

Xây dựng tiên tiến: Khái niệm, cách tiếp cận và ý nghĩa

Modern methods of construction: Concepts, approaches, and implications

> BUI DUY ANH¹, NGUYỄN THẾ QUÂN^{2,*}, ZEESHAN AZIZ³, NGÔ VĂN YÊN²,
NGUYỄN BẢO NGỌC², TÔ THỊ HƯƠNG QUỲNH²

¹Viện Quản lý Đầu tư xây dựng, Trường Đại học Xây dựng Hà Nội

²Khoa Kinh tế và Quản lý xây dựng, Trường Đại học Xây dựng Hà Nội; *Tác giả liên hệ, Email: quannt@huce.edu.vn

³Đại học Tổng hợp Salford, Vương quốc Anh

TÓM TẮT

Ngành Xây dựng hiện đang đối mặt với nhiều vấn đề như năng suất lao động thấp và tác động tiêu cực đến môi trường. Bài báo này nghiên cứu khái niệm xây dựng tiên tiến, nhằm làm rõ nội hàm và phân biệt với các phương pháp thi công truyền thống. Mục tiêu nghiên cứu là phát triển một mô hình bốn cấp độ về xây dựng tiên tiến, bao gồm: (1) sản xuất ngoài phạm vi công trường, (2) công nghiệp hóa xây dựng, (3) xây dựng sử dụng công nghệ số thông minh và (4) tự động hóa xây dựng. Mặc dù có nhiều nghiên cứu về xây dựng tiên tiến, nhưng vẫn còn thiếu một cái nhìn tổng quan đầy đủ về các khía cạnh này trong văn liệu hiện tại. Nghiên cứu áp dụng phương pháp tổng quan và phân tích tài liệu để xây dựng một bộ khung lý thuyết. Kết quả cho thấy xây dựng tiên tiến mang lại nhiều lợi ích như giảm thời gian và chi phí thi công, nhưng cũng tồn tại một số hạn chế như yêu cầu vốn đầu tư lớn và nhân lực có tay nghề cao. Nghiên cứu này có ý nghĩa quan trọng cho các nhà quản lý và nhà hoạch định chính sách trong ngành Xây dựng, giúp họ hiểu rõ hơn về tiềm năng ứng dụng xây dựng tiên tiến tại Việt Nam.

Từ khóa: Xây dựng tiên tiến; xây dựng tiên chế; xây dựng tự động hóa; công nghiệp hóa xây dựng; xây dựng ngoài phạm vi công trường, xây dựng 4.0

ABSTRACT:

The construction industry is currently facing significant challenges, including low productivity and negative environmental impacts. This paper explores the concept of modern methods of construction, aiming to clarify its scope and differentiate it from traditional construction methods. The research aims to develop a four-level model of modern methods of construction, which includes: (1) off-site production, (2) industrialised building, (3) construction using smart digital technologies, and (4) construction automation. While there is a wealth of literature on modern methods of construction, there remains a lack of comprehensive understanding of its various aspects. This study employs a systematic literature review and analysis to establish a theoretical framework. The findings indicate that modern methods of construction offers numerous benefits, such as reduced time and costs, yet also presents challenges, including high initial investment and the need for skilled labour. This research holds significant implications for managers and policymakers in the construction sector, enhancing their understanding of the potential applications of modern methods of construction in Vietnam.

Keywords: Modern methods of construction; prefabrication; construction automation; industrialised building; off-site construction; construction 4.0

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Ngành Xây dựng đóng vai trò quan trọng trong nền kinh tế của các quốc gia, cung cấp cơ sở hạ tầng, tạo điều kiện cho các hoạt động sản xuất, kinh doanh, thương mại, dịch vụ phát triển. Tuy nhiên, ngành xây dựng cũng được coi là một ngành có nhiều vấn đề phải giải quyết, nhất là về tác động môi trường, và đặc biệt là năng suất lao động thấp. Hoạt động xây dựng truyền thống được coi là việc sử dụng các vật liệu xây dựng thô để thi công trực tiếp trên công trường, theo một quy trình truyền thống theo từng giai đoạn, thi công từ nền móng trở lên. Xây dựng truyền thống được đặc trưng bởi việc phụ thuộc quá nhiều vào lao động có tay nghề, từ đó

khiến chi phí nhân công cao lên. Việc phát triển các phương pháp thi công hiện đại, thông minh, tận dụng module hóa, chế tạo sẵn và đào tạo chuyên môn, tiến tới tự động hóa sẽ giúp giảm thiểu nhu cầu lao động, và có khả năng giảm chi phí tổng thể của dự án, nâng cao năng suất và hiệu quả của ngành xây dựng.

Xây dựng tiên tiến, thuật ngữ tiếng Anh là "modern methods of construction" (viết tắt là MMC) là một khái niệm có phạm vi khá rộng được Chính phủ Anh sử dụng lần đầu tiên để mô tả những đổi mới trong xây dựng nhà ở. Khái niệm này bao gồm một loạt các công nghệ, nhiều trong số đó là các phương pháp trong đó hoạt động thi công xây dựng được triển khai bên ngoài công trường thi công,

chuyển việc thực hiện các công việc từ trên công trường sang các xưởng sản xuất [33]. Thuộc danh mục của khái niệm này có các phương pháp như xây dựng mô-đun tích hợp, tiền chế, lắp ráp trước, xây dựng công nghiệp hóa, sản xuất hoặc chế tạo bên ngoài công trường, và nhiều phương pháp xây dựng kết hợp khác nhau [35]. MMC cho phép giải quyết các vấn đề của công trình ngay trong giai đoạn thiết kế, vì hơn 90% hoạt động xây dựng được thực hiện bên ngoài địa điểm thi công [23]. Do đó, các phương pháp xây dựng tiên tiến giúp giải quyết sớm các vấn đề tiềm ẩn và giảm thiểu sự ngẫu hứng trong quá trình thi công. Quá trình công nghiệp hóa các biện pháp thi công cho phép tăng cường tự động hóa hoạt động thi công, từ đó mang lại hiệu quả và đảm bảo việc thi công đúng thời hạn. Đồng thời, xây dựng tiên tiến củng cố tính chuyên môn hóa, chuyên nghiệp hóa của các đơn vị trong ngành xây dựng, từ đó dẫn đến tiêu chuẩn chất lượng cao hơn, nâng cao hiệu quả của ngành.

Tại Vương quốc Anh - nơi đưa ra khái niệm Xây dựng tiên tiến, người ta ước tính có khoảng 25% trong tổng số nhà ở thương mại đưa ra thị trường mỗi năm được triển khai theo các phương pháp Xây dựng tiên tiến [31]. Tại Mỹ, xây dựng tiên chế đã được đưa vào triển khai từ sau Thế chiến thứ Hai, trong đó chủ yếu phục vụ các dự án xây dựng nhà ở, tuy vậy công nghệ xây dựng tiên chế ở giai đoạn đầu có nhiều khuyết điểm và khiến công trình không đạt được hiệu quả như mong muốn [28]. Với sự phát triển của Mô hình thông tin công trình cũng như các công nghệ hỗ trợ khác, xây dựng tiên chế nói riêng và xây dựng tiên tiến nói chung trong thời gian gần đây trở thành tâm điểm nghiên cứu của các nhà khoa học và các doanh nghiệp. Hosseini và cộng sự đã nghiên cứu tổng quan 501 bài báo khoa học nhằm đánh giá trực tiếp của xây dựng tiên tiến, xây dựng tiên chế và rút ra kết luận rằng, cần có nhiều nghiên cứu nữa để thúc đẩy nhận thức đúng đắn và ứng dụng có hiệu quả loại hình công nghệ này [27]. Viện Tiêu chuẩn và Công nghệ Quốc gia Hoa Kỳ nhận định công nghệ “xây dựng theo mô-đun vĩnh cửu” (Permanent modular construction - PMC) là một trong năm ưu tiên hàng đầu để chuyển đổi toàn diện ngành Xây dựng tại quốc gia này [30].

Một số công nghệ của xây dựng tiên tiến cũng đã được giới thiệu và nghiên cứu áp dụng ở Việt Nam. Tuy nhiên, hiểu biết về xây dựng tiên tiến của đa số ngành Xây dựng cũng còn chưa có hệ thống, còn đánh đồng xây dựng tiên tiến với sản xuất tiên chế trong xây dựng, trong khi đó, các phương pháp sản xuất tiên chế chỉ là một nhóm các công nghệ này. Nhận thức về ưu nhược điểm của xây dựng tiên tiến cũng chưa thực sự đầy đủ. Thực trạng này hạn chế việc tiếp cận và tận dụng hiệu quả của xây dựng tiên tiến. Bài báo này giới thiệu khái niệm xây dựng tiên tiến một cách đầy đủ hơn, đồng thời với việc làm rõ các cách tiếp cận về xây dựng tiên tiến hiện đang được áp dụng rộng rãi.

2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

Nghiên cứu này được thực hiện thông qua phương pháp tổng quan tài liệu, nhằm tổng hợp và phân tích một cách toàn diện và có hệ thống các nghiên cứu trước đây về xây dựng tiên tiến. Phương pháp này giúp làm rõ các khái niệm, cách tiếp cận và công nghệ liên quan đến xây dựng tiên tiến, đồng thời hạn chế những thiếu sót có thể gặp phải khi chỉ dựa vào một nguồn tài liệu duy nhất. Quy trình nghiên cứu cụ thể được triển khai như trong Hình 1.



Hình 1. Quy trình nghiên cứu

Cơ sở dữ liệu chính được lựa chọn là Scopus, vì đây là nguồn được coi là cơ sở dữ liệu lớn nhất thế giới về tài liệu khoa học được lập chỉ

mục, bình duyệt [38], lớn hơn cả hệ thống Web of Science [40], do đó chất lượng thông tin được đảm bảo (Bước 1). Tuy nhiên, nguồn dữ liệu này cũng có hạn chế là các nghiên cứu được xuất bản có độ trễ nhất định so với tình hình thực tiễn do quá trình bình duyệt thường khá dài, và không chứa các báo cáo bằng các ngôn ngữ kém phổ biến hơn trong công bố quốc tế, ví dụ tiếng Việt. Việc sử dụng thêm dữ liệu từ các nguồn khác ở các bước sau sẽ giúp khắc phục hạn chế này.

Ở Bước 2, để tối thiểu hóa công sức bỏ ra tìm kiếm tài liệu, nghiên cứu này tìm kiếm các báo cáo nghiên cứu tổng quan đã được xuất bản về chủ đề nghiên cứu trong cơ sở dữ liệu đã chọn để phân tích. Từ khóa sử dụng cho việc tìm kiếm trên cơ sở dữ liệu Scopus bằng tiếng Anh bao gồm “modern methods of construction”, “off-site construction”, “prefabrication”, “premanufacturing”, “industrialized building system”, và “modern methods of construction” cùng với từ “review”. Các thuật ngữ tiếng Việt tương đương của các thuật ngữ trên được sử dụng để tìm kiếm các báo cáo nghiên cứu tổng quan ở Việt Nam. Kết quả thu được danh sách gồm 104 công bố bằng tiếng Anh và không có công bố nào bằng tiếng Việt. Ở Bước 3, các bài báo thu được sẽ được phân tích để tìm hiểu các vấn đề mà nghiên cứu này quan tâm, bao gồm khái niệm, cách tiếp cận và công nghệ hỗ trợ xây dựng tiên tiến. Sau khi lọc bằng cách đọc tiêu đề và tóm tắt các công bố, còn lại 26 bài báo tổng quan có chủ đề liên quan đến các khía cạnh của xây dựng tiên tiến đang được quan tâm gồm khái niệm, cách tiếp cận và công nghệ hỗ trợ. 26 bài báo này sẽ được sử dụng để phân tích. Ở Bước 4, kết quả nghiên cứu được tổng hợp và lập thành báo cáo.

3. KHÁI NIỆM VÀ ƯU NHƯỢC ĐIỂM CỦA XÂY DỰNG TIÊN TIẾN

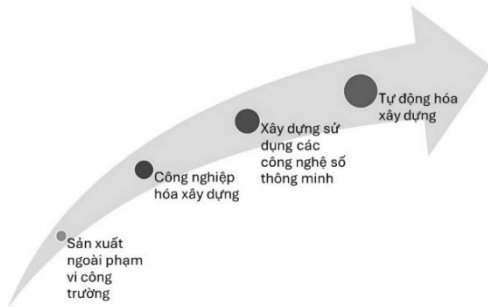
3.1. Khái niệm xây dựng tiên tiến

Lịch sử phát triển được ghi chép lại của khái niệm xây dựng tiên tiến có thể được truy gốc về năm 1624, khi các căn nhà tiên chế được sản xuất từ Vương quốc Anh để chuyển đến khu vực Cape Ann ở bang Massachusetts [37]. Từ đó đến nay, xây dựng tiên tiến không ngừng được phát triển và càng ngày càng có nhiều công nghệ mới được tích hợp vào chủ đề này.

Từ các công bố tổng quan, có thể thấy khái niệm xây dựng tiên tiến, từ gốc tiếng Anh là “modern methods of construction” (nghĩa đen là các phương pháp thi công hiện đại), được phát triển qua bốn giai đoạn. Giai đoạn một là các khái niệm riêng lẻ đầu tiên liên quan đến các hoạt động tiên chế, chế tạo sẵn các cấu kiện, bộ phận công trình trong nhà máy, ở ngoài phạm vi công trường xây dựng, giai đoạn hai là quá trình công nghiệp hóa xây dựng, giai đoạn ba là xây dựng sử dụng các công nghệ số thông minh và giai đoạn bốn là tiến tới tự động hóa xây dựng (Hình 1).

Để giải quyết các vấn đề mà xây dựng truyền thống đang gặp phải, đó là vấn đề năng suất lao động giảm trong hàng nửa thế kỷ qua [6], người ta tìm cách chuyển các công việc ra khỏi phạm vi công trường, ra khỏi đường găng của hoạt động thi công tại chỗ, đến các khu vực lắp ghép hoặc trong các nhà máy để có cơ hội có được năng suất cao hơn, từ đó rút ngắn thời gian thi công, cải thiện hoạt động [21], kết quả này mang lại nhiều lợi ích kéo theo. Việc sản xuất ngoài phạm vi công trường với nhiều mức độ, là giai đoạn một của xây dựng tiên tiến, được tiến hành dựa trên các nền tảng sản xuất tiên chế (premanufacturing), chế tạo sẵn (prefabrication), lắp ghép sẵn (preassembly) và mô-đun hóa (modular), đưa một số hoạt động xây dựng tại công trường về thực hiện trong nhà máy [14]. Đó là các hình thức đầu tiên của xây dựng tiên tiến. Xây dựng ngoài phạm vi công trường (off-site construction), đôi khi được gọi là xây dựng hiện đại ngoài phạm vi công trường (off-site MMC) [32], là một thuật ngữ tương đương với các hình thức này, phổ biến ở Trung Quốc, Hồng Kong, Úc, Đức và Hà Lan [43], và được định nghĩa là “một phương pháp hiện đại trong đó các cấu kiện xây dựng được sản xuất

trong một nhà máy được kiểm soát, thay vì tại công trường” [2]. Nói cách khác, xây dựng ngoài phạm vi công trường được coi là một phương pháp xây dựng tiên tiến, trong đó công trình được chia thành một số các thành phần có thể tiến chế được; các thành phần được sản xuất trong các nhà máy và chuyên chở đến công trường để lắp ghép lại thành công trình. Các thành phần này có thể là các cấu kiện tiền chế, như dầm, cột, sàn, cầu thang, các thành phần được tẩm hóa như panel, hoặc cả các mô đun khối tích hoàn chỉnh, được tạo ra bởi nhiều loại vật liệu như bê tông, thép, gỗ, cũng như các vật liệu composite, được sử dụng cho cả các công trình nhà cửa và hạ tầng kỹ thuật, như Jin, Ruoyu, Shang Gao [21] đã tổng hợp lại.



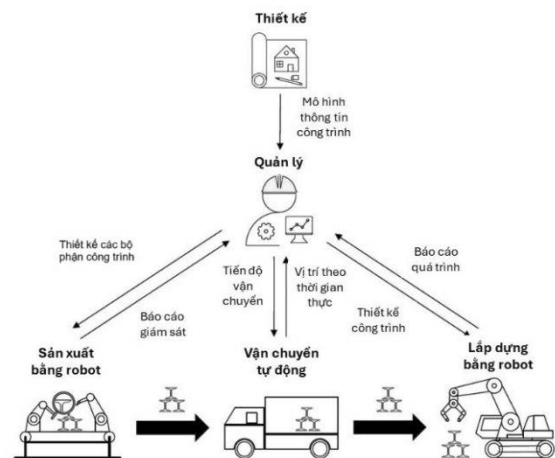
Hình 2. Các giai đoạn trong sự phát triển của “xây dựng tiên tiến”

Tuy nhiên, nếu chỉ chuyển đổi việc sản xuất từ công trường xây dựng ra khỏi phạm vi công trường để đưa vào nhà máy hoặc các khu vực khác, thì trong thực tế lại có thể không mang lại hiệu quả như mong đợi. Đôi khi thời gian tính từ khâu thiết kế cho đến khi lắp dựng xong ngoài công trường lại dài hơn phương pháp truyền thống. Một khảo sát ở Mỹ cho thấy khoảng 50% số dự án có áp dụng sản xuất tiên chế có mức tiết kiệm hao phí lao động khá khiêm tốn, chỉ nhỏ hơn 5% [43]. Một số báo cáo còn chỉ ra là chi phí của các tòa nhà tiền chế cao hơn các tòa nhà xây dựng bằng phương pháp truyền thống từ 26,3% đến 72,1% [1]. Đó là lý do người ta phải quan tâm hơn đến tính hệ thống của sản xuất ngoài phạm vi công trường, tăng cường sản xuất đại trà, và từ đó xuất hiện Hệ thống Xây dựng công nghiệp hóa (Industrialized Building system - IBS).

Khái niệm được thừa nhận rộng rãi nhất của IBS là do Ủy ban Phát triển ngành Công nghiệp Xây dựng của Malaysia (Construction Industry Development Board - CIDB) đề xuất. CIDB định nghĩa rằng IBS là “một hệ thống hoặc phương pháp xây dựng công trình mà theo đó, các bộ phận công trình được sản xuất trong một điều kiện đã được kiểm soát (trong nhà máy hoặc trên công trường), sau đó được vận chuyển và lắp dựng trong quá trình thi công sao cho sử dụng tối thiểu nhân công tại công trường” [11]. IBS không giới hạn việc triển khai sản xuất xây dựng ở phạm vi ngoài công trường (trong nhà máy) như xây dựng tiền chế. IBS bao gồm cả việc sản xuất, chế tạo các bộ phận công trình trên công trường xây dựng, miễn là việc sản xuất, chế tạo được công nghiệp hóa nhằm kiểm soát tốt hơn và giảm thiểu việc sử dụng nhân công, có nghĩa là tăng mức cơ giới hóa. IBS là một quy trình sáng tạo để tạo nên các bộ phận công trình thông qua sản xuất hàng loạt trong hệ thống công nghiệp hóa, là môi trường được kiểm soát chặt chẽ, bao gồm quy trình hậu cần có tổ chức và các quá trình lắp đặt tại chỗ với các kế hoạch và hoạt động quản lý có hệ thống [45]. Từ việc tăng mức cơ giới hóa, IBS cũng đang tiến dần đến việc tự động hóa ngày càng cao. Gamuda - một trong những nhà thầu thi công lớn nhất tại Malaysia - đang triển khai IBS vào các dự án và ứng dụng hàng loạt công nghệ số tiên tiến như Trí tuệ nhân tạo, Mô hình thông tin công trình, thực tế ảo (VR), thực tế tăng cường (AR)... thông qua việc giới thiệu giải pháp IBS thế hệ mới (Next-Gen Digital IBS) [12], tiếp cận đến xây dựng sử dụng các công nghệ số thông minh.

Với cuộc cách mạng 4.0, ngày càng nhiều công nghệ số được sử dụng trong xây dựng, dẫn đến giai đoạn xây dựng sử dụng các công nghệ số thông minh. Wang, Mudan, Cynthia Changxin Wang [43] đã chỉ ra hoạt động tiên chế hiện nay đã được hỗ trợ bởi rất nhiều công nghệ số, như Mô hình hóa thông tin công trình (BIM), các thiết bị nhận dạng tần số vô tuyến điện (RFID), hệ thống định vị toàn cầu (GPS), Internet vạn vật (IoT), hệ thống thông tin địa lý (GIS), cảm biến, thực tế tăng cường, thực tế ảo, đo quang, quét laser, trí thông minh nhân tạo, in 3D, robot, dữ liệu lớn và chuỗi khối. Trong thực tế, công nghệ robot đã được đề xuất từ khá sớm, từ năm 1985, với mục tiêu hạn chế các ảnh hưởng tiêu cực của việc sử dụng nhân công, như nghỉ làm, sai lỗi do con người, lười nhác và tai nạn lao động dẫn đến thương tật [8]. Các kết quả khả quan dẫn đến việc ứng dụng công nghệ số ngày càng rộng rãi hơn trong xây dựng tiên tiến ở cấp độ này. Các công nghệ số mới được giới thiệu giúp giải quyết thêm nhiều vấn đề về quản trị logistics, đảm bảo luồng thông tin gần như theo thời gian thực, minh bạch hóa chuỗi cung ứng, cải thiện tương tác của các bên [43].

Tự động hóa xây dựng có thể coi là mức độ phát triển cao nhất của xây dựng tiên tiến hiện nay. Một cách tổng thể, hoạt động xây dựng được triển khai cả ở ngoài phạm vi công trường và trên công trường, bao gồm các giai đoạn thiết kế, sản xuất, vận chuyển và thi công/lắp dựng. Tự động hóa xây dựng bắt đầu bằng việc thiết kế sử dụng mô hình thông tin công trình và các giải pháp thiết kế có sự hỗ trợ của máy tính. Thiết kế của các bộ phận công trình được chuyển đến robot để tiến hành sản xuất. Việc vận chuyển các bộ phận công trình đã được sản xuất đến nơi lắp dựng cũng được thực hiện bằng các phương tiện vận chuyển tự động. Các bộ phận công trình sau đó được lắp dựng tự động bằng robot. Các hoạt động trên được quản lý thông qua các báo cáo giám sát quá trình sản xuất, tiến độ vận chuyển, phương tiện vận chuyển được giám sát vị trí theo thời gian thực, đồng thời thông tin thiết kế công trình cần được truyền tải đầy đủ và kỹ lưỡng sang giai đoạn lắp dựng, là giai đoạn cũng cần được giám sát chặt chẽ. Hình 2 mô tả khái niệm và thành phần của xây dựng tự động hóa [8]. Tuy nhiên, tự động hóa xây dựng hiện nay vẫn còn đang trong quá trình phát triển và chưa thực sự được triển khai rộng rãi.



Hình 2. Khái niệm và thành phần của tự động hóa xây dựng [8]

3.2. Ưu, nhược điểm của xây dựng tiên tiến

Xây dựng tiên tiến có nhiều ưu điểm so với xây dựng truyền thống. Một số ưu điểm nổi bật của xây dựng tiên tiến gắn chặt với việc sản xuất/thi công không thực hiện trên công trường xây dựng, mà ở các xưởng hoặc nhà máy, đó là giảm thời gian và chi phí thi công, giảm thiểu việc lãng phí nguồn lực, và cải thiện năng suất tổng thể của các dự án [43]. Bảng 1 tổng hợp đầy đủ hơn các ưu

điểm mà các phương pháp xây dựng tiên tiến mang lại, được các nghiên cứu trước đề cập đến.

Bảng 1. Ưu điểm của xây dựng tiên tiến

STT	Ưu điểm	Nguồn
1	Đảm bảo mức độ chắc chắn của chi phí dự án	[7], [3]
2	Tối thiểu hóa chi phí thi công	[34, 36, 42]
3	Tối thiểu hóa chi phí xây dựng tổng thể	[5, 15]
4	Giảm thiểu hao phí lao động	[13, 42]
5	Tối thiểu thời gian thi công trên công trường	[10, 18, 26]
6	Tối thiểu thời gian tổng thể dự án	[16, 42]
7	Cải thiện năng suất	[15, 18]
8	Chất lượng tốt hơn	[16, 18, 36]
9	Giảm thiểu các rủi ro về sức khỏe và an toàn trên công trường	[5, 10, 15, 25, 34]
10	Giảm thiểu các tác động môi trường trên công trường	[7, 13, 18, 22, 25, 36]
11	Giảm thiểu tắc nghẽn, chướng ngại trên công trường	[22]
12	Tích lũy kinh nghiệm và thành thạo các phương pháp xây dựng mới	[4]

Tuy nhiên, các phương pháp xây dựng tiên tiến cũng có những nhược điểm nhất định cần nhận thức rõ khi ra quyết định áp dụng. Bảng 2 tổng kết một số nhược điểm nổi bật từ các nghiên cứu trước.

Bảng 2. Nhược điểm của xây dựng tiên tiến

STT	Nhược điểm	Nguồn
1	Tăng chi phí ban đầu của dự án	[5, 16, 19, 20, 22, 41, 44]
2	Hạn chế về phương tiện vận chuyển	[17, 19, 22, 41, 44]
3	Yêu cầu nguồn nhân lực có nguồn cung hạn chế hoặc nhân lực có tay nghề cao, lương cao	[10, 16, 17, 24]
4	Khó có định thiết kế đủ sớm để bắt đầu việc sản xuất trong nhà máy	[20, 41]
5	Yêu cầu khối lượng đủ lớn để sản xuất ngoài phạm vi công trường có hiệu quả	[5]
6	Các thành viên của nhóm dự án chưa có kinh nghiệm về mô đun hóa sẽ gặp khó khăn khi triển khai	[13, 20, 42]
7	Trách nhiệm phải làm việc với chuỗi cung ứng đã xác định	[44]
8	Văn hóa đơn vị chưa tiếp nhận được khía cạnh thi công ngoài phạm vi công trường	[19, 20, 34, 42]
9	Đòi hỏi các công việc được phối hợp rất lâu dài	[13, 19, 22, 44]

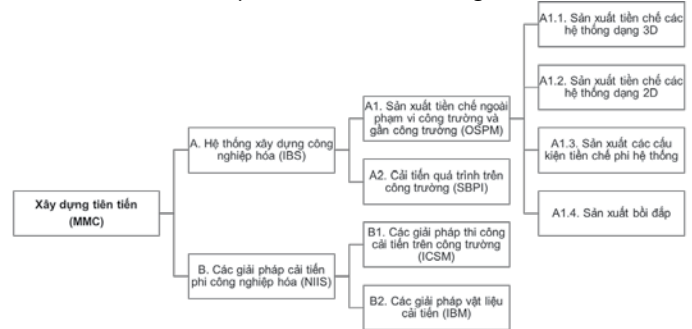
4. CÁC CÁCH TIẾP CẬN TRIỂN KHAI XÂY DỰNG TIÊN TIẾN HIỆN NAY

Theo kết quả phân loại gần đây của Sánchez-Garrido, Antonio J., Ignacio J. Navarro [37], mức độ ứng dụng hiện tại của xây dựng tiên tiến có thể được chia ra hai cách tiếp cận chính: A. Hệ thống xây dựng công nghiệp hóa (Industrialized Building System - IBS) và B. Các giải pháp cải tiến phi công nghiệp hóa (Non-Industrialized Innovation Solution - NIIS).

Theo các tác giả trên, cách tiếp cận Hệ thống xây dựng công nghiệp hóa (IBS) được chia thành hai nhóm chính: A1. Sản xuất tiên chế ngoài phạm vi công trường và gần công trường (Off-site & near site premanufacturing - OSPM) và A2. Cải tiến quá trình trên công trường (Site-based process improvement - SBPI) [37] hoặc có tên gọi cũ là "các phương pháp thi công hiện đại trên công trường" (Non-offsite modern methods of construction) [29], để phân biệt với nhóm A1.

Nhóm A1 cũng được gọi là "chế tạo sẵn" (prefabrication), hoặc có thể được gọi dưới các tên khác cụ thể hơn như "chế tạo sẵn ngoài phạm vi công trường" (off-site construction - OSC), "sản xuất tiên chế ngoài phạm vi công trường" (off-site manufacturing - OSM), hay "chế tạo sẵn ngoài phạm vi công trường" (off-site prefabrication - OSP). Nhóm này bao gồm bốn cách tiếp cận chính là sản xuất tiên chế các hệ thống dạng 3D (3D primary structural systems) (A1.1), sản xuất tiên chế các hệ thống dạng 2D (2D primary structural systems) (A1.2), sản xuất các cấu kiện

tiên chế phi hệ thống (premanufacturing non-systemized components) (A1.3) và sản xuất bồi đắp (additive manufacturing) (A1.4) (Hình 3).



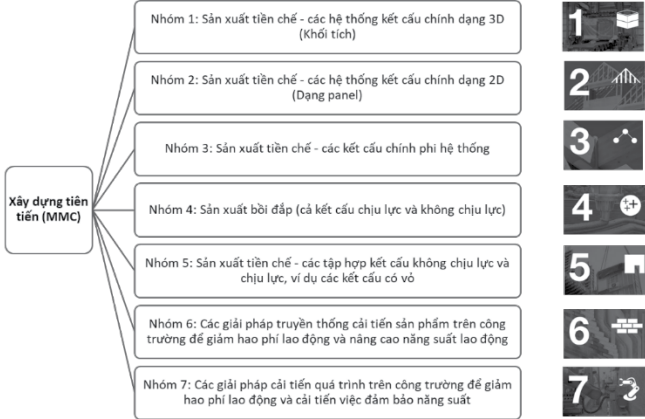
Hình 3. Các cách tiếp cận chính của xây dựng tiên tiến, Nguồn: [37]

Các hệ thống dạng 3D (A1.1) đã được sản xuất trên thế giới thuộc loại xây dựng tiên tiến thường là một hạng mục công trình hoàn chỉnh như nhà di động (A1.1.1), các công trình di động - có thể di dời sang địa điểm khác như nhà công te nơ, các ca bin di động (A1.1.2), hoặc các hệ thống hoàn chỉnh có khối tích của công trình như các phòng học, phòng thí nghiệm, đơn vị cơ sở vật chất y tế, kho, nhà ở v.v... (A1.1.3). Các hệ thống dạng 2D (A1.2), thường là các kết cấu không tự mình tạo ra khối tích sử dụng cho công trình, như các thành phần không có khối tích (non-volumetric units) bao gồm các kết cấu khung (A1.2.1), các kết cấu tăng cường hoặc bao che như các lớp cách nhiệt, các hệ thống ốp, cửa đi, cửa sổ, mái v.v.. (A1.2.2) hoặc các kết cấu dạng panel (panelist systems) (A1.2.3). Việc sản xuất các đơn vị bán khối tích hay hỗn hợp (hybrid construction hay semi-volumetric) được coi là nằm giữa nhóm A1.1 và A1.2. Nhóm các kết cấu tiên chế phi hệ thống (A1.3) cũng được chia ra làm ba nhóm nhỏ. Nhóm thứ nhất là các kết cấu chính (A1.3.1) như kết cấu cọc, đài cọc, dầm vòng, cột, dầm, tường bê tông liên khối (shear walls), bản sàn, các cấu kiện tích hợp giữa cột, dầm, sàn, cầu thang, kết cấu mái hay cấu trúc trên vòm - tường lửng. Nhóm thứ hai (A1.3.2) là các tập hợp có vỏ, có khối tích (volumetric poded assemblies). Nhóm này gồm các tập hợp để lắp dựng được một phòng tắm hoàn chỉnh, các tập hợp của các cấu trúc trong bếp, các hệ thống điện, nước trong một hạng mục đơn vị xây dựng hoặc các tập hợp kết hợp của các tập hợp nói trên. Nhóm thứ ba (A1.3.3) là các tập hợp dạng panel hoặc tuyến tính (panelized/linear assemblies). Nhóm này bao gồm các tập hợp mặt đứng (façade assemblies), mái, hệ thống điện, nước được lắp đặt vào một hạng mục đơn vị, các tấm sàn, vách ngăn, khung cửa. Như thế, nhóm các kết cấu tiên chế phi hệ thống bao gồm các tập hợp được sản xuất tiên chế nhưng chưa được lắp ráp thành hệ thống hoàn chỉnh (chưa thành hệ thống), chúng sẽ được lắp ráp tiếp với các tập hợp khác tại công trường để hình thành hệ thống hoàn chỉnh. Hoạt động sản xuất bồi đắp (in 3D hay additive manufacturing) (A1.4) có thể sử dụng cho hai nhóm là các kết cấu chính và các kết cấu khác.

Nhóm A2 gồm các giải pháp cải tiến các hoạt động tiên thi công, các công tác chuẩn bị để tạo điều kiện thuận lợi cho việc thi công trên công trường, ví dụ như việc thiết kế các cấu kiện có kích thước lớn hơn hoặc để việc triển khai các mối nối trên công trường thuận tiện hơn, sử dụng các kết cấu chống đỡ tạm được module hóa v.v... Nhóm B bao gồm các giải pháp thi công cải tiến trên công trường (innovation on-site construction methods - ICSM) (B1) và các giải pháp vật liệu cải tiến như cấu trúc tường đôi (elesdopa), bê tông khí chưng áp có thép gia cường chống gỉ như Ytong hoặc các kết cấu nhẹ khác, gỗ ép chéo, kết cấu đất nện, bọt nhôm v.v... (B2). Tuy nhiên, việc phân chia các cách tiếp cận như trên còn chưa triệt để. Cụ thể, rất khó để phân biệt cách tiếp cận nhóm A2 và nhóm B1, vì đều là các hoạt động cải tiến liên quan đến việc thi công cả. Tương

tự, ở nhóm B1 cũng có một số loại vật liệu mới, lại có thể coi là thuộc phạm vi của nhóm B2.

Chính phủ Ailen có một cách phân loại khác triệt để hơn, theo đó, có bảy cách tiếp cận khác nhau về xây dựng tiên tiến (Hình 4).



Hình 4. Các cách tiếp cận xây dựng tiên tiến theo Chính phủ Ailen (Nguồn: điều chỉnh từ [9])

Nhóm 1 theo cách tiếp cận của Ailen là tương tự như nhóm A1.1 của cách tiếp cận theo các tác giả Sánchez-Garrido, Antonio J., Ignacio J. Navarro [37]. Một kết cấu khối tích phổ biến thường được chế tạo sẵn ở Ailen là đơn vị nhà ở dạng khối tích (Hình 5). Đơn vị nhà ở dạng khối tích là các đơn vị không gian ba chiều được sản xuất trong nhà máy và sẽ được vận chuyển đến lắp đặt tại địa điểm xây dựng. Cách tiếp cận của nhóm này là sản xuất các kết cấu có cả mái che [9].



Hình 5. Một đơn vị dạng khối tích thuộc Nhóm 1 (trái) và tấm panen hai chiều thuộc Nhóm 2 (phải), Nguồn: [9]

Mức độ hoàn thiện của một đơn vị nhà ở có thể dao động từ trạng thái chỉ có các kết cấu chính cho đến việc lắp đặt đầy đủ các hệ thống kỹ thuật của công trình, sẵn sàng để sử dụng. Một số đơn vị khối tích có thể được liên kết lại để tạo thành một ngôi nhà, hoặc người ta cũng có thể sản xuất một đơn vị khối tích như một nhà ở nhỏ hoàn chỉnh. Chúng cũng có thể được kết hợp với các dạng công trình khác như mái tiền chế hoặc các đơn vị nhà tắm (kết cấu có vỏ).

Nhóm 2 giống với cách tiếp cận A1.2. Các kết cấu hai chiều dạng panel được sử dụng để làm các tấm kết cấu, ví dụ như tấm tường. Các kết cấu điển hình bao gồm các loại tường panen được sản xuất bằng nhiều vật liệu khác nhau trong nhà máy và được lắp dựng tại công trường để tạo thành các căn nhà hay căn hộ hoàn chỉnh (Hình 5). Các tấm panen điển hình bao gồm các tấm tường, mái và sàn, các lớp cách nhiệt, các lớp lót và các tấm ốp, cửa sổ, mái và cửa đi, được chế tạo từ gỗ, khung thép nhẹ (Light Gauge Steel Frame - LGSF), tấm bê tông đúc sẵn và tấm cách nhiệt kết cấu (Structurally-Insulated Panels - SIP), hoặc gỗ dán chéo (Cross Laminated Timber - CLT).

Nhóm 5 bao gồm các các tập hợp kết cấu lắp ghép và tập hợp lắp ghép phụ chế tạo sẵn như hệ thống tường ngăn, các tập hợp hoàn thiện mái chống chịu thời tiết hoặc cách nhiệt, và thành phần lắp ghép khối tích không chịu lực (pod), thường được sử dụng cho nhà bếp và phòng tắm. Nhóm 7 là các công nghệ và cách tiếp cận tiên tiến được triển khai trên công trường, bao gồm việc sử dụng máy bay không người lái, robot và ván khuôn bê tông cách nhiệt. Các công nghệ này hỗ trợ việc cải tiến các hoạt động xây dựng trên

công trường. Các ứng dụng thực tế của các công nghệ thuộc Nhóm 7 bao gồm các giải pháp chống chịu thời tiết, các công trình được tiêu chuẩn hóa (chẳng hạn như ván khuôn bê tông cách nhiệt - là khuôn để tạo hình và đổ bê tông), mô hình ảo của các tòa nhà (mô hình BIM), các công nghệ thực tế ảo và tăng cường để trực quan hóa các kết quả khi lập kế hoạch và khi hoàn thành, các công cụ kỹ thuật số như robot, máy bay không người lái, cần cẩu và máy đào không người lái. Hình 6 thể hiện ví dụ sử dụng ván khuôn bê tông cách nhiệt cho một ngôi nhà ở Ailen.



Hình 6. Tường ngoài của một ngôi nhà sử dụng ván khuôn bê tông cách nhiệt (trái) với khoảng trống giữa hai lớp sẽ được chèn bê tông, và bức tường sau khi đã được chèn bê tông (phải), Nguồn: [9]

5. KẾT LUẬN

Xây dựng tiên tiến là một xu hướng đã được phát triển từ khoảng bốn mươi năm trở lại và vẫn còn được tiếp tục phát triển cho đến nay. Có rất nhiều phương pháp, giải pháp đã được đề xuất và áp dụng trong thực tiễn có thể coi là thuộc xu hướng này, trong đó đặc biệt nổi lên các giải pháp và công nghệ đưa sản xuất xây dựng từ công trường ra khỏi công trường và/hoặc vào nhà máy sản xuất công nghiệp. Các phương pháp xây dựng tiên tiến đã được chứng minh là có nhiều ưu điểm, đặc biệt là mang lại hiệu quả cho hoạt động xây dựng, với 12 ưu điểm điển hình như bài báo đã chỉ ra. Tuy nhiên, các phương pháp này cũng có những nhược điểm nhất định khi áp dụng trong điều kiện hiện nay, đặc biệt là các yêu cầu cao về vốn, nhân lực, cách triển khai và phối hợp, việc vận chuyển các cấu kiện/thành phẩm đến công trường v.v..

Trên cơ sở khảo sát, nghiên cứu các nghiên cứu trước cùng với việc đánh giá xu thế phát triển của ngành xây dựng, bài báo đã vẽ được bức tranh về sự phát triển theo bốn giai đoạn của xây dựng tiên tiến, bao gồm bốn cấp độ: (1) Sản xuất ngoài phạm vi công trường, (2) Công nghiệp hóa xây dựng, (3) Xây dựng sử dụng các công nghệ số thông minh và (4) Tự động hóa xây dựng. Tại thời điểm này, xây dựng tiên tiến chưa đạt được cấp độ 4 một cách rộng rãi, tuy nhiên, cùng với cuộc cách mạng công nghiệp 4.0 và cách mạng xã hội 5.0, ngành Xây dựng thế giới hứa hẹn sẽ tiếp cận cấp độ này rất nhanh.

Bài báo đã giải quyết vấn đề làm rõ hơn về nội hàm của xây dựng tiên tiến, phân biệt xây dựng tiên tiến với một nhóm các giải pháp chuyển việc thi công xây dựng ra khỏi công trường, vốn chỉ là một phần của xây dựng tiên tiến đang được áp dụng rộng rãi trên thế giới. Từ đó, việc nghiên cứu áp dụng xây dựng tiên tiến trong các điều kiện cụ thể, như ở ngữ cảnh Việt Nam, có thể có được hiệu quả tổng thể. Với sự hội nhập nhanh chóng của ngành công nghiệp xây dựng trong nước với khu vực và quốc tế, đồng thời với việc tiếp nhận chủ động các tiến bộ khoa học kỹ thuật của cách mạng công nghiệp 4.0 và cách mạng xã hội 5.0, xây dựng tiên tiến chắc chắn sẽ được ứng dụng rộng rãi ở nước ta trong thời gian tới. Từ đó, ngành Xây dựng Việt Nam có thể giải quyết bớt các hạn chế hiện có về năng suất, chất lượng, thu hút nguồn nhân lực, góp phần tốt hơn vào công cuộc hiện đại hóa đất nước, đóng góp sâu rộng hơn vào sự phát triển kinh tế - xã hội của quốc gia.

Do khuôn khổ có hạn, bài báo chỉ bàn luận được hai vấn đề chính đó là khái niệm của xây dựng tiên tiến và các cách tiếp cận về xây dựng tiên tiến phổ biến hiện nay. Các vấn đề có liên quan khác như công nghệ, vật liệu, công cụ và kỹ thuật sẽ được tiếp cận ở các nghiên cứu tiếp theo.

Lời cảm ơn

Nghiên cứu này là một phần kết quả của dự án được triển khai bởi Trường Đại học Xây dựng Hà Nội và Đại học Tổng hợp Salford, Vương quốc Anh, thuộc chương trình Sáng kiến hợp tác giáo dục Vương quốc Anh - Trung Quốc, do Hội đồng Anh - Trung Quốc tài trợ.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- Arashpour, Mehrdad và các cộng sự. (2018), "Optimization modeling of multi-skilled resources in prefabrication: Theorizing cost analysis of process integration in off-site construction", *Automation in Construction*. 95, tr. 1-9.
- Arashpour, Mehrdad và các cộng sự. (2018), "Optimal process integration architectures in off-site construction: Theorizing the use of multi-skilled resources", *Architectural Engineering and Design Management*. 14(1-2), tr. 46-59.
- Attouri, Emna và các cộng sự. (2022), "The current use of industrialized construction techniques in France: Benefits, limits and future expectations", *Cleaner Engineering and Technology*. 7, tr. 100436.
- Balali, Wahid, Zahraie, Banafsheh và Roozbahani, Abbas (2014), "Integration of ELECTRE III and PROMETHEE II decision-making methods with an interval approach: Application in selection of appropriate structural systems", *Journal of Computing in Civil Engineering*. 28(2), tr. 297-314.
- Blismas, Nick G và các cộng sự. (2005), "Constraints to the use of off-site production on construction projects", *Architectural engineering and design management*. 1(3), tr. 153-162.
- Bock, Thomas (2015), "The future of construction automation: Technological disruption and the upcoming ubiquity of robotics", *Automation in construction*. 59, tr. 113-121.
- Bowden, Sarah và các cộng sự. (2006), "Mobile ICT support for construction process improvement", *Automation in construction*. 15(5), tr. 664-676.
- Chea, Cheav Por và các cộng sự. (2020), "An integrated review of automation and robotic technologies for structural prefabrication and construction", *Transportation Safety and Environment*. 2(2), tr. 81-96.
- Chính phủ Ailen (2023), *Modern Methods of Construction Introductory Guide*.
- Choi, Jin Ouk, Chen, Xing Bin và Kim, Tae Wan (2019), "Opportunities and challenges of modular methods in dense urban environment", *International journal of construction management*. 19(2), tr. 93-105.
- CIDB (2024), *Industrialised Building System (IBS). What Is IBS*, truy cập ngày, tại trang web <https://www.cidb.gov.my/eng/ibs/#apakahibs>.
- Gamuda (2024), *Next-Gen Digital IBS*, chủ biên.
- Gan, Xiaolong, Chang, Ruidong và Wen, Tao (2018), "Overcoming barriers to off-site construction through engaging stakeholders: A two-mode social network analysis", *Journal of Cleaner Production*. 201, tr. 735-747.
- Gibb, Alistair GF (1999), *Offsite Fabrication: Prefabrication, Preassembly and Modularisation*, John Wiley & Sons.
- Gibb, Alistair và Isack, Frank (2003), "Re-engineering through pre-assembly: client expectations and drivers", *Building research and information*. 31(2), tr. 146-160.
- Goodier, Chris và Gibb, Alistair (2007), "Future opportunities for offsite in the UK", *Construction Management and Economics*. 25(6), tr. 585-595.
- Hanna, Awad S, Mikhail, George và Iskandar, Karim A (2017), "State of prefab practice in the electrical construction industry: Qualitative assessment", *Journal of Construction Engineering and Management*. 143(2), tr. 04016097.
- Hu, Xin và các cộng sự. (2019), "Understanding stakeholders in off-site manufacturing: A literature review", *Journal of construction engineering and management*. 145(8), tr. 03119003.
- Hwang, Bon-Gang, Shan, Ming và Looi, Kit-Ying (2018), "Key constraints and mitigation strategies for prefabricated prefabricated volumetric construction", *Journal of cleaner production*. 183, tr. 183-193.
- Jaillon, Lara và Poon, Chi-Sun (2009), "The evolution of prefabricated residential building systems in Hong Kong: A review of the public and the private sector", *Automation in Construction*. 18(3), tr. 239-248.
- Jin, Ruoyu và các cộng sự. (2018), "A holistic review of off-site construction literature published between 2008 and 2018", *Journal of cleaner production*. 202, tr. 1202-1219.
- Kamali, Mohammad và Hewage, Kasun (2017), "Development of performance criteria for sustainability evaluation of modular versus conventional construction methods", *Journal of cleaner production*. 142, tr. 3592-3606.
- laili Jabar, Izatul, Ismail, Faridah và Mustafa, Amiatul Aiza (2013), "Issues in managing construction phase of IBS projects", *Procedia-Social and Behavioral Sciences*. 101, tr. 81-89.
- Lau, Chung Him và các cộng sự. (2019), "The challenges of adopting new engineering contract: A Hong Kong study", *Engineering, construction and architectural management*. 26(10), tr. 2389-2409.
- Li, Long và các cộng sự. (2020), "A new framework of industrialized construction in China: Towards on-site industrialization", *Journal of Cleaner Production*. 244, tr. 118469.
- Lu, Na (2009), The current use of offsite construction techniques in the United States construction industry, *Construction research congress 2009: Building a sustainable future*, Ariaratnam, Samuel T. và Rojas, Eddy M., chủ biên, The American Society of Civil Engineers, Seattle, Washington, tr. 946-955.
- M.R. Hosseini, I. Martek, E.K. Zavadskas, A.A. Aibinu, M. Arashpour, N. Chileshe, (2018), "Critical evaluation of off-site construction research: a Scientometric analysis", *Automation in Construction*. 87, tr. 235-247.
- Mohamad Razkenari, Andriel Fenner, Alireza Shojaei, Hamed Hakim, Charles Kibert (2020), "Perceptions of offsite construction in the United States: An investigation of current practices", *Journal of Building Engineering*. 29.
- NHBC (2006), *A Guide to Modern Methods of Construction*, NHBC Foundation Milton Keynes.
- NIST (2014), *Report of the Results of the 2014 Offsite Construction Industry Survey*.
- Office, NAO - National Audit (2005), Using modern methods of construction to build homes more quickly and efficiently, chủ biên.
- Pan, Wei, Gibb, Alistair G.F. và Dainty, Andrew R.J. (2007), "Perspectives of UK housebuilders on the use of offsite modern methods of construction", *Construction Management and Economics*. 25(2), tr. 183 - 194.
- Pan, Wei, Gibb, Alistair GF và Dainty, Andrew RJ (2007), "Perspectives of UK housebuilders on the use of offsite modern methods of construction", *Construction management and Economics*. 25(2), tr. 183-194.
- Qi, Bing và các cộng sự. (2020), "Investigating US industry practitioners' perspectives towards the adoption of emerging technologies in industrialized construction", *Buildings*. 10(5), tr. 85.
- Rahman, M Motiar (2014), "Barriers of implementing modern methods of construction", *Journal of management in engineering*. 30(1), tr. 69-77.
- Rashidi, Ali và Ibrahim, Rahinah (2017), "Industrialized construction chronology: The disputes and success factors for a resilient construction industry in Malaysia", *The Open Construction and Building Technology Journal*. 11(1).
- Sánchez-Garrido, Antonio J. và các cộng sự. (2023), "A systematic literature review on modern methods of construction in building: An integrated approach using machine learning", *Journal of Building Engineering*. 73, tr. 106725.
- Schotten, Michiel và các cộng sự. (2017), "A brief history of Scopus: The world's largest abstract and citation database of scientific literature", *Research analytics*, Auerbach Publications, tr. 31-58.
- Seffar, N và Abbott, C (2017), The use of offsite construction method to reconstruct Iraq, *Proceedings, 13th Int. Postgraduate Research Conference*, Salford, UK.
- Singh, Vivek Kumar và các cộng sự. (2021), "The journal coverage of Web of Science, Scopus and Dimensions: A comparative analysis", *Scientometrics*. 126, tr. 5113-5142.
- Sun, Yanhui và các cộng sự. (2020), "Constraints hindering the development of high-rise modular buildings", *Applied Sciences*. 10(20), tr. 7159.
- Tam, Vivian WY, Tam, Chi Ming và Ng, William CY (2007), "On prefabrication implementation for different project types and procurement methods in Hong Kong", *Journal of Engineering, Design and Technology*. 5(1), tr. 68-80.
- Wang, Mudan và các cộng sự. (2020), "A systematic review of digital technology adoption in off-site construction: Current status and future direction towards industry 4.0", *Buildings*. 10(11), tr. 1-29.
- Wuni, Ibrahim Yahaya và Shen, Geoffrey Qiping (2020), "Barriers to the adoption of modular integrated construction: Systematic review and meta-analysis, integrated conceptual framework, and strategies", *Journal of Cleaner Production*. 249, tr. 119347.
- Zairul, Mohd (2021), "A thematic review on Industrialised Building System (IBS) publications from 2015-2019: Analysis of patterns and trends for future studies of IBS in Malaysia", *Pertanika journal of social science and humanities*. 29(1), tr. 635-652.