Journal of Structural and Construction Engineering, 10(1), 2023, pp. 25-42

Journal of Structural and Construction Engineering

www.jsce.ir

Feasibility Study of Using Virtual Reality with Emphasis on Reducing the Cost of Finishing in Residential Projects (Case study: Construction projects in Districts 1 to 3 of Tehran)

Mohammad Shoraka[1], Ehsan Eshtehardian[2]*, Vahid Faghihi[3], Mojtaba Azizi[4]

1- Master of Science, Faculty of Art & Architecture. Tarbiat Modares University, Tehran, Iran
2 -Associate Professor, Faculty of Art & Architecture. Tarbiat Modares University, Tehran, Iran
3- Assistant Professor, School of Architecture, Prairie View Texas A&M University, Texas, USA
4- Assistant Professor, Faculty of Art & Architecture. Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

ABSTRACT

Lack of correct understanding of the final product of projects is one of the most important causes of cost overrun in the construction industry, which is the source of many differences between the main elements of projects. The use of new technologies has helped developed countries control the cost of projects. Virtual reality is one of the latest technologies which has entered many industries such as the construction industry in recent years and has positive effects in different areas of project management such as cost management. According to the critical capabilities of these projects in the field of creating a correct understanding of the final product, as well as the strong influence of the finishing on increasing the cost of construction projects, the present study is limited to investigating the effect of virtual reality on cost reduction in the finishing stage of residential projects. Firstly, to achieve the study's objectives, 39 causes of increasing the cost of construction projects were extracted by studying the previous literature. Rework, design changes during execution, and fluctuations in material prices were identified as the most influential factors in growing joinery projects' costs. Then, ten experienced experts validated the accuracy of the results using a questionnaire. Second, a platform was designed to implement virtual reality to provide a correct image of the project product and management information. Then, by an interview, the effect of virtual reality on reducing the cost of finishing residential projects was measured. Finally, by merging the first and second steps of the research, the results showed that virtual reality through reduction of design changes during implementation, rework, and mistakes in virtual reality design have a significant impact on reducing project costs. Also, 25 factors that have not impacted this technology and five other factors that have experienced minimal impact were separated.

ARTICLE INFO

Receive Date: 31 August 2021
Revise Date: 09 April 2022
Accept Date: 24 June 2022

Keywords:
Virtual Reality
Finishing Cost Reduction Cost Overrun
Residential Projects
Construction Industry

All rights reserved to Iranian Society of Structural Engineering.

doi: https://doi.org/10.22065/jsce.2022.302482.2556

*Corresponding author: Ehsan Eshtehardian
Email address: eshtehardian@modares.ac.ir

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

امکان‌سنجی استفاده از واقعیت مجازی با تاکید بر کاهش هزینه نازک‌کاری در پروژه‌های مسکونی(مورد مطالعاتی: پروژه‌های ساختمانی مناطق ۱ تا ۳ شهر تهران)

محمد شرکا [۱]، احسان‌اله اشتهاردیان [۲*]، سید وحید فقیهی [۳]، مجتبی عزیزی [۴]

۱- کارشناس ارشد، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

2-دانشیار، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

۳- استادیار، دانشگاه Prairie View A&M، تگزاس، ایالات متحده امریکا

۴- استادیار، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

چکیده

نداشتن درک صحیح از محصول نهایی پروژه‌ها، یکی از اصلی ترین علل افزایش هزینه نسبت به برنامه اولیه در صنعت ساخت‌وساز است که سرمنشأ بسیاری از اختلافات بین ارکان اصلی پروژه‌هاست. استفاده از فناوری‌های نوین، کشورهای توسعه‌یافته را کمک کرده تا در کنترل هزینه پروژه‌ها پیشرو باشند. واقعیت مجازی یکی از فناوری‌های جدید سال‌های اخیر است که در بسیاری از صنایع از جمله صنعت ساخت‌وساز ورود کرده و در مدت زمانی کوتاه تأثیرات مثبت زیادی در حوزه‌های مختلف مدیریت پروژه از جمله مدیریت هزینه از خود به نمایش گذاشته است. باتوجه‌به قابلیت‌های کلیدی این فناوری در زمینه ایجاد درک صحیح از محصول نهایی به کمک تصویرسازی، و همچنین تأثیر پررنگ نازک‌کاری بر افزایش هزینه پروژه‌های ساختمانی به دلیل ایجاد تغییرات مکرر در حین اجرا، پژوهش حاضر محدود به بررسی تأثیر واقعیت مجازی بر کاهش هزینه در مرحله نازک‌کاری پروژه‌های مسکونی می‌باشد. برای دستیابی به اهداف پژوهش، نخست با مطالعه ادبیات پیشین، ۳۹ عامل افزایش هزینه پروژه‌های ساختمانی استخراج شد که دوباره‌کاری، تغییرات طراحی در حین اجرا و نوسان قیمت مصالح تاثیر گذارترین عوامل بر افزایش هزینه نازک‌کاری پروژه‌ها شناخته شدند. سپس با استفاده از یک پرسشنامه، توسط ۱۰ متخصص باتجربه اعتبارسنجی شد تا از درستی آنها در صنعت ساختمان ایران نیز اطمینان حاصل شود. در گام دوم، بستری جهت پیاده‌سازی واقعیت مجازی طراحی و ساخته شد تا ضمن ارائه تصویری صحیح از محصول پروژه، با ارائه اطلاعات مدیریتی، تجربه استفاده از این فناوری را به عوامل اصلی پروژه بدهد. سپس به کمک مصاحبه‌ای با سؤالات بسته، میزان تاثیر واقعیت مجازی بر کاهش هر یک از عوامل افزایش هزینه پروژه‌های مسکونی سنجیده شد.

کلمات کلیدی: واقعیت مجازی، کاهش هزینه نازک‌کاری، ، هزینه اضافه، پروژه‌های مسکونی، صنعت ساخت.

سابقه مقاله:					شناسه دیجیتال:	
دریافت	بازنگری	پذیرش	انتشار آنلاین	چاپ	doi:	https://doi.org/10.22065/jsce.2022.302482.2556
۱۴۰۰/۰۶/۰۹	۱۴۰۱/۰۱/۲۰	۱۴۰۱/۰۴/۰۳	۱۴۰۱/۰۴/۰۳	۱۴۰۲/۰۱/۳۱		10.22065/jsce.2022.302482.2556

*نویسنده مسئول: احسان‌اله اشتهاردیان

پست الکترونیکی: eshtehardian@modares.ac.ir

۱- مقدمه

صنعت ساخت، یکی از تأثیرگذارترین عوامل رشد اقتصادی و اجتماعی هر کشور است. چرا که به تأمین زیرساخت‌های موردنیاز مانند نیروگاه، سد، راه و ساختمان می‌پردازد. همچنین نقش قابل‌توجهی در تولید ناخالصی هر کشور دارد. [۱] یکی از اهداف اصلی در همه صنایع از جمله صنعت ساخت‌وساز، اتمام و تحویل پروژه در زمان مقرر و بودجه تعیین شده در راستای رسیدن به بیشترین میزان سوددهی است. [۲] این صنعت به‌عنوان یکی از پیچیده ترین صنایع متکی بر منابع، غالبا با مشکلات جدی مانند بهره‌وری و کیفیت پایین تر از سطح انتظار، زمان و هزینه بیش از برنامه و ... روبرو است. هزینه بیش از اندازه در ساخت‌وساز یک معضل جهانی است. [۳] و معمولاً منشا اختلاف بین کارفرمایان، مدیران پروژه و پیمانکاران است.[۴] افزایش هزینه همچنین باعث تأخیر در پیشرفت پروژه، کاهش سود پیمانکاران و در نهایت ایجاد مشکل در عرضه مسکن با هزینه مناسب می‌شود. [۵]

از سمت دیگر، پیشرفت تکنولوژی در قرن ۲۱ باعث تحول صنعت ساخت‌وساز شده است. یکی از ابزارهای تکنولوژیکی که می‌تواند در ساخت‌وساز کارآمد باشد، واقعیت مجازی[1] است. [۶] این فناوری در چند سال گذشته رشد چشمگیری را در زمینه معماری، مهندسی و ساخت[2] تجربه کرده است. [۷] واقعیت مجازی یک محیط شبیه سازی شده رایانه ای است که به‌وسیله عینک های استریوسکوپیک[3] دسترسی به آن فراهم می‌شود. مکانیزم ردیابی آن به این شکل است که حرکت بیننده در فضای فیزیکی ردیابی شده و حرکات در محیط شبیه سازی شده سه‌بعدی را با آن منطبق می‌کند. این فناوری دیدی کاملاً واقع بینانه به بیننده میدهد و باعث می‌شود او درک بسیار بهتری از پروژه به دست آورد. [۸]

در کشور ما، با وجود پیشرفت فناوری در صنعت‌های مختلف از جمله صنعت ساخت‌وساز، همچنان شاهد پافشاری بر روش‌های سنتی در مراحل مختلف چرخه حیات پروژه‌ها هستیم. ازاین‌رو در بسیاری از پروژه‌ها، هزینه زیادی جهت دوباره‌کاری اتلاف می‌شود. [۹] محققان زیادی از سراسر دنیا در پی بهبود این معضل به بررسی علل ایجاد هزینه اضافی در صنعت ساخت‌وساز پرداخته‌اند. برای رسیدن به راه‌حلی کارآمد نیاز است این عوامل به خوبی شناخته شده و نسبت به پروژه‌های داخل کشور اعتبارسنجی شود. پس از آن با درنظرگرفتن عوامل اصلی شناخته شده، به بررسی میزان تأثیرگذاری فناوری واقعیت مجازی، یکی از جدیدترین راهکارهای مورداستفاده در کشورهای توسعه‌یافته، بر کاهش هزینه نازک‌کاری[4] در پروژه‌های مسکونی پرداخته می‌شود. به جهت عدم وجود تعداد کافی از مدیران پروژه، کارفرمایان و پیمانکارانی که سابقه کار با این فناوری را داشته باشند، نیاز است بستری جهت پیاده‌سازی فناوری واقعیت مجازی طراحی شود و در دسترس آنان قرار داده شود تا با آزمایش آن بر روی پروژه‌ها، میزان تأثیر آن بر کاهش هزینه در مرحله نازک‌کاری مورد سنجش قرار گیرد.

۲- مرور ادبیات پیشین

به منظور آگاهی از مطالعات صورت گرفته در تحقیقات گذشته، چند زمینه پژوهشی مختلف که ارتباط نزدیکی با موضوع تحقیق دارند مورد بررسی قرار گرفته است. در انتها اطلاعات به‌دست‌آمده از پژوهش‌های پیشین جمع‌بندی شده و مورد نقد و بررسی قرار خواهند گرفت. زمینه‌های پژوهشی مرتبط با موضوع تحقیق حاضر عبارتند از:

۱. شناسایی و رتبه‌بندی عوامل افزایش هزینه در پروژه‌های ساختمانی
۲. نازک‌کاری در پروژه‌های ساختمانی و عوامل مؤثر بر هزینه‌های آن

1 Virtual Reality
2 AEC
3 Stereoscopic Glasses
4 Finishing

۳. واقعیت مجازی و کاربردهای آن در مدیریت پروژه‌های ساختمانی

۲-۱ شناسایی و رتبه‌بندی عوامل افزایش هزینه در پروژه‌های ساختمانی

با جمع‌بندی مطالعات مورد بررسی می‌توان فهرستی از عوامل افزایش هزینه در پروژه‌های ساختمانی ارائه نمود. مقایسه دقیق‌تر مقالات نشان می‌دهد، عوامل ذکر شده در پژوهش‌های مختلف دقیقاً یکسان نبوده و همچنین در رتبه‌بندی عوامل نیز تفاوت‌هایی مشاهده می‌شود. با صرف‌نظر از اختلافات جزئی موجود، می‌توان اصلی‌ترین علل افزایش هزینه در پروژه‌های ساختمانی را افزایش قیمت مصالح ساختمانی، برآورد نادرست یا غیردقیق، مدیریت ضعیف کارگاه، عملکرد فنی نامناسب، نوسانات قیمت ارز، تغییر در مشخصات و محدوده پروژه، تغییر در طراحی، عدم برنامه‌ریزی و نظارت مناسب بر هزینه، افزایش هزینه ماشین‌آلات و نیروی انسانی و درنهایت افزایش فاصله زمانی بین مراحل طراحی و تدارکات دانست. ۳۹ عامل از ادبیات پیشین استخراج شد و در ۸ گروه دسته‌بندی شد که در جدول ۱ آمده است.

جدول۱ : دسته‌بندی عوامل افزایش هزینه پروژه‌های مسکونی.

گروه	عوامل افزایش هزینه
مدیریت کارگاه توسط پیمانکار	مدیریت ضعیف کارگاه
	پیمانکاران جزء بی‌کفایت
	تأخیر در برنامه زمانی
	برنامه‌ریزی و زمان‌بندی نامناسب
	کمبود تجربه
	تخمین زمان - هزینه نادرست
	دوباره‌کاری
	نظارت و کنترل نامناسب
طراحی و مستندات	تغییرات طراحی در حین اجرا
	اشتباه و خطا در طراحی
	طراحی ناقص فاز یک در زمان اجرا
	طراحی ناقص فاز دو در زمان اجرا
	تأخیر در طراحی
	تأخیر در تأیید طراحی
	متره و برآورد نادرست
مدیریت مالی	مشکلات مالی در جریان نقدینگی پیمانکاران
	کنترل مالی ضعیف در کارگاه
	مشکلات مالی کارفرما
	تأخیر کارفرما در پرداخت
	تأخیر در پرداخت به تأمین‌کنندگان و پیمانکاران جزء

گروه	عوامل افزایش هزینه
	ادعاهای قراردادی / Claim
اطلاعات و فناوری‌های ارتباطی	جریان آهسته اطلاعات بین گروه‌های مختلف
	کمبود ارتباطات بین گروه‌های مختلف
مدیریت نیروی کار	بهره‌وری کم کارگران
	کمبود کارگر در کارگاه
	کمبود نیروی متخصص
	قیمت بالای کارگر
	غیبت کارگران
مصالح و ماشین‌آلات	نوسان قیمت مصالح
	نوسان قیمت ماشین‌آلات
	کمبود مصالح
	تحویل دیرهنگام مصالح و تجهیزات
	در دسترس نبودن یا خرابی ماشین‌آلات
مدیریت پروژه	مدیریت پروژه ضعیف
	تغییر در محدوده پروژه
	تأخیر در تصمیم‌گیری
سایر عوامل	تغییر قوانین
	شرایط جوی پیش‌بینی نشده
	شرایط بحرانی

۲-۲ نازک‌کاری در پروژه‌های ساختمانی و عوامل مؤثر بر هزینه‌های آن

به منظور مشخص شدن چارچوب تحقیق، ابتدا نیاز است حدود نازک‌کاری تبیین شود. دانشوران تعاریف مختلفی از نازک‌کاری عرضه کرده‌اند. گلرو کوکا معتقد است که برای خلق فضای داخلی زیبا و بادوام باید به عواملی توجه کرد. از نظر او لایه‌ای که تضمین‌کننده‌ی زیبایی و دوام فضای داخلی است را «نازک‌کاری» می‌نامند. او نازک‌کاری را لایه‌ی نهایی محافظت‌کننده و سامان‌دهنده‌ی جداره‌های بنا می‌داند. [۱۰] دانشوران مراحل و حدودی را نیز برای عمل نازک‌کاری برشمرده‌اند. برودتسکایا یکی از این دانشوران است که نازک‌کاری را شامل اتمام فعالیت‌های مرتبط با سازه، خشک‌کردن دیوار، لوله‌کشی، تمهیدات الکتریکی، تهویه‌ی مطلوب و کاشی کاری می‌داند. [۱۱] ساکس نیز با مطالعه‌ی نمودار جریان پروژه‌های عمرانی مراحلی را برای نازک‌کاری برشمرده است؛ مراحلی شامل، پارتشین

بندی، فعالیت‌های برقی و الکتریکی، گچ‌کاری، آب‌دهی، لوله‌کشی، آبگیری و کاشی‌کاری. [۱۲] ویت نیان نیز نازک‌کاری را شامل نقاشی، چوب‌کاری، آلومینیوم‌کاری و فلزکاری بر جداره‌های داخلی و سقف کاذب و جداره‌های خارجی و صفحات چوبی می‌داند. او همچنین به‌کارگیری چوب و آلومینیوم و آهن را در چارچوب درها و پنجره‌ها و چوب‌پرده‌ها در زمره‌ی نازک‌کاری می‌شمارد. [۱۳] بنابراین پیداست که دانشوران تصور واحدی از حدود نازک‌کاری و مراحل و تعاریف آن ندارند.

موضع مورد استفاده از هر متریال شرایطی را ایجاب می‌کند که در انتخاب متریال باید به آن توجه کرد. مثلاً ممکن است چوبی که در کف به‌مثابه‌ی نازک‌کاری استفاده شده است به علت آنکه استفاده‌کنندگان فضا بر روی آن راه می‌روند به مقاومت در برابر خراش و کوبش نیاز داشته اما اگر نازک‌کاری در با چوب در موضع سقف کاذب به کار رود دیگر نیازمند داشتن چنین ویژگی‌هایی نباشد. دانشوران در مطالعاتی که در حوزه‌ی نازک‌کاری فضاهای داخلی به انجام رسانده‌اند گاه از عواملی یاد کردند که حین انتخاب نازک‌کاری باید به آن توجه شود. مثلاً مگدی محمود و همکارانش با فهرست کردن ویژگی‌های و تهیه‌ی پرسش‌نامه‌هایی از جامعه‌ی هدف خود اهمیت هر ویژگی را سنجیده و معیارهای اهم را در محدوده‌ی تحقیق خود شناسایی کرده‌اند. آنها عواملی همچون زیبایی، تورفتگی و کنگره داشتن، مقاومت در باربر آتش، سرعت توسعه‌ی آتش، گرمای نازک‌کاری به هنگام لمس آن، جذب صدا، مقاومت در برابر جذب آب، مقاومت در برابر لرزش، مقاومت در برابر خراش، مقاومت شیمیایی (به طور مشخص مقاومت در برابر الکل و اسید)، آسایش (سکوت و ممانعت از نوفه‌ی کوبشی)، سهولت نظافت و تعمیرات، هزینه‌ی اولیه (خرید و نصب) و هزینه‌ی نگهداری را از معیارهای مهم انتخاب نازک‌کاری برشمرده‌اند. [۱۴]

۳-۲ کاربردهای واقعیت مجازی در مدیریت پروژه‌های ساختمانی

یکی از راه‌های افزایش اثربخشی مدیریت ساخت‌وساز، به‌کارگیری فناوری‌های جدید است. از جمله فرایندهایی که در سال‌های اخیر مورد توجه محققین و فعالان صنعت ساخت قرار گرفته، واقعیت مجازی است. [۱۵] واقعیت مجازی (Virtual Reality) یک محیط سه‌بعدی ایجاد شده توسط رایانه است که قابلیت کاوش و تعامل با کاربر را دارد. به‌عبارت‌دیگر واقعیت مجازی، یک شبیه‌سازی رایانه‌ای از محیط سه‌بعدی است که به صورت شبه واقعی یا فیزیکی با کاربر در تعامل باشد. ممکن است کاربر از سیستم رایانه‌ای خاصی مانند کلاه مجهز به صفحه نمایشگر داخلی و یا دستکش‌های مجهز به سنسور برای تعامل با محیط واقعیت مجازی استفاده نماید. [۱۵] واقعیت مجازی در مدیریت پروژه‌های ساختمانی کاربردهای متنوعی دارند که از مهم‌ترین آن‌های می‌توان به زمان‌بندی و پیگیری پیشرفت پروژه، آموزش نیروی کار، مدیریت ایمنی، مدیریت زمان و هزینه، مدیریت کیفیت و نقایص، ارتباطات و جمع‌آوری اطلاعات و شبیه‌سازی بصری اشاره نمود. [۱۵]

در پژوهشی که به‌منظور شناسایی چشم‌انداز استفاده از واقعیت افزوده و واقعیت مجازی در بخش‌های معماری، مهندسی و مدیریت ساخت صورت گرفته، شش زمینه کاربردی برای هر یک از این فناوری‌ها شناسایی شده است که عبارتند از: تعامل ذی‌نفعان، پشتیبانی طراحی، بررسی طراحی، پشتیبانی احداث، پشتیبانی عملیات و مدیریت و در نهایت آموزش [۱۶] اطلاعات به‌دست‌آمده از این پژوهش نشان می‌دهد پذیرش و به‌کارگیری فناوری‌های واقعیت مجازی و واقعیت افزوده مجموعاً در سطح پائینی قرار دارند، هرچند واقعیت مجازی کاربرد بیشتری نسبت به واقعیت افزوده داشته است. با وجود سطح پائین پذیرش و به‌کارگیری فناوری‌های مذکور، شرکت‌های ساختمانی علاقه زیادی به سرمایه‌گذاری نشان داده‌اند. [۱۶]

بر اساس پژوهشی که در خصوص کاربردهای صنعتی واقعیت مجازی در بخش ساختمان در کشورهای انگلستان و ایالات متحده انجام شده است، سازمان‌ها در ابتدای به‌کارگیری واقعیت مجازی، بخش عمده تمرکز خود را بر یکپارچه‌سازی سیستم‌ها، پشتیبانی از ارتباطات با مشتری و توسعه بازارهای جدید قرار می‌دهند. [۸] در این پژوهش که با رویکرد مطالعه موردی چندگانه صورت گرفته است، ۱۱ سازمان پیشرو در زمینه به‌کارگیری واقعیت مجازی موردمطالعه قرار گرفته‌اند. استراتژی‌ها و محرک‌های کسب‌وکار شرکت‌های مذکور شناسایی شده و الگوهای نوظهور به‌کارگیری فناوری‌ها مورد بررسی قرار گرفته است. محرک‌های کسب‌وکار برای پیاده‌سازی و استفاده از واقعیت مجازی شامل نشان‌دادن صلاحیت فنی، بررسی طراحی، شبیه‌سازی عملکرد پویا، هماهنگی در طراحی جزئیات، زمان‌بندی اجرا و بازاریابی بوده است. [۸] رویکردی که سازمان‌های مختلف در به‌کارگیری واقعیت مجازی اتخاذ می‌نمایند ممکن است به میزان استفاده

مجدد از طراحی‌ها در پروژه‌های مختلف و همچنین به‌اندازه پروژه‌های در حال اجرا وابسته باشد. همچنین یافته‌های این پژوهش نشان می‌دهد که شرکت‌های پیشرو در زمینه به‌کارگیری واقعیت مجازی، اولویت‌های متفاوتی در توسعه فناوری و استفاده از ابزارهای مربوطه دارند. هرچند در بسیاری از تحقیقات دانشگاهی موجود در پیشینه پژوهش، یکپارچه‌سازی ابزارها و قابلیت استفاده برای طیف گسترده‌تر کاربران مورد توجه قرار گرفته است، بررسی‌های صورت گرفته در صنعت نشان می‌دهد ابزارهای پیشنهاد شده، پاسخگوی نیاز تمامی گروه‌های کاربران نباشد. [۸]

برنامه‌ریزی مؤثر فضای کار، نقش مهمی در کیفیت برنامه‌ریزی کارگاه و زمان‌بندی فعالیت‌های اجرائی دارد. برنامه‌ریزی فضای کاری عموماً به صورت دستی و تجربی صورت می‌گیرد. به‌منظور ارائه راهکاری بهبود برنامه‌ریزی فضای کاری، پژوهشگران نحوه به‌کارگیری واقعیت مجازی و مدل‌سازی اطلاعات ساختمان را مورد بررسی قرار داده‌اند. برای این منظور، دانش ضمنی کارگران باتجربه استخراج شده و با دانش مدیران اجرا ترکیب شده است. استخراج دانش کارگران با دو روش متفاوت استخراج شده است. در روش اول، ضمن شبیه‌سازی فعالیت اجرائی، بازخورد کارگران در تعامل با محیط جمع‌آوری شده است. در روش دوم، موقعیت مکانی کارگران در حین اجرای فعالیت‌ها ردگیری و ثبت شده است. به‌کارگیری هم‌زمان مدل‌سازی اطلاعات ساختمان و واقعیت مجازی نشان داد می‌توان محل تلاقی فضاهای کاری و مسیرهای مخاطره‌آمیز را به نحو مطلوبی شناسایی نمود. در نتیجه امکان پیکره‌بندی مناسب‌تر فضاهای کاری در کارگاه‌های ساختمانی و همچنین برنامه‌ریزی مؤثرتر برای ایمنی امکان‌پذیر خواهد بود. [۱۷]

۲-۴ خلاصه و نتیجه‌گیری ادبیات پیشین

بررسی‌های صورت گرفته در ادبیات موضوع به‌منظور پاسخگویی به سؤالات پژوهش به نتایج زیر منجر شده است:

پژوهش در گام اول به دنبال شناسایی عوامل افزایش هزینه نازک‌کاری در پروژه‌های ساختمانی مسکونی است. بررسی پژوهش‌های گذشته نشان می‌دهد عوامل افزایش هزینه نازک‌کاری در پروژه‌های ساختمانی مسکونی را می‌توان به دو گروه کلی زیر تقسیم‌بندی نمود:

گروه اول شامل عواملی مانند افزایش قیمت مصالح ساختمانی، برآورد نادرست یا غیردقیق، تغییر در مشخصات و محدوده پروژه، تغییر در طراحی و غیره هستند که به صورت کلی عامل افزایش هزینه در پروژه‌های ساختمانی بوده و شامل افزایش هزینه نازک‌کاری نیز می‌شوند.

گروه دوم شامل عواملی است که منحصراً مرتبط با افزایش هزینه در بخش نازک‌کاری ساختمان است. مهم‌ترین عوامل افزایش هزینه در این گروه عبارتند از:

- پیچیدگی‌ها و چالش‌های فنی منحصربه‌فرد در بخش نازک‌کاری
- حضور هم‌زمان اکیپ‌های اجرائی متعدد در فضای کاری مشترک
- تنوع مصالح نازک‌کاری از جنبه جنس، ابعاد، محل نصب، روش اجرا و مشخصات فنی لازم
- طراحی و برنامه‌ریزی ناقص برای مرحله نازک‌کاری و موکول نمودن بخش عمده تصمیم‌گیری‌ها به زمان اجرا

در گام دوم پژوهش به دنبال شناسایی تأثیر احتمالی فناوری واقعیت مجازی بر کاهش هزینه‌های مرتبط با نازک‌کاری پروژه‌های مسکونی است. با بررسی مجدد عوامل افزایش هزینه و همچنین قابلیت‌های فناوری واقعیت مجازی، می‌توان کاربردهای احتمالی واقعیت مجازی بر کاهش هزینه‌های مرتبط با نازک‌کاری را به‌روشنی شناسایی نمود. کاربردهای احتمالی مذکور به شرح زیر هستند:

- ارائه تصویر روشنی از پروژه در مرحله طراحی و پیشگیری از دوباره‌کاری
- ارائه تصویر روشنی از پروژه در مرحله طراحی و پیشگیری از تغییرات مداوم طراحی

- برآورد دقیق مقادیر مصالح ساختمانی و احجام کاری
- ارائه تصویر روشنی از پروژه در مرحله طراحی و پیشگیری از تغییر مشخصات فنی در حین اجرا
- افزایش سرعت برآورد و در نتیجه کاهش فاصله زمانی مراحل طراحی و تدارکات

۳- روش‌شناسی تحقیق

تحقیق حاضر، پژوهشی کیفی بوده، به شکلی که با مطالعه جامع کتابخانه‌ای، عوامل افزایش هزینه پروژه‌های ساختمانی شناسایی شد. سپس به‌منظور اعتبارسنجی نتایج، به‌وسیله پرسشنامه، از مدیران پروژه، کارفرمایان، پیمانکاران و سرپرستان کارگاه پروژه‌های مسکونی، در مورد علل ایجاد هزینه مازاد بر برنامه سؤال شد. در مرحله بعد با طراحی بستری هوشمند به پردازش تغییر در لحظه (Live-Sync) برای ارائه فناوری واقعیت مجازی، امکان آزمایش آن برای گروهی از متخصصین این صنعت فراهم شد. سپس به کمک پرسشنامه دوم، میزان تأثیرگذاری واقعیت مجازی بر هر یک از عوامل افزایش هزینه نازک‌کاری پروژه‌های ساختمانی، سنجیده و اولویت‌بندی گردید.

تحقیق حاضر از منظر هدف، نوعی تحقیق کاربردی است. چون ابتدا با استخراج عوامل مؤثر بر افزایش هزینه پروژه‌های ساختمانی از دل ادبیات پیشین، به اعتبارسنجی و اولویت‌بندی آنان، و در ادامه به بررسی میزان تأثیر فناوری واقعیت مجازی بر کاهش هزینه‌های نازک‌کاری پروژه‌های مسکونی در صنعت ساختمان ایران پرداخته است. همچنین بر مبنای ماهیت تحقیقی توصیفی است. زیرا به تبیین اینکه آیا واقعیت مجازی بر کاهش هزینه‌های نازک‌کاری پروژه‌های مسکونی تأثیر دارد یا خیر و تأثیر آن چیست، از طریق پرسشنامه ساختاریافته و مصاحبه با سؤال بسته پرداخته است.

قلمروی زمانی این تحقیق، تک مقطعی است. زیرا اطلاعات به‌منظور توصیف جامعه‌ای که نمونه از آن انتخاب شده است، در یک مقطع زمانی معین از نمونه جمع‌آوری شده است که در بازه زمانی زمستان ۱۳۹۹ تا تابستان ۱۴۰۰ می‌باشد. از نظر قلمرو مکانی نیز، با نظر به اینکه صرف هزینه برای نازک‌کاری در مناطق شمالی شهر تهران بیشتر از سایر مناطق متداول است، و همچنین به منظور ارتقای دقت تحقیق، این پژوهش محدود به پروژه‌های مسکونی اجرا شده در منطقه ۱ تا ۳ شهر تهران می‌باشد.

روش نمونه‌گیری در این پژوهش، نظری است. چراکه سعی بر انتخاب مدیران پروژه، کارفرمایان و پیمانکارانی بود که سابقه کار در تعداد پروژه‌های زیاد و متنوعی را داشته باشند و همچنین در مرحله نازک‌کاری با چالش جدی‌تری در مواجهه با هزینه اضافه بر برنامه، روبه‌رو بوده‌اند. به‌این‌ترتیب تجربه بالای آن‌ها، درک و تصور بهتری از میزان تأثیر فناوری مورد تحقیق بر کاهش هزینه به آنان می‌دهد.

جهت گرداوری اطلاعات، در مرحله اول این پژوهش که به شناسایی عوامل افزایش هزینه پروژه‌های ساختمانی می‌پردازد، به روش مطالعه کتابخانه‌ای، عوامل از دل ادبیات پیشین استخراج شده است. چراکه مطالعات زیادی در مورد علل ایجاد هزینه مازاد در پروژه‌ها تاکنون انجام شده است. سپس به کمک پرسشنامه به اعتبارسنجی عوامل مستخرج از ادبیات پیشین در صنعت ساخت‌وساز ایران پرداخته شد. در مرحله دوم که سنجش میزان تأثیر استفاده از فناوری واقعیت مجازی بر کاهش هزینه پروژه‌هاست، پس از ایجاد تجربه استفاده از واقعیت مجازی، با استفاده از مصاحبه با سؤالات بسته، به ارزیابی میزان تأثیر آن بر کاهش هر یک از عوامل افرایش هزینه پرداخته شده است. سپس به منظور تجزیه و تحلیل اطلاعات، از روش تجزیه‌وتحلیل میانگین وزنی ساده استفاده شده است. هدف اصلی میانگین وزنی، قرار دادن ارزش یا وزن بر روی اجزای خاص است تا بتواند با مشکلی که حل می‌کند ، راه حل صحیحی را بیابد. به این منظور امتیاز کسب شده در پرسشنامه اول به عنوان وزن امتیاز پرسشنامه دوم در نظر گرفته می‌شود که با ضرب آن دو در یکدیگر به دست میاید.

برای حصول اطمینان از اعتبار یافته‌ها، در ابتدا باتوجه‌به استخراج عوامل مورد پرسش در پرسشنامه‌ها از دل مقالات معتبر، از صحت سؤالات اطمینان حاصل شده است. جهت روایی پرسشنامه از لحاظ فنی و نگارش، از اعتبار صوری استفاده شده است. به این منظور، این سؤالات پس از تنظیم در اختیار دو استاد دانشگاهی، سه نفر از دانشجویان مدیریت پروژه و دو متخصص در صنعت ساخت کشور قرار گرفته که پس از اعلام نظر آنها ایرادات وارد شده به سؤالات پرسشنامه برطرف شد و از شفاف بودن آن اطمینان حاصل شد. همچنین

اشخاص مورد پرسش هدفمند انتخاب شده‌اند. به شکلی که توجه شد اگر مخاطب پرسشنامه معیارهای موردنیاز را نداشته باشد، پاسخ وی از لیست نتایج معتبر حذف شود. از سمتی دیگر قبل از پاسخ به پرسشنامه دوم، از اینکه مخاطب به‌درستی با پلتفرم طراحی شده ارتباط برقرار کرده و زمان کافی برای کار با آن را داشته است اطمینان حاصل شد. با درنظرگرفتن همه این عوامل می‌توان پژوهش را دارای میزان روایی و پایایی مناسبی دانست.

۴- شرح تحقیق

در مرحله اول به بررسی میزان تأثیر هر یک از عوامل افزایش هزینه پروژه‌های ساختمانی که مستخرج از ادبیات پیشین است پرداخته شده‌است. به همین منظور، با کمک پرسشنامه طراحی شده، عوامل تأثیرگذار بر افزایش هزینه پروژه‌های ساختمانی اعتبارسنجی و اولویت‌بندی شده تا در ادامه مسیر معیاری برای میزان اهمیت هرکدام از عوامل باشد. سپس در مرحله دوم تحقیق، با طراحی پلتفرمی جهت ایجاد تجربه واقعیت مجازی با قابلیت بررسی تغییرات لحظه‌ای[5] در نازک‌کاری پروژه و مشاهده اطلاعات مدیریتی اعم از مدیریت هزینه، زمان و کیفیت، این امکان به مخاطبان داده می‌شود تا میزان تأثیر واقعیت مجازی را مورد ارزیابی قرار دهند. سپس از افراد خواسته شد باتوجه‌به تجربه حرفه‌ای خود در صنعت ساختمان، میزان تاثیر واقعیت مجازی بر هر یک از عوامل را بین پنج گزینه بسیار کم، کم، متوسط، زیاد و بسیار زیاد بسنجند. در ادامه با ترکیب بخش اول و دوم پژوهش، می‌توان به میزان تأثیرگذاری این فناوری بر هر یک از عوامل افزایش هزینه دست‌یافت.

در این تحقیق، ۱۰ نفر از عوامل ساخت پروژه‌های مختلف مورد سؤال قرار گرفتند و اطلاعات جمعیت‌شناختی در مورد سن، میزان سابقه کاری در صنعت ساختمان و سمت افراد پاسخگو در سازمان گردآوری شد که نتایج حاصل از آن در جدول ۲ آمده است.

جدول۲ : آمار جمعیت‌شناختی مشارکت‌کنندگان در پرسشنامه‌ها.

پاسخگو	سن	سابقه کاری در صنعت ساختمان	سمت در سازمان
P1	۲۵ تا ۳۵ سال	۵ تا ۱۰ سال	پیمانکار
P2	۲۵ تا ۳۵ سال	کمتر از ۵ سال	سرپرست کارگاه
P3	۴۵ تا ۵۵ سال	بیش از ۱۵ سال	مدیر پروژه
P4	۳۵ تا ۴۵ سال	۱۰ تا ۱۵ سال	پیمانکار
P5	۲۵ تا ۳۵ سال	۱۰ تا ۱۵ سال	سرپرست کارگاه
P6	۳۵ تا ۴۵ سال	بیش از ۱۵ سال	پیمانکار
P7	۳۵ تا ۴۵ سال	۱۰ تا ۱۵ سال	کارفرما
P8	۴۵ تا ۵۵ سال	بیش از ۱۵ سال	کارفرما
P9	۳۵ تا ۴۵ سال	۱۰ تا ۱۵ سال	پیمانکار
P10	۲۵ تا ۳۵ سال	۵ تا ۱۰ سال	مدیر پروژه

۴-۱ مرحله اول: اعتبارسنجی عوامل افزایش هزینه پروژه‌های مسکونی

اولین گام جهت تجزیه تحلیل داده‌های یک تحقیق کیفی، کمی سازی پاسخ‌ها است که برای سهولت در مقایسه میزان تأثیرگذاری هر یک از عوامل با یکدیگر به آن پرداخته شده است. نتایج حاصل از پرسشنامه‌ها، از صفر (بسیار کم) تا ۴ (بسیار زیاد) امتیازدهی شد تا مشخص شود عوامل افزایش هزینه در هر گروه دارای چه وزنی هستند.

[5] Live-Sync

پس از به‌دست‌آمدن امتیاز تمام عوامل، به منظور درک بهتر از مقیاس امتیازات، در دامنه ۰ تا ۱۰۰ نرمال‌سازی شد. همچنین میزان انحراف معیار هر یک از عوامل بررسی شد تا مشخص شود متخصصینی که مورد پرسش قرار گرفته‌اند، چه میزان اشتراک و یا اختلاف نظر در مورد میزان تأثیر هر عامل بر افزایش هزینه پروژه دارند. یکی از شاخص های پراکندگی است که نشان می‌دهد به‌طور میانگین داده‌ها چه مقدار از مقدار متوسط فاصله دارند. اگر انحراف معیار مجموعه‌ای از داده‌ها نزدیک به صفر باشد، نشانه آن است که داده‌ها نزدیک به میانگین هستند و پراکندگی اندکی دارند؛ در حالی که انحراف معیار بزرگ بیانگر پراکندگی قابل توجه داده‌ها می‌باشد. در نهایت با رتبه‌بندی عوامل بر اساس امتیاز کسب شده، لیستی از تمام عوامل تأثیرگذار بر افزایش هزینه پروژه‌های ساختمانی خواهیم داشت که در جدول ۳ مشخص شده است.

جدول۳ : رتبه‌بندی تأثیرگذارترین عوامل بر افزایش هزینه نازک‌کاری پروژه‌های مسکونی.

رتبه	عوامل افزایش هزینه	انحراف معیار	امتیاز
۱	دوباره‌کاری	۱،۰۵	**۹۵،۰**
۲	تغییرات طراحی در حین اجرا	۱،۶۹	**۹۲،۵**
۲	نوسان قیمت مصالح	۱،۲۱	**۹۲،۵**
۲	نوسان قیمت ماشین‌آلات	۱،۶۹	**۹۲،۵**
۵	نظارت و کنترل نامناسب	۱،۷۷	**۸۷،۵**
۶	مدیریت پروژه ضعیف	۱،۷۵	**۸۵،۰**
۷	مشکلات مالی کارفرما	۱،۹۷	**۸۰،۰**
۸	مدیریت ضعیف کارگاه	۲،۱۹	**۷۷،۵**
۸	تغییر در محدوده پروژه	۱،۸۴	**۷۷،۵**
۱۰	کمبود مصالح	۲،۳۶	**۷۵،۰**
۱۱	کمبود نیروی متخصص	۲،۹۹	**۷۲،۵**
۱۲	ادعاهای قراردادی / Claims	۳،۰۷	**۷۰،۰**
۱۲	تأخیر در تصمیم‌گیری	۲،۸۴	**۷۰،۰**
۱۴	اشتباه و خطا در طراحی	۲،۴۳	**۶۲،۵**
۱۵	طراحی ناقص فاز دو در زمان اجرا	۲،۶۹	**۶۰،۰**
۱۶	تأخیر کارفرما در پرداخت	۱،۶۹	**۵۷،۵**
۱۷	مشکلات مالی در جریان نقدینگی پیمانکاران	۲،۵۸	**۵۵،۰**
۱۷	کنترل مالی ضعیف در کارگاه	۲،۸۴	**۵۵،۰**
۱۷	شرایط بحرانی	۲،۸۴	**۵۵،۰**
۲۰	پیمانکاران جزء بی‌کفایت	۲،۴۹	**۵۲،۵**
۲۱	تأخیر در برنامه زمانی	۲،۸۹	**۵۰،۰**
۲۱	کمبود تجربه	۲،۳۶	**۵۰،۰**
۲۱	تحویل دیرهنگام مصالح و تجهیزات	۲،۳۶	**۵۰،۰**
۲۴	غیبت کارگران	۲،۹۹	**۴۷،۵**
۲۵	برنامه‌ریزی و زمان‌بندی نامناسب	۱،۹۷	**۴۵،۰**
۲۵	متره و برآورد نادرست	۱،۰۵	**۴۵،۰**
۲۵	جریان آهسته اطلاعات بین گروه‌های مختلف	۱،۰۵	**۴۵،۰**
۲۵	قیمت بالای کارگر	۲،۵۸	**۴۵،۰**
۲۹	در دسترس نبودن یا خرابی ماشین‌آلات	۱،۶۹	**۴۲،۵**
۳۰	کمبود ارتباطات بین گروه‌های مختلف	۱،۷۵	**۴۰،۰**

رتبه	عوامل افزایش هزینه	انحراف معیار	امتیاز
۳۰	کمبود کارگر در کارگاه	۳,۵۷	۴۰,۰
۳۲	تخمین زمان - هزینه نادرست	۲,۱۲	۳۷,۵
۳۲	طراحی ناقص فاز یک در زمان اجرا	۲,۱۲	۳۷,۵
۳۲	تأخیر در طراحی	۱,۳۲	۳۷,۵
۳۲	تأخیر در پرداخت به تأمین‌کنندگان و پیمانکاران جزء	۱,۷۷	۳۷,۵
۳۲	بهره‌وری کم کارگران	۲,۱۲	۳۷,۵
۳۷	تأخیر در تأیید طراحی	۳,۱۶	۳۵,۰
۳۸	تغییر قوانین	۲,۶۵	۳۲,۵
۳۹	شرایط جوی پیش‌بینی نشده	۳,۲۹	۲۰,۰

همان‌طور که در جدول ۳ دیده می‌شود، دوباره‌کاری با امتیاز ۹۵ به‌عنوان مهم‌ترین عامل افزایش هزینه پروژه‌های ساختمانی شناخته شد. انحراف معیار ۱,۰۵ نیز به عنوان کمترین میزان، نشان از اتفاق نظر همه پاسخ‌دهندگان بر تاثیرگذاری بالای این عامل دارد. پس از آن تغییرات طراحی در حین اجرا، نوسان قیمت مصالح و ماشین‌آلات با امتیاز ۹۲,۵ مشترکاً در جایگاه دوم قرار گرفته‌اند. در انتهای این جدول نیز، تأخیر در تأیید طراحی، تغییر قوانین و شرایط جوی پیش‌بینی نشده به ترتیب با امتیازات ۳۵، ۳۲,۵ و ۲۰ به‌عنوان کم‌تأثیرترین عوامل بر افزایش هزینه پروژه‌های ساختمانی مسکونی، در جایگاه ۳۷ تا ۳۹ قرار گرفتند.

۴-۲ مرحله دوم: استفاده از فناوری واقعیت مجازی

برای بهره‌مندی از این فناوری، سخت‌افزاری جهت تشخیص چرخش و حرکت، و همچنین پردازش محیط مجازی به شکلی واقعی موردنیاز است. دو گروه سخت‌افزار این قابلیت‌ها را فراهم می‌کند. دسته اول عینک یا هدست‌های واقعیت مجازی[6] است که خود دارای حسگر حرکتی[7] و نمایشگر تصویر هستند. شرکت‌های مختلفی از جمله شرکت Oculus، HTC و Sony دست به طراحی و تولید هدست‌های واقعیت مجازی زده‌اند، اما این دستگاه‌ها بسیار گران‌قیمت و دور از دسترس هستند. دسته دوم استفاده از گوشی‌های هوشمند[8] و کاردبورد[9] است. کاردبورد که برای اولین‌بار توسط شرکت گوگل[10] معرفی شد، از جنس پلاستیک یا یک تکه مقوای تاشده، و یک جفت لنز تشکیل شده و می‌تواند به کمک یک تلفن هوشمند نیاز به هدست‌های گران‌قیمت را برطرف کند. در این پژوهش به‌منظور استفاده از امکانات در دسترس و اقتصادی، از دسته دوم (کاردبورد و گوشی هوشمند) استفاده شده است. (شکل ۱)

شکل ۱ : انواع مختلف عینک‌های واقعیت مجازی. ردیف بالا: هدست، ردیف پایین: کاردبورد.

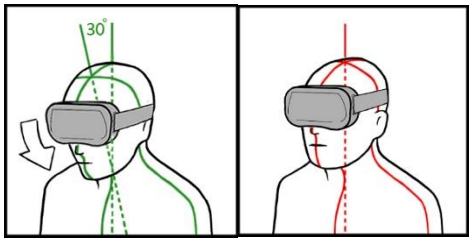
[6] VR Headsets
[7] Motion Detector
[8] Smart Phones
[9] Cardboard
[10] Google

نرم‌افزار موردنظر نیازمند کار حول چند محور مختلف است. اولین گام جهت محیا سازی استفاده از واقعیت مجازی، ساخت پروژه در یکی از نرم‌افزارهای سه‌بعدی سازی می‌باشد. در پژوهش پیش رو از نرم‌افزار Autodesk Revit 2020 استفاده شده است. همچنین به‌منظور انطباق هرچه بهتر متریال‌ها با عناصر پروژه، فایل خروجی از نرم‌افزار Revit به نرم‌افزار 3ds Max برده شده و به تمام عناصر، اصلاح‌کننده[11] UVW Map اختصاص‌داده‌شده است. در نهایت از نتیجه کار، با فرمت max یا dxf خروجی گرفته شده است.

واقعیت مجازی نیازمند ایجاد فضایی آزاد[12] (بدون دستورالعمل ترتیبی) می‌باشد که در مقابل کنش‌ها، واکنش‌های برنامه‌ریزی شده انجام دهد. در ساخت پلتفرم این پژوهش از نرم‌افزار Unity که یک موتور بازی چند پلتفرمی[13] است استفاده شده است. پس از واردکردن پروژه داخل Unity، باید بستر موردنیاز جهت چرخش و حرکت کاربر در فضا، و همچنین فهم صحیح از فیزیک عناصر برای نرم‌افزار ایجاد شود. به این منظور نیاز به بستری جهت برنامه‌نویسی در نرم‌افزار می‌باشد که در این تحقیق از بستر Microsoft Visual Studio و از زبان برنامه‌نویسی C# استفاده شد. در ادامه به طراحی بخش‌های مختلف این پلتفرم پرداخته می‌شود.

۴-۲-۱ چرخش و حرکت در پروژه

بر خلاف چرخش، راه‌رفتن در پروژه نیازمند فضایی بزرگ و یا تجهیزات مخصوص، مثل تردمیل[14] واقعیت مجازی که قابلیت راه‌رفتن در هر دو محور x و y رو در یک نقطه ثابت به کاربر می‌دهد می‌باشد. به دلیل در دسترس نبودن امکانات مذکور و هزینه زیاد آن، برنامه به شکلی نوشته شده است که کاربر با خم کردن سر خود به سمت پایین به‌اندازه ۳۰ درجه، در پروژه به سمت جلو حرکت کند و به‌محض بازگشت سر به وضعیت عادی از حرکت بایستد. (شکل ۲) به‌این‌ترتیب نیاز به تمهیدات خاص و یا فضای وسیع جهت حرکت از بین می‌رود.



شکل۲ : حرکت روبه‌جلو با چرخش ۳۰ درجه‌ای سر به سمت پایین.

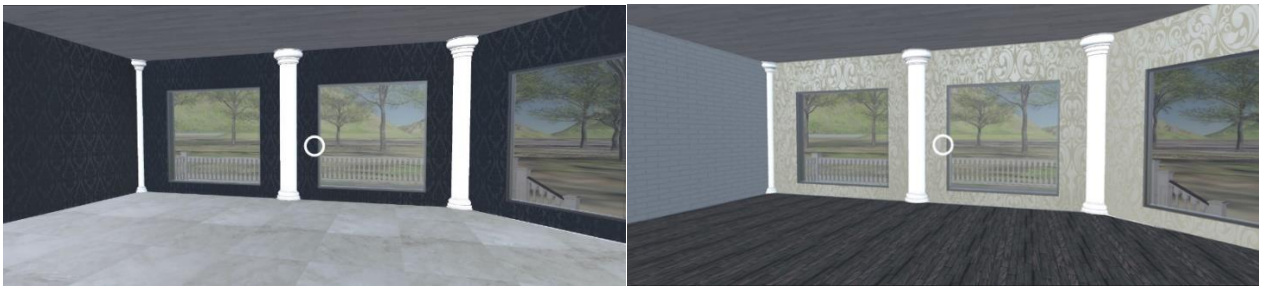
در مرحله بعد نیاز است به عناصر مختلف پروژه، صفات فیزیکی نسبت داد تا فضای مجازی را واقعی جلوه دهد. در حالت اولیه، نرم‌افزار فهمی از دیوار، در، پل. سایر عناصر ندارد. به طور مثال کاربر می‌تواند بدون هیچ محدودیتی از دل دیوار عبور کند که موجب عدم کاربری عناصر پروژه، و همچنین واقعی جلوه نشدن محیط واقعیت مجازی می‌شود. به همین منظور، با نسبت دادن Mesh Collider Component به هر عنصر، آن را جسمی دارای جرم تعریف می‌کنیم. در این صورت است که پله جرم پیدا می‌کند و امکان بالارفتن از آن به کاربر داده می‌شود.

۴-۲-۲ تغییر نازک‌کاری و نمایش اطلاعات

پس از پایان بخش ابتدایی که فراهم کردن محیط پروژه و ملزومات واقعیت مجازی بود، به ایجاد کاربری مورد انتظار از پلتفرم، یعنی تغییر بخش‌های مختلف نازک‌کاری و دریافت اطلاعات مربوط به هر انتخاب، می‌پردازیم. جهت برآورده کردن قسمت اول، برنامه‌ای نوشته شد که با کلیک بر روی هر عنصر، گزینه‌های جایگزین موجود برای آن عنصر به نمایش درآیند. به‌عبارت‌دیگر، هر عنصر به‌مثابه یک

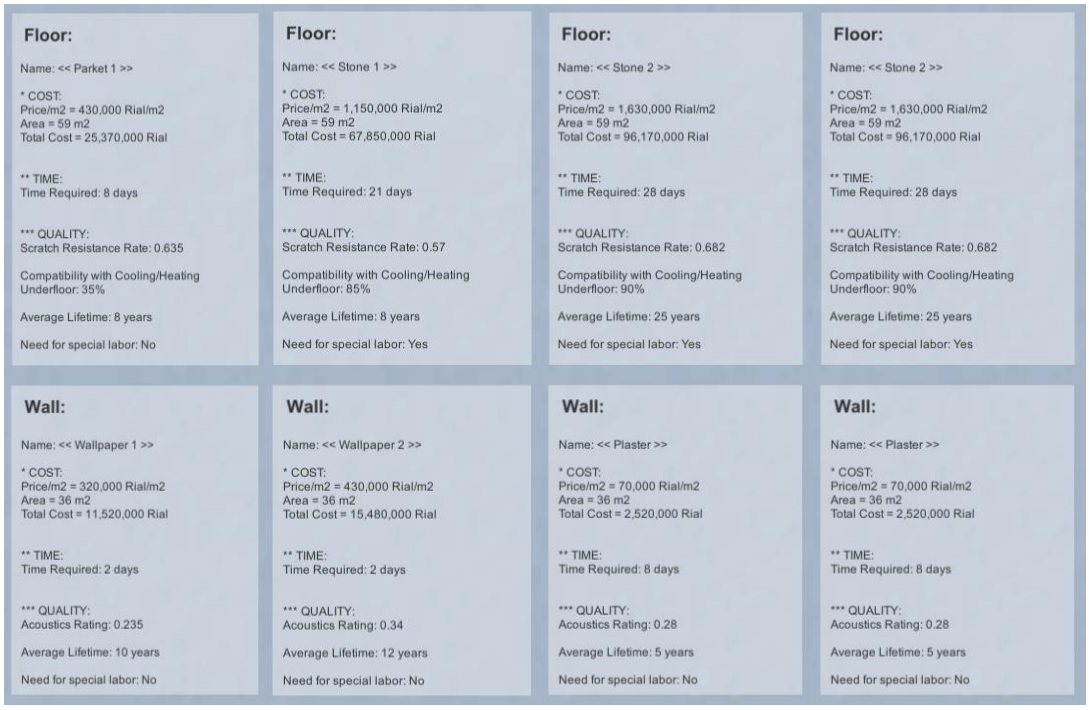
[11] Modifier
[12] Free Space
[13] Cross-Platform Game Engine
[14] Treadmill

دکمه دیده می‌شود که دستور کار آن تغییر حال دادن است. به طور مثال با کلیک بر روی هر دیوار، جنس نازک‌کاری آن از کاغذ دیواری به گچ، آجر سفید و یا کاغذ دیواری با طرحی دیگر تغییر می‌کند. همچنین جنس کف از پارکت به سنگ، قرنیز سنگی به چوبی، مدل‌های مختلف سقف کاذب، جنس کابینت و درها و ... . در شکل ۳ تغییر متریال کف و دیوارهای یک پروژه، به‌عنوان نمونه آورده شده است.



شکل۳ : تغییر نازک‌کاری بخش‌های مختلف پروژه در واقعیت مجازی.

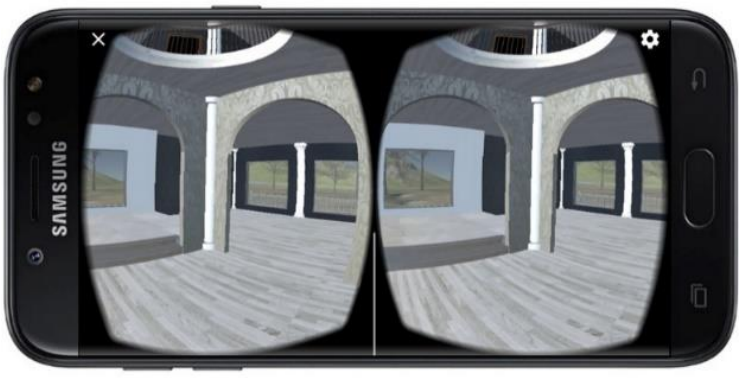
برای قسمت دوم، دریافت اطلاعات مربوط انتخاب هر گزینه، به دو دسته اطلاعات نیاز است. دسته اول اطلاعات مربوط به متره پروژه مانند مساحت کف یا دیوار که مقدار مصالح موردنیاز از آن به دست می‌آید. این اطلاعات از نرم‌افزار اولیه که ساخت مدل ۳ بعدی در آن انجام شده است (در این پروژه Revit) قابل استخراج است. البته باید توجه داشت مقیاس‌ها و واحدها در نرم‌افزار مبدأ (Revit) و مقصد (Unity) یکسان باشد. دسته دوم اطلاعات مربوط به هر متریال است که در پروژه‌های مختلف یکسان است، مانند قیمت واحد، میانگین طول عمر، میزان مقاومت در برابر عوامل مخرب و غیره. این پلتفرم به‌گونه‌ای برنامه‌نویسی شده است که به‌محض کلیک بر روی هر یک از عناصر پروژه، هم‌زمان با تغییر متریال، کادر مرتبط با آن نوع نازک‌کاری باز شده و اطلاعات مربوط به آن را نمایش می‌دهد تا مخاطب بتواند علاوه بر درک تصویری صحیح از محصول نهایی، بر هزینه، زمان و کیفیت اشراف کامل داشته باشد. بخشی از اطلاعات که برای هر عنصر نشان داده می‌شود در بین همه آن‌ها ثابت است، مانند هزینه یا طول عمر که تمام گزینه‌ها نیازمند این نوع اطلاعات هستند، و بخشی دیگر بسته به ماهیت آن متفاوت است. به طور مثال، برای پارکت یا سنگ مورداستفاده در کف، اطلاعاتی مانند میزان مقاومت در برابر خراشیدگی و یا میزان انطباق نازک‌کاری با سیستم سرمایش و گرمایش از کف داده می‌شود، درحالی‌که برای نازک‌کاری دیوار اطلاعاتی مانند میزان آکوستیک بودن متریال حائز اهمیت است. طبیعی است که باتوجه‌به گزینه‌های موجود در نازک‌کاری هر پروژه، اطلاعات مورد ارائه می‌تواند متفاوت باشد. شکل ۴ تغییر اطلاعات مربوط به متریال‌های مختلف کف و دیوار را نمایش می‌دهد.



شکل٤ : تغییر آنی اطلاعات با تغییر نازک‌کاری.

۳-۲-۴ خروجی واقعیت مجازی

پس از پایان ساخت و برنامه‌نویسی نرم‌افزار، نیاز است خروجی واقعیت مجازی آن تولید و روی تلفن همراه هوشمند نصب گردد. به این منظور با متصل کردن گوشی به رایانه و تعریف آن به‌عنوان دستگاه مورداستفاده جهت برآورده کردن سخت‌افزار موردنیاز واقعیت مجازی، خروجی پروژه متناسب با حالت کاردبورد (Virtual Reality SDKs) استخراج می‌شود. نتیجه نهایی مطابق با شکل ۵ می‌باشد.



شکل۵ : نحوه نمایش پلتفرم واقعیت مجازی در تلفن هوشمند.

۴-۲-۴ پرسشنامه دوم

پس از آماده‌شدن پلتفرم، کاردبورد مجهز به تلفن هوشمند در اختیار ۱۰ نفر مخاطبین پرسشنامه اول که در جدول ۲ مشخصات آنان گفته شد، قرار گرفت و از هر یک از آنان خواسته شد تا بستر ساخته شده را از جنبه‌های مختلف آزمایش کنند. پس از آن پرسشنامه دوم در اختیار متخصصین قرار گرفت تا باتوجه‌به تجربه خود در صنعت ساخت، میزان تأثیر واقعیت مجازی را بر کاهش هر یک از عوامل افزایش هزینه که میزان تأثیر هر یک از آنان بر افزایش هزینه پروژه به کمک پرسشنامه اول سنجیده شده بود، بسنجند. نتایج همانند پرسشنامه اول امتیازدهی و در بازه ۰ تا ۱۰۰ نرمال‌سازی شدند تا قابل تجزیه تحلیل و اولویت‌بندی شوند. همچنین میزان انحراف معیار برای تاثیرگذاری واقعیت مجازی بر هر یک از عوامل بررسی شد تا مشخص شود متخصصینی که مورد پرسش قرار گرفته‌اند، چه میزان اشتراک و یا اختلاف نظر داشته‌اند.

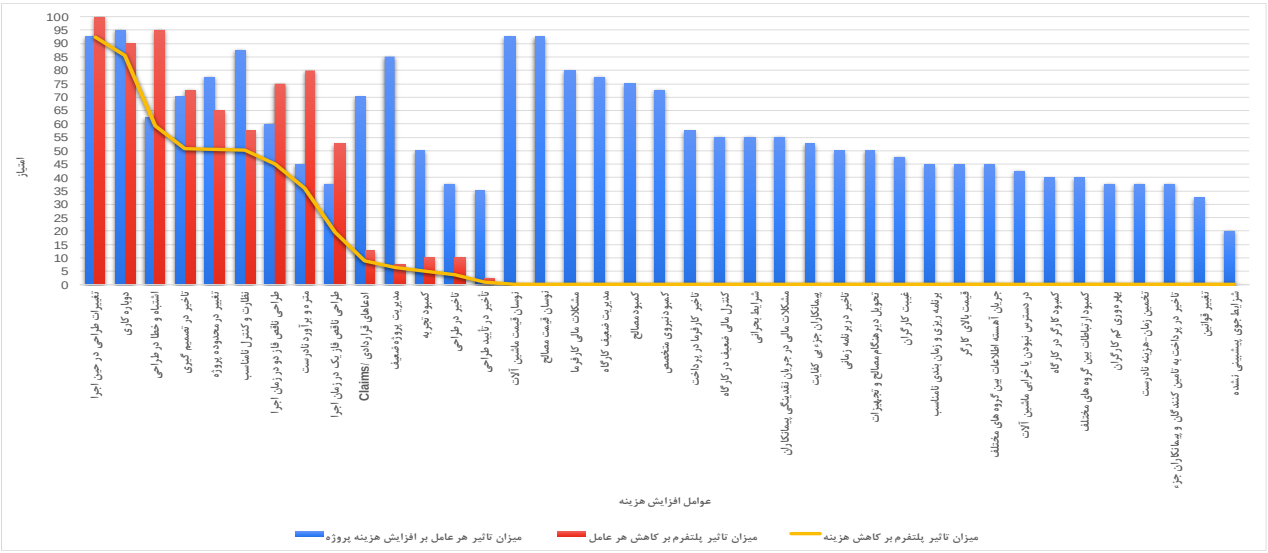
در نهایت، حاصل‌ضرب امتیاز کسب شده از میزان تأثیر هر عامل بر افزایش هزینه پروژه‌های ساختمانی که از پرسشنامه اول به دست آمد، با تأثیر واقعیت مجازی بر کاهش هر یک از عوامل افزایش هزینه که از پرسشنامه دوم به دست آمد، امتیاز وزن‌داری را می‌دهد که به معنی میزان تأثیر واقعیت مجازی بر کاهش هزینه پروژه به‌وسیله کاهش هرکدام از عوامل افزایش هزینه می‌باشد. جدول ۴ امتیازات کسب شده توسط هر عامل و انحراف معیار در مرحله اول و دوم، و در نهایت امتیاز وزن‌دار را نشان می‌دهد.

جدول٤ : میزان تأثیر واقعیت مجازی بر کاهش هر یک از عوامل افزایش هزینه.

رتبه	عوامل افزایش هزینه	امتیاز ۱	انحراف معیار ۱	امتیاز ۲	انحراف معیار ۲	امتیاز وزن‌دار
۱	تغییرات طراحی در حین اجرا	۹۲,۵	۱,۶۹	۱۰۰	۰.۰۰	۹۲,۵۰
۲	دوباره‌کاری	۹۵,۰	۲,۴۳	۹۰	۱.۰۵	۸۵,۵۰
۳	اشتباه و خطا در طراحی	۶۲,۵	۱,۰۵	۹۵	۱.۲۹	۵۹,۳۸
۴	تأخیر در تصمیم‌گیری	۷۰,۰	۱,۹۷	۷۲,۵	۱.۵۸	۵۰,۷۵
۵	تغییر در محدوده پروژه	۷۷,۵	۲,۶۹	۶۵	۱.۶۷	۵۰,۳۸
۶	نظارت و کنترل نامناسب	۸۷,۵	۳,۰۷	۵۷,۵	۱.۴۲	۵۰,۳۱
۷	طراحی ناقص فاز دو در زمان اجرا	۶۰,۰	۲,۱۹	۷۵	۱.۷۵	۴۵,۰۰
۸	متره و برآورد نادرست	۴۵,۰	۱,۷۷	۸۰	۱.۲۱	۳۶,۰۰
۹	طراحی ناقص فاز یک در زمان اجرا	۳۷,۵	۲,۱۲	۵۲,۵	۱.۸۴	۱۹,۶۹
۱۰	ادعاهای قراردادی / Claims	۷۰,۰	۲,۸۴	۱۲,۵	۱.۷۷	۸,۷۵
۱۱	مدیریت پروژه ضعیف	۸۵,۰	۲,۸۹	۷,۵	۱.۷۵	۶,۳۸
۱۲	کمبود تجربه	۵۰,۰	۲,۱۲	۱۰	۱.۲۹	۵,۰۰
۱۲	تأخیر در طراحی	۳۷,۵	۱,۷۵	۱۰	۱.۲۱	۳,۷۵
۱۳	تأخیر در تأیید طراحی	۳۵,۰	۳,۱۶	۲,۵	۰.۷۹	۰,۸۸
۱۴	نوسان قیمت مصالح	۹۲,۵	۱,۲۱	۰	۰.۰۰	۰,۰۰
۱۴	نوسان قیمت ماشین‌آلات	۹۲,۵	۱,۶۹	۰	۰.۰۰	۰,۰۰
۱۴	مشکلات مالی کارفرما	۸۰,۰	۱,۹۷	۰	۰.۰۰	۰,۰۰
۱۴	مدیریت ضعیف کارگاه	۷۷,۵	۱,۸۴	۰	۰.۰۰	۰,۰۰
۱۴	کمبود مصالح	۷۵,۰	۲,۳۶	۰	۰.۰۰	۰,۰۰
۱۴	کمبود نیروی متخصص	۷۲,۵	۲,۹۹	۰	۰.۰۰	۰,۰۰
۱۴	تأخیر کارفرما در پرداخت	۵۷,۵	۱,۶۹	۰	۰.۰۰	۰,۰۰
۱۴	مشکلات مالی در جریان نقدینگی پیمانکاران	۵۵,۰	۲,۵۸	۰	۰.۰۰	۰,۰۰
۱۴	کنترل مالی ضعیف در کارگاه	۵۵,۰	۲,۸۴	۰	۰.۰۰	۰,۰۰
۱۴	شرایط بحرانی	۵۵,۰	۲,۸۴	۰	۰.۰۰	۰,۰۰

۱۴	پیمانکاران جزء بی‌کفایت	۵۲,۵	۲,۴۹	۰	۰.۰۰	۰,۰۰
۱۴	تأخیر در برنامه زمانی	۵۰,۰	۲,۳۶	۰	۰.۰۰	۰,۰۰
۱۴	تحویل دیرهنگام مصالح و تجهیزات	۵۰,۰	۲,۳۶	۰	۰.۰۰	۰,۰۰
۱۴	غیبت کارگران	۴۷,۵	۲,۹۹	۰	۰.۰۰	۰,۰۰
۱۴	برنامه‌ریزی و زمان‌بندی نامناسب	۴۵,۰	۱,۰۵	۰	۰.۰۰	۰,۰۰
۱۴	جریان آهسته اطلاعات بین گروه‌های مختلف	۴۵,۰	۱,۰۵	۰	۰.۰۰	۰,۰۰
۱۴	قیمت بالای کارگر	۴۵,۰	۲,۵۸	۰	۰.۰۰	۰,۰۰
۱۴	در دسترس نبودن یا خرابی ماشین‌آلات	۴۲,۵	۱,۶۹	۰	۰.۰۰	۰,۰۰
۱۴	کمبود ارتباطات بین گروه‌های مختلف	۴۰,۰	۱,۷۵	۰	۰.۰۰	۰,۰۰
۱۴	کمبود کارگر در کارگاه	۴۰,۰	۳,۵۷	۰	۰.۰۰	۰,۰۰
۱۴	تخمین زمان - هزینه نادرست	۳۷,۵	۱,۳۲	۰	۰.۰۰	۰,۰۰
۱۴	تأخیر در پرداخت به تأمین‌کنندگان و پیمانکاران جزء	۳۷,۵	۱,۷۷	۰	۰.۰۰	۰,۰۰
۱۴	بهره‌وری کم کارگران	۳۷,۵	۲,۱۲	۰	۰.۰۰	۰,۰۰
۱۴	تغییر قوانین	۳۲,۵	۲,۶۵	۰	۰.۰۰	۰,۰۰
۱۴	شرایط جوی پیش‌بینی نشده	۲۰,۰		۰	۰.۰۰	۰,۰۰

همان‌طور که از جدول ۴ مشخص است، واقعیت مجازی بیشترین تأثیر بر کاهش هزینه مازاد پروژه را، از طریق کاهش تغییرات طراحی در حین اجرا با امتیاز ۹۲,۵، و دوباره‌کاری با امتیاز ۸۵,۵ می‌گذارد. پس از آن، اشتباه و خطا در طراحی با امتیاز ۵۹,۳۸ در جایگاه سوم قرار گرفته است. تأخیر در تصمیم‌گیری، تغییر در محدوده پروژه و نظارت و کنترل نامناسب با اختلافی کم از یکدیگر در رتبه چهارم تا ششم تأثیرپذیری از واقعیت مجازی هستند و در ادامه طراحی ناقص فاز دو در زمان اجرا و متره و برآورد نادرست به‌عنوان عامل هفتم و هشتم قرار می‌گیرند. همان‌طور که از ابتدا پیش‌بینی می‌شد، ۲۵ عامل از ۳۹ عامل به نظر تمام متخصصین هیچ‌گونه تأثیری از واقعیت مجازی نپذیرفته است و ۶ عامل دیگر بسیار کم تأثیر گرفته‌اند. نمودار ۱ میزان تأثیر هر عامل بر افزایش هزینه پروژه، میزان تأثیر واقعیت مجازی بر کاهش هر عامل و در نهایت میزان تأثیر واقعیت مجازی بر کاهش هزینه پروژه را نشان می‌دهد. نکته قابل توجه اینکه انحراف معیار عامل تغییرات طراحی در حین اجرا در پرسشنامه دوم برابر ۰,۰۰ می‌باشد که به معنی اتفاق نظر تمام متخصصین بر تأثیرگذاری بسیار زیاد واقعیت مجازی بر کاهش وقوع این عامل است.



نمودار۱ : یافته‌های پروژه در مرحله اول و دوم.

۵-۲-۴ بحث و نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از این پرسشنامه اول تطابق زیادی با نتیجه پژوهش سایر محققین داشت. همان‌طور که بهزادی (۲۰۱۶) به این نتیجه رسیده بود که دوباره‌کاری یکی از اصلی‌ترین علل افزایش هزینه پروژه است، مشاهده می‌شود که نتیجه پرسشنامه نیز آن را مؤثرترین عامل می‌داند. رتبه دوم، تغییرات طراحی در حین اجرا است که بکر (۲۰۱۵) پیش‌تر آن را دلیل اصلی اتلاف مصالح و در نتیجه افزایش هزینه دانسته بود. [۱۸] طبق تحقیق کامینگ (۱۹۹۷)، اظهر (۲۰۰۸)، انشاسی (۲۰۰۹)، احدی (۲۰۱۷) و بسیاری دیگر، افزایش قیمت مصالح و ماشین‌آلات رتبه اول در میزان تأثیر بر افزایش هزینه را در کشورهای درحال‌توسعه که نرخ تورم بالایی دارند مانند هند، پاکستان، آفریقای جنوبی، نیجریه، اندونزی و غیره داشته است [۲; ۵; ۱۹; ۲۰] که در تحقیق حاضر نیز این عامل در رتبه سوم و چهارم قرار گرفته است. فریمپونگ (۲۰۰۳) و ممون (۲۰۱۰) نظارت و کنترل مناسب پروژه را به‌عنوان راهکار اصلی برای کاهش هزینه پروژه‌ها در کشور غنا و مالزی می‌دانند [۴; ۲۱] درحالی‌که در این پژوهش نیز پنجمین عامل تأثیرگذار معرفی شد. در ادامه عواملی مانند مدیریت ضعیف پروژه و منابع مالی در رتبه ششم و هفتم این تحقیق قرار گرفتند، درحالی‌که فریمپونگ (۲۰۰۳)، اظهر (۲۰۰۸)، اومورجی و ردفورد (۲۰۰۶) این عوامل را جزو سه عامل اصلی افزایش هزینه دانسته‌اند. [۴; ۵; ۲۲]

نتیجه مرحله دوم تحقیق نیز با ادبیات شباهت زیادی داشت. همان‌طور که وون (۲۰۱۴) اشاره کرده بود که واقعیت مجازی با ارائه تصویر روشنی از پروژه در مرحله طراحی موجب پیشگیری از تغییرات در حین اجرا و اشتباه و خطا در طراحی می‌شود، این عوامل بیشترین تأثیر را از پلتفرم طراحی شده گرفته است و در رتبه اول و دوم قرار گرفته است. دوباره‌کاری که در جایگاه سوم رتبه‌بندی این تحقیق قرار گرفته است، پیش‌تر توسط کیم (۲۰۱۳) پیش‌بینی شده بود. او ارائه تصویر روشنی از پروژه در مرحله طراحی را راهکاری برای کاهش دوباره‌کاری خوانده بود. [۲۳] وایت (۲۰۰۳) نیز به بررسی میزان تأثیر واقعیت مجازی بر متره و برآورد دقیق کرده بود و آن را بسیار کارآمد خوانده بود. [۸] در این پژوهش نیز متره و برآورد نامناسب چهارمین عامل تأثیرپذیر از پلتفرم طراحی شده بوده است که تحقیقات پیشین را تأیید می‌کند. همچنین طبق تحقیق گتولی (۲۰۲۰) پیکره‌بندی مناسب‌تر فضاهای کاری در کارگاه‌های ساختمانی و همچنین برنامه‌ریزی مؤثرتر از دیگر تأثیرات چشمگیر واقعیت مجازی است [۱۷] که در تحقیق حاضر نیز، نظارت و کنترل مناسب کارگاه جزو عوامل تأثیر گرفته از این فناوری بوده است.

۵ نتیجه‌گیری

با مقایسه دقیق‌تر عوامل تأثیر گرفته از واقعیت مجازی می‌توان دو دسته تقریباً مجزا از عوامل افزایش هزینه را شناسایی نمود. دسته اول، عواملی مانند افزایش قیمت مصالح ساختمانی و یا نوسانات ارزی را شامل می‌شود و می‌توان عنوان عوامل بیرونی را برای آن انتخاب نمود. باتوجه‌به اینکه عوامل بیرونی به‌شدت تحت تأثیر متغیرهای محیطی و خارج از کنترل تیم پروژه هستند، مقابله با این عوامل در محدوده کار پژوهش حاضر قرار ندارند مانند تغییر قوانین، نوسان قیمت مصالح و ماشین‌آلات، شرایط جوی، کمبود کارگر و غیره. این دسته از عوامل را در قسمت انتهایی لیست نتایج پرسشنامه دوم می‌توان یافت، چرا که بدیهی است استفاده از واقعیت مجازی امکان تأثیرگذاری بر عوامل بیرونی را ندارد. دسته دیگری از عوامل که می‌توان عنوان عوامل درونی را برای آن‌ها انتخاب نمود، قابلیت کنترل توسط تیم پروژه را دارند. کاهش اثرات عوامل ذکر شده را می‌توان با استفاده از برنامه‌ریزی و مدیریت مناسب و همچنین به‌کارگیری ابزارها و فناوری‌های مناسب به نحو مؤثری انجام داد. عواملی که بیشترین تأثیر را از واقعیت مجازی گرفته‌اند همگی از این دسته بوده‌اند. البته همان‌طور که در نتایج پژوهش نیز مشخص است، طبیعی است واقعیت مجازی به‌تنهایی موجب ارتقا همه عوامل نخواهد شد و تنها تعدادی از عوامل را کاهش می‌دهد.

باتوجه‌به نتایج پرسشنامه اول و مقایسه جایگاه دوباره‌کاری و تغییرات طراحی حین انجام کار با نوسانات قیمت مصالح و ماشین‌آلات، می‌توان متوجه میزان اهمیت آن‌ها شد. چرا که همه امتیازی نزدیک به هم داشته اما دو عامل دوم بیرونی و غیرقابل‌کنترل

بوده، درحالی‌که دو عامل اول درونی و قابل بهبود است. سپس طبق یافته‌های پرسشنامه دوم بیشترین تأثیر واقعیت مجازی را بر تغییرات طراحی در حین اجرا، اشتباه و خطا در طراحی و دوباره‌کاری می‌یابیم. در نهایت با ادغام دو سؤال مطرح شده برای این پژوهش، می‌توان دریافت که با به‌کارگیری فناوری واقعیت مجازی، هرکدام از عوامل افزایش هزینه پروژه‌های ساختمانی به چه میزان کاهش می‌یابد و باعث کاهش هزینه کل پروژه می‌شود؛ بنابراین می‌توان استفاده از این ابزار را در نازک‌کاری پروژه‌های مسکونی به‌منظور کاهش تغییرات در حین اجرا، دوباره‌کاری و اشتباه و خطا در طراحی توصیه کرد. اگرچه باید در نظر داشت کاهش هزینه پروژه‌ها منوط به جنبه‌های مختلف بوده و تک‌بعدی نیست.

بر اساس تجارب کسب شده از مطالعه تحقیقات موجود و بررسی نتایج حاصل از تحقیق فوق در صنعت ساخت ایران، کمبودهایی مشاهده می‌شود که می‌توان از آنها به‌عنوان پیشنهاد برای تحقیقات آتی بهره بود. این پیشنهادها به ترتیب زیر می‌باشد:

۱. پیاده‌سازی فناوری واقعیت مجازی، بر اساس آنچه از این پژوهش نیجه‌گیری شد، باعث پیشگیری از برخی هزینه‌های پروژه خواهدشد. اما پیاده‌سازی آن خود نیازمند صرف هزینه است. لذا به علاقه‌مندان پیشنهاد می‌شود، در پژوهش‌های آتی به بررسی هزینه‌های آماده‌سازی و پیاده‌سازی این ابزار برای هر پروژه، و ارائه مدلی که به‌صرفه‌بودن استفاده از واقعیت مجازی در پروژه‌های با ابعاد مختلف را بسنجد بپردازند.

۲. ازآنجاکه مؤلفه‌های فرهنگی ملی در هر کشوری باتوجه‌به تاریخچه و زیرساخت‌های آن کشور می‌تواند با کشور دیگر متفاوت باشد، در نتیجه پذیرش فناوری‌های نوین نیز که تحت تأثیر این مؤلفه‌هاست می‌تواند در مقیاس هر کشوری متفاوت باشد. در نتیجه پیشنهاد پرداختن به موضوع "مقایسه پذیرش فناوری‌های جدید" در تحقیقات آتی می‌تواند جذابیت‌های خاص خود را داشته باشد.

۳. در این تحقیق به بررسی تأثیرات واقعیت مجازی بر بهبود مدیریت مالی پروژه‌های ساختمانی تاکید شد. بررسی میزان تأثیر این فناوری بر سایر حوزه‌های مدیریتی از جمله زمان، کیفیت، ایمنی، محدوده و غیره به پژوهشگران آتی توصیه می‌شود.

۴. تحقیق حاضر با تمرکز بر قسمت نازک‌کاری پروژه‌های ساخت انجام شده است. بدیهی است که سایر قسمت‌های پروژه می‌توانند از این فناوری جدید تأثیر بپذیرند؛ بنابراین قابل تحقیق برای علاقه‌مندان می‌باشد.

مراجع

[1] Esmaeili, Iraj. (1396). *Identification and root analysis of the effect of project price increase*. Paper presented at the 10th National Congress of Civil Engineering.

[2] Kaming, Peter F, Olomolaiye, Paul O, Holt, Gary D, Harris, Frank C %J Construction Management, & Economics. (1997). Factors influencing construction time and cost overruns on high-rise projects in Indonesia. *15*(1), 83-94.

[3] Flyvbjerg, Bent, Ansar, Atif, Budzier, Alexander, Buhl, Søren, Cantarelli, Chantal, Garbuio, Massimo, . . . Practice. (2018). Five things you should know about cost overrun. *118*, 174-190.

[4] Frimpong, Yaw, Oluwoye, Jacob, & Crawford, Lynn %J International Journal of project management. (2003). Causes of delay and cost overruns in construction of groundwater projects in a developing countries; Ghana as a case study. *21*(5), 321-326.

[5] Azhar, Nida, Farooqui, Rizwan U, & Ahmed, Syed M. (2008). *Cost overrun factors in construction industry of Pakistan.* Paper presented at the First International Conference on Construction in Developing Countries (ICCIDC–I), Advancing and Integrating Construction Education, Research & Practice.

[6] Ahmed, Shakil. (2018). A review on using opportunities of augmented reality and virtual reality in construction project management. *management in construction: an international journal*, *10*(1), 1839-1852.

[7] Dunston, Phillip S, & Wang, Xiangyu %J Journal of Information Technology in Construction. (2011). An iterative methodology for mapping mixed reality technologies to AEC operations. *16*(30), 509-528.

[8] Whyte, Jennifer %J Journal of Information Technology in Construction. (2003). Industrial applications of virtual reality in architecture and construction. *8*(4), 43-50.
[9] Behzadi, Ajang. (2016). Using augmented and virtual reality technology in the construction industry. *American journal of engineering research*, *5*(12), 350-353.
[10] Koca, Gülru %J Developments in science, & engineering. (2016). Interior finishing materials. 606-618.
[11] Brodetskaia, Irina, Sacks, Rafael, Shapira, Aviad %J Journal of construction engineering, & management. (2013). Stabilizing production flow of interior and finishing works with reentrant flow in building construction. *139*(6), 665-674.
[12] Sacks, Rafael, Seppänen, Olli, Priven, Vitaliy, Savosnick, Jonathan %J Construction management, & economics. (2017). Construction flow index: a metric of production flow quality in construction. *35*(1-2), 45-63.
[13] Nguyen, Viet T, Do, Sy T, Vo, Nhat M, Nguyen, Thu A, & Pham, Son VH %J Advances in Civil Engineering. (2020). An analysis of construction failure factors to stakeholder coordinating performance in the finishing phase of high-rise building projects. *2020*.
[14] Mahmoud, Magdy Ahmed Abdel-Rahman, Al-Hammad, Abdulmohsen, Assaf, Sadi, & Aref, Mostafa %J Cost Engineering. (1994). An evaluation and selection model for floor finishing materials. *36*(9), 21.
[15] Ahmed, Shakil %J Organization, technology, & journal, management in construction: an international. (2018). A review on using opportunities of augmented reality and virtual reality in construction project management. *10*(1), 1839-1852.
[16] Delgado, Juan Manuel Davila, Oyedele, Lukumon, Demian, Peter, & Beach, Thomas %J Advanced Engineering Informatics. (2020). A research agenda for augmented and virtual reality in architecture, engineering and construction. *45*, 101122.
[17] Getuli, Vito, Capone, Pietro, Bruttini, Alessandro, & Isaac, Shabtai %J Automation in Construction. (2020). BIM-based immersive Virtual Reality for construction workspace planning: A safety-oriented approach. *114*, 103160.
[18] Bekr, Ghanim A %J Journal of Construction Engineering, Technology, & Management. (2015). Identifying factors leading to cost overrun in construction projects in jordan. *5*(3), 25-33.
[19] Ahady, Shambalid, Gupta, Sakshi, Malik, RK %J International Research Journal of Engineering, & Technology. (2017). A critical review of the causes of cost overrun in construction industries in developing countries. *4*(03), 2550-2558.
[20] Enshassi, Adnan, Al-Najjar, Jomah, Kumaraswamy, Mohan %J Journal of Financial Management of property, & Construction. (2009). Delays and cost overruns in the construction projects in the Gaza Strip.
[21] Memon, Aftab Hameed, Rahman, Ismail Abdul, Abdullah, Mohd Razaki, Azis, Ade Asmi Abdu %J International Journal of Sustainable Construction Engineering, & Technology. (2010). Factors affecting construction cost in Mara large construction project: perspective of project management consultant. *1*(2), 41-54.
[22] Omoregie, Alohan, & Radford, Dennis. (2006). Infrastructure delays and cost escalation: Causes and effects in Nigeria.
[23] Kim, Changyoon, Park, Taeil, Lim, Hyunsu, & Kim, Hyoungkwan %J Automation in construction. (2013). On-site construction management using mobile computing technology. *35*, 415-423.