trọng ngang nhau, còn giá trị 9 biểu thị một giải pháp có mức độ quan trọng vượt trội so với giải pháp còn lại. Các giá trị trung gian phản ánh các mức độ ưu tiên khác nhau giữa hai giải pháp được so sánh.

Kết quả so sánh cặp của từng chuyên gia được tổng hợp thành một ma trận so sánh cặp riêng biệt, ký hiệu là P^k. Ma trận này phản ánh nhận định của chuyên gia về mức độ ưu tiên tương đối giữa các giải pháp tích hợp BIM–GenAI, đồng thời là cơ sở để tính toán trọng số ưu tiên và đánh giá tính nhất quán của các phán đoán trong các bước phân tích tiếp theo. Ma trận so sánh cặp được biểu diễn theo Công thức (1.1)

$$\mathrm{p^k} = \left(\mathrm{p_{ij}^k}\right), \quad \text{with i, j} = 1,2,3,4,5,6,7,8,9,10 \text{ (1.1)}$$

Trong đó $p_{ij} > 0$; $p_{ji} = \frac{1}{p_{ij}}$ với mọi $p_{ij} = 1,\ \forall i = j$. Mỗi phần tử phản ánh mức độ mà chuyên gia đánh giá giải pháp Si quan trọng hơn giải pháp

Sau khi thu thập đầy đủ phản hồi của 14 chuyên gia, ma trận so sánh nhóm tổng hợp $P^k = \left(p_{ij}^k\right)_{10\times10}$, được xác định bằng cách tính trung bình nhân (geometric mean) của các ma trận riêng lẻ, như được trình bày trong công thức (1.2):

$$P_{ij} = \sqrt[14]{\prod_{k=1}^{14} p_{ij}^k}, \quad \text{with } i,j = 1,2,3,4,5,6,7,8,9,10 \qquad (1.2)$$

Phương pháp trung bình nhân được sử dụng để tổng hợp các đánh giá cá nhân thành ma trận so sánh cặp nhóm, phù hợp với bản chất tỷ lệ của các phép so sánh trong AHP.

Bước 2: Tính toán trọng số của các giải pháp.

Ma trận so sánh tổng hợp được chuẩn hóa để tính mức độ ưu tiên tương đối của từng giải pháp. Ma trận chuẩn hóa Q=(qij) được xác định như sau:

$$q_{ij} = \frac{P_{ij}}{\sum_{i=1}^{10} P_{ij}} \quad \text{với } i,j = 1,2,3,4,5,6,7,8,9,10 \quad (1.3)$$

Vector trọng số *W=(Wi)* của mười giải pháp sau đó được tính bằng giá trị trung bình của từng hàng trong ma trận chuẩn hóa:

$$W_i = \frac{\sum_{j=1}^{10} q_{ij}}{10} \qquad \text{với } i = 1,2,3,4,5,6,7,8,9,10 \qquad (1.4)$$

Bước 3: Kiểm tra tính nhất quán

Để đánh giá tính nhất quán logic của ma trận so sánh cặp tổng hợp, tỷ số nhất quán (CR) được tính toán. Giá trị CR nhỏ hơn 0,1 thường được xem là chấp nhận được [76]. Trước hết, vector riêng chính được xác định theo công thức (1.5)

$$\lambda = (\lambda_i) = \frac{\mu_i}{W_i} \ (1.5)$$

Trong đó: $\mu_i = \sum_{i=1}^{10}\left(W_i \times \sum_{j=1}^{10} P_{ij}\right)$ với $i = 1,2,3,4,5,6,7,8,9,10$

Tiếp theo, giá trị riêng lớn nhất λmax được xác định theo công thức (1.6)

$$\lambda_{max} = \frac{\sum_{i=1}^{10} \lambda_i}{10} \text{ với } i = 1,2,3,4,5,6,7,8,9,10 \ (1.6)$$

Sau đó, Chỉ số nhất quán (CI) được tính theo Công thức (1.7).

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1}$$

trong đó n là bậc của ma trận (trong nghiên cứu này, n = 10).

Cuối cùng, Tỷ số nhất quán CR được xác định theo Công thức (1.8).

$$CR = \frac{CI}{RI} \ (1.8)$$

Trong đó Chỉ số ngẫu nhiên (RI) được xác định theo bậc ma trận n theo đề xuất của Saaty [76]. Trong nghiên cứu này, với ma trận 10×10 (n = 10), giá trị RI tương ứng là 1,49.

2.3 Phương pháp DEMATEL

Phương pháp DEMATEL (Decision-Making Trial and Evaluation Laboratory) là một công cụ phân tích cấu trúc ảnh hưởng có hệ thống, được sử dụng để khám phá và trực quan hóa các mối quan hệ phức tạp, phi tuyến và có vòng phản hồi giữa các yếu tố trong một hệ thống. Trong khi AHP tập trung vào xác định mức độ ưu tiên và xếp hạng, DEMATEL tập trung vào cấu trúc ảnh hưởng giữa các yếu tố. Trong nghiên cứu này, các quan hệ được diễn giải là ảnh hưởng theo nhận định của chuyên gia, không phải bằng chứng xác lập quan hệ nhân quả thực nghiệm.

DEMATEL được phát triển tại Trung tâm Nghiên cứu Geneva của Viện Battelle Memorial (Battelle Memorial Institute) trong khoảng thời gian từ 1972 đến 1976, bởi các nhà khoa học Gabus và Fontela. Mục tiêu ban đầu của phương pháp là giải quyết các vấn đề toàn cầu phức tạp và liên kết chặt chẽ, bao gồm phân biệt chủng tộc, nạn đói, môi trường và năng lượng — những vấn đề không thể phân tích bằng cách tiếp cận đơn chiều [78]. Tên gọi 'DEMATEL' phản ánh bản chất thử nghiệm và đánh giá của phương pháp trong khuôn khổ phòng thí nghiệm — nhấn mạnh sự kết hợp giữa tư duy hệ thống, lý thuyết đồ thị, và phân tích ma trận.

Sau giai đoạn ban đầu tương đối ít được biết đến ngoài Nhật Bản (nơi phương pháp đã được ứng dụng sớm trong phân tích chính sách nông nghiệp và môi trường), DEMATEL trải qua sự bùng nổ ứng dụng từ thập niên 2000 trở đi, đặc biệt sau khi được giới thiệu rộng rãi trong nghiên cứu quản lý chuỗi cung ứng, đánh giá công nghệ, và quản lý rủi ro. Đánh giá hệ thống gần đây xác nhận DEMATEL là một trong hai mươi phương pháp MCDM được trích dẫn nhiều nhất trong thập kỷ qua [79].

Quy trình này bao gồm các bước sau:

Bước 1: Xây dựng ma trận ảnh hưởng trực tiếp.

Mỗi chuyên gia đánh giá mức độ ảnh hưởng của một giải pháp đối với một giải pháp khác theo thang 5 mức từ 0 đến 4, trong đó 0 là “không ảnh hưởng” và 4 là “ảnh hưởng rất

cao". Các đánh giá cá nhân được tổng hợp thành các ma trận $S_k = \left[s_{ij}^k\right]_{10\times10}$, sau đó ma trận ảnh hưởng trực tiếp nhóm S=(Sij) được tính bằng trung bình cộng các đánh giá của chuyên gia:

$$s_{ij} = \frac{1}{14}\sum_{k=1}^{14} s_{ij}^k, with i,j = 1,2,3,4,5,6,7,8,9,10 \quad (2.1)$$

Bước 2: Chuẩn hóa ma trận trực tiếp (D)

Để bảo đảm khả năng so sánh và chuẩn hóa các đánh giá của chuyên gia, ma trận ảnh hưởng trực tiếp S được chuẩn hóa theo Công thức (2.2)

$$D = \frac{S}{m} (2.2)$$

trong đó m là giá trị lớn nhất trong các tổng theo hàng hoặc theo cột của ma trận S, được xác định theo Công thức (2.3)

$$m = \max\left(\max_{1\le i\le 10}\sum_{j=1}^{10} S_{ij}, \max_{1\le j\le 10}\sum_{i=1}^{10} S_{ij}\right) \quad (2.3)$$

Quá trình chuẩn hóa đưa toàn bộ điểm ảnh hưởng về cùng một phạm vi, qua đó tạo điều kiện cho việc tính toán các ảnh hưởng gián tiếp giữa các giải pháp triển khai GenAI–BIM ở bước tiếp theo.

Bước 3: Tính toán ma trận quan hệ tổng thể (T)

Ma trận quan hệ tổng thể T, bao gồm cả các mối quan hệ trực tiếp và gián tiếp giữa mười giải pháp triển khai, được tính như sau:

$$T = D(I - D)^{-1} \qquad (2.4)$$

trong đó I là ma trận đơn vị. Ma trận T biểu diễn mạng lưới ảnh hưởng tích lũy theo nhận định của chuyên gia, bao gồm cả ảnh hưởng trực tiếp và ảnh hưởng truyền qua các giải pháp khác.

$$R_i = \sum_{j=1}^{10} t_{ij}, \quad i = 1,2,\dots,10 \qquad (2.5)$$

Bước 4: Xác định quan hệ ảnh hưởng và phân nhóm ảnh hưởng ròng.

Để phân tích hướng và cường độ tương tác, tổng theo từng hàng Ri và từng cột Cj của ma trận quan hệ tổng thể T được tính toán, lần lượt biểu thị tổng mức ảnh hưởng mà mỗi giải pháp tạo ra và nhận vào, theo các Công thức (2.6) và (2.7):

$$R = [r_i]_{10\times1} = \left[\sum_{j=1}^{10} t_{ij}\right]_{10\times1} \quad (2.6)$$

Và:

$$C = [c_j]_{1\times10} = \left[\sum_{i=1}^{10} t_{ij}\right]_{1\times10} \quad (2.7)$$

Trong đó, Ri biểu thị ảnh hưởng tích lũy của giải pháp Si lên các giải pháp khác, còn Cj biểu thị mức độ giải pháp Sj chịu ảnh hưởng từ các giải pháp khác. Từ đó xác định hai chỉ số chính:

- Mức độ nổi trội (R + C): phản ánh mức độ kết nối tổng thể của một giải pháp trong hệ thống ảnh hưởng được chuyên gia nhận định. Giá trị cao hơn cho thấy vị trí trung tâm hoặc mức độ liên kết mạnh hơn.

- Quan hệ (R − C): phản ánh hướng ảnh hưởng ròng. Giá trị dương xác định giải pháp thuộc nhóm có ảnh hưởng ròng (net-driving), còn giá trị âm xác định giải pháp thuộc nhóm chịu ảnh hưởng ròng (net-receiving).

Bước 5: Xây dựng sơ đồ quan hệ ảnh hưởng.

Cuối cùng, sơ đồ quan hệ được xây dựng để trực quan hóa cấu trúc ảnh hưởng theo đánh giá chuyên gia giữa mười giải pháp BIM–GenAI. Trục hoành biểu diễn mức độ nổi trội (R + C), còn trục tung biểu diễn quan hệ (R − C), qua đó phân biệt nhóm có ảnh hưởng ròng và nhóm chịu ảnh hưởng ròng.

Để tăng khả năng diễn giải, giá trị ngưỡng (θ) được tính bằng trung bình cộng của toàn bộ phần tử trong ma trận quan hệ tổng thể T theo Công thức (2.8):

$$\theta = \frac{\sum_{i,j=1}^{n} t_{ij}}{n \times n} \quad (2.8)$$

trong đó θ là giá trị ngưỡng dùng để lọc các tương tác không đáng kể, tij là một phần tử của ma trận T và n = 10 là số lượng giải pháp.

Chỉ các mối quan hệ có giá trị ảnh hưởng vượt ngưỡng θ được giữ lại trong hình 8 nhằm tập trung vào các quan hệ có cường độ tương đối lớn hơn theo tiêu chí lọc được lựa chọn.

2.4 Lý do lựa chọn kết hợp AHP và DEMATEL

Nghiên cứu này nhằm xác định các giải pháp ưu tiên và phân tích mối quan hệ tác động qua lại giữa các giải pháp tích hợp BIM và trí tuệ nhân tạo tạo sinh (GenAI) nhằm nâng cao hiệu quả công tác quản lý tiến độ xây dựng. Đây là một bài toán ra quyết định đa tiêu chí có đặc điểm phức tạp bởi các giải pháp không tồn tại độc lập mà có sự tương tác, phụ thuộc và ảnh hưởng lẫn nhau.

Trong các phương pháp ra quyết định đa tiêu chí như SAW, TOPSIS, VIKOR, ELECTRE hay PROMETHEE, trọng tâm thường là xếp hạng hoặc lựa chọn phương án dựa trên các tiêu chí đã xác định. Các phương pháp này không trực tiếp mô tả mạng lưới ảnh hưởng qua lại giữa các yếu tố. Vì vậy, nếu chỉ sử dụng một phương pháp xếp hạng, nghiên cứu có thể xác định giải pháp nào được đánh giá quan trọng hơn nhưng chưa làm rõ cấu trúc ảnh hưởng và mức độ phụ thuộc giữa các giải pháp.

AHP được lựa chọn vì đây là phương pháp đặc biệt phù hợp trong điều kiện nghiên cứu có số lượng chuyên gia tham gia không lớn, dữ liệu chủ yếu dựa trên đánh giá chuyên gia và các yếu tố nghiên cứu mang tính định tính cao. AHP cho phép lượng hóa các nhận định chủ quan thông qua so sánh cặp, đồng thời kiểm tra được tính nhất quán của các đánh giá bằng chỉ số Consistency Ratio (CR). Đây là ưu điểm quan trọng mà nhiều phương pháp khác không cung cấp. Tuy nhiên, AHP chỉ xác định được trọng số ưu tiên của các yếu tố mà chưa phản ánh được mối quan hệ ảnh hưởng lẫn nhau giữa chúng.

Để bổ sung góc nhìn này, DEMATEL được sử dụng nhằm phân tích cấu trúc ảnh hưởng theo đánh giá của chuyên gia. Phương pháp cho phép tổng hợp ảnh hưởng trực tiếp và gián tiếp, đồng thời phân biệt các giải pháp có ảnh hưởng ròng dương với các giải pháp chịu ảnh hưởng ròng. Cách diễn giải này hỗ trợ nhận diện các giải pháp có vai trò định hướng trong mạng lưới đánh giá mà không coi kết quả là bằng chứng nhân quả thực nghiệm.

Đối với bài toán tích hợp BIM và GenAI trong quản lý tiến độ xây dựng, các giải pháp như tiêu chuẩn hóa dữ liệu BIM, phát triển hạ tầng số, đào tạo nguồn nhân lực, hoàn thiện cơ chế pháp lý và tăng cường chia sẻ dữ liệu có mối liên hệ chặt chẽ với nhau. Một giải pháp có thể vừa là điều kiện tiên quyết vừa là động lực thúc đẩy sự phát triển của các giải pháp khác. Trong trường hợp này, việc chỉ sử dụng AHP sẽ không thể làm rõ được cấu trúc tác động giữa các giải pháp, trong khi việc chỉ sử dụng DEMATEL lại không cung cấp được mức độ ưu tiên tương đối của từng giải pháp.

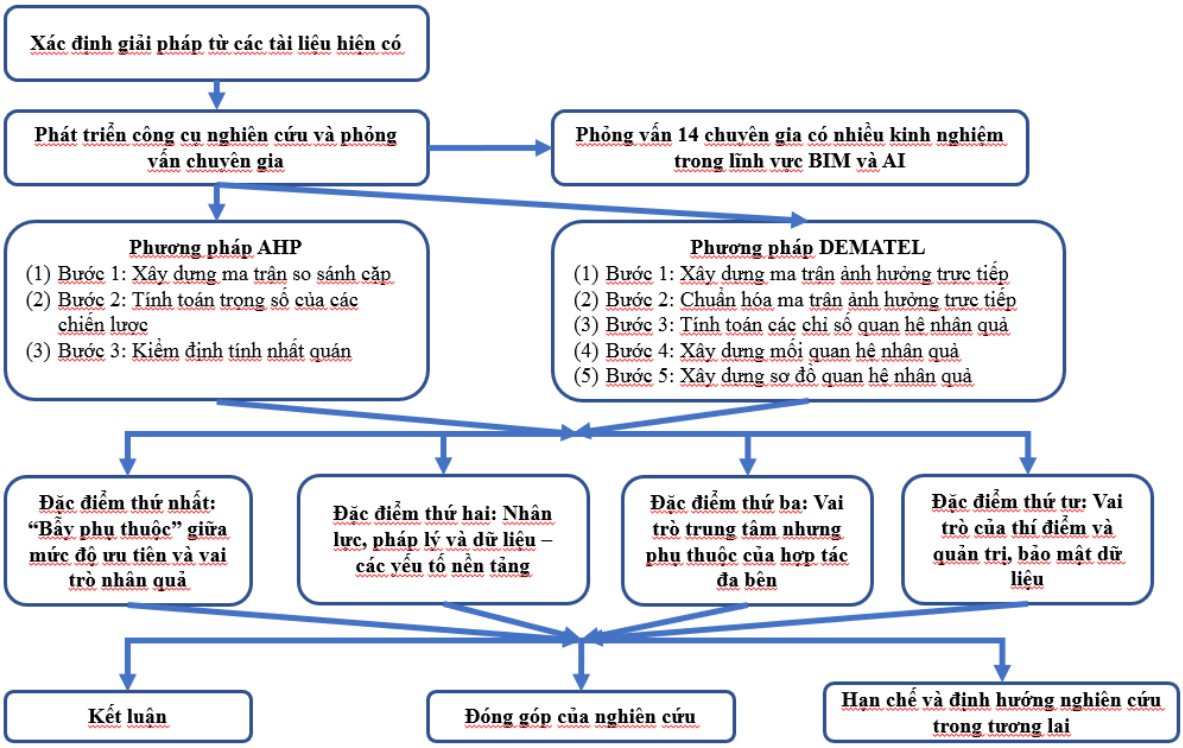
Vì vậy, việc kết hợp AHP và DEMATEL là cần thiết nhằm tận dụng ưu điểm của cả hai phương pháp. AHP được sử dụng để xác định mức độ quan trọng và trọng số ưu tiên của các giải pháp, trong khi DEMATEL được sử dụng để phân tích cấu trúc ảnh hưởng và quan hệ phụ thuộc theo đánh giá của chuyên gia giữa các giải pháp. Sự kết hợp này cho phép đánh giá toàn diện cả khía cạnh "mức độ quan trọng" và "mức độ ảnh hưởng", từ đó cung cấp một cơ sở phân tích có cấu trúc để đề xuất các giải pháp ưu tiên và xây dựng logic triển khai BIM–GenAI cho việc đề xuất các giải pháp ưu tiên và xây dựng lộ trình triển khai BIM–GenAI trong quản lý tiến độ xây dựng.

2.5 Thiết kế nghiên cứu

Thiết kế phương pháp nghiên cứu được xây dựng nhằm giải quyết bản chất phức tạp và đa chiều của quá trình tích hợp Mô hình thông tin công trình (BIM) và trí tuệ nhân tạo tạo sinh (Generative Artificial Intelligence – GenAI) trong công tác quản lý tiến độ xây dựng. Trong bối cảnh các yếu tố công nghệ, dữ liệu, quy trình quản lý và năng lực của các bên tham gia dự án có mối liên hệ chặt chẽ với nhau, việc lựa chọn một phương pháp nghiên cứu phù hợp là điều cần thiết để đánh giá toàn diện các giải pháp tích hợp được đề xuất. Do đó, nghiên cứu áp dụng phương pháp kết hợp giữa AHP (Analytic Hierarchy Process) và DEMATEL (Decision-Making Trial and Evaluation Laboratory), nhằm tận dụng ưu điểm bổ trợ của hai công cụ trong quá trình ra quyết định đa tiêu chí.

Trước hết, phương pháp AHP được sử dụng để xác định và xếp hạng mức độ ưu tiên của các giải pháp tích hợp BIM và GenAI dựa trên đánh giá của các chuyên gia có kinh nghiệm trong lĩnh vực xây dựng và chuyển đổi số. Thông qua cơ chế so sánh cặp, AHP cho phép lượng hóa mức độ quan trọng tương đối của từng giải pháp, từ đó thiết lập cơ sở khoa học cho việc

xác định các giải pháp được chuyên gia đánh giá có mức độ quan trọng tương đối cao đối với mục tiêu quản lý tiến độ xây dựng [80, 81].



Hình 7: Thiết kế nghiên cứu

Tuy nhiên, thứ tự ưu tiên chưa phản ánh đầy đủ cấu trúc ảnh hưởng và phụ thuộc giữa các giải pháp. Vì vậy, DEMATEL được áp dụng để phân tích các quan hệ ảnh hưởng theo nhận định của chuyên gia, qua đó phân biệt các giải pháp có ảnh hưởng ròng dương và các giải pháp chịu ảnh hưởng ròng trong hệ thống. Kết quả này được sử dụng cho mục đích hỗ trợ diễn giải và thiết kế lộ trình, không được xem là bằng chứng xác lập quan hệ nhân quả thực nghiệm [82].

Sự kết hợp giữa AHP và DEMATEL, cùng với dữ liệu đánh giá của chuyên gia, tạo thành một khung phân tích cho phép xem xét đồng thời mức độ ưu tiên và cấu trúc ảnh hưởng được nhận thức giữa các giải pháp BIM–GenAI. Cách tiếp cận này hỗ trợ nhận diện các giải pháp cần ưu tiên và các quan hệ phụ thuộc cần lưu ý khi xây dựng khung triển khai; hiệu quả thực tế của khung vẫn cần được kiểm chứng thông qua các dự án thí điểm và dữ liệu theo thời gian [83].

2.6 Xác định các giải pháp và xây dựng cơ sở khảo sát chuyên gia

Việc xây dựng bộ công cụ khảo sát trong nghiên cứu được thực hiện qua hai giai đoạn chính, bao gồm: (1) xác định và xây dựng danh mục các giải pháp tích hợp BIM–GenAI trong quản lý tiến độ xây dựng trên cơ sở tổng hợp tài liệu; và (2) xây dựng bảng hỏi và thu thập đánh giá của chuyên gia phục vụ phân tích AHP và DEMATEL. Cách tổ chức này nhằm phân biệt rõ quá trình hình thành các giải pháp từ cơ sở lý luận với quá trình đánh giá các giải pháp bằng dữ liệu chuyên gia.

Giai đoạn 1: Xác định và xây dựng các giải pháp tích hợp BIM–GenAI

Nghiên cứu bắt đầu bằng việc xác định các giải pháp tiềm năng nhằm tích hợp Mô hình thông tin công trình (Building Information Modeling – BIM) và trí tuệ nhân tạo tạo sinh (Generative Artificial Intelligence – GenAI) trong quản lý tiến độ xây dựng. Quá trình này được thực hiện thông qua tổng hợp và phân tích các nghiên cứu trong nước và quốc tế liên quan đến BIM, AI/GenAI, quản lý tiến độ xây dựng, quản lý dự án và chuyển đổi số trong ngành xây dựng.

Các tài liệu được rà soát nhằm nhận diện các giải pháp, điều kiện triển khai, yêu cầu tổ chức và các vấn đề quản trị đã được đề cập trong các nghiên cứu trước. Nội dung phân tích không chỉ tập trung vào các ứng dụng công nghệ mà còn xem xét những yếu tố hỗ trợ như tiêu chuẩn hóa dữ liệu, hạ tầng số, năng lực nguồn nhân lực, quy trình quản lý, cơ chế phối hợp giữa các bên, chính sách và pháp lý, quản trị dữ liệu và an ninh thông tin.

Trên cơ sở các nội dung được tổng hợp, tác giả tiến hành phân nhóm những đề xuất có chức năng hoặc ý nghĩa tương đồng. Các nội dung trùng lặp được hợp nhất, trong khi những đề xuất quá đặc thù đối với một công nghệ, một loại dự án hoặc không trực tiếp liên quan đến quản lý tiến độ được loại khỏi phạm vi nghiên cứu. Do đó, một giải pháp trong nghiên cứu không nhất thiết được kế thừa nguyên vẹn từ một công trình riêng lẻ mà có thể được hình thành thông qua việc tổng hợp và khái quát hóa các luận điểm có liên quan từ nhiều nguồn tài liệu.

Danh mục sơ bộ sau đó được tác giả rà soát theo ba nguyên tắc. Thứ nhất, mỗi giải pháp phải có mối liên hệ rõ ràng với việc triển khai BIM–GenAI trong quản lý tiến độ xây dựng. Thứ hai, các giải pháp cần có mức độ phân biệt tương đối về nội dung nhằm hạn chế sự chồng lặp khi thực hiện đánh giá. Thứ ba, tập hợp giải pháp cần bao quát các khía cạnh chủ yếu của quá

trình triển khai, bao gồm thể chế và pháp lý, nguồn nhân lực, dữ liệu, quy trình quản lý, công nghệ, phối hợp giữa các bên và quản trị.

Kết quả của giai đoạn này là danh mục mười giải pháp tích hợp BIM–GenAI, ký hiệu từ S1 đến S10. Các giải pháp được hình thành trên cơ sở tổng hợp tài liệu và được sử dụng làm các đối tượng đánh giá trong bảng câu hỏi nghiên cứu. Việc xác định danh mục này không được xem là bằng chứng khẳng định tính khả thi hoặc hiệu quả thực tế của từng giải pháp. Tính khả thi và hiệu quả triển khai cần được tiếp tục kiểm chứng thông qua các dự án thí điểm, nghiên cứu trường hợp và dữ liệu thực tế trong các nghiên cứu tiếp theo.

Giai đoạn 2: Xây dựng bảng hỏi và thu thập đánh giá của chuyên gia

Trên cơ sở danh mục mười giải pháp được xác định ở Giai đoạn 1, bảng câu hỏi được xây dựng nhằm thu thập đánh giá của chuyên gia về hai nội dung chính: mức độ quan trọng tương đối của các giải pháp và mức độ ảnh hưởng trực tiếp giữa các giải pháp. Nội dung và cấu trúc cụ thể của bảng hỏi được trình bày tại Mục 2.7.

Trước khi thực hiện đánh giá, người tham gia được cung cấp thông tin về mục tiêu nghiên cứu, phạm vi của từng giải pháp và cách sử dụng các thang đánh giá AHP và DEMATEL nhằm chuẩn hóa cách hiểu. Hoạt động này không được xem là bước xác nhận hoặc thẩm định danh mục mười giải pháp.

Dữ liệu thu thập được sử dụng để xác định mức độ ưu tiên tương đối bằng AHP và phân tích cấu trúc ảnh hưởng theo nhận định của chuyên gia bằng DEMATEL. Kết quả của hai phương pháp sau đó được tích hợp để hỗ trợ xây dựng khung và lộ trình triển khai BIM–GenAI.

2.7 Thiết kế bảng câu hỏi khảo sát

2.7.1 Cơ sở xây dựng bảng hỏi

Bảng câu hỏi trong nghiên cứu được xây dựng trên cơ sở mục tiêu nghiên cứu, các câu hỏi nghiên cứu và danh mục mười giải pháp tích hợp BIM–GenAI đã được xác định tại Mục 2.6. Danh mục này được hình thành thông qua quá trình tổng hợp, phân tích, phân nhóm và khái quát hóa các nội dung có liên quan từ các nghiên cứu trong nước và quốc tế về BIM, trí tuệ nhân tạo tạo sinh (GenAI), quản lý tiến độ xây dựng và chuyển đổi số trong ngành xây dựng.

Việc thiết kế bảng hỏi nhằm thu thập dữ liệu phục vụ hai nội dung phân tích chính. Thứ nhất, nghiên cứu cần xác định mức độ quan trọng tương đối của các giải pháp theo đánh giá

của chuyên gia. Thứ hai, nghiên cứu cần xem xét mức độ ảnh hưởng trực tiếp giữa các giải pháp theo nhận định của chuyên gia. Trên cơ sở đó, phương pháp Phân tích thứ bậc (Analytic Hierarchy Process – AHP) được sử dụng để thực hiện so sánh cặp và xác định mức độ ưu tiên tương đối, trong khi phương pháp DEMATEL (Decision-Making Trial and Evaluation Laboratory) được sử dụng để đánh giá cấu trúc ảnh hưởng giữa các giải pháp.

Nội dung bảng hỏi được xây dựng theo nguyên tắc bảo đảm tính rõ ràng, nhất quán và phù hợp với mục tiêu nghiên cứu. Tên gọi và mô tả của từng giải pháp được trình bày ngắn gọn nhằm hạn chế sự khác biệt trong cách hiểu giữa những người tham gia khảo sát. Các câu hỏi được sắp xếp theo trình tự từ thông tin chung của chuyên gia đến phần đánh giá chuyên môn, qua đó tạo điều kiện để người trả lời tiếp cận nội dung một cách có hệ thống.

Trước khi thực hiện phần đánh giá định lượng, người tham gia được cung cấp hướng dẫn về mục tiêu khảo sát, nội dung và phạm vi của từng giải pháp, cũng như cách sử dụng các thang đo AHP và DEMATEL. Việc giải thích này nhằm chuẩn hóa cách hiểu và hạn chế sai lệch trong quá trình đánh giá; không được xem là bước xác nhận, thẩm định hoặc lựa chọn lại danh mục mười giải pháp đã được xác định ở giai đoạn trước.

Như vậy, bảng hỏi đóng vai trò là công cụ thu thập đánh giá của chuyên gia đối với một danh mục giải pháp đã được hình thành từ cơ sở tài liệu, thay vì sử dụng ý kiến chuyên gia để xây dựng danh mục giải pháp ban đầu.

2.7.2 Cấu trúc bảng hỏi

Bảng câu hỏi khảo sát được thiết kế gồm bốn phần chính, tương ứng với yêu cầu thu thập thông tin về đặc điểm của người tham gia, nội dung các giải pháp và dữ liệu phục vụ hai phương pháp AHP và DEMATEL.

Phần A – Thông tin chung của chuyên gia

Phần đầu tiên thu thập các thông tin cơ bản của người tham gia khảo sát, bao gồm trình độ chuyên môn, số năm kinh nghiệm, vị trí công tác và lĩnh vực chuyên môn. Các thông tin này được sử dụng để mô tả đặc điểm của mẫu khảo sát, đồng thời xem xét mức độ phù hợp về chuyên môn và tính đa dạng của nhóm chuyên gia tham gia nghiên cứu.

Do nghiên cứu áp dụng phương pháp chọn mẫu có chủ đích, các thông tin này không được sử dụng để khẳng định tính đại diện thống kê của mẫu đối với toàn bộ ngành xây dựng

Việt Nam. Thay vào đó, chúng giúp làm rõ cơ sở chuyên môn của nhóm người tham gia và phạm vi diễn giải của các kết quả thu được.

Phần B – Danh mục các giải pháp nghiên cứu

Phần thứ hai trình bày danh mục mười giải pháp tích hợp BIM–GenAI trong quản lý tiến độ xây dựng được xác định tại Mục 2.6. Đối với mỗi giải pháp, bảng hỏi cung cấp tên gọi, mã ký hiệu và phần mô tả ngắn gọn về nội dung nhằm bảo đảm người tham gia hiểu tương đối thống nhất về phạm vi của giải pháp trước khi tiến hành đánh giá.

Danh mục này được hình thành từ quá trình tổng hợp và phân tích tài liệu của nghiên cứu, không phải từ đánh giá sơ bộ của nhóm chuyên gia tham gia khảo sát. Vì vậy, chức năng của Phần B là **cung cấp và làm rõ đối tượng đánh giá**, chứ không yêu cầu chuyên gia xác nhận lại việc lựa chọn mười giải pháp.

Phần C – So sánh cặp các giải pháp bằng phương pháp AHP

Phần thứ ba được thiết kế nhằm xác định mức độ ưu tiên tương đối giữa các giải pháp thông qua phương pháp Phân tích thứ bậc (Analytic Hierarchy Process – AHP). Các chuyên gia thực hiện so sánh từng cặp giải pháp theo thang đo 1–9 của Saaty, trong đó giá trị 1 biểu thị hai giải pháp có mức độ quan trọng như nhau, còn giá trị 9 biểu thị một giải pháp được đánh giá quan trọng hơn rất mạnh so với giải pháp còn lại. Các giá trị trung gian được sử dụng để biểu thị những mức độ ưu tiên khác nhau.

Dữ liệu thu được từ phần này được sử dụng để xây dựng các ma trận so sánh cặp, tổng hợp đánh giá của chuyên gia, tính toán trọng số ưu tiên tương đối và kiểm tra mức độ nhất quán của ma trận nhóm thông qua tỷ số nhất quán (Consistency Ratio – CR). Kết quả AHP phản ánh mức độ quan trọng tương đối của các giải pháp theo đánh giá của chuyên gia, không được diễn giải như bằng chứng trực tiếp về hiệu quả thực tế của từng giải pháp.

Phần D – Đánh giá mối quan hệ ảnh hưởng giữa các giải pháp bằng phương pháp DEMATEL

Phần cuối của bảng hỏi được xây dựng nhằm thu thập đánh giá của chuyên gia về mức độ ảnh hưởng trực tiếp giữa từng cặp giải pháp. Thang đo từ 0 đến 4 được sử dụng, trong đó giá trị 0 biểu thị không có ảnh hưởng trực tiếp và giá trị 4 biểu thị mức ảnh hưởng trực tiếp rất mạnh.

Dữ liệu của phần này được sử dụng để xây dựng ma trận quan hệ trực tiếp, xác định mức độ ảnh hưởng và mức độ chịu ảnh hưởng của từng giải pháp, đồng thời tính toán các chỉ số mức độ nổi trội (R + C) và quan hệ ảnh hưởng ròng (R − C). Trên cơ sở đó, các giải pháp được phân biệt thành nhóm có ảnh hưởng ròng và nhóm chịu ảnh hưởng ròng trong cấu trúc ảnh hưởng theo nhận định của chuyên gia. Kết quả DEMATEL được sử dụng để hỗ trợ diễn giải các quan hệ phụ thuộc giữa các giải pháp và không được xem là bằng chứng xác lập quan hệ nhân quả thực nghiệm.

Với cấu trúc bốn phần nêu trên, bảng hỏi cung cấp dữ liệu cần thiết để xem xét đồng thời hai khía cạnh: **mức độ ưu tiên tương đối** và **cấu trúc ảnh hưởng theo nhận định của chuyên gia** giữa các giải pháp BIM–GenAI.

2.7.3 Nội dung các giải pháp đánh giá

Mười giải pháp được sử dụng làm các đối tượng đánh giá trong AHP và DEMATEL là kết quả của quá trình tổng hợp và phân tích tài liệu được trình bày tại Mục 2.6. Các giải pháp không được kế thừa nguyên vẹn từ một nghiên cứu riêng lẻ mà được hình thành thông qua việc tổng hợp và khái quát hóa các nội dung có chức năng hoặc ý nghĩa tương đồng từ nhiều nguồn tài liệu.

Trong quá trình hình thành danh mục, các đề xuất liên quan đến BIM, GenAI và quản lý tiến độ được rà soát và phân nhóm theo nội dung. Những nội dung trùng lặp được hợp nhất, trong khi các đề xuất quá đặc thù đối với một công nghệ, một loại dự án hoặc nằm ngoài phạm vi quản lý tiến độ xây dựng được loại khỏi danh mục. Việc tổng hợp đồng thời hướng tới bảo đảm rằng tập hợp giải pháp có thể phản ánh các khía cạnh chủ yếu của quá trình triển khai BIM–GenAI, bao gồm thể chế và pháp lý, nguồn nhân lực, dữ liệu, quy trình quản lý, hạ tầng công nghệ, ứng dụng số, phối hợp giữa các bên và quản trị.

Sau quá trình tổng hợp, tác giả rà soát tên gọi, phạm vi và nội dung mô tả của từng giải pháp nhằm hạn chế sự chồng lặp về khái niệm và tạo điều kiện cho việc thực hiện các phép so sánh cặp trong AHP cũng như đánh giá quan hệ ảnh hưởng trong DEMATEL. Việc rà soát này là một bước cấu trúc hóa của tác giả dựa trên cơ sở tài liệu, không được xem là quá trình kiểm chứng tính khả thi hoặc hiệu quả thực tế của các giải pháp.

Kết quả cuối cùng là mười giải pháp triển khai BIM–GenAI, ký hiệu từ S1 đến S10. Mỗi giải pháp được trình bày trong Bảng 4 với các thông tin gồm mã ký hiệu, tên giải pháp, nội

dung mô tả và các nguồn tài liệu có liên quan. Các nguồn trong bảng được sử dụng để thể hiện cơ sở tài liệu hỗ trợ cho việc hình thành từng giải pháp; chúng không hàm ý rằng toàn bộ nội dung của một giải pháp được kế thừa nguyên vẹn từ một tài liệu cụ thể.

Các giải pháp được đưa vào bảng hỏi với cùng nội dung và phạm vi mô tả cho tất cả người tham gia nhằm duy trì tính nhất quán của đối tượng đánh giá. Trong AHP, mười giải pháp được sử dụng làm các phương án so sánh để xác định mức độ quan trọng tương đối. Trong DEMATEL, cùng một danh mục được sử dụng để đánh giá mức độ ảnh hưởng trực tiếp giữa từng cặp giải pháp. Việc sử dụng thống nhất một tập hợp giải pháp trong hai phương pháp tạo điều kiện cho quá trình tích hợp kết quả ở giai đoạn phân tích tiếp theo.

Bảng 4: Mô tả các giải pháp nghiên cứu

(Si)	Tên giải pháp	Nội dung giải pháp	Nguồn liên quan
S1	Xây dựng tiêu chuẩn hóa dữ liệu BIM tương thích AI	Xây dựng chuẩn dữ liệu BIM thống nhất để GenAI có thể phân tích và hỗ trợ quản lý tiến độ chính xác.	[48, 51, 53, 56]
S2	Tạo cơ sở hạ tầng số và điện toán đám mây cho xử lý GenAI	Phát triển nền tảng lưu trữ – xử lý dữ liệu BIM và GenAI trên cloud để cập nhật tiến độ theo thời gian thực.	[14, 42, 43, 47, 54]
S3	Đào tạo nguồn nhân lực về BIM và AI, nâng cao năng lực số	Trang bị kỹ năng số cho kỹ sư và nhà quản lý dự án để vận hành và khai thác hiệu quả BIM – GenAI.	[27, 40, 41, 47, 48, 69]
S4	Thiết lập quy trình tích hợp BIM – GenAI trong quản lý tiến độ	Thiết lập quy trình chuẩn từ nhập dữ liệu đến phân tích, điều chỉnh và phản hồi tiến độ bằng AI.	[7, 43, 48, 54]
S5	Triển khai các dự án thử nghiệm để chứng minh hiệu quả	Thử nghiệm BIM – GenAI trên các công trình thực tế để đánh giá hiệu quả trước khi triển khai rộng rãi.	[4, 6, 53, 54, 63]
S6	Kết hợp IoT – BIM – GenAI để giám sát tiến độ thời gian thực	Tích hợp dữ liệu IoT, drone, camera công trường với BIM và GenAI để giám sát tiến độ tự động.	[21, 54-56]
S7	Phát triển công cụ hỗ trợ quyết định minh bạch dựa trên GenAI	Phát triển nền tảng trực quan giúp các bên liên quan theo dõi và điều chỉnh tiến độ nhanh chóng.	[6, 14, 15, 54, 63, 69]
S8	Tăng cường cơ chế quản trị dữ liệu và bảo mật	Tăng cường phân quyền, bảo mật và bảo đảm toàn vẹn dữ liệu tiến độ bằng các công nghệ số.	[47, 48, 55, 56, 63, 69]

S9	Chính sách hỗ trợ, khung pháp lý cho chuyển đổi số xây dựng	Xây dựng cơ chế pháp lý công nhận dữ liệu tiến độ số và khuyến khích doanh nghiệp đầu tư chuyển đổi số.	[5, 25, 29, 40, 41]
S10	Xây dựng mô hình hợp tác đa bên để thúc đẩy chia sẻ dữ liệu	Tạo cơ chế chia sẻ dữ liệu BIM – AI minh bạch giữa chủ đầu tư, tư vấn và nhà thầu để giảm xung đột tiến độ.	[41, 47, 54, 56]

2.8 Phương pháp thu thập và xử lý dữ liệu

Trong nghiên cứu khoa học, việc lựa chọn phương pháp thu thập và xử lý dữ liệu phù hợp có vai trò quan trọng nhằm bảo đảm độ tin cậy và tính chính xác của kết quả nghiên cứu. Đối với nghiên cứu này, dữ liệu được thu thập thông qua khảo sát chuyên gia bằng bảng hỏi cấu trúc. Phương pháp khảo sát chuyên gia được lựa chọn do nội dung nghiên cứu liên quan đến BIM và AI trong quản lý tiến độ xây dựng – lĩnh vực đòi hỏi kiến thức chuyên môn cao cũng như kinh nghiệm thực tiễn trong triển khai và ứng dụng công nghệ số trong xây dựng.

Dữ liệu thu thập được sử dụng để phục vụ các phương pháp phân tích ra quyết định đa tiêu chí, cụ thể là DEMATEL và AHP. Sau khi hoàn thành quá trình khảo sát, dữ liệu được tổng hợp và xử lý bằng phần mềm Microsoft Excel nhằm tính toán ma trận đánh giá, xác định mức độ ảnh hưởng giữa các yếu tố và kiểm tra tính nhất quán của dữ liệu khảo sát.

2.8.1 Đối tượng khảo sát

Đối tượng khảo sát của nghiên cứu là các chuyên gia có kiến thức chuyên sâu và kinh nghiệm thực tiễn trong lĩnh vực BIM, trí tuệ nhân tạo (AI) và quản lý tiến độ xây dựng. Nhóm chuyên gia này bao gồm các cá nhân đang làm việc tại các doanh nghiệp xây dựng, công ty tư vấn, viện nghiên cứu, trường đại học và các tổ chức có liên quan đến chuyển đổi số trong ngành xây dựng.

Các vai trò có trong mẫu khảo sát gồm quản lý dự án, giám đốc/phó giám đốc, BIM Manager/BIM Designer, chuyên gia pháp lý dự án, giảng viên và nhà nghiên cứu có kinh nghiệm liên quan đến quản lý tiến độ, BIM, chính sách và chuyển đổi số trong xây dựng.

Việc lựa chọn nhóm đối tượng này nhằm bảo đảm rằng những người tham gia khảo sát có đủ năng lực chuyên môn để đánh giá mức độ ảnh hưởng, mối quan hệ tương tác cũng như tầm quan trọng của các yếu tố nghiên cứu. Đồng thời, các chuyên gia có kinh nghiệm thực tiễn sẽ giúp nâng cao độ tin cậy và giá trị ứng dụng của kết quả nghiên cứu.

Bên cạnh trình độ chuyên môn, nghiên cứu xem xét kinh nghiệm làm việc như một tiêu chí lựa chọn. Trong mẫu cuối cùng, các chuyên gia có ít nhất 10 năm kinh nghiệm và có nền tảng liên quan đến quản lý dự án, BIM, tiến độ, chính sách hoặc chuyển đổi số. Tiêu chí này giúp bảo đảm các đánh giá dựa trên kinh nghiệm nghề nghiệp phù hợp với nội dung nghiên cứu.

Phương pháp chọn mẫu được áp dụng là phương pháp chọn mẫu có chủ đích (purposive sampling). Đây là phương pháp phù hợp trong các nghiên cứu chuyên gia, đặc biệt đối với các nghiên cứu sử dụng DEMATEL và AHP, khi yêu cầu người tham gia phải có hiểu biết chuyên môn về vấn đề nghiên cứu. Phương pháp này giúp tập trung vào chất lượng chuyên môn của mẫu khảo sát thay vì số lượng đại diện cho tổng thể dân số.

2.8.2 Quá trình phỏng vấn và thu thập dữ liệu

Quá trình phỏng vấn và thu thập dữ liệu được thực hiện trong khoảng thời gian từ **tháng 01 đến tháng 04 năm 2026**. Nghiên cứu áp dụng phương pháp **chọn mẫu có chủ đích**, tập trung vào các chuyên gia có kiến thức và kinh nghiệm thực tiễn liên quan đến quản lý dự án xây dựng, quản lý tiến độ, BIM, trí tuệ nhân tạo, pháp lý, chính sách và chuyển đổi số trong ngành xây dựng. Các đối tượng được tiếp cận bao gồm cán bộ quản lý, giám đốc/phó giám đốc, BIM Manager/BIM Designer, chuyên gia pháp lý dự án, giảng viên và nhà nghiên cứu. Tiêu chí lựa chọn ưu tiên những cá nhân có ít nhất 10 năm kinh nghiệm và có khả năng đánh giá các vấn đề liên quan đến triển khai BIM–GenAI trong quản lý tiến độ xây dựng.

Trong giai đoạn thu thập dữ liệu, nghiên cứu đã gửi **khoảng 30 lời mời tham gia khảo sát và phỏng vấn chuyên gia**. Việc tiếp cận số lượng chuyên gia lớn hơn mẫu mục tiêu nhằm dự phòng trường hợp người được mời không thể tham gia do hạn chế về thời gian, không hoàn thành đầy đủ bảng đánh giá hoặc dữ liệu thu được không đáp ứng yêu cầu phân tích. Kết quả, nghiên cứu thu về **17 phiếu trả lời**. Sau quá trình rà soát và kiểm tra dữ liệu, **03 phiếu được xác định là không hợp lệ** do không đáp ứng đầy đủ các yêu cầu của bảng hỏi hoặc không cung cấp đủ thông tin cần thiết cho quá trình phân tích. Do đó, **14 phiếu hợp lệ** được giữ lại và sử dụng làm bộ dữ liệu chính thức cho các phân tích AHP và DEMATEL. Quy mô 14 chuyên gia phù hợp với định hướng nghiên cứu dựa trên đánh giá chuyên gia, trong đó chất lượng chuyên môn và tính nhất quán của đánh giá được ưu tiên hơn mục tiêu suy rộng thống kê cho toàn bộ ngành xây dựng.

Hoạt động thu thập dữ liệu được thực hiện chủ yếu thông qua **phỏng vấn trực tiếp kết hợp với bảng câu hỏi có cấu trúc**. Mỗi buổi phỏng vấn kéo dài khoảng **01 đến 02 giờ**, tùy theo mức độ trao đổi và thời gian cần thiết để chuyên gia nghiên cứu các nội dung đánh giá. Hình thức phỏng vấn trực tiếp giúp người nghiên cứu có thể giải thích rõ mục tiêu nghiên cứu, ý nghĩa của từng giải pháp và phương pháp đánh giá trước khi chuyên gia thực hiện các phép so sánh. Cách tiếp cận này đặc biệt cần thiết đối với AHP và DEMATEL vì hai phương pháp yêu cầu người tham gia hiểu tương đối rõ mối quan hệ giữa các giải pháp và ý nghĩa của các thang điểm được sử dụng.

Trước khi bắt đầu phần đánh giá định lượng, chuyên gia được giới thiệu về mục tiêu nghiên cứu, phạm vi của đề tài và danh mục mười giải pháp tích hợp BIM–GenAI đã được hình thành từ quá trình tổng hợp và phân tích tài liệu. Người nghiên cứu giải thích nội dung, phạm vi và cách hiểu của từng giải pháp nhằm hạn chế sự khác biệt trong cách diễn giải giữa các chuyên gia. Các hướng dẫn về phương pháp AHP và DEMATEL cũng được trình bày trước khi chuyên gia tiến hành đánh giá. Việc chuẩn hóa thông tin đầu vào này nhằm giảm sai lệch do cách hiểu khác nhau và nâng cao mức độ nhất quán của dữ liệu thu thập.

Bảng câu hỏi được chia thành **bốn phần chính**. Phần A thu thập thông tin nền của chuyên gia, bao gồm trình độ học vấn, kinh nghiệm công tác, vị trí nghề nghiệp và lĩnh vực chuyên môn. Phần B trình bày danh mục và nội dung của 10 giải pháp BIM–GenAI nhằm bảo đảm người tham gia có cách hiểu thống nhất. Phần C sử dụng phương pháp **AHP**, trong đó chuyên gia thực hiện các phép so sánh cặp giữa các giải pháp theo **thang đo 1–9 của Saaty** để xác định mức độ quan trọng tương đối. Phần D áp dụng **DEMATEL**, yêu cầu chuyên gia đánh giá mức độ ảnh hưởng trực tiếp của một giải pháp đối với một giải pháp khác theo **thang điểm từ 0 đến 4**, trong đó 0 biểu thị không ảnh hưởng và 4 biểu thị mức ảnh hưởng rất cao.

Trong quá trình phỏng vấn, ngoài việc hoàn thành các đánh giá định lượng, các chuyên gia còn được khuyến khích giải thích lý do lựa chọn, nhận xét về **tính khả thi, lợi ích, rủi ro, điều kiện triển khai và các mối quan hệ phụ thuộc giữa các giải pháp**. Các ý kiến này được ghi nhận như dữ liệu bổ trợ cho việc diễn giải kết quả, nhưng không thay thế dữ liệu định lượng được sử dụng trong các phép tính AHP và DEMATEL. Việc kết hợp bảng hỏi cấu trúc với trao đổi trực tiếp giúp nghiên cứu vừa thu được dữ liệu có thể lượng hóa, vừa có thêm cơ sở thực tiễn để giải thích các kết quả phân tích.

Sau mỗi cuộc phỏng vấn, phiếu trả lời được rà soát để kiểm tra mức độ đầy đủ và tính phù hợp của dữ liệu. Các phiếu thiếu thông tin quan trọng, không hoàn thành phần so sánh cặp hoặc phần đánh giá ảnh hưởng, hoặc có dữ liệu không đủ để đưa vào quá trình tính toán được xem xét loại khỏi bộ dữ liệu chính thức. Sau bước sàng lọc, **14 phiếu hợp lệ** được mã hóa, tổng hợp và nhập vào **Microsoft Excel** để xử lý. Dữ liệu AHP được sử dụng để xây dựng các ma trận so sánh cặp, xác định trọng số ưu tiên và kiểm tra mức độ nhất quán. Dữ liệu DEMATEL được sử dụng để xây dựng ma trận ảnh hưởng trực tiếp và phân tích cấu trúc ảnh hưởng giữa các giải pháp.

Như vậy, quy trình thu thập dữ liệu của nghiên cứu được thực hiện theo chuỗi gồm **lựa chọn chuyên gia – gửi lời mời – phỏng vấn trực tiếp – hướng dẫn phương pháp đánh giá – hoàn thành bảng hỏi – kiểm tra và sàng lọc dữ liệu – tổng hợp dữ liệu hợp lệ – phân tích AHP và DEMATEL**. Từ khoảng 30 chuyên gia được mời, nghiên cứu thu được 17 phiếu phản hồi và lựa chọn 14 phiếu hợp lệ để phân tích. Quy trình này giúp bảo đảm dữ liệu được thu thập từ những người có kinh nghiệm chuyên môn phù hợp và được kiểm tra trước khi đưa vào phân tích. Tuy nhiên, do mẫu được lựa chọn có chủ đích, kết quả phản ánh nhận định của nhóm chuyên gia tham gia nghiên cứu và **không được hiểu là kết quả thống kê đại diện cho toàn bộ ngành xây dựng Việt Nam**

2.8.3 Kích thước mẫu

Trong các nghiên cứu sử dụng phương pháp DEMATEL và AHP, kích thước mẫu không yêu cầu quá lớn như các nghiên cứu định lượng truyền thống sử dụng SEM hoặc hồi quy thống kê. Thay vào đó, chất lượng và trình độ chuyên môn của chuyên gia được xem là yếu tố quan trọng hơn số lượng mẫu khảo sát.

Đối với phương pháp DEMATEL, nhiều nghiên cứu cho rằng số lượng chuyên gia phù hợp thường dao động từ 10 đến 30 người. Phương pháp này tập trung vào việc xác định cấu trúc ảnh hưởng và phụ thuộc giữa các yếu tố, do đó yêu cầu các chuyên gia có khả năng đánh giá mức độ ảnh hưởng giữa các tiêu chí dựa trên kinh nghiệm và hiểu biết chuyên sâu. Khi số lượng chuyên gia đủ đa dạng về kinh nghiệm và chuyên môn, kết quả thu được có thể phản ánh tương đối chính xác mối quan hệ giữa các yếu tố nghiên cứu.

Đối với phương pháp AHP, kích thước mẫu cũng thường không quá lớn do bản chất của phương pháp là so sánh cặp giữa các tiêu chí và phụ thuộc nhiều vào tính nhất quán trong đánh

giá của chuyên gia. Theo các nghiên cứu trước đây, số lượng chuyên gia từ khoảng 10 đến 20 người có thể đáp ứng yêu cầu phân tích AHP nếu các chuyên gia có trình độ chuyên môn cao và đánh giá đạt mức độ nhất quán chấp nhận được.

Trong nghiên cứu này, mẫu cuối cùng gồm 14 chuyên gia. Quy mô này phù hợp với cách tiếp cận AHP–DEMATEL dựa trên đánh giá chuyên gia, trong đó chất lượng chuyên môn, mức độ phù hợp và tính nhất quán của đánh giá được ưu tiên hơn mục tiêu suy rộng thống kê cho toàn bộ tổng thể.

Mẫu khảo sát được lựa chọn nhằm tạo sự đa dạng về vị trí công việc và lĩnh vực chuyên môn, gồm quản lý, chuyên gia BIM, kỹ sư, nhà nghiên cứu và giảng viên. Sự đa dạng này hỗ trợ việc xem xét vấn đề từ nhiều góc độ, nhưng kết quả vẫn cần được diễn giải trong phạm vi mẫu chuyên gia có chủ đích.

2.8.4 Xử lý dữ liệu

Sau khi hoàn thành khảo sát, dữ liệu thu thập được tổng hợp và xử lý bằng Microsoft Excel. Excel được lựa chọn vì là công cụ phổ biến, dễ tiếp cận và phù hợp để thực hiện các phép tính ma trận cần thiết cho phân tích AHP và DEMATEL.

Đối với DEMATEL, dữ liệu đánh giá của chuyên gia trước tiên được tổng hợp để xây dựng ma trận quan hệ trực tiếp ban đầu giữa các yếu tố nghiên cứu. Các giá trị trong ma trận sau đó được chuẩn hóa để hình thành ma trận quan hệ trực tiếp chuẩn hóa. Tiếp theo, ma trận quan hệ tổng thể được tính nhằm xác định mức độ ảnh hưởng tạo ra và mức độ ảnh hưởng nhận vào của từng yếu tố. Dựa trên các giá trị $(R + C)$ và $(R - C)$, nghiên cứu xác định mức độ nổi trội và phân loại từng yếu tố vào nhóm có ảnh hưởng ròng hoặc nhóm chịu ảnh hưởng ròng trong hệ thống nghiên cứu.

Đối với AHP, các ma trận so sánh cặp riêng của từng chuyên gia được xây dựng và tổng hợp bằng trung bình nhân. Vector ưu tiên nhóm sau đó được tính từ ma trận nhóm đã chuẩn hóa. Tính nhất quán của ma trận tổng hợp được đánh giá bằng Tỷ số nhất quán (CR), với $CR < 0{,}10$ được xem là chấp nhận được. Do nghiên cứu không báo cáo riêng CR của từng chuyên gia, giá trị CR được trình bày chỉ hỗ trợ kết luận về tính nhất quán của ma trận nhóm tổng hợp, chứ không chứng minh rằng mọi phản hồi cá nhân đều có mức độ nhất quán như nhau.

Microsoft Excel được sử dụng để thực hiện các phép tính ma trận, tính giá trị trung bình, chuẩn hóa dữ liệu và đánh giá tính nhất quán của các phán đoán. Việc sử dụng Excel giúp tăng tính minh bạch và khả năng kiểm tra của quy trình xử lý dữ liệu, đồng thời hỗ trợ trình bày kết quả nghiên cứu. Excel cũng được sử dụng để trực quan hóa dữ liệu thông qua bảng và biểu đồ, qua đó hỗ trợ quá trình phân tích và diễn giải kết quả

CHƯƠNG 3. PHÂN TÍCH KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU

3.1 Thống kê nhân khẩu học mẫu khảo sát

Trong khoảng 30 chuyên gia được mời tham gia nghiên cứu, 17 chuyên gia đã hoàn thành và gửi lại bảng đánh giá. Sau quá trình kiểm tra dữ liệu, 03 phiếu không đáp ứng yêu cầu về tính đầy đủ và khả năng sử dụng cho phân tích AHP–DEMATEL được loại bỏ; do đó, mẫu phân tích cuối cùng gồm 14 chuyên gia

Bảng 5: Thông tin các chuyên gia tham gia khảo sát

ID	Trình độ	Số năm kinh nghiệm	Chức vụ	Lĩnh vực chuyên môn
G1	Thạc sĩ	10	Tư vấn và Kỹ sư dự toán	Dự toán chi phí và bóc tách khối lượng dựa trên BIM
G2	Phó giáo sư	16	Giảng viên	Triển khai chính sách
G3	Tiến sĩ	15	Phó Tổng Giám đốc	Dự toán chi phí và bóc tách khối lượng dựa trên BIM
G4	Tiến sĩ	14	Quản lý pháp lý dự án	Triển khai dự án công và thực thi chính sách số
G5	Kỹ sư	10	Kỹ sư thiết kế BIM	Mô hình hóa và thiết kế kết cấu bằng BIM
G6	Thạc sĩ	11	Quản lý dự án	Mô hình hóa và thiết kế kết cấu bằng BIM
G7	Thạc sĩ	10	Phó Giám đốc	Thiết kế BIM và dự toán chi phí
G8	Kỹ sư	12	Kỹ sư thiết kế BIM	Mô hình hóa và thiết kế kết cấu bằng BIM
G9	Tiến sĩ	11	Trưởng phòng Nghiên cứu Kinh tế Đầu tư và Xây dựng Số	Đề xuất chính sách dựa trên BIM và AI
G10	Phó Giáo sư	26	Trưởng Khoa Kinh tế Xây dựng	Triển khai dự án công và thực thi chính sách số
G11	Thạc sĩ	16	Giám đốc	Quản lý tiến độ và nguồn lực
G12	Kỹ sư	15	Giám đốc, Quản lý BIM	Phối hợp BIM–MEP và hệ thống

G13	Tiến sĩ	22	Giám đốc, Tư vấn BIM	Chính sách xây dựng và quản trị BIM
G14	Tiến sĩ	20	Quản lý dự án	Quản lý tiến độ và nguồn lực

3.2 Kết quả phân tích AHP

Chương này trước hết trình bày kết quả AHP về mức độ ưu tiên tương đối của mười giải pháp triển khai BIM–GenAI, sau đó trình bày kết quả DEMATEL về các mối quan hệ ảnh hưởng theo nhận định của chuyên gia.

Kết quả phân tích AHP được trình bày như sau:

Bước 1: Kết quả xây dựng ma trận so sánh cặp

Giai đoạn đầu tiên bao gồm việc tổng hợp các đánh giá của **14 chuyên gia** thông qua bảng câu hỏi so sánh cặp có cấu trúc. Đánh giá của mỗi chuyên gia được biểu diễn dưới dạng một ma trận so sánh riêng biệt Pk được xây dựng theo Công thức (1.1). Sau đó, 14 ma trận này được tổng hợp thành một ma trận so sánh cặp nhóm P bằng phương pháp trung bình nhân (geometric mean) theo Công thức (1.2), qua đó phản ánh đánh giá tổng hợp của nhóm chuyên gia về mức độ quan trọng tương đối của mười giải pháp tích hợp BIM–AI trong quản lý tiến độ

$$P=\begin{bmatrix} 1 & 2,876 & 0,499 & 0,873 & 0,937 & 1,669 & 1,330 & 2,617 & 0,559 & 1,252 \\ 0,348 & 1 & 0,465 & 0,503 & 1,011 & 1,175 & 1,295 & 1,472 & 0,439 & 0,868 \\ 2,005 & 2,149 & 1 & 1,714 & 1,862 & 4,106 & 3,600 & 3,331 & 0,619 & 2,803 \\ 1,145 & 1,987 & 0,583 & 1 & 1,574 & 2,487 & 1,731 & 2,362 & 0,455 & 1,422 \\ 1,068 & 0,989 & 0,537 & 0,635 & 1 & 1,403 & 1,242 & 1,626 & 0,663 & 1,12 \\ 0,599 & 0,851 & 0,244 & 0,402 & 0,713 & 1 & 1,177 & 0,995 & 0,374 & 0,709 \\ 0,752 & 0,772 & 0,278 & 0,578 & 0,805 & 0,849 & 1 & 1,147 & 0,326 & 0,903 \\ 0,382 & 0,679 & 0,300 & 0,423 & 0,615 & 1,005 & 0,872 & 1 & 0,271 & 0,579 \\ 1,788 & 2,279 & 1,615 & 2,199 & 1,509 & 2,675 & 3,069 & 3,691 & 1 & 0,895 \\ 0,799 & 1,152 & 0,357 & 0,703 & 0,893 & 1,410 & 1,108 & 1,728 & 1,117 & 1 \end{bmatrix}$$

Bước 2: Kết quả tính toán trọng số của các giải pháp

Ma trận tổng hợp **P** được chuẩn hóa theo Công thức (1.3) để thu được **ma trận chuẩn hóa Q**.

$$Q=\begin{bmatrix} 0{,}101 & 0{,}195 & 0{,}085 & 0{,}097 & 0{,}086 & 0{,}094 & 0{,}081 & 0{,}131 & 0{,}096 & 0{,}108 \\ 0{,}035 & 0{,}068 & 0{,}079 & 0{,}056 & 0{,}093 & 0{,}066 & 0{,}079 & 0{,}074 & 0{,}075 & 0{,}075 \\ 0{,}203 & 0{,}146 & 0{,}170 & 0{,}190 & 0{,}171 & 0{,}231 & 0{,}219 & 0{,}167 & 0{,}106 & 0{,}243 \\ 0{,}116 & 0{,}135 & 0{,}099 & 0{,}111 & 0{,}144 & 0{,}140 & 0{,}105 & 0{,}118 & 0{,}078 & 0{,}123 \\ 0{,}108 & 0{,}067 & 0{,}091 & 0{,}070 & 0{,}092 & 0{,}079 & 0{,}076 & 0{,}081 & 0{,}114 & 0{,}097 \\ 0{,}061 & 0{,}058 & 0{,}041 & 0{,}045 & 0{,}065 & 0{,}056 & 0{,}072 & 0{,}050 & 0{,}064 & 0{,}061 \\ 0{,}076 & 0{,}052 & 0{,}047 & 0{,}064 & 0{,}074 & 0{,}048 & 0{,}061 & 0{,}057 & 0{,}056 & 0{,}078 \\ 0{,}039 & 0{,}046 & 0{,}051 & 0{,}047 & 0{,}056 & 0{,}057 & 0{,}053 & 0{,}050 & 0{,}047 & 0{,}050 \\ 0{,}181 & 0{,}155 & 0{,}275 & 0{,}243 & 0{,}138 & 0{,}150 & 0{,}187 & 0{,}185 & 0{,}172 & 0{,}077 \\ 0{,}081 & 0{,}078 & 0{,}061 & 0{,}078 & 0{,}082 & 0{,}079 & 0{,}067 & 0{,}087 & 0{,}192 & 0{,}087 \end{bmatrix}$$

Dựa trên ma trận này, trọng số ưu tiên tương đối của mười giải pháp triển khai (S1, S2, …, S9 và S10) được xác định theo Công thức (1.4), từ đó hình thành ma trận trọng số cuối cùng W.

$$W = \begin{matrix} S1 \\ S2 \\ S3 \\ S4 \\ S5 \\ S6 \\ S7 \\ S8 \\ S9 \\ S10 \end{matrix} \begin{bmatrix} 0{,}1074 \\ 0{,}0700 \\ 0{,}1845 \\ 0{,}1170 \\ 0{,}0875 \\ 0{,}0573 \\ 0{,}0614 \\ 0{,}0495 \\ 0{,}1763 \\ 0{,}0891 \end{bmatrix}$$

Bước 3: Kết quả kiểm tra tính nhất quán

Để đánh giá mức độ nhất quán logic của ma trận so sánh cặp nhóm, quá trình kiểm tra tính nhất quán được thực hiện theo các Công thức (1.5)–(1.8). Cụ thể, vector riêng (eigenvector) được xác định theo Công thức (1.5).

$$\lambda = \begin{matrix} S1 \\ S2 \\ S3 \\ S4 \\ S5 \\ S6 \\ S7 \\ S8 \\ S9 \\ S10 \end{matrix} \begin{bmatrix} 10{,}2589 \\ 10{,}2181 \\ 10{,}2640 \\ 10{,}2343 \\ 10{,}2677 \\ 10{,}2308 \\ 10{,}2472 \\ 10{,}2404 \\ 10{,}3169 \\ 10{,}2472 \end{bmatrix}$$

Như được trình bày trong Bảng 6, giá trị riêng lớn nhất $\lambda_{max} = 10{,}253$, được tính theo Công thức (1.6); chỉ số nhất quán CI = 0,0281 được xác định theo Công thức (1.7); và tỷ số nhất quán CR = 0,0188 được tính theo Công thức (1.8), nhỏ hơn ngưỡng 0,10 cho thấy ma trận so sánh cặp nhóm đạt mức nhất quán chấp nhận được. Kết quả này hỗ trợ việc sử dụng vector trọng số nhóm cho bước xếp hạng tiếp theo, nhưng không tự thân chứng minh độ tin cậy hoặc tính đúng đắn của toàn bộ nghiên cứu

Dựa trên ma trận trọng số chuẩn hóa W được trình bày trong Bảng 6, năm giải pháp triển khai có mức độ ưu tiên cao nhất trong việc tích hợp BIM và GenAI nhằm nâng cao quản lý tiến độ xây dựng được xác định gồm: **S3 (W3=0,1845), S9 (W9=0,1763), S4 (W4=0,1170), S1 (W1=0,1074)** và **S10 (W10=0,0891)**. Kết quả xếp hạng được tổng hợp trong Bảng 6, qua đó tạo cơ sở có hệ thống cho bước phân tích DEMATEL tiếp theo nhằm xác định mối quan hệ ảnh hưởng và phụ thuộc giữa các chiến lược.

Bảng 6: Trọng số, kiểm tra nhất quán và kết quả xếp hạng bằng phương pháp AHP

S	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	Giá trị tổng trọng số	Trọng số của giải pháp	Vector nhất quán λ	λ_{max}	CI	RI	CR	Thứ hạng
S1	0,11	0,20	0,09	0,10	0,08	0,10	0,08	0,13	0,10	0,11	1,10	0,1074	10,2589					4
S2	0,04	0,07	0,09	0,06	0,09	0,07	0,08	0,07	0,08	0,08	0,71	0,0700	10,2181					7
S3	0,22	0,15	0,18	0,20	0,16	0,24	0,22	0,17	0,11	0,25	1,89	0,1845	10,2640					1
S4	0,12	0,14	0,11	0,12	0,14	0,14	0,11	0,12	0,08	0,13	1,20	0,1170	10,2343					3
S5	0,11	0,07	0,10	0,07	0,09	0,08	0,08	0,08	0,12	0,10	0,90	0,0875	10,2677					6
S6	0,06	0,06	0,04	0,05	0,06	0,06	0,07	0,05	0,07	0,06	0,59	0,0573	10,2308	10,253	0,0281	1,49	0,0188	9
S7	0,08	0,05	0,05	0,07	0,07	0,05	0,06	0,06	0,06	0,08	0,63	0,0614	10,2472					8
S8	0,04	0,05	0,06	0,05	0,05	0,06	0,05	0,05	0,05	0,05	0,51	0,0495	10,2404					10
S9	0,19	0,16	0,30	0,26	0,13	0,15	0,19	0,18	0,18	0,08	1,82	0,1763	10,3169					2
S10	0,09	0,08	0,07	0,08	0,08	0,08	0,07	0,09	0,20	0,09	0,91	0,0891	10,2472					5

3.3 Kết quả phân tích DEMATEL

Bước 1: Kết quả xây dựng ma trận quan hệ trực tiếp (S_1)

Ma trận quan hệ trực tiếp (S) được xây dựng dựa trên đánh giá của các chuyên gia về mức độ ảnh hưởng lẫn nhau giữa mười giải pháp tích hợp GenAI–BIM. Dữ liệu thu thập từ 14 chuyên gia trước tiên được tổng hợp thành các ma trận riêng biệt có kích thước 10 × 10, sau đó được tổng hợp theo Công thức (2.1) để thu được ma trận trung bình nhóm (S). Ma trận này phản ánh cấu trúc ban đầu của các mối quan hệ ảnh hưởng trực tiếp giữa các giải pháp theo nhận định của nhóm chuyên gia.

$$S_1 = \begin{bmatrix} 0 & 2,643 & 2,714 & 3,143 & 2,929 & 2,929 & 3,286 & 2,714 & 2,857 & 2,929 \\ 1,857 & 0 & 1,786 & 2,786 & 2,214 & 2,714 & 3,000 & 3,143 & 2,214 & 3,071 \\ 3,000 & 3,000 & 0 & 2,929 & 3,357 & 2,786 & 2,786 & 2,786 & 2,357 & 2,857 \\ 2,214 & 2,357 & 2,000 & 0 & 2,857 & 2,429 & 2,571 & 2,500 & 2,071 & 3,000 \\ 2,714 & 2,643 & 2,714 & 3,071 & 0 & 2,929 & 2,786 & 2,500 & 2,429 & 3,143 \\ 1,643 & 2,500 & 1,929 & 2,857 & 2,857 & 0 & 2,429 & 2,643 & 1,786 & 2,500 \\ 2,286 & 2,643 & 1,786 & 2,357 & 2,214 & 2,429 & 0 & 2,000 & 2,071 & 2,714 \\ 2,286 & 2,071 & 2,286 & 2,571 & 1,714 & 2,643 & 2,500 & 0 & 2,071 & 2,500 \\ 3,357 & 2,929 & 3,000 & 3,357 & 2,714 & 2,714 & 3,000 & 2,500 & 0 & 2,714 \\ 2,071 & 2,929 & 2,500 & 2,857 & 2,714 & 2,500 & 3,000 & 3,000 & 1,857 & 0 \end{bmatrix}$$

Bước 2: Kết quả chuẩn hóa ma trận ảnh hưởng trực tiếp (D_1)

Ma trận quan hệ trực tiếp (S) được chuẩn hóa để thu được ma trận ảnh hưởng trực tiếp chuẩn hóa (D) theo Công thức (2.2). Quá trình chuẩn hóa này nhằm bảo đảm tính đồng nhất và khả năng so sánh giữa các giá trị ảnh hưởng, đồng thời duy trì tính ổn định về mặt số học cho các bước tính toán tiếp theo bằng cách đưa toàn bộ giá trị ảnh hưởng về một phạm vi thống nhất.

$$D1 = \begin{bmatrix} 0 & 0,101 & 0,103 & 0,120 & 0,111 & 0,111 & 0,125 & 0,103 & 0,109 & 0,111 \\ 0,071 & 0 & 0,068 & 0,106 & 0,084 & 0,103 & 0,114 & 0,120 & 0,084 & 0,117 \\ 0,114 & 0,114 & 0 & 0,111 & 0,128 & 0,106 & 0,106 & 0,106 & 0,090 & 0,109 \\ 0,084 & 0,090 & 0,076 & 0 & 0,109 & 0,092 & 0,098 & 0,095 & 0,079 & 0,114 \\ 0,103 & 0,101 & 0,103 & 0,117 & 0 & 0,111 & 0,106 & 0,095 & 0,092 & 0,120 \\ 0,063 & 0,095 & 0,073 & 0,109 & 0,109 & 0 & 0,092 & 0,101 & 0,068 & 0,095 \\ 0,087 & 0,101 & 0,068 & 0,090 & 0,084 & 0,092 & 0 & 0,076 & 0,079 & 0,103 \\ 0,087 & 0,079 & 0,087 & 0,098 & 0,065 & 0,101 & 0,095 & 0 & 0,079 & 0,095 \\ 0,128 & 0,111 & 0,114 & 0,128 & 0,103 & 0,103 & 0,114 & 0,095 & 0 & 0,103 \\ 0,079 & 0,111 & 0,095 & 0,109 & 0,103 & 0,095 & 0,114 & 0,114 & 0,071 & 0 \end{bmatrix}$$

Bước 3: Kết quả xây dựng ma trận quan hệ tổng thể (T)

Sử dụng Công thức (2.4), ma trận quan hệ tổng thể (T) được xác định nhằm phản ánh đồng thời các tác động trực tiếp và gián tiếp giữa các giải pháp. Ma trận thu được cung cấp một cái nhìn tổng thể về mối quan hệ phụ thuộc và tác động qua lại giữa các giải pháp, qua đó cho thấy cách thức mức độ ảnh hưởng được lan truyền trong mạng lưới các giải pháp tích hợp GenAI–BIM nhằm nâng cao hiệu quả quản lý tiến độ xây dựng.

$$T_1 = \begin{bmatrix} 0{,}696 & \mathbf{0{,}860} & \mathbf{0{,}770} & \mathbf{0{,}939} & \mathbf{0{,}864} & \mathbf{0{,}876} & \mathbf{0{,}929} & \mathbf{0{,}866} & 0{,}746 & \mathbf{0{,}922} \\ 0{,}672 & 0{,}671 & 0{,}654 & \mathbf{0{,}822} & 0{,}743 & \mathbf{0{,}770} & \mathbf{0{,}816} & \mathbf{0{,}782} & 0{,}642 & \mathbf{0{,}822} \\ \mathbf{0{,}789} & \mathbf{0{,}861} & 0{,}668 & \mathbf{0{,}922} & \mathbf{0{,}867} & \mathbf{0{,}857} & \mathbf{0{,}903} & \mathbf{0{,}859} & 0{,}722 & \mathbf{0{,}910} \\ 0{,}671 & 0{,}738 & 0{,}648 & 0{,}710 & 0{,}749 & 0{,}746 & \mathbf{0{,}786} & 0{,}746 & 0{,}625 & \mathbf{0{,}804} \\ 0{,}759 & \mathbf{0{,}828} & 0{,}741 & \mathbf{0{,}902} & 0{,}732 & \mathbf{0{,}843} & \mathbf{0{,}879} & \mathbf{0{,}827} & 0{,}705 & \mathbf{0{,}894} \\ 0{,}628 & 0{,}715 & 0{,}621 & \mathbf{0{,}779} & 0{,}722 & 0{,}635 & 0{,}753 & 0{,}724 & 0{,}593 & 0{,}760 \\ 0{,}636 & 0{,}707 & 0{,}605 & 0{,}748 & 0{,}688 & 0{,}705 & 0{,}654 & 0{,}690 & 0{,}591 & 0{,}751 \\ 0{,}638 & 0{,}691 & 0{,}623 & 0{,}758 & 0{,}676 & 0{,}714 & 0{,}744 & 0{,}621 & 0{,}593 & 0{,}747 \\ \mathbf{0{,}816} & \mathbf{0{,}876} & \mathbf{0{,}785} & \mathbf{0{,}953} & \mathbf{0{,}864} & \mathbf{0{,}876} & \mathbf{0{,}927} & \mathbf{0{,}866} & 0{,}654 & \mathbf{0{,}923} \\ 0{,}698 & \mathbf{0{,}791} & 0{,}694 & \mathbf{0{,}846} & \mathbf{0{,}779} & \mathbf{0{,}784} & \mathbf{0{,}837} & \mathbf{0{,}797} & 0{,}648 & 0{,}739 \end{bmatrix}$$

Bước 4: Kết quả xác định cấu trúc ảnh hưởng theo đánh giá chuyên gia

Để xác định cấu trúc ảnh hưởng theo đánh giá của chuyên gia, tổng theo hàng (R) và tổng theo cột (C) của ma trận quan hệ tổng thể được tính theo Công thức (2.6) và (2.7). Sau đó, giá trị mức độ nổi trội (R + C) và quan hệ (R − C) được xác định cho từng giải pháp. S1, S3, S5 và S9 có R − C dương và được phân loại là các giải pháp có ảnh hưởng ròng (net-driving), trong khi S2, S4, S6, S7, S8 và S10 có R − C âm và được phân loại là các giải pháp chịu ảnh hưởng ròng (net-receiving). Các phân loại này mô tả hướng ảnh hưởng theo nhận định của chuyên gia và không cấu thành bằng chứng về quan hệ nhân quả thực nghiệm.

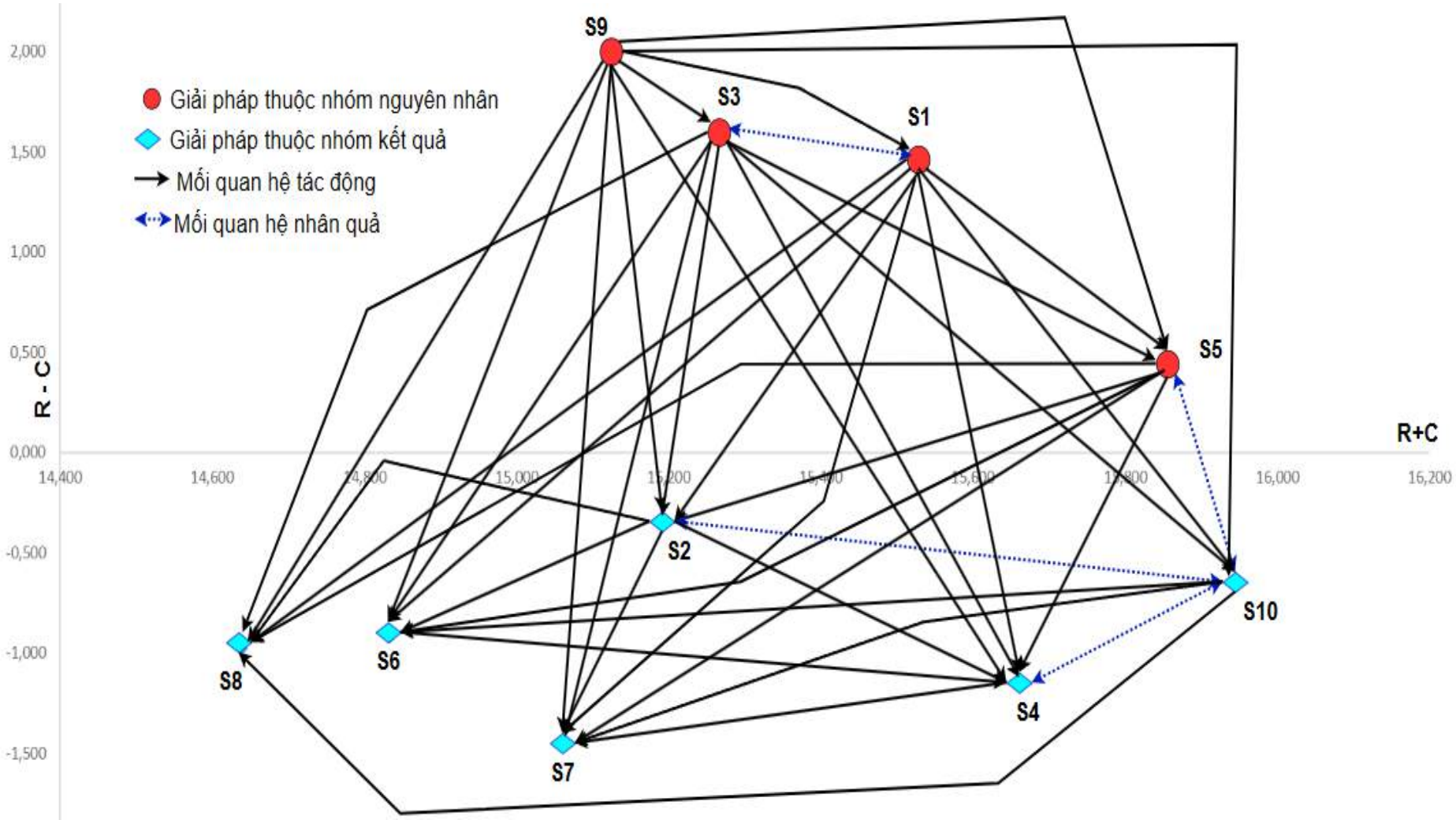
Bảng 7: Mức độ nổi trội và quan hệ ảnh hưởng ròng giữa các giải pháp theo đánh giá của chuyên gia.

Giải pháp	Ri	Ci	Ri+Ci	Ri-Ci	Phân loại
S1	**8,466**	**7,002**	**15,468**	**1,464**	**Nhân tố tác động**
S2	7,393	7,737	15,130	-0,345	Nhân tố bị tác động
S3	**8,358**	**6,806**	**15,164**	**1,551**	**Nhân tố tác động**
S4	7,222	8,379	15,601	-1,156	Nhân tố bị tác động
S5	**8,109**	**7,685**	**15,794**	**0,425**	**Nhân tố tác động**
S6	6,931	7,806	14,736	-0,875	Nhân tố bị tác động
S7	6,775	8,227	15,002	-1,452	Nhân tố bị tác động
S8	6,804	7,777	14,581	-0,973	Nhân tố bị tác động
S9	**8,541**	**6,519**	**15,060**	**2,021**	**Nhân tố tác động**
S10	7,612	8,271	15,883	-0,660	Nhân tố bị tác động

Bước 5: Kết quả xây dựng sơ đồ quan hệ ảnh hưởng.

Để minh họa các quan hệ phụ thuộc, sơ đồ quan hệ được xây dựng với mức độ nổi trội (R + C) trên trục hoành và quan hệ (R − C) trên trục tung. Giá trị ngưỡng 0,762 được tính bằng trung bình của toàn bộ phần tử trong ma trận quan hệ tổng thể (T) theo Công thức (2.8), được

sử dụng để lọc các đường ảnh hưởng yếu. Chỉ các giá trị ảnh hưởng vượt ngưỡng được giữ lại (in đậm trong ma trận T), qua đó làm nổi bật các đường ảnh hưởng vượt ngưỡng quy ước giữa các giải pháp. Hình 8 trực quan hóa các mối quan hệ giữa mười giải pháp tích hợp GenAI–BIM, đồng thời phân biệt nhóm có ảnh hưởng ròng và nhóm chịu ảnh hưởng ròng trong hệ thống.



Hình 8: Sơ đồ quan hệ ảnh hưởng giữa các giải pháp tích hợp BIM -GenAI

3.4 Diễn giải kết quả DEMATEL

3.4.1 Các giải pháp có ảnh hưởng ròng

Bốn giải pháp gồm S9, S3, S1 và S5 có giá trị Ri-Ci dương. Trong đó, S9 thể hiện mức ảnh hưởng ròng lớn nhất (+2,021), tiếp theo là S3 (+1,551), S1 (+1,464) và S5 (+0,425). Kết quả này cho thấy, theo đánh giá của hội đồng chuyên gia, các yếu tố liên quan đến khung chính sách và pháp lý, năng lực nguồn nhân lực và tiêu chuẩn hóa dữ liệu có xu hướng tạo ra mức ảnh hưởng đối với các giải pháp khác lớn hơn mức ảnh hưởng mà chúng tiếp nhận từ hệ thống.

S9 có giá trị Ri cao nhất (8,541) và giá trị Ci thấp nhất trong số mười giải pháp (6,519), tạo ra chênh lệch Ri-Ci đáng kể. Kết quả này không hàm ý rằng mọi thay đổi về chính sách đều tất yếu tạo ra những kết quả hữu hình trong thực tiễn. Thay vào đó, kết quả cho thấy hội đồng chuyên gia đánh giá môi trường pháp lý, các cơ chế công nhận dữ liệu số, trách nhiệm giải trình trong việc sử dụng AI và các chính sách khuyến khích đầu tư là những yếu tố có ảnh hưởng định hướng tương đối mạnh đối với hệ thống.

Cả S3 và S1 đều thể hiện ảnh hưởng ròng dương và đồng thời nhận được trọng số AHP cao. Sự hội tụ kết quả giữa hai phương pháp đối với các giải pháp này cung cấp cơ sở vững chắc hơn để xem xét năng lực con người và chất lượng dữ liệu như những lĩnh vực cần được ưu tiên trong quá trình triển khai. Mặc dù S5 có mức ảnh hưởng ròng dương thấp hơn, giá trị Ri+Ci của giải pháp này đạt 15,794, xếp thứ hai trong toàn bộ hệ thống. Vị trí này cho thấy các dự án thí điểm không nên chỉ được xem là một giai đoạn kiểm chứng cuối cùng mà còn cần được xem như một cơ chế tạo lập phản hồi, qua đó hỗ trợ việc hoàn thiện tiêu chuẩn dữ liệu, nội dung đào tạo, quy trình vận hành và các cơ chế phối hợp.

3.4.2 Các giải pháp chịu ảnh hưởng ròng và có mức độ liên kết cao

Các giải pháp S2, S4, S6, S7, S8 và S10 có giá trị Ri-Ci âm, cho thấy trong cấu trúc ảnh hưởng được nhận thức theo đánh giá của các chuyên gia, các giải pháp này có xu hướng tiếp nhận tổng mức ảnh hưởng lớn hơn mức ảnh hưởng mà chúng tạo ra đối với các giải pháp khác. Trong đó, S7 có giá trị âm lớn nhất (−1,452), tiếp theo là S4 (−1,156), S8 (−0,973), S6 (−0,875), S10 (−0,660) và S2 (−0,345).

S4 xếp thứ ba trong kết quả phân tích AHP nhưng có giá trị Ri-Ci bằng −1,156 và giá trị Ci bằng 8,379, cao nhất trong toàn bộ hệ thống. Kết quả này cho thấy quy trình tích hợp được đánh giá có mức độ quan trọng cao, đồng thời phụ thuộc đáng kể vào các điều kiện tiên quyết. Một quy trình tích hợp BIM–GenAI không thể vận hành hiệu quả chỉ thông qua việc ban hành các hướng dẫn, mà còn đòi hỏi dữ liệu có cấu trúc, nguồn nhân lực có đủ năng lực, khung pháp lý phù hợp, cơ sở hạ tầng đáp ứng yêu cầu, các thỏa thuận chia sẻ dữ liệu và các công cụ kiểm tra, xác thực.

S10 có giá trị Ri+Ci cao nhất trong số mười giải pháp (15,883), trong khi giá trị Ri-Ci bằng −0,660. Đặc điểm này cho thấy S10 giữ vị trí có mức độ liên kết trung tâm cao trong mạng lưới ảnh hưởng được nhận thức, nhưng đồng thời phụ thuộc vào nhiều điều kiện khác trong hệ thống. Do đó, phối hợp đa bên và chia sẻ dữ liệu cần được xem là một mục tiêu trung tâm của

quá trình triển khai, trong đó mức độ trưởng thành của giải pháp phụ thuộc vào sự sẵn sàng về thể chế, nguồn nhân lực, dữ liệu, quy trình và các cơ chế bảo đảm.

S7 có mức ảnh hưởng ròng âm lớn nhất, cho thấy các công cụ hỗ trợ ra quyết định chỉ có thể phát huy giá trị khi được cung cấp dữ liệu có độ chính xác phù hợp, thuật toán thích hợp và các quy trình kiểm tra, xác thực được xác định rõ ràng. S6 phụ thuộc vào cơ sở hạ tầng phục vụ thu thập dữ liệu hiện trường, khả năng liên kết các dữ liệu này với mô hình BIM và độ chính xác của các thuật toán nhận dạng. S2 có giá trị Ri-Ci gần bằng 0 nhất trong nhóm chịu ảnh hưởng ròng, phản ánh vai trò kép của hạ tầng số: vừa là một điều kiện hỗ trợ triển khai, vừa là một giải pháp chịu ảnh hưởng bởi khối lượng dữ liệu, yêu cầu an ninh mạng và mô hình vận hành được lựa chọn.

S8 có giá trị Ri+Ci thấp nhất và giá trị Ri-Ci âm. Tuy nhiên, kết quả này không nên được diễn giải như một cơ sở để trì hoãn việc triển khai các biện pháp quản trị và bảo mật. DEMATEL phản ánh mức độ liên kết và chiều hướng ảnh hưởng giữa các giải pháp dựa trên đánh giá của chuyên gia, trong khi bảo mật dữ liệu, kiểm soát truy cập và khả năng kiểm toán là những yêu cầu mang tính bắt buộc và không thể được bù trừ (non-compensatory requirements). Do đó, hệ thống không nên được đưa vào vận hành khi các yêu cầu kiểm soát tối thiểu chưa được đáp ứng, bất kể trọng số tương đối được xác định cho S8.

3.4.3 Thảo luận kết quả phân tích DEMATEL

Kết quả DEMATEL cho thấy ba đặc điểm mà phân tích AHP chưa thể hiện đầy đủ. Thứ nhất, các giải pháp có mức độ ưu tiên cao không nhất thiết đồng thời có mức ảnh hưởng ròng dương, trong đó S4 là trường hợp thể hiện rõ nhất. Thứ hai, một giải pháp có thứ hạng AHP ở mức trung bình vẫn có thể đóng vai trò kích hoạt và kết nối trong hệ thống, như trường hợp của S5. Thứ ba, mức độ liên kết cao không nhất thiết đồng nghĩa với năng lực tạo ảnh hưởng mạnh; S10 có giá trị Ri+Ci cao nhất nhưng vẫn thuộc nhóm chịu ảnh hưởng ròng.

Các giá trị Ri, Ci, Ri+Ci và Ri-Ci cần được diễn giải trong phạm vi những hạn chế của dữ liệu khảo sát chuyên gia. Các thuật ngữ "nhóm có ảnh hưởng ròng" (cause group) và "nhóm chịu ảnh hưởng ròng" (effect group) được sử dụng để mô tả cấu trúc ảnh hưởng theo nhận định của các chuyên gia, thay vì xác lập các mối quan hệ nhân quả mang tính kết luận. Để kiểm chứng các mối quan hệ này theo nghĩa nhân quả chặt chẽ hơn, các nghiên cứu tiếp theo cần thu thập dữ liệu theo thời gian từ các dự án thí điểm và đánh giá sự thay đổi trong hiệu quả quản lý tiến độ khi các nhóm giải pháp khác nhau được triển khai.

3.5 Tích hợp kết quả AHP và DEMATEL

3.5.1 Ma trận kết hợp

Để tích hợp hai góc nhìn phân tích, trọng số ưu tiên AHP được đối chiếu với các chỉ số DEMATEL R, C, R + C và R − C. AHP phản ánh mức độ quan trọng tương đối mà hội đồng chuyên gia gán cho từng giải pháp, trong khi DEMATEL phản ánh cấu trúc ảnh hưởng theo nhận định của hội đồng, bao gồm mức độ nổi trội (R + C) và vị trí quan hệ ròng (R − C). Vì vậy, phân tích kết hợp hỗ trợ diễn giải theo định hướng ra quyết định về tầm quan trọng, tính

trung tâm, mức độ phụ thuộc và mức độ sẵn sàng triển khai. Kết quả không nên được hiểu là bằng chứng về quan hệ nhân quả thực nghiệm hoặc là một trình tự thời gian bắt buộc

Bảng 8: Ma trận tổng hợp kết quả AHP và DEMATEL

Mã	Giải pháp	Trọng số AHP	Hạng AHP	Ri	Ci	R+C	R−C	Phân loại DEMATEL
S1	Chuẩn hóa dữ liệu BIM tương thích AI	0,1074	4	8,466	7,002	15,468	+1,464	Nguyên nhân
S2	Hạ tầng điện toán đám mây cho GenAI	0,0700	7	7,393	7,737	15,130	-0,345	Kết quả
S3	Đào tạo nguồn nhân lực BIM–AI	0,1845	1	8,358	6,806	15,164	+1,551	Nguyên nhân
S4	Quy trình tích hợp BIM–GenAI cho quản lý tiến độ	0,1170	3	7,222	8,379	15,601	-1,156	Kết quả
S5	Triển khai dự án thí điểm	0,0875	6	8,109	7,685	15,794	+0,425	Nguyên nhân
S6	Tích hợp IoT–BIM–GenAI giám sát thời gian thực	0,0573	9	6,931	7,806	14,736	-0,875	Kết quả
S7	Công cụ hỗ trợ ra quyết định minh bạch dựa trên GenAI	0,0614	8	6,775	8,227	15,002	-1,452	Kết quả
S8	Quản trị và bảo mật dữ liệu	0,0495	10	6,804	7,777	14,581	-0,973	Kết quả

Mã	Giải pháp	Trọng số AHP	Hạng AHP	Ri	Ci	R+C	R−C	Phân loại DEMATEL
S9	Chính sách và khung pháp lý chuyển đổi số	0,1763	2	8,541	6,519	15,060	+2,021	Nguyên nhân
S10	Mô hình hợp tác đa bên chia sẻ dữ liệu	0,0891	5	7,612	8,271	15,883	-0,660	Kết quả

Quan sát tổng thể ma trận tích hợp cho thấy S9, S3, S1 và S5 là các giải pháp có ảnh hưởng ròng vì có R − C dương. Các giải pháp này đại diện cho chính sách và cơ chế hợp đồng, năng lực nhân lực, chuẩn hóa dữ liệu và học hỏi thông qua thí điểm có kiểm soát. Các giải pháp còn lại thuộc nhóm chịu ảnh hưởng ròng và nên được diễn giải như các năng lực hoặc kết quả mà việc chính thức hóa và mở rộng phụ thuộc vào các điều kiện hỗ trợ. Sự phân biệt này hỗ trợ xây dựng logic triển khai nhưng không nên được diễn giải như quan hệ nhân quả đã được kiểm chứng thực nghiệm

3.5.2 Xác định giải pháp ưu tiên

Nếu chỉ xét riêng trọng số AHP, thứ tự ưu tiên của các giải pháp lần lượt là S3, S9, S4, S1, S10, S5, S2, S7, S6 và S8. Tuy nhiên, kết quả DEMATEL cho thấy mức độ ưu tiên và mức độ phụ thuộc không đồng nhất. Do đó, cách diễn giải tích hợp áp dụng nguyên tắc mức độ sẵn sàng tối thiểu thay vì một quy tắc cứng nhắc rằng tất cả các giải pháp có ảnh hưởng ròng phải được hoàn thành trước khi bất kỳ giải pháp chịu ảnh hưởng ròng nào được triển khai. Các hoạt động thiết kế và tạo nguyên mẫu ở phạm vi giới hạn có thể được tiến hành song song, trong khi việc chính thức hóa và mở rộng quy mô cần phụ thuộc vào mức độ sẵn sàng của các nền tảng cần thiết về thể chế, nguồn nhân lực, dữ liệu và cơ chế kiểm soát.

Theo nguyên tắc này, S9, S3 và S1 được xem là các nền tảng hỗ trợ tối thiểu do đồng thời có mức độ ưu tiên AHP cao và giá trị quan hệ ròng dương. S5 đóng vai trò như một cơ chế học hỏi có kiểm soát, qua đó kiểm chứng các nền tảng này và tạo phản hồi phục vụ quá trình điều chỉnh, hoàn thiện. S4 và S10 có thể được xây dựng ở phạm vi thí điểm, trong khi S2, S6 và S7 có thể được phát triển nguyên mẫu ở quy mô giới hạn; tuy nhiên, việc chính thức hóa hoặc mở rộng trên phạm vi toàn tổ chức chỉ nên được thực hiện sau khi các tiêu chí tại các điểm kiểm soát giai đoạn (phase-gate) được xác định trước đã được đáp ứng. S8 được xem là một yêu cầu bảo đảm xuyên suốt và do đó cần được triển khai ở mức tối thiểu ngay từ đầu, thay vì bị trì hoãn do có thứ hạng AHP thấp hơn và giá trị R − C âm.

Cách diễn giải này vẫn bảo toàn vai trò của AHP, đồng thời sử dụng DEMATEL như một công cụ để xem xét quan hệ phụ thuộc giữa các giải pháp. AHP cho biết những giải pháp

nào được các chuyên gia đánh giá là quan trọng, trong khi DEMATEL hỗ trợ làm rõ những giải pháp nào được nhận thức là có vai trò tạo điều kiện, kết nối hoặc phụ thuộc trong hệ thống. Vì vậy, việc tích hợp hai phương pháp hỗ trợ xây dựng logic triển khai có cấu trúc mà không chuyển các đánh giá của chuyên gia thành những khẳng định về quan hệ nhân quả đã được kiểm chứng bằng thực nghiệm.

3.5.3 Phân nhóm chiến lược

Trên cơ sở xem xét kết hợp mức độ ưu tiên AHP, mức độ nổi trội DEMATEL, vị trí quan hệ ròng và mức độ trọng yếu về rủi ro, mười giải pháp được tổ chức thành ba tầng chiến lược, bổ sung bởi một chức năng bảo đảm xuyên suốt.

Tầng chiến lược 1 – Nền tảng hỗ trợ: S9, S3 và S1 thiết lập các điều kiện về thể chế, nhân lực và dữ liệu cần thiết cho việc triển khai BIM–GenAI có trách nhiệm. Việc phân loại này được hỗ trợ bởi sự hội tụ giữa mức độ ưu tiên AHP tương đối cao và giá trị R − C dương.

Tầng chiến lược 2 – Chuyển đổi và điều phối có kiểm soát: S5 đóng vai trò cầu nối học hỏi, trong khi S4 và S10 chuyển bằng chứng từ thí điểm thành các quy trình có thể lặp lại và cơ chế phối hợp đa bên. Giá trị R + C cao của S4 và S10 cho thấy tính trung tâm mạnh, nhưng R − C âm cho thấy chúng vẫn phụ thuộc vào các nền tảng hỗ trợ.

Tầng chiến lược 3 – Năng lực số có thể mở rộng và hiện thực hóa giá trị: S2, S6 và S7 cung cấp hạ tầng, tích hợp dữ liệu hiện trường và các năng lực hỗ trợ quyết định minh bạch, thông qua đó giá trị quản lý tiến độ được hiện thực hóa. Các năng lực này hướng tới ứng dụng và chỉ nên được mở rộng theo các trường hợp sử dụng đã được kiểm chứng và mức độ sẵn sàng đã được chứng minh.

Bảo đảm xuyên suốt – S8: quản trị dữ liệu, an ninh mạng, khả năng kiểm toán và trách nhiệm giải trình là các yêu cầu kiểm soát không thể bù trừ và áp dụng trên cả ba tầng. Mặc dù S8 thuộc nhóm chịu ảnh hưởng ròng và có thứ hạng AHP thấp hơn, nó không được xem là một giải pháp có thể trì hoãn; mức kiểm soát tối thiểu phải được thiết lập từ đầu và được tăng cường khi quy mô và mức rủi ro gia tăng.

Việc phân nhóm dưới đây là cách diễn giải tích hợp do tác giả đề xuất trên cơ sở kết quả AHP–DEMATEL kết hợp với nguyên tắc mức độ sẵn sàng và quản trị rủi ro; đây không phải là đầu ra phân nhóm tự động của hai phương pháp.

3.6 Thảo luận kết quả nghiên cứu

3.6.1 Tổng quan kết quả tích hợp

Kết quả AHP cho thấy năm giải pháp có thứ hạng cao nhất là S3 – phát triển năng lực nhân lực BIM và AI (0,1845), S9 – khung chính sách, pháp lý và hợp đồng (0,1763), S4 – quy trình quản lý tiến độ tích hợp BIM–GenAI (0,1170), S1 – chuẩn hóa dữ liệu BIM và tiến độ tương thích với AI (0,1074), và S10 – phối hợp đa bên và chia sẻ dữ liệu (0,0891). Ma trận so sánh cặp tổng hợp có tỷ số nhất quán 0,0188, thấp hơn ngưỡng chấp nhận 0,10. Kết quả này

cho thấy mức độ nhất quán nội tại chấp nhận được trong đánh giá nhóm; tự thân nó không chứng minh hiệu quả vận hành của các giải pháp.

DEMATEL cung cấp một góc nhìn bổ sung. S1, S3, S5 và S9 có R − C dương và được phân loại là các giải pháp có ảnh hưởng ròng, trong khi S2, S4, S6, S7, S8 và S10 có R − C âm và được phân loại là các giải pháp chịu ảnh hưởng ròng. Các vị trí này mô tả cấu trúc ảnh hưởng theo nhận định của hội đồng chuyên gia và không nên được hiểu là quan hệ nhân quả đã được kiểm chứng thực nghiệm. Sự chồng lấp một phần, nhưng không hoàn toàn, giữa mức độ ưu tiên AHP và ảnh hưởng ròng DEMATEL dẫn đến bốn phát hiện được thảo luận dưới đây.

3.6.2 Đặc điểm thứ nhất: "Bẫy phụ thuộc" giữa mức độ ưu tiên và vai trò ảnh hưởng ròng

Phát hiện thứ nhất là sự khác biệt giữa mức độ ưu tiên cao và vị trí ảnh hưởng phụ thuộc của S4 và S10. AHP xếp S4 thứ ba và S10 thứ năm, cho thấy các chuyên gia đánh giá quy trình tích hợp và phối hợp đa bên là những cấu phần quan trọng và dễ nhận thấy trong vận hành của quá trình triển khai BIM–GenAI.

Tuy nhiên, DEMATEL phân loại cả hai giải pháp vào nhóm chịu ảnh hưởng ròng. S4 có R − C = −1,156 và giá trị ảnh hưởng nhận vào C = 8,379, cao nhất hệ thống; S10 có R − C = −0,660 và mức độ nổi trội R + C = 15,883, cao nhất hệ thống. Kết quả gợi ý rằng hai giải pháp này tuy giữ vị trí trung tâm trong triển khai nhưng phụ thuộc mạnh vào chuẩn hóa dữ liệu (S1), năng lực nhân lực (S3), cơ chế chính sách và hợp đồng (S9), cũng như bằng chứng được tạo ra từ các dự án thí điểm có kiểm soát (S5).

Cấu hình này được nghiên cứu gọi là "bẫy phụ thuộc": người ra quyết định có thể ưu tiên các quy trình, nền tảng và cơ chế phối hợp dễ quan sát trước khi các điều kiện nền tảng cần thiết cho vận hành tin cậy được thiết lập. Để tránh bẫy này, S4 và S10 có thể được thiết kế và kiểm thử trong phạm vi thí điểm có giới hạn, nhưng việc chính thức hóa và mở rộng toàn tổ chức chỉ nên thực hiện khi có bằng chứng đáp ứng mức độ sẵn sàng tối thiểu và các tiêu chí phase-gate.

Các nghiên cứu trước đã ghi nhận giá trị tiềm năng hoặc kết quả tích cực của lập tiến độ tự động và các quy trình số có tính cộng tác trong những bối cảnh nghiên cứu cụ thể của lập tiến độ tự động và các quy trình số có tính cộng tác [2, 6, 24]. Kết quả của nghiên cứu này bổ sung hàm ý về trình tự triển khai: các ứng dụng dễ quan sát không nên được xem là điểm khởi đầu tự thân. Tiêu chuẩn dữ liệu, năng lực nhân lực, sự rõ ràng về chính sách và hợp đồng, cùng các kiểm soát bảo đảm tối thiểu cần được phát triển song song với hoạt động tạo nguyên mẫu giới hạn; việc mở rộng phải dựa trên bằng chứng đã được kiểm chứng chứ không chỉ dựa trên sự sẵn có của công nghệ.

3.6.3 Đặc điểm thứ hai: Đào tạo nhân lực, khung pháp lý và chuẩn hóa dữ liệu – nhóm yếu tố nền tảng dẫn dắt hệ thống

Phát hiện thứ hai là sự hội tụ giữa mức độ ưu tiên AHP và ảnh hưởng ròng dương đối với S3, S9 và S1. Ba giải pháp này lần lượt xếp hạng nhất, nhì và tư theo AHP, đồng thời có R − C dương lần lượt là +1,551, +2,021 và +1,464. Vị trí kết hợp này cung cấp cơ sở mạnh nhất để xem năng lực nhân lực, cơ chế thể chế và chuẩn hóa dữ liệu là các nền tảng hỗ trợ tối thiểu của khung đề xuất.

Sự hội tụ này cho thấy hội đồng chuyên gia nhận diện tích hợp BIM–GenAI như một quá trình chuyển đổi mang tính xã hội–kỹ thuật và thể chế, chứ không chỉ là hoạt động mua sắm phần mềm. S3 giúp nhân sự có khả năng vận hành, kiểm chứng, phản biện và chịu trách nhiệm đối với đầu ra được AI hỗ trợ. S9 xác định phạm vi sử dụng được phép, quyền dữ liệu, nghĩa vụ hợp đồng, thẩm quyền phê duyệt và trách nhiệm pháp lý. S1 cung cấp mã định danh, liên kết ngữ nghĩa, nguồn gốc dữ liệu, kiểm soát phiên bản và các quy tắc chất lượng cần thiết cho xử lý máy nhất quán.

Trong các giải pháp này, S9 có giá trị quan hệ ròng cao nhất hệ thống (+2,021), thể hiện vị trí ảnh hưởng ròng mạnh nhất theo nhận định của chuyên gia. S3 theo sau với +1,551, phản ánh tầm quan trọng của năng lực chuyên môn và khả năng tiếp nhận ở cấp tổ chức; S1 cung cấp nền tảng dữ liệu kỹ thuật mà nếu thiếu, đầu ra GenAI không thể được liên kết nhất quán với đối tượng BIM, cấu trúc WBS, hoạt động tiến độ, vị trí và bằng chứng.

Nhận định này phù hợp với các nghiên cứu trước cũng nhấn mạnh tầm quan trọng của thể chế, con người và dữ liệu như ba trụ cột không thể tách rời trong quá trình tích hợp BIM và GenAI [53, 69]. Thể chế tạo môi trường định hướng thông qua các lộ trình như Quyết định 258/QĐ-TTg, con người giữ vai trò then chốt trong chấp nhận và vận hành công nghệ, còn dữ liệu là "nhiên liệu" cần được chuẩn hóa thông qua các lược đồ như IFC hoặc COBie để AI có thể dự báo một cách nhất quán [5, 40].

3.6.4 Đặc điểm thứ ba: Vai trò trung tâm nhưng phụ thuộc của mô hình hợp tác đa bên chia sẻ dữ liệu

Phát hiện thứ ba liên quan đến vị trí đặc biệt của S10 – giải pháp phối hợp đa bên và chia sẻ dữ liệu. Mặc dù S10 xếp thứ năm theo AHP (0,0891) và thuộc nhóm chịu ảnh hưởng ròng (R − C = −0,660), giải pháp này có mức độ nổi trội cao nhất hệ thống (R + C = 15,883), vượt S5 (15,794) và S4 (15,601).

Mức độ nổi trội cao cho thấy S10 có liên kết mạnh với các giải pháp khác. Chia sẻ dữ liệu hiệu quả giữa chủ đầu tư, tư vấn, nhà thầu và nhà cung cấp công nghệ phụ thuộc vào thông tin đã được chuẩn hóa (S1), các bên tham gia có đủ năng lực (S3), quyền và nghĩa vụ được xác định rõ (S9), quy trình đã được kiểm thử (S4) và các cơ chế bảo đảm (S8). Ngược lại, điểm yếu trong phối hợp làm giảm giá trị thực tiễn có thể thu được từ các cấu phần kỹ thuật dù bản thân chúng có năng lực tốt.

Vì vậy, S10 nên được xem vừa là một mục tiêu triển khai trung hạn, vừa là một chỉ báo về mức độ sẵn sàng của hệ sinh thái. Hoạt động đa bên ở mức độ trưởng thành khó có thể được tạo ra chỉ bằng một nền tảng chia sẻ dữ liệu độc lập; nó hình thành khi quản trị, năng lực, chất lượng dữ liệu, cơ chế hợp đồng và quy trình vận hành đã được phát triển và kiểm thử ở mức đủ phù hợp.

3.6.5 Đặc điểm thứ tư: Học hỏi từ thí điểm và bảo đảm xuyên suốt

Phát hiện thứ tư liên quan đến vai trò bổ trợ giữa S5 và S8. S5 cung cấp một cơ chế học hỏi có kiểm soát, trong khi S8 thiết lập các điều kiện bảo đảm cần thiết để quá trình học hỏi, vận hành và mở rộng quy mô có thể được thực hiện.

S5 có giá trị R − C dương nhưng ở mức tương đối thấp (+0,425), cho thấy giải pháp này thuộc nhóm có ảnh hưởng ròng, mặc dù vai trò ảnh hưởng yếu hơn so với S9, S3 và S1 nhưng vẫn có ý nghĩa đối với toàn hệ thống. Dự án thí điểm không nên chỉ được xem là bước xác nhận cuối cùng sau khi toàn bộ các điều kiện nền tảng đã hoàn tất. Một thí điểm có phạm vi giới hạn và được kiểm soát có thể giúp phát hiện các thiếu hụt về dữ liệu, khoảng trống năng lực, xung đột quy trình, bất định pháp lý, hạn chế của mô hình và những rủi ro chưa được dự kiến, qua đó tạo phản hồi để tiếp tục hoàn thiện S1, S3, S4, S8, S9 và S10.

S8 có giá trị R − C âm (−0,973) và do đó được xếp vào nhóm chịu ảnh hưởng ròng trong cấu trúc ảnh hưởng theo đánh giá của chuyên gia. Kết quả này cho thấy mức độ trưởng thành của các cơ chế quản trị và bảo mật phụ thuộc một phần vào các điều kiện về chính sách, dữ liệu, năng lực, quy trình và công nghệ. Tuy nhiên, điều đó không có nghĩa rằng S8 nên bị trì hoãn hoặc được bố trí vào Tầng 3. Do kiểm soát truy cập, an ninh mạng, quản trị dữ liệu và mô hình, khả năng kiểm toán, ứng phó sự cố và trách nhiệm giải trình là các yêu cầu rủi ro mang tính không thể bù trừ, một mức cơ sở tối thiểu của S8 cần được thiết lập trước khi vận hành thí điểm và tiếp tục được tăng cường khi quy mô, mức độ nhạy cảm và tác động của quyết định gia tăng.

Sự phân biệt này làm rõ khác biệt giữa diễn giải mô tả và diễn giải chuẩn tắc. DEMATEL mô tả cách hội đồng chuyên gia nhận thức mối quan hệ ảnh hưởng giữa mười giải pháp, trong khi khung đề xuất bổ sung một nguyên tắc thiết kế dựa trên rủi ro: thứ hạng AHP thấp hoặc giá trị quan hệ ròng âm không thể được sử dụng làm cơ sở để trì hoãn những biện pháp kiểm soát mà nếu thiếu chúng, hệ thống có thể trở nên không an toàn, không phù hợp pháp luật hoặc không thể kiểm toán. Vì vậy, bằng chứng từ dự án thí điểm được sử dụng đồng thời để đánh giá giá trị của giải pháp và hiệu chỉnh các yêu cầu bảo đảm [6, 70].

3.6.6 Tổng hợp ý nghĩa và hàm ý cho việc đề xuất giải pháp

Tổng hợp bốn đặc điểm trên cho thấy một bức tranh nhất quán: kết quả tích hợp hỗ trợ một khung ba tầng được bổ sung bởi chức năng bảo đảm xuyên suốt. Tầng 1 gồm S9, S3 và S1, thiết lập mức độ sẵn sàng về thể chế, nhân lực và dữ liệu. Tầng 2 gồm S5, S4 và S10, chuyển mức độ sẵn sàng thành hoạt động học hỏi có kiểm soát, quy trình có thể lặp lại và cơ chế phối hợp có trách nhiệm. Tầng 3 gồm S2, S6 và S7, mở rộng hạ tầng, tích hợp dữ liệu hiện trường

và các năng lực hỗ trợ quyết định minh bạch nhằm tạo ra giá trị quản lý tiến độ có thể đo lường. S8 không thuộc riêng Tầng 3 hay bất kỳ tầng đơn lẻ nào mà áp dụng xuyên suốt toàn bộ các tầng với vai trò quản trị, an ninh mạng, khả năng kiểm toán, kiểm soát mô hình và trách nhiệm giải trình.

Cách tổ chức này không nên được hiểu là một trình tự thác nước cứng nhắc. Thiết kế quy trình dự thảo, phân tích mua sắm và tạo nguyên mẫu kỹ thuật giới hạn có thể tiến hành song song, với điều kiện phạm vi được kiểm soát và các đầu ra rủi ro cao không được áp dụng tự động. Việc chính thức hóa và mở rộng chỉ nên thực hiện sau khi chứng minh được mức độ sẵn sàng tối thiểu, kiểm chứng thí điểm, chấp nhận rủi ro còn lại và các tiêu chí phase-gate. Vì vậy, logic triển khai là: mức độ sẵn sàng tối thiểu khả thi, học hỏi từ thí điểm có kiểm soát, chuẩn hóa dựa trên bằng chứng và mở rộng có kiểm soát theo cổng giai đoạn.

CHƯƠNG 4. ĐỀ XUẤT GIẢI PHÁP TÍCH HỢP BIM VÀ GENAI TRONG QUẢN LÝ TIẾN ĐỘ XÂY DỰNG

Trọng số AHP được sử dụng để phản ánh mức độ ưu tiên tương đối của từng giải pháp theo đánh giá của chuyên gia, trong khi DEMATEL được sử dụng để làm rõ vai trò ảnh hưởng, mức độ liên kết và quan hệ phụ thuộc được nhận thức giữa các giải pháp. Các kết quả này sau đó được kết hợp với nguyên tắc mức độ sẵn sàng tối thiểu và quản trị rủi ro để đề xuất trình tự triển khai, điều kiện chuyển giai đoạn và cơ chế mở rộng quy mô.

Để bảo đảm dễ hiểu và thống nhất, Chương 4 ưu tiên sử dụng thuật ngữ tiếng Việt. Một số thuật ngữ chuyên môn được giải thích ở lần xuất hiện đầu tiên, gồm: tình huống ứng dụng (use case), dự án thí điểm (pilot), người phụ trách (owner), tiến độ cơ sở (baseline), môi trường thử nghiệm tách biệt (sandbox), quy trình luân chuyển công việc (workflow) và câu lệnh đầu vào cho mô hình AI (prompt). Ở các phần tiếp theo, chương chủ yếu sử dụng cách diễn đạt tiếng Việt.

4.1 Quan điểm và nguyên tắc xây dựng giải pháp

Một là, triển khai dựa trên quan hệ phụ thuộc và mức độ sẵn sàng thay vì chỉ dựa trên thứ hạng ưu tiên hoặc dấu của R − C. S9, S3 và S1 được xem là các nền tảng sẵn sàng tối thiểu; S5 được sử dụng như cơ chế học hỏi có kiểm soát. Các giải pháp còn lại có thể được thiết kế hoặc tạo nguyên mẫu song song trong phạm vi giới hạn, nhưng việc chính thức hóa và mở rộng cần phụ thuộc vào các điều kiện sẵn sàng và tiêu chí chuyển giai đoạn.

Hai là, thí điểm để học hỏi trước khi chuẩn hóa và nhân rộng. Mỗi dự án thí điểm phải có đường cơ sở, chỉ số đánh giá, cơ chế ghi nhận sai số và quy trình phản hồi. Kết quả thí điểm phải được chuyển thành thay đổi cụ thể trong tiêu chuẩn dữ liệu, nội dung đào tạo, quy trình và hợp đồng.

Ba là, lấy con người làm chủ thể chịu trách nhiệm cuối cùng. GenAI được sử dụng để tổng hợp, dự báo, tạo phương án và giải thích dữ liệu; mọi quyết định thay đổi tiến độ, nguồn lực hoặc nghĩa vụ hợp đồng phải do người có thẩm quyền kiểm chứng và phê duyệt. Cơ chế giám sát và phê duyệt của con người (human-in-the-loop) được áp dụng cho mọi chức năng có ảnh hưởng đến tiến độ cam kết.

Bốn là, chuẩn hóa và khả năng tương tác trước khi tự động hóa quy mô lớn. Dữ liệu phải có cấu trúc, mã định danh thống nhất, lịch sử phiên bản và liên kết rõ giữa đối tượng BIM, công tác tiến độ, nguồn lực và hồ sơ hiện trường. Kiến trúc hệ thống ưu tiên tiêu chuẩn mở và giao diện kết nối để hạn chế phụ thuộc nhà cung cấp.

Năm là, bảo mật và trách nhiệm giải trình theo thiết kế. Phân quyền, mã hóa, nhật ký truy vết, quản trị dữ liệu huấn luyện và kiểm soát đầu ra GenAI phải được thiết kế cùng quy trình nghiệp vụ, không bổ sung sau khi hệ thống đã vận hành.

Sáu là, đo lường theo hiệu quả quản lý tiến độ. Thành công không được đánh giá bằng số lượng công cụ hoặc mô hình đã cài đặt, mà bằng mức cải thiện chất lượng dữ liệu, thời gian

cập nhật, năng lực dự báo, tốc độ xử lý vấn đề, độ minh bạch quyết định và kết quả tiến độ thực tế.

Bảy là, phân vai theo phạm vi kiểm soát và tạo cơ chế phối hợp đa bên. Nhà nước định hình hành lang pháp lý và tiêu chuẩn; chủ đầu tư dẫn dắt yêu cầu thông tin và cơ chế hợp đồng; nhà thầu, tư vấn tổ chức dữ liệu và vận hành; đơn vị công nghệ cung cấp giải pháp có khả năng kiểm toán; cơ sở đào tạo phát triển năng lực và nghiên cứu ứng dụng.

4.2 Khung chiến lược và kiến trúc tích hợp BIM–GenAI

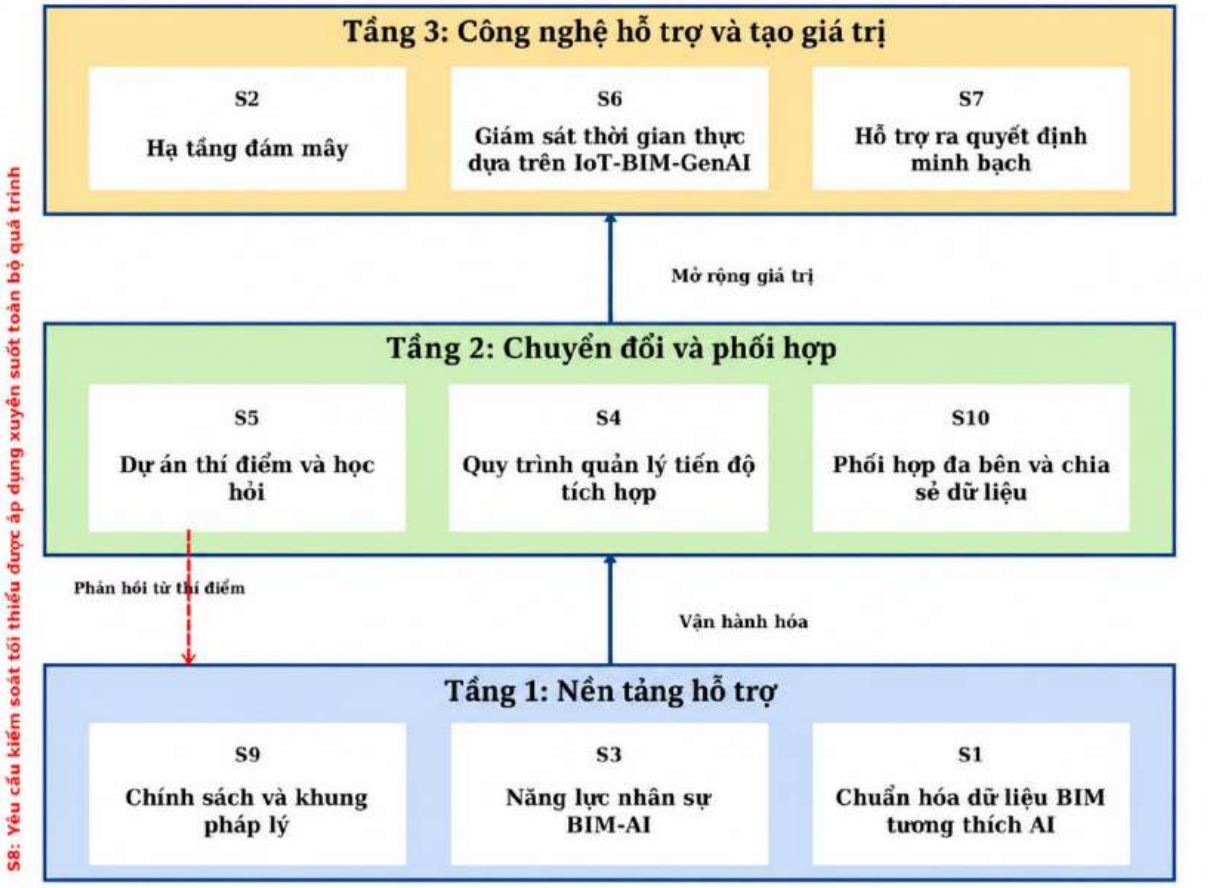
Việc chuyển từ kết quả tích hợp AHP–DEMATEL sang khung đề xuất tuân theo bốn nguyên tắc diễn giải. Thứ nhất, các giải pháp vừa có mức ưu tiên AHP cao vừa có giá trị R − C dương được xem là các nền tảng tạo điều kiện. Thứ hai, các giải pháp có mức độ nổi trội cao nhưng R − C âm được xem là các cơ chế chuyển đổi có tính trung tâm nhưng phụ thuộc. Thứ ba, các giải pháp công nghệ và ứng dụng được mở rộng theo những trường hợp sử dụng đã được kiểm chứng thay vì được triển khai như các điểm khởi đầu độc lập. Thứ tư, các kiểm soát có tính trọng yếu về rủi ro được xem là những yêu cầu không thể bù trừ, ngay cả khi thứ hạng AHP hoặc giá trị quan hệ ròng của chúng ở mức thấp.

Cách diễn giải này tạo ra hai đầu ra bổ trợ cho nhau. Khung chiến lược ba cấp giải thích trình tự triển khai, các quan hệ phụ thuộc về mức độ sẵn sàng và điều kiện chuyển tiếp. Kiến trúc tích hợp năm lớp mô tả dòng chức năng mà qua đó dữ liệu được thu thập, tích hợp, phân tích, chuyển thành các ứng dụng quản lý tiến độ và chịu sự xác minh cũng như quản trị của con người. Nói cách khác, khung ba cấp trả lời câu hỏi khi nào và trong điều kiện nào các giải pháp nên được thúc đẩy, trong khi kiến trúc năm lớp trả lời cách thức các giải pháp tương tác trong vận hành

4.2.1 Khung chiến lược ba tầng

Như thể hiện trong Hình 9, khung này tổ chức các giải pháp theo chức năng chiến lược và quan hệ phụ thuộc về mức độ sẵn sàng thay vì chỉ dựa trên thứ hạng AHP. Cấp 1 thiết lập mức độ sẵn sàng về thể chế, nhân lực và dữ liệu thông qua S9, S3 và S1. Cấp 2 sử dụng S5, S4 và S10 để thực hiện học hỏi có kiểm soát, chuyển bằng chứng thành các quy trình có thể lặp lại và điều phối các bên liên quan. Cấp 3 mở rộng các năng lực số được đại diện bởi S2, S6 và S7 nhằm tạo ra giá trị có thể đo lường cho quản lý tiến độ. S8 được bố trí riêng như một chức năng bảo đảm xuyên suốt về quản trị, an ninh mạng, khả năng kiểm toán, kiểm soát dữ liệu và mô hình, và trách nhiệm giải trình trên cả ba cấp.

Khung này không phải là một chuỗi thác nước cứng nhắc. Hoạt động thiết kế chuẩn bị, phân tích mua sắm và tạo nguyên mẫu kỹ thuật ở phạm vi hạn chế có thể được tiến hành đồng thời, với điều kiện phạm vi được kiểm soát và không có đầu ra rủi ro cao nào được tự động áp dụng. Việc chuyển tiếp giữa các cấp được quản lý bằng các tiêu chí về mức độ sẵn sàng tối thiểu và các cổng quyết định theo giai đoạn. Cách bố trí này giúp tránh hai rủi ro đối nghịch: mở rộng quy mô quá sớm khi chưa có nền tảng cần thiết, và chuẩn bị kéo dài quá mức nhưng thiếu bằng chứng thực tế từ triển khai thí điểm.



Hình 9: Khung chiến lược ba tầng với chức năng bảo đảm xuyên suốt cho tích hợp BIM-GenAI trong quản lý tiến độ xây dựng

Nguồn: Tác giả đề xuất trên cơ sở kết quả nghiên cứu.

4.2.1.1 Tầng 1 – Nền tảng hỗ trợ

Cấp 1 bao gồm S9, S3 và S1, đại diện cho mức độ sẵn sàng về thể chế, nhân lực và dữ liệu. S9 xác định phạm vi sử dụng được phép, quyền đối với dữ liệu, thẩm quyền phê duyệt, trách nhiệm pháp lý, nghĩa vụ kiểm toán và các cơ chế hợp đồng. S3 phát triển năng lực theo vai trò để vận hành, xác minh, phản biện và chịu trách nhiệm đối với các đầu ra được AI hỗ trợ. S1 thiết lập hệ thống định danh, các liên kết ngữ nghĩa, kiểm soát phiên bản, nguồn gốc dữ liệu và các quy tắc chất lượng kết nối đối tượng BIM, phần tử WBS, hoạt động tiến độ, vị trí và bằng chứng. Sự yếu kém ở bất kỳ một nền tảng nào cũng có thể khiến phần còn lại của hệ thống không thể vận hành một cách tin cậy.

Đầu ra yêu cầu của Cấp 1 là một trạng thái sẵn sàng tối thiểu khả thi có thể kiểm toán, chứ không phải một hệ thống GenAI đã phát triển hoàn chỉnh. Trạng thái này bao gồm phạm vi trường hợp sử dụng đã được phê duyệt; các kiểm soát chính sách và hợp đồng tạm thời; kế hoạch năng lực và đào tạo theo vai trò; từ điển dữ liệu và quy tắc liên kết; các kiểm soát an ninh cơ sở theo S8; và dữ liệu thí điểm đáp ứng các yêu cầu định trước về chất lượng và nguồn gốc. Các điều kiện này tạo thành tiêu chí đầu vào cho việc triển khai thí điểm có kiểm soát tại Cấp 2.

4.2.1.2 Tầng 2 – Chuyển hóa và điều phối

Cấp 2 bao gồm S5, S4 và S10. S5 đóng vai trò là cầu nối học hỏi chủ yếu: giải pháp này kiểm thử các trường hợp sử dụng được lựa chọn trong môi trường sandbox hoặc vận hành song song, đồng thời tạo ra bằng chứng về lợi ích, sai sót, chi phí, rủi ro và mức độ chấp nhận của người dùng. S4 chuyển các thực hành thí điểm đã được xác nhận thành quy trình quản lý tiến độ với đầu vào, điểm xác minh, cơ chế xử lý ngoại lệ và thẩm quyền phê duyệt được xác định rõ. S10 thiết lập các thỏa thuận về chia sẻ dữ liệu, phối hợp và trách nhiệm cần thiết giữa chủ đầu tư, tư vấn, nhà thầu và nhà cung cấp công nghệ.

Cấp 2 cần tuân theo chu trình thử nghiệm – đo lường – hoàn thiện – tiêu chuẩn hóa – mở rộng. Dự án thí điểm phải đủ tính đại diện để tạo ra bằng chứng hữu ích nhưng đồng thời đủ giới hạn để có thể chẩn đoán sai sót và rủi ro. Các quy trình dự thảo và thỏa thuận chia sẻ dữ liệu có thể được kiểm thử trong giai đoạn thí điểm; tuy nhiên, chúng chỉ nên được chính thức hóa sau khi đánh giá chứng minh được tính lặp lại, khả năng truy vết, mức rủi ro còn lại có thể chấp nhận và mức cải thiện đo lường được so với đường cơ sở.

4.2.1.3 Tầng 3 – Công nghệ hỗ trợ và tạo giá trị

Cấp 3 bao gồm S2, S6 và S7. S2 cung cấp các năng lực lưu trữ, tính toán, tích hợp, sao lưu và phục hồi theo mô-đun. S6 kết nối các bằng chứng hiện trường đã được xác minh, bao gồm cảm biến, hình ảnh, video và báo cáo, với các đối tượng BIM và hoạt động tiến độ. S7 chuyển thông tin đã tích hợp thành các truy vấn có căn cứ nguồn, cảnh báo, dự báo và phân tích kịch bản nhằm hỗ trợ quyết định tiến độ. Các năng lực này tạo ra giá trị vận hành nhưng vẫn phụ thuộc vào các điều kiện về mức độ sẵn sàng và quy trình đã được thiết lập ở Cấp 1 và Cấp 2.

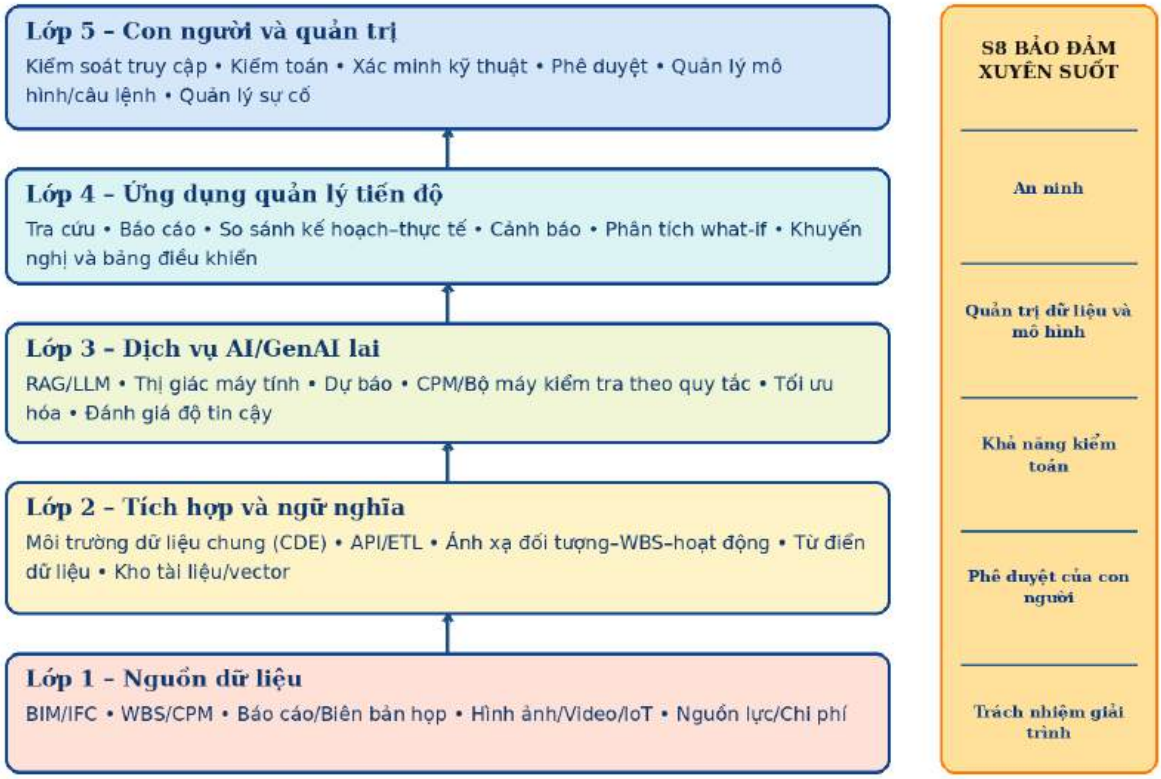
Đầu tư ở Cấp 3 cần được dẫn dắt bởi trường hợp sử dụng. Hạ tầng, triển khai IoT, bảng điều khiển và dịch vụ AI chỉ nên được mở rộng sau khi đã xác định rõ vấn đề quản lý, dữ liệu cần thiết, người dùng mục tiêu, tiêu chí hiệu quả, quy trình xác minh và thẩm quyền phê duyệt. S8 tiếp tục nằm ngoài Cấp 3 và được áp dụng xuyên suốt toàn bộ khung: một mức bảo đảm tối thiểu phải được thiết lập trước khi Cấp 2 bắt đầu, đồng thời các kiểm soát về quản trị mô hình, giám sát, an ninh mạng, kiểm toán và trách nhiệm giải trình được tăng cường dần khi Cấp 3 mở rộng.

Bảng 9: Cấu trúc và chức năng của khung chiến lược ba tầng

Tầng	Các giải pháp	Chức năng chiến lược	Sản phẩm đầu ra chính	Điểm kiểm soát hoặc tiêu chí hoàn thành
Tầng 1 – Nền tảng hỗ trợ triển khai	S9, S3, S1	Thiết lập mức độ sẵn sàng về thể chế, nhân lực và dữ liệu.	Phạm vi trường hợp sử dụng được phê duyệt; các cơ chế kiểm soát tạm thời về chính sách và hợp đồng; khung năng lực; từ điển dữ	**Điểm G1:** Đạt mức độ sẵn sàng tối thiểu cần thiết để triển khai thí điểm có kiểm soát.

			liệu; các quy tắc liên kết và chất lượng dữ liệu.	
Tầng 2 – Chuyển đổi và phối hợp có kiểm soát	S5, S4, S10	Tạo lập bằng chứng từ thí điểm, chuẩn hóa các quy trình đã được kiểm chứng và thiết lập cơ chế phối hợp có trách nhiệm giữa nhiều bên liên quan.	Kết quả đánh giá thí điểm và sổ đăng ký bài học kinh nghiệm; quy trình được phê duyệt; thỏa thuận chia sẻ dữ liệu; ma trận RACI và quy trình xử lý ngoại lệ.	**Điểm G2:** Bằng chứng thu được đủ cơ sở để quyết định chấm dứt, điều chỉnh, mở rộng hoặc chuẩn hóa và nhân rộng.
Tầng 3 – Năng lực số có khả năng mở rộng và hiện thực hóa giá trị	S2, S6, S7	Mở rộng hạ tầng, tích hợp dữ liệu hiện trường và năng lực hỗ trợ ra quyết định minh bạch dựa trên các trường hợp sử dụng đã được kiểm chứng.	Các dịch vụ và API tích hợp; luồng dữ liệu hiện trường đã được kiểm chứng; bảng điều khiển, cảnh báo, dự báo và các chức năng phân tích kịch bản.	**Điểm G3/G4:** Đạt trạng thái vận hành tích hợp tin cậy và duy trì cải thiện hiệu quả quản lý tiến độ.
Chức năng bảo đảm xuyên suốt	S8	Áp dụng quản trị, an ninh mạng, khả năng kiểm toán, kiểm soát mô hình và trách nhiệm giải trình xuyên suốt tất cả các tầng.	Ma trận phân loại dữ liệu và quyền truy cập; danh mục mô hình; nhật ký kiểm toán; kế hoạch ứng phó sự cố; cơ chế phê duyệt dựa trên mức độ rủi ro.	Thiết lập các biện pháp kiểm soát tối thiểu trước khi vận hành thí điểm; tăng cường các biện pháp kiểm soát trước mỗi bước mở rộng về quy mô hoặc mức độ rủi ro.

4.2.2 Kiến trúc tích hợp năm lớp



Hình 10: Kiến trúc năm lớp của hệ thống BIM–GenAI cho quản lý tiến độ xây dựng

Nguồn: Tác giả đề xuất dựa trên kết quả nghiên cứu.

Kiến trúc năm lớp chuyển khung chiến lược thành một cấu trúc chức năng mang tính khái niệm cho dòng dữ liệu và kiểm soát quyết định. Lớp 1 chứa dữ liệu dự án và bằng chứng thực tế thi công. Lớp 2 chuẩn hóa, liên kết, xác minh và quản lý các dữ liệu này thông qua môi trường dữ liệu chung và các dịch vụ tích hợp. Lớp 3 áp dụng các dịch vụ AI/GenAI lai, bao gồm truy xuất, xử lý ngôn ngữ tự nhiên, thị giác máy tính, dự báo, kiểm tra tiến độ theo quy tắc xác định và tối ưu hóa. Lớp 4 cung cấp các ứng dụng quản lý tiến độ như truy vấn, báo cáo, cảnh báo, phân tích kế hoạch so với thực tế và các kịch bản what-if. Lớp 5 quản trị việc xác minh, phê duyệt, truy cập, truy vết, quản lý mô hình và quá trình ra quyết định có trách nhiệm của con người. Kiến trúc này là một thiết kế tham chiếu và chưa được kiểm chứng về mặt kỹ thuật như một hệ thống sản xuất hoàn chỉnh.

Các lớp cần được triển khai như một chuỗi dữ liệu – đến – quyết định có kiểm soát: mỗi đầu ra phải giữ lại nguồn, phiên bản sửa đổi, phiên bản mô hình hoặc quy tắc, mức độ tin cậy hoặc trạng thái xác minh, người rà soát và trạng thái phê duyệt. Thông tin do AI tạo ra được lưu tách biệt khỏi hồ sơ dự án có thẩm quyền cho đến khi hoàn tất quy trình xác minh và phê duyệt tương ứng với mức rủi ro.

Bảng 10: Các thành phần và yêu cầu đầu ra của kiến trúc năm lớp

Lớp	Thành phần và giải pháp liên quan	Đầu ra và yêu cầu kiểm soát
1. Nguồn dữ liệu	BIM/IFC; WBS; tiến độ cơ sở; Primavera P6/MS Project; báo cáo ngày và tuần; biên bản họp; hình ảnh và video; dữ liệu IoT; dữ liệu nguồn lực và chi phí.	Mỗi dữ liệu phải có mã định danh, phiên bản, dấu thời gian, nguồn, chủ sở hữu và trạng thái phê duyệt.
2. Tích hợp và ngữ nghĩa	Môi trường dữ liệu chung (CDE); giao diện lập trình ứng dụng và quy trình chuyển đổi dữ liệu (API/ETL); liên kết đối tượng–WBS–hoạt động–vị trí; từ điển dữ liệu; ontology/đồ thị tri thức; cơ sở dữ liệu vector.	Thiết lập nguồn dữ liệu thống nhất, có thể truy xuất và hạn chế xung đột phiên bản.
3. AI/GenAI lai	Mô hình ngôn ngữ lớn kết hợp truy xuất tăng cường (LLM+RAG); thị giác máy tính; mô hình dự báo; bộ máy kiểm tra CPM và theo quy tắc; phương pháp tối ưu hóa; các cơ chế rào chắn và kiểm soát đầu ra.	Đầu ra phải có căn cứ từ nguồn có thể nhận diện, được kiểm tra theo các quy tắc xác định và được gán mức rủi ro phù hợp.
4. Ứng dụng	Tra cứu tiến độ; báo cáo; so sánh kế hoạch–thực tế; cảnh báo; phân tích what-if; tạo phương án; bảng điều khiển.	Thông tin phải phù hợp cho hỗ trợ ra quyết định nhưng không tự động thay thế quyết định của con người.
5. Giám sát của con người và quản trị	Kiểm soát truy cập; kiểm toán và truy vết; cơ chế phê duyệt; quản lý mô hình và câu lệnh; kiểm thử; giám sát; quản lý sự cố.	Bảo đảm trách nhiệm giải trình, tuân thủ, an ninh và khả năng kiểm toán.

Nguồn: Tác giả đề xuất dựa trên kết quả nghiên cứu.

4.2.3 Mối liên hệ giữa khung chiến lược ba tầng và kiến trúc năm lớp

Khung chiến lược ba cấp và kiến trúc năm lớp có mục đích khác nhau nhưng bổ trợ trực tiếp cho nhau. Khung ba cấp thể hiện trình tự triển khai chiến lược và mức độ sẵn sàng của các giải pháp đề xuất, trong khi kiến trúc năm lớp mô tả cấu trúc kỹ thuật mà thông qua đó các giải pháp được vận hành hóa. Vì vậy, hai cấu trúc không nên được xem là các mô hình thay thế cho nhau. Mỗi cấp chiến lược tác động đến một hoặc nhiều lớp kiến trúc, trong khi kết quả vận hành của các lớp kỹ thuật tạo ra bằng chứng để tiếp tục hoàn thiện các cấp chiến lược.

Bảng 11: Mối quan hệ giữa khung chiến lược ba cấp và kiến trúc năm lớp

Vị trí chiến lược	Giải pháp	Mối liên hệ kiến trúc chính	Ý nghĩa diễn giải
Tầng 1 – Nền tảng hỗ trợ	S9, S3, S1	Chủ yếu tạo điều kiện cho Lớp 2 và Lớp 5, đồng thời xác định yêu cầu đối với tất cả các lớp.	Cung cấp các điều kiện về pháp lý, năng lực, ngữ nghĩa, chất lượng dữ liệu và phê duyệt cần thiết để hệ thống vận hành có trách nhiệm.
Tầng 2 – Chuyển đổi và điều phối có kiểm soát	S5, S4, S10	Hoạt động xuyên suốt cả năm lớp thông qua dự án thí điểm, quy trình công việc, thỏa thuận giữa các bên và vòng phản hồi.	Chuyển mức độ sẵn sàng nền tảng thành các cơ chế vận hành đã được kiểm thử và tạo bằng chứng để hiệu chỉnh, mở rộng.
Tầng 3 – Năng lực số có thể mở rộng và hiện thực hóa giá trị	S2, S6, S7	Chủ yếu vận hành hóa Lớp 1, Lớp 3 và Lớp 4, với sự hỗ trợ của Lớp 2 và Lớp 5.	Cung cấp hạ tầng có thể mở rộng, bằng chứng hiện trường, phân tích và năng lực hỗ trợ quyết định nhằm tạo ra giá trị quản lý tiến độ có thể đo lường.
Bảo đảm xuyên suốt	S8	Áp dụng cho mọi lớp, đặc biệt tập trung tại Lớp 2 và Lớp 5.	Bảo đảm rằng năng lực kỹ thuật cao hơn không bỏ qua các yêu cầu về quyền dữ liệu, bảo mật, kiểm soát mô hình, khả năng kiểm toán, phê duyệt của con người và trách nhiệm giải trình.

Nguồn: Tác giả đề xuất dựa trên kết quả nghiên cứu.

4.2.4 Mô hình dữ liệu tối thiểu phục vụ quản lý tiến độ

Để các mô-đun AI/GenAI phân tích đúng cùng một bối cảnh, nghiên cứu đề xuất mô hình dữ liệu tối thiểu liên kết bốn nhóm thông tin: đối tượng công trình, công việc tiến độ, vị trí thi công và bằng chứng thực tế. Mỗi bản ghi cần có mã định danh và mối quan hệ rõ ràng với các bản ghi liên quan. Doanh nghiệp không nhất thiết phải thu thập toàn bộ trường dữ liệu ngay từ đầu, mà lựa chọn các trường bắt buộc theo từng tình huống ứng dụng và mức độ rủi ro.

Bảng 12: Các trường dữ liệu tối thiểu được đề xuất

Trường dữ liệu	Mô tả	Mức yêu cầu
Project_ID / Contract_ID	Xác định dự án, gói công việc và phạm vi hợp đồng.	Bắt buộc
WBS_ID / Activity_ID	Xác định cấu trúc phân rã công việc và hoạt động tiến độ trong tiến độ cơ sở.	Bắt buộc
Object_GUID / Model_ID	Liên kết một hoạt động tiến độ với một đối tượng BIM hoặc nhóm đối tượng BIM.	Bắt buộc đối với các trường hợp sử dụng BIM 4D hoặc quản lý khối lượng
Location_ID	Xác định khu vực làm việc, tầng, vùng hoặc phân đoạn thi công.	Bắt buộc đối với theo dõi tiến độ hiện trường
Calendar_ID / Logic_Link	Xác định lịch làm việc và các quan hệ logic giữa các hoạt động.	Bắt buộc đối với kiểm tra CPM
Planned_Start / Planned_Finish	Xác định ngày kế hoạch trong tiến độ cơ sở hoặc bản cập nhật tiến độ đã được phê duyệt.	Bắt buộc
Actual_Start / Actual_Finish	Ghi nhận ngày thực tế và nguồn xác minh tương ứng.	Bắt buộc khi có dữ liệu
Percent_Complete / Quantity_Planned / Quantity_Actual	Ghi nhận tỷ lệ hoàn thành hoặc khối lượng kế hoạch và thực tế.	Yêu cầu theo phương pháp đo lường tiến độ được lựa chọn
Evidence_ID	Liên kết đến ảnh, video, biên bản họp, nhật ký hiện trường hoặc các hình thức xác minh hiện trường khác.	Bắt buộc đối với cập nhật tiến độ tự động hoặc bán tự động
Source / Revision / Approved_By / Timestamp	Ghi nhận nguồn dữ liệu, phiên bản, người/cơ quan phê duyệt và thời điểm nhập hoặc phê duyệt.	Bắt buộc
Confidence / Validation_Status	Thể hiện mức độ tin cậy và trạng thái xác minh của đầu ra do AI tạo.	Bắt buộc đối với dữ liệu do AI tạo

Quy tắc cốt lõi là dữ liệu do AI suy luận không được ghi đè trực tiếp lên dữ liệu gốc. Kết quả nhận diện, dự báo hoặc đề xuất phải được lưu thành một bản ghi riêng, kèm theo phiên bản mô hình, tham số hoặc câu lệnh đầu vào, nguồn tài liệu được sử dụng, mức độ tin cậy,

người kiểm tra và trạng thái phê duyệt. Chỉ những kết quả đã được người có thẩm quyền phê duyệt mới được chuyển thành dữ liệu chính thức hoặc cập nhật trở lại hệ thống tiến độ.

4.2.5 Quy trình vận hành có sự giám sát và phê duyệt của con người (human-in-the-loop)

Mô hình vận hành đề xuất bao gồm năm nhóm hoạt động có liên kết với nhau. Nhóm nguồn dữ liệu bao gồm mô hình BIM, tiến độ cơ sở và các bản cập nhật tiếp theo, hồ sơ hợp đồng, biên bản họp, nhật ký hiện trường, yêu cầu thông tin (RFI), dữ liệu nguồn lực và dữ liệu hiện trường. Nhóm dữ liệu/CDE thực hiện chuẩn hóa dữ liệu, quản lý phiên bản, kiểm soát truy cập, kiểm tra chất lượng và liên kết ngữ nghĩa. Nhóm GenAI và phân tích thực hiện truy xuất thông tin, tóm tắt, nhận diện ràng buộc, dự báo, tạo phương án và giải thích. Nhóm ra quyết định thực hiện xác minh, so sánh, phê duyệt và cập nhật. Nhóm giám sát và học hỏi ghi nhận kết quả thực tế, đánh giá hiệu quả và cung cấp phản hồi nhằm cải thiện dữ liệu, mô hình, quy trình và chương trình đào tạo.

Mô hình này không nhằm thay thế các hệ thống lập tiến độ hoặc BIM hiện có. GenAI đóng vai trò như một lớp hỗ trợ nhận thức và tương tác, kết nối dữ liệu có cấu trúc với tài liệu phi cấu trúc và hỗ trợ người dùng truy xuất, diễn giải thông tin. Mọi thay đổi đối với tiến độ cam kết, tiến độ cơ sở hoặc trách nhiệm hợp đồng vẫn phải tuân thủ quy trình quản lý thay đổi đã được thiết lập của dự án.



Hình 11: Chu trình vận hành BIM–GenAI cho quản lý tiến độ xây dựng

Nguồn: Tác giả đề xuất trên cơ sở kết quả nghiên cứu.

Bước 1 – Xác định vấn đề quản lý và thẩm quyền ra quyết định. Xác định rõ vấn đề quản lý cần giải quyết, người sử dụng kết quả, mức độ ảnh hưởng tiềm tàng của đầu ra, dữ liệu cần thiết và cấp thẩm quyền chịu trách nhiệm phê duyệt. Mỗi trường hợp sử dụng phải có một chủ sở hữu được chỉ định và các tiêu chí thành công được xác định rõ.

Bước 2 – Thu thập và chuẩn hóa dữ liệu. Dữ liệu phải được lấy từ các nguồn đã được phê duyệt và được gán mã định danh, phiên bản và quyền truy cập phù hợp. Tài liệu cũng phải được liên kết với các hoạt động tiến độ hoặc đối tượng BIM có liên quan.

Bước 3 – Đánh giá chất lượng dữ liệu và điều kiện sử dụng. Dữ liệu phải được đánh giá về tính đầy đủ, tính nhất quán, tính cập nhật, nguồn gốc, quyền sử dụng và mức độ nhạy cảm. Dữ liệu không đáp ứng tiêu chí yêu cầu phải được hiệu chỉnh hoặc loại khỏi phân tích.

Bước 4 – Thực hiện phân tích và tạo phương án bằng GenAI. Mô hình thực hiện nhiệm vụ được giao trong phạm vi đã xác định trước. Đầu ra phải kèm theo các nguồn hỗ trợ, giả định nền tảng, mức độ tin cậy và các hạn chế hoặc cảnh báo có liên quan.

Bước 5 – Thực hiện xác minh bởi con người. Kỹ sư tiến độ và các chuyên gia liên quan rà soát logic, dữ liệu, biện pháp thi công, nguồn lực, tác động hợp đồng và các rủi ro gắn với đầu ra. Khi cần thiết, phải yêu cầu thực hiện phân tích bổ sung.

Bước 6 – Phê duyệt và ra quyết định. Người ra quyết định có thẩm quyền lựa chọn hoặc bác bỏ phương án đề xuất, đồng thời ghi nhận cơ sở và các điều kiện của quyết định. Đầu ra do AI tạo ra không được tự động trở thành chỉ thị có tính ràng buộc.

Bước 7 – Cập nhật hệ thống và thông báo cho các bên liên quan. Quyết định đã được phê duyệt được cập nhật vào hệ thống lập tiến độ, mô hình BIM 4D, môi trường dữ liệu chung (CDE) và các quy trình công việc liên quan. Các bên liên quan được thông báo phù hợp với quyền truy cập và trách nhiệm được phân công.

Bước 8 – Đánh giá và học hỏi. Kết quả thực tế được so sánh với dự báo và nguyên nhân sai lệch được phân tích. Các phát hiện sau đó được sử dụng để cập nhật dữ liệu, câu lệnh, mô hình, quy trình và nội dung đào tạo. Bước này hình thành một vòng phản hồi liên tục từ các dự án thí điểm được triển khai theo giải pháp S5.

Mức độ tham gia của con người phải tương ứng với mức rủi ro của nhiệm vụ. Đối với nhiệm vụ rủi ro thấp, như truy xuất tài liệu hoặc lập tóm tắt nội bộ, có thể cho phép mức tự động hóa cao, mặc dù vẫn cần rà soát định kỳ bởi con người. Đối với nhiệm vụ rủi ro trung bình, như phát hiện ràng buộc hoặc cảnh báo sớm nguy cơ chậm tiến độ, kết quả phải được kỹ sư xác nhận trước khi sử dụng. Đối với nhiệm vụ rủi ro cao, như thay đổi đường găng, gia hạn thời gian, tái phân bổ nguồn lực lớn hoặc xử lý vấn đề hợp đồng, đầu ra phải được kiểm tra chéo độc lập và được người ra quyết định có thẩm quyền phê duyệt.

Trách nhiệm phải được phân bổ theo vai trò quản trị thay vì theo cá nhân trực tiếp vận hành phần mềm. Chủ sở hữu trường hợp sử dụng chịu trách nhiệm giải trình về mục tiêu và tiêu chí đánh giá; chủ sở hữu dữ liệu chịu trách nhiệm về chất lượng dữ liệu, quyền sử dụng và vòng đời dữ liệu; chủ sở hữu mô hình quản lý cấu hình mô hình và đánh giá hiệu suất; chuyên gia

xác minh chịu trách nhiệm về tính hợp lệ kỹ thuật của đầu ra; và người có thẩm quyền phê duyệt chịu trách nhiệm giải trình đối với quyết định cuối cùng. Nhà cung cấp công nghệ chịu trách nhiệm theo hợp đồng về cung cấp dịch vụ, an ninh và thông tin kỹ thuật, nhưng không thay thế trách nhiệm nghề nghiệp của các bên tham gia dự án.

4.2.6 Phân loại mức rủi ro của tình huống ứng dụng và thẩm quyền phê duyệt

Không phải mọi tác vụ GenAI đều có mức rủi ro như nhau. Nghiên cứu đề xuất ba mức rủi ro để xác định mức độ tự động hóa, yêu cầu kiểm tra và thẩm quyền phê duyệt. Việc phân loại dựa trên mức độ tác động đến tiến độ cơ sở, hợp đồng, thanh toán, an toàn, dữ liệu nhạy cảm và khả năng khôi phục khi quyết định không phù hợp.

Bảng 13: Phân loại tình huống ứng dụng theo mức rủi ro

Mức rủi ro	Ví dụ	Yêu cầu kiểm soát	Thẩm quyền phê duyệt tối thiểu
Mức 1 – Thấp	Tìm kiếm, tóm tắt, soạn nháp báo cáo từ nguồn đã duyệt; không thay đổi dữ liệu chính thức.	Có thể tự động tạo; người dùng kiểm tra trước khi phát hành.	Trưởng nhóm hoặc người lập báo cáo.
Mức 2 – Trung bình	Cảnh báo sai lệch, dự báo rủi ro và đề xuất phương án; có ảnh hưởng đến ưu tiên điều hành nhưng chưa làm thay đổi tiến độ cơ sở.	Bắt buộc có nguồn, độ tin cậy và kiểm tra kỹ sư.	Kỹ sư tiến độ/BIM và quản lý gói công việc.
Mức 3 – Cao	Điều chỉnh tiến độ cơ sở, quan hệ logic, thời lượng hoặc nguồn lực; xác nhận khối lượng, thanh toán hoặc quyết định có tác động đến hợp đồng.	Không tự động áp dụng; bắt buộc kiểm tra độc lập, phê duyệt nhiều cấp và lưu đầy đủ hồ sơ kiểm toán, truy vết.	Quản lý dự án, chủ đầu tư hoặc người có thẩm quyền theo hợp đồng.

Nguồn: Tác giả đề xuất trên cơ sở kết quả nghiên cứu.

4.3 Nội dung thực hiện các giải pháp

Trên cơ sở thứ tự ưu tiên và vai trò ảnh hưởng đã xác định, mười giải pháp được cụ thể hóa theo bốn nội dung: mục tiêu triển khai, hoạt động chủ yếu, sản phẩm đầu ra và điều kiện then chốt. Việc trình bày tập trung trong Bảng 15 giúp tránh lặp lại, đồng thời cho phép so sánh trực tiếp giữa các giải pháp. Các nội dung này là định hướng triển khai và cần được hiệu chỉnh theo loại dự án, quy mô doanh nghiệp và mức độ sẵn sàng của dữ liệu.

Bảng 14: Nội dung thực hiện, sản phẩm đầu ra và điều kiện then chốt của mười giải pháp

Giải pháp và vai trò chiến lược	Mục tiêu triển khai và hoạt động chính	Sản phẩm đầu ra chính	Điều kiện cổng và quan hệ phụ thuộc
S9 – Nền tảng thể chế Cấp 1	Xác định phạm vi sử dụng AI được phép, giá trị pháp lý của thông tin số, quyền dữ liệu, thẩm quyền phê duyệt, trách nhiệm pháp lý, nghĩa vụ kiểm toán, yêu cầu mua sắm và các điều khoản hợp đồng mẫu.	Chính sách tạm thời; phạm vi trường hợp sử dụng được phê duyệt; điều khoản hợp đồng; quy trình phê duyệt và leo thang; quy trình xử lý trách nhiệm và tranh chấp.	Cần có bảo trợ của lãnh đạo và sự tham gia của bộ phận pháp lý tại G0; các kiểm soát tối thiểu phải có hiệu lực trước G1.
S3 – Nền tảng nhân lực Cấp 1	Phát triển năng lực theo vai trò về BIM 4D, lập tiến độ, quản lý dữ liệu, GenAI, xác minh, an ninh mạng và trách nhiệm nghề nghiệp; đánh giá năng lực thông qua bài tập dựa trên dự án.	Ma trận năng lực; chương trình đào tạo; đội ngũ nòng cốt đã được đào tạo; hồ sơ đánh giá; tiêu chí phân quyền theo vai trò.	Đào tạo gắn với các trường hợp sử dụng thực tế; chỉ nhân sự được phân quyền và đã được đánh giá mới được thực hiện chức năng xác minh hoặc phê duyệt.
S1 – Nền tảng dữ liệu Cấp 1	Xác định mã định danh, từ điển dữ liệu, liên kết đối tượng–WBS–hoạt động–vị trí, quy tắc phiên bản và nguồn gốc, trường bắt buộc và tiêu chí chấp nhận chất lượng cho phạm vi thí điểm.	Tiêu chuẩn dữ liệu; quy tắc ánh xạ; danh mục kiểm tra chất lượng; bộ dữ liệu thí điểm được phê duyệt; sổ đăng ký vấn đề dữ liệu.	Chỉ định chủ sở hữu dữ liệu và CDE; dữ liệu thí điểm phải đáp ứng yêu cầu G1 về chất lượng, nguồn gốc và quyền truy cập.
S8 – Bảo đảm xuyên suốt	Phân loại rủi ro dữ liệu và trường hợp sử dụng; thiết lập kiểm soát truy cập, mã hóa, ghi nhật ký, quản lý mô hình và câu lệnh/cấu hình, kiểm thử, giám sát, ứng phó sự cố và phê duyệt dựa trên rủi ro.	Chính sách quản trị; ma trận truy cập; sổ đăng ký mô hình; dấu vết kiểm toán; kế hoạch kiểm thử và giám sát; quy trình ứng phó và phục hồi sự cố.	Các kiểm soát tối thiểu được áp dụng trước vận hành thí điểm; kiểm soát được đánh giá lại và tăng cường trước mỗi lần tăng quy mô, độ nhạy hoặc tác động quyết định.
S5 – Cầu nối học hỏi có kiểm soát Cấp 2	Lựa chọn một hoặc hai trường hợp sử dụng có phạm vi giới hạn; xác định đường cơ sở và tiêu chí thành công; vận hành trong sandbox hoặc chế độ song song; ghi nhận lỗi, can thiệp, chi phí, lợi ích, sự cố và bài học.	Kế hoạch thí điểm; bộ dữ liệu đánh giá; sổ đăng ký bài học kinh nghiệm; báo cáo rủi ro; quyết định chấm dứt, làm lại, mở rộng hoặc nhân rộng.	Phải vượt G1 trước khi vận hành; G2 yêu cầu đánh giá theo các ngưỡng định trước về lợi ích, độ chính xác, chi phí, an ninh và rủi ro còn lại.

S4 – Tiêu chuẩn hóa quy trình Cấp 2	Soạn thảo và kiểm thử quy trình quản lý tiến độ BIM–GenAI; xác định đầu vào, kiểm tra theo quy tắc xác định, điểm xác minh, thẩm quyền phê duyệt, xử lý ngoại lệ, kiểm soát thay đổi và quy trình dự phòng.	Sơ đồ quy trình; SOP; danh mục kiểm tra; hồ sơ phê duyệt; quy trình quản lý ngoại lệ và thay đổi; quy trình dự phòng thủ công.	Có thể soạn thảo trong giai đoạn thí điểm; phê duyệt chính thức và áp dụng toàn tổ chức yêu cầu bằng chứng G2 đạt yêu cầu.
S10 – Phối hợp và chia sẻ dữ liệu Cấp 2	Thiết lập các thỏa thuận theo dự án về quyền dữ liệu, truy cập, trách nhiệm cập nhật, sử dụng CDE, phối hợp, phân bổ lợi ích/rủi ro, giải quyết xung đột và trách nhiệm giải trình của các bên.	Thỏa thuận chia sẻ dữ liệu; ma trận RACI; quy trình phối hợp; quy trình CDE; cơ chế leo thang vấn đề và giải quyết xung đột.	Yêu cầu S9, S3, S1 và các kiểm soát cơ sở S8; vận hành đa bên ở mức trưởng thành là kết quả của G2/G3 chứ không phải một hành động khởi đầu độc lập.
S2 – Hạ tầng số mô-đun Cấp 3	Thiết kế năng lực lưu trữ, tính toán, tích hợp, API, sao lưu, phục hồi, giám sát và chuyển đổi nhà cung cấp ở mức tối thiểu khả thi; đánh giá tổng chi phí sở hữu.	Kiến trúc tham chiếu; SLA; đặc tả API và xuất dữ liệu; kế hoạch sao lưu/phục hồi; đánh giá chi phí và phương án rời nhà cung cấp.	Hạ tầng giới hạn có thể hỗ trợ thí điểm; mở rộng yêu cầu khối lượng dữ liệu và nhu cầu hiệu năng đã được xác nhận, kiểm soát an ninh và phê duyệt G2.
S6 – Tích hợp dữ liệu hiện trường Cấp 3	Ưu tiên các hoạt động trọng yếu; thu thập và hiệu chuẩn cảm biến, hình ảnh, video và báo cáo; liên kết bằng chứng với đối tượng và hoạt động; xác minh cảnh báo và ngăn ghi ngược chưa được phê duyệt.	Luồng dữ liệu hiện trường đã xác minh; hồ sơ hiệu chuẩn; quy tắc liên kết; cảnh báo sai lệch; báo cáo xác minh và ngoại lệ.	Yêu cầu mã định danh và quy tắc bằng chứng đã được phê duyệt; quan sát tự động chỉ có tính tạm thời cho đến khi được rà soát theo mức rủi ro áp dụng.
S7 – Hỗ trợ quyết định minh bạch Cấp 3	Phát triển truy vấn, cảnh báo, dự báo và kịch bản có căn cứ nguồn; hiển thị giả định, độ tin cậy, bằng chứng hỗ trợ, phiên bản mô hình và thẩm quyền phê duyệt yêu cầu.	Chức năng bảng điều khiển và báo cáo; nhật ký truy vết; kết quả kiểm thử; tiêu chí độ tin cậy và hiệu suất; quy trình phê duyệt.	Hiệu suất dữ liệu và mô hình phải đạt ngưỡng của trường hợp sử dụng; khuyến nghị rủi ro trung bình và cao yêu cầu xác minh kỹ thuật và phê duyệt có thẩm quyền.

Nguồn: Tác giả đề xuất trên cơ sở kết quả nghiên cứu.

4.4 Lộ trình thực hiện giải pháp

4.4.1 Nguyên tắc xây dựng lộ trình

Lộ trình là một thiết kế quản lý có xét đến quan hệ phụ thuộc, chứ không phải đầu ra toán học trực tiếp của AHP hoặc DEMATEL. Lộ trình tuân theo bốn nguyên tắc: thiết lập mức độ sẵn sàng tối thiểu khả thi; cho phép chuẩn bị và tạo nguyên mẫu song song trong phạm vi kiểm soát; sử dụng quyết định theo cổng giai đoạn thay vì chỉ dựa trên thời gian đã trôi qua; và

duy trì vòng phản hồi có cấu trúc từ bằng chứng thí điểm tới chính sách, năng lực, tiêu chuẩn dữ liệu, quy trình công việc, cơ chế phối hợp và kiểm soát bảo đảm. Thời lượng chỉ mang tính chỉ dẫn cho lập kế hoạch, không phải khoảng thời gian triển khai đã được kiểm chứng thực nghiệm, và cần được điều chỉnh theo mức độ trưởng thành BIM, quy mô dự án, mức độ sẵn sàng dữ liệu, năng lực tổ chức và mức phơi nhiễm rủi ro.

4.4.2 Lộ trình bốn giai đoạn

Bảng 15: Lộ trình triển khai tích hợp BIM–GenAI trong quản lý tiến độ

Giai đoạn	Trọng tâm chính	Giải pháp chủ đạo	Hoạt động chính	Cổng kết thúc và kết quả kỳ vọng
Giai đoạn 1: 0–6 tháng	Nền tảng và mức độ sẵn sàng có kiểm soát	S9, S3, S1; kiểm soát S8 tối thiểu	Phê duyệt trường hợp sử dụng và đường cơ sở; thiết lập quản trị và RACI; ban hành chính sách tạm thời và kiểm soát hợp đồng; đánh giá năng lực và dữ liệu; xây dựng từ điển dữ liệu và quy tắc liên kết; đào tạo nhóm nòng cốt; thiết lập sandbox, kiểm soát truy cập, ghi nhật ký và cơ chế dừng.	Cổng G1 – Sẵn sàng thí điểm: đáp ứng yêu cầu tối thiểu về pháp lý, năng lực, chất lượng dữ liệu, nguồn gốc, an ninh và trách nhiệm giải trình.
Giai đoạn 2: 6–18 tháng	Thí điểm có kiểm soát và học hỏi tương hỗ	S5 là cơ chế chính; nguyên mẫu giới hạn của S2, S6, S7; S4 và S10 ở trạng thái tạm thời; tiếp tục S1, S3, S8	Vận hành một hoặc hai trường hợp sử dụng giới hạn song song với quy trình hiện tại; thu thập dữ liệu đường cơ sở và thí điểm; kiểm thử quy trình dự thảo và cơ chế chia sẻ dữ liệu; đo lường lợi ích, sai sót, can thiệp của con người, chi phí và rủi ro; phản hồi bài học vào chính sách, đào tạo, tiêu chuẩn dữ liệu và kiểm soát.	Cổng G2 – Quyết định chấm dứt, làm lại, mở rộng hoặc tiêu chuẩn hóa và nhân rộng, được hỗ trợ bởi bằng chứng so với các ngưỡng xác định trước.
Giai đoạn 3: 18–30 tháng	Tiêu chuẩn hóa và vận hành tích hợp	Chính thức hóa S4, S10; mở rộng S2, S6, S7; tăng cường S8	Phê duyệt SOP và thỏa thuận phối hợp; mở rộng CDE, API, hạ tầng và phạm vi dữ liệu hiện trường đã xác minh; triển khai bảng điều khiển và quy trình phê duyệt; thực hiện giám sát dịch vụ, kiểm soát thay đổi, quản trị mô hình, kiểm toán và dự phòng thủ công.	Cổng G3 – Vận hành tích hợp: quy trình có thể lặp lại, dịch vụ tin cậy, người dùng đủ năng lực, truy vết đầy đủ và rủi ro còn lại ở mức chấp nhận được.
Giai đoạn 4: 30–48	Thể chế hóa, mở	Cả ba cấp, với S8 tiếp tục bảo	Mở rộng các trường hợp sử dụng đã xác nhận trên nhiều dự án;	Cổng G4 – Mở rộng theo danh

tháng và tiếp theo	rộng theo danh mục dự án và tối ưu hóa	đảm xuyên suốt khung	quản lý tài sản dữ liệu, mô hình, quy trình và câu lệnh có thể tái sử dụng; đối sánh hiệu suất; tối ưu chi phí; giám sát sự trôi của mô hình và quy trình; định kỳ cập nhật chính sách, đào tạo, tiêu chuẩn, hợp đồng và kiểm soát an ninh.	mục: duy trì cải thiện, có đủ năng lực hỗ trợ và ngân sách, đồng thời tích hợp cơ chế quản trị cải tiến liên tục.

Nguồn: Tác giả đề xuất trên cơ sở kết quả nghiên cứu.

Các hoạt động có thể chồng lấn giữa các giai đoạn, nhưng sự chồng lấn không loại bỏ các điều kiện cổng. Quy trình dự thảo, thỏa thuận phối hợp và các nguyên mẫu kỹ thuật giới hạn có thể được chuẩn bị trong Giai đoạn 2, trong khi triển khai ở quy mô toàn tổ chức vẫn phụ thuộc vào mức độ sẵn sàng đã được xác minh và rủi ro còn lại ở mức chấp nhận được. S8 có tính liên tục thay vì gắn với một giai đoạn cụ thể: các kiểm soát cơ sở được thiết lập trong Giai đoạn 1, được kiểm thử và hoàn thiện trong thí điểm, tăng cường cho vận hành tích hợp và duy trì trong quá trình mở rộng theo danh mục dự án.

4.4.3 Các điểm quyết định chuyển giai đoạn

Cổng G0 – Phê duyệt khởi động. Tổ chức đã xác định nhà bảo trợ cấp lãnh đạo, vấn đề quản lý tiến độ cụ thể, chủ sở hữu trường hợp sử dụng, phạm vi dữ liệu, ngân sách và cơ chế quản trị rủi ro.

Cổng G1 – Sẵn sàng thí điểm. Các quy định tạm thời đã được ban hành; nhóm nòng cốt đã hoàn thành đào tạo yêu cầu; dữ liệu thí điểm đáp ứng yêu cầu tối thiểu; môi trường thử nghiệm cô lập và các kiểm soát an ninh đã sẵn sàng.

Cổng G2 – Quyết định mở rộng. Thí điểm cung cấp bằng chứng về hiệu quả và mức sai số có thể đo lường; quy trình xác minh vận hành hiệu quả; rủi ro nằm trong ngưỡng chấp nhận; và tổng chi phí sở hữu đã được đánh giá.

Cổng G3 – Vận hành tích hợp. S4 và S10 đã được phê duyệt; hạ tầng đáp ứng thỏa thuận mức dịch vụ (SLA); quy trình và nhật ký truy vết đầy đủ; người dùng có đủ năng lực; kết quả kiểm toán an ninh đáp ứng các yêu cầu đã thiết lập.

Cổng G4 – Mở rộng quy mô. Các chỉ số hiệu suất tiến độ và chất lượng dữ liệu cho thấy cải thiện bền vững; hiệu suất mô hình không suy giảm; và có đủ năng lực hỗ trợ, ngân sách vận hành cũng như cơ chế cập nhật chính sách và đào tạo.

Tại mỗi cổng, cơ quan quản trị có thẩm quyền cần ghi nhận một trong bốn quyết định: tiếp tục, tiếp tục có điều kiện, trả lại để làm lại hoặc chấm dứt. Quyết định, bằng chứng hỗ trợ, rủi ro còn lại, chủ thể chịu trách nhiệm và các hành động khắc phục cần thiết phải được lưu giữ trong dấu vết kiểm toán.

4.5 Điều kiện thực hiện giải pháp

4.5.1 Điều kiện thể chế và pháp lý

Doanh nghiệp cần xác định rõ giá trị pháp lý của dữ liệu số, giới hạn sử dụng kết quả GenAI, quyền sở hữu và quyền khai thác dữ liệu, trách nhiệm khi kết quả sai và thẩm quyền phê duyệt. Các yêu cầu này phải được thể hiện trong quy chế nội bộ và điều khoản hợp đồng. Khi quy định pháp luật chưa bao quát đầy đủ, tổ chức chỉ nên thử nghiệm trong phạm vi đã được phê duyệt và có cơ chế kiểm soát rủi ro rõ ràng.

4.5.2 Điều kiện tổ chức và nguồn nhân lực

Cần có nhà tài trợ ở cấp lãnh đạo, Ban chỉ đạo liên chức năng và người phụ trách cho từng tình huống ứng dụng. Nhân sự triển khai phải kết hợp kiến thức về quản lý tiến độ, BIM, dữ liệu, AI, pháp lý và an toàn thông tin. Hoạt động đào tạo phải gắn với vai trò và dữ liệu thực tế; đồng thời cần có kế hoạch quản lý thay đổi để xử lý tâm lý e ngại, thay đổi khối lượng công việc và trách nhiệm mới.

4.5.3 Điều kiện dữ liệu và công nghệ

Dữ liệu phải có mã định danh, nguồn, phiên bản, người chịu trách nhiệm và tiêu chí chất lượng. Hệ thống cần kết nối được với mô hình BIM, phần mềm tiến độ, CDE và nguồn dữ liệu hiện trường; ưu tiên kiến trúc mô-đun, giao diện mở và khả năng xuất dữ liệu để hạn chế phụ thuộc nhà cung cấp. Trước khi mở rộng, phải kiểm tra khả năng sao lưu, khôi phục, giám sát hiệu năng và vận hành thủ công khi hệ thống gián đoạn.

4.5.4 Điều kiện tài chính và mua sắm

Quyết định đầu tư phải dựa trên bài toán quản lý tiến độ cụ thể, không bắt đầu từ việc lựa chọn phần mềm. Cần đánh giá cả chi phí triển khai ban đầu và chi phí vận hành dài hạn, gồm lưu trữ, xử lý dữ liệu, bản quyền, tích hợp, bảo mật, hỗ trợ và đào tạo. Hợp đồng mua sắm phải quy định thỏa thuận mức dịch vụ, quyền xuất dữ liệu, thay đổi mô hình, xử lý sự cố và phương án chuyển đổi nhà cung cấp.

4.5.5 Điều kiện an toàn thông tin, đạo đức và trách nhiệm giải trình

Các biện pháp phân quyền, mã hóa, lưu nhật ký, quản lý dữ liệu nhạy cảm và kiểm soát đầu ra AI phải được thiết kế ngay từ đầu. Tổ chức cần ngăn ngừa việc sử dụng dữ liệu không đúng mục đích, rò rỉ thông tin, thiên lệch mô hình và phụ thuộc quá mức vào kết quả tự động. Mọi quyết định có ảnh hưởng đến tiến độ cam kết, thanh toán hoặc hợp đồng phải có người kiểm chứng và người phê duyệt chịu trách nhiệm.

4.5.6 Điều kiện đo lường và kiểm chứng

Mỗi tình huống ứng dụng phải có tiến độ cơ sở hoặc số liệu ban đầu để so sánh, bộ chỉ số đánh giá, tần suất đo và người xác nhận kết quả. Việc đánh giá cần xem xét đồng thời chất lượng dữ liệu, thời gian xử lý, độ chính xác của mô hình, tỷ lệ can thiệp của con người, chi phí

và kết quả tiến độ. Chỉ nên nhân rộng khi lợi ích được chứng minh bằng dữ liệu và các rủi ro còn lại nằm trong phạm vi chấp nhận được.

4.6 Cơ cấu tổ chức, phân vai và cơ chế quản trị triển khai

4.6.1 Cơ cấu quản trị đề xuất

Cơ cấu quản trị gồm ba cấp. Cấp chiến lược là Ban chỉ đạo BIM–GenAI, chịu trách nhiệm định hướng, ngân sách, mức rủi ro có thể chấp nhận và quyết định mở rộng. Cấp chương trình là nhóm quản trị tình huống ứng dụng, gồm người phụ trách tình huống ứng dụng, người chịu trách nhiệm dữ liệu, quản lý BIM, quản lý tiến độ, trưởng nhóm AI/công nghệ, bộ phận an toàn thông tin và bộ phận pháp lý. Cấp vận hành là nhóm dự án và người sử dụng, thực hiện thu nhận dữ liệu, kiểm chứng, phê duyệt và phản hồi. Đối với dự án thí điểm có rủi ro trung bình hoặc cao, cần có một đơn vị đánh giá độc lập báo cáo trực tiếp cho Ban chỉ đạo.

Bảng 16: Các vai trò quản trị chính

Vai trò	Trách nhiệm
Nhà tài trợ điều hành	Bảo trợ chương trình, giải quyết xung đột, phê duyệt ngân sách và các quyết định chiến lược.
Ban chỉ đạo	Phê duyệt tình huống ứng dụng, điểm chuyển giai đoạn, ngưỡng rủi ro, quyết định mở rộng và xử lý vấn đề liên chức năng.
Người phụ trách tình huống ứng dụng	Chịu trách nhiệm về giá trị, phạm vi, chỉ số đánh giá, danh mục công việc cần thực hiện và việc chấp nhận kết quả.
Người chịu trách nhiệm dữ liệu	Chịu trách nhiệm về chất lượng, quyền sử dụng, mục đích sử dụng và vòng đời dữ liệu.
Quản lý BIM/thông tin	Quản lý CDE, tiêu chuẩn, liên kết dữ liệu, phiên bản, phối hợp và chất lượng dữ liệu BIM.
Quản lý tiến độ	Quản lý tiến độ cơ sở, CPM, dữ liệu tiến độ, thẩm định sai lệch và các phương án điều chỉnh.
Trưởng nhóm AI/công nghệ	Phụ trách kiến trúc, mô hình, tích hợp, kiểm thử, giám sát và tài liệu kỹ thuật.
Phụ trách an toàn thông tin và quyền riêng tư	Quản lý rủi ro bảo mật, quyền truy cập, kiểm toán, sự cố, nhà cung cấp và các biện pháp kiểm soát.
Phụ trách pháp lý và hợp đồng	Quản lý quyền dữ liệu, sở hữu trí tuệ, trách nhiệm, điều khoản hợp đồng và tranh chấp.
Người sử dụng trong dự án	Thu nhận dữ liệu, sử dụng kết quả, kiểm chứng, phản hồi và tuân thủ quy trình.
Đơn vị đánh giá độc lập	Đánh giá chỉ số, sai số, biện pháp kiểm soát, mức độ tuân thủ và tính khách quan của kết quả.

4.6.2 Ma trận RACI tổng quát

Bảng 17: Ma trận phân công trách nhiệm RACI (A: chịu trách nhiệm cuối cùng; R: trực tiếp thực hiện; C: được tham vấn; I: được thông báo)

Hoạt động	Nhà bảo trợ/Ban chỉ đạo	Chủ sở hữu use case	Dữ liệu/BIM	Tiến độ/QLDA	AI/IT	ATTT/Pháp lý	Đánh giá độc lập
Lựa chọn trường hợp sử dụng	A	R	C	C	C	C	I
Phê duyệt đường cơ sở và KPI	A	R	C	R	C	C	C
Chuẩn hóa dữ liệu	I	C	A/R	R	C	C	C
Phát triển và tích hợp	I	A	C	C	R	C	C
Đánh giá an ninh và pháp lý	I	C	C	C	R	A	C
Kiểm thử và triển khai thí điểm	I	A	R	R	R	C	C
Phê duyệt đầu ra rủi ro cao	A	R	C	R	C	C	C
Quản lý sự cố	I	C	C	C	R	A	C
Đánh giá và quyết định mở rộng	A	R	C	C	C	C	R

Việc áp dụng ma trận RACI cần tuân theo các nguyên tắc sau: mỗi hoạt động chỉ nên có một vai trò được chỉ định là Accountable (A), tức chịu trách nhiệm giải trình cuối cùng về kết quả; có thể có nhiều vai trò được chỉ định là Responsible (R) để trực tiếp thực hiện công việc; Consulted (C) là các bên liên quan cần được lấy ý kiến trước khi đưa ra quyết định; và Informed (I) là các bên liên quan phải được thông báo về kết quả. Khi ma trận được áp dụng cho một dự án cụ thể, cần gán một cá nhân hoặc đơn vị tổ chức được xác định rõ cho từng vai

trò, đặc biệt là thẩm quyền phê duyệt cuối cùng, nhằm tránh tình trạng trách nhiệm bị phân tán giữa nhiều bên mà không có người ra quyết định rõ ràng. Đơn vị đánh giá độc lập có trách nhiệm cung cấp đánh giá khách quan nhưng không thay thế trách nhiệm giải trình của chủ sở hữu trường hợp sử dụng hoặc người có thẩm quyền phê duyệt chuyên môn liên quan.

4.6.3 Cơ chế họp, thay đổi và leo thang vấn đề

Trong thời gian thực hiện dự án thí điểm, nhóm vận hành họp hằng tuần để xem xét chất lượng dữ liệu, lỗi, chỉ số đánh giá và phản hồi của người dùng. Nhóm quản trị tình huống ứng dụng họp hằng tháng để quyết định danh mục công việc cần điều chỉnh, thay đổi mô hình, dữ liệu và quy trình thao tác chuẩn (SOP). Ban chỉ đạo xem xét tại các điểm chuyển giai đoạn hoặc khi phát sinh sự cố nghiêm trọng. Mọi thay đổi về nguồn dữ liệu, phiên bản mô hình, mẫu câu lệnh đầu vào, quyền truy cập, tiêu chí đánh giá hoặc phạm vi áp dụng phải có phiếu đề nghị thay đổi, đánh giá tác động, phê duyệt và phương án khôi phục khi có sự cố.

Vấn đề được chuyển lên cấp quản lý cao hơn theo mức độ ảnh hưởng. Lỗi kỹ thuật thông thường do nhóm vận hành xử lý; lỗi ảnh hưởng đến chỉ số đánh giá hoặc nhiều người sử dụng do người phụ trách tình huống ứng dụng quyết định; sự cố bảo mật, pháp lý, sai lệch ảnh hưởng đến tiến độ cơ sở hoặc hợp đồng và lỗi hệ thống lặp lại phải được báo cáo Ban chỉ đạo. Quy trình này cần quy định thời gian phản hồi, đầu mối liên hệ và thẩm quyền tạm dừng hệ thống khi cần thiết.

4.7 Kiến nghị triển khai đối với các nhóm chủ thể

4.7.1 Đối với cơ quan quản lý nhà nước

Cơ quan quản lý nên ưu tiên xây dựng hướng dẫn về dữ liệu tiến độ số, trách nhiệm sử dụng AI và yêu cầu kiểm toán, thay vì quy định cứng một sản phẩm hoặc mô hình công nghệ cụ thể. Cần phát triển các điều khoản mẫu về quyền dữ liệu, đầu ra AI, bảo mật và trách nhiệm; hỗ trợ môi trường thử nghiệm chính sách và dự án trình diễn; đồng thời xây dựng chương trình đào tạo và bộ tiêu chí đánh giá năng lực. Chính sách cần khuyến khích tiêu chuẩn mở, chia sẻ dữ liệu có kiểm soát và nghiên cứu trên dữ liệu đã được ẩn danh.

4.7.2 Đối với chủ đầu tư và ban quản lý dự án

Chủ đầu tư giữ vai trò trung tâm trong việc xác định tình huống ứng dụng, yêu cầu thông tin, tiến độ cơ sở, chỉ số đánh giá, quyền dữ liệu và cơ chế hợp đồng. Nên bắt đầu bằng một tình huống ứng dụng có phạm vi hẹp nhưng tạo ra giá trị rõ ràng; chỉ định người phụ trách tình huống ứng dụng và người chịu trách nhiệm dữ liệu; yêu cầu dự án thí điểm vận hành song song với quy trình hiện hành; và chỉ mở rộng khi đã có bằng chứng về hiệu quả và rủi ro. Hồ sơ mua sắm cần quy định quyền xuất dữ liệu, khả năng kết nối, nguồn dẫn của kết quả AI, khả năng kiểm toán và cơ chế giám sát của con người. Giá trị công nghệ phải được đánh giá ở cấp quy trình và dự án, không chỉ dựa trên giao diện hoặc tốc độ phản hồi.

4.7.3 Đối với tư vấn và nhà thầu

Tư vấn và nhà thầu cần tập trung vào chất lượng dữ liệu hiện trường, việc liên kết dữ liệu giữa mô hình BIM và tiến độ, quy trình xác minh và trách nhiệm của từng bên. Việc sử dụng AI không làm giảm nghĩa vụ cung cấp dữ liệu chính xác; ngược lại, dữ liệu thiếu hoặc được nhập mang tính hình thức sẽ làm giảm giá trị của toàn hệ thống. Các bên nên cùng xây dựng quy trình thao tác chuẩn, thỏa thuận dữ liệu và bộ chỉ số đánh giá; đào tạo người sử dụng theo vai trò; đồng thời duy trì khả năng vận hành thủ công khi hệ thống bị gián đoạn.

4.7.4 Đối với đơn vị công nghệ và nhà cung cấp BIM–GenAI

Nhà cung cấp cần công khai kiến trúc hệ thống, tài liệu giao diện kết nối (API), quyền xuất dữ liệu, vị trí lưu trữ, mục đích sử dụng dữ liệu, giới hạn của mô hình và cơ chế kiểm toán. Sản phẩm phải hỗ trợ dẫn nguồn, quản lý phiên bản, phân quyền và khôi phục phiên bản trước khi có sự cố. Nhà cung cấp không nên giới thiệu GenAI như một công cụ tự động giải quyết toàn bộ công tác quản lý tiến độ; cần phân định rõ chức năng của mô hình ngôn ngữ lớn, thị giác máy tính, mô hình dự báo, phương pháp CPM và thuật toán tối ưu. Hợp đồng cần quy định chỉ số chất lượng dịch vụ, hỗ trợ sự cố, kiểm thử, bảo mật và điều kiện chuyển đổi sang nhà cung cấp khác.

4.7.5 Đối với cơ sở đào tạo và nghiên cứu

Cơ sở đào tạo cần tích hợp quản lý tiến độ, BIM, dữ liệu, AI, pháp lý và đạo đức trong một chương trình liên ngành. Nghiên cứu tiếp theo nên xây dựng bộ dữ liệu kiểm thử, chỉ số trưởng thành, nghiên cứu theo thời gian và so sánh giữa nhiều dự án. Trường đại học và viện nghiên cứu có thể tham gia đánh giá độc lập các dự án thí điểm, phát triển khung năng lực và tổng hợp bài học để hỗ trợ cơ quan quản lý và doanh nghiệp.

4.8 Cơ chế nhân rộng, duy trì và cải tiến liên tục

4.8.1 Từ dự án thí điểm đến tiêu chuẩn doanh nghiệp

Một dự án thí điểm chỉ được chuyển thành tiêu chuẩn doanh nghiệp khi đáp ứng bốn điều kiện: giá trị được đo lường; quy trình có thể lặp lại; dữ liệu và quyền truy cập có thể duy trì; và đã xác định người phụ trách cùng nguồn lực vận hành. Tổ chức phải chuyển mô hình thử nghiệm thành một dịch vụ có danh mục chức năng, thỏa thuận mức dịch vụ, cơ chế hỗ trợ, sổ đăng ký mô hình, bộ kiểm thử, tài liệu hướng dẫn và chương trình đào tạo. Các giả định riêng của dự án thí điểm phải được ghi rõ để tránh áp dụng không phù hợp cho dự án khác.

4.8.2 Nhân rộng sang dự án và danh mục khác

Trước khi áp dụng cho một dự án mới, cần đánh giá mức độ phù hợp và những nội dung còn thiếu dựa trên dữ liệu, WBS, loại hợp đồng, công nghệ thi công, người sử dụng, hạ tầng và rủi ro. Các thành phần có thể tái sử dụng gồm từ điển dữ liệu, mẫu liên kết dữ liệu, quy trình thao tác chuẩn, mẫu câu lệnh đầu vào, bộ dữ liệu kiểm thử và bảng điều khiển. Các nội dung cần hiệu chỉnh gồm dữ liệu, ngưỡng cảnh báo, quyền truy cập, quy trình luân chuyển công việc

và cấu hình mô hình. Ở cấp danh mục dự án, doanh nghiệp cần quản lý tập trung danh mục mô hình và dữ liệu, chi phí, sự cố, chỉ số đánh giá và các thay đổi.

4.8.3 Cơ chế cải tiến liên tục

Cải tiến được tổ chức theo chu kỳ Hoạch định – Thực hiện – Kiểm tra – Điều chỉnh (PDCA). Ở bước Hoạch định, tổ chức xác định tình huống ứng dụng, chỉ số đánh giá và nội dung cần thay đổi. Ở bước Thực hiện, giải pháp được thử nghiệm trong môi trường tách biệt hoặc dự án thí điểm. Ở bước Kiểm tra, tổ chức đánh giá dữ liệu, mô hình, quy trình, người dùng và rủi ro. Ở bước Điều chỉnh, các tiêu chuẩn, chương trình đào tạo, điều khoản hợp đồng và kiến trúc hệ thống được cập nhật. Bài học kinh nghiệm phải được ghi theo cấu trúc gồm vấn đề, nguyên nhân, phạm vi áp dụng và hành động khắc phục, thay vì chỉ lưu dưới dạng biên bản.

4.8.4 Phương án kiểm chứng và hiệu chỉnh khung đề xuất

Khung đề xuất cần được kiểm chứng theo hai cấp. Ở cấp chuyên gia, có thể sử dụng hội thảo hoặc Delphi rút gọn để đánh giá tính đầy đủ, rõ ràng, phù hợp và khả thi của ba tầng, năm lớp, lộ trình và ma trận trách nhiệm. Ở cấp dự án, cần lựa chọn tối thiểu một tình huống sử dụng có đường cơ sở, triển khai song song với quy trình hiện hành và so sánh trước–sau về chất lượng dữ liệu, thời gian xử lý, sai số mô hình, tỷ lệ can thiệp của con người, chi phí và kết quả tiến độ.

Quá trình kiểm chứng nên gồm bốn bước: (1) xác lập giả thuyết, số liệu ban đầu và tiêu chí dừng; (2) thực hiện trong môi trường thí điểm có kiểm soát; (3) đánh giá độc lập bằng dữ liệu theo thời gian và hồ sơ kiểm toán, truy vết; (4) hiệu chỉnh tiêu chuẩn dữ liệu, quy trình, ma trận RACI, chỉ số đánh giá và điểm chuyển giai đoạn. Chỉ những cấu phần chứng minh được khả năng lặp lại, kiểm toán và duy trì mới được đưa vào tiêu chuẩn doanh nghiệp hoặc nhân rộng sang dự án khác.

4.8.5 Giới hạn của khung đề xuất

Khung được phát triển từ đánh giá của 14 chuyên gia và phản ánh bối cảnh ngành xây dựng Việt Nam tại thời điểm nghiên cứu. Quan hệ ảnh hưởng có thể thay đổi theo loại dự án, quy mô doanh nghiệp, mức độ trưởng thành BIM, hình thức hợp đồng và công nghệ. Các ngưỡng và khoảng thời gian trong lộ trình là đề xuất thiết kế, chưa phải tiêu chuẩn bắt buộc. Khung cũng không chỉ định một nền tảng hoặc mô hình cụ thể; việc lựa chọn phải dựa trên kết quả dự án thí điểm, đánh giá bảo mật, đánh giá pháp lý và tổng chi phí sở hữu. Nghiên cứu tiếp theo cần triển khai các trường hợp thực tế, thu thập dữ liệu theo thời gian và kiểm tra mức độ ổn định của cấu trúc giải pháp ở các giai đoạn trưởng thành khác nhau.

4.9 Kết luận Chương 4

Chương 4 đã chuyển hóa cách diễn giải tích hợp AHP–DEMATEL thành một khung triển khai BIM–GenAI gồm ba tầng chiến lược, chức năng bảo đảm xuyên suốt S8, kiến trúc năm lớp và quy trình vận hành có sự giám sát của con người. Trong đó, S9, S3 và S1 tạo thành nền tảng hỗ trợ triển khai; S5 cung cấp cơ chế học hỏi thông qua thí điểm có kiểm soát; S4 và S10 chuyển hóa bằng chứng thành các quy trình có khả năng lặp lại và cơ chế phối hợp; còn

S2, S6 và S7 cung cấp các năng lực số có khả năng mở rộng. Phù hợp với Hình 9, S8 không được bố trí vào Tầng 3 mà đóng vai trò quản trị xuyên suốt đối với an ninh, khả năng kiểm toán, kiểm soát dữ liệu và mô hình, cũng như trách nhiệm giải trình ở tất cả các tầng. Cách tổ chức này nhằm xử lý "bẫy phụ thuộc" được xác định ở Chương 3 và giảm nguy cơ mở rộng các ứng dụng có tính hiện diện cao trước khi các điều kiện cần thiết được chứng minh là đã đáp ứng.

Khung đề xuất xác định nội dung triển khai, sản phẩm đầu ra, đơn vị chủ trì, điều kiện tiên quyết, chỉ số đánh giá hiệu quả và các rủi ro liên quan đến từng giải pháp. Đồng thời, nghiên cứu xây dựng lộ trình bốn giai đoạn với các điểm quyết định chuyển giai đoạn (phase-gate), cùng với cơ cấu quản trị, ma trận RACI, phương pháp đánh giá dự án thí điểm và cơ chế mở rộng quy mô. Các nguyên tắc xuyên suốt gồm: dữ liệu phải có nguồn gốc rõ ràng; công nghệ phải được lựa chọn phù hợp với bài toán quản lý cụ thể; con người giữ trách nhiệm cuối cùng; an ninh và bảo mật là yêu cầu bắt buộc; và việc mở rộng quy mô chỉ nên được thực hiện trên cơ sở bằng chứng.

Do khung được xây dựng từ các đánh giá của chuyên gia, giá trị thực tiễn của khung cần tiếp tục được kiểm chứng thông qua các dự án thí điểm hoặc nghiên cứu trường hợp. Việc triển khai thí điểm không chỉ nhằm đánh giá hiệu quả mà còn để điều chỉnh và hoàn thiện mối quan hệ giữa thể chế, năng lực con người, dữ liệu, quy trình, hợp tác và công nghệ. Đây là điều kiện cần thiết để chuyển hóa khung chiến lược thành năng lực BIM–GenAI có khả năng vận hành, kiểm toán và duy trì bền vững trong công tác quản lý tiến độ xây dựng của ngành xây dựng Việt Nam.

CHƯƠNG 5. NGUYÊN MẪU CHATBOT AI HỖ TRỢ TRA CỨU PHÁP LÝ PHỤC VỤ QUẢN LÝ TIẾN ĐỘ XÂY DỰNG

5.1 Giới thiệu Chatbot AI Tư vấn tiến độ xây dựng

Nội dung dưới đây trình bày một minh chứng thực tiễn cho định hướng tích hợp BIM và AI tạo sinh (GenAI) trong công tác quản lý tiến độ xây dựng đã đề xuất ở Chương 4: hệ thống "Chatbot AI Tư vấn tiến độ xây dựng", được xây dựng và vận hành thử nghiệm tại địa chỉ https://tuvantiendo.aihuce.vn dưới sự phát triển của Trường Đại học Xây dựng Hà Nội. Khác với hệ thống phân tích tiến độ dựa trên dữ liệu dự án, chatbot trong nghiên cứu này được xây dựng trên kho tri thức pháp lý, trong đó dữ liệu đầu vào chỉ bao gồm các luật, nghị định, thông tư và văn bản quy phạm pháp luật hiện hành của Việt Nam có liên quan đến quản lý tiến độ thi công, quản lý hợp đồng xây dựng, trách nhiệm của các chủ thể và xử lý các vấn đề phát sinh trong quá trình thực hiện dự án.

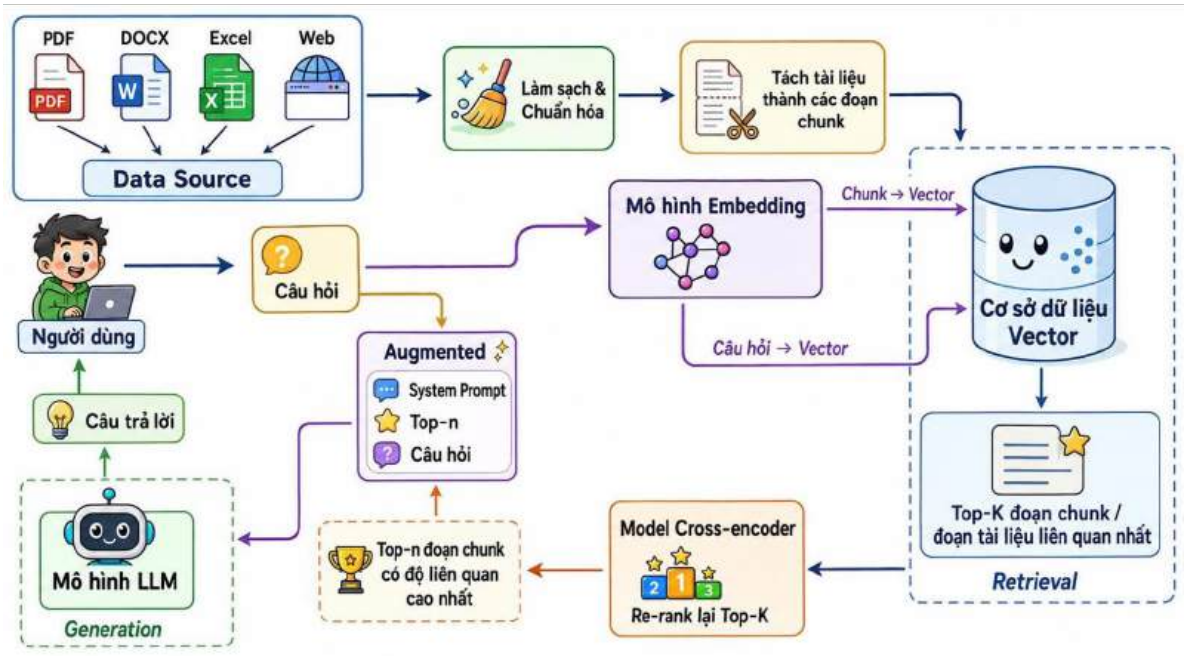
Do không được kết nối trực tiếp với tiến độ cơ sở, mô hình BIM, báo cáo hiện trường, hồ sơ thanh toán hoặc hợp đồng cụ thể của từng dự án, chatbot không thực hiện tính toán đường găng, dự báo ngày hoàn thành hoặc tự động xác định trách nhiệm của một bên trong tranh chấp. Chức năng chính của hệ thống là hỗ trợ người dùng tìm kiếm, tổng hợp, giải thích và đối chiếu các quy định pháp luật có liên quan đến vấn đề quản lý tiến độ đang được xem xét.

Trong khung chiến lược ba tầng và kiến trúc tích hợp năm lớp đã được trình bày ở Chương 4, Chatbot AI Tư vấn tiến độ xây dựng minh họa cho lớp giao diện tương tác người dùng và lớp xử lý ngôn ngữ tự nhiên/tạo sinh nội dung, đồng thời thể hiện một hình thái cụ thể của giải pháp S7 – "Công cụ hỗ trợ ra quyết định minh bạch". Ở phạm vi hẹp hơn, việc xây dựng và vận hành thử nghiệm công cụ này cũng tương ứng với cách tiếp cận đề xuất tại giải pháp S5 – "Triển khai dự án thí điểm": lựa chọn một phạm vi ứng dụng rõ ràng, quy mô nhỏ, có thể kiểm soát, nhằm rút ra bài học trước khi nhân rộng.

Cơ chế phản hồi hai chiều được tích hợp trong công cụ (người dùng đánh giá "Hài lòng"/"Không hài lòng" sau mỗi câu trả lời) là một biểu hiện cụ thể của nguyên tắc vận hành có sự giám sát và phê duyệt của con người (human-in-the-loop) đã được xác lập trong khung đề xuất, theo đó đầu ra do GenAI tạo ra không được sử dụng trực tiếp mà cần trải qua một vòng kiểm tra, phản hồi hoặc phê duyệt tương ứng với mức độ rủi ro của tình huống ứng dụng.

5.2 Kiến trúc và cơ chế hoạt động của Chatbot AI

Sơ đồ cơ chế hoạt động của chatbot được bổ sung trong nghiên cứu mô tả một quy trình gồm hai phần chính: phần chuẩn bị và lập chỉ mục dữ liệu; phần tiếp nhận câu hỏi, truy xuất thông tin và tạo câu trả lời. Cách tổ chức này giúp tách rõ dữ liệu nguồn với quá trình sinh nội dung của mô hình ngôn ngữ lớn, qua đó giảm việc mô hình trả lời hoàn toàn dựa trên tri thức sẵn có và tăng khả năng bám theo tài liệu đã được đưa vào hệ thống.



Hình 12: Cơ chế hoạt động của Chatbot AI Tư vấn tiến độ xây dựng

Nguồn: Sơ đồ cơ chế hoạt động do tác giả bổ sung.

5.2.1 Chuẩn bị và lập chỉ mục dữ liệu

Theo Hình 12, dữ liệu đầu vào của hệ thống có thể được tiếp nhận từ nhiều định dạng như PDF, DOCX, Excel và nội dung Web. Sau khi thu thập, dữ liệu được đưa qua bước làm sạch và chuẩn hóa. Mục tiêu của bước này là loại bỏ các nội dung không cần thiết, thống nhất cách biểu diễn văn bản và bảo đảm dữ liệu có cấu trúc đủ rõ để phục vụ cho quá trình chia nhỏ và truy xuất sau đó. Đối với dữ liệu pháp lý, việc chuẩn hóa cần giữ được thông tin nhận diện văn bản, tiêu đề, điều, khoản, điểm và các nội dung thể hiện phạm vi áp dụng.

Sau bước làm sạch và chuẩn hóa, tài liệu được tách thành các đoạn nhỏ (chunk). Việc chia tài liệu thành chunk giúp hệ thống không phải xử lý toàn bộ văn bản trong mỗi lần người dùng đặt câu hỏi, mà chỉ tập trung vào những đoạn có nội dung liên quan. Các chunk sau đó được đưa vào mô hình embedding để chuyển nội dung từ dạng ngôn ngữ tự nhiên sang dạng vector. Vector này được lưu trong cơ sở dữ liệu vector cùng với nội dung và thông tin nguồn tương ứng.

Kho dữ liệu của chatbot trong luận văn được hình thành từ các văn bản quy phạm pháp luật do cơ quan nhà nước có thẩm quyền ban hành và được thu thập từ nguồn chính thức. Danh mục văn bản cần được cập nhật định kỳ vì tình trạng hiệu lực của văn bản có thể thay đổi theo thời gian. Với cơ chế trên, khi tài liệu mới được bổ sung hoặc văn bản cũ bị sửa đổi, thay thế, hệ thống cần thực hiện lại các bước chuẩn hóa, tách đoạn và cập nhật chỉ mục để dữ liệu truy xuất phản ánh đúng phiên bản đang sử dụng.

5.2.2 Xử lý câu hỏi và truy xuất thông tin

Khi người dùng gửi câu hỏi, câu hỏi được chuyển qua mô hình embedding để tạo vector câu hỏi. Vector này được sử dụng để tìm kiếm trong cơ sở dữ liệu vector và xác định Top-K đoạn tài liệu có mức độ liên quan cao nhất. Đây là bước truy xuất ban đầu nhằm nhanh chóng thu hẹp phạm vi tài liệu cần xem xét.

Các đoạn Top-K tiếp tục được chuyển sang mô hình Cross-encoder để tái xếp hạng. Theo sơ đồ, mục đích của bước này là đánh giá lại mức độ liên quan giữa câu hỏi với từng đoạn tài liệu và lựa chọn Top-n đoạn có độ liên quan cao nhất. Như vậy, quá trình truy xuất không dừng ở việc tìm các đoạn gần nhau trong không gian vector mà còn có thêm một bước sàng lọc trước khi thông tin được chuyển tới mô hình LLM.

Sau khi có Top-n đoạn phù hợp, hệ thống tạo khối ngữ cảnh tăng cường (Augmented) gồm System Prompt, các đoạn tài liệu Top-n và câu hỏi của người dùng. System Prompt đóng vai trò xác định cách thức mô hình trả lời, phạm vi nhiệm vụ và yêu cầu trình bày; các đoạn Top-n cung cấp nội dung làm căn cứ; còn câu hỏi xác định vấn đề người dùng cần hỗ trợ. Khối thông tin này sau đó được gửi tới mô hình LLM để tạo câu trả lời.

Cơ chế trên thể hiện rõ nguyên tắc truy xuất trước – sinh nội dung sau. Trong phạm vi luận văn, ý nghĩa quan trọng nhất của kiến trúc này là tạo điều kiện để câu trả lời gắn với kho tài liệu được lựa chọn thay vì để LLM tự suy đoán trong trường hợp không có căn cứ. Tuy nhiên, cơ chế kỹ thuật không loại bỏ hoàn toàn khả năng mô hình diễn giải sai, trích dẫn không đầy đủ hoặc hiểu không đúng phạm vi áp dụng. Vì vậy, bước kiểm tra đầu ra của con người vẫn là thành phần bắt buộc.

Bảng 18: Các bước chính trong cơ chế hoạt động của chatbot

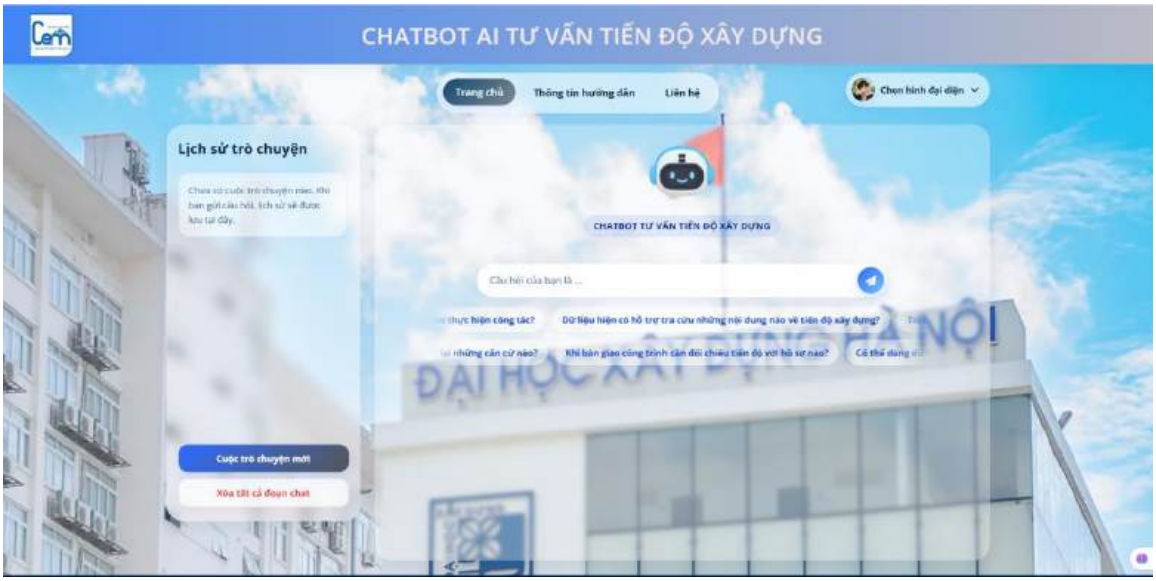
Bước	Nội dung	Kết quả
1	Thu thập dữ liệu PDF, DOCX, Excel, Web.	Tập dữ liệu nguồn.
2	Làm sạch, chuẩn hóa và tách tài liệu thành các chunk.	Các đoạn dữ liệu có cấu trúc.
3	Embedding các chunk và lưu vào cơ sở dữ liệu vector.	Kho dữ liệu phục vụ truy xuất ngữ nghĩa.
4	Embedding câu hỏi và truy xuất Top-K đoạn liên quan.	Tập ứng viên ban đầu.
5	Cross-encoder tái xếp hạng Top-K để chọn Top-n.	Các đoạn có độ liên quan cao nhất.
6	Ghép System Prompt, Top-n và câu hỏi.	Ngữ cảnh tăng cường cho LLM.
7	LLM sinh câu trả lời và gửi tới người dùng.	Câu trả lời tham khảo cần được kiểm tra.

5.2.3 Nguồn dữ liệu pháp lý của Chatbot

Kho dữ liệu của chatbot được hình thành từ các văn bản quy phạm pháp luật do cơ quan nhà nước có thẩm quyền ban hành và được thu thập từ nguồn chính thức. Danh mục này cần được cập nhật định kỳ vì tình trạng hiệu lực của văn bản có thể thay đổi theo thời gian.

5.3 Giao diện và các chức năng chính của Chatbot

Giao diện của Chatbot AI Tư vấn tiến độ xây dựng được thiết kế theo hướng đơn giản, tập trung vào thao tác hỏi – đáp và các chức năng hỗ trợ cần thiết. Hệ thống có ba khu vực chính tương ứng với Trang chủ, Thông tin hướng dẫn và Liên hệ. Các hình ảnh dưới đây là ảnh chụp giao diện phiên bản được tác giả cung cấp và được sử dụng để minh họa trực tiếp cho cách người dùng tương tác với hệ thống.



Hình 13: Giao diện Trang chủ Chatbot AI Tư vấn tiến độ xây dựng

Nguồn: Ảnh chụp giao diện do tác giả cung cấp.

5.3.1 Trang chủ và lịch sử trò chuyện

Trang chủ là nơi người dùng trực tiếp nhập câu hỏi và nhận câu trả lời. Khu vực bên trái hiển thị lịch sử trò chuyện, cho phép mở lại các đoạn chat trước, bắt đầu một cuộc trò chuyện mới hoặc xóa lịch sử khi cần. Vùng trung tâm chứa ô nhập câu hỏi, nút gửi và một số câu hỏi gợi ý liên quan đến quản lý tiến độ xây dựng. Cách bố trí này giúp người dùng có thể tiếp cận hệ thống mà không cần biết cú pháp kỹ thuật hoặc thao tác phức tạp.

Việc lưu lịch sử trò chuyện giúp người dùng theo dõi lại quá trình trao đổi và duy trì mạch thông tin trong các lần tra cứu. Tuy nhiên, trong môi trường ứng dụng thực tế, lịch sử trò chuyện cần được quản lý phù hợp với yêu cầu bảo mật và quyền sử dụng dữ liệu. Các nội dung nhạy cảm, dữ liệu cá nhân, giá trị hợp đồng hoặc tài liệu chưa được phép công bố không nên được nhập vào hệ thống nếu chưa có cơ chế bảo vệ tương ứng.



Hình 14: Giao diện Thông tin hướng dẫn sử dụng Chatbot AI

Nguồn: Ảnh chụp giao diện do tác giả cung cấp.

5.3.2 Trang thông tin hướng dẫn

Trang hướng dẫn giúp người dùng hiểu cách đặt câu hỏi, xem lại lịch sử chat và gửi đánh giá sau mỗi câu trả lời. Phần "Cách sử dụng nhanh" trình bày các bước cơ bản từ nhập câu hỏi, chờ chatbot xử lý, đánh giá câu trả lời đến mở lại đoạn chat trước đó. Bên cạnh đó, giao diện có các gợi ý cách đặt câu hỏi và cảnh báo rằng chatbot là kênh hỗ trợ tham khảo, có thể mắc lỗi và người dùng cần kiểm tra lại thông tin.



Hình 15: Giao diện Liên hệ tư vấn hỗ trợ thông tin

Nguồn: Ảnh chụp giao diện do tác giả cung cấp.

5.3.3 Trang liên hệ và hỗ trợ

Trang Liên hệ cung cấp các kênh hỗ trợ như địa chỉ, điện thoại, email, fanpage và biểu mẫu gửi yêu cầu tư vấn. Chức năng này có ý nghĩa khi câu hỏi của người dùng vượt phạm vi dữ liệu của chatbot hoặc khi nội dung cần được trao đổi trực tiếp với người có chuyên môn. Về mặt vận hành, đây cũng là một điểm chuyển tiếp từ công cụ AI sang hỗ trợ của con người, phù hợp với nguyên tắc human-in-the-loop của khung đề xuất.

5.4 Quy trình hướng dẫn sử dụng



Hình 16: Quy trình sử dụng và xác thực đầu ra của Chatbot

Bước 1. Xác định vấn đề cần tra cứu

Người dùng xác định rõ vấn đề cần hỗ trợ, chẳng hạn trách nhiệm lập hoặc điều chỉnh tiến độ, nghĩa vụ của chủ đầu tư và nhà thầu, điều kiện gia hạn, xử lý chậm tiến độ, yêu cầu thông báo, lập hồ sơ, bồi thường hoặc giải quyết tranh chấp. Câu hỏi càng cụ thể thì khả năng truy xuất đúng quy định và đúng nhóm tài liệu càng cao.

Bước 2. Cung cấp bối cảnh cần thiết

Người dùng mô tả ngắn gọn loại dự án hoặc công trình, vai trò của người hỏi, loại hợp đồng nếu đã xác định, sự kiện ảnh hưởng đến tiến độ, thời điểm xảy ra và nội dung cần làm rõ. Không nhập dữ liệu cá nhân, bí mật kinh doanh, giá trị hợp đồng hoặc tài liệu chưa được phép công bố.

Bước 3. Gửi câu hỏi có cấu trúc

Câu hỏi nên được trình bày theo cấu trúc: bối cảnh – vấn đề – chủ thể – nội dung cần tra cứu – dạng kết quả mong muốn. Người dùng nên yêu cầu chatbot nêu căn cứ hoặc nguồn tài liệu, điều khoản liên quan, điều kiện áp dụng, phần diễn giải và nội dung cần chuyên gia tiếp tục kiểm tra.

Bước 4. Đọc và phân loại kết quả

Sau khi nhận câu trả lời, người dùng cần phân biệt giữa căn cứ/nguồn tài liệu, nội dung quy định, phần diễn giải của chatbot, điều kiện áp dụng và các cảnh báo hoặc giới hạn. Không nên chỉ đọc phần kết luận mà bỏ qua căn cứ và phạm vi áp dụng của nội dung được nêu.

Bước 5. Đối chiếu với văn bản hoặc tài liệu gốc

Người dùng mở nguồn chính thức để kiểm tra tên, số ký hiệu, điều khoản, tình trạng hiệu lực và nội dung được viện dẫn. Nếu chatbot không cung cấp được căn cứ cụ thể, trích dẫn sai hoặc sử dụng văn bản hết hiệu lực, kết quả phải được tạo lại hoặc loại bỏ.

Bước 6. Đối chiếu với hợp đồng và hồ sơ dự án

Pháp luật và tài liệu hướng dẫn quy định khung chung, trong khi quyền và nghĩa vụ cụ thể còn phụ thuộc vào hợp đồng, tiến độ được phê duyệt, biên bản, thông báo và bằng chứng thực tế. Vì vậy, kết quả của chatbot cần được đối chiếu với hồ sơ dự án trước khi đưa ra nhận định áp dụng.

Bước 7. Phê duyệt và lưu vết

Kết quả sau kiểm tra được phân loại thành chấp nhận, chấp nhận có điều kiện hoặc không chấp nhận. Câu hỏi, câu trả lời, thời điểm tra cứu, tài liệu viện dẫn, người kiểm tra và quyết định xử lý nên được lưu lại khi nội dung được sử dụng trong báo cáo, trao đổi nghiệp vụ hoặc hồ sơ quản lý dự án.

5.5 Cơ chế xác thực đầu ra

Bước 1. Kiểm tra nguồn văn bản

Xác định tên văn bản, số ký hiệu, cơ quan ban hành, ngày ban hành, ngày có hiệu lực và tình trạng còn hiệu lực, bị sửa đổi, thay thế hoặc bãi bỏ. Không sử dụng kết quả khi chatbot chỉ nêu chung chung "theo quy định pháp luật" mà không xác định được nguồn.

Bước 2. Kiểm tra điều, khoản và nội dung viện dẫn

Mở văn bản gốc và đối chiếu điều, khoản hoặc điểm được chatbot viện dẫn. Nội dung trích dẫn không được cắt bỏ điều kiện, ngoại lệ hoặc phạm vi áp dụng làm thay đổi ý nghĩa. Phần diễn giải không có trong văn bản phải được nhận diện là nhận định của hệ thống.

Bước 3. Kiểm tra hiệu lực theo thời gian

Quy định được áp dụng phải phù hợp với thời điểm của sự kiện. Với sự kiện xảy ra trước khi văn bản mới có hiệu lực, cần kiểm tra quy định chuyển tiếp và văn bản có hiệu lực tại thời điểm phát sinh.

Bước 4. Kiểm tra phạm vi và đối tượng áp dụng

Xác định quy định có phù hợp với loại công trình, nguồn vốn, loại hợp đồng, chủ thể, giai đoạn thực hiện và vấn đề tiến độ đang xem xét hay không.

Bước 5. Kiểm tra sự phù hợp với hợp đồng và hồ sơ dự án

Đối chiếu quy định pháp luật với hợp đồng, phụ lục hợp đồng, tiến độ được phê duyệt, biên bản bàn giao mặt bằng, thông báo sự kiện và các bằng chứng liên quan. Chatbot không thể tự kết luận một bên vi phạm, được gia hạn hoặc phải bồi thường khi không có hồ sơ dự án.

Bước 6. Xác nhận của người có chuyên môn

Đầu ra liên quan đến gia hạn, vi phạm, bồi thường, phạt, thanh toán hoặc tranh chấp phải được kiểm tra bởi chuyên gia pháp lý, cán bộ quản lý hợp đồng, kỹ sư tiến độ, tư vấn quản lý dự án hoặc người có thẩm quyền. Kết quả có thể được ghi nhận ở một trong ba trạng thái: đạt, đạt có điều kiện hoặc không đạt.

Bảng 19: Nội dung kiểm tra đầu ra trước khi sử dụng

Nội dung	Yêu cầu kiểm tra	Kết quả
Nguồn	Xác định rõ văn bản/tài liệu gốc và phiên bản.	Đạt / Có điều kiện / Không đạt
Trích dẫn	Đối chiếu điều, khoản, nội dung và điều kiện áp dụng.	Đạt / Có điều kiện / Không đạt
Hiệu lực	Kiểm tra thời điểm áp dụng và tình trạng hiệu lực.	Đạt / Có điều kiện / Không đạt
Phạm vi	Kiểm tra loại công trình, hợp đồng, chủ thể và bối cảnh.	Đạt / Có điều kiện / Không đạt
Hồ sơ dự án	Đối chiếu với hợp đồng, tiến độ, biên bản và bằng chứng.	Đạt / Có điều kiện / Không đạt
Chuyên gia	Xác nhận bởi người có chuyên môn với nội dung rủi ro cao.	Đạt / Có điều kiện / Không đạt

5.6 Nguyên tắc sử dụng, mẫu câu hỏi và giới hạn của hệ thống

5.6.1 Nguyên tắc sử dụng

- Chatbot là công cụ hỗ trợ tra cứu và giải thích thông tin, không thay thế cơ quan quản lý nhà nước, luật sư, chuyên gia pháp lý, tư vấn hợp đồng hoặc người có thẩm quyền của dự án.
- Mọi câu trả lời cần ưu tiên chỉ rõ căn cứ, bao gồm tên văn bản, số ký hiệu và điều, khoản hoặc điểm liên quan khi dữ liệu cho phép.
- Người dùng phải phân biệt nội dung được trích từ văn bản với phần diễn giải do chatbot tạo ra.
- Kết quả có ảnh hưởng đến điều chỉnh tiến độ, gia hạn, xử lý vi phạm, thanh toán, bồi thường hoặc trách nhiệm hợp đồng phải được người có chuyên môn kiểm tra trước khi sử dụng.
- Khi câu hỏi vượt ngoài phạm vi kho dữ liệu, chatbot cần thông báo giới hạn thay vì suy đoán hoặc tạo thêm thông tin không có căn cứ.

5.6.2 Mẫu câu hỏi đề xuất

Để tăng khả năng truy xuất đúng nội dung, người dùng có thể sử dụng mẫu câu hỏi sau: "Tôi cần tra cứu quy định pháp luật hiện hành của Việt Nam về [nội dung]. Bối cảnh là [mô tả ngắn gọn]. Chủ thể liên quan gồm [các bên]. Hãy trả lời theo cấu trúc: (1) căn cứ pháp lý; (2) điều, khoản liên quan; (3) nội dung quy định; (4) điều kiện và phạm vi áp dụng; (5) hồ sơ hoặc hành động cần thực hiện; (6) nội dung cần chuyên gia tiếp tục xác minh. Không đưa ra kết luận nếu không có căn cứ trong kho dữ liệu."

- Nhà thầu có trách nhiệm như thế nào trong việc lập và cập nhật tiến độ thi công?
- Trong trường hợp chủ đầu tư bàn giao mặt bằng chậm, những quy định pháp luật nào cần được xem xét?
- Việc điều chỉnh thời gian thực hiện hợp đồng xây dựng phải đáp ứng những điều kiện nào?
- Các bên cần lập những hồ sơ gì khi xảy ra sự kiện ảnh hưởng đến tiến độ?
- Quy định nào liên quan đến trách nhiệm giám sát và báo cáo tiến độ?
- Khi tiến độ bị kéo dài, pháp luật quy định những nguyên tắc nào về xử lý trách nhiệm?

5.6.3 Giới hạn sử dụng

Chatbot không được sử dụng độc lập để thực hiện hoặc kết luận các nội dung sau:

- Xác định đường găng, mức độ chậm hoặc ngày hoàn thành dự án.
- Tính toán thời gian được gia hạn.
- Xác nhận khối lượng hoặc giá trị thanh toán.
- Kết luận một bên vi phạm hợp đồng hoặc phải bồi thường.
- Soạn thảo và ban hành quyết định có giá trị pháp lý mà không qua kiểm tra.
- Thay thế ý kiến của cơ quan nhà nước, luật sư hoặc chuyên gia pháp lý.

Đầu ra của chatbot chỉ là thông tin tham khảo có hỗ trợ truy xuất tài liệu. Giá trị sử dụng của kết quả phụ thuộc vào tính đầy đủ và cập nhật của kho dữ liệu, chất lượng câu hỏi, hồ sơ thực tế của dự án và quá trình xác thực của con người.

5.7 Ý nghĩa của nguyên mẫu đối với khung tích hợp BIM–GenAI và hướng phát triển

Chatbot AI Tư vấn tiến độ xây dựng là một minh họa có phạm vi giới hạn cho khả năng chuyển hóa khung giải pháp BIM–GenAI thành một ứng dụng cụ thể. Về mặt công nghệ, hệ thống thể hiện chuỗi xử lý từ dữ liệu nguồn, chuẩn hóa, embedding, cơ sở dữ liệu vector, truy xuất, tái xếp hạng đến LLM. Về mặt quản trị, hệ thống đồng thời cho thấy yêu cầu phải kiểm soát nguồn dữ liệu, duy trì khả năng truy vết, xác định giới hạn sử dụng và có sự kiểm tra của con người.

Mối liên hệ với S7 thể hiện rõ ở việc chatbot cung cấp giao diện trực quan để người dùng tiếp cận thông tin và hỗ trợ ra quyết định. Mối liên hệ với S5 nằm ở cách tiếp cận thí điểm: xây dựng một trường hợp sử dụng hẹp, đánh giá phản hồi và hoàn thiện trước khi mở rộng. Bên cạnh đó, chất lượng của công cụ phụ thuộc trực tiếp vào S1 về chuẩn hóa dữ liệu, S3 về năng

lực của người sử dụng, S8 về quản trị và bảo mật, và S9 về khung pháp lý cho việc sử dụng AI trong môi trường xây dựng.

Trong giai đoạn tiếp theo, hệ thống có thể được nghiên cứu mở rộng theo hướng tích hợp thêm các nguồn dữ liệu của dự án như tiến độ cơ sở, WBS, báo cáo hiện trường, biên bản họp, hợp đồng và dữ liệu BIM. Tuy nhiên, việc mở rộng này chỉ nên thực hiện khi có cơ chế phân quyền, chuẩn hóa dữ liệu, bảo mật và xác định trách nhiệm rõ ràng. Đặc biệt, các chức năng tính toán tiến độ như đường găng, sai lệch hoặc dự báo ngày hoàn thành cần được xử lý bằng các công cụ hoặc mô-đun tính toán phù hợp; LLM nên đóng vai trò hỗ trợ truy vấn, tổng hợp và giải thích kết quả thay vì tự thực hiện toàn bộ quyết định kỹ thuật.

Để đánh giá giá trị thực tiễn của chatbot ở mức độ cao hơn, nghiên cứu tiếp theo cần xây dựng bộ câu hỏi kiểm thử có đáp án tham chiếu, đo khả năng truy xuất đúng nguồn, mức độ bám nguồn của câu trả lời, tỷ lệ trường hợp cần chỉnh sửa và phản hồi của người sử dụng. Việc kiểm thử nên được thực hiện trên cùng một phiên bản dữ liệu và cấu hình hệ thống để có thể so sánh và tái lập. Đây là bước cần thiết trước khi công cụ được sử dụng trong các quy trình nghiệp vụ có ảnh hưởng trực tiếp đến tiến độ, hợp đồng hoặc trách nhiệm của các bên.

5.8 Kết luận Chương 5

Chương 5 đã trình bày Chatbot AI Tư vấn tiến độ xây dựng như một nguyên mẫu minh họa có phạm vi giới hạn cho một số thành phần của định hướng tích hợp BIM–GenAI. Nguyên mẫu hiện tập trung vào truy xuất và giải thích thông tin pháp lý, chưa tích hợp trực tiếp với mô hình BIM, tiến độ cơ sở hoặc dữ liệu hiện trường của một dự án cụ thể

Cơ chế hoạt động của hệ thống gồm các bước tiếp nhận dữ liệu, làm sạch và chuẩn hóa, tách chunk, embedding, lưu cơ sở dữ liệu vector, chuyển câu hỏi thành vector, truy xuất Top-K, tái xếp hạng bằng Cross-encoder để chọn Top-n, sau đó kết hợp System Prompt, các đoạn liên quan và câu hỏi để mô hình LLM tạo câu trả lời. Quy trình này tạo điều kiện để câu trả lời dựa nhiều hơn trên kho tài liệu được lựa chọn và hỗ trợ khả năng đối chiếu nguồn.

Tuy nhiên, chatbot hiện tại vẫn là công cụ hỗ trợ tra cứu và tư vấn thông tin, chưa phải một hệ thống tự động quản lý tiến độ hoàn chỉnh. Kết quả do hệ thống tạo ra phải được kiểm tra với văn bản gốc, hợp đồng, hồ sơ dự án và xác nhận bởi người có chuyên môn trong các trường hợp rủi ro cao. Nguyên tắc human-in-the-loop, quản trị dữ liệu và giới hạn phạm vi sử dụng là điều kiện quan trọng để công cụ có thể được phát triển và mở rộng theo hướng an toàn, minh bạch và phù hợp với khung giải pháp của nghiên cứu.

CHƯƠNG 6. KẾT LUẬN, ĐÓNG GÓP VÀ HẠN CHẾ CỦA NGHIÊN CỨU

6.1 Kết luận

Trong bối cảnh chuyển đổi số ngày càng được thúc đẩy trong ngành xây dựng, việc kết hợp Mô hình thông tin công trình (Building Information Modeling – BIM) với trí tuệ nhân tạo tạo sinh (Generative Artificial Intelligence – GenAI) mở ra khả năng nâng cao năng lực khai thác dữ liệu, hỗ trợ phân tích thông tin và hỗ trợ ra quyết định trong quản lý tiến độ xây dựng. Tuy nhiên, việc triển khai BIM–GenAI không chỉ là vấn đề lựa chọn một công nghệ hoặc một công cụ AI riêng lẻ mà liên quan đồng thời đến điều kiện thể chế, nguồn nhân lực, dữ liệu, quy trình, hạ tầng công nghệ, cơ chế phối hợp và quản trị rủi ro. Xuất phát từ vấn đề này, nghiên cứu được thực hiện nhằm xác định các giải pháp triển khai BIM–GenAI, đánh giá mức độ ưu tiên và cấu trúc ảnh hưởng giữa các giải pháp theo nhận định của chuyên gia, từ đó đề xuất một khung triển khai phù hợp với bối cảnh ngành xây dựng Việt Nam.

Trên cơ sở tổng hợp và phân tích các nghiên cứu trong và ngoài nước, nghiên cứu đã xác định mười giải pháp triển khai BIM–GenAI trong quản lý tiến độ xây dựng. Các giải pháp này được sử dụng làm đối tượng đánh giá trong khảo sát chuyên gia. Dữ liệu thu thập từ 14 chuyên gia có kinh nghiệm liên quan đến quản lý dự án, quản lý tiến độ, BIM, chính sách và chuyển đổi số được phân tích bằng hai phương pháp AHP và DEMATEL. AHP được sử dụng nhằm xác định mức độ ưu tiên tương đối của các giải pháp, trong khi DEMATEL được sử dụng nhằm phân tích cấu trúc ảnh hưởng trực tiếp và gián tiếp theo nhận định của nhóm chuyên gia. Do đó, kết quả nghiên cứu phản ánh mức độ ưu tiên và cấu trúc ảnh hưởng được nhận thức bởi chuyên gia, không được hiểu là bằng chứng thực nghiệm xác lập quan hệ nhân quả hoặc chứng minh hiệu quả vận hành thực tế của một hệ thống BIM–GenAI hoàn chỉnh.

Kết quả AHP cho thấy năm giải pháp có mức độ ưu tiên cao nhất gồm S3 – phát triển năng lực nguồn nhân lực về BIM và AI với trọng số 0,1845; S9 – xây dựng chính sách và khung pháp lý hỗ trợ chuyển đổi số với trọng số 0,1763; S4 – xây dựng quy trình quản lý tiến độ tích hợp BIM–GenAI với trọng số 0,1170; S1 – chuẩn hóa dữ liệu BIM tương thích với AI với trọng số 0,1074; và S10 – phát triển mô hình phối hợp đa bên và chia sẻ dữ liệu với trọng số 0,0891. Kết quả này cho thấy theo đánh giá của nhóm chuyên gia, yếu tố con người, thể chế, quy trình và dữ liệu giữ vai trò quan trọng không kém, thậm chí được ưu tiên cao hơn một số giải pháp tập trung trực tiếp vào hạ tầng và ứng dụng công nghệ.

Kết quả DEMATEL bổ sung một góc nhìn khác so với AHP. Các giải pháp S1, S3, S5 và S9 có giá trị R−C dương và được xác định là nhóm có ảnh hưởng ròng trong cấu trúc đánh giá của chuyên gia. Ngược lại, S2, S4, S6, S7, S8 và S10 có giá trị R−C âm và được xác định là nhóm chịu ảnh hưởng ròng. Sự khác biệt giữa mức độ ưu tiên theo AHP và vai trò ảnh hưởng theo DEMATEL cho thấy một giải pháp được đánh giá quan trọng không nhất thiết đồng thời là một yếu tố có ảnh hưởng ròng dương trong mạng lưới quan hệ.

Việc tích hợp hai kết quả cho phép nghiên cứu nhận diện một số đặc điểm có ý nghĩa đối với logic triển khai. Trước hết, S9, S3 và S1 vừa có mức ưu tiên tương đối cao, vừa thuộc nhóm có ảnh hưởng ròng dương, qua đó cho thấy vai trò nền tảng của thể chế, năng lực con

người và dữ liệu đối với quá trình triển khai BIM–GenAI. Ngược lại, S4 và S10 mặc dù có mức ưu tiên cao và vị trí liên kết đáng kể trong hệ thống nhưng lại thuộc nhóm chịu ảnh hưởng ròng. Đặc điểm này được nghiên cứu diễn giải dưới khái niệm "bẫy phụ thuộc" (dependency trap), trong đó những giải pháp có tính hiện diện cao trong hoạt động triển khai vẫn khó có thể vận hành bền vững nếu các điều kiện nền tảng chưa được đáp ứng.

S5 – triển khai dự án thí điểm – có vai trò đặc biệt trong cấu trúc đề xuất. Mặc dù không nằm trong nhóm giải pháp có trọng số AHP cao nhất, S5 có giá trị ảnh hưởng ròng dương và mức độ liên kết tương đối cao. Vì vậy, dự án thí điểm không chỉ được xem là bước kiểm tra cuối cùng của một giải pháp đã hoàn thiện mà còn là một cơ chế học hỏi có kiểm soát, giúp phát hiện hạn chế, thu thập phản hồi và tạo bằng chứng để điều chỉnh dữ liệu, quy trình, năng lực con người và các cơ chế quản trị trước khi mở rộng quy mô.

Đối với S8 – tăng cường quản trị và bảo mật dữ liệu – kết quả AHP và DEMATEL không nên được diễn giải theo cách cho phép trì hoãn triển khai vì thứ hạng tương đối thấp hoặc giá trị R−C âm. Các yêu cầu về phân quyền truy cập, an ninh mạng, khả năng truy vết, kiểm soát mô hình và trách nhiệm giải trình mang tính điều kiện tối thiểu và không thể được bù trừ bởi lợi ích của các giải pháp khác. Vì vậy, S8 được xác định là chức năng bảo đảm xuyên suốt toàn bộ quá trình triển khai.

Trên cơ sở đó, nghiên cứu đề xuất khung chiến lược ba tầng có chức năng bảo đảm xuyên suốt. Tầng 1 – Nền tảng hỗ trợ – gồm S9, S3 và S1, tập trung vào mức độ sẵn sàng về chính sách, năng lực nhân sự và dữ liệu. Tầng 2 – Chuyển đổi và phối hợp – gồm S5, S4 và S10, tập trung vào thí điểm, chuyển bằng chứng thành quy trình vận hành và hình thành cơ chế phối hợp, chia sẻ dữ liệu giữa các bên. Tầng 3 – Công nghệ hỗ trợ và tạo giá trị – gồm S2, S6 và S7, tập trung vào hạ tầng, tích hợp dữ liệu hiện trường và các công cụ hỗ trợ ra quyết định. S8 được áp dụng xuyên suốt cả ba tầng với vai trò kiểm soát rủi ro, bảo đảm chất lượng, an toàn dữ liệu và trách nhiệm giải trình.

Khung chiến lược được tiếp tục cụ thể hóa thông qua kiến trúc tích hợp năm lớp, mô hình dữ liệu tối thiểu, quy trình vận hành có sự giám sát và phê duyệt của con người, phân loại tình huống ứng dụng theo mức độ rủi ro, cơ chế phân vai trách nhiệm và lộ trình triển khai theo các điểm kiểm soát giai đoạn. Logic chung của quá trình triển khai là hình thành mức độ sẵn sàng tối thiểu, thực hiện thí điểm có kiểm soát, đánh giá bằng chứng thu được, chuẩn hóa những thực hành đã được kiểm chứng và chỉ mở rộng quy mô khi các điều kiện về hiệu quả, rủi ro và quản trị được đáp ứng. Khung này vì vậy không phải là một trình tự tuyến tính cứng nhắc mà là một cấu trúc định hướng cho quá trình triển khai và điều chỉnh liên tục.

Bên cạnh việc xây dựng khung đề xuất ở cấp độ khái niệm, nghiên cứu đã trình bày Chatbot AI Tư vấn tiến độ xây dựng như một nguyên mẫu ứng dụng có phạm vi giới hạn nhằm minh họa một phần logic triển khai được đề xuất. Chatbot hiện được phát triển trên kho dữ liệu văn bản pháp luật và hỗ trợ người dùng truy xuất, tổng hợp và giải thích các quy định có liên quan đến tiến độ xây dựng, hợp đồng và trách nhiệm của các bên. Cơ chế hoạt động bao gồm tiếp nhận và chuẩn hóa dữ liệu, chia nhỏ tài liệu thành các đoạn, tạo embedding, lưu trữ trong

cơ sở dữ liệu vector, truy xuất Top-K, tái xếp hạng bằng Cross-encoder và cung cấp các đoạn tài liệu phù hợp cho mô hình ngôn ngữ lớn tạo câu trả lời.

Về mối liên hệ với khung nghiên cứu, nguyên mẫu thể hiện trực tiếp một trường hợp ứng dụng của S7 – công cụ hỗ trợ ra quyết định minh bạch – thông qua giao diện tương tác ngôn ngữ tự nhiên và khả năng cung cấp thông tin có căn cứ. Quá trình xây dựng và thử nghiệm ở phạm vi hẹp cũng phản ánh logic của S5 – dự án thí điểm và học hỏi. Đồng thời, việc vận hành chatbot cho thấy giá trị của các điều kiện nền tảng gồm chuẩn hóa và kiểm soát dữ liệu theo S1, năng lực sử dụng và xác minh thông tin theo S3, quản trị và bảo mật theo S8, cũng như tính phù hợp của khung pháp lý theo S9.

Tuy nhiên, nguyên mẫu không được xem là bằng chứng kiểm chứng toàn bộ khung tích hợp BIM–GenAI. Hệ thống hiện chưa kết nối trực tiếp với mô hình BIM, tiến độ cơ sở, WBS, báo cáo hiện trường hoặc dữ liệu dự án theo thời gian thực; đồng thời không tự thực hiện các phép tính kỹ thuật như xác định đường găng, đo mức độ chậm tiến độ hoặc dự báo ngày hoàn thành. Vì vậy, giá trị của Chương 5 nằm ở việc minh họa khả năng vận hành hóa một số nguyên tắc của khung đề xuất, đặc biệt là tiếp cận theo trường hợp sử dụng, truy xuất có căn cứ, giám sát của con người và triển khai thí điểm có kiểm soát, chứ không phải ở việc chứng minh hiệu quả của toàn bộ hệ thống BIM–GenAI đối với kết quả tiến độ dự án. Cách giới hạn này phù hợp với phạm vi mà Chương 5 hiện đã xác định.

Nhìn chung, nghiên cứu cho thấy triển khai BIM–GenAI trong quản lý tiến độ xây dựng cần được nhìn nhận như một quá trình chuyển đổi mang tính xã hội – kỹ thuật – thể chế, thay vì chỉ là quá trình mua sắm và đưa vào sử dụng một công nghệ AI. Giá trị của công nghệ chỉ có thể được hiện thực hóa một cách bền vững khi các điều kiện về chính sách, năng lực con người, dữ liệu, quy trình, phối hợp và quản trị được phát triển đồng bộ và được kiểm chứng thông qua các bước triển khai có kiểm soát.

6.2 Đóng góp của nghiên cứu

Nghiên cứu mang lại một số đóng góp về mặt phương pháp, lý luận và hàm ý thực tiễn đối với quá trình chuyển đổi số trong quản lý dự án xây dựng.

Về mặt lý luận, nghiên cứu mở rộng cách tiếp cận đối với tích hợp BIM–GenAI từ việc xem xét các ứng dụng công nghệ riêng lẻ sang cách tiếp cận hệ thống, trong đó quá trình triển khai được hình thành bởi quan hệ tương tác giữa thể chế, nguồn nhân lực, dữ liệu, quy trình, hạ tầng, ứng dụng, phối hợp giữa các bên và quản trị. Cách tiếp cận này góp phần làm rõ rằng năng lực công nghệ không tự động chuyển thành giá trị quản lý nếu thiếu những điều kiện nền tảng cần thiết.

Về mặt phương pháp, nghiên cứu kết hợp AHP và DEMATEL nhằm xem xét hai chiều cạnh khác nhau của cùng một tập hợp giải pháp. AHP cung cấp thông tin về mức độ ưu tiên tương đối theo đánh giá của chuyên gia, trong khi DEMATEL cung cấp thông tin về cấu trúc ảnh hưởng được nhận thức giữa các giải pháp. Việc đặt hai kết quả cạnh nhau thay vì hợp nhất một cách cơ học thành một chỉ số duy nhất cho phép nhận diện sự khác biệt giữa "được đánh

giá là quan trọng" và "được đánh giá có ảnh hưởng ròng", qua đó hỗ trợ xây dựng logic triển khai có tính đến quan hệ phụ thuộc.

Về mặt diễn giải kết quả, nghiên cứu đề xuất các khái niệm "bẫy phụ thuộc", nền tảng hỗ trợ triển khai, học hỏi thông qua thí điểm và chức năng bảo đảm xuyên suốt để giải thích tại sao những giải pháp có mức độ ưu tiên cao hoặc có tính hiện diện công nghệ rõ ràng chưa nhất thiết nên được mở rộng ngay từ đầu. Cách diễn giải này cung cấp cơ sở để chuyển các kết quả định lượng của AHP–DEMATEL thành một cấu trúc triển khai có ý nghĩa quản lý.

Về mặt thực tiễn, nghiên cứu phát triển khung chiến lược ba tầng kết hợp chức năng bảo đảm xuyên suốt, kiến trúc tích hợp năm lớp, mô hình dữ liệu tối thiểu, cơ chế human-in-the-loop, phân loại rủi ro, lộ trình theo phase-gate và cơ chế phân công trách nhiệm. Các thành phần này tạo thành một bộ tài liệu tham chiếu có cấu trúc để cơ quan quản lý, chủ đầu tư, đơn vị tư vấn, nhà thầu và đơn vị công nghệ có thể sử dụng khi thiết kế chương trình thí điểm hoặc xây dựng lộ trình ứng dụng BIM–GenAI.

Việc bổ sung nguyên mẫu Chatbot AI Tư vấn tiến độ xây dựng tạo thêm một đóng góp ở cấp độ **minh họa vận hành hóa**. Thay vì chỉ trình bày khung dưới dạng khái niệm, nghiên cứu cho thấy một trường hợp sử dụng hẹp có thể được tổ chức theo các nguyên tắc về nguồn dữ liệu xác định, truy xuất có căn cứ, kiểm soát phạm vi ứng dụng, xác minh đầu ra và giám sát của con người. Nguyên mẫu đồng thời tạo ra một cầu nối giữa các giải pháp mang tính chiến lược ở Chương 4 và một hình thức ứng dụng cụ thể ở Chương 5.

Tuy vậy, đóng góp của chatbot cần được xác định đúng phạm vi. Nguyên mẫu không chứng minh toàn bộ kiến trúc năm lớp đã được triển khai hoàn chỉnh và cũng không chứng minh BIM–GenAI đã làm giảm thời gian thi công hoặc cải thiện các chỉ số tiến độ. Giá trị của nguyên mẫu nằm ở việc minh họa cách tiếp cận thí điểm, cách tổ chức chuỗi dữ liệu–truy xuất–sinh nội dung–xác minh và cách áp dụng các nguyên tắc quản trị đối với một tình huống sử dụng GenAI có phạm vi được kiểm soát.

Như vậy, đóng góp tổng thể của nghiên cứu không nằm ở việc khẳng định một công nghệ cụ thể đã giải quyết được vấn đề quản lý tiến độ, mà nằm ở việc hình thành một cách tiếp cận có cấu trúc để xác định ưu tiên, nhận diện quan hệ phụ thuộc, tổ chức lộ trình triển khai và từng bước kiểm chứng các trường hợp sử dụng BIM–GenAI trong điều kiện của ngành xây dựng Việt Nam.

6.3 Hạn chế và hướng nghiên cứu trong tương lai

Mặc dù đạt được các mục tiêu nghiên cứu đã đặt ra, kết quả của nghiên cứu cần được xem xét trong một số giới hạn về dữ liệu, phương pháp và phạm vi kiểm chứng.

Trước hết, dữ liệu AHP và DEMATEL được thu thập từ 14 chuyên gia được lựa chọn có chủ đích trên cơ sở kinh nghiệm và chuyên môn liên quan. Quy mô này phù hợp với cách tiếp cận dựa trên đánh giá chuyên gia nhưng không cho phép suy rộng thống kê kết quả cho toàn bộ ngành xây dựng Việt Nam. Sự khác biệt giữa các nhóm chủ thể, loại hình dự án, quy mô doanh nghiệp, vùng địa lý và mức độ trưởng thành BIM có thể dẫn đến các cấu trúc ưu tiên

khác nhau. Các nghiên cứu tiếp theo nên mở rộng hội đồng chuyên gia và thực hiện phân tích so sánh giữa chủ đầu tư, tư vấn, nhà thầu, cơ quan quản lý và nhà cung cấp công nghệ.

Thứ hai, các đánh giá được thu thập tại một thời điểm và chịu ảnh hưởng của nhận định chủ quan của chuyên gia. Nghiên cứu báo cáo tỷ số nhất quán CR của ma trận AHP nhóm tổng hợp nhưng chưa báo cáo riêng CR của từng chuyên gia. Vì vậy, các nghiên cứu tiếp theo nên kiểm tra tính nhất quán ở cấp độ cá nhân, phân tích độ nhạy của kết quả đối với thành phần hội đồng chuyên gia và xem xét các phương pháp đánh giá lặp lại để kiểm tra mức độ ổn định của thứ hạng. Hạn chế này cũng đã được bản hiện tại nhận diện.

Thứ ba, DEMATEL trong nghiên cứu phản ánh cấu trúc ảnh hưởng theo nhận định của chuyên gia chứ không xác lập quan hệ nhân quả thực nghiệm. Việc một giải pháp có R−C dương không có nghĩa rằng can thiệp vào giải pháp đó tất yếu sẽ tạo ra thay đổi tương ứng đối với kết quả tiến độ. Việc kiểm chứng sâu hơn đòi hỏi dữ liệu triển khai theo thời gian, nghiên cứu trường hợp và so sánh trước–sau khi các nhóm giải pháp được thực hiện.

Thứ tư, khung chiến lược ba tầng, kiến trúc năm lớp, lộ trình triển khai, các tiêu chí phase-gate, cơ chế quản trị và phân loại rủi ro vẫn là các đề xuất thiết kế được xây dựng trên cơ sở tổng hợp tài liệu và kết quả đánh giá chuyên gia. Các thành phần này chưa được kiểm chứng đồng thời trong một hệ thống BIM–GenAI vận hành đầy đủ trên dự án thực tế. Vì vậy, bước nghiên cứu tiếp theo cần triển khai các dự án thí điểm có phạm vi xác định, thiết lập baseline trước khi áp dụng và đo lường các chỉ số như thời gian xử lý thông tin, độ chính xác của phát hiện sai lệch, thời gian phản ứng trước sự kiện tiến độ, chất lượng quyết định, số lượng lỗi, chi phí vận hành và mức độ chấp nhận của người sử dụng.

Thứ năm, Chatbot AI Tư vấn tiến độ xây dựng chỉ là một nguyên mẫu có phạm vi giới hạn. Hệ thống hiện tập trung vào truy xuất và giải thích thông tin pháp lý, chưa tích hợp trực tiếp với mô hình BIM, WBS, tiến độ cơ sở, dữ liệu hiện trường, dữ liệu nguồn lực hoặc hồ sơ hợp đồng của một dự án cụ thể. Do đó, nguyên mẫu chỉ minh họa một số thành phần của S5 và S7 cùng các yêu cầu liên quan đến S1, S3, S8 và S9; nó không phải là bằng chứng xác nhận hiệu quả của toàn bộ khung BIM–GenAI. Đây cũng chính là giới hạn mà Chương 5 đã xác định.

Đối với riêng chatbot, nghiên cứu tiếp theo cần xây dựng một quy trình đánh giá có khả năng tái lập. Bộ kiểm thử nên bao gồm các câu hỏi có đáp án hoặc nguồn tham chiếu đã được chuyên gia xác nhận, từ đó đánh giá khả năng truy xuất đúng nguồn, độ chính xác của trích dẫn, mức độ bám sát nguồn của câu trả lời, tỷ lệ hallucination hoặc diễn giải không được nguồn hỗ trợ, tỷ lệ câu trả lời cần chỉnh sửa, thời gian xử lý và đánh giá của người sử dụng. Việc kiểm thử cần được thực hiện trên cùng phiên bản kho dữ liệu, mô hình và cấu hình truy xuất để bảo đảm khả năng so sánh kết quả. Đây cũng phù hợp với hướng phát triển đã được xác định tại cuối Chương 5.

Trong giai đoạn tiếp theo, chatbot có thể được mở rộng theo hướng kết nối các nguồn dữ liệu dự án như baseline schedule, WBS, mô hình BIM, biên bản họp, báo cáo hiện trường và dữ liệu hợp đồng. Tuy nhiên, các chức năng tính toán có tính xác định như critical path, schedule variance, earned schedule hoặc dự báo ngày hoàn thành không nên được giao hoàn

toàn cho mô hình ngôn ngữ lớn. Một kiến trúc phù hợp hơn là kết hợp LLM với các công cụ tính toán chuyên dụng, rule engine hoặc phần mềm lập tiến độ, trong đó LLM đóng vai trò truy vấn, tổng hợp, giải thích và hỗ trợ tương tác, còn các kết quả kỹ thuật được tạo và kiểm tra bằng những mô-đun xác định phù hợp.

Cuối cùng, cấu trúc ảnh hưởng của các giải pháp không phải là bất biến. Khi các chính sách BIM và AI thay đổi, doanh nghiệp nâng cao mức độ trưởng thành số, chất lượng dữ liệu được cải thiện và các công nghệ GenAI tiếp tục phát triển, mức độ ưu tiên cũng như quan hệ phụ thuộc giữa các giải pháp có thể thay đổi. Do đó, các nghiên cứu trong tương lai cần thực hiện đánh giá lặp lại theo thời gian, mở rộng sang nhiều loại dự án và mô hình hợp đồng khác nhau, đồng thời kiểm chứng liệu khung ba tầng, chức năng bảo đảm xuyên suốt và các tiêu chí phase-gate có duy trì giá trị trong những bối cảnh triển khai khác nhau hay không.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Büchmann-Slorup, R. and N. Andersson. *BIM-based scheduling of Construction–A comparative analysis of prevailing and BIM-based scheduling processes*. in *Proc., 27 th Int. Conf. of the CIB W78*. 2010.
2. Sentosa, G., et al. *Construction scheduling and monitoring control of dams based on BIM*. in *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2023. IOP Publishing.
3. Doukari, O., B. Seck, and D. Greenwood, *The efficient generation of 4D BIM construction schedules: A case study of the Nanterre 2 CESI project in France.* Frontiers in Built Environment, 2022. **8**: p. 998309.
4. Doukari, O., B. Seck, and D. Greenwood, *The creation of construction schedules in 4D BIM: A comparison of conventional and automated approaches.* Buildings, 2022. **12**(8): p. 1145.
5. Nguyen, V.-T., A.D. Mai, and N.-T. Ngo, *An application of Building Information Modeling (BIM) in construction schedule management–a case study of olalani riverside tower project.* Tạp chí Khoa học và Công nghệ-Đại học Đà Nẵng, 2025: p. 13-17.
6. Heo, S. and S. Na, *Ready for departure: Factors to adopt large language model (LLM)-based artificial intelligence (AI) technology in the architecture, engineering and construction (AEC) industry.* Results in Engineering, 2025. **25**: p. 104325.
7. Singh, A.K., et al. *Prospects of integrating BIM and NLP for automatic construction schedule management*. in *ISARC. Proceedings of the international symposium on automation and robotics in construction*. 2023. IAARC Publications.
8. Takala, P., *Artificial Intelligence in Underground Construction Scheduling.* 2025.
9. Prieto, S.A., E.T. Mengiste, and B. García de Soto, *Investigating the use of ChatGPT for the scheduling of construction projects.* Buildings, 2023. **13**(4): p. 857.
10. Samsami, R., *Optimizing the utilization of generative artificial intelligence (AI) in the AEC industry: ChatGPT prompt engineering and design.* CivilEng, 2024. **5**(4): p. 971-1010.
11. Ali Mohamed, A., et al. *A Conceptual Model to Maximize Project Efficiency Through Automated Scheduling Using Generative AI Models*. in *Abu Dhabi International Petroleum Exhibition and Conference*. 2023. SPE.
12. Weaich, M., P. Ndlovu, and P. Simbanegavi, *Achieving artificial human-like intelligence in the built environment: Modelling a generative pre-trained transformer (GPT) into a construction project manager.* 2024.
13. Sulbaran, T., *Comparing Two Artificial Intelligence Language Modeling to Evaluate Construction Schedule Understanding.* Proceedings of 60th Annual Associated Schools, 2024. **5**: p. 541-548.
14. Singh, P. and A. Sadhu, *Next-generation Language-based Data Mining Techniques for Smart Construction Documentation: Challenges and Opportunities.* Canadian Journal of Civil Engineering, 2026(ja).
15. He, C., et al., *Utilizing large language models to illustrate constraints for construction planning.* Buildings, 2024. **14**(8): p. 2511.
16. Paramesha, M., N.L. Rane, and J. Rane, *Large Language Models and Artificial Intelligence in the Construction Industry: Applications, Opportunities, Challenges, and Ethical Implications.* Large Language Models for Sustainable Urban Development, 2025: p. 271-295.
17. Gao, Y., et al., *Artificial Intelligence in Construction Project Management: A Systematic Literature Review of Cost, Time, and Safety Management.* Buildings, 2026. **16**(5): p. 1061.

18. Koszykowski, M. and W. Orzeszko, *Machine learning in project schedule creation: a systematic literature review.* Journal of Scheduling, 2025: p. 1-18.
19. Taiwo, R., et al., *Generative AI in the Construction Industry: A State-of-the-art Analysis.* arXiv preprint arXiv:2402.09939, 2024.
20. Ivanova, S., et al., *Artificial intelligence methods for the construction and management of buildings.* Sensors, 2023. **23**(21): p. 8740.
21. Memon, S.A., et al., *Generative Artificial Intelligence in Architecture, Engineering, Construction, and Operations: A Systematic Review.* Buildings, 2025. **15**(13): p. 2270.
22. Ghosh, D.P., *Enhancing Parallel Engineering with Reasoning AI in Construction Industry.*
23. Singh, A.K. and S.-H. Hsieh, *Multi-LLM-based augmentation and synthetic data generation of construction schedules and task descriptions with SLM-as-a-judge assessment.* Advanced Engineering Informatics, 2026. **69**: p. 103825.
24. Li, X., J. Xu, and Q. Zhang, *Research on construction schedule management based on BIM technology.* Procedia engineering, 2017. **174**: p. 657-667.
25. Ahmadi, P.F. and M. Arashpour. *An analysis of 4D-BIM construction planning: Advantages, risks and challenges*. in *ISARC. Proceedings of the International Symposium on Automation and Robotics in Construction*. 2020. IAARC Publications.
26. Datta, S.D., et al., *Investigation on the effectiveness of using building information modeling (BIM) tools in project management: a case study.* Revista de la construcción, 2023. **22**(2): p. 306-320.
27. Abbas, H.M.Q., S.M. Cheema, and M.F. Shahzad, *Effectiveness of 4D/5D Scheduling in Planning for Delay Reduction in Construction Projects.* sjesr, 2023. **6**(4): p. 7-15.
28. Joseph, S., R. Sasikumar, and M. Anil, *Application of building information modeling for an institutional building.* International Journal of Engineering Research and, 2020. **9**(7): p. 1267-1281.
29. Castañeda, K., et al., *BIM uses for mitigating deficiencies in road scheduling planning.* Sustainability, 2025. **17**(6): p. 2729.
30. Essam, N., L. Khodeir, and F. Fathy, *Approaches for BIM-based multi-objective optimization in construction scheduling.* Ain Shams Engineering Journal, 2023. **14**(6): p. 102114.
31. Chen, X., et al., *BIM-based optimization of camera placement for indoor construction monitoring considering the construction schedule.* Automation in Construction, 2021. **130**: p. 103825.
32. Wefki, H., M. Elnahla, and E. Elbeltagi, *BIM-based schedule generation and optimization using genetic algorithms.* Automation in Construction, 2024. **164**: p. 105476.
33. ElMenshawy, M. and M. Marzouk, *Automated BIM schedule generation approach for solving time–cost trade-off problems.* Engineering, Construction and Architectural Management, 2021. **28**(10): p. 3346-3367.
34. Moon, H., et al., *BIM-based construction scheduling method using optimization theory for reducing activity overlaps.* Journal of Computing in Civil Engineering, 2015. **29**(3): p. 04014048.
35. Abbasi, S., K. Taghizade, and E. Noorzai, *BIM-based combination of takt time and discrete event simulation for implementing just in time in construction scheduling under constraints.* Journal of construction engineering and management, 2020. **146**(12): p. 04020143.
36. Mayouf, M., et al., *Revolutionising the 4D BIM process to support scheduling requirements in modular construction.* Sustainability, 2024. **16**(2): p. 476.

37. Oliveira, T.R.d., et al. *Construction informatics and BIM to empower informed decisions in project management*. in *Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Engineering Sustainability*. 2026. Emerald Publishing Limited.
38. Zhang, L., X. Zhang, and T. Ma, *Management of construction schedules based on building information modeling technology*, in *Emerging Technologies for Information Systems, Computing, and Management*. 2013, Springer. p. 81-88.
39. Le, T.-T., D.-H. Tran, and T.A. Nguyen. *BIM-Based Framework for Creating Automated Construction Schedules: A Proposed Solution in Vietnam*. in *The International Conference on Sustainable Civil Engineering and Architecture*. 2023. Springer.
40. Nguyen, T.A. and T.A. Nguyen, *Building information modeling (BIM) for construction project schedule management: a review.* Engineering, Technology & Applied Science Research, 2024. **14**(2): p. 13133-13142.
41. Torres, K., et al., *Exploring the knowledge structure of building information modeling (BIM) adoption in construction scheduling: A bibliometric analysis from 2008 to 2024.* Ain Shams Engineering Journal, 2025. **16**(8): p. 103446.
42. Moradnia, M.S. and Y. Alipouri, *A Systematic Review of the Role of Building Information Modeling (BIM) in Improving Construction Project Scheduling.* A Review on the Applications and Bioactive Properties of Fucoxanthin Extracted from Brown Algae. **1**.
43. Al-Sinan, M.A., A.A. Bubshait, and Z. Aljaroudi, *Generation of construction scheduling through machine learning and BIM: A blueprint.* Buildings, 2024. **14**(4): p. 934.
44. Al-Sinan, M.A., A. Bubshait, and Z.A. Aljaroudi, *Autonomous Resources-Loaded Project Scheduling System Development.* 2024.
45. Jaff, L. and G. Guven. *Implementing AI to Improve the Efficiency of BIM-Based Construction Schedules*. in *Canadian Society of Civil Engineering Annual Conference*. 2024. Springer.
46. Paramesha, M., N.L. Rane, and J. Rane, *Integration of Large Language Model (LLM) and Building Information Modeling (BIM) for Enhanced Construction Project Lifecycle Management: A Review.* Large Language Models for Sustainable Urban Development, 2025: p. 235-269.
47. Onatayo, D., et al., *Generative AI applications in architecture, engineering, and construction: trends, implications for practice, education & imperatives for upskilling—a review.* Architecture, 2024. **4**(4): p. 877-902.
48. Zhang, G., C. Lu, and Q. Luo, *Application of Large Language Models in the AECO Industry: Core Technologies, Application Scenarios, and Research Challenges.* Buildings, 2025. **15**(11): p. 1944.
49. Sepasgozar, S., *AI and BIM integration and PERGE adoption framework: mapping the network of AI methods and emerging impacts using CEGM.* Smart and Sustainable Built Environment, 2026: p. 1-26.
50. Pan, Y. and L. Zhang, *Integrating BIM and AI for smart construction management: Current status and future directions.* Archives of Computational Methods in Engineering, 2023. **30**(2): p. 1081-1110.
51. Du, S., et al., *BIM and IFC data readiness for AI integration in the construction industry: A review approach.* Buildings, 2024. **14**(10): p. 3305.
52. Abdelsalam, M., A. Ashmawi, and P.H. Nguyen, *AI-Driven Automation of Construction Cost Estimation: Integrating BIM with Large Language Models.* Buildings, 2026. **16**(3): p. 485.

53. Chen, N., et al., *Automated building information modeling compliance check through a large language model combined with deep learning and ontology.* Buildings, 2024. **14**(7): p. 1983.
54. Chong, H.-Y., et al., *BIM and AI Integration for Dynamic Schedule Management: A Practical Framework and Case Study.* Buildings, 2025. **15**(14): p. 2451.
55. Otoko, J., *Optimizing cost, time, and contamination control in cleanroom construction using advanced BIM, digital twin, and AI-driven project management solutions.* World J Adv Res Rev, 2023. **19**(02): p. 1623-38.
56. Rane, N., *Integrating building information modelling (BIM) and artificial intelligence (AI) for smart construction schedule, cost, quality, and safety management: challenges and opportunities.* Cost, Quality, and Safety Management: Challenges and Opportunities (September 16, 2023), 2023.
57. Pan, Y. and L. Zhang, *Roles of artificial intelligence in construction engineering and management: A critical review and future trends.* Automation in Construction, 2021. **122**: p. 103517.
58. Alsulamy, S., *Comparative analysis of deep learning algorithms for predicting construction project delays in Saudi Arabia.* Applied Soft Computing, 2025. **172**: p. 112890.
59. Gao, Y., et al., *Large language models in smart construction: a systematic review of implementation strategies, applications and future directions.* Engineering, Construction and Architectural Management, 2026. **33**(15): p. 159-181.
60. Zheng, J. and M. Fischer, *Dynamic prompt-based virtual assistant framework for BIM information search.* Automation in Construction, 2023. **155**: p. 105067.
61. Valdebenito, R. and E. Forcael, *Integrating artificial intelligence and BIM in construction: Systematic review and quantitative comparative analysis.* Applied Sciences, 2025. **15**(23): p. 12470.
62. Koszykowski, M. and W. Orzeszko, *Machine learning in project schedule creation: a systematic literature.* 2025.
63. Fernandes, D., et al., *A GPT-powered assistant for real-time interaction with building information models.* Buildings, 2024. **14**(8): p. 2499.
64. Rinchen, S., S. Banihashemi, and S. Alkilani, *Driving digital transformation in construction: Strategic insights into building information modelling adoption in developing countries.* Project Leadership and Society, 2024. **5**: p. 100138.
65. Kurniawan, R. and D. Sushandoyo, *Bridging the BIM Maturity Gap in Developing Country: A Change and Knowledge Management Framework for Enhancing Project Values.* European Journal of Business and Management Research, 2025. **10**(4): p. 198-202.
66. Ngoc, N.M., et al., *Challenges of BIM technology and lean theory in the construction industry in Vietnam.* Engineering, Technology & Applied Science Research, 2024. **14**(5): p. 17548-17554.
67. Toan, N.Q., P.X. Anh, and N.V. Tam, *Trends in BIM tools adoption in construction project implementation: A case study in Vietnam*, in *Proceedings of FORM 2022: Construction The Formation of Living Environment*. 2022, Springer. p. 9-19.
68. Nguyen Thi Tuyet, D., N. Hoang Thi Hang, and H. Nguyen Thu. *Solutions to promote digital transformation of construction industry in Vietnam*. in *E3S Web of Conferences*. 2023. EDP Sciences.
69. Van Phong, V., N.Q. Toan, and N. Van Tam, *Generative AI adoption in civil engineering: A mini review of benefits, barriers, and risks.* Journal of Science and Technology in Civil Engineering (JSTCE)-HUCE, 2026. **20**(2): p. 105-114.

70. Ngo, V.-Y., et al. *Artificial Intelligence For Hazard Recognition Training In Construction: An Integrative Review*. in *CIB Conferences*. 2026.
71. Aruldoss, M., T.M. Lakshmi, and V.P. Venkatesan, *A survey on multi criteria decision making methods and its applications.* American Journal of Information Systems, 2013. **1**(1): p. 31-43.
72. Shahsavarani, A.M. and E. Azad Marz Abadi, *The bases, principles, and methods of decision-making: A review of literature.* International Journal of Medical Reviews, 2015. **2**(1): p. 214-225.
73. Bączkiewicz, A., et al. *Towards objectification of multi-criteria assessments: a comparative study on MCDA methods*. in *2021 16th Conference on Computer Science and Intelligence Systems (FedCSIS)*. 2021. IEEE.
74. Hajduk, S., *Multi-criteria analysis in the decision-making approach for the linear ordering of urban transport based on TOPSIS technique.* Energies, 2021. **15**(1): p. 274.
75. Kapliński, O. and T. Vilutienė, *Journal of Civil Engineering and Management: contribution to development and application of MCDM methods in construction management.* Journal of Civil Engineering and Management, 2025. **31**(3): p. 281–298-281–298.
76. Saaty, T.L., *The analytic hierarchy process*. 1980, McGraw-Hill.
77. Desbalo, M.T. and A.K. Woldesenbet, *Enhancing strategic decision-making in built asset management through BIM-Enabled asset information modelling (AIM) for public buildings in Ethiopia: A fuzzy-AHP analysis.* Heliyon, 2024. **10**(23).
78. Gabus, A. and E. Fontela, *World problems, an invitation to further thought within the framework of DEMATEL.* Battelle Geneva Research Center, Geneva, Switzerland, 1972. **1**(8): p. 12-14.
79. Taherdoost, H. and M. Madanchian, *Understanding applications and best practices of DEMATEL: a method for prioritizing key factors in multi-criteria decision-making.* Taherdoost, H., Madanchian, M, 2023: p. 17-23.
80. Darko, A., et al., *Review of application of analytic hierarchy process (AHP) in construction.* International journal of construction management, 2019. **19**(5): p. 436-452.
81. Das, D., et al., *Building supply chain resilience in the era of COVID-19: An AHP-DEMATEL approach.* Operations Management Research, 2022. **15**(1): p. 249-267.
82. Sara, J., R.M. Stikkelman, and P.M. Herder, *Assessing relative importance and mutual influence of barriers for CCS deployment of the ROAD project using AHP and DEMATEL methods.* International Journal of Greenhouse Gas Control, 2015. **41**: p. 336-357.
83. Van Tam, N., T.T.H. Quynh, and N.Q. Toan, *How Vietnam can achieve net-zero carbon emissions in construction and built environment by 2050: An integrated AHP and DEMATEL approach.* Building and environment, 2025. **274**: p. 112752.

TỔNG QUAN VỀ QUẢN LÝ TIẾN ĐỘ XÂY DỰNG

KHÁI NIỆM QUẢN LÝ TIẾN ĐỘ XÂY DỰNG

Quản lý tiến độ xây dựng là quá trình lập kế hoạch, điều phối, theo dõi và kiểm soát các hoạt động, nguồn lực và thời gian thực hiện để đảm bảo các công việc xây dựng được hoàn thành đúng thời gian, đảm bảo chất lượng và trong ngân sách được phê duyệt.

MỤC TIÊU

- Hoàn thành dự án đúng thời gian
- Đảm bảo yêu cầu về chất lượng
- Tối ưu hóa việc sử dụng nguồn lực
- Giảm thiểu chậm trễ và rủi ro liên quan
- Hỗ trợ ra quyết định và phối hợp hiệu quả

CÁC BÊN LIÊN QUAN CHÍNH

Chủ đầu tư/ Nhà đầu tư | Nhà thầu | Tư vấn | Kỹ sư | Nhà cung cấp/ Nhà thầu phụ

2. CÁC PHƯƠNG PHÁP QUẢN LÝ TIẾN ĐỘ TRUYỀN THỐNG

BIỂU ĐỒ GANTT
Trực quan hóa đơn giản các hoạt động theo thời gian

PHƯƠNG PHÁP CPM (ĐƯỜNG GĂNG)
Xác định đường găng để xác định thời gian dự án

PHƯƠNG PHÁP PERT (ĐÁNH GIÁ CHƯƠNG TRÌNH VÀ KỸ THUẬT RÀ SOÁT)
Quản lý sự không chắc chắn về thời gian bằng phương pháp xác suất

CÂN BẰNG NGUỒN LỰC
Cân đối nguồn lực để tránh tình trạng phân bổ quá tải

LẬP KẾ HOẠCH TRƯỚC CÔNG VIỆC
Lập kế hoạch chi tiết trước để cải thiện độ tin cậy khi thực hiện

QUY TRÌNH QUẢN LÝ VÀ KIỂM SOÁT TIẾN ĐỘ ĐIỂN HÌNH

Bước	Hoạt động chính	Kết quả chính	Công cụ thường dùng
1. Lập kế hoạch	Xác định phạm vi, phân rã WBS, xác định hoạt động, ước lượng thời lượng, xây dựng trình tự công việc	Danh sách hoạt động, sơ đồ mạng, tiến độ ban đầu	Biểu đồ Gantt, CPM/PERT, MS Project, Primavera P6
2. Lập kế hoạch nguồn lực	Ước lượng và phân bổ nguồn lực (nhân lực, thiết bị, vật tư)	Kế hoạch nguồn lực, biểu đồ nguồn lực	Biểu đồ nguồn lực, Excel, ERP
3. Phát triển tiến độ	Xây dựng tiến độ, thiết lập mối liên hệ logic, xác định đường găng	Tiến độ cơ sở, đường găng	Primavera P6, MS Project
4. Thực hiện & giám sát	Theo dõi tiến độ thực tế, thu thập dữ liệu thực tế	Dữ liệu tiến độ, báo cáo hiệu suất	Báo cáo hiện trường, cập nhật hàng ngày/tuần, bảng điều khiển
5. Kiểm soát tiến độ	So sánh giữa kế hoạch và thực tế, phân tích chênh lệch	Báo cáo chênh lệch, phân tích nguyên nhân chậm trễ	S-curves, EVM, phân tích xu hướng
6. Điều chỉnh	Cập nhật tiến độ, điều chuyển nguồn lực, xây dựng kế hoạch khắc phục	Tiến độ điều chỉnh, kế hoạch khắc phục	Phân tích giả định, lập kế hoạch kịch bản

3. HẠN CHẾ CỦA CÁC PHƯƠNG PHÁP QUẢN LÝ TIẾN ĐỘ TRUYỀN THỐNG

PHÂN TÁN DỮ LIỆU VÀ CÁC HỆ THỐNG ĐỘC LẬP
Dữ liệu phân tán ở nhiều định dạng và hệ thống khác nhau, thiếu liên kết với mô hình BIM và dữ liệu hiện trường.

KHẢ NĂNG CẬP NHẬT THỜI GIAN THỰC THẤP
Tiến độ được cập nhật định kỳ; việc phát hiện và phản hồi chậm.

HẠN CHẾ VỀ TRỰC QUAN HÓA VÀ THÔNG TIN
Biểu đồ 2D cung cấp thông tin hạn chế về không gian, nguồn lực và sự phụ thuộc liên ngành.

PHỤ THUỘC VÀO XỬ LÝ THỦ CÔNG
Phụ thuộc nhiều vào việc nhập và cập nhật thủ công, dễ xảy ra lỗi và thông tin không nhất quán.

HẠN CHẾ TRONG DỰ BÁO RỦI RO VÀ PHÂN TÍCH KỊCH BẢN
Khó dự báo chậm trễ, đánh giá tác động hoặc xem xét các phương án thay thế một cách hiệu quả.

HỢP TÁC KÉM VÀ CHIA SẺ THÔNG TIN HẠN CHẾ
Thiếu nền tảng chung dẫn đến chậm trễ và trùng lặp trong giao tiếp.

KHÓ KHĂN TRONG QUẢN LÝ CÁC DỰ ÁN PHỨC TẠP
Các phương pháp truyền thống gặp khó khăn với dự án quy mô lớn, nhiều gói thầu và thay đổi nhanh chóng.

4. CÁC THÁCH THỨC THƯỜNG GẶP TRONG THỰC TIỄN (BỐI CẢNH VIỆT NAM)

- Chậm trễ thường xuyên so với tiến độ cơ sở.
- Dữ liệu tiến độ không chính xác hoặc cập nhật muộn.
- Thiết kế và phạm vi thay đổi thường xuyên.
- Hạn chế về tích hợp giữa thiết kế – lập kế hoạch – mua sắm – thi công.
- Thiếu hụt nhân sự có kỹ năng (lập kế hoạch và kỹ sư tiến độ).

5. XU HƯỚNG VÀ YÊU CẦU CẢI TIẾN

- Tích hợp BIM với tiến độ để trực quan hóa thời gian
- Chuẩn hóa dữ liệu và quy trình để đảm bảo tính nhất quán
- Áp dụng công nghệ số và dữ liệu thời gian thực (IoT, di động, đám mây)
- Tăng cường hợp tác xuyên suốt vòng đời dự án
- Sử dụng phân tích dữ liệu và AI để dự báo và hỗ trợ ra quyết định
- Tự động hóa báo cáo và cập nhật tiến độ

6. KẾT LUẬN CHUNG

Các phương pháp quản lý tiến độ xây dựng truyền thống đã cung cấp nền tảng vững chắc cho công tác lập kế hoạch và kiểm soát. Tuy nhiên, chúng đối mặt với nhiều hạn chế trong tích hợp dữ liệu, giám sát thời gian thực, dự báo rủi ro và hợp tác.

Việc tích hợp BIM và Trí tuệ nhân tạo tạo sinh (AI tạo sinh) là yếu tố thiết yếu để nâng cao hiệu quả quản lý tiến độ, cải thiện độ chính xác, giảm chậm trễ và gia tăng giá trị dự án.

LỢI ÍCH CỦA QUẢN LÝ TIẾN ĐỘ HIỆU QUẢ

Hoàn thành đúng hạn | Kiểm soát chi phí | Tối ưu hóa nguồn lực | Giảm thiểu rủi ro | Hỗ trợ ra quyết định hiệu quả

NỀN TẢNG CHO CÁC CHƯƠNG TIẾP THEO

Tổng quan về quản lý tiến độ xây dựng cung cấp cơ sở lý thuyết cho việc phân tích vai trò của BIM – AI tạo sinh, xác định rào cản và đề xuất giải pháp trong các chương tiếp theo của nghiên cứu này.

TRƯỜNG ĐẠI HỌC XÂY DỰNG HÀ NỘI KHOA KINH TẾ VÀ QUẢN LÝ XÂY DỰNG	ĐỒ ÁN TỐT NGHIỆP		
ĐỀ TÀI	GIẢI PHÁP TÍCH HỢP BIM VÀ AI TẠO SINH (GENAI) ĐỂ NÂNG CAO HIỆU QUẢ CÔNG TÁC QUẢN LÝ TIẾN ĐỘ XÂY DỰNG		
TRƯỞNG KHOA	PGS. TS. NGUYỄN QUỐC TOÀN		BẢN VẼ SỐ: 03
GIẢNG VIÊN HƯỚNG DẪN	PGS. TS. NGUYỄN QUỐC TOÀN TS. NGUYỄN VĂN TÂM		NGÀY HOÀN THÀNH: 07/2026
HỌ VÀ TÊN SINH VIÊN	PHẠM QUỐC KHIÊM		LỚP: 66KTE MSSV: 0277366

TỔNG QUAN VỀ MÔ HÌNH THÔNG TIN CÔNG TRÌNH (BIM) TRONG QUẢN LÝ TIẾN ĐỘ XÂY DỰNG

1. KHÁI NIỆM VÀ CÁC CẤP ĐỘ CỦA BIM



- Mô hình thông tin công trình (BIM) vừa là biểu diễn số của một công trình, vừa là một quá trình quản lý thông tin tích hợp, hỗ trợ vòng đời dự án từ giai đoạn lập kế hoạch và thiết kế đến thi công, vận hành và bảo trì.
- BIM cho phép tạo lập, quản lý, trao đổi và cập nhật thông tin dự án trong một môi trường số cộng tác.
- Với vai trò là kho dữ liệu thông tin tập trung, BIM giúp nâng cao chất lượng thiết kế, tăng cường phối hợp liên ngành, giảm xung đột và hỗ trợ quản lý tiến độ, chi phí và nguồn lực.

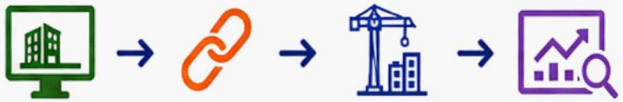
CÁC CẤP ĐỘ BIM / BIM nD

3D	4D	5D	6D-7D
Mô hình hình học	Tiến độ / thời gian	Chi phí	Dữ liệu vận hành và bảo trì

2. BIM TRONG QUẢN LÝ TIẾN ĐỘ XÂY DỰNG (BIM 4D)

- BIM 4D tích hợp thông tin tiến độ với mô hình công trình 3D để mô phỏng, phân tích và tối ưu hóa quá trình thi công.
- Trong thực tế, BIM 4D được triển khai bằng cách liên kết các đối tượng trong mô hình BIM 3D với các công việc trong tiến độ dự án.
- Các nền tảng triển khai phổ biến gồm Autodesk Navisworks và Synchro Pro.
- BIM 4D cho phép trực quan hóa mối quan hệ không gian – thời gian của các trình tự thi công.
- BIM 4D hỗ trợ đánh giá tính khả thi, phát hiện xung đột sớm, lập kế hoạch logistics thi công, quản lý nguồn lực, theo dõi tiến độ gần thời gian thực và đánh giá các kịch bản thi công thay thế.
- BIM 4D tương thích với các phương pháp truyền thống như biểu đồ Gantt, CPM và PERT.

QUY TRÌNH TRIỂN KHAI BIM 4D ĐIỂN HÌNH



3. LỢI ÍCH CỦA BIM TRONG QUẢN LÝ TIẾN ĐỘ XÂY DỰNG



1. Trực quan hóa trình tự và biện pháp thi công

Mô phỏng động giúp các bên liên quan hiểu rõ quá trình thi công, giảm tối thiểu sai lệch và cải thiện giao tiếp, đào tạo.



2. Phát hiện xung đột và kiểm soát tiến độ

Tích hợp các chiều không gian và thời gian để phát hiện xung đột sớm và so sánh kế hoạch với tiến độ thực tế.



3. Tối ưu hóa phân bổ và sử dụng nguồn lực

Hỗ trợ dự báo nhu cầu lao động, thiết bị và vật liệu, đồng thời giúp nhận diện mất cân đối nguồn lực.



4. Giám sát và kiểm soát tiến độ thực tế của dự án

Cho phép nhận diện chậm tiến độ nhanh hơn, đánh giá tác động và đưa ra hành động khắc phục kịp thời.



5. Nâng cao hiệu quả phối hợp và ra quyết định

Hoạt động như một nền tảng dữ liệu dùng chung, giúp tăng tính minh bạch, hợp tác và giải quyết xung đột.



6. Nâng cao hiệu quả tổng thể của công tác quản lý tiến độ

Các nghiên cứu cho thấy BIM cho thấy BIM 4D có thể cải thiện hiệu quả lập kế hoạch khoảng 40% so với các phương pháp lập tiến độ truyền thống.

4. HẠN CHẾ CỦA BIM

A. CHẤT LƯỢNG DỮ LIỆU VÀ KHẢ NĂNG TÍCH HỢP



- Hiệu quả của BIM phụ thuộc vào chất lượng dữ liệu đầu vào tính nhất quán của dữ liệu.
- Dữ liệu dự án thường đến từ nhiều nguồn với nền tảng phần mềm khác nhau, với tiêu chuẩn, cấu trúc và mức độ phát triển (LOD) không đồng nhất.
- Khả năng tương tác giữa BIM và các công cụ lập tiến độ vẫn còn hạn chế, vì vậy việc trao đổi và cập nhật dữ liệu vẫn phụ thuộc nhiều vào thao tác thủ công.

B. QUÁ TRÌNH LẬP KẾ HOẠCH VÀ CẬP NHẬT TIẾN ĐỘ



- Việc xây dựng và điều chỉnh tiến độ là một quá trình nhiều vào kiến thức và kinh nghiệm chuyên gia.
- Liên kết mô hình 3D với các hoạt động thi công và đánh giá các phương án tiến độ thay thế phần lớn vẫn mang tính thủ công và tốn thời gian.
- Khi thiết kế, nguồn lực hoặc điều kiện công trường thay đổi, việc cập nhật BIM và đồng bộ hóa tiến độ thường mất nhiều thời gian.

C. KHAI THÁC DỮ LIỆU VÀ HỖ TRỢ RA QUYẾT ĐỊNH



- BIM 4D mạnh về tích hợp thông tin trực quan, mô phỏng, nhưng khả năng phân tích nâng cao, dự báo và tối ưu hóa vẫn còn hạn chế.
- Dự báo chậm tiến độ, đánh giá rủi ro và đề xuất hành động khắc phục chủ yếu dựa vào chuyên môn quản lý.
- Các nguồn dữ liệu động như cảm biến IoT, hình ảnh công trường, nhật ký thi công và dữ liệu hiện trường theo thời gian thực vẫn chưa được khai thác đầy đủ.

D. ĐÀO CẢN TRIỂN KHAI BIM



- Chi phí cao cho phần mềm, hạ tầng và đào tạo nhân lực.
- Thiếu hụt nhân sự có kỹ năng BIM.
- Hiệu quả phụ thuộc vào sự cộng tác và chia sẻ thông tin, nhưng thiếu dữ liệu và sử dụng quy trình làm việc phân mảnh.
- Quyền sở hữu dữ liệu, trách nhiệm pháp lý và các tiêu chuẩn trao đổi thông tin vẫn chưa được giải quyết đầy đủ.

5. THÔNG ĐIỆP CHÍNH



- BIM, đặc biệt là BIM 4D, là một nền tảng số cốt lõi cho quản lý tiến độ xây dựng vì nó nâng cao khả năng trực quan hóa, điều phối, lập kế hoạch nguồn lực và kiểm soát tiến độ.



- Tuy nhiên, những hạn chế về khả năng tương tác, cập nhật, phân tích nâng cao và hỗ trợ ra quyết định chính là cơ sở để tích hợp BIM với AI và GenAI trong các phân tiếp theo của luận án.



NỀN TẢNG CHO CÁC PHẦN TIẾP THEO

BIM cung cấp môi trường số có cấu trúc, trên đó AI và GenAI có thể phát triển các năng lực tự động hóa, dự báo và hỗ trợ ra quyết định tiên tiến hơn cho quản lý tiến độ xây dựng.



TRƯỜNG ĐẠI HỌC XÂY DỰNG HÀ NỘI KHOA KINH TẾ VÀ QUẢN LÝ XÂY DỰNG	ĐỒ ÁN TỐT NGHIỆP		
ĐỀ TÀI	GIẢI PHÁP TÍCH HỢP BIM VÀ AI TẠO SINH (GENAI) ĐỂ NÂNG CAO HIỆU QUẢ CÔNG TÁC QUẢN LÝ TIẾN ĐỘ XÂY DỰNG		
TRƯỞNG KHOA	PGS. TS. NGUYỄN QUỐC TOÀN		BẢN VẼ SỐ: 04
GIẢNG VIÊN HƯỚNG DẪN	PGS. TS. NGUYỄN QUỐC TOÀN TS. NGUYỄN VĂN TÂM		NGÀY HOÀN THÀNH: 07/2026
HỌ VÀ TÊN SINH VIÊN	PHẠM QUỐC KHIÊM		LỚP: 66KTE MSSV: 0277366

TỔNG QUAN VỀ TRÍ TUỆ NHÂN TẠO VÀ TRÍ TUỆ NHÂN TẠO TẠO SINH

1. KHÁI NIỆM VỀ TRÍ TUỆ NHÂN TẠO (AI)

- AI phát triển các hệ thống máy tính có khả năng thực hiện các nhiệm vụ đòi hỏi trí tuệ của con người như: học tập, suy luận, nhận thức, giải quyết vấn đề và ra quyết định.
- Thuật ngữ này được John McCarthy giới thiệu lần đầu vào năm 1956.
- Hệ thống AI có khả năng học hỏi từ dữ liệu, thích ứng với môi trường thay đổi và hỗ trợ con người trong việc ra quyết định.
- AI mang tính liên ngành, kết hợp toán học, khoa học máy tính, thống kê, tâm lý học, sinh học và khoa học nhận thức.
- Trong xây dựng, AI hỗ trợ dự báo tiến độ, tối ưu nguồn lực, quản lý rủi ro, kiểm soát chất lượng và quản lý dự án.

CÁC LOẠI HÌNH AI

AI yếu
(Narrow AI)
Được thiết kế để thực hiện các nhiệm vụ cụ thể và ứng dụng trong phạm vi hẹp.

AI mạnh
(Artificial General Intelligence – AGI)
Hiện vẫn chủ yếu ở giai đoạn nghiên cứu.

2. CÁC CÔNG NGHỆ AI CỐT LÕI

A. Học máy (Machine Learning – ML)

- Học các mẫu từ dữ liệu để dự đoán và hỗ trợ ra quyết định.
- Có thể ước tính thời gian hoạt động, nhu cầu tài nguyên, chi phí và độ trễ tiến độ.

B. Học sâu (Deep Learning – DL)

- Sử dụng mạng nơ-ron nhiều lớp để học từ dữ liệu phức tạp.
- Ví dụ: CNN, RNN, LSTM, Transformer, GAN.
- Hỗ trợ dự đoán tiến độ, tối ưu hóa, giám sát hình ảnh/video và đánh giá dựa trên dữ liệu.

C. Xử lý ngôn ngữ tự nhiên
(Natural Language Processing – NLP)

- Giúp máy hiểu và tạo ngôn ngữ tự nhiên của con người.
- Trích xuất thông tin từ hợp đồng, báo cáo, nhật ký công trình.
- Hỗ trợ phân tích tài liệu, nhận dạng văn bản, tương tác hỏi–đáp.

D. Thị giác máy tính
(Computer Vision – CV)

- Xử lý hình ảnh, video để nhận dạng và giám sát đối tượng.
- Hỗ trợ theo dõi tiến độ, an toàn lao động, kiểm soát chất lượng và so sánh hiện trường với mô hình BIM.

E. Robot và tự động hóa (Robotics)

- Tích hợp AI, cảm biến, CV và BIM để tự động hóa nhiệm vụ và thu thập dữ liệu tại hiện trường.
- Nâng cao năng suất, chất lượng và an toàn thi công.

3. KHÁI NIỆM VỀ TRÍ TUỆ NHÂN TẠO TẠO SINH (GENAI)

- GenAI là nhánh tiên tiến của AI, có khả năng tạo ra nội dung mới như văn bản, hình ảnh, mô hình 3D, giải pháp thiết kế, mã code và dữ liệu khác từ dữ liệu huấn luyện và dữ liệu người dùng.
- Khác với AI truyền thống chỉ phân loại, nhận diện và dự đoán, GenAI tạo ra nội dung mới.
- GenAI có mối liên hệ chặt chẽ với các mô hình ngôn ngữ lớn (LLMs) như GPT, dựa trên kiến trúc Transformer và được tích hợp với học sâu (deep learning) và xử lý ngôn ngữ tự nhiên (NLP).
- Trong ngành AEC, GenAI hỗ trợ phân tích tài liệu, tổng hợp thông tin, lập kế hoạch, đánh giá rủi ro và hỗ trợ ra quyết định.
- Có thể kết hợp với các công nghệ khác như BIM, mô hình 3D và tự động hóa để trích xuất thông tin BIM, tối ưu phương án thiết kế nhằm cải thiện chi phí, tiến độ, chất lượng và tính bền vững.

Dữ liệu đào tạo + câu lệnh người dùng → LLM / Mô hình dựa trên Transformer → Nội dung được tạo ra và hỗ trợ ra quyết định

4. NĂNG LỰC CỦA GENAI TRONG QUẢN LÝ TIẾN ĐỘ XÂY DỰNG

1 Hỗ trợ tự động lập kế hoạch và tiến độ

- Phân tích yêu cầu dự án, đề xuất kế hoạch sơ bộ dựa trên dữ liệu lịch sử, nguồn lực và chi phí.
- Kết hợp BIM và dữ liệu thực tế để ước tính tiến độ, nguồn lực và chi phí.

2 Tối ưu hóa tiến độ thi công và phân bổ nguồn lực

- Học từ dữ liệu các dự án tương tự để đề xuất chuỗi công việc và phân bổ nguồn lực tối ưu.
- Đưa ra các phương án thay thế hiệu quả.

3 Dự báo rủi ro và kiểm tra logic tiến độ

- Kiểm tra mối quan hệ giữa các hoạt động.
- Phát hiện các trình tự bất hợp lý, xung đột hoặc rủi ro chậm tiến độ.

4 Phân tích thông tin dự án phi cấu trúc

- Sử dụng NLP để hiểu và diễn giải báo cáo, nhật ký công trường và email.
- Trích xuất các thông tin quan trọng phục vụ kiểm soát tiến độ và ra quyết định.

5 Hỗ trợ ra quyết định trong môi trường xây dựng số

- Hỗ trợ lập kế hoạch, điều phối, kiểm soát tiến độ và quản lý thay đổi.
- Đưa ra khuyến nghị dựa trên dữ liệu và mô hình AI.

5. NHỮNG INSIGHT CHÍNH VÀ HÀM Ý

- AI cung cấp nền tảng phân tích và tự động hóa cho công tác quản lý tiến độ xây dựng.
- GenAI mở rộng năng lực thông qua khả năng tạo nội dung, tổng hợp thông tin và hỗ trợ ra quyết định nâng cao.
- Sự kết hợp giữa AI và GenAI tạo cơ sở lý thuyết cho tích hợp BIM–AI và BIM–GenAI trong quản lý tiến độ xây dựng.
- Hiệu quả ứng dụng phụ thuộc vào chất lượng dữ liệu, năng lực tính toán và trình độ công nghệ.

NỀN TẢNG CHO CÁC NỘI DUNG TIẾP THEO

Tổng quan về AI và GenAI cung cấp nền tảng lý thuyết để nghiên cứu tích hợp BIM–AI, mô hình BIM–GenAI và các ứng dụng thông minh trong các phần tiếp theo của luận án.

TRƯỜNG ĐẠI HỌC XÂY DỰNG HÀ NỘI KHOA KINH TẾ VÀ QUẢN LÝ XÂY DỰNG	**ĐỒ ÁN TỐT NGHIỆP**		
ĐỀ TÀI	GIẢI PHÁP TÍCH HỢP BIM VÀ AI TẠO SINH (GENAI) ĐỂ NÂNG CAO HIỆU QUẢ CÔNG TÁC QUẢN LÝ TIẾN ĐỘ XÂY DỰNG		
TRƯỞNG KHOA	PGS. TS. NGUYỄN QUỐC TOÀN		BẢN VẼ SỐ: 05
GIẢNG VIÊN HƯỚNG DẪN	PGS. TS. NGUYỄN QUỐC TOÀN TS. NGUYỄN VĂN TÂM		NGÀY HOÀN THÀNH: 07/2026
HỌ VÀ TÊN SINH VIÊN	PHẠM QUỐC KHIÊM		LỚP: 66KTE MSSV: 0277366

TÍCH HỢP BIM VÀ AI/GENAI TRONG XÂY DỰNG

1. TÍCH HỢP BIM–AI



- Nền tảng số để quản lý dữ liệu xây dựng và dự án
- Phân tích dữ liệu bằng AI để trích xuất thông tin phục vụ dự đoán, tối ưu hóa và tự động hóa
- Hỗ trợ chuyển đổi từ quản lý truyền thống sang quản trị dựa trên dữ liệu và ra quyết định thông minh

Tích hợp dữ liệu BIM | Phân tích và dự đoán bằng AI | Dự đoán độ trễ lịch trình | Ra quyết định quản lý tối ưu

2. CÁC MÔ HÌNH TÍCH HỢP BIM–GENAI

A. Thu thập và cập nhật dữ liệu BIM thời gian thực

- AI + IoT, đám mây, cảm biến
- Giữ dữ liệu BIM luôn cập nhật cho thiết kế, thi công và vận hành

B. Quản lý và phân tích dữ liệu BIM hỗ trợ bởi AI

- Thuật toán AI cho phân tích dữ liệu lớn, nhận diện mẫu, dự đoán và hỗ trợ ra quyết định
- Hỗ trợ thiết kế, thi công và bảo trì

C. Tự động hóa AI dựa trên BIM cho các tác vụ chuyên biệt

- AI + BIM cho các nhiệm vụ lập đi lập lại và tự động hóa
- Nâng cao năng suất, độ chính xác và an toàn

3. CÁC ỨNG DỤNG TÍCH HỢP TRONG QUẢN LÝ DỰ ÁN

1. **Lập tiến độ thi công tự động**
   Sử dụng dữ liệu BIM và lịch trình để tạo WBS, chuỗi công việc, thời gian hoạt động và nhu cầu nguồn lực.
2. **Giám sát tiến độ thời gian thực bằng BIM và thị giác máy tính**
   Sử dụng hình ảnh, video hoặc dữ liệu UAV để so sánh thực tế với mô hình BIM; giảm khối lượng theo dõi thủ công.
3. **Dự đoán và giảm thiểu rủi ro trễ tiến độ**
   AI phân tích dữ liệu lịch sử để xác định rủi ro trễ; tích hợp với GA, RL và ML để nâng cao dự báo và quản trị rủi ro bằng BIM.
4. **Tối ưu hóa nguồn lực và chuỗi thi công**
   BIM + AI tối ưu phân bổ nguồn lực, trình tự công việc và lịch trình; giảm thời gian chờ, chi phí vượt và rủi ro an toàn.
5. **Phân tích kịch bản và hỗ trợ ra quyết định**
   AI mô phỏng nhiều kịch bản bằng BIM; hỗ trợ lựa chọn vật liệu, ước tính chi phí và lập kế hoạch dài hạn; nâng cao hiệu quả chi phí và chiến lược.

4. LỢI ÍCH CỦA TÍCH HỢP BIM–GENAI

Nâng cao độ chính xác và kiểm soát
- Giảm sai lệch tiến độ khoảng 10%–15%
- Cải thiện độ chính xác xấp xỉ 10%–15%

Giảm thời gian và độ trễ
- Giảm khoảng 10% thời gian dự án (nhà ở)
- Giảm độ trễ lên đến 25%
- Giảm 7%–50% độ lệch trong cập nhật tiến độ

Tăng hiệu suất lập kế hoạch và hiệu quả vận hành
- Tăng 40%–60% hiệu quả trong lập lịch cơ sở
- Tăng khoảng 7% khả năng sinh lợi

Tăng cường giao tiếp và khả năng tiếp cận
- Tăng 40% tốc độ ra quyết định trong các dự án BIM + AI
- Cải thiện hợp tác giữa các bên liên quan

Cải thiện phối hợp và ra quyết định
- Giảm khoảng 20% làm lại
- Tăng ROI và kết quả hiệu quả về chi phí

5. THÁCH THỨC VÀ RÀO CẢN

- Khả năng tương thích của công cụ BIM và công cụ AI
- Chất lượng và khả dụng của dữ liệu đào tạo
- Hạn chế về xử lý AI và GenAI
- Thiếu hụt nhân sự có kỹ năng
- Chi phí đầu tư và ROI
- Bảo mật dữ liệu và quyền riêng tư

6. THÔNG ĐIỆP CHÍNH



BIM cung cấp môi trường dữ liệu số có cấu trúc

AI và GenAI cung cấp khả năng dự đoán, tự động hóa, tối ưu hóa và hỗ trợ ra quyết định thông minh

NỀN TẢNG CHO CÁC PHẦN TIẾP THEO

Phần này cung cấp cơ sở khái niệm cho các phần tiếp theo về lợi ích, thách thức, chiến lược triển khai và định hướng nghiên cứu tương lai của tích hợp BIM–GenAI.

TRƯỜNG ĐẠI HỌC XÂY DỰNG HÀ NỘI KHOA KINH TẾ VÀ QUẢN LÝ XÂY DỰNG	**ĐỒ ÁN TỐT NGHIỆP**		
ĐỀ TÀI	GIẢI PHÁP TÍCH HỢP BIM VÀ AI TẠO SINH (GENAI) ĐỂ NÂNG CAO HIỆU QUẢ CÔNG TÁC QUẢN LÝ TIẾN ĐỘ XÂY DỰNG		
TRƯỞNG KHOA	PGS. TS. NGUYỄN QUỐC TOÀN		BẢN VẼ SỐ: 06
GIẢNG VIÊN HƯỚNG DẪN	PGS. TS. NGUYỄN QUỐC TOÀN TS. NGUYỄN VĂN TÂM		NGÀY HOÀN THÀNH: 07/2026
HỌ VÀ TÊN SINH VIÊN	PHẠM QUỐC KHIÊM		LỚP: 66KTE MSSV: 0277366

PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

Xác định giải pháp từ các nghiên cứu trước đó và tham vấn chuyên gia

Xây dựng công cụ khảo sát và phỏng vấn chuyên gia

Phỏng vấn 14 chuyên gia cao cấp trong lĩnh vực BIM và AI bằng phương pháp lấy mẫu có mục đích

MÔ HÌNH AHP

1 Bước 1: Xây dựng ma trận so sánh cặp

$$p^k = (p_{ij}^k), \quad \text{với} \quad i, j = 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10 \qquad (1.1)$$

$$P_{ij} = \left(\prod_{k=1}^{14} p_{ij}^k \right)^{1/14}, \quad \text{với} \quad i, j = 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10 \qquad (1.2)$$

2 Bước 2: Tính toán trọng số các giải pháp

$$q_{ij} = \frac{P_{ij}}{\sum_{j=1}^{10} P_{ij}} \qquad (1.3)$$

$$W_i = \frac{\sum_{j=1}^{10} q_{ij}}{10}, \quad \text{với} \quad i = 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10 \qquad (1.4)$$

3 Bước 3: Kiểm tra độ nhất quán

$$\lambda_i = \frac{A_i}{W_i} \qquad (1.5)$$

$$\lambda_{max} = \frac{\sum_{i=1}^{10} \lambda_i}{10} \qquad (1.6)$$

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \qquad (1.7)$$

$$CR = \frac{CI}{RI} \qquad (1.8)$$

Với $n = 10$, $RI = 1{,}49$

MÔ HÌNH DEMATEL

1 Bước 1: Xây dựng ma trận ảnh hưởng trực tiếp

$$s_{ij} = \frac{1}{14} \sum_{k=1}^{14} s_{ij}^k, \quad \text{với} \quad i, j = 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10 \qquad (2.1)$$

2 Bước 2: Chuẩn hóa ma trận ảnh hưởng trực tiếp (D)

$$D = \frac{S}{m} \qquad (2.2)$$

$$m = \max \left(\max_i \sum_{j=1}^{10} s_{ij}, \max_j \sum_{j=1}^{10} s_{ij} \right) \qquad (2.3)$$

3 Bước 3: Tính ma trận tổng ảnh hưởng (T)

$$T = D(I - D)^{-1} \qquad (2.4)$$

4 Bước 4: Xác định mối quan hệ nhân quả – kết quả

$$R_i = \sum_{j=1}^{10} t_{ij} \qquad (2.5)$$

$$R = [r_i]_{10\times 1} = \left[\sum_{j=1}^{10} t_{ij} \right]_{10\times 1} \qquad (2.6)$$

$$C = [c_j]_{1\times 10} = \left[\sum_{i=1}^{10} t_{ij} \right]_{1\times 10} \qquad (2.7)$$

Độ nổi bật $= R + C$; Quan hệ nhân quả $= R - C$

5 Bước 5: Xây dựng sơ đồ nhân quả

Trực ngang: $(R + C)$

Trực dọc: $(R - C)$

$$\theta = \frac{\sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{n} t_{ij}}{n \times n}$$

Diễn giải tích hợp kết quả từ AHP và DEMATEL

Đặc điểm thứ nhất: "Bẫy phụ thuộc" giữa mức độ ưu tiên và vai trò ảnh hưởng ròng

Đặc điểm thứ hai: Phát triển nhân lực, khung pháp lý và chuẩn hóa dữ liệu – nhóm yếu tố nền tảng dẫn dắt hệ thống

Đặc điểm thứ ba: Vai trò trung tâm nhưng phụ thuộc của mô hình hợp tác đa bên chia sẻ dữ liệu

Đặc điểm thứ tư: Vai trò đặc biệt của thí điểm và bảo đảm xuyên suốt, cắt ngang

Kết luận

Đóng góp của nghiên cứu

Hạn chế và hướng nghiên cứu tiếp theo

TRƯỜNG ĐẠI HỌC XÂY DỰNG HÀ NỘI KHOA KINH TẾ VÀ QUẢN LÝ XÂY DỰNG	ĐỒ ÁN TỐT NGHIỆP		
ĐỀ TÀI	GIẢI PHÁP TÍCH HỢP BIM VÀ AI TẠO SINH (GENAI) ĐỂ NÂNG CAO HIỆU QUẢ CÔNG TÁC QUẢN LÝ TIẾN ĐỘ XÂY DỰNG		
TRƯỞNG KHOA	PGS. TS. NGUYỄN QUỐC TOÀN		BẢN VẼ SỐ: 07
GIẢNG VIÊN HƯỚNG DẪN	PGS. TS. NGUYỄN QUỐC TOÀN TS. NGUYỄN VĂN TÂM		NGÀY HOÀN THÀNH: 07/2026
HỌ VÀ TÊN SINH VIÊN	PHẠM QUỐC KHIÊM		LỚP: 66KTE MSSV: 0277366

MÔ TẢ CÁC GIẢI PHÁP

Các giải pháp tích hợp BIM–GenAI cho quản lý tiến độ xây dựng

Mười giải pháp sau đây được tổng hợp từ tài liệu nghiên cứu và ý kiến chuyên gia, và được sử dụng làm tiêu chí đánh giá trong phiếu khảo sát AHP và DEMATEL.

S1 — **Xây dựng tiêu chuẩn hóa dữ liệu BIM tương thích AI**

Xây dựng bộ tiêu chuẩn dữ liệu BIM thống nhất để GenAI có thể phân tích và hỗ trợ quản lý tiến độ chính xác.

Nguồn liên quan: [48, 51, 53, 56]

S2 — **Tạo cơ sở hạ tầng số và điện toán đám mây cho xử lý GenAI**

Phát triển nền tảng lưu trữ – xử lý dữ liệu BIM và GenAI trên cloud để cập nhật tiến độ theo thời gian thực.

Nguồn liên quan: [14, 42, 43, 47, 54]

S3 — **Đào tạo nguồn nhân lực về BIM và AI, nâng cao năng lực số**

Trang bị kỹ năng số cho kỹ sư và nhà quản lý dự án để vận hành và khai thác hiệu quả BIM – GenAI.

Nguồn liên quan: [27, 40, 41, 47, 48, 69]

S4 — **Thiết lập quy trình tích hợp BIM – GenAI trong quản lý tiến độ**

Thiết lập quy trình chuẩn từ nhập dữ liệu đến phân tích, điều chỉnh và phản hồi tiến độ bằng AI.

Nguồn liên quan: [7, 43, 48, 54]

S5 — **Triển khai các dự án thí điểm để chứng minh hiệu quả**

Thử nghiệm BIM – GenAI trên các công trình thực tế để đánh giá hiệu quả trước khi triển khai rộng rãi.

Nguồn liên quan: [4, 6, 53, 54, 63]

S6 — **Kết hợp IoT – BIM – GenAI để giám sát tiến độ thời gian thực**

Tích hợp dữ liệu IoT, drone, camera công trường với BIM và GenAI để giám sát tiến độ tự động.

Nguồn liên quan: [21, 54–56]

S7 — **Phát triển công cụ hỗ trợ quyết định minh bạch dựa trên GenAI**

Phát triển nền tảng trực quan giúp các bên liên quan theo dõi và điều chỉnh tiến độ nhanh chóng.

Nguồn liên quan: [6, 14, 15, 54, 63, 69]

S8 — **Tăng cường cơ chế quản trị dữ liệu và bảo mật**

Tăng cường phân quyền, bảo mật và đảm bảo toàn vẹn dữ liệu tiến độ bằng các công nghệ số.

Nguồn liên quan: [47, 48, 55, 56, 63, 69]

S9 — **Chính sách hỗ trợ, khung pháp lý cho chuyển đổi số xây dựng**

Xây dựng cơ chế pháp lý công nhận dữ liệu tiến độ số và khuyến khích doanh nghiệp đầu tư chuyển đổi số.

Nguồn liên quan: [5, 25, 29, 40, 41]

S10 — **Xây dựng mô hình hợp tác đa bên để thúc đẩy chia sẻ dữ liệu**

Tạo cơ chế chia sẻ dữ liệu BIM – AI minh bạch giữa chủ đầu tư, tư vấn và nhà thầu để giảm xung đột tiến độ.

Nguồn liên quan: [41, 47, 54, 56]

Nguồn: Mô tả các giải pháp

PHẦN C. SO SÁNH CẶP ĐÔI MỨC ĐỘ QUAN TRỌNG TƯƠNG ĐỐI CỦA CÁC GIẢI PHÁP

Phiếu khảo sát so sánh cặp đôi AHP – Phần 1 trong 2

HƯỚNG DẪN – SỬ DỤNG THANG ĐO SAU

1 = Hai giải pháp quan trọng như nhau.
3 = Một giải pháp quan trọng hơn một chút so với giải pháp kia.
5 = Một giải pháp quan trọng hơn rõ rệt so với giải pháp kia.
7 = Một giải pháp quan trọng hơn rất mạnh so với giải pháp kia.
9 = Một giải pháp quan trọng tuyệt đối so với giải pháp kia.
2, 4, 6, 8 = Giá trị trung gian giữa các mức trên.

VÍ DỤ MINH HỌA

Ví dụ: Nếu giải pháp S1 quan trọng hơn rõ rệt so với S2, hãy đánh dấu X tại số 5 ở phía bên trái.
Nếu S2 quan trọng hơn một chút so với S1, hãy đánh dấu X tại số 3 ở phía bên phải.

Giải pháp	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Giải pháp
S1																		S2
S1																		S3
S1																		S4
S1																		S5
S1																		S6
S1																		S7
S1																		S8
S1																		S9
S1																		S10
S2																		S3
S2																		S4
S2																		S5
S2																		S6
S2																		S7
S2																		S8
S2																		S9
S2																		S10
S3																		S4
S3																		S5
S3																		S6
S3																		S7
S3																		S8
S3																		S9
S3																		S10
S4																		S5
S4																		S6
S4																		S7
S4																		S8
S4																		S9
S4																		S10

PHẦN C. SO SÁNH CẶP ĐÔI TẦM QUAN TRỌNG TƯƠNG ĐỐI CỦA CÁC GIẢI PHÁP

Phiếu khảo sát so sánh cặp đôi AHP – Phần 2 trong 2

Chọn một giá trị cho mỗi cặp. Bên trái có nghĩa là giải pháp bên trái quan trọng hơn; bên phải có nghĩa là giải pháp bên phải quan trọng hơn.

Giải pháp	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Giải pháp
S5																		S6
S5																		S7
S5																		S8
S5																		S9
S5																		S10
S6																		S7
S6																		S8
S6																		S9
S6																		S10
S6																		
S7																		S8
S7																		S9
S7																		S10
S7																		
S8																		S9
S8																		S10
S8																		
S8																		
S9																		S10

PHẦN D. ĐÁNH GIÁ ẢNH HƯỞNG LẪN NHAU GIỮA CÁC GIẢI PHÁP

Ma trận đánh giá mức độ ảnh hưởng DEMATEL

0 = Giải pháp Si không ảnh hưởng đến giải pháp Sj
1 = Giải pháp Si có ảnh hưởng nhẹ đến giải pháp Sj
2 = Giải pháp Si có ảnh hưởng trung bình đến giải pháp Sj
3 = Giải pháp Si có ảnh hưởng mạnh đến giải pháp Sj
4 = Giải pháp Si có ảnh hưởng rất mạnh đến giải pháp Sj

Ví dụ: Nếu giải pháp S1 có ảnh hưởng nhẹ đến S3, nhập giá trị 1 vào ô màu xám tương ứng.
Nếu giải pháp S3 có ảnh hưởng mạnh đến S1, nhập giá trị 3 vào ô màu trắng tương ứng.

Hướng ảnh hưởng từ giải pháp hàng ngang đến giải pháp cột dọc →

Hướng ảnh hưởng từ giải pháp này đến các giải pháp khác ↓

	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10
S1			1							
S2										
S3	3									
S4										
S5										
S6										
S7										
S8										
S9										
S10										

Lưu ý: Ma trận được coi là hoàn thiện khi tất cả các ô màu xám và màu trắng (ngoại trừ đường chéo màu đen) đều được điền giá trị 0, 1, 2, 3 hoặc 4, thể hiện mức độ ảnh hưởng lẫn nhau giữa các giải pháp.

HỒ SƠ CỦA CÁC CHUYÊN GIA KHẢO SÁT

Nhóm chuyên gia tham gia phân tích AHP và DEMATEL

ID	Trình độ chuyên môn	Số năm kinh nghiệm	Chức danh / Vị trí	Lĩnh vực chuyên môn
G1	Thạc sĩ	10	Tư vấn và Kỹ sư dự toán	Dự toán chi phí và khảo sát khối lượng dựa trên BIM
G2	Phó giáo sư	16	Giảng viên	Triển khai chính sách
G3	Tiến sĩ	15	Phó tổng giám đốc	Dự toán chi phí và khảo sát khối lượng dựa trên BIM
G4	Tiến sĩ	14	Quản lý pháp lý dự án	Triển khai dự án công và chính sách số
G5	Kỹ sư	10	Thiết kế BIM	Mô hình hóa và thiết kế kết cấu BIM
G6	Thạc sĩ	11	Quản lý dự án	Mô hình hóa và thiết kế kết cấu BIM
G7	Thạc sĩ	10	Phó giám đốc	Thiết kế BIM và dự toán chi phí
G8	Kỹ sư	12	Thiết kế BIM	Mô hình hóa và thiết kế kết cấu BIM
G9	Tiến sĩ	11	Trưởng phòng Kinh tế đầu tư và Nghiên cứu số trong xây dựng	Đề xuất chính sách dựa trên BIM và AI
G10	Phó giáo sư	26	Trưởng khoa Kinh tế xây dựng	Triển khai dự án công và chính sách số
G11	Thạc sĩ	16	Giám đốc	Lập tiến độ và quản lý nguồn lực
G12	Kỹ sư	15	Giám đốc, Quản lý BIM	Phối hợp BIM–MEP và hệ thống
G13	Tiến sĩ	22	Giám đốc, Tư vấn BIM	Chính sách xây dựng và quản trị BIM
G14	Tiến sĩ	20	Quản lý dự án	Lập tiến độ và quản lý nguồn lực

Nguồn: Bảng 5 – Hồ sơ của các chuyên gia khảo sát

TRƯỜNG ĐẠI HỌC XÂY DỰNG HÀ NỘI KHOA KINH TẾ VÀ QUẢN LÝ XÂY DỰNG	ĐỒ ÁN TỐT NGHIỆP		
ĐỀ TÀI	GIẢI PHÁP TÍCH HỢP BIM VÀ AI TẠO SINH (GENAI) ĐỂ NÂNG CAO HIỆU QUẢ CÔNG TÁC QUẢN LÝ TIẾN ĐỘ XÂY DỰNG		
TRƯỞNG KHOA	PGS. TS. NGUYỄN QUỐC TOÀN		BẢN VẼ SỐ: 08
GIẢNG VIÊN HƯỚNG DẪN	PGS. TS. NGUYỄN QUỐC TOÀN TS. NGUYỄN VĂN TÂM		NGÀY HOÀN THÀNH: 07/2026
HỌ VÀ TÊN SINH VIÊN	PHẠM QUỐC KHIÊM		LỚP: 66KTE MSSV: 0277366

KẾT QUẢ PHÂN TÍCH AHP

So sánh cặp đôi, tính trọng số ưu tiên và kiểm tra tính nhất quán

1. XÂY DỰNG MA TRẬN SO SÁNH CẶP ĐÔI CỦA NHÓM

Mười bốn chuyên gia đã cung cấp các đánh giá so sánh cặp đôi có cấu trúc.
Các ma trận so sánh cặp đôi cá nhân P_k được tổng hợp bằng trung bình hivhh học để tạo thành ma trận so sánh cặp đôi của nhóm P.
Ma trận này phản ánh sự thống nhất chung về mức độ quan trọng tương đối của mười giải pháp tích hợp BIM–GenAI.

$P =$

	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10
S1	1	2.876	0.499	0.873	0.937	1.669	1.330	2.617	0.559	1.252
S2	0.348	1	0.465	0.503	1.011	1.175	1.295	1.472	0.439	0.868
S3	2.005	2.149	1	1.714	1.862	4.106	3.600	3.331	0.619	2.803
S4	1.145	1.987	0.583	1	1.574	2.487	1.731	2.362	0.455	1.422
S5	1.068	0.989	0.537	0.635	1	1.403	1.242	1.626	0.663	1.112
S6	0.599	0.851	0.244	0.402	0.713	1	1.177	0.995	0.374	0.709
S7	0.752	0.772	0.278	0.578	0.805	0.849	1	1.147	0.326	0.903
S8	0.382	0.679	0.300	0.423	0.615	1.005	0.872	1	0.271	0.579
S9	1.788	2.279	1.615	2.199	1.509	2.675	3.069	3.691	1	0.895
S10	0.799	1.152	0.357	0.703	0.893	1.410	1.108	1.728	1.117	1

2. CHUẨN HÓA VÀ TÍNH TRỌNG SỐ ƯU TIÊN

Ma trận tổng hợp P được chuẩn hóa để thu được ma trận chuẩn hóa Q.
Dựa trên Q, trọng số ưu tiên tương đối của mười giải pháp được xác định, hình thành vector trọng số cuối cùng W.

$Q =$

S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10
0.101	0.195	0.085	0.097	0.086	0.094	0.081	0.131	0.096	0.108
0.035	0.068	0.079	0.056	0.093	0.066	0.079	0.074	0.075	0.075
2.203	0.146	0.170	0.190	0.171	0.231	0.219	0.167	0.106	0.243
0.116	0.135	0.099	0.111	0.144	0.140	0.105	0.118	0.078	0.123
0.108	0.067	0.091	0.070	0.092	0.079	0.076	0.081	0.114	0.097
0.061	0.058	0.041	0.045	0.065	0.056	0.072	0.050	0.064	0.061
0.076	0.052	0.047	0.064	0.074	0.048	0.061	0.057	0.056	0.078
0.039	0.046	0.051	0.047	0.056	0.057	0.053	0.050	0.047	0.050
0.181	0.155	0.275	0.243	0.138	0.150	0.187	0.185	0.172	0.077
0.081	0.078	0.061	0.078	0.082	0.079	0.067	0.087	0.192	0.087

Vector trọng số cuối cùng W

S1	=	0.1074
S2	=	0.0700
S3	=	0.1845
S4	=	0.1170
S5	=	0.0875
S6	=	0.0573
S7	=	0.0614
S8	=	0.0495
S9	=	0.1763
S10	=	0.0891

3. PHÂN TÍCH TÍNH NHẤT QUÁN

Để kiểm tra độ tin cậy, kiểm tra tính nhất quán được thực hiện bằng giá trị riêng lớn nhất và các chỉ số nhất quán của AHP.
Kết quả cho thấy tính nhất quán nội bộ đạt yêu cầu vì tỷ số nhất quán (CR) < 0.10.

λ_{max}	CI	RI	CR
= 10.253	= 0.0281	= 1.49	= 0.0188

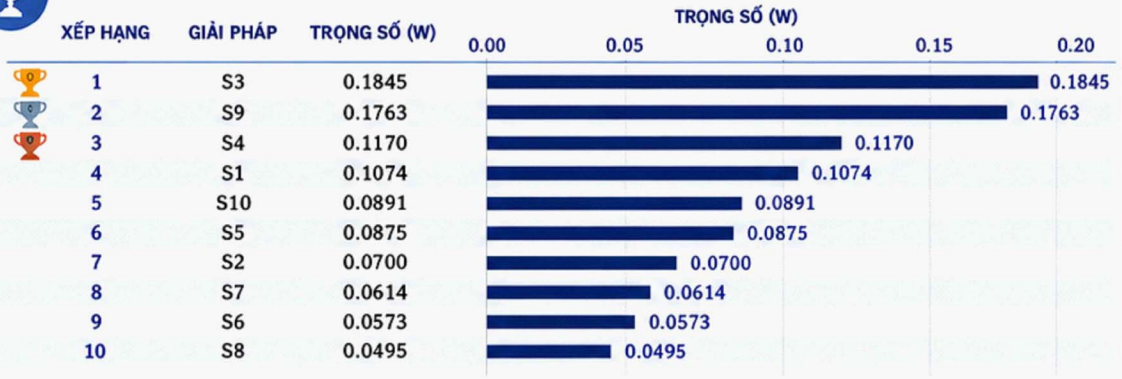
CR < 0.10 → các đánh giá nhất quán và kết quả ưu tiên là hợp lệ.

Giá trị riêng λ	
S1	10.2589
S2	10.2181
S3	10.2640
S4	10.2343
S5	10.2677
S6	10.2308
S7	10.2472
S8	10.2404
S9	10.3169
S10	10.2472

4. KẾT QUẢ TRỌNG SỐ AHP, TÍNH NHẤT QUÁN VÀ XẾP HẠNG

5 giải pháp đứng đầu: S3, S9, S4, S1 và S10.

XẾP HẠNG	GIẢI PHÁP	TRỌNG SỐ (W)
1	S3	0.1845
2	S9	0.1763
3	S4	0.1170
4	S1	0.1074
5	S10	0.0891
6	S5	0.0875
7	S2	0.0700
8	S7	0.0614
9	S6	0.0573
10	S8	0.0495



Phân tích kết hợp AHP–DEMATEL cung cấp cách tiếp cận định hướng quyết định về mức độ quan trọng, mức độ nổi bật, mức độ phụ thuộc và mức độ sẵn sàng triển khai. Kết quả này không nên được hiểu như bằng chứng về quan hệ nhân quả thực nghiệm hoặc như một trình tự triển khai bắt buộc.

TRƯỜNG ĐẠI HỌC XÂY DỰNG HÀ NỘI KHOA KINH TẾ VÀ QUẢN LÝ XÂY DỰNG	ĐỒ ÁN TỐT NGHIỆP		
ĐỀ TÀI	GIẢI PHÁP TÍCH HỢP BIM VÀ AI TẠO SINH (GENAI) ĐỂ NÂNG CAO HIỆU QUẢ CÔNG TÁC QUẢN LÝ TIẾN ĐỘ XÂY DỰNG		
TRƯỞNG KHOA	PGS. TS. NGUYỄN QUỐC TOÀN		BẢN VẼ SỐ: 09
GIẢNG VIÊN HƯỚNG DẪN	PGS. TS. NGUYỄN QUỐC TOÀN TS. NGUYỄN VĂN TÂM		NGÀY HOÀN THÀNH: 07/2026
HỌ VÀ TÊN SINH VIÊN	PHẠM QUỐC KHIÊM		LỚP: 66KTE MSSV: 0277366

KẾT QUẢ PHÂN TÍCH DEMATEL

Phân tích quan hệ ảnh hưởng, mức độ nổi bật và vai trò ảnh hưởng ròng

1. MA TRẬN QUAN HỆ TRỰC TIẾP (S_i)

Dữ liệu từ 14 chuyên gia được tổng hợp thành các ma trận 10 × 10 cá nhân và được trung bình hình học để tạo thành ma trận so sánh cặp đôi của nhóm S. Ma trận này phản ánh mức độ ảnh hưởng trực tiếp trung bình của các giải pháp.

S_i	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10
S1	0	2.643	2.714	3.143	2.929	2.929	3.286	2.714	2.857	2.929
S2	1.857	0	1.786	2.786	2.214	2.714	3.000	3.143	2.214	3.071
S3	3.000	3.000	0	2.929	3.357	2.786	2.786	2.786	2.357	2.857
S4	2.214	2.357	2.000	0	2.857	2.429	2.571	2.500	2.071	3.000
S5	2.714	2.643	2.714	3.071	0	2.929	2.786	2.500	2.429	3.143
S6	1.643	2.500	1.929	2.857	2.857	0	2.429	2.643	2.786	2.500
S7	2.286	2.643	1.786	2.357	2.214	2.429	0	2.000	2.071	2.714
S8	2.286	2.071	2.286	2.571	1.714	2.643	2.500	0	2.071	2.500
S9	3.357	2.929	3.000	3.357	2.714	2.714	3.000	2.500	0	2.714
S10	2.071	2.929	2.500	2.857	2.714	2.500	3.000	3.000	1.857	0

2. MA TRẬN ẢNH HƯỞNG TRỰC TIẾP ĐÃ CHUẨN HÓA (D_i)

Ma trận quan hệ trực tiếp (S) được chuẩn hóa để thu được ma trận ảnh hưởng trực tiếp đã chuẩn hóa (D_i) nhằm đảm bảo độ ổn định cấu trúc.
Dựa trên D_i, các giá trị được chuẩn hóa như sau:

D_i	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10
S1	0	0.101	0.103	0.120	0.111	0.111	0.125	0.103	0.109	0.111
S2	0.071	0	0.068	0.106	0.084	0.103	0.114	0.120	0.084	0.117
S3	0.114	0.114	0	0.111	0.128	0.106	0.106	0.106	0.090	0.109
S4	0.084	0.090	0.076	0	0.109	0.092	0.098	0.095	0.071	0.114
S5	0.103	0.101	0.103	0.117	0	0.111	0.106	0.095	0.092	0.120
S6	0.063	0.095	0.073	0.109	0.109	0	0.092	0.101	0.088	0.095
S7	0.087	0.101	0.068	0.090	0.084	0.092	0	0.076	0.079	0.103
S8	0.087	0.079	0.087	0.098	0.065	0.101	0.095	0	0.079	0.095
S9	0.128	0.111	0.114	0.128	0.103	0.103	0.114	0.095	0	0.103
S10	0.079	0.111	0.095	0.109	0.103	0.095	0.114	0.114	0.071	0

3. MA TRẬN QUAN HỆ TỔNG (T_i)

Sử dụng công thức (2.4), ma trận tổng quan hệ (T_i) phản ánh cả ảnh hưởng trực tiếp và gián tiếp giữa các giải pháp.

T_i	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10
S1	1.696	0.860	0.770	0.939	0.864	0.876	0.929	0.866	0.746	0.922
S2	0.672	0.671	0.654	0.822	0.743	0.770	0.816	0.782	0.642	0.822
S3	0.789	0.861	0.668	0.922	0.867	0.857	0.903	0.859	0.722	0.910
S4	0.671	0.738	0.648	0.710	0.749	0.746	0.786	0.746	0.625	0.804
S5	0.759	0.828	0.741	0.902	0.732	0.843	0.879	0.827	0.705	0.894
S6	0.628	0.715	0.621	0.779	0.722	0.635	0.753	0.724	0.593	0.760
S7	0.636	0.707	0.605	0.748	0.688	0.705	0.654	0.690	0.591	0.751
S8	0.638	0.691	0.623	0.758	0.676	0.714	0.744	0.621	0.593	0.747
S9	0.816	0.876	0.785	0.953	0.864	0.876	0.927	0.866	0.654	0.923
S10	0.698	0.791	0.694	0.846	0.779	0.784	0.837	0.797	0.648	0.739

4. KẾT QUẢ MỨC ĐỘ NỔI BẬT VÀ VAI TRÒ ẢNH HƯỞNG RÒNG

Giải pháp	R_i	C_i	R_i+C_i (Mức độ nổi bật)	R_i-C_i (Vai trò ròng)	Nhóm
S1	8.466	7.002	15.468	1.464	Nhân tố tác động
S2	7.393	7.737	15.130	−0.345	Nhân tố bị tác động
S3	8.358	6.806	15.164	1.551	Nhân tố tác động
S4	7.222	8.379	15.601	−1.156	Nhân tố bị tác động
S5	8.109	7.685	15.794	0.425	Nhân tố tác động
S6	6.931	7.806	14.736	−0.875	Nhân tố bị tác động
S7	6.775	8.227	15.002	−1.452	Nhân tố bị tác động
S8	6.804	7.777	14.581	−0.973	Nhân tố bị tác động
S9	8.541	6.519	15.060	2.021	Nhân tố tác động
S10	7.612	8.271	15.883	−0.660	Nhân tố bị tác động

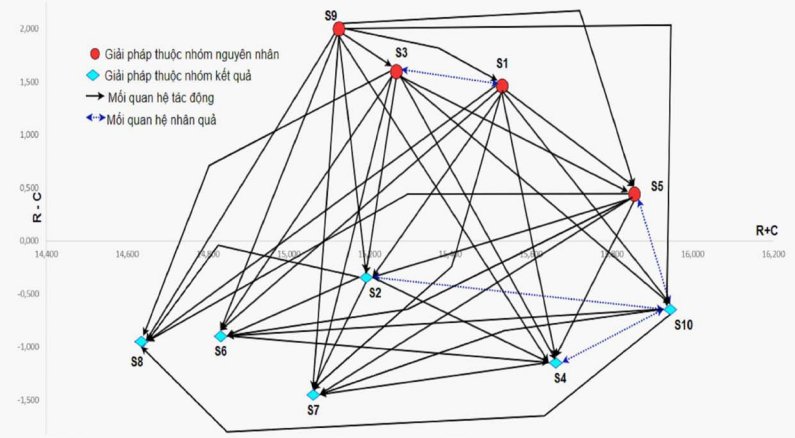
TÓM TẮT NHÓM

Nhân tố tác động:
S1, S3, S5, S9

Nhân tố bị tác động:
S2, S4, S6, S7, S8, S10

Ghi chú: Giá trị dương (R_i-C_i) chỉ ra giải pháp chủ động (gây ra); giá trị âm (R_i-C_i) chỉ ra giải pháp bị động (chịu tác động).

5. SƠ ĐỒ NHÂN QUẢ



KẾT LUẬN CHÍNH

- S1, S3, S5 và S9 là các giải pháp chủ động (nhân tố tác động).
- S2, S4, S6, S7, S8 và S10 là các giải pháp bị động (nhân tố bị tác động).
- S9 có vai trò ảnh hưởng ròng mạnh nhất (R_i-C_i = 2.021).
- S10 có mức độ nổi bật cao nhất (R_i+C_i = 15.883).
- S8 có mức độ nổi bật thấp nhất (R_i+C_i = 14.581).
- Sơ đồ nhân quả trực quan hóa cấu trúc ảnh hưởng cảm nhận giữa các giải pháp tích hợp BIM–GenAI.

TRƯỜNG ĐẠI HỌC XÂY DỰNG HÀ NỘI KHOA KINH TẾ VÀ QUẢN LÝ XÂY DỰNG	ĐỒ ÁN TỐT NGHIỆP		
ĐỀ TÀI	GIẢI PHÁP TÍCH HỢP BIM VÀ AI TẠO SINH (GENAI) ĐỂ NÂNG CAO HIỆU QUẢ CÔNG TÁC QUẢN LÝ TIẾN ĐỘ XÂY DỰNG		
TRƯỞNG KHOA	PGS. TS. NGUYỄN QUỐC TOÀN		BẢN VẼ SỐ: 10
GIẢNG VIÊN HƯỚNG DẪN	PGS. TS. NGUYỄN QUỐC TOÀN TS. NGUYỄN VĂN TÂM		NGÀY HOÀN THÀNH: 07/2026
HỌ VÀ TÊN SINH VIÊN	PHẠM QUỐC KHIÊM		LỚP: 66KTE MSSV: 0277366

TÍCH HỢP KẾT QUẢ AHP VÀ DEMATEL

Diễn giải tích hợp về mức độ ưu tiên, mức độ nổi bật, mức độ phụ thuộc và vai trò ảnh hưởng ròng

Ma trận tích hợp

AHP phản ánh mức độ quan trọng tượng đối, trong khi DEMATEL phản ánh mức độ nổi bật và vai trò ảnh hưởng ròng. Việc tích hợp hai phương pháp hỗ trợ diễn giải toàn diện về tầm quan trọng, vai trò trung tăm, mức độ phụ thuộc và mức độ sẵn sàng triển khai.

Giải pháp	Trọng số AHP (W)	Xếp hạng AHP	Ri	Ci	Ri + Ci (Độ nổi bật)	Ri – Ci (Vai trò ròng)	Vai trò DEMATEL
S1	0.1074	4	8.466	7.002	15.468	1.464	Nhân tố tác động
S2	0.0700	7	7.393	7.737	15.130	-0.345	Nhân tố bị tác động
S3	0.1845	1	8.358	6.806	15.164	1.551	Nhân tố tác động
S4	0.1170	3	7.222	8.379	15.601	-1.156	Nhân tố bị tác động
S5	0.0875	6	8.109	7.685	15.794	0.425	Nhân tố tác động
S6	0.0573	9	6.931	7.806	14.736	-0.875	Nhân tố bị tác động
S7	0.0614	8	6.775	8.227	15.002	-1.452	Nhân tố bị tác động
S8	0.0495	10	6.804	7.777	14.581	-0.973	Nhân tố bị tác động
S9	0.1763	2	8.541	6.519	15.060	2.021	Nhân tố tác động
S10	0.0891	5	7.612	8.271	15.883	-0.660	Nhân tố bị tác động

Phân loại chiến lược



1 Năm giải pháp ưu tiên cao nhất là S3, S9, S4, S1 và S10. Các giải pháp ưu tiên cao không nhất thiết đóng vai trò gây ra ròng.

Nhân tố tác động: S1, S3, S5, S9

Nhân tố bị tác động: S2, S4, S6, S7, S8, S10

Đặc điểm thứ nhất: "Bẫy phụ thuộc" giữa mức độ ưu tiên và vai trò ảnh hưởng ròng

Kết quả tích hợp cho thấy các giải pháp được ưu tiên cao không nhất thiết là các nhân tố gây ảnh hưởng ròng. Cụ thể, giải pháp S4 là nhân tố chịu tác động với Ri – Ci âm (-1.156) trongphân tích DEMATEL, mặc dù được đánh giá rất quan trọng trong AHP. Điều này cho thấy một số giải pháp tuy quan trọng song phụ thuộc vào các điều kiện tiên quyết trước khi có thể phát huy hiệu quả.

Đặc điểm thứ hai: Phát triển nhân lực, khung pháp lý và chuẩn hóa dữ liệu là nền tảng của hệ thống

S3, S9 và S1 kết hợp mức trọng số AHP tương đối cao với giá trị Ri – Ci dương. S9 có ảnh hưởng ròng mạnh nhất (Ri – Ci = 2.021), S3 xếp thứ hai (1.551) và S1 cũng có ảnh hưởng ròng dương (1.464). Kết hợp lại, các kết quả này khẳng định việc phát triển năng lực nguồn nhân lực, hoàn thiện khung pháp lý và chính sách, đồng thời chuẩn hóa dữ liệu BIM–AI là những yếu tố nền tảng then chốt thúc đẩy các giải pháp khác hiệu quả hơn.

Đặc điểm thứ ba: Vai trò trung tâm nhưng phụ thuộc của hợp tác chia sẻ dữ liệu đa bên

S10 có giá trị độ nổi bật cao nhất (Ri + Ci = 15.883), cho thấy mức độ kết nối thấu hệ thống lớn nhất. Tuy nhiên, chỉ số Ri – Ci âm (-0.660) cho thấy đây là nhân tố chịu tác động ròng. Điều này có nghĩa hợp tác chia sẻ dữ liệu đa bên tuy giữ vai trò trung tâm trong việc triển khai, nhưng phụ thuộc vào mức độ sẵn sàng về thể chế, năng lực nhân sự, chất lượng dữ liệu, tích hợp quy trình làm việc và các cơ chế đảm bảo, xác thực.

Đặc điểm thứ tư: Vai trò đặc biệt của dự án thí điểm và cơ chế quản trị, bảo mật dữ liệu

S5 có mức trọng số AHP trung bình (0.0875) nhưng có Ri – Ci dương (0.425) và thứ hạng độ nổi bật tương đối cao (Ri + Ci = 15.794). Điều này cho thấy các dự án thí điểm không chỉ là giai đoạn xác thực ban đầu, mà còn là cơ chế học hỏi và tạo phản hồi giúp tinh chỉnh tiêu chuẩn dữ liệu, nội dung đào tạo, quy trình vận hành và cơ chế phối hợp. Đồng thời, các yêu cầu về quản trị, bảo mật, kiểm soát truy cập và kiểm toán cần được coi là điều kiện xuyên suốt, chứ không chỉ là các yêu cầu bổ sung.

Phân tích tích hợp AHP–DEMATEL cung cấp cách tiếp cận định hướng quyết định về mức độ quan trọng, mức độ nổi bật, mức độ phụ thuộc và mức độ sẵn sàng triển khai. Kết quả này không nên được hiểu như bằng chứng về quan hệ nhân quả thực nghiệm hoặc như một trình tự triển khai bắt buộc.

TRƯỜNG ĐẠI HỌC XÂY DỰNG HÀ NỘI KHOA KINH TẾ VÀ QUẢN LÝ XÂY DỰNG	**ĐỒ ÁN TỐT NGHIỆP**		
ĐỀ TÀI	GIẢI PHÁP TÍCH HỢP BIM VÀ AI TẠO SINH (GENAI) ĐỂ NÂNG CAO HIỆU QUẢ CÔNG TÁC QUẢN LÝ TIẾN ĐỘ XÂY DỰNG		
TRƯỞNG KHOA	PGS. TS. NGUYỄN QUỐC TOÀN		BẢN VẼ SỐ: 11
GIẢNG VIÊN HƯỚNG DẪN	PGS. TS. NGUYỄN QUỐC TOÀN TS. NGUYỄN VĂN TÂM		NGÀY HOÀN THÀNH: 07/2026
HỌ VÀ TÊN SINH VIÊN	PHẠM QUỐC KHIÊM		LỚP: 66KTE MSSV: 0277366

Khung chiến lược ba tầng tích hợp BIM-GenAI trong quản lý tiến độ xây dựng

S8: Yêu cầu kiểm soát tối thiểu được áp dụng xuyên suốt toàn bộ quá trình

Tầng 3: Công nghệ hỗ trợ và tạo giá trị

- **S2** Hạ tầng đám mây
- **S6** Giám sát thời gian thực dựa trên IoT-BIM-GenAI
- **S7** Hỗ trợ ra quyết định minh bạch

Mở rộng giá trị

Tầng 2: Chuyển đổi và phối hợp

- **S5** Dự án thí điểm và học hỏi
- **S4** Quy trình quản lý tiến độ tích hợp
- **S10** Phối hợp đa bên và chia sẻ dữ liệu

Phản hồi từ thí điểm

Vận hành hóa

Tầng 1: Nền tảng hỗ trợ

- **S9** Chính sách và khung pháp lý
- **S3** Năng lực nhân sự BIM-AI
- **S1** Chuẩn hóa dữ liệu BIM tương thích AI

Kiến trúc tích hợp năm lớp

Lớp 5 - Con người và quản trị
Kiểm soát truy cập • Kiểm toán • Xác minh kỹ thuật • Phê duyệt • Quản lý mô hình/câu lệnh • Quản lý sự cố

Lớp 4 - Ứng dụng quản lý tiến độ
Tra cứu • Báo cáo • So sánh kế hoạch-thực tế • Cảnh báo • Phân tích What-if • Khuyến nghị và bảng điều khiển

Lớp 3 - Dịch vụ AI/GenAI lai
RAG/LLMs • Thị giác máy tính • Dự báo • CPM/Bộ máy kiểm tra theo quy tắc • Tối ưu hóa • Đánh giá độ tin cậy

Lớp 2 - Tích hợp và ngữ nghĩa
Môi trường dữ liệu chung (CDE) • APIs/ETL • Ánh xạ đối tượng–WBS–hoạt động • Từ điển dữ liệu • Kho tài liệu/vector

Lớp 1 - Nguồn dữ liệu
BIM/IFC • WBS/CPM • Báo cáo/Biên bản họp • Hình ảnh/Videos/IoT • Nguồn lực/Chi phí

S8
Đảm bảo xuyên suốt

- An ninh
- Quản trị dữ liệu và mô hình
- Khả năng kiểm toán
- Phê duyệt của con người
- Trách nhiệm giải trình

BƯỚC 1 Xác định vấn đề lập tiến độ → **BƯỚC 2** Thu thập và chuẩn hóa dữ liệu → **BƯỚC 3** Kiểm tra chất lượng dữ liệu → **BƯỚC 4** GenAI phân tích dữ liệu và tạo phương án → **BƯỚC 5** Con người xác minh và diễn giải → **BƯỚC 6** Phê duyệt và ra quyết định → **BƯỚC 7** Cập nhật BIM 4D, tiến độ và CDE → **BƯỚC 8** Đánh giá, truy vết và phản hồi

Vòng phản hồi: kết quả thực tế của dự án được sử dụng để cải thiện dữ liệu, mô hình AI, quy trình công việc
Nguyên tắc kiểm soát: Con người trong vòng lặp, nguồn gốc dữ liệu, truy vết quyết định và bảo mật ngay từ thiết kế

Quy trình vận hình BIM-GenAI cho quản lý tiến độ xây dựng

TRƯỜNG ĐẠI HỌC XÂY DỰNG HÀ NỘI KHOA KINH TẾ VÀ QUẢN LÝ XÂY DỰNG	**ĐỒ ÁN TỐT NGHIỆP**		
ĐỀ TÀI	GIẢI PHÁP TÍCH HỢP BIM VÀ AI TẠO SINH (GENAI) ĐỂ NÂNG CAO HIỆU QUẢ CÔNG TÁC QUẢN LÝ TIẾN ĐỘ XÂY DỰNG		
TRƯỞNG KHOA	PGS. TS. NGUYỄN QUỐC TOÀN		BẢN VẼ SỐ: 12
GIẢNG VIÊN HƯỚNG DẪN	PGS. TS. NGUYỄN QUỐC TOÀN TS. NGUYỄN VĂN TÂM		NGÀY HOÀN THÀNH: 07/2026
HỌ VÀ TÊN SINH VIÊN	PHẠM QUỐC KHIÊM		LỚP: 66KTE MSSV: 0277366

LỘ TRÌNH TRIỂN KHAI 4 GIAI ĐOẠN

CÁC GIAI ĐOẠN VÀ HOẠT ĐỘNG CHÍNH

GIAI ĐOẠN 1

Khởi động và đánh giá hiện trạng

- Ưu tiên các giải pháp: S9, S3, S1 (nền tảng S8)
- Thiết lập cơ chế quản trị và xác định nhà tài trợ điều hành
- Đánh giá tình trạng hiện tại về pháp lý, năng lực và dữ liệu
- Đào tạo cơ bản và thiết lập từ điển dữ liệu tạm thời
- Thiết lập môi trường thử nghiệm và kiểm soát bảo mật ban đầu

GIAI ĐOẠN 2

Chuẩn hóa và thí điểm có kiểm soát

- Ưu tiên các giải pháp: S1, S3, S5 (chuẩn bị S4 và S10)
- Chuẩn hóa dữ liệu và quy trình
- Thực hiện thí điểm 1–2 dự án
- Thiết lập đo lường cơ sở và quy trình làm việc dự thảo
- Ký kết thỏa thuận chia sẻ dữ liệu

GIAI ĐOẠN 3

Mở rộng và tích hợp

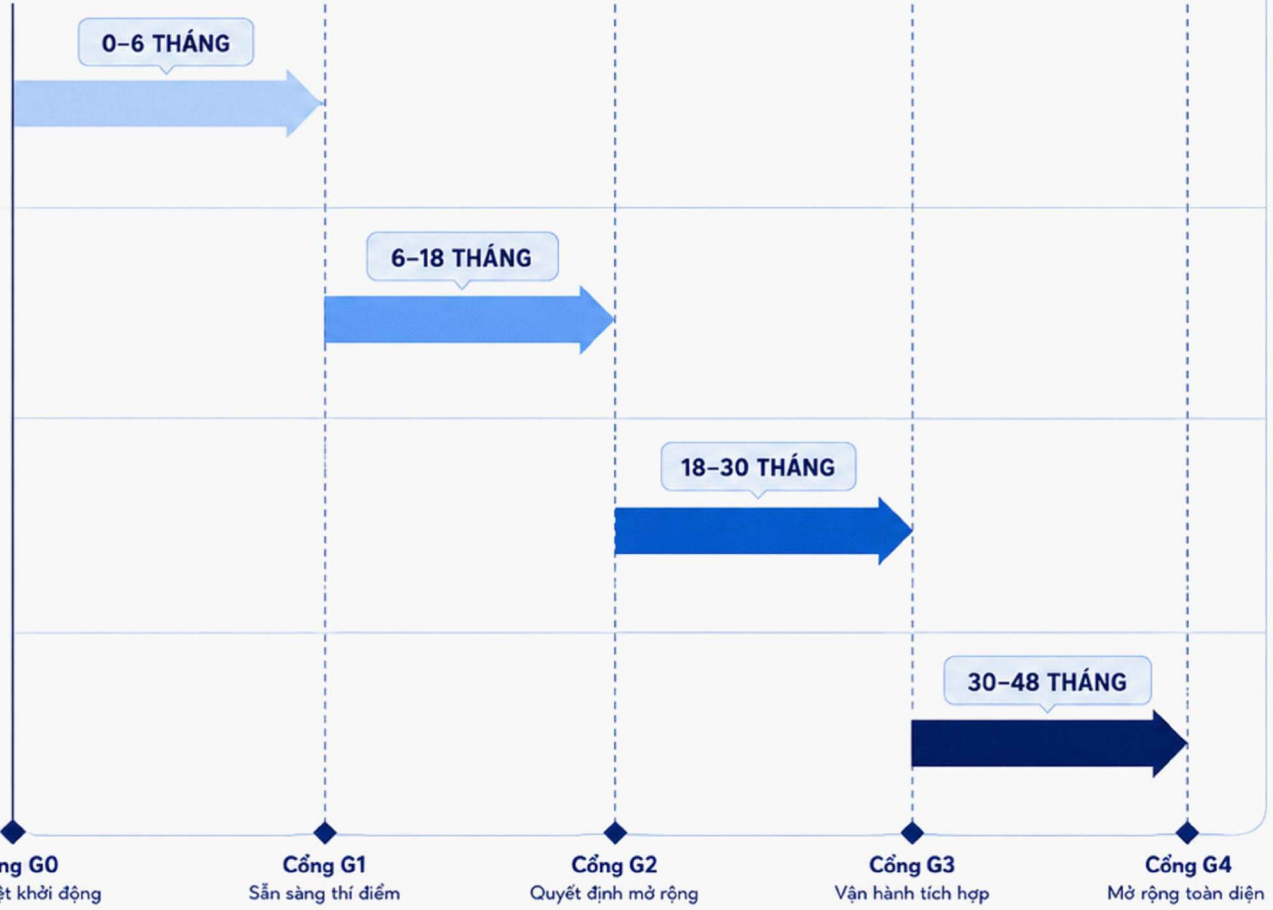
- Ưu tiên các giải pháp: S4, S10 (chuẩn bị S2, S6, S7, S8)
- Tích hợp CDE / ETL và các đường ống dữ liệu
- Triển khai các mô hình theo miền và phê duyệt quản trị
- Thiết lập đường ống dữ liệu thực địa và dashboard
- Thiết lập cơ chế kiểm soát con người trong quy trình

GIAI ĐOẠN 4

Mở rộng quy mô và thể chế hóa

- Ưu tiên các giải pháp: S2, S6, S7, S8
- Mở rộng ra toàn doanh nghiệp / toàn tổ chức
- Tối ưu hóa quy trình và kiểm toán
- Đào tạo nâng cao và KPI hiệu suất ở quy mô lớn
- Hoàn thiện chính sách và danh mục đầu tư dài hạn

THỜI GIAN



Các hoạt động có thể chồng lấn giữa các giai đoạn, nhưng việc chuyển tiếp phụ thuộc vào việc đáp ứng các tiêu chí tại các cổng giai đoạn.

TRƯỜNG ĐẠI HỌC XÂY DỰNG HÀ NỘI KHOA KINH TẾ VÀ QUẢN LÝ XÂY DỰNG	ĐỒ ÁN TỐT NGHIỆP		
ĐỀ TÀI	GIẢI PHÁP TÍCH HỢP BIM VÀ AI TẠO SINH (GENAI) ĐỂ NÂNG CAO HIỆU QUẢ CÔNG TÁC QUẢN LÝ TIẾN ĐỘ XÂY DỰNG		
TRƯỞNG KHOA	PGS. TS. NGUYỄN QUỐC TOÀN		BẢN VẼ SỐ: 13
GIẢNG VIÊN HƯỚNG DẪN	PGS. TS. NGUYỄN QUỐC TOÀN TS. NGUYỄN VĂN TÂM		NGÀY HOÀN THÀNH: 07/2026
HỌ VÀ TÊN SINH VIÊN	PHẠM QUỐC KHIÊM		LỚP: 66KTE MSSV: 0277366

ĐIỀU KIỆN HÀNH ĐỘNG VÀ KHUYẾN NGHỊ CHO CÁC BÊN LIÊN QUAN

Triển khai BIM–GenAI trong quản lý tiến độ xây dựng

1. ĐIỀU KIỆN CẦN THIẾT ĐỂ TRIỂN KHAI GIẢI PHÁP

1 Pháp lý và thể chế

- Xác định rõ tính hợp pháp của dữ liệu số và phạm vi chia sẻ đầu ra do GenAI tạo ra.
- Làm rõ quyền sở hữu trí tuệ, quyền sử dụng, trách nhiệm pháp lý và thẩm quyền phê duyệt.
- Đưa các yêu cầu này vào quy định nội bộ và hợp đồng.
- Nếu phạm vi bảo hiểm chưa đầy đủ, cần thử nghiệm có kiểm soát và được phê duyệt.

2 Tổ chức và nguồn lực con người

- Chỉ định nhà tài trợ điều hành, ủy ban chỉ đạo và chủ sở hữu sử dụng.
- Xây dựng nhóm liên chức năng: tiến độ, BIM, dữ liệu, AI, pháp lý và an toàn thông tin.
- Phân công vai trò và trách nhiệm phù hợp với năng lực thực tế.
- Lập kế hoạch quản lý thay đổi nhằm giảm thiểu sự chống đối và thúc đẩy việc áp dụng.

3 Dữ liệu và công nghệ

- Duy trì định danh, truy xuất nguồn gốc, thông tin phiên bản, chủ sở hữu và tiêu chí chất lượng dữ liệu.
- Kết nối mô hình BIM, dữ liệu tiến độ và các nguồn dữ liệu khác qua CDE và bộ công cụ lập lịch.
- Ưu tiên kiến trúc mở-dun, giao diện mở và khả năng mở rộng.
- Thực hiện sao lưu, khôi phục, giám sát và quy trình vận hành thủ công khi cần thiết.

4 Tài chính và mua sắm

- Bắt đầu bằng các vấn đề quản lý tiến độ rõ ràng và có giá trị cao.
- Không lựa chọn phần mềm chỉ dựa trên chi phí ban đầu.
- Xem xét tổng chi phí sở hữu dài hạn: lưu trữ, xử lý dữ liệu, giấy phép, tích hợp, hỗ trợ và đào tạo.
- Chú ý đến quyền dữ liệu, quyền kinh doanh, SLAs, quyền xuất dữ liệu, và thủ tục xử lý sự cố.

5 An toàn thông tin, đạo đức và trách nhiệm giải trình

- Thiết lập kiểm soát truy cập, mã hóa, ghi nhật ký, dữ liệu nhạy cảm và quản trị AI đầu cuối.
- Ngăn chặn rò rỉ dữ liệu chưa được ủy quyền ra bên ngoài.
- Đảm bảo các quyết định sử dụng AI tuân thủ nghĩa vụ và cam kết trong hợp đồng.
- Mọi đầu ra có tác động đến hợp đồng cần được con người kiểm tra và phê duyệt.

6 Đo lường và xác minh

- Xác định nhu cầu sử dụng cụ thể và chỉ số hiệu suất.
- Theo dõi tần suất đo lường và xác định người chịu trách nhiệm.
- Đánh giá chất lượng dữ liệu, thời gian xử lý, độ chính xác của mô hình, hiệu quả can thiệp, chi phí và kết quả.
- Mở rộng khi lợi ích vượt trội và rủi ro còn ở mức chấp nhận được.

2. KHUYẾN NGHỊ TRIỂN KHAI CHO CÁC BÊN LIÊN QUAN CHỦ CHỐT

Cơ quan quản lý nhà nước

- Ban hành hướng dẫn về dữ liệu, AI và trách nhiệm pháp lý.
- Phát triển mô hình chỉ thị điểm về dữ liệu và AI.
- Hỗ trợ mẫu hợp đồng, tiêu chuẩn và danh mục dữ liệu.
- Khuyến khích nghiên cứu độc lập, chia sẻ dữ liệu và ẩn danh.

Chủ đầu tư / Ban quản lý dự án

- Xác định yêu cầu và mục tiêu rõ ràng.
- Thiết lập tiêu chuẩn dữ liệu, KPI và quy trình phê duyệt.
- Yêu cầu khả năng tương tác và cơ chế chia sẻ dữ liệu trong hợp đồng.
- Chạy thí điểm sớm, mở rộng có kiểm soát dựa trên giá trị.

Tư vấn và nhà thầu

- Tập trung vào chất lượng dữ liệu, mô hình và tiến độ chi tiết.
- Chia sẻ dữ liệu theo các thỏa thuận đã thống nhất.
- Sử dụng AI để dự báo rủi ro, tối ưu hóa nguồn lực và kiểm soát.
- Nêu bật lợi ích và ROI dựa trên bằng chứng.

Nhà cung cấp công nghệ

- Cung cấp tài liệu, API và lộ trình rõ ràng.
- Đảm bảo khả năng tương tác với hệ thống và công cụ hiện có.
- Hỗ trợ triển khai, đào tạo và vận hành liên tục.
- Ưu tiên thiết kế bảo mật, minh bạch và có thể kiểm toán.

Cơ sở đào tạo và nghiên cứu

- Tích hợp BIM, dữ liệu và AI vào chương trình đào tạo.
- Phát triển bộ dữ liệu, chuẩn và ca bài tập thực tế.
- Phát triển năng lực liên ngành và kỹ năng số.
- Đóng góp vào các dự án thí điểm, đánh giá và chuẩn hóa.

Thành công của việc triển khai phụ thuộc vào sự đồng bộ giữa quản trị, con người, dữ liệu, công nghệ, tài chính, an toàn thông tin và xác minh hiệu quả, với sự phối hợp chặt chẽ và hành động thống nhất từ tất cả các bên liên quan.

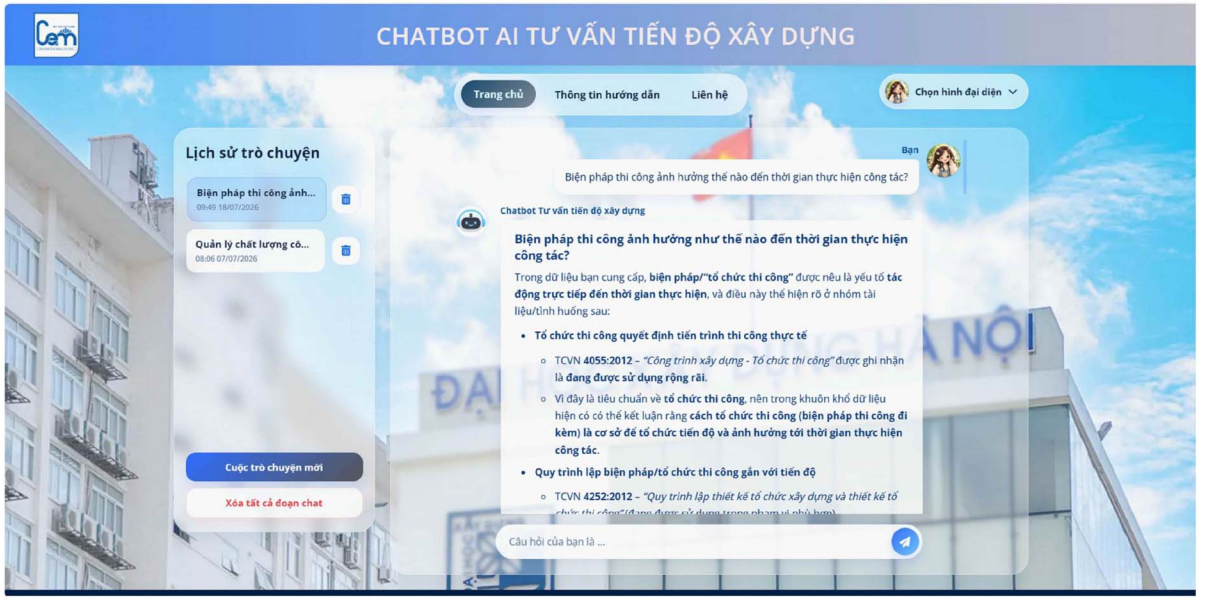
TRƯỜNG ĐẠI HỌC XÂY DỰNG HÀ NỘI KHOA KINH TẾ VÀ QUẢN LÝ XÂY DỰNG	ĐỒ ÁN TỐT NGHIỆP		
ĐỀ TÀI	GIẢI PHÁP TÍCH HỢP BIM VÀ AI TẠO SINH (GENAI) ĐỂ NÂNG CAO HIỆU QUẢ CÔNG TÁC QUẢN LÝ TIẾN ĐỘ XÂY DỰNG		
TRƯỞNG KHOA	PGS. TS. NGUYỄN QUỐC TOÀN		BẢN VẼ SỐ: 14
GIẢNG VIÊN HƯỚNG DẪN	PGS. TS. NGUYỄN QUỐC TOÀN TS. NGUYỄN VĂN TÂM		NGÀY HOÀN THÀNH: 07/2026
HỌ VÀ TÊN SINH VIÊN	PHẠM QUỐC KHIÊM		LỚP: 66KTE MSSV: 0277366

CHATBOT TƯ VẤN TIẾN ĐỘ XÂY DỰNG

Quét mã QR hoặc truy cập địa chỉ dưới đây để sử dụng hệ thống

https://tuvantiendo.aihuce.vn/

Lưu ý: kết quả của chatbot là thông tin hỗ trợ; quyết định tiến độ phải được con người kiểm chứng và phê duyệt.



QUY TRÌNH SỬ DỤNG VÀ XÁC THỰC ĐẦU RA CỦA CHATBOT

Nền tảng tri thức: luật, nghị định và thông tư hiện hành về quản lý tiến độ xây dựng

1 Xác định vấn đề
Làm rõ nội dung pháp lý cần tra cứu.

2 Cung cấp bối cảnh
Nêu loại dự án, chủ thể, sự kiện và thời điểm.

3 Gửi câu hỏi có cấu trúc
Yêu cầu căn cứ, điều khoản và điều kiện áp dụng.

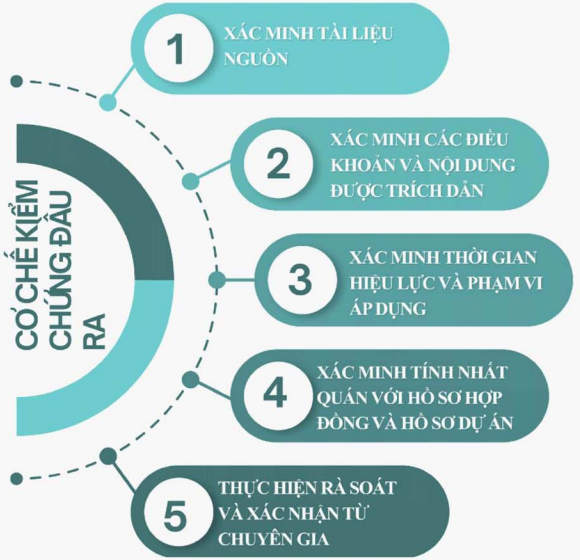
4 Đọc và phân loại
Tách căn cứ pháp lý, diễn giải và cảnh báo.

5 Đối chiếu văn bản gốc
Kiểm tra nguồn, hiệu lực, điều khoản và phạm vi.

6 Kiểm tra hồ sơ dự án
Đối chiếu hợp đồng, tiến độ và bằng chứng thực tế.

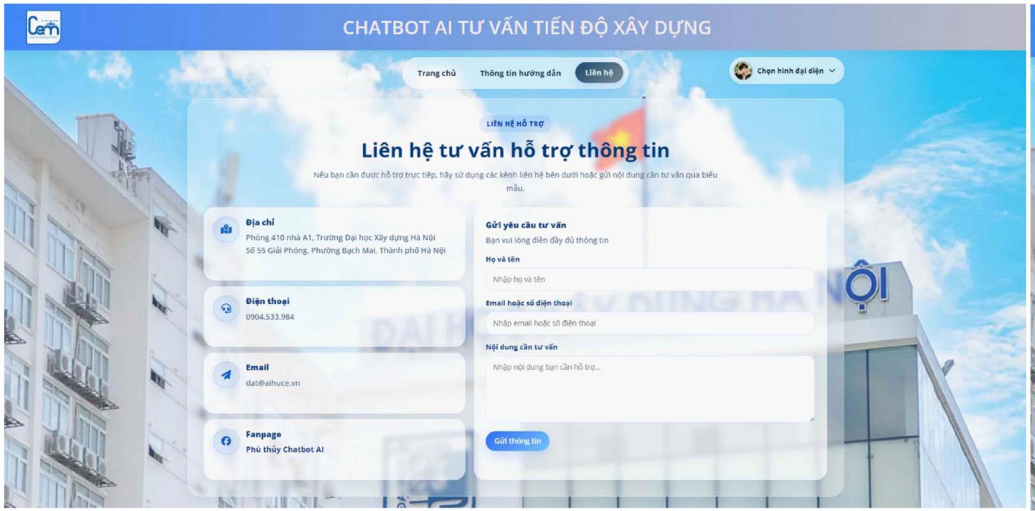
7 Phê duyệt và lưu vết
Xác nhận bởi người có chuyên môn trước khi sử dụng.

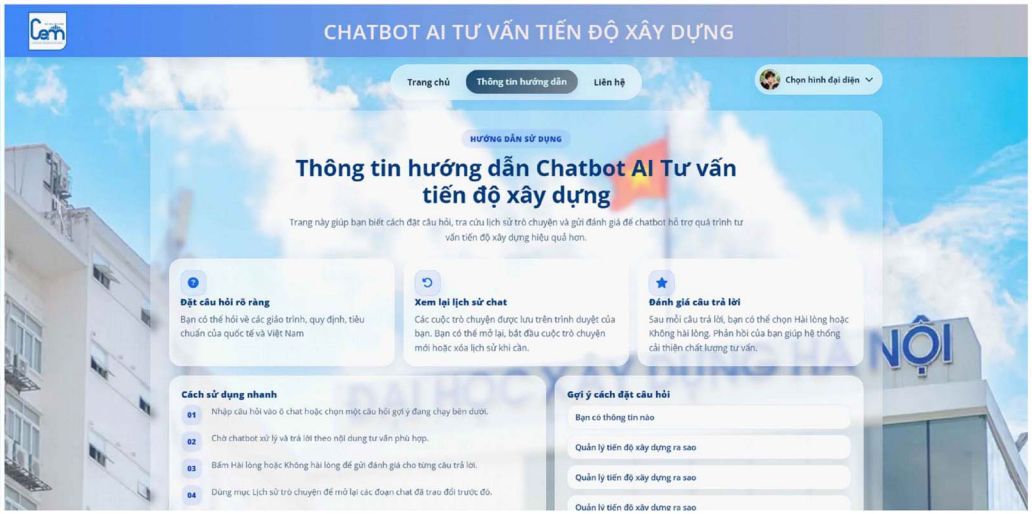
Nguyên tắc: chatbot chỉ hỗ trợ tra cứu và giải thích quy định; kết luận áp dụng cho hồ sơ cụ thể phải được con người kiểm tra và phê duyệt.

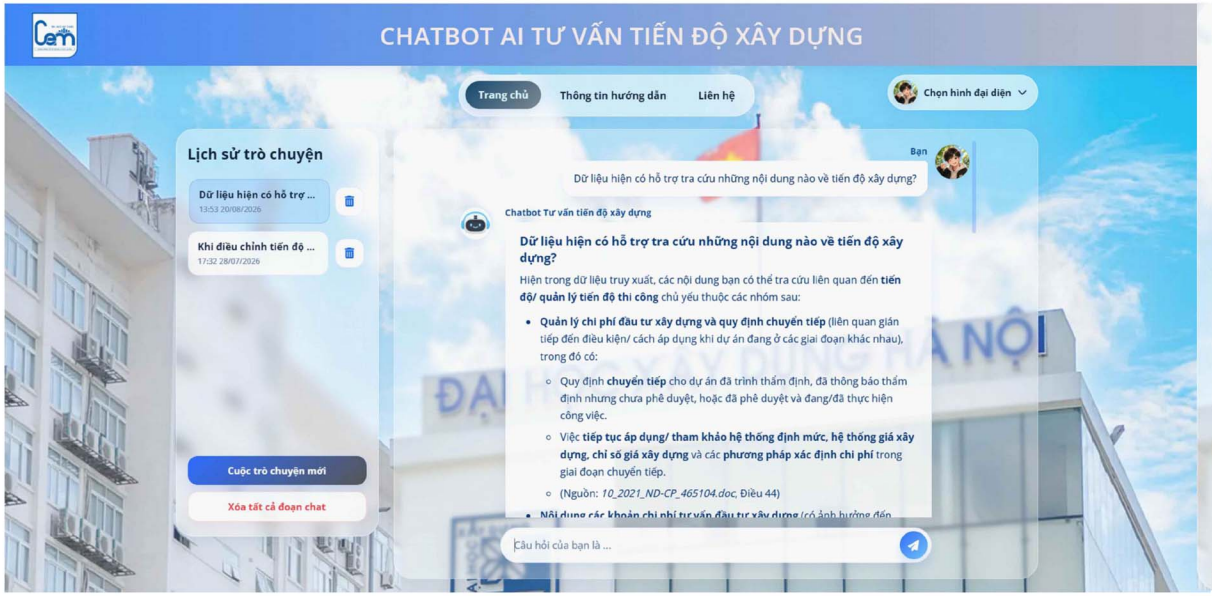


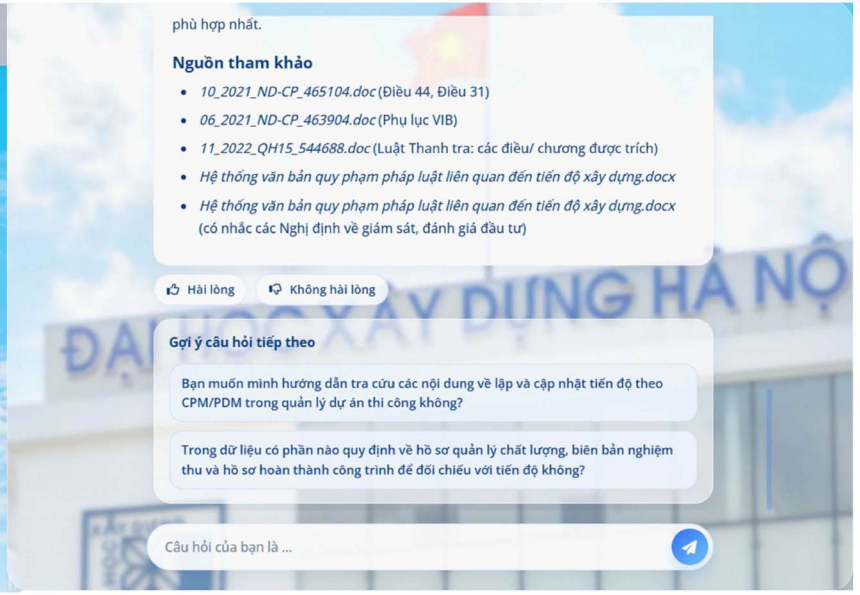
QUÁ TRÌNH SỬ DỤNG VÀ XÁC THỰC ĐẦU RA CỦA CHATBOT

TRƯỜNG ĐẠI HỌC XÂY DỰNG HÀ NỘI KHOA KINH TẾ VÀ QUẢN LÝ XÂY DỰNG	**ĐỒ ÁN TỐT NGHIỆP**		
ĐỀ TÀI	GIẢI PHÁP TÍCH HỢP BIM VÀ AI TẠO SINH (GENAI) ĐỂ NÂNG CAO HIỆU QUẢ CÔNG TÁC QUẢN LÝ TIẾN ĐỘ XÂY DỰNG		
TRƯỞNG KHOA	PGS. TS. NGUYỄN QUỐC TOÀN		BẢN VẼ SỐ: 15
GIẢNG VIÊN HƯỚNG DẪN	PGS. TS. NGUYỄN QUỐC TOÀN TS. NGUYỄN VĂN TÂM		NGÀY HOÀN THÀNH: 07/2026
HỌ VÀ TÊN SINH VIÊN	PHẠM QUỐC KHIÊM		LỚP: 66KTE MSSV: 0277366









CHATBOT AI TƯ VẤN TIẾN ĐỘ XÂY DỰNG

TRƯỜNG ĐẠI HỌC XÂY DỰNG HÀ NỘI KHOA KINH TẾ VÀ QUẢN LÝ XÂY DỰNG	**ĐỒ ÁN TỐT NGHIỆP**		
ĐỀ TÀI	GIẢI PHÁP TÍCH HỢP BIM VÀ AI TẠO SINH (GENAI) ĐỂ NÂNG CAO HIỆU QUẢ CÔNG TÁC QUẢN LÝ TIẾN ĐỘ XÂY DỰNG		
TRƯỞNG KHOA	PGS. TS. NGUYỄN QUỐC TOÀN		BẢN VẼ SỐ: 16
GIẢNG VIÊN HƯỚNG DẪN	PGS. TS. NGUYỄN QUỐC TOÀN TS. NGUYỄN VĂN TÂM		NGÀY HOÀN THÀNH: 07/2026
HỌ VÀ TÊN SINH VIÊN	PHẠM QUỐC KHIÊM		LỚP: 66KTE MSSV: 0277366