

Convergence of Augmented Reality and Virtual Reality: Experts' Perspective on Mixed Reality in Smart Building Projects

Reza Behboud 

Assistant Professor of Information Technology Management, Department of Management, South Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

Ehsan Bagheri 

Ph.D. Student of Information Technology Management, Department of Management, South Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

Mohamad Mahdi Zolfaghari Tehrani* 

Ph.D. Student of Information Technology Management, Department of Management, South Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

Abstract

The rapid development and advancement of augmented reality (AR) and virtual reality (VR) technologies have significantly transformed the landscape of smart building projects in recent years, paving the way for the emergence of mixed reality (MR). This innovative concept effectively bridges the gap between the digital and physical worlds within the complex ecosystem of smart construction. Nevertheless, the adoption of MR technologies among Iranian specialists in the field has been notably limited. Consequently, this research rigorously investigates the perspectives of Iranian construction experts regarding the convergence of AR and VR technologies through a carefully designed mixed-method approach. This approach includes an extensive literature review followed by a comprehensive Q-methodology survey conducted across five distinct areas. The analysis of collected data using both content analysis and statistical methods disclosed that the integration of AR and VR technologies considerably enhances project

* Corresponding Author: MZ4062@Yahoo.com

How to Cite: xxxxxxxx

accuracy, reduces overall costs, and boosts productivity levels, despite the existence of various technical barriers and significant training needs. Ultimately, the study provides a thorough analysis of expert opinions, which can greatly inform optimization strategies within the construction sector. The research concludes that acknowledging the vast potential of integrated technologies, while simultaneously concentrating on the human and economic factors involved, plays a pivotal role in fostering the success of smart building initiatives.

1. Introduction

Given the novelty and rapidly evolving nature of mixed reality (MR) technology, it is advisable to first examine experts' familiarity with augmented reality (AR) and virtual reality (VR) as separate entities. This foundational understanding is crucial before delving into their economic and technical advantages, as well as making future predictions about their implementations. Investigating the convergence of AR and VR within the framework of MR for smart building projects requires a comprehensive and in-depth examination of existing literature. Notably, prior studies have primarily focused on the discrete applications of AR and VR, while the potential for their convergence into integrated ecosystems has received considerably less attention, particularly in the context of interactions with Building Information Modeling (BIM) and the Internet of Things (IoT). This significant knowledge gap, along with various technical barriers and the considerable initial investment required, poses formidable challenges to the widespread adoption of these technologies.

Therefore, the primary research question guiding this study is to discover and analyze the opinions of Iranian construction industry experts and professionals regarding the application and effectiveness of mixed reality technology in smart building projects.

2. Literature Review

AR/VR convergence within MR framework as an emerging smart building paradigm necessitates deep literature exploration. Previous studies focused on separate applications, while combination received less attention. Research gaps include: lack of cognitive/ergonomic frameworks, data integration inefficiencies, scarcity of adaptive decision-making models, and technical ecosystem limitations.

3. Methodology

The philosophy underlying this study is rooted in pragmatism, employing a mixed inductive-deductive approach to comprehensively address the research questions. Initially, information was meticulously extracted from a range of scholarly articles utilizing the PRISMA method, which is inductive in nature. Following this, structured survey questions were designed, ensuring a robust framework for data collection. The analysis of the collected data was subsequently conducted using Python, aligning with the deductive aspect of this study.

To enrich the findings, the researchers crafted detailed questionnaires that effectively combined the extracted information from the literature review. Additionally, expert interviews were carried out to gain insights, leading to the design of a Q-methodology survey aimed at collecting diverse opinions regarding AR/VR familiarity, the technical and economic advantages and disadvantages of mixed reality, as well as future predictions for these technologies. The overall mixed-method approach is cross-sectional, allowing for a comprehensive view of the current situation.

For qualitative data collection, a systematic PRISMA review was employed alongside the Q-methodology survey. Meanwhile, quantitative analysis utilized Python programming for generating a correlation matrix, assessing adequacy sample indices, and conducting exploratory factor analysis. This multifaceted methodology ensures a thorough examination of the subject matter and provides a solid foundation for the research findings.

4. Results

The examination of the correlation matrix reveals that the convergence of virtual and augmented reality significantly impacts various dimensions, including experiential, scientific, and economic aspects. The adequacy sample index suggests that specialists in the field are approaching future predictions with caution and are thoughtful regarding the implications of these technologies. Furthermore, the exploratory factor analysis indicates that while specialists have a solid understanding of the fundamental concepts of augmented and virtual reality, their grasp of advanced applications remains somewhat limited. Despite this, they perceive the technical and economic advantages of mixed reality (MR) to outweigh its disadvantages, even in light of notable challenges that may arise. Overall, specialists express a general optimism regarding the future of MR technology, although they do harbor some concerns that warrant further attention and discussion.

5. Discussion and Conclusion

Results demonstrate these technologies' importance in enhancing construction industry performance and efficiency across technical, economic, and social dimensions. AR/VR integration offers high transformation potential. Correlation matrix reveals significant relationships between AR software familiarity and technical mastery. Exploratory factor analysis identified two main factors: basic AR concepts and advanced applications. Despite initial concept familiarity, understanding performance complexities requires further education. Findings show positive specialist outlook toward MR technical advantages over disadvantages, expressing optimism about future capabilities. Economic advantage/disadvantage examination suggests positive attitudes toward benefits and drawbacks. Future predictions contain encouraging aspects. Factor analysis indicates forward-looking awareness enables stakeholders' precise future planning through better current situation understanding.

Based on the findings of this study, it is recommended that future research delves deeper into the social and cultural dimensions of the acceptance of mixed reality technology and examines its challenges from human and economic perspectives.

Keywords: Augmented Reality, Virtual Reality, Mixed Reality, Integration of Augmented and Virtual Reality, Smart Building Project.

همگرایی واقعیت افزوده و واقعیت مجازی، نظر متخصصان به واقعیت ترکیبی در پروژه هوشمند ساختمانی

استادیار، گروه مدیریت فناوری اطلاعات، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب، ایران

رضا بهبود 

دانشجوی دکتری، گروه مدیریت فناوری اطلاعات، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب، ایران

احسان باقری 

دانشجوی دکتری، گروه مدیریت فناوری اطلاعات، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب، ایران

محمد مهدی
ذوالفقاری طهرانی

 *

چکیده

توسعه فناوری‌های واقعیت افزوده و واقعیت مجازی تحولات چشمگیری را در پروژه هوشمند ساختمانی رقم زده است. همگرایی این دو فناوری، مفهوم نوینی به نام واقعیت ترکیبی ایجاد کرده که پلی جدید میان دنیاهای دیجیتال و فیزیکی برقرار می‌کند. واقعیت ترکیبی، حلقه مفقوده اکوسیستم ساختمانی هوشمند محسوب می‌شود. اما با توجه به جدید بودن این فناوری، ابعاد استفاده از آن نزد متخصصین ایرانی هنوز تاریک است و درصد کمی از آنان با قابلیت‌های پیشرفته آن آشنایی دارند. در این پژوهش سعی نمودیم که نظر متخصصان و فعالان صنعت ساخت و ساز در ایران درباره همگرایی این فناوری بررسی و تحلیل شود. با پارادایمی ترکیبی، ابتدا با مطالعه مقالات مرتبط و تحلیل آنها، اطلاعات مرتبط استخراج گردیده سپس نظر سنجی به روش کیو طراحی و طی پرسشنامه ای نظر متخصصان در ۵ حوزه استخراج گردید. داده‌ها با استفاده از تحلیل محتوا و روش‌های آماری پردازش شدند تا الگوها و روندهای جاری شناسایی شوند. یافته‌ها نشان دهنده این بودند که این فناوری‌ها می‌تواند به بهبود قابل توجهی در دقت، کاهش هزینه‌ها و افزایش بهره‌وری منجر گردد. همچنین، تشخیص موانع فنی و نیاز به آموزش مداوم کاربران به عنوان چالش‌های اصلی مطرح شدند. ارزش افزوده این تحقیق به تحلیل عمیق و جامع از نظریات متخصصان در خصوص واقعیت ترکیبی تعلق دارد که

* نویسنده مسئول: MZ4062@Yahoo.com

می تواند به توسعه استراتژی های بهینه سازی در صنعت ساخت و ساز یاری رساند. نتیجه گیری پژوهش بیانگر این است که با توجه به پتانسیل های بالای فناوری های ادغام شده، توجه به جنبه های انسانی و اقتصادی به صورت همزمان می تواند مسیر موفقیت در این حوزه را هموار سازد.

کلیدواژه ها: واقعیت افزوده، واقعیت مجازی، واقعیت ترکیبی، یکپارچه سازی واقعیت افزوده و مجازی، پروژه هوشمند ساختمان.

آماده انتشار

مقدمه

صنعت ساخت‌وساز در عصر دیجیتال با ظهور فناوری‌های نوینی مانند واقعیت افزوده^۱ و واقعیت مجازی^۲ دستخوش تحولات بنیادین شده‌است. مطالعات اخیر نشان می‌دهد که واقعیت افزوده در مدیریت ایمنی پروژه‌های ساختمانی توانسته است با آرایه راهکارهای پیشگیرانه در مراحل پیش از وقوع حادثه، حین کار و پس از آن تا ۴۰٪ از خطاهای انسانی بکاهد (Noghabaei et al., 2020). از سوی دیگر، واقعیت مجازی با ایجاد محیط‌های ایمن شبیه‌سازی‌شده، امکان آموزش تعاملی و کاهش ۳۵٪ ریسک حوادث را برای نیروی کار فراهم کرده است (Kandi et al., 2020). این فناوری‌ها به طور خاص در پروژه‌های هوشمند ساختمانی، که مبتنی بر یکپارچه‌سازی داده‌های چندمنظوره و سیستم‌های نظارتی پیچیده هستند، به عنوان ابزاری حیاتی برای بهبود دقت طراحی، کاهش هزینه‌ها و افزایش بهره‌وری شناخته می‌شوند. شواهد حاکی از آن است که پروژه‌های مجهز به این فناوری‌ها به طور متوسط ۲۵٪ سریع‌تر از روش‌های سنتی به مرحله بهره‌برداری می‌رسند (Cao et al., 2022).

با وجود این پیشرفت‌ها، واقعیت ترکیبی^۳ به عنوان همگرایی واقعیت افزوده و مجازی، حلقه مفقوده اکوسیستم ساختمانی هوشمند محسوب می‌شود. واقعیت ترکیبی با ادغام عناصر فیزیکی و دیجیتال، امکان تعامل بلادرنگ با مدل اطلاعات ساختمان^۴ و شبیه‌سازی پویا و همچنین راه‌حل چالش‌هایی نظیر بهینه‌سازی مصرف انرژی و کاهش ردپای کربن را فراهم می‌آورد (Liu et al., 2014). اما پژوهش‌ها نشان می‌دهند تنها ۳۷٪ از متخصصان صنعت ساخت‌وساز با قابلیت‌های پایه‌ای واقعیت ترکیبی آشنایی دارند (Noghabaei et al., 2020). این شکاف دانشی، همراه با موانع فنی نظیر ناسازگاری سکوها، نرم‌افزاری و نیاز به سرمایه‌گذاری اولیه بالا (به طور متوسط ۳۰٪ بیش از سیستم‌های تک‌فناوری)، پذیرش گسترده این فناوری را با چالش مواجه کرده است (Davila Delgado et al., 2020).

¹ Augmented Reality (AR)

² Virtual Reality (VR)

³ Mixed Reality (MR)

⁴ Building Information Model (BIM)

مقاله حاضر با تمرکز بر همگرایی واقعیت افزوده و مجازی در قالب واقعیت ترکیبی، به بررسی دیدگاه‌های متخصصان مرتبط با صنعت ساخت‌وساز خواهد پرداخت.

پیشینه پژوهش

تبیین همگرایی واقعیت افزوده و واقعیت مجازی در چارچوب واقعیت ترکیبی به عنوان پارادایمی نوظهور در پروژه‌های هوشمند ساختمانی نیازمند واکاوی عمیق ادبیات موجود است. مطالعات پیشین عمدتاً بر کاربردهای مجازی این فناوری‌ها متمرکز بوده‌اند، درحالی‌که پتانسیل همگرایی آن‌ها برای ایجاد اکوسیستم‌های یکپارچه، به ویژه در تعامل با مدل اطلاعات ساختمان و اینترنت اشیا^۱، کمتر مورد توجه قرار گرفته است (Chong & Kim, 2024). بررسی نظام‌مند مقالات موجود نشان می‌دهد که کاربردهای واقعیت افزوده عمدتاً بر محدوده تجسم سه بعدی طرح‌ها و برنامه‌ریزی فضایی داخلی متمرکز است و نارسایی در تعامل پویا با سایر داده‌ها به عنوان چالش اصلی شناسایی شده است (Ahsani et al., 2025). از سوی دیگر، پژوهش‌های حوزه واقعیت مجازی با وجود تأکید بر قابلیت‌های آموزشی و شبیه‌سازی مخاطرات، فاقد مکانیسم‌هایی برای انطباق بی‌درنگ با تغییرات پروژه‌های واقعی هستند (Lee et al., 2024). این شکاف به ویژه در مطالعات ایمنی مبتنی بر واقعیت مجازی مشهود است که علی‌رغم بهبود آگاهی کارگران، نتوانسته‌اند ارتباط معناداری با سیستم‌های نظارت و پایش^۲ زنده برقرار کنند (Wu et al., 2024).

در زمینه واقعیت ترکیبی، پژوهش‌ها حاکی از ناهمگنی چشمگیر است. اگرچه برخی مطالعات چارچوب‌های آموزشی ترکیبی را پیشنهاد می‌دهند، ولی فقدان استاندارد در رابط‌های کاربری به عنوان مانع اصلی پذیرش شناسایی شده است (Emelianova et al., 2025). در پژوهش‌های میدانی تایید شده که تنها ۳۷٪ از فعالان صنعت، آشنایی اولیه با

^۱ Internet of Thing (IoT)

^۲ Monitoring Systems

واقعیت ترکیبی دارند و ۶۳٪ از پاسخ‌دهندگان به عدم تطابق با فرآیندهای سنتی به عنوان چالش کلیدی اشاره کردند (Maqsoom et al., 2023).

شکاف‌های پژوهشی موجود در چهار دسته قابل دسته‌بندی است:

فقدان چارچوب‌های شناختی و ارگونومیک: مطالعات محدودی به ارزیابی اثرات طولانی‌مدت استفاده از هداست‌های واقعیت ترکیبی بر عملکرد اپراتورها در محیط‌های پویای ساختمانی پرداخته‌اند (Wang et al., 2023).

ناکارآمدی در یکپارچه‌سازی داده‌ها: پروتکل استاندارد برای تبادل داده‌های حسگرها با پلتفرم‌های واقعیت ترکیبی توسعه نیافته است (Lee et al., 2024).

کمبود مدل‌های تصمیم‌گیرنده تطبیقی: پژوهش‌های حوزه هوش مصنوعی اگرچه پتانسیل یادگیری ماشین در بهینه‌سازی واقعیت ترکیبی را برجسته کرده‌اند، اما نتوانسته‌اند چارچوبی برای تفسیر تصمیمات الگوریتم‌ها در محیط‌های ساخت‌وساز ارائه دهند (Zhou et al., 2025).

محدودیت‌های اکوسیستم فنی: مطالعات نشان می‌دهند که ۷۸٪ از چالش‌های فنی مرتبط با واقعیت ترکیبی، ریشه در ناسازگاری سخت‌افزارها و نرم‌افزارهای موجود با نیازمندی‌های پروژه‌های در مقیاس بزرگ دارد (Conen et al., 2025). این شکاف‌ها بازتاب‌دهنده ضرورت بازتعریف نقش واقعیت ترکیبی در چرخه حیات پروژه‌های هوشمند ساختمانی است. به ویژه آن‌که پژوهش‌های اخیر بر نیاز به رویکرد سامانه محور تاکید دارند که در آن واقعیت ترکیبی نه به عنوان ابزاری انفعالی، بلکه به مثابه هسته پردازشی اکوسیستم دیجیتال ساختمان عمل می‌کند. چنین تحولی مستلزم بازنگری در مبانی نظری تعامل انسان-سامانه، تدوین استانداردهای بین‌المللی برای یکپارچه‌سازی داده‌ها، و توسعه چارچوب‌های ارزیابی چندمعیاره اثربخشی واقعیت ترکیبی است (Pandey et al., 2025).

روش تحقیق

در پژوهشی که پیش رو دارید، از مدل پیاز تحقیق سندرز^۱ برای ساختاربندی روش‌شناسی استفاده شده است. این مدل چارچوبی جامع برای تعیین راهبردهای پژوهشی فراهم می‌نماید.

لایه‌های پیاز تحقیق:

۱- فلسفه پژوهش این مطالعه بر پایه پراگماتیسم استوار است، چرا که این رویکرد فلسفی امکان تلفیق رویکردهای کمی و کیفی را فراهم می‌کند و به همین دلیل برای تحلیل موضوع پیچیده همگرایی فناوری‌های واقعیت مجازی و افزوده مناسب است. پراگماتیسم بر کاربردی بودن دانش تأکید دارد و به حل مسایل عملی متمرکز می‌شود.

۲- رویکرد ترکیبی (استقرایی-قیاسی)^۲ است بدین شکل که ابتدا اطلاعات از مقالات با روش پریزما^۳ استخراج و تحلیل شده‌اند (استقرایی) سپس سوالات نظرسنجی طراحی شده و در انتها پس از جمع‌آوری داده‌ها، تحلیل این داده‌ها با کدنویسی پایتون^۴ انجام شده است (قیاسی) تا بتوان به نتایج معناداری دست یافت.

۳- استراتژی و رویکرد اصلی این پژوهش استفاده از چند روش است. این استراتژی امکان ترکیب روش‌های تحقیق متفاوت را فراهم می‌آورد. ابتدا مقالات مرتبط بررسی کامل شدند، سپس سوالاتی در ذهن پژوهشگران مطرح گردیده و نظر سنجی از متخصصان انجام شده است و در نهایت با روشهای آماری تمام این اطلاعات تحلیل شده‌اند. هدف از این رویکرد، افزایش روایی و پایایی پژوهش است. در این استراتژی محققین با تحلیل عمیق و چندبعدی موضوع می‌توانند درعین انعطاف‌پذیری کامل درک عمیق‌تری از موضوع پژوهش ارایه دهند.

۴- روش پژوهش انتخاب شده روش ترکیبی^۵ می‌باشد که پاسخی جامع به پیچیدگی‌های موضوع ارایه می‌کند. داده‌های کیفی شامل مرور سیستماتیک پریزما و نظرسنجی کیو^۶ می‌باشد که منجر به شناسایی مفاهیم و الگوها گردیده و در مقابل، داده‌های کمی از طریق

¹ The Sanders Onion Model of Research

² Abductive (Inductive-Deductive)

³ PRISMA method

⁴ Python Coding

⁵ Mixed Methods

⁶ Q Survey

تحلیل‌های آماری پیشرفته با کدنویسی پایتون گردآوری شده‌اند که امکان کمی‌سازی و تعمیم نتایج را فراهم می‌آورد.

۵- افق زمانی پژوهش، مقطعی انتخاب شده‌است. این رویکرد، ضمن تمرکز بر وضعیت موجود و تحلیل عمیق آن در یک مقطع زمانی مشخص، امکان جمع‌آوری داده‌های دقیق را فراهم می‌آورد. مزایای اصلی این رویکرد شامل دقت بالا در گردآوری اطلاعات، کاهش هزینه‌های پژوهشی و امکان مقایسه تخصصی وضعیت فناوری در یک بازه زمانی کوتاه است که پژوهشگر را قادر می‌سازد تا تصویری جامع و به‌روز ارائه دهد. (Saunders et al., 2023).

۶- روش‌های جمع‌آوری داده در این پژوهش به دو دسته کیفی و کمی تقسیم می‌شوند. در بخش داده‌های کیفی، مرور سیستماتیک با استفاده از روش پریزما انجام شده‌است. سپس از نظرسنجی کیو بهره گرفته شده‌است. در بخش داده‌های کمی، تحلیل‌های آماری با کدنویسی در زبان پایتون انجام گردیده که شامل محاسبات ماتریس همبستگی، شاخص ارزیابی کفایت نمونه و تحلیل عاملی اکتشافی می‌باشد. انتخاب این روش‌های ترکیبی به منظور پوشش جامع ابعاد پژوهش، افزایش اعتبار علمی و درک عمیق و چندبعدی موضوع انجام شده‌است.

یافته‌های مرور مقالات

روش پریزما که به عنوان ابزار استاندارد برای انجام مرورهای سیستماتیک و متاآنالیز شناخته می‌شود، در سال ۲۰۰۹ توسعه یافته و در سال ۲۰۲۰ به‌روزرسانی شده‌است. این روش شامل چهار مرحله اصلی است. در مرحله اول، شناسایی و جستجوی گسترده در پایگاه‌های اطلاعاتی انجام می‌شود و کلید واژگان و استراتژی جستجو ثبت می‌گردد. مرحله دوم، غربالگری که شامل حذف مقالات تکراری و بررسی عناوین و چکیده‌ها برای شناسایی و درک اولیه از مقالات است. در مرحله سوم، متن کامل مقالات بررسی می‌شود و معیارهای ورود و خروج ارزیابی شده تا مقالات نهایی انتخاب شوند. در مرحله چهارم یعنی شمول، تحلیل محتوای مقالات منتخب انجام می‌گیرد و اطلاعات کلیدی استخراج و یافته‌ها ترکیب و تفسیر می‌شوند (Moher et al., 2009).

با جستجوی پیشرفته و با استفاده از اپراتورهای بولی^۱ و کلیدواژه‌های ترکیبی زیر:
Augmented Reality, Virtual Reality, Mixed Reality, Integration of
Augmented and Virtual Reality, Smart Building Project

در پایگاه‌های Google Scholar, ResearchGate, ScienceDirect ۸۵ مطالعه اولیه شناسایی شدند. با توجه به جدید بودن فناوری واقعیت ترکیبی، در این بخش فقط از مقالات ۲۰۲۳ تا ۲۰۲۵ استفاده گردید.

در غربالگری دوگانه در مرحله اول ۲۲ مقاله تکراری و یا نامرتبط بر اساس عنوان و چکیده و در مرحله دوم ۸ مقاله دیگر بر مبنای فقدان کیفیت فنی حذف گردیدند. سپس پارامترهای کلیدی مقاله‌های باقیمانده استخراج و در پیوست ۱ به صورت جدول مرتب شدند. خلاصه نتایج حاصل از بررسی مقالات به روش پریزما به شرح زیر دسته‌بندی گردید:

۱- بهبود دقت و کارایی: این دسته شامل افزایش دقت در اندازه‌گیری‌ها، تنظیمات و عملیات اجرایی (مانند مونتاژ) می‌شود و ۳۵٪ از کل یافته‌ها را به خود اختصاص داده است. بهبودهای مشاهده شده شامل افزایش دقت شناسایی خطاها تا ۹۲٪ و بهبود دقت فرآیندها تا ۸۹٪ می‌شود.

۲- کاهش زمان و هزینه: این دسته شامل کاهش زمان مونتاژ (تا ۳۰٪)، کاهش خطاها (تا ۴۰٪)، و به‌روزرسانی داده‌ها می‌شود و ۳۰٪ از یافته‌ها را در بر می‌گیرد.

۳- افزایش ایمنی و کیفیت آموزش: این بخش شامل ارتقای ایمنی، آموزش موثرتر و بهبود درک فرآیندها می‌شود و ۱۵٪ از نتایج را شامل می‌شود. این بخش به بهبود ۴۸٪ در دقت تصمیم‌گیری اشاره دارد.

۴- بهبود همکاری و تعامل: در این دسته به بهبود ارتباطات، تعامل بین ذی‌نفعان در مشارکت‌ها اشاره شده و ۱۲٪ یافته‌ها را تشکیل می‌دهد. در این زمینه افزایش ۶۲٪ مشارکت ذی‌نفعان جالب توجه است.

^۱ Boolean Operators

۵- مدیریت داده و یکپارچه سازی سیستم‌ها: این بخش شامل یکپارچه سازی با مدل سازی اطلاعات ساختمان، اینترنت اشیا، هوش مصنوعی و سایر فناوری‌ها است و ۶٪ از نتایج را به خود اختصاص داده است.

با توجه به مطالب ذکر شده به نظر می‌رسد تمرکز اصلی کاربردهای واقعیت افزوده و واقعیت ترکیبی بر بهبود دقت و کارایی، کاهش هزینه‌ها و ارتقای ایمنی و آموزش در صنعت ساخت و ساز است. ادغام این فناوری‌ها با سیستم‌های مدیریت اطلاعات ساختمان و سایر فناوری‌های نوظهور مانند اینترنت اشیا و هوش مصنوعی پتانسیل بالایی برای تحول در این صنعت دارد. متخصصان بر این باورند که ادغام واقعیت افزوده و سیستم مدیریت اطلاعات ساختمان می‌تواند به مشاهده پیشرفت پروژه در زمان واقعی (۹۷٪) و شناسایی تداخل‌های احتمالی (۱۰۰٪) کمک کند.

براساس تحلیلی که انجام گردید، می‌توان چالش‌های شناسایی شده را در شش دسته اصلی طبقه‌بندی کرد:

۱- چالش‌های فنی و سخت‌افزاری (شامل محدودیت‌های سخت‌افزاری، مشکلات موقعیت یابی و سنسورها، رندرینگ و موقعیت یابی) با فراوانی ۳۵٪

۲- چالش‌های مربوط به هزینه و زیرساخت (شامل هزینه‌های بالای تجهیزات و کمبود زیرساخت) با فراوانی ۲۵٪

۳- چالش‌های پذیرش و آموزش کاربران (شامل مقاومت در برابر تغییر و نیاز به آموزش مداوم) با فراوانی ۲۰٪

۴- مسائل امنیتی و حریم خصوصی با فراوانی ۱۰٪

۵- محدودیت‌های مربوط به داده‌ها (شامل کمبود داده‌های آموزشی و مشکلات تشخیص اجزای ساختمانی) با فراوانی ۷٪

۶- سایر چالش‌ها (مانند مسائل محیطی و ارگونومیک) با فراوانی ۳٪

تحلیل‌ها نشان می‌دهد که چالش‌های فنی و سخت‌افزاری همچنان مهم‌ترین مانع در پیاده سازی این فناوری‌ها هستند و پس از آن مسائل اقتصادی و زیرساختی قرار دارند. با توجه

به این که تقریباً یک پنجم چالش‌ها مربوط به پذیرش و آموزش کاربران است، می‌توان نتیجه‌گیری کرد که برای موفقیت در پیاده‌سازی این فناوری‌ها، علاوه بر توسعه فنی و تامین زیرساخت‌ها، باید به جنبه‌های انسانی و آموزشی نیز توجه ویژه‌ای شود. همچنین، مسایل امنیتی و حریم خصوصی، علی‌رغم فراوانی کمتر، نیازمند توجه جدی هستند، زیرا می‌توانند مانع مهمی در پذیرش گسترده این فناوری‌ها باشند.

یافته‌های این پژوهش در قسمت چهارچوب‌های پیشنهادی نشان می‌دهد که یکپارچه‌سازی مدیریت اطلاعات ساختمان با فناوری واقعیت ترکیبی با فراوانی ۲۵٪ بیشترین تمرکز را در مطالعات داشته است. پس از آن، استفاده از هوش مصنوعی و یادگیری ماشین با ۱۸٪ و توسعه سیستم‌های تعاملی و رابط کاربری با ۱۵٪ در رتبه‌های بعدی قرار دارند. همچنین موضوعاتی مانند استفاده از سنسورها (۱۲٪) مدیریت داده و پردازش تصویر (۱۰٪) و توسعه پلتفرم‌های مشترک (۸٪) نیز مورد توجه پژوهشگران بوده است.

بررسی‌ها نشان می‌دهد که روند پژوهش‌ها به سمت رویکردهای ترکیبی و یکپارچه‌سازی فناوری‌های مختلف حرکت می‌کند. نکته قابل توجه این است که علاوه بر جنبه‌های فنی، توجه به عوامل انسانی و ارگونومیک با ۷٪ و مباحث آموزشی با ۵٪ نیز در مطالعات دیده می‌شود، که نشان‌دهنده رویکرد جامع در توسعه این فناوری‌هاست. این روند تاکید می‌کند که موفقیت در پیاده‌سازی این فناوری‌ها مستلزم توجه همزمان به جنبه‌های فنی و انسانی است. با تحلیل نکات کلیدی استخراج شده از مقالات، می‌توان موضوعات کلیدی را به چند دسته اصلی تقسیم کرد. این دسته‌ها و فراوانی نسبی آن‌ها عبارتند از:

- ۱- کاهش خطاهای انسانی و افزایش بهره‌وری (شامل مواردی مانند کاهش خطا، افزایش کارایی و بهبود بهره‌وری) (حدود ۲۵٪)
- ۲- بهبود دقت اندازه‌گیری و کیفیت (شامل بهبود دقت، کاهش هدررفت منابع و بهبود کیفیت طراحی) (حدود ۲۰٪)
- ۳- تسهیل همکاری و ارتباطات (شامل بهبود همکاری تیمی، ارتباطات بین ذی‌نفعان و همکاری از راه دور) (حدود ۱۵٪)

۴- بهبود آموزش و توسعه مهارت‌ها (شامل آموزش، توسعه مهارت‌های تخصصی و آموزش ایمنی) (حدود ۱۵٪)

۵- یکپارچه‌سازی فناوری‌های نوین و مدیریت اطلاعات ساختمان (شامل ادغام واقعیت ترکیبی با سایر فناوری‌ها) (حدود ۲۵٪).

در بخش بعد نظر متخصصان درباره این موضوعات بررسی شده‌است.

نظرسنجی با روش کیو

پژوهش حاضر از نظرسنجی کیو بهره برده است. روش کیو، به عنوان یک رویکرد تحقیق کمی-کیفی، امکان بررسی سیستماتیک و اکتشافی دیدگاه‌های ذهنی افراد در مورد یک موضوع خاص را فراهم می‌آورد (Watts & Stenner, 2012).

انتخاب روش کیو برای این پژوهش، مبتنی بر ماهیت چندوجهی و پیچیده موضوع مورد بررسی و نیز نیاز به درک عمیق‌تر دیدگاه‌های متخصصان بود. از آنجا که پروژه‌های هوشمند ساختمانی و فناوری‌های واقعیت ترکیبی، حوزه‌هایی نسبتاً نوظهور و با ابعاد فنی، اقتصادی، اجتماعی و فرهنگی گوناگون هستند، استفاده از روش کیو این امکان را فراهم می‌سازد تا تنوع دیدگاه‌ها و الگوهای فکری متخصصان در این زمینه به صورت جامع و نظام‌مند شناسایی و تحلیل شود. به علاوه، روش کیو امکان کمی‌سازی داده‌های کیفی را فراهم می‌آورد و از این طریق، امکان مقایسه و رتبه‌بندی دیدگاه‌های مختلف را میسر می‌سازد.

این مطالعه شامل نظرسنجی از ۱۵ متخصص است و از نظر سنی و تحصیلی تنوع چشمگیری دارند. ۱۳٪ از پاسخ‌دهندگان دارای تجربه کاری کمتر از ۵ سال، ۲۰٪ بین ۵ تا ۱۰ سال سابقه کار، ۲۶٪ بین ۱۰ تا ۲۰ سال و ۴۰٪ دارای بیش از ۲۰ سال تجربه کاری هستند. این توزیع سنی نشان‌دهنده گستردگی و تجربه عمیق پرسش‌شوندگان درباره این فناوری‌ها می‌باشد. تنوع در تحصیلات متخصصان نیز بخش مهمی از این تحقیق را تشکیل می‌دهد. از بین ۱۵ متخصص، ۴۰٪ دارای مدرک کارشناسی، ۲۶٪ کارشناسی ارشد و ۳۳٪ دارای دکتری

هستند. این توزیع تحصیلی نشان‌دهنده کیفیت بالای نظرات و برداشت‌ها در خصوص موضوع پژوهش است.

اجرای روش کیو در این پژوهش شامل مراحل زیر بوده است:

(۱) تدوین مجموعه عبارات کیو^۱ بر اساس نتیجه بررسی مقالات مرحله قبل؛ (۲) انتخاب نمونه‌ای هدفمند از متخصصان حوزه^۲؛ (۳) انجام فرایند مرتب‌سازی عبارات کیو توسط متخصصان^۳؛ (۴) تحلیل داده‌های حاصل از مرتب‌سازی.

در جدول شماره ۱ سوالات پرسشنامه یا همان مجموعه عبارات کیو به ترتیب حوزه‌های نظرسنجی مورد پرسش درج شده‌اند.

جدول ۱. سوالات نظرسنجی

ردیف	سوال	حوزه نظرسنجی
۱Q	میزان آشنایی با اصول اولیه تکنولوژی واقعیت افزوده	میزان آشنایی با واقعیت افزوده
۲Q	میزان آشنایی با نحوه کارکرد تکنولوژی واقعیت افزوده	
۳Q	تعداد حضور در دوره‌های آموزشی مرتبط با واقعیت افزوده	
۴Q	میزان آشنایی با کاربردهای واقعیت افزوده در پروژه هوشمند ساختمانی	
۵Q	میزان تبصر در کار با واقعیت افزوده در پروژه هوشمند ساختمانی	
۶Q	مقدار مقالات خوانده‌شده و فیلم‌های آموزشی مشاهده‌شده درباره واقعیت افزوده	
۷Q	میزان آشنایی با مزایا و محدودیت‌های تکنولوژی واقعیت افزوده	
۸Q	میزان آشنایی با نرم‌افزارها و ابزارهای مختلف واقعیت افزوده	
۹Q	تعداد حضور در سمینارها و کنفرانس‌های مرتبط با واقعیت افزوده	
۱۰Q	میزان توانایی پیاده‌سازی واقعیت افزوده در پروژه هوشمند ساختمانی	
۱۱Q	میزان آشنایی با اصول اولیه تکنولوژی واقعیت مجازی	میزان آشنایی با واقعیت مجازی
۱۲Q	میزان آشنایی با نحوه کارکرد تکنولوژی واقعیت مجازی	
۱۳Q	تعداد حضور در دوره‌های آموزشی مرتبط با واقعیت مجازی	
۱۴Q	میزان اطلاع از کاربردهای واقعیت مجازی در پروژه هوشمند ساختمانی	

^۱ Q-set

^۲ P-set

^۳ Q-sorting

ردیف	سوال	حوزه نظر سنجی
۱۵Q	مقدار مقالات خوانده شده و فیلم های آموزشی مشاهده شده درباره واقعیت مجازی	
۱۶Q	میزان اطلاع از مزایا و محدودیت های واقعیت مجازی	
۱۷Q	میزان آشنایی با نرم افزارها و ابزارهای مختلف واقعیت مجازی	
۱۸Q	تعداد حضور در سمینارها و کنفرانس های مرتبط با واقعیت مجازی	
۱۹Q	میزان توانایی پیاده سازی واقعیت مجازی در پروژه هوشمند ساختمانی	
۲۰Q	میزان افزایش دقت در اجرای نقشه ها با استفاده از سیستم های یکپارچه واقعیت افزوده و مجازی در پروژه های ساخت و ساز	
۲۱Q	میزان کاهش خطاهای اجرایی در پروژه های ساختمانی با کمک فناوری های یکپارچه واقعیت افزوده و مجازی	
۲۲Q	میزان مقرون به صرفه بودن هزینه پیاده سازی سیستم های یکپارچه واقعیت افزوده و مجازی در مقایسه با مزایای آن در پروژه های ساخت و ساز	
۲۳Q	میزان بهبود ارتباط و همکاری بین تیم های مختلف پروژه با استفاده از سیستم های یکپارچه واقعیت افزوده و مجازی	
۲۴Q	میزان تسهیل آموزش کارکنان با استفاده از سیستم های یکپارچه واقعیت افزوده و مجازی در محیط کارگاه ساختمانی	
۲۵Q	میزان تاثیر استفاده از سیستم های یکپارچه واقعیت افزوده و مجازی در بازرسی های ایمنی و کنترل کیفیت ساخت و ساز	مزایا و معایب فنی واقعیت ترکیبی
۲۶Q	امکان شناسایی و رفع مشکلات احتمالی قبل از اجرای فیزیکی توسط فناوری یکپارچه واقعیت افزوده و مجازی	
۲۷Q	امکان یکپارچه سازی آسان واقعیت افزوده و مجازی با سیستم های مدل سازی اطلاعات ساختمان موجود	
۲۸Q	میزان صرفه جویی در زمان و هزینه با استفاده از سیستم های یکپارچه واقعیت افزوده و مجازی در مدیریت پروژه ساختمانی	
۲۹Q	میزان بهبود ایمنی کارگران در محیط ساخت و ساز با کمک فناوری های یکپارچه واقعیت افزوده و مجازی	
۳۰Q	میزان موانع برای استفاده مناسب از فناوری یکپارچه واقعیت افزوده و مجازی با توجه به محدودیت های سخت افزاری برای پردازش مدل های سه بعدی	
۳۱Q	میزان موانع پیاده سازی بابت هزینه های بالای سرمایه گذاری اولیه، برای خرید تجهیزات و نرم افزارهای تخصصی این فناوری ها	

ردیف	سوال	حوزه نظرسنجی
۳۲Q	میزان موانع یادگیری و هزینه‌های آموزش کارکنان و زمان صرف شده برای اجرای این فناوری‌ها	
۳۳Q	میزان محدودکننده بودن استفاده از فناوری یکپارچه واقعیت افزوده و مجازی، در پروژه‌های کوچک با توجه به نسبت هزینه به فایده و عدم توجیه اقتصادی	
۳۴Q	مقدار چالش‌برانگیز بودن و مقاومت کارکنان در پذیرش و استفاده از فناوری‌های جدید، ترس از تغییر در روش‌های کاری و نگرانی از جایگزینی نیروی انسانی	
۳۵Q	میزان مشکل‌ساز بودن کمبود متخصصان با دانش کافی در زمینه توسعه، پیاده‌سازی و پشتیبانی سیستم‌های فناوری یکپارچه واقعیت افزوده و مجازی	مزایا و معایب اقتصادی واقعیت ترکیبی
۳۶Q	میزان موانع و مشکلات فیزیولوژیکی کاربران در استفاده طولانی‌مدت از هدست‌های این تکنولوژی‌ها	
۳۷Q	مقدار بی‌اعتمادی و منع پذیرش در مدیران و کارفرمایان به کارایی و قابلیت فناوری‌های واقعیت افزوده و مجازی در محیط‌های ساختمانی	
۳۸Q	میزان موانع و محدودیت‌های زیرساختی برای استفاده موثر در محل (مانند سرعت پایین اینترنت، عدم پوشش شبکه مناسب و مشکلات انتقال داده)	
۳۹Q	میزان نگرانی‌های امنیتی مربوط به حفاظت از داده‌های حساس پروژه، حریم خصوصی و خطرات حملات سایبری	
۴۰Q	مقدار احتمال فراهم کردن امکان احساس بافت، دما و مقاومت مصالح ساختمانی در محیط مجازی برای انسان توسط فناوری‌های لمسی پیشرفته	
۴۱Q	مقدار احتمال روبات‌های ساختمانی مجهز به واقعیت افزوده و مجازی و فناوری لمسی که قادر به انجام عملیات ساخت و ساز پیچیده با دقت بالا باشند	
۴۲Q	مقدار احتمال جایگزین شدن سیستم‌های آموزش حرفه‌ای مبتنی بر واقعیت افزوده و مجازی با روش‌های سنتی آموزش در صنعت ساختمان	پیش بینی آینده
۴۳Q	مقدار احتمال توسعه سیستم‌های تشخیص خودکار عیوب با استفاده از ترکیب سنسورهای اینترنت اشیا و نمایش واقعیت افزوده و مجازی با بازخورد لمسی	
۴۴Q	مقدار احتمال ایجاد سیستم‌های هوشمند مدیریت مصالح از ترکیب سنسورهای اینترنت اشیا و نمایش واقعیت افزوده و مجازی با بازخورد لمسی	
۴۵Q	مقدار احتمال توسعه سیستم‌های طراحی تعاملی که امکان تغییر آنی طرح‌ها را با استفاده از حرکات دست و بازخورد لمسی فراهم می‌کنند	

ماتریس کامل داده‌های حاصل از پاسخ‌های نظرسنجی سوالات فوق، در پیوست ۲ ارایه شده‌است.

ماتریس همبستگی^۱

ماتریس همبستگی در روش کیو، یک جدول مقارن است که ضرایب همبستگی بین پاسخ‌های شرکت‌کنندگان (افراد) به سوالات پرسشنامه کیو را نشان می‌دهد. هر سطر و ستون این ماتریس، نشان‌دهنده یک شرکت‌کننده است و مقدار عددی موجود در هر خانه، ضریب همبستگی بین پاسخ‌های دو شرکت‌کننده را نشان می‌دهد. این ضریب همبستگی، میزان شباهت یا تفاوت بین دیدگاه‌ها و نظرات دو شرکت‌کننده را مشخص می‌کند. ضرایب همبستگی معمولاً بین -۱ و ۱ متغیر هستند، جایی که ۱ نشان‌دهنده همبستگی کامل مثبت، -۱ نشان‌دهنده همبستگی کامل منفی، و ۰ نشان‌دهنده عدم وجود همبستگی است.

نمودار حرارتی ماتریس همبستگی^۲ یک نمایش گرافیکی از ماتریس همبستگی است که در آن، از رنگ‌ها برای نشان دادن مقادیر ضرایب همبستگی استفاده می‌شود. به طور معمول، رنگ‌های گرم (مانند قرمز) برای نشان دادن همبستگی‌های مثبت قوی، رنگ‌های سرد (مانند آبی) برای نشان دادن همبستگی‌های منفی قوی، و رنگ‌های میانی (مانند سفید یا خاکستری) برای نشان دادن همبستگی‌های ضعیف یا عدم وجود همبستگی استفاده می‌شوند. استاندارد مشخصی برای رنگ‌ها وجود ندارد و بسته به نرم‌افزار و تنظیمات مورد استفاده، می‌تواند متفاوت باشد. این نمودار حرارتی به محقق کمک می‌کند تا به سرعت الگوها و ساختارهای موجود در داده‌ها را شناسایی کند. به عنوان مثال، خوشه‌هایی از شرکت‌کنندگان که دارای همبستگی مثبت قوی هستند، ممکن است نشان‌دهنده وجود گروه‌هایی با دیدگاه‌های مشابه باشند (Watts & Stenner, 2012).

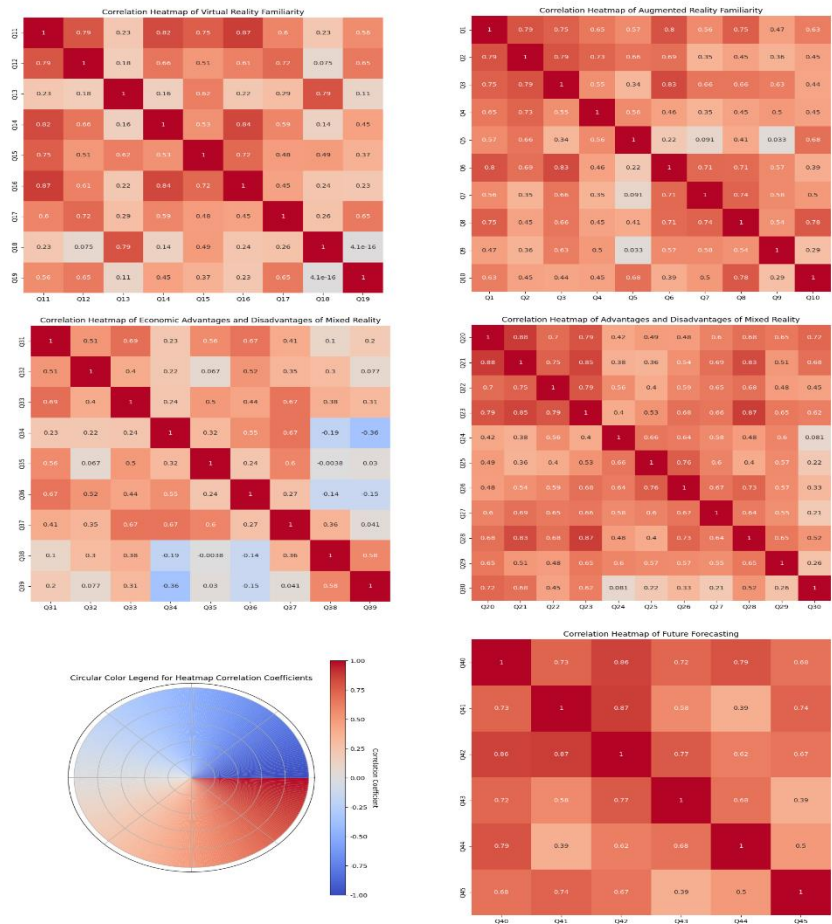
در شکل ۱ نقشه حرارتی ماتریس‌های همبستگی این پژوهش را با توجه به حوزه مورد نظر ترسیم گردیده‌است.^۳

^۱ Correlation Matrix

^۲ Correlation Matrix Heatmap

^۳ کدهای پایتون کلیه تحلیل‌های نظرسنجی کیو در پیوست ۳ موجود است.

شکل ۱. نقشه حرارتی ماتریس های همبستگی



منبع: یافته های تحقیق حاضر

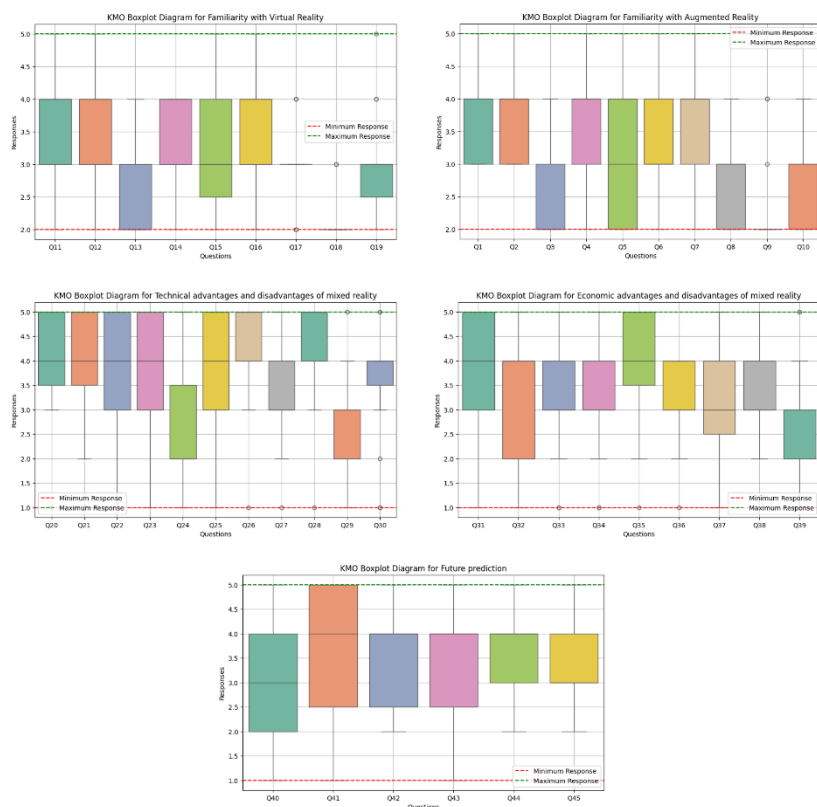
شاخص ارزیابی کفایت نمونه^۱:

این شاخص معیاری برای سنجش کفایت نمونه برداری در تحلیل عاملی است. این شاخص نشان می دهد که آیا داده ها برای انجام تحلیل عاملی مناسب هستند یا خیر و مقدار آن بین صفر و یک است. مقادیر نزدیک به ۱ کفایت نمونه برداری عالی، بین ۰/۷ و ۰/۸ کفایت

^۱ KMO (Kaiser-Meyer-Olkin)

نمونه‌برداری خوب، بین ۰/۶ و ۰/۷ کفایت نمونه‌برداری متوسط و کمتر از ۰/۵ کفایت نمونه‌برداری غیرقابل قبول را نشان می‌دهند (Watts & Stenner, 2012). نمودار جعبه‌ای شاخص ارزیابی کفایت نمونه، توزیع مقادیر در بین متغیرها را به صورت شکل نشان می‌دهد. این نمودار فقط به تحلیل اولیه بصری پژوهشگر کمک می‌کند. در شکل ۲ نمودار جعبه‌ای شاخص ارزیابی کفایت نمونه این پژوهش را به تفکیک حوزه‌ها ترسیم گردیده‌است.^۱

شکل ۲. نمودار جعبه‌ای شاخص ارزیابی کفایت نمونه



منبع: یافته‌های تحقیق حاضر

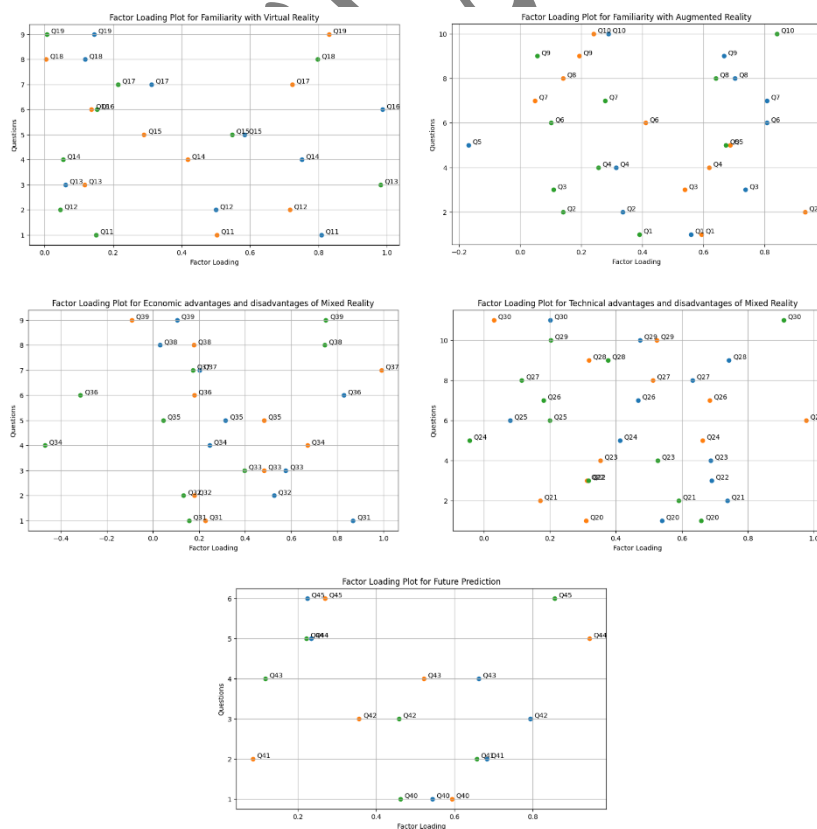
^۱ کدهای پایتون کلیه تحلیل‌های نظر سنجی کیو در پیوست ۳ موجود است

تحلیل عاملی اکتشافی

تحلیل عاملی اکتشافی یک روش آماری است که به محقق این امکان را می‌دهد تا ساختار زیرین داده‌های پیچیده را شناسایی کند و روابط عمیق بین متغیرها را بررسی نماید، بدون این که فرضیات مشخصی درباره این روابط داشته باشند. این تحلیل به دنبال کشف عوامل نهفته‌ای است که می‌توانند بر متغیرهای مشاهده‌شده تاثیر بگذارند. این روش به محقق این امکان را می‌دهد که با تحلیل داده‌ها، الگوها و روابط جدیدی را شناسایی کند و فرضیات جدیدی را برای تحقیقات آینده شکل دهد.

نمودار بار عاملی به تحلیلگران کمک می‌کند تا به سرعت متغیرهای کلیدی که بیشترین ارتباط را با هر عامل دارند شناسایی کنند. این فهم بصری در شناسایی باعث فهم عمیق‌تری از ساختار داده‌ها و تاثیر متغیرها بر یکدیگر می‌شود.

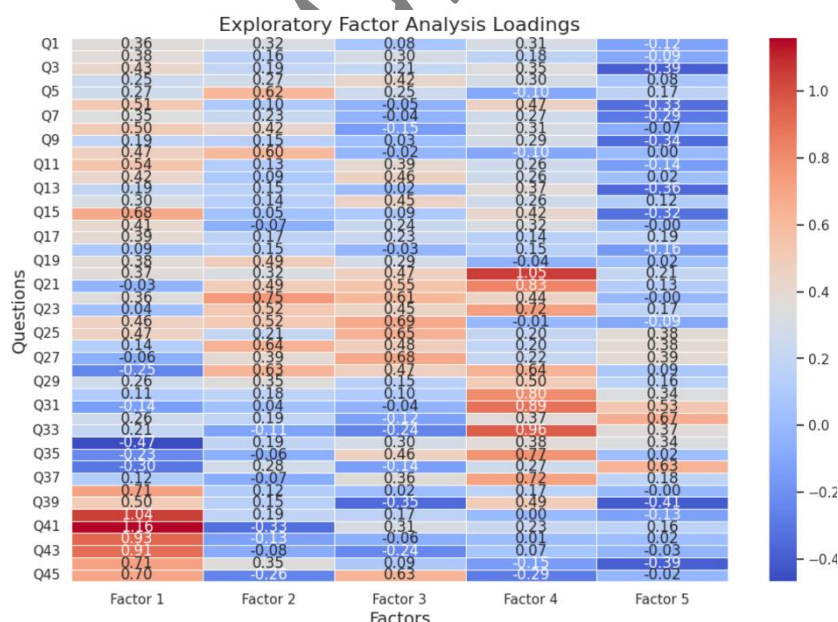
شکل ۳. نمودار بار عاملی برای هر حوزه



منبع: یافته‌های تحقیق حاضر

بارهای عاملی، اعدادی هستند که نشان‌دهنده قدرت و جهت رابطه یک متغیر ویژه (سوالات نظرسنجی در این جا) با یک عامل خاص (حوزه در این جا) هستند. به هر متغیر یک بار عاملی اختصاص داده می‌شود که مقدار آن نشان‌دهنده چقدر متغیر با آن عامل مرتبط است. جدول حرارتی بارهای عاملی، ابزاری بصری برای نمایش روابط بین متغیرهای مشاهده شده و عوامل پنهان در تحلیل عاملی اکتشافی است. این جدول شامل سطری برای سوالات و ستون‌هایی برای عوامل است و هر خانه بار عاملی مربوطه را نمایش می‌دهد. رنگ‌ها در این جدول اطلاعات کلیدی را منتقل می‌کنند: رنگ‌های قرمز نشان‌دهنده بارهای عاملی مثبت قوی (نزدیک به ۱) هستند و تاثیر مثبت متغیر بر عامل را نشان می‌دهند. رنگ‌های آبی نمایانگر بارهای منفی یا ضعیف (نزدیک به -۱) هستند که به تاثیر منفی متغیر بر عامل اشاره دارند و رنگ‌های خاکستری نشان‌دهنده بارهای نزدیک به ۰ هستند که تاثیر چندانی ندارند. این نمودار ابزاری مهم برای درک روابط پیچیده داده‌ها و شناسایی الگوهای کلیدی در پژوهش‌ها است (Watts & Stenner, 2012).

شکل ۴- جدول حرارتی بارهای عاملی



منبع: یافته‌های تحقیق حاضر

یافته های پژوهش

ماتریس همبستگی

ماتریس همبستگی در حوزه میزان آشنایی با واقعیت افزوده نشان‌دهنده ارتباط قوی بین سوالات موجود است. بالاترین همبستگی ۰/۸۰۰۸ میان Q1 و Q6 وجود دارد که به وضوح بیانگر این است که آشنایی بیشتر با نرم‌افزارها و ابزارهای واقعیت افزوده به تسلط در جنبه‌های فنی و عملی آن مرتبط است. همچنین همبستگی ۰/۷۲۷۳ بین Q2 و Q4 حاکی از این است که پاسخ‌دهندگان که در شناخت اولیه نسبت به واقعیت افزوده قوی‌تر هستند، درک بهتری از جنبه‌های فنی آن دارند. میزان آشنایی با واقعیت مجازی نیز با همبستگی بالایی بین Q11 و Q16 به مقدار ۰/۸۶۷۴ مشخص شده که حاکی از رابطه نزدیک و موثر در درک این فناوری‌ها است. همچنین همبستگی ۰/۶۵۷۹ بین Q12 و Q14 می‌تواند نشان‌دهنده این باشد که تخصص در یکی از جنبه‌های واقعیت مجازی می‌تواند به درک بهتر از سایر جنبه‌ها نیز منجر شود.

در حوزه مزایا و معایب فنی واقعیت ترکیبی، همبستگی ۰/۸۸۱۶ بین Q20 و Q21 نمایانگر وجود نگرش مشابه نسبت به مزایا و معایب فنی واقعیت ترکیبی است. با همبستگی ۰/۸۵۰۶ بین Q21 و Q23 به نظر می‌رسد که نگرش متخصصان در زمینه تحلیل تجربی این فناوری‌ها، بر اساس تجارب مشابه ساخته شده است. ماتریس همبستگی بین Q31 و Q33 نشان می‌دهد که همبستگی ۰/۶۸۷۶ موجود بیانگر همسویی رویکردهای اقتصادی در ارزیابی واقعیت ترکیبی است. در ضمن، همبستگی ۰/۳۱۸۹ بین Q34 و Q35 می‌تواند نشان‌دهنده نیاز به تحقیقات بیشتر در خصوص ابعاد اقتصادی جوانب فناوری باشد. در حوزه پیش‌بینی آینده، همبستگی قوی ۰/۸۵۷۳ بین Q40 و Q42 حاکی از تاثیر مثبت تجربیات کنونی بر پیش‌بینی‌های آینده است. همبستگی ۰/۷۲۷۱ بین Q40 و Q41 می‌تواند بیانگر دیدگاه مثبت متخصصان در رابطه با زمینه‌های اقتصادی و اجتماعی فناوری‌های نوین باشد.

بررسی ماتریس همبستگی کلی بین حوزه‌های مختلف به محقق این امکان را می‌دهد که ارتباطات عمیق و پیچیده‌ای را که میان یافته‌ها و تجربیات مختلف وجود دارد، شناسایی نماید. همبستگی $0/8573$ بین Q42 (پیش‌بینی آینده) و Q40 (مزایا و معایب اقتصادی) بیانگر این است که تفکر اقتصادی مثبت و ارزیابی دقیق از وضعیت کنونی، می‌تواند پیش‌بینی‌های دقیق‌تری را به همراه داشته باشد. این همبستگی می‌تواند دلیلی بر ارتباط مثبت میان تحلیل‌های اقتصادی و آینده‌نگری در زمینه پروژه‌های هوشمند ساختمانی باشد. علاوه بر این، همبستگی $0/6765$ میان Q11 (واقعیت مجازی) و Q16 (واقعیت افزوده) نشان می‌دهد که توانایی متخصصان در یک حوزه می‌تواند به ارتقای درک آنان از دیگر حوزه‌ها منجر شود. این موارد تاکید می‌کند که تاثیر همگرایی فناوری‌های واقعیت مجازی و افزوده، نه تنها در جنبه‌های تجربی و علمی بلکه در جنبه‌های اقتصادی نیز قابل توجه است.

شاخص ارزیابی کفایت نمونه

این شاخص به منظور سنجش کفایت نمونه برای تحلیل عاملی استفاده می‌شود و مقدار آن بین صفر و یک متغیر است و مقادیر زیر $0/5$ معمولاً به عنوان داده ناکافی برای انجام تحلیل عاملی در نظر گرفته می‌شوند.

برای حوزه میزان آشنایی با واقعیت افزوده، این شاخص برابر با $0/743$ محاسبه شد. این مقدار نشان‌دهنده کفایت نمونه و قابلیت مناسب داده‌ها برای تحلیل عاملی است. به وضوح، آشنایی با واقعیت افزوده در میان شرکت‌کنندگان نمرات مناسبی کسب کرده است، که نشان‌دهنده فهم و آگاهی خوب متخصصان در این حوزه می‌باشد.

این شاخص برای حوزه میزان آشنایی با واقعیت مجازی برابر با $0/671$ می‌باشد. این عدد نشان‌دهنده آن است که داده‌ها به اندازه کافی برای تحلیل عاملی مناسب هستند، اما به اندازه حوزه آشنایی با واقعیت افزوده قوی نیستند. متخصصان در حوزه واقعیت مجازی نیز نسبتاً نمرات بالایی کسب کرده‌اند، که بر امیدواری به تداوم آموزش و به‌روزرسانی اطلاعات در این زمینه تاکید دارد.

در حوزه مزایا و معایب فنی واقعیت ترکیبی، این شاخص برابر با ۰/۷۹۲ محاسبه گردید، که نشان‌دهنده کفایت بالای نمونه و یک تناسب مطلوب برای تحلیل عاملی است. این مقدار بازتاب‌دهنده این واقعیت است که متخصصان با مزایا و معایب فنی واقعیت ترکیبی آشنا هستند و به این شناخت تسلط دارند.

در حوزه مزایا و معایب اقتصادی واقعیت ترکیبی، این شاخص برابر با ۰/۷۴۳ محاسبه شد. این مقدار قابل قبول نشان‌دهنده وجود اطلاعات معنادار در باری مزایا و معایب اقتصادی این فناوری‌ها است، به طوری که متخصصان می‌توانند در زمینه‌های اقتصادی به درک عمیق تفاوت‌ها و مزیت‌ها بپردازند.

مقدار این شاخص در حوزه پیش‌بینی آینده ۰/۶۸۴ محاسبه شده است. با وجود این که این عدد نسبت به سایر حوزه‌ها کمی پایین‌تر است، اما به طور کلی نشانه‌های کافی از مناسب بودن داده‌ها برای تحلیل عاملی را فراهم می‌کند. از بررسی این اطلاعات به نظر می‌رسد که متخصصان در زمینه پیش‌بینی آینده با دقت و احتیاط بیشتری عمل می‌کنند.

تحلیل عاملی اکتشافی

در حوزه تجزیه و تحلیل میزان آشنایی با واقعیت افزوده، از داده‌های مربوط به سوالات Q1 تا Q10 استفاده شد. از نتایج تحلیل عاملی اکتشافی، دو عامل اصلی شناسایی شدند که به ترتیب ۴۲٪ و ۲۸٪ از واریانس داده‌ها را توضیح می‌دهند. عامل اول غالباً با سوالات Q1، Q2، Q4، Q6 و Q7 همبستگی بالایی داشت و نشان می‌دهد که متخصصان بیشتر با مفاهیم پایه‌ای واقعیت افزوده آشنایی دارند. عامل دوم به سوالات Q3، Q5، Q8، Q9 و Q10 مرتبط بود، که بیانگر آشنایی کمتر آن‌ها با کاربردهای پیشرفته‌تر واقعیت افزوده است. به طور کلی، نشان می‌دهد که درک عمیقی از مفاهیم پایه‌ای وجود دارد، در حالی که کاربردهای پیشرفته‌تر کمتر مورد توجه قرار گرفته‌اند.

در حوزه آشنایی با واقعیت مجازی، نتایج تحلیل عاملی اکتشافی بر روی سوالات Q11 تا Q19 نشان داد که دو عامل اصلی به ترتیب ۳۸٪ و ۳۱٪ از واریانس داده‌ها را تبیین می‌کنند.

عامل اول با سوالات Q11، Q12، Q14، Q16 و Q19 همبستگی دارد و بر آشنایی عمومی با مفاهیم پایه‌ای واقعیت مجازی تاکید می‌کند. عامل دوم نیز با سوالات Q13، Q15، Q17 و Q18 همبسته است و نشان‌دهنده چالش‌های درک کاربردهای پیشرفته‌تر واقعیت مجازی می‌باشد. مشابه با حوزه واقعیت افزوده، متخصصان در زمینه واقعیت مجازی نیز بیشتر با مفاهیم پایه‌ای آشنا هستند و درک کمتری از کاربردهای پیشرفته دارند.

در تحلیل مزایا و معایب فنی واقعیت ترکیبی، سوالات Q20 تا Q30 مورد بررسی قرار گرفتند. نتایج نشان داد که سه عامل اصلی به ترتیب ۳۵٪، ۲۷٪ و ۱۸٪ از واریانس داده‌ها را در بر می‌گیرند. عامل اول با سوالات Q20، Q21، Q23، Q26 و Q28 در ارتباط است و نشان‌دهنده مزایای فنی واقعیت ترکیبی است. عامل دوم به چالش‌های فنی مرتبط با سوالات Q22، Q24، Q25 و Q27 اشاره دارد. عامل سوم نیز به چالش‌های پیاده‌سازی واقعیت ترکیبی مربوط می‌شود. در کل به نظر می‌رسد، متخصصان مزایا را بیشتر از معایب می‌بینند، اما چالش‌های فنی نیز تاثیر گذارند.

در بررسی مزایا و معایب اقتصادی واقعیت ترکیبی، سوالات Q31 تا Q39 تحلیل شد. دو عامل اصلی به ترتیب ۴۰٪ و ۲۹٪ از واریانس داده‌ها را تبیین کردند. عامل اول با سوالات Q31، Q33، Q35 و Q37 همبستگی داشت و نشان‌دهنده مزایای اقتصادی واقعیت ترکیبی است. عامل دوم با سوالات Q32، Q34، Q36 و Q38 مرتبط بود و به معایب اقتصادی این فناوری اشاره می‌کرد. به نظر می‌رسد متخصصان مزایای اقتصادی را بیشتر از معایب آن می‌دانند، اما معایب اقتصادی نیز باید جدی گرفته شوند.

در تحلیل حوزه پیش‌بینی آینده، سوالات Q40 تا Q45 مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که دو عامل اصلی به ترتیب ۳۶٪ و ۳۰٪ از واریانس داده‌ها را تبیین می‌کنند. عامل اول با سوالات Q41، Q42، Q44 و Q45 در ارتباط بود و نشان‌دهنده خوش‌بینی نسبت به آینده واقعیت ترکیبی است. عامل دوم به تردیدهای موجود در مورد آینده این فناوری مربوط می‌شود که با سوالات Q40 و Q43 همبستگی دارد. در کلیت، به نظر می‌رسد که

متخصصان اغلب نسبت به آینده واقعیت ترکیبی خوشبین هستند، اما برخی نگرانی‌ها نیز وجود دارد.

تحلیل عاملی اکتشافی در مورد تمام حوزه‌ها نیز با استفاده از داده‌های مربوط به سوالات Q1 تا Q45 انجام شد. این تحلیل سه عامل اصلی را شناسایی کرد که به ترتیب ۳۲٪، ۲۵٪ و ۱۸٪ از واریانس داده‌ها را تبیین می‌کنند. عامل اول به سوالات مربوط به آشنایی با واقعیت افزوده و واقعیت مجازی ارتباط دارد و نشان‌دهنده آشنایی عمومی با این فناوری‌ها است. عامل دوم به سوالات مزایا و معایب فنی و اقتصادی واقعیت ترکیبی مربوط می‌شود که شناخت متخصصان از این فناوری را نشان می‌دهد. عامل سوم نیز به سوالات مرتبط با پیش‌بینی آینده مربوط است و بینش متخصصان نسبت به آینده واقعیت ترکیبی را منعکس می‌سازد.

این نتایج نشان می‌دهد که متخصصان در مجموع با مفاهیم پایه‌ای واقعیت افزوده و واقعیت مجازی آشنایی بیشتری دارند و درک کمتری از کاربردهای پیشرفته‌تر این فناوری‌ها دارند. علاوه بر این، آن‌ها مزایای فنی و اقتصادی واقعیت ترکیبی را بیشتر از معایب آن می‌دانند، هرچند که چالش‌های فنی و اقتصادی نیز قابل توجه است. در نهایت، متخصصان به طور کلی در مورد آینده واقعیت ترکیبی خوشبین هستند، اما نگرانی‌ها و تردیدهایی نیز وجود دارد.

بحث و نتیجه‌گیری

هدف این پژوهش بررسی نظرات متخصصان ایرانی درباره ادغام واقعیت افزوده و واقعیت مجازی در پروژه‌های هوشمند ساختمانی بوده است. نتایج به‌دست‌آمده از این مطالعه به خوبی نمایانگر اهمیت این فناوری‌ها در بهبود عملکرد و کارایی در صنعت ساخت و ساز بوده و تأثیرات متعدد آن‌ها بر جنبه‌های فنی، اقتصادی و اجتماعی شناسایی گردید. یافته‌ها نشان می‌دهد که ادغام واقعیت افزوده و واقعیت مجازی پتانسیل بالایی در تحول صنعت ساخت و ساز ارایه می‌دهد.

در حوزه میزان آشنایی با واقعیت افزوده و واقعیت مجازی، نتایج مربوط به ماتریس همبستگی، ارتباط عمیق و قابل توجهی بین آشنایی متخصصان با نرم افزارها و ابزارهای واقعیت افزوده و توانایی آن‌ها در تسلط بر جنبه‌های فنی و عملی این فناوری نشان می‌دهد. به‌ویژه، همبستگی قوی موجود میان سوالات می‌تواند نشان‌دهنده این باشد که تخصص در یک حوزه می‌تواند به تسلط در سایر جنبه‌های فناوری‌های واقعیت افزوده و مجازی منجر شود. در تحلیل عاملی اکتشافی، دو عامل اصلی شناسایی شدند که نشان‌دهنده ساختارهای مشخصی از دانش میان متخصصان است. عامل اول به مفاهیم پایه‌ای واقعیت افزوده مربوط می‌شود و عامل دوم به کاربردهای پیشرفته‌تر. نتایج به‌دست آمده از این تحلیل به‌خوبی گویای این مطلب است که با وجود آشنایی با مفاهیم اولیه، درک عملکرد و قابلیت‌های پیچیده‌تر این فناوری‌ها نیازمند توجه و آموزش بیشتر است.

یافته‌های پژوهش در زمینه مزایا و معایب فنی واقعیت ترکیبی نشان‌دهنده یک نگاه مثبت در میان متخصصان نسبت به این فناوری است. همبستگی بالای موجود با توجه به نتایج ماتریس همبستگی، نشان می‌دهد که نظرات مشابهی در مورد مزایا و چالش‌های فنی این فناوری وجود دارد. همچنین، نتایج تحلیل عاملی اکتشافی نیز نشان می‌دهد که متخصصان به‌طور کلی مزایای فنی واقعیت ترکیبی را بیشتر از معایب آن در نظر دارند، که می‌تواند به‌نوعی بیانگر امیدواری به پیشرفت‌های آینده و توانمندی‌های این فناوری باشد. این نکته اعتبار و مشروعیت پیشرفت‌های فنی را تایید می‌کند و بنابراین می‌توان امیدوار بود که با توسعه مداوم و تشویق به پذیرش این فناوری، صنعت ساختمان‌سازی در ایران می‌تواند از بهبود کارایی، کاهش خطا و بهینه‌سازی فرآیندها بهره‌مند گردد. یافته‌های مربوط به این حوزه مستلزم توجه خاص در استراتژی‌گذاری‌های مدیریتی و تبلیغاتی است تا به تسهیل پذیرش این فناوری‌ها توسط ذی‌نفعان کمک کند.

در بررسی مزایا و معایب اقتصادی واقعیت ترکیبی، همبستگی موجود نشان می‌دهد که متخصصان نسبت به مزایا و معایب اقتصادی این فناوری‌ها دارای نگرش مثبت هستند. تحلیل عاملی در این بخش نیز نشان‌گر این موضوع است که هزینه‌ها و منافع اقتصادی باید در

ترکیب با ارزیابی فنی لحاظ شوند. با تحلیل نتایج به نظر می‌رسد متخصصان توانسته‌اند به آگاهی نسبی به ابعاد اقتصادی این فناوری دست یابند اما به نظر می‌رسد که درک عمیق‌تری از چالش‌ها و مشکلات وجود ندارد. نکته‌ای که در این زمینه برجسته است، نشان‌دهنده اهمیت تحقیق در ابعاد اقتصادی و تجاری فناوری واقعیت ترکیبی است. پیشرفت‌های اقتصادی مستلزم فعالیت‌های پژوهشی مستمر برای شفاف‌سازی ابعاد هزینه-فایده در این فناوری‌ها هستند تا از طریق آن‌ها، پذیرش و پیاده‌سازی موثرتر امکان‌پذیر گردد.

در آخرین حوزه مورد بررسی، یعنی پیش‌بینی آینده واقعیت ترکیبی آشکارا دارای نکات امیدبخشی است. همبستگی قوی حاکی از یک بینش مثبت و خوشبینانه در خصوص آینده فناوری‌های نوین است. اگرچه نگرانی‌هایی مربوط به چالش‌ها و تردیدها در این زمینه وجود دارد، اما باید توجه داشت که متخصصان به پیشرفت‌های قابل ملاحظه‌ای در این حوزه امید دارند. تحلیل عاملی اکتشافی نیز نشان می‌دهد که آگاهی از نگرش‌های آینده‌نگر باعث می‌شود که متولیان و فعالان این زمینه بتوانند با درک بهتر از وضعیت کنونی، به برنامه‌ریزی‌های دقیق‌تری برای آینده دست یابند. این روند می‌تواند بستری برای نوآوری و هم‌افزایی میان فناوری‌های واقعیت افزوده و مجازی باشد.

این پژوهش دارای محدودیت‌هایی است که باید مورد توجه قرار گیرد. اول اینکه، عدم پوشش کامل و جامع تمامی تخصص‌ها و رشته‌های مرتبط ممکن است به فقدان تنوع داده‌های اصلی منجر شود. همچنین، به دلیل جدید بودن فناوری واقعیت ترکیبی، اطلاعات ممکن است به سرعت تغییر کند و این نکته می‌تواند بر دقت و اعتبار یافته‌ها تاثیر بگذارد. در نهایت، این پژوهش بیشتر بر روی متخصصان ایرانی متمرکز بوده و ممکن است این موضوع بر تعمیم‌پذیری یافته‌ها به سایر کشورها یا حتی مناطق ایران تأثیرگذار باشد.

با توجه به یافته‌های این پژوهش، پیشنهاد می‌شود که تحقیقات آینده به ابعاد عمیق‌تری از جوانب اجتماعی و فرهنگی پذیرش فناوری واقعیت ترکیبی پرداخته و چالش‌های آن را از منظر انسانی و اقتصادی بررسی کنند. علاوه بر این، انجام مطالعات تجربی در پروژه‌های واقعی

می‌تواند به شفاف‌سازی بهتر و درک عمیق‌تر از مزایا و معایب فناوری‌های واقعیت ترکیبی کمک کند. همچنین، به‌کارگیری نظرات و نگرش‌های متخصصان می‌تواند به طراحی و عملیاتی کردن استراتژی‌های آموزشی و مشاوره‌ای مؤثر در این زمینه کمک کند. از طرفی، برگزاری کارگاه‌ها و سمینارهای آموزشی با هدف افزایش آشنایی و توانمندی‌های فنی متخصصان نیز می‌تواند ایمن‌ترین راه برای پذیرش گسترده این فناوری‌ها در صنعت ساختمان‌سازی باشد.

به عنوان نتیجه‌گیری نهایی، پژوهش حاضر نشان می‌دهد که همگرایی واقعیت افزوده و واقعیت مجازی در پروژه‌های هوشمند ساختمانی، پتانسیل قابل توجهی برای تحول در این صنعت دارد. یافته‌های محققین حاکی از آن است که این فناوری‌ها می‌توانند منجر به بهبود چشمگیری در دقت، کلرای، و ایمنی فرآیندهای ساختمانی شوند. بر اساس تحلیل‌های انجام شده، به نظر می‌رسد که متخصصان بیشتر با مفاهیم پایه‌ای واقعیت افزوده و مجازی آشنایی دارند و درک عمیقی از کاربردهای پیشرفته‌تر این فناوری‌ها هنوز در حال شکل‌گیری است. علی‌رغم این محدودیت، نتایج پژوهش نشان می‌دهد که مزایای فنی و اقتصادی این فناوری‌ها می‌تواند بسیار امیدوارکننده باشد. چالش‌های موجود، به‌ویژه در حوزه‌های فنی، سخت‌افزاری و زیرساختی، می‌تواند از موانع اصلی پیاده‌سازی گسترده این فناوری‌ها باشد. با این حال، یافته‌ها نشان می‌دهد که توجه همزمان به جنبه‌های فنی و انسانی می‌تواند راهکار موثری برای غلبه بر این چالش‌ها باشد.

پیش‌بینی آینده نشان می‌دهد که متخصصان نسبتاً خوش‌بین هستند، اما همچنان نگرانی‌هایی در مورد پیچیدگی‌های فنی، هزینه‌ها و پذیرش کاربران وجود دارد. به نظر می‌رسد که یکپارچه‌سازی این فناوری‌ها با سیستم‌های مدیریت اطلاعات ساختمان و سایر فناوری‌های نوظهور مانند هوش مصنوعی و اینترنت اشیا می‌تواند نقطه عطفی در توسعه پروژه‌های هوشمند ساختمانی باشد. در نهایت، این پژوهش پیشنهاد می‌کند که موفقیت در پیاده‌سازی واقعیت ترکیبی، مستلزم رویکردی جامع است که شامل توسعه فنی، سرمایه‌گذاری در زیرساخت‌ها، آموزش مداوم کاربران و توجه به جنبه‌های اقتصادی و اجتماعی می‌باشد.

تعارض منافع

نویسندگان هیچ گونه تعارض منافع ندارند.

آماده انتشار

ORCID

Reza Behbood	 https://orcid.org/0000-0001-7547-6212
Ehsan Bagheri	 https://orcid.org/0000-0002-6307-8038
Mohamad Mahdi Zolfaghari Tehrani*	 https://orcid.org/0009-0004-3905-2518

References

- Ahsani, M., Ismail, S. B., al-Ameen, A., Fereidooni, M., Dadashzadeh, R., & Ahmadi, P. (2025). Augmented reality in the interior spaces: A systematic review. **International Journal of Academic Research in Business and Social Sciences*, 15*(1), 1816-1834. <http://dx.doi.org/10.6007/IJARBS/v15-i1/24558>
- Cao, Y. (2022). Developing teachers' contingent responsiveness in dialogic science teaching via mixed-reality simulations: A design-based study [Apollo - University of Cambridge Repository]. <https://doi.org/10.17863/CAM.90530>
- Chong, H., & Kim, S. (2024). Systematic literature review of Korean research for the integration of VR, AR, and MR technologies in construction BIM: An exploration across the construction lifecycle. **The 10th International Conference on Construction Engineering and Project Management**. <https://dx.doi.org/10.6106/ICCEPM.2024.0524>
- Conen, R., Mueller, S., & Tibubos, A. (2025). Integration of conventional and virtual reality approaches in augmented reality for theory-based psychoeducational intervention design for chronic low back pain: Scoping review. **Interactive Journal of Medical Research*, 14*, e59611. <https://doi.org/10.2196/59611>
- Davila Delgado, M., Oyedele, L., Beach, T., & Demian, P. (2020). Augmented and virtual reality in construction: Drivers and limitations for industry adoption. **Journal of Construction Engineering and Management*, 146*, 04020079. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0001844](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0001844)
- Emelianova, O., Tytok, V., Lavrukina, K., Shatrova, I., & Demydova, O. (2025). Digital transformation in the construction industry: Analysing the impact of technological changes on construction processes. **Estoa. Revista de la Facultad de Arquitectura y Urbanismo de la Universidad de Cuenca*, 14*(27), 257-268. <https://doi.org/10.18537/est.v014.n027.a16>
- Kandi, V. R., Castronovo, F., Brittle, P., Ventura, S. M., & Nikolic, D. (2020). Assessing the impact of a construction virtual reality game on design review skills of construction students. **Journal of Architectural Engineering*, 26*(4), 04020035. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)AE.1943-5568.0000434](https://doi.org/10.1061/(ASCE)AE.1943-5568.0000434)

- Lee, S., Kim, S., & Roh, B.-h. (2024). Mixed reality virtual device (MRVD) for seamless MR-IoT-digital twin convergence. *Internet of Things, 26*, 101155. <https://doi.org/10.1016/j.iot.2024.101155>
- Liu, Y., Li, S., & Wang, J. (2014). Interactive operation of physically-based slender flexible parts in an augmented reality environment. *Scientia Sinica Technologica, 57*(7), 1383–1391. <https://doi.org/10.1007/s11431-014-5522-4>
- Maqsoom, A., Zulqarnain, M., Irfan, M., Ullah, F., Alqahtani, F. K., & Khan, K. I. A. (2023). Drivers of, and barriers to, the adoption of mixed reality in the construction industry of developing countries. *Buildings, 13*(4), 872. <https://doi.org/10.3390/buildings13040872>
- Moher, D., Liberati, A., Tetzlaff, J., & Altman, D. (2009). Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses: The PRISMA statement. *Open Medicine, 3*, e123. <https://doi.org/10.1016/j.jclinepi.2009.06.005>
- Noghabaei, M., Heydarian, A., Balali, V., & Han, K. (2020). Trend analysis on adoption of virtual and augmented reality in the architecture, engineering, and construction industry. *Data, 5*, 26. <https://doi.org/10.3390/data5010026>
- Pandey, P. K., Mahajan, S., Paul, J., & Iyer, S. (2025). Digital twin and virtual reality, augmented reality, and mixed reality. In S. Iyer, A. Nayyar, A. Paul, & M. Naved (Eds.), *Digital twins for smart cities and villages* (pp. 273-293). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-443-28884-5.00013-0>
- Saunders, M. N. K., Lewis, P., & Thornhill, A. (2023). *Research methods for business students* (9th ed.). Pearson. https://www.researchgate.net/publication/240218229_Research_Methods_for_Business_Students
- Watts, S., & Stenner, P. (2012). *Doing Q methodological research: Theory, method & interpretation*. SAGE Publications. <https://doi.org/10.4135/9781446251911>
- Wang, K., Guo, F., Zhou, R., & Qian, L. (2023). Implementation of augmented reality in BIM-enabled construction projects: A bibliometric literature review and a case study from China. *Construction Innovation*. <https://doi.org/10.1108/CI-08-2022-0196>
- Wu, S., Chen, H., Hou, L., Zhang, G. K., & Li, C. Q. (2024). Using eye-tracking to measure worker situation awareness in augmented reality. *Automation in Construction, 165*, 105582. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2024.105582>
- Zhou, J., & Wang, Y. (2025). Research on the digital technological factors influencing the development of the global construction industry under the context of digitalization—Based on bibliometric analysis and the fuzzy Delphi method. In Y. Qiu et al. (Eds.), *Proceedings of the 2024 7th International Conference on Civil Architecture, Hydropower and Engineering Management* (CAHEM 2024), Advances in Engineering Research, 256. https://doi.org/10.2991/978-94-6463-650-5_33