

Các yếu tố ảnh hưởng đến việc tích hợp mô hình thông tin thành phố (CIM) và trí tuệ nhân tạo (AI) trong quản lý quy hoạch đô thị

Nguyễn Hoài Vũ^{1,2*}, Nguyễn Anh Thư^{1,2}, Đỗ Tiên Sỹ^{1,2}, Nguyễn Thanh Việt³

¹ Bộ môn Thi công và Quản lý xây dựng, Khoa Kỹ thuật Xây dựng, Trường Đại học Bách Khoa

² Đại học Quốc gia thành phố Hồ Chí Minh

³ Trường Đại học Công nghiệp thành phố Hồ Chí Minh

TỪ KHOÁ

Mô hình thông tin thành phố (CIM)

Trí tuệ nhân tạo (AI)

Tích hợp

Yếu tố

Quy hoạch đô thị

TÓM TẮT

Trong thời đại công nghệ số hóa hiện nay, có khá nhiều giải pháp công nghệ đang được áp dụng để nâng cao chất lượng quản lý quy hoạch đô thị, giúp cho việc xây dựng, phát triển và quản lý đô thị được hiệu quả hơn. Trong đó, công nghệ quản lý quy hoạch đô thị ứng dụng CIM (City Information Modeling) và AI (Artificial Intelligence) đang trở thành xu hướng mới trong lĩnh vực xây dựng. Nghiên cứu ứng dụng CIM và AI vào quản lý quy hoạch đô thị dự kiến sẽ mang lại nhiều lợi ích cho cộng đồng, giúp cho việc quản lý quy hoạch và phát triển đô thị được hiệu quả hơn, đồng thời cải thiện chất lượng sống của người dân trong thành phố. Bài báo này có mục tiêu xác định các nhân tố ảnh hưởng đến việc tích hợp mô hình thông tin thành phố (CIM) và trí tuệ nhân tạo (AI) trong quản lý quy hoạch đô thị. Dựa vào kết quả tổng quan nghiên cứu và góp ý của chuyên gia, nghiên cứu xác định được 32 nhân tố và 07 nhóm nhân tố ảnh hưởng đến việc tích hợp CIM và AI.

KEYWORDS

City information model (CIM)

Artificial intelligence (AI)

Integrated

Factor

Urban planning

ABSTRACT

In the current digital technology era, there are many technology solutions being applied to improve the quality of urban planning management, making urban construction, development and management more effective. In which, urban planning management technology applied CIM (City Information Modeling) and AI (Artificial Intelligence) is becoming a new trend in the construction field. Research and application of CIM and AI in urban planning management is expected to bring many benefits to the community, making urban planning and development management more effective, and at the same time improving the quality of life of people in the city. This paper presents the results of a survey and collection of factors affecting the integration of city information model (CIM) and artificial intelligence (AI). The survey is conducted through scientific articles, experts and people with construction field experience. The results of the paper present groups of factors affecting the integration of city information model (CIM) and artificial intelligence (AI).

1. Giới thiệu

1.1. Về mô hình thông tin thành phố (CIM) [1]

- Khái niệm về mô hình thông tin thành phố (CIM) được Khemlani trình bày vào năm 2007. Với sự phát triển của công nghệ mô hình thông tin tòa nhà (BIM), Khemlani đã mở rộng và áp dụng mô hình thông tin từ cấp độ tòa nhà đến thành phố. mức độ. Do đó, CIM ban đầu được chấp nhận như một dạng công nghệ BIM được áp dụng riêng cho các thành phố.

- Theo Xu, CIM có thể được thiết lập bằng cách tích hợp BIM và hệ thống thông tin địa lý (GIS). Xu và cộng sự đã phát triển một khung CIM tương thích với một định dạng dữ liệu tiêu chuẩn, cụ thể là lớp cơ sở ngành (IFC) và ngôn ngữ đánh dấu địa lý thành phố

(CityGML, một định dạng điển hình cho dữ liệu GIS). BIM có thể cung cấp thông tin tòa nhà cấp thành phần bên trong, trong khi GIS có thể cung cấp thông tin bên ngoài về tòa nhà. Do đó, CIM bao gồm các tòa nhà bên trong và bên ngoài có thể được phát triển bằng cách kết hợp dữ liệu microBIM và macroGIS, chỉ ra rằng CIM có các ứng dụng nghiên cứu đầy hứa hẹn.

- Wu và cộng sự đã mở rộng khái niệm CIM sang mô hình thành phố thông minh. Đối với khái niệm này, Internet of Things (IoT), BIM và GIS là hỗ trợ kỹ thuật chính của CIM để thu thập, lưu trữ và xử lý dữ liệu lớn. Công nghệ tiên tiến, chẳng hạn như điện toán đám mây, dữ liệu lớn, thực tế ảo (VR) và trí tuệ nhân tạo (AI), đã dần được sử dụng cho CIM để xây dựng các thành phố thông minh. Ví dụ, điện

*Liên hệ tác giả: nguyenhoaiVu86@gmail.com

Nhận ngày 15/05/2023, sửa xong ngày 11/08/2023, chấp nhận đăng 18/08/2023

Link DOI: <https://doi.org/10.54772/jomc.05.2023.589>

toán đám mây cải thiện khả năng xử lý dữ liệu của CIM, trong khi VR cung cấp một phương pháp hình ảnh hóa thành phố mới.

Các khái niệm trên cho thấy CIM là một mô hình thành phố ba chiều (3D) dựa trên dữ liệu thông tin thành phố với khuôn khổ hợp tác đa ngành. CIM đã là mô hình nền tảng cho các thành phố thông minh và song sinh kỹ thuật số, nhờ vào sự tích hợp thông tin toàn diện của nó. Hiện tại, nhiều quốc gia đang tiến hành nghiên cứu liên quan đến CIM, chẳng hạn như dự án Digital Built Britain. Tuy nhiên, nghiên cứu trong lĩnh vực này đang nổi lên và cần phải có một đánh giá toàn diện về bản chất của kỹ thuật CIM.

1.2. Khái niệm về trí tuệ nhân tạo

- Trí tuệ nhân tạo hay AI, đôi khi được gọi là trí thông minh nhân tạo, là trí thông minh được thể hiện bằng máy móc, trái ngược với trí thông minh tự nhiên của con người. Thông thường, thuật ngữ "trí tuệ nhân tạo" thường được sử dụng để mô tả các máy móc (hoặc máy tính) có khả năng bắt chước các chức năng "nhận thức" mà con người thường phải liên kết với tâm trí, như "học tập" và "giải quyết vấn đề".

- Trí tuệ nhân tạo có thể được phân thành ba loại hệ thống khác nhau: trí tuệ nhân tạo phân tích, lấy cảm hứng từ con người và nhân tạo. AI phân tích chỉ có các đặc điểm phù hợp với trí tuệ nhận thức; tạo ra một đại diện nhận thức về thế giới và sử dụng học tập dựa trên kinh nghiệm trong quá khứ để thông báo các quyết định trong tương lai. AI lấy cảm hứng từ con người có các yếu tố từ trí tuệ nhận thức và cảm xúc; hiểu cảm xúc của con người, ngoài các yếu tố nhận thức và xem xét chúng trong việc ra quyết định. AI nhân cách hóa cho thấy các đặc điểm của tất cả các loại năng lực (nghĩa là trí tuệ nhận thức, cảm xúc và xã hội), có khả năng tự ý thức và tự nhận thức được trong các tương tác.

- Trong thế kỷ 21, các kỹ thuật AI đã trải qua sự hồi sinh sau những tiến bộ đồng thời về sức mạnh máy tính, dữ liệu lớn và hiểu biết lý thuyết; và kỹ thuật AI đã trở thành một phần thiết yếu của ngành công nghệ, giúp giải quyết nhiều vấn đề thách thức trong học máy, công nghệ phần mềm và nghiên cứu vận hành. (Nguồn: <https://vi.wikipedia.org>).

- J. McCarthy là người đầu tiên đưa cụm từ "Trí tuệ nhân tạo" (artificial intelligence-AI) trở thành một khái niệm khoa học. Trong , J. McCarthy và cộng sự cho rằng nghiên cứu AI nhằm mô tả chính xác các khía cạnh của xử lý trí tuệ và học (để có được tri thức) và tạo ra được các hệ thống, máy mô phỏng hoạt động học và xử lý trí tuệ.

Qua nhiều thời kỳ phát triển, AI đã định hình nhiều định nghĩa và có vai trò quan trọng trong định hướng các nghiên cứu và triển khai ứng dụng. Sách "Artificial Intelligence: A Modern Approach" của S. Russell và P. Norvig [35] đưa ra bốn kiểu định nghĩa AI theo hai chiều: (tư duy – hành vi), (như con người –hợp lý), như được trình bày trong Bảng 1.

Bảng 1. Một số định nghĩa về trí tuệ nhân tạo, được sắp xếp thành bốn loại.

Nguồn: [2]

<p>Tư duy như con người</p> <p>"Những nỗ lực...làm cho máy tính suy nghĩ ... máy móc có tâm trí, theo nghĩa đầy đủ và theo nghĩa đen" (Haugeland, 1985). "Các hoạt động [tự động hóa] gắn kết với tư duy của con người, như ra quyết định, giải quyết vấn đề, học ..." (Bellman, 1978).</p>	<p>Tư duy hợp lý</p> <p>"Nghiên cứu năng lực thần kinh thông qua các mô hình tính toán" (Charniak và McDermott, 1985). "Nghiên cứu các mô hình tính toán giúp máy có nhận thức, có lập luận và hành động" (Winston, 1992).</p>
<p>Hành vi như con người</p> <p>"Nghệ thuật tạo ra máy móc thực hiện các chức năng đòi hỏi trí thông minh giống như khi con người thực hiện" (Kurzweil, 1990). "Nghiên cứu cách thức làm cho máy tính làm được những việc trí tuệ có thể tốt hơn con người" (Rich and Knight, 1991).</p>	<p>Hành vi hợp lý</p> <p>"Tính toán thông minh là nghiên cứu về thiết kế các tác tử thông minh" (Poole và cộng sự, 1998). "TTNT... quan tâm đến hành vi thông minh trong vật tạo tác" (Nilsson, 1998).</p>

2. Tổng quan về nghiên cứu

2.1. Các nghiên cứu liên quan đến việc ứng dụng công nghệ BIM và AI trên thế giới

(1) Tích hợp Mô hình thông tin công trình (BIM) và Trí tuệ nhân tạo (AI) để phát hiện các khiếm khuyết kết hợp của hạ tầng trong hệ thống đường sắt [3].

Do nhu cầu cao đối với hệ thống đường sắt hiện nay, tốc độ và tải trọng đầu máy toa xe có xu hướng tăng. Đồng thời, ảnh hưởng của khí hậu cực đoan cũng nặng nề hơn. Điều này dẫn đến tình trạng xuống cấp của kết cấu hạ tầng đường sắt, gây ra các khiếm khuyết cho kết cấu hạ tầng đường sắt. Nghiên cứu này nhằm mục đích ứng dụng Mô hình thông tin công trình (BIM) tích hợp Trí tuệ nhân tạo (AI) để phát triển hệ thống phát hiện khiếm khuyết trong hạ tầng đường sắt. Kết quả nghiên cứu cho thấy các mô hình đã phát triển có khả năng phát hiện các khiếm khuyết với độ chính xác lên đến 99% và có lợi cho việc quản lý tài sản của hệ thống đường sắt về mặt quản lý rủi ro, sự thoải mái của hành khách và hiệu quả chi phí.

(2) Ứng dụng tích hợp của mô hình thông tin xây dựng và kỹ thuật trí tuệ nhân tạo trong ngành công nghiệp kiến trúc, xây dựng/vận hành bảo trì [4]

Thông tin hóa và tự động hóa được coi là xu hướng chủ đạo trong ngành kiến trúc kỹ thuật, xây dựng/quản lý cơ sở vật chất (AEC/FM) trong tương lai. Mô hình hóa thông tin tòa nhà (BIM) là một công nghệ hiệu quả để số hóa thông tin tòa nhà, trong khi các kỹ thuật trí tuệ nhân tạo (AI) hỗ trợ tự động hóa. Nghiên cứu này xem xét các tích hợp BIM-AI trong ngành AEC/FM bằng phân tích thư mục hệ thống và 183 mục tài liệu đủ điều kiện được thông qua. Các phát

hiện được tóm tắt từ quan điểm của các kỹ thuật và ứng dụng. Cuối cùng, những thách thức hiện tại và hướng phát triển tích hợp BIM-AI trong tương lai được đề xuất. Đánh giá này góp phần khám phá một cách có hệ thống các ứng dụng tích hợp BIM-AI trong ngành AEC/FM và đưa ra các hướng phát triển có giá trị cho BIM và AI.

2.2. Các nghiên cứu liên quan đến việc ứng dụng công nghệ GIS và AI trên thế giới.

(1) Quảng cáo ngoài trời thông minh sử dụng trí tuệ nhân tạo và dữ liệu GIS [5]

Nghiên cứu này giới thiệu nền tảng quảng cáo ngoài trời thông minh (SOAP), nền tảng tận dụng dữ liệu Hệ thống thông tin địa lý (GIS) và các phương pháp tiếp cận Trí tuệ nhân tạo (AI) tiên tiến nhất để cung cấp: (i) dữ liệu, được ghi lại - mô hình định giá được thông báo cho bảng quảng cáo, có thể được sử dụng để biện minh cho giá bảng quảng cáo cho các nhà quảng cáo; và (ii) một tập hợp các giải pháp không bị chi phối (mỗi giải pháp tương ứng với cách phân bổ biển quảng cáo khác nhau cho một chiến dịch nhất định) khám phá sự đánh đổi giữa nhiều mục tiêu mâu thuẫn (ví dụ: chi phí và mức độ phù hợp).

(2) Một công cụ phân tích không gian GIS và trí tuệ nhân tạo tích hợp để phân định các vùng tiềm năng nước ngầm ở địa hình phức tạp: Lưu vực Fincha, Abay Basi, Ethiopia [6]

Trong bài báo này, hiệu suất của trí tuệ nhân tạo (AI) trong phân tích không gian địa lý và nền tảng GIS để thăm dò các vùng

nước ngầm tiềm năng đã được đánh giá ở lưu vực Fincha, Abay, Ethiopia. Các thành phần dữ liệu địa không gian theo hình thái, thủy văn, khả năng thấm và biến đổi động lực bề mặt được khẳng định là tiêu chí để thăm dò các vùng tiềm năng nước dưới đất. Ảnh hưởng của tiêu chí cá nhân được xếp hạng và tính trọng số trong mô hình đào tạo mạng thần kinh nhân tạo (ANN) và Quy trình phân tích thứ bậc (AHP). Các kết quả thu được trong mô hình ANN và GIS được đánh giá dựa trên tốc độ bơm và các điểm xác thực trên mặt đất. Các vùng tiềm năng nước ngầm gồm năm và bốn lớp lần lượt được phân định bằng kỹ thuật AI và GIS, và đây là một chỉ số cho thấy hiệu quả của AI trong phân tích không gian địa lý để tìm kiếm các vùng tiềm năng so với kỹ thuật GIS truyền thống. Tỷ lệ phần trăm độ chính xác trong cả hai phương pháp được đo từ đường cong ROC và AUC. Do đó, người ta thấy rằng các vùng tiềm năng nước ngầm được khoanh định và các điểm xác thực trên mặt đất đã được thống nhất với tỷ lệ lần lượt là 96 % và 91 % trong nền tảng AI và GIS. Cuối cùng, kết luận rằng mô hình ANN là một công cụ hiệu quả để phân định các vùng triển vọng nước dưới đất.

3. Phương pháp nghiên cứu

Xác định các yếu tố ảnh hưởng đến việc tích hợp mô hình thông tin thành phố (CIM) và trí tuệ nhân tạo (AI) được thực hiện thông qua việc tham khảo 32 bài báo khoa học có liên quan, tham vấn ý kiến các chuyên gia và người có kinh nghiệm lĩnh vực xây dựng trong nước theo Bảng 2.

Bảng 2. Các yếu tố ảnh hưởng đến việc tích hợp CIM-AI.

STT	Các yếu tố ảnh hưởng đến việc tích hợp Mô hình thông tin thành phố (CIM) và trí tuệ nhân tạo (AI)	Tham khảo
<i>I</i>	<i>Nhóm các tiêu chí về con người</i>	
1	Nhận thức về công nghệ CIM và AI	[7] [8] [9] [10]
2	Kiến thức về công nghệ CIM và AI	[7] [11] [12] [13] [14] [8] [2]
3	Thay đổi về văn hoá, phương pháp quản lý khi ứng dụng công nghệ CIM-AI	[7] [11] [15] [8] [16]
4	Kinh nghiệm trong quá trình ứng dụng công nghệ CIM-AI	[7] [17] [14] [8] [9] [10]
5	Nhu cầu đào tạo, học hỏi kinh nghiệm ứng dụng công nghệ CIM-AI	[18] [7] [8] [9]
<i>II</i>	<i>Nhóm các tiêu chí về kỹ thuật</i>	
1	Tính chính xác mô hình CIM-AI	Chuyên gia
2	Chất lượng mô hình CIM-AI	[17] [15] [14]
3	Thời gian xây dựng mô hình CIM-AI	Chuyên gia
4	Dữ liệu cần thiết cho việc xây dựng mô hình CIM-AI	[11] [8] [9] [19]
5	Các thiết bị, công cụ cần thiết xây dựng mô hình CIM-AI	[7] [9] [19]
<i>III</i>	<i>Nhóm các tiêu chí về chính sách</i>	
1	Các chính sách hỗ trợ việc ứng dụng công nghệ CIM-AI trong quản lý quy hoạch đô thị	[7] [20] [14] [21] [2]
2	Quy định về sự phối hợp giữa các tổ chức thực hiện các ứng dụng công nghệ CIM-AI trong quản lý quy hoạch đô thị	[11] [13] [14] [19] [19]
3	Quy chuẩn, tiêu chuẩn ứng dụng công nghệ CIM-AI trong quản trình quản lý quy hoạch đô thị	[7] [11] [9] [16] [19]
4	Tính bảo mật của mô hình CIM-AI	[20] [13] [14]
5	Quyền sở hữu mô hình CIM-AI	[13] [14] [8]

STT	Các yếu tố ảnh hưởng đến việc tích hợp Mô hình thông tin thành phố (CIM) và trí tuệ nhân tạo (AI)	Tham khảo
IV	<i>Nhóm các tiêu chí về tài chính</i>	
1	Chi phí đào tạo nguồn nhân lực	[18] [7] [15] [8] [9] [16]
2	Chi phí đầu tư các thiết bị phần cứng xây dựng, vận hành mô hình CIM-AI	[7] [15] [14] [8] [9] [16]
3	Chi phí đầu tư các phần mềm xây dựng, vận hành mô hình CIM-AI	[7] [15] [13] [14] [8] [9] [16]
4	Lợi nhuận khi ứng dụng mô hình CIM-AI trong quản lý quy hoạch đô thị	[17] [16]
5	Chính sách hỗ trợ về tài chính cho các tổ chức	[20] [14] [21] [16] [2]
V	<i>Nhóm các tiêu chí về tổ chức</i>	
1	Kế hoạch đào tạo cho cán bộ, nhân viên	[12] [19]
2	Sự phối hợp giữa các tổ chức doanh nghiệp trong quá trình ứng dụng mô hình CIM-AI	[20] [14] [8] [9] [2] [19]
3	Sự tương tác giữa cơ quan quản lý nhà nước và doanh nghiệp	[14] [8] [9] [2]
4	Quy trình và cách thức thực hiện giữa các tổ chức tham gia mô hình CIM-AI	[11] [14] [19]
VI	<i>Nhóm các tiêu chí về xã hội</i>	
1	Sự phát triển đô thị thông minh, bền vững	Chuyên gia
2	Tốc độ phát triển kinh tế xã hội	Chuyên gia
3	Tăng cường công tác quản lý quy hoạch, đầu tư xây dựng	Chuyên gia
4	Nâng cao chất lượng cuộc sống của người dân	Chuyên gia
VII	<i>Nhóm các tiêu chí khác</i>	
1	Thúc đẩy sự phát triển đối với lĩnh vực xây dựng	Chuyên gia
2	Nhu cầu ứng dụng công nghệ CIM-AI trong quản lý quy hoạch đô thị	[20] [21]
3	Sự cạnh tranh, phát triển của các tổ chức, cá nhân	[16]
4	Hướng dẫn thực hiện việc ứng dụng công nghệ CIM-AI trong quản lý quy hoạch đô thị	Chuyên gia

4. Kết luận

Việc nghiên cứu ứng dụng tích hợp công nghệ CIM & AI trong quản lý quy hoạch đô thị dự kiến sẽ mang lại nhiều lợi ích cho cộng đồng, giúp cho việc quản lý quy hoạch và phát triển đô thị được hiệu quả hơn, đồng thời cải thiện chất lượng sống của người dân trong thành phố. Nghiên cứu không chỉ phụ thuộc vào thiết bị, đặc tính, chất lượng mà còn phụ thuộc chính vào sự hiểu biết, nhu cầu của người sử dụng và mục tiêu cần đạt được.

Kết quả bài báo này đã xác định được 32 yếu tố ảnh hưởng đến việc tích hợp CIM-AI trong quản lý quy hoạch đô thị. Tuy nhiên, bài báo cũng có giới hạn về số lượng bài báo khoa học được thu thập, chưa tham vấn các chuyên gia nước ngoài.

Ghi nhận: Nội dung bài báo này được trích từ Chuyên đề 01 – Tiến sĩ – Ngành Quản lý xây dựng – Trường Đại học Bách khoa – Đại học quốc gia thành phố Hồ Chí Minh.

Tài liệu tham khảo

- [1]. Z. Xu, M. Qi, Y. Wu, X. Hao, and Y. Yang, "City information modeling: state of the art," *Applied Sciences*, vol. 11, no. 19, p. 9333, 2021.
- [2]. D. W. Chan, T. O. Olawumi, and A. M. Ho, "Critical success factors for building information modelling (BIM) implementation in Hong Kong," *Engineering, Construction and Architectural Management*, 2019.
- [3]. J. Sresakoolchai and S. Kaewunruen, "Integration of building information modeling (BIM) and artificial intelligence (AI) to detect combined defects of infrastructure in the railway system," in *Resilient Infrastructure: Select Proceedings of VCDRR 2021*: Springer, 2021, pp. 377-386.
- [4]. F. Zhang, A. P. Chan, A. Darko, Z. Chen, and D. Li, "Integrated applications of building information modeling and artificial intelligence techniques in the AEC/FM industry," *Automation in Construction*, vol. 139, p. 104289, 2022.
- [5]. N. Nader, R. Alexandrou, I. Iasonas, A. Pamboris, H. Papadopoulos, and A. Konstantinidis, "Smart Out-of-Home Advertising Using Artificial Intelligence and GIS Data," in *Proceedings of the AAAI Conference on Artificial Intelligence*, 2022, vol. 36, no. 11, pp. 13206-13208.
- [6]. H. Tamiru, M. Wagari, and B. Tadese, "An integrated Artificial Intelligence and GIS spatial analyst tools for Delineation of Groundwater Potential Zones in complex terrain: Fincha Catchment, Abay Basi, Ethiopia," *Air, Soil and Water Research*, vol. 15, p. 11786221211045972, 2022.
- [7]. Y. Gamil and I. A. R. Rahman, "Awareness and challenges of building information modelling (BIM) implementation in the Yemen construction industry," *Journal of Engineering, Design and Technology*, 2019.
- [8]. A. B. Abd Hamid, M. M. Taib, A. A. Razak, and M. Embi, "Building information modelling: challenges and barriers in implement of BIM for interior design industry in Malaysia," in *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2018, vol. 140, no. 1: IOP Publishing, p. 012002.
- [9]. A. F. Kineber, I. Othman, I. O. Famakin, A. E. Oke, M. M. Hamed, and T. M. Olayemi, "Challenges to the Implementation of Building Information Modeling (BIM) for Sustainable Construction Projects," *Applied Sciences*, vol. 13, no. 6, p. 3426, 2023.
- [10]. Y. Hong, S. M. Sepasgozar, A. Ahmadian, and A. Akbarnezhad, "Factors influencing BIM adoption in small and medium sized construction organizations," in *ISARC. Proceedings of the international symposium on*

- automation and robotics in construction*, 2016, vol. 33: IAARC Publications, p. 1.
- [11]. G. Hoang, D. Vu, N. Le, and T. Nguyen, "Benefits and challenges of BIM implementation for facility management in operation and maintenance face of buildings in Vietnam," in *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2020, vol. 869, no. 2: IOP Publishing, p. 022032.
- [12]. N. Van Tam, N. Quoc Toan, V. V. Phong, and S. Durdyev, "Impact of BIM-related factors affecting construction project performance," *International Journal of Building Pathology and Adaptation*, 2021.
- [13]. J. O. Toyin and M. C. Mewomo, "An investigation of barriers to the application of building information modelling in Nigeria," *Journal of Engineering, Design and Technology*, vol. 21, no. 2, pp. 442-468, 2023.
- [14]. C. Sun, S. Jiang, M. J. Skibniewski, Q. Man, and L. Shen, "A literature review of the factors limiting the application of BIM in the construction industry," *Technological and Economic Development of Economy*, vol. 23, no. 5, pp. 764-779, 2017.
- [15]. M. H. Momade, S. Durdyev, N. Van Tam, S. Shahid, J. Mbachu, and Y. Momade, "Factors influencing adoption of construction technologies in Vietnam's residential construction projects," *International Journal of Building Pathology and Adaptation*, no. ahead-of-print, 2022.
- [16]. R. Eadie, H. Odeyinka, M. Browne, C. Mahon, and M. Yohanis, "Building information modelling adoption: an analysis of the barriers of implementation," *Journal of Engineering and Architecture*, vol. 2, no. 1, pp. 77-101, 2014.
- [17]. [N. Van Tam, T. N. Diep, N. Quoc Toan, and N. Le Dinh Quy, "Factors affecting adoption of building information modeling in construction projects: A case of Vietnam," *Cogent Business & Management*, vol. 8, no. 1, p. 1918848, 2021.
- [18]. K. C. A. Khanzode and R. D. Sarode, "Advantages and disadvantages of artificial intelligence and machine learning: A literature review," *International Journal of Library & Information Science (IJLIS)*, vol. 9, no. 1, p. 3, 2020.
- [19]. Y. A. Ahmed, H. M. F. Shehzad, M. M. Khurshid, O. H. Abbas Hassan, S. A. Abdalla, and N. Alrefai, "Examining the effect of interoperability factors on building information modelling (BIM) adoption in Malaysia," *Construction Innovation*, 2022.
- [20]. M. Hamma-adama, T. Kouider, and H. Salman, "Analysis of barriers and drivers for BIM adoption," *International journal of BIMa and engineering science*, vol. 3, no. 1, 2020.
- [21]. X. Qin, Y. Shi, K. Lyu, and Y. Mo, "Using a TAM-TOE model to explore factors of Building Information Modelling (BIM) adoption in the construction industry," *Journal of Civil Engineering and Management*, vol. 26, no. 3, pp. 259-277, 2020.