Journal of Structural and Construction Engineering, 11(7), 2024, pp. 79-98

Journal of Structural and Construction Engineering

www.jsce.ir

Investigating the impact of using Building Information Modeling on reducing barriers to Off Site Manufacturing in construction projects

Peyman Samadi[1], Mojtaba Azizi[2]*, Mohammad Hossein Sobhiyah [3]

1- Master's degree, Department of Art & Architecture, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran
2- Assistant professor, Department of Art & Architecture, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran
3- Associate professor, Department of Art & Architecture, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

ABSTRACT

Currently, the construction industry is widely criticized for its lack of proper productivity. The use of modern construction methods has great importance due to increasing the quality and speed of projects. Utilizing advanced technology tools to carry out projects will lead to improved project productivity. One of the new manufacturing methods is Off-Site Manufacturing. Using this method in construction projects can bring many benefits such as increasing productivity, reducing construction time, providing higher quality, better control, reducing construction and construction risks to the environment. At present in Iran, due to the existence of various challenges and obstacles and the lack of full enjoyment of all the advantages and capacities of Off-Site Manufacturing, no effective action has been taken to increase its use. The use of building information modeling technology can have a significant impact on improving the use and implementation of Off-Site Manufacturing. For this reason, the present study will investigate the effect of BIM on solutions to reduce barriers to Off-Site Manufacturing. In this research, by conducting past literature studies, first the barriers of Off-Site Manufacturing and BIM applications were identified. Then, by conducting interviews with experts in the construction industry, the identified barriers have been modified and solutions to eliminate and reduce them. It also identifies how BIM's effect on identified solutions. In the end, it was found that the use of BIM along with Off-Site Manufacturing, can have a significant impact on improving the performance of this.

ARTICLE INFO

Receive Date: 17 January 2023
Revise Date: 21 November 2023
Accept Date: 25 January 2024

Keywords:
Productivity
Off-Site Manufacturing
Industrial construction
Prefabrication construction
Building Information Modeling

All rights reserved to Iranian Society of Structural Engineering.

doi: https://doi.org/10.22065/jsce.2024.381896.3016

*Corresponding author: Mojtaba Azizi.
Email address: azizi.pm@modares.ac.ir

نشریه مهندسی سازه و ساخت
(علمی - پژوهشی)
www.jsce.ir

بررسی تأثیر استفاده از مدل‌سازی اطلاعات ساختمان بر کاهش موانع روش ساخت و ساز خارج از کارگاه در پروژه‌های ساختمانی

پیمان صمدی[۱]، مجتبی عزیزی[۲*]، محمدحسین صبحیه[۳]

۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد، دانشکده هنر و معماری، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

۲-استادیار، دانشکده هنر و معماری، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

۳-دانشیار، دانشکده هنر و معماری، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

چکیده

در حال حاضر صنعت ساختمان‌سازی به دلیل عدم بهره‌وری مناسب بسیار مورد انتقاد است. استفاده از روش‌های نوین ساخت به سبب افزایش کیفیت و افزایش سرعت انجام پروژه‌ها از اهمیت بالایی برخوردار است. بهره‌گیری از ابزار پیشرفته فناوری برای انجام پروژه‌ها، منجر به بهبود بهره‌وری پروژه خواهد شد. یکی از روش‌های نوین ساخت، روش تولید و ساخت خارج از کارگاه می‌باشد. استفاده از این روش در پروژه‌های ساختمانی می‌تواند مزایای بسیاری از قبیل افزایش بهره‌وری، کاهش زمان ساخت‌وساز، کیفیت بالاتر و... را به همراه آورد. در حال حاضر در ایران، به دلیل وجود چالش‌ها و موانع گوناگون و عدم بهره‌مندی کامل از تمام مزایا و ظرفیت‌های روش تولید و ساخت خارج از کارگاه، اقدام مؤثری به منظور افزایش استفاده از آن صورت نگرفته است. استفاده از فناوری مدلسازی اطلاعات ساختمان می‌تواند تأثیر بسزایی در بهبود بکارگیری و اجرای روش تولید و ساخت خارج از کارگاه داشته باشد. به همین دلیل تحقیق پیش رو به بررسی تأثیر BIM در راهکارهای کاهش موانع روش تولید و ساخت خارج از کارگاه خواهد پرداخت. در این تحقیق با انجام مطالعات ادبیات گذشته ابتدا موانع روش تولید و ساخت خارج از کارگاه و کاربردهای BIM شناسایی گردید. در ادامه با انجام مصاحبه با خبرگان صنعت ساخت موانع شناسایی شده اصلاح گردیده و راهکارهای رفع و کاهش آنها و همچنین چگونگی تأثیر BIM در راهکارهای شناسایی شده مشخص گردیده است. در پایان مشخص شد استفاده از BIM در کنار روش تولید و ساخت خارج از کارگاه، می‌تواند تأثیر بسزایی در بهبود عملکرد این داشته باشد.

کلمات کلیدی: بهره‌وری ، تولید و ساخت خارج از کارگاه ، ساخت و ساز صنعتی ، ساخت و ساز پیش‌ساخته ، مدلسازی اطلاعات ساختمان

سابقه مقاله:					شناسه دیجیتال:
دریافت	بازنگری	پذیرش	انتشار آنلاین	چاپ	https://doi.org/10.22065/jsce.2024.381896.3016
۱۴۰۲/۰۴/۲۷	۱۴۰۲/۰۸/۳۰	۱۴۰۲/۱۱/۰۵	۱۴۰۲/۱۱/۰۵	۱۴۰۳/۰۷/۳۰	doi: 10.22065/jsce.2024.381896.3016

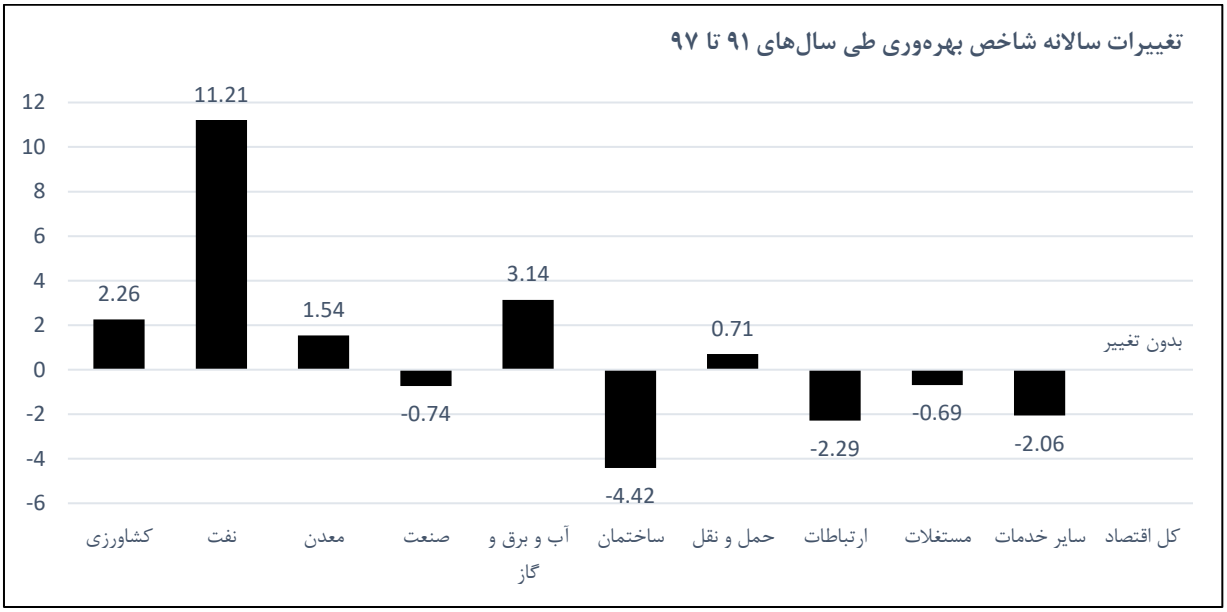
*نویسنده مسئول: مجتبی عزیزی

پست الکترونیکی: azizi.pm@modares.ac.ir

۱- مقدمه

در بسیاری از کشورهای در حال توسعه مانند ایران، صنعت ساختمان یکی از بخش‌های مهم اقتصادی است. این صنعت علاوه بر تأمین نیازهای اساسی جامعه، زمینه‌ساز اشتغال و تولید ثروت نیز می‌باشد. در حال حاضر صنعت ساختمان‌سازی به دلیل عدم بهره‌وری مناسب بسیار مورد انتقاد است. طبق آمار رسمی منتشر شده از سوی بانک مرکزی کمترین میزان تغییرات شاخص بهره‌وری صنایع مختلف کشور مربوط به صنعت ساختمان می‌باشد **(نمودار ۱)**. یکی از اصلی‌ترین دلایل بهره‌وری پایین در این صنعت، تولید ضایعات زیاد و میزان بالای مصرفی انرژی است. عوامل دیگری مانند فقدان تکنولوژی و نوآوری، مدیریت ضعیف پروژه‌ها، کمبود نیروی متخصص و آموزش ناکافی، کند بودن روند توسعه مکانیزاسیون و صنعتی‌سازی، انجام بخش عمده‌ای از کارها به شیوه سنتی، ضعف زیرساخت‌ها، مشکلات تأمین مصالح و تجهیزات و نبود استانداردهای لازم باعث پایین بودن بهره‌وری صنعت ساخت در ایران شده است. توجه به تولید و بهره‌ور بودن آن می‌تواند ضمن سرعت بخشیدن به رشد و توسعه، آن را در مسیری صحیح و اصولی هدایت کند. در این میان نه تنها استفاده از مصالح نوین بلکه بهره بردن از تکنولوژی‌های جدید هم می‌تواند به ارتقاء شاخص‌های بهره‌وری یاری برساند[۱و۲] به همین دلیل استفاده از روش‌های نوین ساخت در پروژه‌های ساخت به منظور افزایش کیفیت و افزایش سرعت انجام پروژه‌ها از اهمیت بالایی برخوردار است. بهره‌گیری از ابزار پیشرفته فناوری و استفاده از روش‌های یکپارچه برای انجام پروژه‌ها، با افزایش چشمگیر ارزش افزوده نهایی پروژه خواهد شد[۳]. به منظور حل مشکلات ذکر شده در پروژه‌های ساخت‌وساز یکی از موضوعات جدیدی که قابل توجه است، روش تولید و ساخت خارج از کارگاه است.

نمودار ۱: کارنامه بهره‌وری در برنامه‌های توسعه ایران (منبع : بانک مرکزی جمهوری اسلامی ایران)



تولید و ساخت خارج از کارگاه به ساخت و پیش‌سازی قطعات و اجزا در محل کارخانه و خارج از سایت پروژه و با کیفیتی مناسب اشاره دارد. ساخت وساز خارج از کارگاه، به برنامه‌ریزی، طراحی، ساخت و مونتاژ عناصر ساختمان در مکانی غیر از محل نصب نهایی آنها برای پشتیبانی از سرعت بالا و ساخت کارآمد یک ساختار دائمی اشاره دارد[۴].

به منظور بکارگیری روش تولید و ساخت خارج از کارگاه در صنعت ساخت و ساز و بهره بردن از تمام مزیت‌های آن، نیاز به شناسایی موانع موجود در بکارگیری و برطرف نمودن این موانع وجود دارد. می‌توان گفت روش تولید و ساخت خارج از کارگاه یعنی یکپارچه کردن تمامی مراحل اصلی انجام پروژه شامل برنامه‌ریزی، طراحی، تولید و ساخت، تدارکات و نصب در محل و راه‌اندازی است. مطالعات گذشته حاکی از آن است که عدم یکپارچگی فناوری اطلاعات یک مانع اساسی برای بکارگیری ساخت و ساز خارج از کارگاه است.

به همین دلیل ایجاد یک بستر مناسب به منظور انجام فعالیت‌ها به صورت یکپارچه و هماهنگ می‌تواند تأثیر زیادی در روند بکارگیری مناسب این روش داشته باشد. استفاده از فناوری مدلسازی اطلاعات ساختمان (BIM) می‌تواند تأثیر بسزایی در بهبود بکارگیری و اجرای روش ساخت و ساز خارج از کارگاه داشته باشد.

از فناوری BIM برای تقویت همکاری بین تیم‌های پروژه و به اشتراک‌گذاری اطلاعات پروژه استفاده می‌شود. امروزه تکنولوژی BIM در بسیاری از کشورهای پیشرفته به عنوان یک روش نوین جهت کمک به بالا بردن دقت و سرعت در چرخه ساخت یک بنا کاربرد زیادی پیدا کرده است که موجب یکپارچه‌سازی اطلاعات، افزایش ارتباطات و هماهنگی، کاهش خطاها و نهایتاً افزایش کیفیت کار می‌شود. فناوری BIM یکی از رویکردهای بهبود بهره‌وری کار است. و راه را به سمت افزایش استفاده از روش پیش‌ساخته و مدولار باز می‌کند[۴].

در حال حاضر در ایران، به دلیل وجود چالش‌ها و موانع گوناگون و عدم بهره‌مندی کامل از تمام مزایا و ظرفیت‌های روش تولید و ساخت خارج از کارگاه، اقدام مؤثری به منظور افزایش استفاده از آن صورت نگرفته است. با توجه به وسعت صنعت ساخت و ساز و تأثیر بسزای آن در اقتصاد کشور و نیاز به شناخت راهکارهای بهبود بهره‌وری این صنعت و کمبود مطالعات انجام شده درباره تأثیر استفاده از فناوری مدلسازی اطلاعات ساختمان در رفع و کاهش موانع روش تولید و ساخت خارج از کارگاه، انجام پژوهش در این زمینه می‌تواند کمک شایانی به افزایش آگاهی درباره مزیت‌های مختلف استفاده از روش تولید و ساخت خارج از کارگاه و میزان تأثیر استفاده از فناوری مدلسازی اطلاعات ساختمان در رفع موانع موجود در اجرای درست این روش داشته باشد و باعث ایجاد تمایل بیشتری برای استفاده از روش تولید و ساخت خارج از کارگاه در پروژه‌های صنعت ساخت و ساز کشور گردد.

هدف از انجام این پژوهش شناسایی مهم‌ترین موانع و راهکارهای استفاده گسترده از روش تولید و ساخت خارج از کارگاه در پروژه‌های ساختمانی ایران و بررسی نقش و تأثیر BIM در کاهش موانع یافت شده و تسهیل استفاده از از روش ساخت و ساز خارج از کارگاه در پروژه‌های ساختمانی می‌باشد.

۲-مروری بر ادبیات و پیشینه تحقیق

اگرچه تعاریف زیادی درباره بهره‌وری وجود دارد اما می‌توان بهره‌وری را به عنوان معیار میزان کارایی کار تعریف کرد. "این مقدار مجموعه‌ای از خروجی تولید شده به ورودی‌های مورد نیاز برای تولید آن است که به عنوان کل بازده تولید شده در واحد از کل ورودی داده شده اندازه‌گیری می‌شود" [۵]. عدم توجه کافی به عوامل اساسی تأثیرگذار بر روش‌های مونتاژ ساختمان، در نهایت منجر به عدم کارایی در استفاده از منابع انسانی، تجهیزات و ماشین‌آلات و مصالح ساختمانی می‌شود.

برای برون رفت از مشکلات مسکن در ایران به افق‌ها و اراده‌های مختلفی نگریسته شده که یکی از مهم‌ترین این موارد صنعتی‌سازی[1] ساختمان است؛ منظور از صنعتی‌سازی ساختمان، فرآیند ساخت و اجرای پیوسته و زنجیره‌ای ساختمان است که در آن اجزاء ساختمان به صورت مدولار و پیش‌ساخته ساخته شده و از لحاظ کیفیت در تمام مراحل ساخت و اجرا، قابل کنترل است[۵].

تولید و ساخت خارج از کارگاه معنی متفاوتی نسبت به ساخت و سازهای سنتی و درون سایت دارد. منظور از ساخت و ساز سنتی یعنی فرآیندهای ساخت به وسیله کارگران و با استفاده از مصالح ساختمانی در داخل سایت پروژه انجام گیرد. روش تولید و ساخت خارج از کارگاه، روشی است جهت انجام پروژه در زمان کوتاه‌تر، با کیفیتی بالاتر و اثرات مخرب زیست محیطی کمتر که از طریق انتقال فرآیند ساخت بخشی از اجزا به خارج از سایت پروژه و به کارخانه که تحت تأثیر آب و هوا قرار ندارد و می‌توان از طریق بکارگیری ماشین‌آلات پیشرفته و فناوری‌های تولیدی، پیش‌ساخته سازی اجزای ساختمان‌ها به روشی استاندارد انجام داد[۶و۱۹]. اصطلاحاتی مانند ساخت مدولار، ساخت و ساز صنعتی، تولید خارج از سایت، پیش‌ساخته‌سازی[2]، پیش‌مونتاژ[3] و استانداردسازی نشان دهنده استفاده از فناوری تولید

1 Industrialization
2 Precast
3 Pre-assembly

و ساخت خارج از کارگاه هستند. روش‌های تولید و ساخت خارج از سایت، به عنوان روش‌های امیدوارکننده ساخت برای رسیدگی به چالش‌های ساخت‌وساز سنتی درجا مانند بهره‌وری، تدارکات، ایمنی، آلودگی، هدر رفت، کیفیت و ذهنی بودن محیط و آب و هوا ظاهر شده‌اند[۷و۱۵].

تولید و ساخت خارج از کارگاه از طریق انتقال فرآیندهای تولید به خارج از سایت ساخت و ساز نقش مهمی در افزایش بهره‌وری پروژه دارد. تولید و ساخت خارج از کارگاه ایجاد یک سایت ساخت و ساز ایمن‌تر و روند ساخت سریع‌تر را تسهیل می‌کند. استفاده از روش تولید و ساخت خارج از کارگاه دارای مزایای بسیاری از قبیل کاهش زمان ساخت و ساز، ساده سازی مراحل ساخت، افزایش ایمنی در محل، ارائه کیفیت بالاتر، کنترل بهتر و ادغام بیشتر، کاهش خطرات ساختمانی روی محیط، بهبود تخصص ویژه مورد نیاز و ایجاد قراردادهای کمتری با پیمانکاران فرعی این نتایج در تسهیل مدیریت، هماهنگی و ادغام کارآمدتر در سایت ساخت و ساز دیده می‌شود. علاوه بر این‌ها، تولید و ساخت خارج از کارگاه انگیزه‌ای برای بهبود روند ساخت و ساز دارد و محصولاتی را با کیفیت بالا و حجم زیاد بر اساس اصول و استانداردهای تعریف شده تولید می‌کند[۸].پنج تا ده درصد کل هزینه برای اکثر پروژه‌ها را می‌توان با استفاده از روش تولید و ساخت خارج از کارگاه ذخیره کرد. به طور معمول، نرخ کار در کارخانه تولیدکننده ارزان‌تر از موارد موجود در محل کار است. بیشترین مزایای ساخت و ساز مدولار ناشی از کار در یک محیط داخلی کنترل شده است[۴و۲۰]. روش تولید و ساخت خارج از کارگاه به دلیل تولید انبوه مجموعه‌های ساختمانی، یکی از ابزارهای رسیدن به هزینه ساخت پیش‌بینی شده است. این کار امکان ساخت سریع‌تر و ایمن‌تر را فراهم می‌کند و به یک تیم مونتاژ کوچکتر احتیاج دارد، که عامل مهمی در وضعیت کاهش نیروی انسانی است[۹و۱۴].

استفاده از روش تولید و ساخت خارج از کارگاه شامل فرآیندی است که از طریق هماهنگی و یکپارچگی تمامی فرآیندهای ساخت مانند برنامه‌ریزی، طراحی، ساخت و تولید، تدارکات و نصب و راه‌اندازی حاصل می‌گردد. مطالعات نشان می‌دهد که موانع گوناگونی برای اجرای این روند و استفاده از این روش وجود دارد. در جدول ۱ موانع توسعه و استفاده از روش تولید و ساخت خارج از کارگاه، که از طریق مرور ادبیات شناسایی شده، در شش بخش رهبری و برنامه‌ریزی، مهندسی و ساخت، مالی، عوامل قانونی، فرهنگ و نصب و مونتاژ قطعات در سایت طبقه‌بندی شده است. با توجه به ماهیت و منشأ موانع شناسایی شده، این موانع به سه دسته عوامل سازمانی، عوامل سرمایه‌ای و عوامل محیطی طبقه‌بندی شده است. در فرآیند تحقیق پیش رو پس از مصاحبه با خبرگان در مورد موانع شناسایی شده، وضعیت استفاده از این روش در صنعت ساخت و ساز ایران و موانع موجود برای استفاده از این روش درپروژه‌های ساختمانی کشور مشخص خواهد شد.

جدول ۱ : موانع شناسایی شده روش تولید و ساخت خارج از کارگاه

موانع تولید و ساخت خارج از کارگاه		
موانع کلان	موانع	منابع
عوامل سازمانی		
رهبری و برنامه‌ریزی	محدودیت ظرفیت زنجیره تأمین روش تولید و ساخت خارج از کارگاه و نبود هماهنگی در زنجیره تدارکات	[۱و۲و ۴و ۸و۹و۱۲ و۱۴و۱۹و۲۲]
	عدم شناخت و آگاهی درباره روش تولید و ساخت خارج از کارگاه در مقایسه با روش‌های سنتی	
	کمبود دستورالعمل‌ها، تجربه‌های اجرایی و مطالعات برای استفاده از روش تولید و ساخت خارج از کارگاه	
	اقدامات ناکافی به منظور بهبود مهارت و تخصص و مقاومت در مقابل ورود نوآوری	
	کمبود نیروی کار ماهر و متخصص و طولانی‌تر شدن روند انجام فعالیت‌ها	
	عدم ایجاد هماهنگی لازم بین ارکان مختلف پروژه	
مهندسی و ساخت	عدم مهارت و دانش فنی عاملان پروژه از مراحل قراردادی تا اجرا	[۲و۳و ۵و ۶و۸و۱۲ و۱۳و۱۸و۱۹و۲۰و۲۲و ۲۳ و۲۴]
	فقدان کنترل و مدیریت مهندسی در زمان ساخت قطعات	
	مشکلات طراحی‌ها و عدم محاسبه دقیق محل اتصالات	
	معیارهای نامناسب و غیر قابل اتکا به منظور تأیید صلاحیت پیمانکاران و تأمین‌کنندگان	
	عدم نظارت مناسب بر روند ساخت قطعات در کارخانه و روند انتقال قطعات به سایت و عملکرد آنها	
	فقدان هماهنگی بین طراح و پیمانکاران و ایجاد اختلال در روند نصب قطعات	
	کیفیت نامناسب قطعات ساخته شده در کارخانه	
عوامل سرمایه‌ای		
مالی	منحصر به فرد بودن پروژه و متنوع بودن محصولات و در نتیجه افزایش هزینه‌های ساخت	[۲و۳و ۷]
	فقدان پشتیبانی دولت از روش تولید و ساخت خارج از کارگاه	
	سرمایه‌گذاری ناکافی در بخش تحقیق و توسعه و ورود فناوری‌های نو	
	عدم تناسب ظرفیت کارخانه‌ها با تقاضا موجود به منظور گسترش روش تولید و ساخت خارج از کارگاه	
عوامل محیطی		
عوامل قانونی	فقدان پیش‌بینی چارچوب‌های قانونی جهت تسهیل انجام روش تولید و ساخت خارج از کارگاه	[۱و۲و۳و۵و ۶و۹و۱۴ و۱۵]
	وجود ضمانت‌نامه‌های گوناگون جهت تأمین مالی پروژه‌ها	
	استفاده بیش از حد از مقررات سنتی در صنعت ساخت و ساز	
	فقدان استانداردها و دستورالعمل‌های جامع و مورد نیاز درباره تولید و ساخت خارج از کارگاه	
فرهنگ	کمبود انعطاف بازار در مقابل ورود فناوری جدید و مقاومت در برابر دستیابی مهارت نو	[۲و۵و۱۳و۲۲]
	فقدان تمایل پیمانکاران در استفاده از زنجیره تأمین متفاوت با روش سنتی	
	فقدان اطمینان شرکت‌های بیمه‌کننده و وام‌دهندگان به محصول و میزان ریسک‌های مالی آن	
	کمبود آگاهی مقامات و درک مسائل مربوط به تکنولوژی تولید و ساخت خارج از کارگاه	
نصب و مونتاژ قطعات در سایت	محدودیت‌های جابجایی ایمن ماشین‌آلات و محدودیت‌های مربوط حمل و نقل قطعات	[۱و۳و ۴و ۸و۹و۱۲و۱۸و۲۲ و۲۴]
	عدم نظارت به شرایط قطعات ساخته شده در کارخانه و نحوه انتقال آنها به سایت	
	محدودیت‌های بکارگیری ماشین‌آلات تخصصی به دلیل ابعاد قطعات در ارتفاعات، عدم گردش در فضای در دسترس و یا طراحی و محدودیت فضای دپو قطعات	
	ضعیف بودن زیرساخت ها و پشتیبانی لجستیک	
	کمبود دسترسی به ماشین‌آلات تخصصی و نیروهایی دارای تجربه و صلاحیت لازم باشند	

طبق تعریف (NBIMS[4]) که متعلق به کشور آمریکا است: مدلسازی اطلاعات ساختمان (BIM) نمایش دیجیتالی خصوصیات فیزیکی و کاربردی یک ساختمان است. BIM یک منبع دانش مشترک برای اطلاعات ساختمان است که مبنایی قابل اعتماد برای تصمیم‌گیری در طول چرخه عمر پروژه از مراحل ابتدایی تا مراحل پایانی، تشکیل می‌دهد [۱۰].

4 National Institute of Building Sciences

هدف اساسی از اتخاذ BIM در ساخت، طراحی و مدیریت ساختمان، بهبود بهینه‌سازی از طریق ارتباطات مؤثر، هماهنگی، همکاری و مدیریت اطلاعات در طول چرخه زندگی است. طبق استاندارد ملی BIM ایالات متحده، مدلسازی اطلاعات ساختمان امیدوارکننده‌ترین سیستم جدید فناوری برای بهبود کیفیت، کارآیی، به موقع بودن و پایداری پروژه‌های ساختمانی در انواع و اندازه‌های مختلف است. BIM فرصت‌های زیادی برای پروژه‌های ساختمانی فراهم می‌کند. BIM یک برنامه پایگاه داده اطلاعات ساختاری تصویری/دیجیتالی برای جمع‌آوری، تولید، ذخیره‌سازی، تجزیه و تحلیل و مدیریت اطلاعات مربوط به ساختمان و فرآیندهای ساخت و ساز برای تجزیه و تحلیل طراحی، حل مسئله، مدیریت ایمنی، تخمین هزینه، تجزیه و تحلیل انرژی، برنامه‌ریزی استفاده از سایت و کنترل پیشرفت است. یکی از اصول اساسی این مدلسازی اطلاعات، همکاری ذینفعان مختلف در فازهای مختلف چرخه‌ی عمر پروژه است که می‌توانند اطلاعات مدل‌ها را وارد کنند، توسعه دهند، بروزرسانی و یا ویرایش کنند. BIM در میان بازیگران اصلی صنعت ساخت و ساز محبوبیت یافته است. BIM برای تسهیل پیچیدگی روزافزون پروژه‌های ساختمانی، قادر به تسهیل طراحی، ساخت و نگهداری پروژه‌ها از طریق یک رویکرد یکپارچه است. واضح است که BIM و برنامه‌ریزی چند بعدی مزایای بالقوه زیادی برای همه‌ی ذینفعان و گروه‌های درگیر در صنعت ساخت و ساز دارد و باید از سوی آنها مورد حمایت قرار گیرد. اگرچه ممکن است ذینفعان به دلیل بازگشت سرمایه بهتر و افزایش سود از این فناوری حمایت کنند، اما مدیران و متخصصان پروژه علاوه بر سود بیشتر به دلایل دیگری از جمله بهره‌وری بیشتر، ارتباطات مؤثرتر، مدیریت یکپارچه پروژه و نهایتاً انجام فعالیت‌های ارزش‌آفرین برای پروژه، راغب به استفاده از BIM هستند. در هر حال، مدیران ساخت و کارفرمایان باید بیشتر با مدلسازی اطلاعات ساختمان و کاربردهای آن در صنعت ساخت و ساز به عنوان ابزاری برای موفقیت و مدیریت مؤثرتر پروژه‌ها آشنا شوند؛ چرا که طبق تحقیقات و نظرسنجی‌های صورت گرفته در دیگر کشورها، تمایل دست‌اندرکاران صنعت ساختمان به استفاده از BIM در چند سال اخیر رشد فزاینده‌ای داشته است و همچنان در حال افزایش است. بنابراین برای شناسایی بهتر کاربردهای BIM و فوایدی که می‌تواند برای پروژه‌های ساخت و ساز به همراه داشته باشد و با توجه به هزینه‌های پیاده‌سازی آن در پروژه، باید بسته به اهمیت نیازها، کاربردهایی که نیاز واقعی پروژه را رفع می‌کنند در اولویت قرار گیرند. از این سو، آشنایی بیشتر با کاربردهای BIM و فوایدی که در مدیریت پروژه‌های ساخت و ساز می‌تواند داشته باشد، به تصمیم‌گیری مناسب‌تر کمک می‌کند [۱۱و۱۲و۱۳و۲۵].

در جدول ۲ کاربردهای BIM و مزایای شناسایی شده توسط محققین نشان داده شده است. در فرآیند تحقیق پس از مصاحبه با خبرگان، تأثیر استفاده از BIM در راهکارهای کاهش موانع روش تولید و ساخت خارج از کارگاه، مشخص شده است.

جدول ۲ : کاربردها و مزایای حاصل از مدلسازی اطلاعات ساختمان

کاربردها و مزایای حاصل از مدلسازی اطلاعات ساختمان		
کاربردها	مزایا	منابع
تصویب و بازاریابی	مشخص نمودن محدوده دقیق پروژه در اسناد	[۱و۳]
	کمک به قانع کردن مقامات و تسریع گردش گرفتن مجوز ساختمان	
	کمک به بازاریابی و فروش	
	ایجاد آلترناتیوهای مختلف گرافیکی از لحاظ انواع مصالح و قیمت	
مدلسازی سه بعدی و درک طراحی توسط ذینفعان مختلف	تسهیل درک پیچیدگی‌های هندسی، فرم‌های غیرمعمول و جزئیات پیچیده سازه	[۱و ۶و ۹و۱۳و۲۰و۲۱و۲۴ و۲۵]
	ایجاد محیط ایمن و مقرون به صرفه برای شبیه‌سازی و پشتیبانی از تجزیه و تحلیل فعالیت‌های ساختمانی	
	نمایش دیجیتالی تأسیسات و هندسه دقیق و داده‌های مربوطه به آنها	
	دارا بودن داده‌های قابل تبادل و کمک به فرآیندهای ارتباطی و تصمیم‌گیری	
	ایجاد آزادی و خلاقیت برای معماران برای مدلسازی مفاهیم پیچیده	
	کمک به پیشرفت در آینده ساختمان‌های هوشمند	
	حذف فرآیندهای تکراری در فرآیند ترسیم نقشه‌ها و کاراتر شدن فرآیند طراحی	
ایجاد بانک اطلاعاتی یکپارچه	امکان دستیابی به اطلاعات جامع در مورد ساختمان را در طی مراحل طراحی	[۱و۳و ۶و ۱۰و۱۱و۱۷ و۲۵]
	شامل اطلاعات ساختمان اعم از هندسه، روابط فضایی، اطلاعات جغرافیایی، مقادیر و خصوصیات مواد تشکیل دهنده ساختمان مواد محصول و...	
	کمک به کشف روابط بین اجزای ساختمان و جزئیات مربوط به ساخت و نگهداری آنها	
	ایجاد قابلیت یکپارچه‌سازی بین اطلاعات ورودی متخصصان و اعضای مختلف پروژه	
ایجاد آلترناتیوهای مختلف	افزایش کیفیت طراحی در مرحله برنامه‌ریزی و طراحی از طریق برآورده کردن الزامات کارکردی مانند انرژی، هزینه و اهداف محیط زیستی	[۶و۱۰و۱۱]
	ایجاد خودکار چندین سناریو برای کارهای ساختاری، وابستگی مدل و استفاده از منابع مختلف برای کاربران	
ارتقاء تعامل میان ذینفعان از طریق فضای یکپارچه	پشتیبانی از ارتباطات میان اعضای تیم	[۱و۳و ۶و ۹و۱۰و۱۱ و۱۳و۱۶و۲۴ و۲۵]
	دسترسی همه ذینفعان به یک مدل مشترک واحد برای دستیابی به اهداف پروژه	
	تأیید طراحی و افزایش رضایت مشتری از طریق طراحی مجازی و اشتراک اطلاعات	
	ایجاد امکان مدیریت دانش	
	کاهش زمان انتقال ایده‌های پیچیده از طریق تبادل اطلاعات بصری	
	تسهیل فرآیند جمع‌آوری و ذخیره اطلاعات در طول چرخه عمر و ردیابی و ارزیابی جزئیات پروژه	
	تسهیل امکان تجزیه و تحلیل و مقایسه گزینه‌های مختلف عملکرد انرژی برای کمک به مدیران تأسیسات	
استفاده از نیروی کار با مهارت کمتر	افزایش فرصت برای مونتاژ سیستم‌ها در کارگاه از طریق مدلسازی و هماهنگی میان نقشه‌ها	[۶و۱۰]
	استفاده از تیمی با مهارت کمتر و در عین حال حفظ کیفیت کار با کمک ابزارهای BIM	
شناسایی تداخلات	شناسایی تناقضات و تداخلات در نقشه‌های مختلف در مرحله طراحی و پیش از اجرا	[۶و۱۰ و۲۵]
	شناسایی زود هنگام بسیاری از اشتباهات و خطاهای طراحی	
مدیریت تغییرات	تسهیل اعمال تغییرات در صورت نیاز	[۶و۹و۱۰]
	اعمال خودکار تغییرات در تمام نقشه‌ها و مدل‌ها به دلیل ویژگی پارامتریک بودن نرم‌افزارها	
	تخمین دقیق هزینه اعمال تغییرات	
کاهش دوباره‌کاری‌ها	کاهش دوباره‌کاری‌ها به دلیل هماهنگی نقشه‌های طراحی و ساخت به خصوص تأسیسات	[۱۰]
کاهش درخواست برای اطلاعات	ایجاد امکان شناسایی و حل مسائل قبل از ساخت به دلیل ادغام چند رشته‌ای تیم ها و کاهش درخواست برای اطلاعات	[۳]
	تغییرات کمتر و مدیریت دقیق‌تر هزینه و صرفه‌جویی بالقوه	
مدیریت زمان‌بندی	ایجاد ساختار شکست مناسب با جریان ساخت	[۱و۳و ۶و ۱۰و۱۱]
	تشخیص سریع ناسازگاری بین فعالیت‌ها در سطح جزئیات	
	ادغام کردن جداول زمان‌بندی پیمانکاران مختلف	
	شناسایی تداخلات فضایی و تداخلات منابع با توجه به برنامه‌های زمان‌بندی مختلف پیمانکاران	
	ایجاد درک مشترک بین ذینفعان مختلف از پروژه و توالی کار و افزایش همکاری بین آنها	
پیش‌بینی شرایط خطرزا	ایجاد راهنمای تعاملی برای مدیریت ایمن و بهره‌برداری از ساختمان با ارائه اطلاعات کامل امکانات، مانند سیستم‌های مکانیکی و الکتریکی، مبلمان و...	[۱۰و۱۱]

	شناسایی حوزه‌های پرخطر و انجام اقدامات پیشگیرانه توسط مدیران پروژه	
	شبیه‌سازی فرآیند تعمیر و نگهداری و مقاوم‌سازی و کمک به کاهش هزینه‌های مدیریت تأسیسات و بهبود روند نگهداری و برآورد دقیق هزینه بازسازی	
	شبیه‌سازی سناریوهای تخلیه، رفتار جمعیت و حرکت جمعیت	
مدیریت هزینه	تسهیل فرآیند تهیه برنامه مدیریت هزینه پویا در زمان واقعی و کسب اطلاعات بازخورد	[۷و۱۷]
	تخمین دقیق هزینه بر اساس مدل دیجیتال سه‌بعدی و رفع خطاهای ناشی از اندازه‌گیری یا برآورد دستی	
مدیریت زنجیره تأمین تدارکات	تسهیل فرآیند ساخت توسط پیمانکار متخصص از طریق ادغام شدن BIM با ماشین‌آلات ساخت و سیستم‌های مدیریت زنجیره تأمین	[۶و۹و۱۰ و۱۶و۲۱و۲۲ و۲۵]
	شناسایی مقادیر دقیق برای مصالح ساختمانی و اجزای سازنده	
	ایجاد بانک اطلاعاتی از تأمین‌کنندگان مختلف و کمک به انتخاب تأمین‌کننده با توجه به مقادیر مصالح و قطعات مورد نیاز پروژه و هزینه آنها	
مدیریت و چیدمان فضای سایت	تسهیل برنامه‌ریزی چیدمان سایت در مراحل اولیه	[۱و۳و ۶ و۱۰و۲۰و۲۴]
	کمک به مدیر پروژه جهت برنامه‌ریزی زمان‌بندی خرید و تحویل مصالح به کارگاه و در نظر گرفتن فضای مناسب و چیدمان درست تجهیزات	
	جلوگیری از تأخیر و اشغال فضای اضافی در سایت به دلیل برنامه‌ریزی مناسب	
مدیریت تسهیلات	عملکرد بهتر ساختمان و کاهش هزینه‌های چرخه عمر	[۶و۱۳و۲۱ و۲۵]
	بهبود عملکرد گزارش‌دهی از طریق تهیه مدل‌های چون ساخت سه‌بعدی و تحویل به مدیران تسهیلات	
	شناسایی محل دقیق اجزای سازه‌ای و تأسیساتی مربوطه در صورت بروز مشکل در دوران بهره‌برداری	
ایجاد بستر مناسب برای اینترنت اشیا	ایجاد سیستم هوشمند و قوی برای مدیریت عملیات ساخت از طریق ترکیب شدن BIM با داده‌های واقعی در محل	[۱۱و۲۰و۲۱و۲۴ و۲۵]
	BIM می‌تواند بستری را برای سازماندهی و تجزیه و تحلیل داده‌ها فراهم کند.	

۳-روش‌شناسی پژوهش

این پژوهش از نظر هدف انجام یک پژوهش کاربردی است و نتایج آن، قابلیت کاربرد در پروژه‌های ساختمانی ایران را دارد. در این پژوهش به علت آنکه موانع توسعه تولید و ساخت خارج از کارگاه و کاربردهای BIM در صنعت ساخت شناسایی شده است، دارای ماهیت توصیفی است. و در ادامه پژوهش که اثر کاربردهای BIM در کاهش موانع توسعه تولید و ساخت خارج از کارگاه را جستجو و کشف شده است، دارای ماهیت اکتشافی است. همچنین براساس ماهیت سوالات مطرح شده در آن این پژوهش از نوع کیفی است.

این پژوهش در دو مرحله انجام گرفته است، در مرحله اول، شیوه انجام پژوهش تأیید یا رد داده‌های جمع‌آوری شده از مطالعات انجام شده از طریق مصاحبه با خبرگان صنعت ساخت کشور می‌باشد. بدین صورت که به منظور شناسایی موانع توسعه و استفاده از روش تولید و ساخت خارج از کارگاه در صنعت ساخت ایران از بین موانعی که از طریق مرور پژوهش‌های گذشته جمع‌آوری شده، با خبرگان صنعت ساخت به مصاحبه پرداخته‌ایم و آنها بخشی از موانع یافت شده را تأیید کرده و باقی را حذف کرده‌اند و موارد جدیدی به لیست اضافه نکردند. در مرحله دوم، با استفاده از روش مصاحبه ساختار یافته با خبرگان صنعت سوالاتی درباره موانع شناسایی شده و راهکارهای آنها مطرح شد و در ادامه درباره تأثیر استفاده از BIM در راهکارهای گفته شده از آنها سوال شد. در نهایت با استفاده از نتایج مصاحبه‌ها و تجزیه و تحلیل آنها به کمک خبرگان دانشگاهی نتایج پژوهش مشخص شد و در آخر به تأیید خبرگان صنعت رسید.

از نظر مکان انجام پژوهش، تمام پروژه‌های صنعت ساخت داخل ایران با روش تولید و ساخت خارج از کارگاه می‌توانستند انتخاب شوند که به جهت سهولت دسترسی به نمونه‌ها به پروژه‌های استان تهران بسنده شد. این پژوهش در مقطع زمانی مرداد ۱۳۹۹ تا شهریور ۱۴۰۰ انجام شده است.

جامعه آماری این پژوهش را تمام افراد خبره و دارای تجربه در پروژه‌های صنعت ساخت ایران که از روش تولید و ساخت خارج از کارگاه در آنها استفاده می‌شود، تشکیل می‌دهد که وضعیت این پروژه‌ها در زمان گردآوری اطلاعات در یکی از فازهای ساخت پروژه قرار دارد و یا به تازگی به اتمام رسیده است تا اطلاعات به دست آمده معرف خوبی از وضعیت اخیر ساخت و ساز خارج از کارگاه در صنعت ساخت ایران باشد. برای نمونه‌گیری در این پژوهش از روش گلوله برفی (نمونه‌گیری هدفمند) استفاده شده است. در این پژوهش ما با

افرادی که از قبل شناخت داشتیم و ویژگی‌های مورد نظر ما را دارا بودند، به صورت نمونه‌گیری هدفمند شروع کردیم و در ادامه آنها ما را به سایر خبرگان که ویژگی‌های مورد نظر ما را دارا بودند معرفی کردند و به همین ترتیب با روش گلوله برفی ما به مصاحبه‌ها خود ادامه دادیم تا زمانی که احساس کردیم مصاحبه شوندگان اطلاعات تکراری در اختیار ما قرار می‌دهند و داده‌های ما به اشباع رسیده است.

برای جمع‌آوری اطلاعات در این پژوهش به منظور شناخت مسئله و جمع‌آوری اطلاعات پایه در این پژوهش، از روش کتابخانه‌ای استفاده شده است، تا مفاهیم مرتبط با روش تولید و ساخت خارج از کارگاه در پروژه‌های صنعت ساختمان و موانع توسعه و گسترش آن و همچنین مفاهیم مرتبط با BIM و کاربردهایش مورد بررسی قرار گیرد. ابزار گردآوری داده‌ها در این پژوهش مصاحبه نیمه ساختار یافته می‌باشد. پیش از انجام مصاحبه، سوالات بر اساس نتایج حاصله از مرور ادبیات طراحی شدند. سوالات در چهار بخش مربوط به مصاحبه‌شونده، اطلاعات پروژه، موانع توسعه ساخت و ساز خارج از کارگاه و تأثیر استفاده از BIM در کاهش موانع اشاره شده تنظیم گردیدند. با توجه به نیمه ساختار یافته بودن مصاحبه تعدادی از سوالات به گونه‌ای طراحی شدند که مصاحبه شونده بدون محدودیت بتواند نظرات خود را خارج از پرسش‌های مشخص شده نیز ابراز نماید. مدت زمان مصاحبه‌های انجام شده بین ۴۰ تا ۶۰ دقیقه در نظر گرفته شد. برای جمع‌آوری داده‌های این تحقیق جمعاً با ۱۴ نفر مصاحبه انجام گرفته است. همچنین نحوه انجام مصاحبه ۴ نفر از این افراد از طریق مراجعه حضوری و مابقی به علت مشکلات ناشی از بیماری کرونا و رعایت پروتکل‌های بهداشتی از طریق تماس تصویری و تلفنی برقرار شد. در طول مصاحبه علاوه بر یادداشت‌برداری از بخش‌های مهم، با کسب اجازه از مصاحبه شونده صدای وی نیز ضبط گردید.

جهت بررسی روایی سوالات مصاحبه در این پژوهش از روایی صوری و محتوایی استفاده شده است. بنابراین سوالات مصاحبه این پژوهش قبل از انجام مصاحبه، در اختیار خبرگان قرار گرفته است تا بعد از بازنگری و اصلاح، این سؤالات بتواند داده‌های کافی و مناسب برای هدف پژوهش را به دست آورد. برای اینکه پایایی ابزار پژوهش ما اندازه‌گیری شود و از این مسئله اطمینان حاصل شود که داده‌های به دست آمده از پژوهش دقیق و درست و همچنین معنی‌دار است، نتایج به دست آمده از مصاحبه‌ها به تأیید دو نفر از خبرگان صنعت رسید و آن‌ها بر معنی‌دار بودن این نتایج صحه گذاشتند.

جدول ۳ : شرح متخصصانی که در مصاحبه شرکت کردند

کارشناس	میزان سابقه کاری در صنعت ساختمان	سابقه آشنایی با مفاهیم تحقیق	سمت کاری
کارشناس ۱	۱۶ سال	آشنا با BIM	مدیرعامل
کارشناس ۲	۷ سال	آشنا با BIM	هماهنگ‌کننده پروژه‌ها
کارشناس ۳	۱۹ سال	آشنا با تولید خارج از کارگاه و BIM	مدیر پروژه
کارشناس ۴	۱۵ سال	آشنا با تولید خارج از کارگاه و BIM	سرپرست واحد PMO
کارشناس ۵	۱۸ سال	آشنا با تولید خارج از کارگاه و BIM	مدیر پروژه
کارشناس ۶	۶ سال	آشنا با تولید خارج از کارگاه و BIM	کنترل پروژه
کارشناس ۷	۷ سال	آشنا با تولید خارج از کارگاه و BIM	کنترل پروژه
کارشناس ۸	۲۴ سال	آشنا با تولید خارج از کارگاه و BIM	مدیر پروژه
کارشناس ۹	۲۸ سال	آشنا با تولید خارج از کارگاه	مدیر پروژه
کارشناس ۱۰	۲۰ سال	آشنا با تولید خارج از کارگاه و BIM	مدیر پروژه
کارشناس ۱۱	۱۷ سال	آشنا با تولید خارج از کارگاه	مدیر عامل
کارشناس ۱۲	۱۲ سال	آشنا با تولید خارج از کارگاه و BIM	مدیر پروژه
کارشناس ۱۳	۱۵ سال	آشنا با تولید خارج از کارگاه و BIM	مدیر پروژه
کارشناس ۱۴	۶ سال	آشنا با تولید خارج از کارگاه	هماهنگ‌کننده پروژه‌ها

۴-داده‌ها و یافته‌های پژوهش

در پایان مرحله اول مصاحبه‌ها ۲۰ آیتم به عنوان موانع استفاده از روش تولید و ساخت خارج از کارگاه در نظر گرفته شد که به عنوان ورودی مرحله دوم مصاحبه‌ها با خبرگان صنعت ساخت مورد استفاده قرار گرفت؛ که در نهایت در مرحله دوم درباره این موانع صحبت شد و راهکارهای کاهش این موانع و تسهیل استفاده از روش تولید و ساخت خارج از کارگاه مشخص شد؛ در ادامه مصاحبه مرحله دوم میزان تأثیر BIM در راهکارهای کاهش موانع استفاده از روش تولید و ساخت خارج نیز مشخص گردید.

❖ رهبری و برنامه‌ریزی

- با توجه به یافته‌های محقق موانع مربوط به بخش رهبری و برنامه‌ریزی جزو مهم‌ترین موانع در استفاده از روش تولید و ساخت خارج از کارگاه می‌باشد. کمبود آگاهی درباره شرایط و ویژگی‌های این روش مانند تفاوت‌های مربوط به مسائل مالی و تفاوت هزینه‌های این روش در مقایسه با روش سنتی ساخت از اصلی‌ترین دلایلی است که ارکان پروژه بخصوص کارفرما تمایلی به استفاده از آن در پروژه‌های خود ندارند.
- وجود نیروهای متخصص و آشنا به اصول فنی و قراردادی یکی از اصلی‌ترین ویژگی‌های روش تولید و ساخت خارج از کارگاه است؛ و عدم وجود نیروهای متخصص و کمبود اطلاعات و تجربه درباره نحوه عملکرد باعث بروز مشکلات فراوانی در این پروژه‌ها خواهد شد.
- نبود هماهنگی بین ارکان مختلف پروژه بخصوص بخش طراحی و کارخانه سازنده قطعات و نصب‌کننده قطعات در سایت یکی دیگر از موانع مربوط به بخش رهبری و برنامه‌ریزی است. در روش تولید و ساخت خارج از کارگاه نبود هماهنگی یک مانع جدی است چرا که در صورت بروز مشکل در مرحله ساخت قطعات و یا نصب در سایت باعث ایجاد عواقب شدید مالی و زمانی می‌شود زیرا در بسیاری از قطعات ساخته امکان ایجاد تغییر وجود ندارد و به همین دلیل باید از ابتدا مراحل طراحی دقیق قطعات و ساخت آنها در کارخانه انجام شود.
- راهکارهای موانع مربوط به بخش رهبری مواردی از جمله افزایش آگاهی افراد و شرکت‌های مختلف کارفرمایی و پیمانکار و مشاور از طرق مختلف، حمایت از پژوهش‌های مرتبط در رابطه با نحوه عملکرد روش‌های مختلف تولید و ساخت خارج از کارگاه، تربیت نیروهای متخصص و جذب آنها در شرکت‌های مختلف صنعت ساخت و ایجاد هماهنگی بین ارکان مختلف پروژه و بهبود نظارت از طریق ایجاد یک بستر مناسب را در بر می‌گیرد.

❖ مهندسی و ساخت

- یکی از لازمه‌های اصلی برای اجرای روش تولید و ساخت خارج از کارگاه، انجام طراحی‌های بسیار دقیق از لحاظ معماری و الکتریکی و مکانیکی و همچنین در نظر گرفتن تمام مسائل مربوط به چگونگی اتصال قطعات و نصب آنها در مکان پیش‌بینی شده است. به همین دلیل میزان زمان مورد نیاز برای انجام مرحله طراحی نسبت به روش سنتی طولانی‌تر است.
- یکی دیگر از اصلی‌ترین موانع استفاده از ین روش مربوط به کیفیت نامطلوب قطعات ساخته شده در کارخانه است؛ که می‌تواند به دلایلی مختلفی رخ دهد از جمله انتخاب پیمانکار و تأمین‌کننده بدون صلاحیت و یا عدم نظارت مناسب از طرف تیم طراح بر روند ساخت قطعات در کارخانه.
- راهکارهای موانع مربوط به بخش مهندسی و ساخت شامل مواردی از جمله استفاده از تیم طراحی مناسب دارای دانش و تجربه لازم، اهمیت دادن به مرحله طراحی و در نظرگرفتن زمان کافی برای این مرحله در برنامه‌ریزی‌های پروژه، ایجاد مدلسازی سه‌بعدی پروژه و تدقیق نقشه‌های مختلف و مقایسه نقشه‌های مختلف، بررسی دقیق صلاحیت

پیمانکاران و تأمین‌کنندگان قطعات و تجهیزات و ایجاد یک ساختار نظارتی از سمت تیم طراح و سازنده بر روند ساخت قطعات در کارخانه می‌گردد.

❖ مالی

- یکی از مهم‌ترین موانع استفاده از این روش مربوط به مسائل مالی آن است. در این روش نمودار میزان هزینه به علت طولانی بودن زمان طراحی، ساخت قطعات در کارخانه، حمل و نقل قطعات به کارخانه و همینطور ماشین‌آلات و تجهیزات لازم برای نصب قطعات میزان هزینه در ابتدای پروژه بسیار بیشتر از روش سنتی است و به همین علت کارفرماهای زیادی حاضر به استفاده از این روش نیستند.
- یکی از اصلی‌ترین موانع استفاده از روش تولید و ساخت خارج از کارگاه کمبود کارخانه‌های مجهز ساخت قطعات و عدم تناسب ظرفیت کارخانه‌های موجود با تقاضای بازار است و همین امر سبب افزایش بسیار زیاد هزینه ساخت قطعات می‌شود که از نظر بسیاری از کارفرماها این روش صرفه اقتصادی ندارد.
- راهکارهای موانع مربوط به بخش مالی شامل مواردی از جمله تعیین میزان دقیق هزینه‌های انجام پروژه، ایجاد کارخانه‌های مختلف ساخت قطعات به منظور افزایش رقابت و عرضه و کاهش قیمت ساخت قطعات و حمایت دولت و ایجاد سیاست‌های تشویقی مالی می‌باشد.

❖ عوامل قانونی

- وجود تعدادی استاندارد درباره روش‌های مختلف و عدم وجود یک استاندارد و آیین‌نامه جامع و تکمیل درباره روش تولید و ساخت خارج از کارگاه از اصلی‌ترین موانع استفاده از این روش است. ضمن آنکه عدم وجود ساختارهای قانونی به منظور تسهیل استفاده از این روش و انجام پروژه‌های با این روش در حالیکه ناچار به رعایت قوانین و مقررات مربوط به روش ساخت سنتی هستند را هم می‌توان به عنوان یکی از دیگر از موانع استفاده از این روش تلقی نمود.
- راهکارهای موانع مربوط به بخش عوامل قانونی شامل مواردی از جمله ایجاد چارچوب‌های قانونی به منظور تشویق افراد برای استفاده از این روش و تدوین آیین‌نامه جامع در رابطه با روش‌های تولید و ساخت خارج از کارگاه می‌گردد.

❖ فرهنگ

- از دیگر موانع استفاده از روش تولید و ساخت خارج از کارگاه مربوط به فرهنگ حاکم در کشور و عدم تمایل ارکان مختلف به استفاده از روش‌های نوین و جدید است. اکثر کارفرماها و پیمانکاران تمایلی به استفاده از روش‌های جدید ندارند و تمایل دارند با همان روش سنتی پروژه‌های خود را انجام دهند.
- افزایش آگاهی ارکان مختلف صنعت ساخت با مزایای این روش و ایجاد انگیزه در آنها بهترین راهکار کاهش این موانع می‌باشد.

❖ نصب و راه‌اندازی تجهیزات

- یکی دیگر از موانع اساسی استفاده از روش تولید وساخت خارج از کارگاه، مربوط به مرحله نصب و مونتاژ قطعات ساخته شده در مکان معین شده است که بخاطر ویژگی‌های خاص قطعات مختلف و نوع اتصالات آنها گاهاً نیاز به استفاده از ماشین‌آلات و تجهیزات مخصوص و نیروهای متخصص برای نصب آنها در سایت هست.
- مدیریت چیدمان سایت یک نکته بسیار مهم برای انجام صحیح مرحله نصب قطعات است. به علت ابعاد و ویژگی‌های قطعات پیش‌ساخته و همچنین کمبود فضا برای دپوی قطعات، لازم است تا به محض ورود قطعات به سایت پروژه

عملیات نصب و مونتاژ آنها آغارز گردد. به همین دلیل نوع چیدمان ماشین‌آلات و محل قرارگیری آنها در سایت با توجه به نحوه عملکرد آنها و شرایط خاص برا نصب قطعات با ابعاد بزرگ از اهمیت بسیار بالایی برخوردار است.

- عدم آگاهی نسبت به قوانین مربوط به حمل و نقل قطعات با ابعاد بزرگ در سطح شهر می‌تواند منجر به جریمه‌های مالی از سمت سازمان‌های مربوطه گردد. یکی دیگر از مشکلات احتمالی ارسال قطعات اشتباه به کارگاه است که به علت عدم انطباق قطعات با محل مورد نظر باعث برگشت قطعه به کارخانه و یا ایجاد محل دپوی قطعه و افزایش هزینه و زمان می‌گردد.
- عدم وجود نظارت بر شرایط و اطلاعات مربوط به هر قطعه از زمان ساخت در کارخانه و در مرحله نصب ممکن است سبب مشکلاتی از جمله اشتباه در شناسایی قطعات و ارسال قطعات اشتباه از سوی کارخانه به سایت پروژه گردد و در صورت عدم وجود فضای مناسب در سایت برای دپوی قطعات موجب تحمیل هزینه برای بازگرداندن قطعات به کارخانه و یا ایجاد فضای مناسب دپو گردد.
- راهکارهای موانع مربوط به نصب و راه‌اندازی تجهیزات شامل مواردی از جمله مدلسازی روند نصب قطعات به صورت دقیق و مشخص شدن نحوه استفاده از ماشین‌آلات و تجهیزات لازم، مدیریت سایت به شکل مناسب از لحاظ چیدمان تجهیزات و ماشین‌آلات و ایجاد بستر هماهنگی و نظارت بر شرایط قطعات در کارخانه و روند انتقال قطعات ساخته شده به سایت به منظور نصب و مونتاژ می‌باشد.

برای اجرای صحیح و کامل روش تولید و ساخت خارج از کارگاه و بهره‌مندی از مزایای آن در پروژه‌های مختلف لازم است تا در ابتدا زمینه ایجاد آشنایی و شناخت نسبت این روش و اهمیت استفاده از آن در پروژه‌های گوناگون به منظور بهبود بهره‌وری پروژه‌های صنعت ساخت و ساز کشور برای شرکت‌های کارفرمایی، پیمانکاری و مشاور فراهم گردد. همچنین حمایت دولت و دستگاه‌های قانون‌گذار از روش‌های نوین ساخت و ایجاد سیاست‌های تشویقی مالی و مالیاتی در صورت استفاده از این روش‌ها و تدوین استاندارد و آیین‌نامه‌های جامع و کامل در خصوص روش تولید و ساخت خارج از کارگاه تأثیر بسزایی در افزایش استفاده از روش فوق در پروژه‌های مختلف خواهد داشت. و به منظور رفع موانع در طول اجرای پروژه‌ها با روش تولید و ساخت خارج از کارگاه حتماً لازم است که از تجربه و توان مدیریتی افراد متخصص و دارای دانش کافی درباره روش فوق استفاده شود. و باید با ایجاد یکپارچگی بین عوامل مختلف پروژه بخصوص تیم‌های طراح و سازنده زمینه بهبود طراحی‌های نهایی را ایجاد نمود و در ادامه با افزایش نظارت بر طراحی و روند ساخت قطعات در کارخانه و نصب قطعات در سایت، باعث جلوگیری از افت کیفیت مدنظر شد. در پایان این بخش خبرگان تأکید کردند در صورت اجرای راهکارهای فوق می‌توان اطمینان حاصل کرد که استفاده از روش تولید و ساخت خارج از کارگاه در پروژه‌های مختلف گسترش و توسعه یابد و در نهایت به بهبودی بهره‌وری صنعت ساخت کمک کند.

مطابق یافته های این پژوهش استفاده از BIM می‌تواند در بخش‌های ذیل موجب تسهیل و کاهش موانع روش ساخت و تولید خارج از کارگاه شود:

❖ رهبری و برنامه‌ریزی

- طبق نظرات خبرگان استفاده از BIM می‌تواند به ایجاد هماهنگی بین ارکان مختلف پروژه و بهبود نظارت تأثیر مثبتی بگذارد. یکی از از اصلی‌ترین کاربردهای BIM تشکیل یک بستر یکپارچه در پروژه به منظور افزایش ارتباطات بین افراد و بخش‌های مختلف و بهبود هماهنگی میان بخش‌های مختلف است. این هماهنگی شامل بهبود ارتباطات و دسترسی افراد به یکدیگر، نظارت بهتر در زمینه‌های مختلف، همفکری و اعمال نظرات مختلف در طراحی و... می‌شود. البته میزان هماهنگی بستگی به نوع تعریف آن در سازمان خواهد داشت.

❖ **مهندسی و ساخت**

- اصلی‌ترین و بیشترین تأثیر استفاده از BIM در راهکارهای کاهش موانع مربوط به بخش مهندسی و ساخت است. BIM از طریق ایجاد یکی فضای اشتراکی یکپارچه می‌تواند باعث افزایش راندمان همکاری افراد بخش‌های در زمینه طراحی می‌گردد. BIM با ایجاد مدلسازی سه‌بعدی و بهره‌منده از فضای کار یکپارچه باعث ایجاد نقشه‌های طراحی، تأسیسات مکانیکی و الکتریکی در کنار یکدیگر می‌شود و افراد متخصص در زمینه‌های مختلف می‌توانند با اعمال نظرات خود باعث بهبود طراحی و کاهش مشکلات اجرایی شوند. استفاده از BIM می‌تواند در زمینه تشخیص تعارضات و تداخلات نقشه‌های بخش‌های مختلف کمک شایانی به تیم طراحی کند. تشخیص تعارضات نقشه‌های اجرایی و اصلاح آنها در روش تولید و ساخت خارج از کارگاه از اهمیت بسیار بالایی برخوردار است، چرا که اگر به هنگام نصب قطعات تداخلات مشخص گردد ایجاد اصلاح و تغییرات در بسیاری از قطعات ساخته شده ناممکن است و به همین دلیل ناچار طراحی دوباره و ساخت دوباره آن قطعه در کارخانه هستیم و همین امر سبب افزایش هزینه و طولانی‌شدن زمان ساخت پروژه می‌گردد.

- در صورت وجود بانک اطلاعاتی درباره ویژگی‌ها و توانمندی‌های پیمانکاران و تأمین‌کنندگان مختلف، می‌توان با استفاده از BIM و تطبیق نیازمندی‌های پروژه با شرایط هر یک از آنها در فرآیند انتخاب پیمانکار و تأمین‌کننده مناسب دقت بیشتری داشت و تا حدودی از مشکلات ناشی از انتخاب اشتباه در آینده کاست.

- در ضمن می‌توان از طریق اجرای BIM و بهره‌مندی از قابلیت‌های آن و ایجاد یک ساختار نظارتی بر روند ساخت قطعات نظارت داشت تا از اجرای اشتباه و ساخته شدن قطعه بدون کیفیت مناسب جلوگیری کرد.

❖ **مالی**

- می‌توان با استفاده از BIM و قابلیت‌های آن و با اعمال نظرات افراد مختلف برآوردی دقیق از هزینه همه مراحل مختلف روش تولید و ساخت خارج از کارگاه داشت. به گفته یکی از خبرگان «می‌توان به کمک نمودار برآورد هزینه دقیق متوجه شد که استفاده از این روش با اینکه در ابتدا پروژه هزینه‌های بسیار بالایی به پروژه تحمیل می‌کند ولی به علت کاهش سه برابری زمان انجام پروژه و کیفیت بالای ساخت هزینه‌های چرخه حیات پروژه را به شدت کاهش داد و هزینه بالای اولیه را جبران نمود.»

❖ **نصب و مونتاژ قطعات در سایت**

- استفاده از BIM را می‌توان به عنوان بهترین راهکار برای رفع موانع در مرحله نصب و مونتاژ قطعات در نظر گرفت. چراکه با استفاده از قابلیت مدلسازی سه بعدی BIM و به کمک شبیه‌سازی کامل فرآیند نصب و مونتاژ قطعات در محل مورد نظر خود بهترین و ایده‌آل‌ترین وضعیت ماشین‌آلات و تجهیزات مورد نیاز و مقدار فضای مورد نیاز آنها به طور دقیق مشخص نمود.

- یکی از قابلیت‌های BIM ایجاد بستری مناسب به منظور استفاده از تکنولوژی اینترنت اشیاء (IOT[5]) می‌باشد. در صورت استفاده از IOT و BIM در کنار هم می‌توان نظارت دقیق بر وضعیت قطعات ساخته‌شده را به صورت لحظه‌ای داشت. بطوریکه می‌توان شرایط فیزیکی قطعات را در کارخانه به طور کامل بررسی کرد و از انتقال قطعات اشتباه به سایت پروژه جلوگیری نمود و به هنگام انتقال قطعات به سایت از موقعیت مکانی آنها و زمان ورورد آنها به سایت اطلاع یافت. همینطور میتوان در زمان بهره‌برداری از پروژه هم با استفاده از تکنولوژی IOT وضعیت لحظه‌ای قطعات در ساختمان را بررسی و کنترل نمود.

[5] Internet of Things

نحوه تأثیر BIM در راهکارهای کاهش موانع استفاده از روش تولید و ساخت خارج از کارگاه شامل موارد زیر است:

۱) تشکیل بستر یکپارچه و ایجاد هماهنگی بین ارکان مختلف پروژه و بهبود روند نظارت

۲) بهبود فرآیند طراحی از طریف مدلسازی سه بعدی یکپارچه و اعمال نظرات متخصصین مختلف و شناسایی تعارضات و تداخلات نقشه‌های اجرایی و اصلاح آنها

۳) کمک به تشخیص و شناسایی پیمانکاران و تأمین‌کنندگان توانمند و دارای صلاحیت

۴) ایجاد ساختار نظارتی بر روند ساخت قطعات در کارخانه

۵) برآورد دقیق هزینه‌های پروژه در طی مراحل مختلف

۶) شناسایی وضعیت و شرایط لازم برای استفاده از تجهیزات و ماشین‌آلات نصب و مونتاژ قطعات از طریق شبیه‌سازی کامل عملیات نصب و مونتاژ

۷) بهبود فرآیند مدیریت سایت و کنترل حضور افراد و تجهیزات در سایت و تشخیص بهترین وضعیت چیدمان سایت

در ادامه می‌توان موانع استفاده از روش تولید و ساخت خارج از کارگاه و راهکار پیشنهادی برای کاهش موانع شناسایی شده و چگونگی تأثیر BIM بر راهکارهای ارائه شده را در جدول ۴ مشاهده کرد.

جدول ٤ : تأثیر BIM در راهکارهای کاهش موانع تولید و ساخت خارج از کارگاه

تأثیر BIM در راهکارهای کاهش موانع تولید و ساخت خارج از کارگاه			
موانع کلان	**موانع (به دست آمده از مطالعات تحقیقات گذشته و تأیید آنها در مرحله اول مصاحبه)**	**راهکار (به دست آمده در مرحله دوم مصاحبه)**	**تأثیر BIM (به دست آمده در مرحله دوم مصاحبه)**
رهبری و برنامه‌ریزی	• عدم شناخت و آگاهی درباره روش تولید و ساخت خارج از کارگاه در مقایسه با روش‌های سنتی • کمبود دستورالعمل‌ها، تجربه‌های اجرایی و مطالعات برای استفاده از روش تولید و ساخت خارج از کارگاه • کمبود اقدام جهت بهبود مهارت‌ها و مقاومت در مقابل ورود نوآوری • کمبود نیروی کار ماهر و نتیجتاً زمان‌بر بودن روند فعالیت‌ها • عدم ایجاد هماهنگی لازم بین ارکان مختلف پروژه	✓ افزایش آگاهی افراد در مورد مزایای استفاده از روش‌های نوین ساخت و بخصوص روش تولید و ساخت خارج از کارگاه از طرق مختلف مانند همایش‌ها و کنفرانس‌های سالیانه. ✓ حمایت از پژوهش‌های مرتبط در رابطه با ویژگی‌ها و نحوه عملکرد روش‌های مختلف تولید و ساخت خارج از کارگاه توسط شرکت‌ها و سازمان‌های صنعت ساخت. ✓ تربیت نیروهای متخصص و جذب آنها در شرکت‌های مختلف صنعت ساخت و استفاده از توانمندی‌ها و تجارب افراد متخصص. ✓ ایجاد هماهنگی بین ارکان مختلف پروژه و بهبود نظارت از طریق ایجاد یک بستر مناسب.	* تشکیل بستر یکپارچه و ایجاد هماهنگی بین ارکان مختلف پروژه و بهبود روند نظارت

مهندسی و ساخت	• عدم مهارت و دانش فنی عاملان پروژه از مراحل قراردادی تا اجرا • فقدان کنترل و مدیریت مهندسی در زمان ساخت قطعات • مشکلات طراحی‌ها و عدم محاسبه دقیق محل اتصالات • معیارهای نامناسب و غیر قابل اتکا به منظور تأیید صلاحیت پیمانکاران و تأمین‌کنندگان • عدم نظارت مناسب بر روند ساخت قطعات در کارخانه و روند انتقال قطعات به سایت و عملکرد آنها	✓ استفاده از تیم طراحی مناسب که دارای دانش و تجربه لازم باشند. ✓ اهمیت دادن به مرحله طراحی و در نظرگرفتن زمان کافی برای این مرحله در برنامه‌ریزی‌های پروژه. ✓ ایجاد مدلسازی سه‌بعدی پروژه و تدقیق نقشه‌های مختلف و مقایسه نقشه‌های مختلف برای شناسایی مشکلات موجود. ✓ بررسی دقیق و کامل توانمندی‌ها و صلاحیت پیمانکاران و تأمین‌کنندگان قطعات و تجهیزات. ✓ ایجاد یک ساختار نظارتی از سمت تیم طراح و سازنده بر روند ساخت قطعات در کارخانه.	* بهبود فرآیند طراحی از طریق مدلسازی سه بعدی یکپارچه و اعمال نظرات متخصصین مختلف و شناسایی تعارضات نقشه‌های اجرایی و اصلاح آنها * کمک به تشخیص و شناسایی پیمانکاران و تأمین‌کنندگان توانمند * ایجاد ساختار نظارتی بر روند ساخت قطعات در کارخانه
مالی	• منحصر به فرد بودن پروژه و تنوع محصولات و در پی آن افزایش هزینه‌های سرمایه‌گذاری و راه‌اندازی • فقدان پشتیبانی دولت از صنعت پیش‌ساخته سازی • عدم تناسب ظرفیت کارخانه‌ها با تقاضا موجود به منظور گسترش روش تولید و ساخت خارج از کارگاه	✓ تعیین میزان دقیق هزینه‌های انجام پروژه و بررسی کامل هزینه‌های چرخه عمر پروژه و مقایسه آن با میزان هزینه‌های روش سنتی. ✓ ایجاد کارخانه‌های مختلف ساخت قطعات به منظور افزایش رقابت و عرضه و کاهش قیمت ساخت قطعات. ✓ حمایت دولت و ایجاد سیاست‌های تشویقی مالی به منظور ایجاد انگیزه برای استفاده از روش تولید و ساخت خارج از کارگاه.	* برآورد دقیق هزینه‌های پروژه در طی مراحل مختلف
عوامل قانونی	• فقدان پیش‌بینی چارچوب‌های قانونی جهت انجام روش تولید و ساخت خارج از کارگاه • فقدان استانداردها و دستورالعمل‌های لازم درباره تولید و ساخت خارج از کارگاه	✓ در نظر گرفتن چارچوب‌های قانونی به منظور تشویق افراد برای استفاده از این روش ✓ تدوین استاندارد و آیین‌نامه جامع و کامل در رابطه با روش‌های تولید و ساخت خارج از کارگاه	-
فرهنگ	• کمبود انعطاف بازار در مقابل ورود فناوری جدید و مقاومت در برابر دستیابی مهارت نو	✓ افزایش آگاهی و شناخت ارکان مختلف صنعت ساخت با مزایای این روش و ایجاد انگیزه در آنها	-
نصب و مونتاژ قطعات در سایت	• محدودیت‌های جابجایی ایمن ماشین‌آلات و محدودیت‌های مربوط حمل و نقل قطعات • عدم نظارت به شرایط قطعات ساخته شده در کارخانه و نحوه انتقال آنها به سایت • محدودیت‌های بکارگیری ماشین‌آلات تخصصی به دلیل ابعاد قطعات در ارتفاعات، عدم گردش در فضای در دسترس و یا طراحی و محدودیت فضای دپو قطعات • کمبود دسترسی به ماشین‌آلات تخصصی و نیروهایی دارای تجربه و صلاحیت لازم باشند	✓ مدلسازی روند نصب قطعات به صورت دقیق و مشخص شدن نحوه استفاده از ماشین‌آلات و تجهیزات لازم و شرایط خاص لازم برای هریک از ماشین‌آلات از لحاظ ایمنی و میزان فضای مورد نیاز و نیروهای متخصص ✓ مدیریت سایت به شکل مناسب از لحاظ چیدمان تجهیزات و ماشین‌آلات در سایت و همینطور برنامه‌ریزی درباره حضور پیمانکاران مختلف و نیروهای غیر تخصصی در سایت در زمان انجام عملیات نصب ✓ ایجاد بستر هماهنگی و نظارت بر شرایط قطعات در کارخانه و روند انتقال قطعات ساخته شده به سایت به منظور نصب و مونتاژ	* شناسایی وضعیت و شرایط لازم برای استفاده از تجهیزات و ماشین‌آلات نصب و مونتاژ قطعات از طریق شبیه‌سازی کامل عملیات نصب و مونتاژ * بهبود فرآیند مدیریت سایت و کنترل حضور افراد و تجهیزات در سایت و تشخیص بهترین وضعیت چیدمان سایت

۵- بحث

علی‌رغم مزایای روش تولید و ساخت خارج از کارگاه به علت مشکلات و موانع گوناگون استفاده از این روش در پروژه‌های عمرانی کشور بسیار ناچیز و محدود است. در تحقیقات گذشته مشخص شده بود علی‌رغم تأثیر بسزای روش تولید و ساخت خارج از کارگاه در افزایش بهره‌وری صنعت ساخت و ساز، تمایل بسیار اندکی نسبت به استفاده از این روش وجود دارد و لازم است درباره راهکارهای مختلف به منظور رفع موانع موجود در استفاده از این روش تحقیقات مختلفی انجام شود. ضمن آنکه در تحقیقات مختلفی به تأثیر مثبت BIM در بهبود اجرای روش تولید و ساخت خارج از کارگاه اشاره شده بود ولی مطالعات زیادی درباره تأثیر استفاده از BIM در کنار روش تولید و ساخت خارج از کارگاه صورت نگرفته بود. به همین دلیل در تحقیق حاضر به بررسی تأثیر استفاده از BIM در راهکارهای کاهش موانع

روش تولید و ساخت خارج از کارگاه پرداخته شد تا با ارائه راهکارهایی در جهت تسهیل استفاده از روش تولید و ساخت خارج از کارگاه، بتوان شاهد پذیرش و متعاقباً استفاده گسترده و توسعه این روش در صنعت ساختمان ایران بود تا در نتیجه بتوانیم شاهد تأثیر مثبتی در روند بهبود بهره‌وری صنعت ساخت و ساز که یکی از مهم‌ترین صنایع کشور است باشیم. با مقایسه نتایج حاصل از تجزیه وتحلیل داده‌های به دست آمده از مصاحبه‌ها و ادبیات موضوع مشخص گردید علی‌رغم مزایای بسیار زیاد حاصل از روش‌های نوین ساخت، همچنان سازمان‌های دولتی و خصوصی تمایل دارند برای اجرای پروژه‌های خود از روش‌های سنتی که دارای بهره‌وری بسیار پایین هستند استفاده کنند. به همین دلیل ایجاد آگاهی و شناخت در رابطه با انواع روش‌های نوین ساخت و ایجاد انگیزه برای استفاده از این روش‌ها از اهمیت بسیار زیادی برخوردار است. یکی از روش‌های نوین ساخت، روش تولید و ساخت خارج از کارگاه است که از مزایای گوناگونی از جمله کاهش بسیار زیاد زمان انجام پروژه، افزایش کیفیت محصول نهایی، کاهش اثرات مخرب زیست محیطی و... برخوردار است. استفاده از این روش باعث بهبود چشمگیر بهره‌وری می‌گردد. اما در حال حاضر به علت موانع گوناگون میزان استفاده ازاین روش بسیار ناچیز است.

۶-نتیجه‌گیری

در این پژوهش موانع اصلی استفاده از روش تولید و ساخت خارج از کارگاه مشخص گردید که به طور کلی در شش گروه رهبری و برنامه‌ریزی، مهندسی و ساخت، مالی، عوامل قانونی، فرهنگ و نصب و مونتاژ قطعات در سایت طبقه‌بندی شدند. در ادامه راهکارهای کاهش موانع شناسایی شده این روش مشخص شده است.

۱) کمبود دانش و عدم آگاهی نسبت به شرایط خاص روش تولید و ساخت خارج از کارگاه اصلی‌ترین مانع استفاده از این روش در پروژه‌های صنعت ساخت کشور است. نبود استاندارد و ضوابط قانونی و آیین‌نامه جامع و یکپارچه درباره جزئیات مختلف این روش به عنوان دومین مانع مهم مطرح می‌گردد.

۲) موارد دیگری از جمله مشکلات مربوط به برنامه‌ریزی نامناسب و ناهماهنگی بین بخش‌های مختلف که ناشی از فقدان نیروی متخصص و با تجربه و آگاه به جنبه‌های مختلف این روش می‌باشد، مشکلات مربوط به روند طراحی اشتباه و ایجاد تعارضات و تداخلات گوناگون در نقشه‌های اجرایی و اشتباهات محاسباتی، عدم نظارت کافی بر روند ساخت قطعات مد نظر در کارخانه از دیگر موانع مهم انتخاب روش تولید و ساخت و خارج از کارگاه و استفاده از آن می‌باشند.

۳) موانع دیگر از جمله موانع گروه‌های مالی، فرهنگ و نصب و مونتاژ قطعات در سایت با آنکه تأثیر کمتری نسبت موانع گروه‌های دیگر دارند ولی در صورت وجود در کنار موانع دیگر و با توجه به شرایط خاص هر پروژه می‌توانند تأثیر بسزایی در روند انتخاب روش تولید و ساخت خارج از کارگاه داشته باشند فلذا توجه به آنها و تلاش برای رفع این موانع از اهمیت بالایی برخوردار است.

۴) افزایش شناخت و آگاهی افراد درباره ویژگی‌ها و مزایای روش تولید و ساخت و خارج از کارگاه می‌تواند تأثیر بسزایی در افزایش تمایل به استفاده از این روش در پروژه‌های صنعت ساخت داشته باشد و این افزایش آگاهی می‌تواند از طرق مختلفی مانند سمینارها و پژوهش‌های علمی، حمایت از انجام پژوهش‌های علمی در رابطه با جنبه‌های مختلف روش مذکور، تبلیغات و... صورت گیرد. در ادامه حمایت دولت و دستگاه‌های قانون‌گذار از طریق تدوین استاندارد و آیین‌نامه‌های جامع و یکپارچه درباره شرایط طراحی و اجرا و در نظر گرفتن سیاست‌های تشویقی مالی و مالیاتی می‌تواند باعث رفع چند مانع اساسی گسترش روش تولید و ساخت خارج از کارگاه گردد. همچنین با ایجاد یک بستر یکپارچه و هماهنگ بین ارکان مختلف پروژه که علاوه بر ایجاد ارتباط و هماهنگی بین افراد باعث افزایش مشارکت و همکاری و بهبود روند طراحی شود و برای مدیران و ناظران بخش‌های مختلف امکان نظارت بیشتر و مؤثرتری را فراهم کند و باعث بهبود کنترل بر روند اجرای پروژه و مدیریت پروژه در تمام مراحل مختلف مانند طراحی، ساخت قطعات در کارخانه، مدیریت سایت، نصب و مونتاژ و... شود، می‌توان باعث رفع و کاهش بسیاری از موانع شناسایی شده گردد.

۵) یکی از بهترین راهکارهای کاهش موانع روش تولید و ساخت خارج از کارگاه استفاده از فناوری BIM در کنار این روش است. فناوری BIM با ایجاد امکان مدل‌سازی دقیق، شبیه‌سازی، برنامه‌ریزی، و مدیریت یکپارچه اطلاعات، زمینه را برای طراحی و ساخت بهینه‌تر و افزایش کیفیت تولیدات خارج از کارگاه فراهم می‌کند. همچنین BIM موجب افزایش سرعت، کاهش هزینه‌ها، و بهبود هماهنگی در پروژه‌هایی می‌شود که از این روش استفاده می‌کنند. با توجه به یافته‌های این تحقیق «استفاده از BIM بهترین راهکار کاهش موانع روش تولید و ساخت خارج از کارگاه در رابطه با موانع مربوط به بخش‌های نظارتی و برنامه‌ریزی و طراحی است و عملاً می‌تواند باعث رفع نیمی از موانع استفاده گسترده از این روش گردد». تهیه سند چشم‌انداز و برنامه بلند مدت پیاده‌سازی BIM در پروژه‌های عمرانی توسط سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی استان تهران یکی از اقدامات اساسی انجام شده در کشور در جهت افزایش استفاده از BIM در پروژه‌های عمرانی صنعت ساخت و ساز کشور می‌باشد. تهیه این سند موجب منجر به تدوین آیین‌نامه‌ها و استانداردهای اجرای BIM و در نتیجه تسهیل استفاده از BIM خواهد گردید. فلذا می‌توان امید داشت با استفاده از فناوری BIM در کنار روش تولید و ساخت خارج از کارگاه، بسیاری از مشکلات و موانع این روش رفع گردد و با مشخص شدن مزایای بالقوه این روش تمایل به استفاده از این روش در انواع پروژه‌های عمرانی کشور از قبیل پروژه‌های زیربنایی، انبوه‌سازی و... افزایش یابد و در نهایت موجب بهبود بهره‌وری صنعت ساخت و ساز کشور گردد.

پیشنهاد برای تحقیقات آتی

بر اساس تجارب کسب شده از مطالعه تحقیقات موجود و بررسی نتایج حاصل از پژوهش فوق، کمبودهایی مشاهده گردیده که می‌توان از آنها به عنوان پیشنهاد برای تحقیقات آتی بهره برد. این پیشنهادات به ترتیب زیر می‌باشند:

۱) در این پژوهش چگونگی تأثیر استفاده از BIM در راهکارهای کاهش موانع روش تولید و ساخت خارج از کارگاه مشخص گردید. می‌توان در پژوهش‌های آینده به بررسی دقیق‌تر این موارد پرداخت و درباره نحوه عملکرد آنها در بخش‌های مختلف تحقیق کرد.

۲) می‌توان درباره دیگر راهکارهای شناسایی شده در پژوهش مانند حمایت دستگاه‌های دولتی و قانون‌گذار از روش تولید و ساخت خارج از کارگاه و در ادامه در رابطه با تدوین استانداردهای جامع و کامل درباره این روش تحقیقاتی در آینده انجام داد.

۳) می‌توان درباره تفاوت میزان تأثیر استفاده از BIM در کاهش موانع روش تولید و ساخت خارج از کارگاه بر حسب سطح بلوغ BIM تحقیقاتی در آینده انجام داد.

۴) می‌توان درباره دیگر روش‌های نوین ساخت بررسی مطالعه کرده و با بررسی موانع توسعه آنها و راهکارهای رفع آنها باعث ایجاد آگاهی و شناخت نسبت به آنها زمینه افزایش استفاده و توسعه آنها را فراهم نمود.

۵) یکی دیگر از موضوعات مرتبط بررسی تجربه سایر کشورها در زمینه استفاده از روش تولید و ساخت خارج از کارگاه و مطالعه دلایل موفقیت این روش در کشورهای پیشرو در این زمینه مانند چین و ژاپن است.

مراجع

[1] F. H. Abanda, J. H. M. Tah, and F. K. T. Cheung. (2017), "BIM in off-site manufacturing for buildings", J. Build. Eng., 14(9), 89–102.
[2] M. Naderi. (2019), "industrialization of the building; Requirements, contexts and necessities", in: 6th National Congress of Civil Engineering, Tehran: Architecture and Urban Development, 11.
[3] P. Nguyen and R. Akhavian. (2019), "Synergistic Effect of Integrated Project Delivery, Lean Construction, and Building Information Modeling on Project Performance Measures: A Quantitative and Qualitative Analysis", Adv. Civ. Eng., 13(7), 1–9.
[4] N. Lee and S. J. Kim. (2018), "Factors Influencing the Construction Industry's Shift to Modular Construction", in: 54th ASC Annual International Conference Proceedings, 529–536.

[5] S. Dixit and K. Sharma. (2020), "An Empirical Study of Major Factors Affecting Productivity of Construction Projects", Current Trends in Civil & Structural Engineering, 1(1), 121–129.
[6] X. Yin, H. Liu, Y. Chen, and M. Al-Hussein. (2019), "Building information modelling for off-site construction: Review and future directions", Autom. Constr., 101(1), 72–91.
[7] C. Mao, F. Xie, L. Hou, P. Wu, J. Wang, and X. Wang. (2016), "Cost analysis for sustainable off-site construction based on a multiple-case study in China", Habitat Int., 57, 215–222.
[8] M. Ezy, E. Saghatforoush, and H. Abbasianjahromi. (2018), "An investigation of advantages and disadvantages of off-site manufacturing: A meta-synthesis", Int. J. Proj. Organ. Manag., 10(4), 307–332.
[9] K. Ostrowska-Wawryniuk and N. Krzysztof. (2018), "Generative BIM Automation Strategies for Prefabricated Multi-Family Housing Design Prefabrication for Affordable Housing View project Computational Design in Architectural Education View project", 1–10.
[10] National BIM Standard -United StatesTM Version, (2012), "National Institute of Building Sciences".
[11] F. Fani, R. Taherkhani and M. Sabzehparvar. (2015), "Prioritizing BIM applications and benefits in construction project management", in: National conference of urban architecture, 9-11.
[12] S. Alizadehsalehi, A. Hadavi, and J. C. Huang. (2019), "BIM/MR-Lean Construction Project Delivery Management System", in: IEEE Technology & Engineering Management Conference (TEMSCON), 1–6.
[13] Q. Bing, A. Costin. (2022), "BIM and Ontology-Based DfMA Framework for Prefabricated Component", Buildings., 13(2), 394.
[14] A. Jamshidzadeh, M. Jamshidzadeh. (2022), "Implement BIM in Off-Site Construction", Int. J. Formal Sciences: Current and Future Research Trends., 0(1), 1-11.
[15] H. Hyun, H. Kim, and J. Kim. (2022), "Integrated Off-Site Construction Design Process including DfMA Considerations", Int. J. Sustainability., 14(7), 4084.
[16] E. Alfieri, E. Seghezzi, M. Sauchelli, G. Di Giuda, and G. Masera. (2020). "A BIM-based approach for DfMA in building construction: framework and first results on an Italian case study", Architectural Engineering and Design Management. 16. 247-269.
[17] Chen. C, Tang. L, C. M and Jin. Y. (2019). "Development of 5D BIM-Based Management System for Pre-Fabricated Construction in China", in International Conference on Smart Infrastructure and Construction 2019 (ICSIC). ICE Publishing.
[18] Shakouri Mahmoudabadi, N. (2021). "The Use of Viscous Dampers for Retrofitting of Reinforced Concrete Frames". Turkish Journal of Computer and Mathematics Education. 12(13). 7739-7744.
[19] S. Srisangeerthanan. et al. (2020). "Review of performance requirements for inter-module connections in multi-story modular buildings", Journal of Building Engineering. 28. 87-101.
[20] S. Nazari Enjedani and M. Khanal. (2023). "Development of a Turning Movement Estimator Using CV Data", Future Transportation. 3(1). 349-367.
[21] B. Wang, X. Wang, N. Wang, Z. Javaheri, N. Moghadamnejad, & M. Abedi. (2023). "Machine learning optimization model for reducing the electricity loads in residential energy forecasting", Sustainable Computing: Informatics and Systems. 38. 100876.
[22] Y. Han, X. Yan, & P. Piroozfar. (2022). "An overall review of research on prefabricated construction supply chain management. Engineering", Construction and Architectural Management.
[23] N. S.Mahmoudabadi. (2020). "The Study of Cable Behavior with Two Spring-Dampers and One Viscous Damper", World, 9(S1), 128-136.
[24] H. Xu, R. Chang, N. Dong, J. Zuo, & R. J.Webber. (2023). "Interaction mechanism of BIM application barriers in prefabricated construction and driving strategies from stakeholders' perspectives", Ain Shams Engineering Journal. 14(1).101821.
[25] A. Rostami, R. Falsafi and P. Eskandari. (1399), "The role of BIM in the successful implementation of planning in prefabrication and modular projects in the construction industry.", in: 3rd int. conference of BIM, Tehran.

فرآیند انجام مصاحبه

سوالات در پنج بخش مربوط به مشخصات مصاحبه‌شونده، وضعیت استفاده از روش ساخت خارج از کارگاه، موانع توسعه ساخت و ساز خارج از کارگاه، وضعیت BIM در پروژه و تأثیر استفاده از BIM در کاهش موانع اشاره شده تنظیم گردیده است. با توجه به نیمه ساختار یافته بودن مصاحبه تعدادی از سوالات به گونه‌ای طراحی شدند که مصاحبه‌شونده بدون محدودیت بتواند نظرات خود را خارج از پرسش‌های مشخص شده نیز ابراز نماید. مدت زمان انجام مصاحبه بین ۴۰ تا ۶۰ دقیقه در نظر گرفته شده است. در طول مصاحبه علاوه بر یادداشت برداری از بخش‌های مهم، با کسب اجازه از مصاحبه شونده صدای وی نیز ضبط می‌گردد.

جدول ۰–۵ : سوالات مصاحبه

الف) به طور خلاصه خود و شرکت را معرفی کنید.		
ردیف	سوالات تکمیلی	هدف از سوال
۱	به طور خلاصه خود را معرفی کنید.	آشنایی با نام، رشته تحصیلی، سمت و میزان سابقه کار در صنعت.
۲	تاریخچه و ابعاد شرکت را بیان کنید.	آشنایی با شرکت، زیرمجموعه‌ها، تعداد کارکنان و سرمایه آن.
۳	فعالیت‌ها و پروژه‌های شرکت را توضیح دهید.	آشنایی با رشته‌های تخصصی و سوابق اجرایی شرکت.
ب) در خصوص وضعیت استفاده از روش تولید و ساخت خارج از کارگاه توضیح دهید.		
ردیف	سوالات تکمیلی	هدف از سوال
۱	در چه پروژه‌هایی از روش فوق استفاده می‌کنید؟	شناسایی پروژه‌هایی که با روش ساخت خارج از کارگاه انجام شده.
۲	وضعیت استفاده از این روش در ایران به چه شکل است؟	آشنایی با وضعیت استفاده از این روش در ایران.
ج) درباره موانع توسعه و گسترش روش ساخت و ساز خارج از کارگاه و راهکارهای کاهش این موانع توضیح دهید.		
ردیف	سوالات تکمیلی	هدف از سوال
۱	موانع توسعه روش ساخت و ساز خارج کارگاه در ایران چیست؟	شناسایی موانع کلی اجرای روش ساخت و ساز خارج از کارگاه.
۲	در خصوص موانع توسعه و گسترش روش ساخت و ساز خارج کارگاه مستخرج از ادبیات چه نظری دارید؟	شناسایی موانع مهم استخراج شده و پوشش تمامی موانع ممکن.
۳	چه راهکارهایی برای موانع فوق پیشنهاد می‌کنید؟	شناسایی راهکارهای موثر برای موانع اجرای روش ساخت خارج از کارگاه.
د) شرکت شما در راستای بکارگیری BIM از چه وضعیتی برخوردار است؟		
ردیف	سوالات تکمیلی	هدف از سوال
۱	در خصوص کاربردها و مزایای BIM مستخرج از ادبیات چه نظری دارید؟	شناسایی کاربردها و مزایای BIM استخراج شده و پوشش تمامی آنها.
۲	چه کاربردهایی از BIM را در پروژه‌های شرکت استفاده کرده‌اید؟	بررسی وضعیت بکارگیری کاربردهای BIM در سطوح عملیاتی و پروژه‌ای.
هـ) درباره تأثیر استفاده از BIM در کاهش موانع توسعه روش تولید و ساخت خارج از کارگاه توضیح دهید		
ردیف	سوالات تکمیلی	هدف از سوال
۱	با توجه به کاربردهای BIM، درباره تأثیر استفاده از BIM در رفع و کاهش موانع توسعه روش تولید و ساخت خارج از کارگاه توضیح دهید.	شناسایی تأثیر BIM در کاهش موانع توسعه تولید و ساخت خارج از کارگاه.