

Quarterly Scientific Journal of Human Resources &
Capital Studies

Online ISSN: 2783-3984

<http://ensani.ir/fa/article/journal/1568>

<http://civilica.com/1/87979/#>

<http://magiran.com/8116>

**Review of the use of virtual reality in
construction projects**

Bahar Javan Molaei

Master of Project Management and Construction , Shahid
Beheshti University, Tehran, Iran

Ahad Nazari

associate professor , Shahid Beheshti Universty , Tehran
, Iran

Saeed Rokooei

Assistant Professor , Mississippi State University ,
Mississippi , United States of America

Date of receipt: 20/02/1401

Date of acceptance: 17/03/1401

Review

This article provides a comprehensive and critical overview of the literature on virtual reality in construction projects. Transformation industries have evolved, and with the advent of new technologies, the traditional way of doing projects in different phases has moved away. One of these technologies becomes accurate technology used more and more in various stages of the development project cycle, from design to construction. One of the capabilities of this technology is that people can view the details of the construction project virtually before completing it, act as a project identifier at completion, and have an intimate understanding of the final product. In the meantime, the emergence and development of building information modeling in recent years and the placement of three-dimensional models for construction projects help develop more and more technologies created in virtual reality. In addition, using cloud and internet spaces for this information and communication technology has made way for people and knowledge sharing smoother.

Keywords: Virtual Reality, Construction Projects,
Building Information Modeling.

مروری بر کاربرد واقعیت مجازی در پروژه‌های ساخت و ساز

بهار جوان مولایی

کارشناسی ارشد مدیریت پروژه و ساخت، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

احمد نظری

دانشیار دانشکده معماری و شهرسازی دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

سعید رکوعی

استادیار دانشگاه می‌سی‌سی‌پی، آمریکا

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۳/۱۷

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۲/۲۰

چکیده:

این مقاله، مروری جامع و نقادانه بر ادبیات موضوع در زمینه کاربرد واقعیت مجازی در پروژه‌های ساخت‌وساز دارد. امروزه صنعت ساخت دچار تحولات گسترده‌ای شده است و با ورود تکنولوژی‌های جدید از روش‌های انجام پروژه به صورت سنتی در فازهای مختلف فاصله گرفته است. یکی از این فناوری‌ها، تکنولوژی واقعیت مجازی می‌باشد که روز به روز کاربردهای بیشتری از آن در مراحل مختلف چرخه عمر پروژه‌های عمرانی از طراحی تا تحویل نمایان می‌شود. یکی از قابلیت‌هایی که این تکنولوژی فراهم می‌کند این است که افراد می‌توانند قبل از تکمیل پروژه جزئیات ساخت آن را به صورت مجازی مشاهده کنند، به ارزیابی مشخصه‌های پروژه در زمان تکمیل بپردازند و درکی نزدیک به واقعیت از محصول نهایی داشته باشند. در این میان ظهور و گسترش مدلسازی اطلاعات ساختمان در سال‌های اخیر و در دسترس قرارگرفتن مدل‌های سه بُعدی از پروژه‌های عمرانی کمک شایانی به توسعه هرچه بیشتر تکنولوژی‌های مبتنی بر واقعیت مجازی داشته است. علاوه بر این فناوری اطلاعات و ارتباطات با استفاده از فضاهای ابری و اینترنتی راه تعامل افراد و به اشتراک‌گذاری اطلاعات را هموارتر ساخته است.

واژگان کلیدی: واقعیت مجازی، پروژه‌های ساخت‌وساز، مدلسازی اطلاعات ساختمان

مقدمه :

در حال حاضر با پیشرفت تکنولوژی‌های یکپارچه چند بُعدی به منظور تجسم پروژه، فرآیند جمع‌آوری اطلاعات و ارزیابی پروژه تا حد بسیاری تسهیل شده است (آوهد و هینگ^۱، ۲۰۰۷). یکی از تکنولوژی‌های موجود BIM یا همان مدل‌سازی اطلاعات ساختمان می‌باشد. BIM قادر به ایجاد واقعیت مجازی از مدل‌های ساختمانی با اطلاعات هماهنگ و قابل اعتماد در مورد یک پروژه از طراحی، ساخت و ساز و بهره‌برداری است. این فقط یک مدل مجازی سه‌بعدی نیست، بلکه یک مخزن از اشیاء هوشمند ساختمانی با ویژگی‌هایی است که می‌تواند تعامل بین هر یک از اشیاء دیگر، و داده‌های غیرهندسی در مورد اشیاء و تسهیلات را برای تصمیم‌گیری فراهم سازد.

مدل اطلاعات ساختمان پتانسیلی برای دستیابی به این اهداف فراهم می‌آورد. BIM نشان‌دهنده توسعه و استفاده مدل‌های چند بُعدی ایجاد شده توسط کامپیوترها برای شبیه‌سازی برنامه‌ریزی، طراحی، ساخت و بهره‌برداری از پروژه است و آن به معماران، مهندسان و پیمانکاران برای تجسم آنچه که قرار است ساخته شود در محیطی شبیه‌سازی شده و برای شناسایی پتانسیل‌های موضوعات طراحی، ساخت و بهره‌برداری کمک می‌کند. آن یکپارچگی نقش‌های تمامی ذینفعان در پروژه و هماهنگی میان آنان را تسریع می‌کند (جئورج و همکاران^۲، ۲۰۱۷).

در سال‌های اخیر گسترش مفاهیم و تکنولوژی‌های دیجیتال در کشور باعث شده تا افراد درگیر در صنعت ساخت‌وساز با فناوری‌های مختلف از جمله مدل‌سازی اطلاعات ساختمان آشنا شوند. هرچند هنوز راه بسیار زیادی برای درک و استفاده کامل از این فرآیند و تکنولوژی‌های مرتبط با آن وجود دارد. یکی از مزایای ملموس مدل‌سازی اطلاعات ساختمان که برخی کارفرمایان آن را تجربه کرده‌اند مشاهده مدل سه بُعدی طراحی به‌وسیله تکنولوژی‌های واقعیت مجازی است. این امر سبب شده است تا قبل از اجرای طراحی ذینفعان مختلف پروژه درک بهتری از آنچه قرار است ساخته شود، داشته باشند و در صورت لزوم تغییرات لازم را به بخش طراحی و ساخت اعلام نمایند (هیرانی و پاتل، ۲۰۲۰).

اگرچه هم محیط‌های "واقعی" و هم محیط‌های "مجازی" به صورت خالص و جدا از هم می‌توانند وجود داشته باشند، اما نمی‌توان درکی جداگانه از هر یک بدون وجود دیگری داشت به همین منظور بهتر است "محیط واقعی" و "محیط مجازی" را دو قطب مخالف در طیف واقعیت - مجاز^۳ در نظر گرفت (داوود، ۲۰۰۹). برای ارتباط بین محیط‌های واقعی و مجازی اصطلاحات مختلفی به کار برده می‌شود که هر یک تعاریف خاص خود را دارند. در این بین اولین اصطلاحی که در جامعه آکادمیک به کار برده شد، واقعیت مجازی^۴ بود. استویر^۵ (۱۹۹۲) این اصطلاح به صورت "سیستم دارای فناوری خاص شامل انیمیشن‌های در لحظه که توسط دستکش‌های مجهز به سیم و نمایشگرهای استریوسکوپي نصب شده بر روی سر کنترل می‌شوند" تعریف کرده است (استویر، ۱۹۹۲). البته این اصطلاح برای اولین بار در سال ۱۹۸۹ توسط جارون لانیر^۶ مدیرعامل وقت زبان‌های برنامه‌نویسی مجازی^۷ با اشاره به محیط سه بُعدی واقعی که توسط عینک‌های نمایش استریو و دستکش‌های واقعی نمایش داده می‌شد ابداع گردید (استویر، ۱۹۹۲).

^۱. Avhad and Hinge

^۲. Building Information Modeling

^۳. George et al.

^۴. Reality Virtuality Continuum

^۵. Virtual Reality

^۶. Steuer

^۷. Jaron Lanier

^۸. Virtual Programming Language

در سال ۱۹۹۴ میلگرام و کیشینو در مقاله‌ای تحت عنوان "طبقه‌بندی ای از واقعیت مخلوط نمایش‌های بصری" واقعیت مخلوط^۱ را "یک زیرمجموعه خاص از فناوری‌های مربوط به واقعیت مجازی که شامل ادغام دنیای واقعی و مجازی است" تعریف می‌کنند. به طوری که هرگونه ترکیبی از محیط واقعی و مجازی در طیف واقعیت - مجاز که بین محیط خالص واقعی و محیط خالص مجازی قرار بگیرد، واقعیت مخلوط تلقی می‌شود. واقعیت مجازی نیز در انتهای طیف واقعیت - مجاز قرار می‌گیرد (میلگرام و کیشینو،^۲ ۱۹۹۴).

در سال ۱۹۹۸ بنفورد^۳ نیز بر اساس میزان دسترسی فرد به اشیای مجازی از محل واقعی خود و همچنین اینکه کدام فضا بیشتر براساس واقعیت است یا مجاز، فضاهای مشترک را در دو بُعد جابجایی و مصنوعیت طبقه‌بندی کرده است. در یک سر بُعد جابجایی یکی میزان باقی‌ماندن افراد در محل خود و در طرف دیگر ترک کردن محل و شرکت افراد به صورت از راه دور^۴ قرار می‌گیرد. در بُعد مصنوعیت میزان مصنوعیت فضا مورد بررسی قرار گرفته و در دو سر آن کاملاً واقعی بودن و کاملاً مصنوعی بودن فضا قرار گرفته است (بنفورد و همکاران، ۱۹۹۸).

در ارتباط با محیط مجازی اصطلاح "شناوری"^۵ به این صورت تعریف می‌شود: "شناوری یا شناوری حضور را می‌توان قدرت کسب توجه و تمرکز کاربر قلمداد کرد. شناوری محصول، چندین مؤلفه، از جمله سطح تعاملی، پیچیدگی تصویرپردازی، دیدگاه استریوسکوپیک، گستره توجه و نرخ به‌روزرسانی صفحه نمایش است. باید تأکید کرد که هیچ یک از پارامترها به تنهایی تعیین‌کننده نیست و سطح شناوری به دست آمده حاصل تعامل پیچیده‌ای از چندین مؤلفه است (لی و همکاران، ۲۰۱۸).

سیستم‌های واقعیت مجازی و واقعیت مخلوط از نظر شناوری به سه دسته سیستم‌های غیرشناور (دسکتاپ)، سیستم‌های نیمه‌شناور و سیستم‌های کاملاً شناور تقسیم می‌شوند. سیستم‌های غیرشناور به‌عنوان سیستم‌هایی که حداقل شناوری در محیط مجازی برای کاربر را فراهم می‌کنند شناخته می‌شوند. در این سیستم‌ها کاربر تنها قادر است از طریق دسکتاپ و ابزارهای مرتبط با آن در محیط مجازی سه بُعدی حرکت کند و با آن ارتباط برقرار کند (سالم و همکاران، ۲۰۲۰). در سیستم‌های نیمه‌شناور کاربر گستره وسیعی از محیط مجازی با کیفیت و تفکیک‌پذیری بالا را در مقابل خود می‌بیند. معمولاً سیستم‌های نیمه‌شناور می‌توانند از مانیتورها یا پروژکتورهایی با صفحه نمایش وسیع و یا از ترکیب چندین تلویزیون تشکیل شوند. نمونه‌ای از این سیستم‌ها، سیستم‌هایی‌اند که در شبیه‌سازی‌های آموزشی استفاده می‌شوند. همچنین عینک‌های دارای لنز کریستال مایع^۶ که به کاربر امکان دید بُعد را می‌دهند نیز در این دسته قرار می‌گیرند. کاربر با جوستیک و ابزارهای دیگر می‌تواند شناوری بیش‌تری را در این سیستم‌ها نسبت به سیستم‌های غیرشناور (دسکتاپ) تجربه کند (لی و همکاران، ۲۰۱۸). اما بهترین تجربه و ارتباط کاربر با محیط مجازی توسط سیستم‌های واقعیت مجازی کاملاً شناور که به‌وسیله‌ی دستگاه‌های نمایش نصب‌شونده بر روی سر^۷ (HDM) ایجاد می‌شود، صورت می‌پذیرد. واقعیت مجازی شناور در قیاس با

^۱. Mixed Reality

^۲. Milgram and Kishino

^۳. Benford

^۴. Remote

^۵. Immersion

^۶. Liquid Crystal Shutter Glasses

^۷. Head Mounted Display

واقعیت مجازی مبتنی بر دسکتاپ از سخت‌افزارهای ردیابی مختلفی مانند نمایشگرهای نصب‌شونده بر روی سر، دستکش‌های مجهز به حسگر و ... برای ردیابی و انتقال کامل کاربر به محیط مجازی استفاده می‌کند (هاگارد، ۲۰۱۷). HDM با استفاده از دو مانیتور کوچک که هر کدام در مقابل یکی از چشمان کاربر قرار می‌گیرد تصاویر را به صورت استریو برای کاربر فراهم می‌کند. طراحی HDM می‌تواند به‌طور جزئی یا به‌طور کامل کاربران را از دنیای واقعی جدا کند و گستره‌ی دید دنیای تولید شده توسط کامپیوتر را افزایش دهد. مزیت روش این است که به کاربر تصاویر مجازی ۳۶۰ درجه ارائه می‌شود؛ گستره‌ی توجه بالا به این معنی است که کاربر با چرخش سر خود به هر طرف بتواند یک تصویر مجازی را مشاهده کند (هاگارد، ۲۰۱۷). یک نمونه رایج از واقعیت مجازی شناور فضایی تحت عنوان "محیط غار مجازی خودکار" است. این فضا از بین سه تا شش دیوار دارای پروژکتور تشکیل شده است. در این فضا یک محیط مجازی همه‌جانبه در اطراف موقعیت موقعیت کاربر ایجاد می‌شود که با تغییر موقعیت کاربر، موقعیت وی در محیط مجازی نیز تغییر می‌کند (برگ و ونس، ۲۰۱۷). به‌منظور فراهم آوردن احساس شناوری بیشتر برای کاربران، واقعیت مجازی شناور می‌تواند ابزارهای پشتیبان بیش‌تری داشته باشد، به‌ویژه تجهیزات ردیابی تعاملات، مانند کنترل‌های بازی و دستگاه‌های ردیابی حرکت. این ابزارها معمولاً برای تشخیص و نشان دادن حرکات افراد در محیط مجازی استفاده می‌شوند. علاوه بر این، سنسورهای مختلف را می‌توان در لوازم جانبی کاربران (مانند دستکش) برای ارائه بازخورد در لحظه تعبیه کرد. با توجه به قابلیت‌های بازخورد در لحظه، فرض بر این است که واقعیت مجازی شناور مزایای بیش‌تری در مقابل سیستم‌های غیرشناور و یا نیمه‌شناور برخوردارند (لیو و همکاران، ۲۰۲۰).

متدولوژی:

در این تحقیق در ابتدا کلمات کلیدی واقعیت مجازی، پروژه‌های ساخت‌وساز، مدلسازی اطلاعات ساختمان در مگ ایران (mag iran)، ایرانداک (irandoc)، google scholar، civiica، oaid، scopus جستجو شد و بالغ بر ۶۰ مقاله یافت شد که در میان آن‌ها بر اساس سال انتشار، موضوع مقالات، citation و ژورنال‌های هر یک ۳۳ مقاله انتخاب و مورد بررسی قرار گرفت. بر اساس این ۳۳ مقاله ژورنالی، این مقاله به مروری نقادانه بر مطالعات اخیر انجام گرفته در موضوعات عنوان شده از سال ۲۰۰۲ تا ۲۰۲۱ پرداخته است. این مقاله بر کاربرد واقعیت مجازی در پروژه‌های ساخت‌وساز متمرکز شده است. نتایج این مقاله نشان می‌دهد واقعیت مجازی یکی از آن دسته پیشرفت‌هایی است که به تازگی در میان مدیران پروژه‌ها محبوبیت و کاربرد بسیاری کسب نموده و با ورود به حیطه‌های مختلف مهندسی، باعث افزایش کارایی و توانمندی مهندسان گردیده است و همچنین در انتها به مزیت‌ها و چالش‌های واقعیت مجازی در ایران پرداخته شده است.

استفاده از واقعیت مجازی در صنعت ساخت و ساز:

در سال ۱۹۹۶ بوشلاگم و همکاران در مورد استفاده واقعیت مجازی در صنعت ساخت و ساز انگلستان نشان دادند که این تکنولوژی می‌تواند هم در بخش طراحی و هم در بخش ساخت مفید واقع شود. در بخش طراحی برای به‌کارگیری در طراحی محوطه، ارزیابی خطر آتش‌سوزی، طراحی نور، طراحی داخلی، مدل‌سازی فضا و در ساخت برای ارزیابی سناریوهای ساخت،

برنامه‌ریزی و نظارت و در برنامه‌ریزی و تجهیز سایت (تبت و همکاران^۱، ۲۰۰۲). بررسی‌ها نشان داده است که در صنعت ساخت تمایل استفاده مهندسان از واقعیت مجازی بیشتر برای تشخیص و تفهیم مشکلات مهندسی در پروژه‌های بزرگ و پیچیده و همچنین برای بازبینی طراحی بوده است (گولدینگ و همکاران^۲، ۲۰۱۴). پس از این که تکنولوژی‌های واقعیت مجازی و واقعیت افزوده در صنایع مختلف مانند بازی‌های رایانه‌ای، آموزش، پزشکی و صنعت تورسیم جای خود را باز کرد. پیشرفت سریع به‌ویژه در بخش گوشی‌های هوشمند باعث شد تا این تکنولوژی‌ها به‌سرعت ارزان‌تر و فراگیرتر و قابل استفاده در صنایع دیگر شوند (هیرانی و پاتل^۳، ۲۰۲۰). جامعه‌ی پزشکی به‌خاطر ماهیت خاص خود که بهبود سلامتی و حفاظت از جان انسان‌ها است؛ موفقیت‌های چشمگیری در استفاده از این تکنولوژی به‌عنوان پلتفرمی برای آموزش پزشکان تازه‌کار در موقعیت‌های پرخطر و با ریسک بالا داشته است (داوود^۴، ۲۰۰۹). همچنین در دیگر صنایع مدتی است که از واقعیت مجازی و تکنولوژی‌های مرتبط با آن به‌منظور کمک به فرآیند طراحی، توسعه و ارزیابی پیش از ساخت نمونه‌های پرهزینه فیزیکی استفاده می‌شود (تبت و همکاران، ۲۰۰۲). در صنعت ساخت‌وساز نیز ابتدا این ابزارها در بخش طراحی مورد استفاده قرار گرفت (کالهبوب و آیر^۵، ۲۰۱۸). به‌عنوان مثال ونگ و همکاران معتقد بودند که محیط‌های مجازی طراحان را قادر می‌سازد تا آنچه در ذهن خود دارند را راحت‌تر بیان کرده و مورد ارزیابی قرار دهند. همچنین این تکنولوژی‌ها قادر هستند تا تعامل میان تیم طراحی را افزایش دهند (ونگ و همکاران^۶، ۲۰۰۷). چن و اشنبیل به‌موضوع "فضاهای گمشده" پرداختند و نشان دادند فضاهایی در طراحی در به‌عنوان فضاهای پنهان وجود دارد که واقعیت مجازی این امکان را ایجاد می‌کند تا معمار بتواند در طراحی خود بهتر از آن فضاها استفاده کند (چن و اشنبیل^۷، ۲۰۰۹). اخیراً پژوهش‌هایی در زمینه‌ی طراحی اولیه و ماکت‌های معماری در محیط واقعیت مجازی صورت گرفته است. کسپس و همکاران یک محیط شناور برای مدلسازی مفهومی طراحی ارائه کردند که در آن طراحان با استفاده از حرکات بدن قادر به ویرایش مدل‌های سه بُعدی در محیط استروسکوپیک بودند. در این محیط دو فضای ارتباطی وجود داشت یکی بر روی یک صفحه چندلمسی و دیگری در بخش بالایی آن که کاربران می‌توانستند ابزارها و تکنیک‌های مختلف مدلسازی را در این محیط انتخاب کرده و برای ویرایش مدل استفاده کنند (دی‌آراجو و همکاران^۸، ۲۰۱۳). جکسون و کیف در پژوهشی از یک رابط کاربری لیفت آف^۹ که به کاربر اجازه می‌دهد مدل‌های سه بُعدی خود را در یک سبک کنترل شده و دست‌ساز نسبت به تصاویر مرجع ایجاد کند استفاده کردند. در این مدل بعد از اینکه طرح اولیه بر روی کاغذ انجام شد، این طرح‌ها به‌صورت تصاویری در محیط واقعیت مجازی وارد می‌شود و سپس با الگوریتم‌های پردازش تصویر منحنی‌های دو بُعدی از این تصاویر استخراج می‌شود (جکسون و کیف^{۱۰}، ۲۰۱۶). کاربر در تعامل با محیط واقعیت مجازی می‌تواند این منحنی‌ها را در فضا انتخاب کرده و به آن بُعد سوم دهد تا یک شبکه

^۱. Thabet et al.

^۲. Goulding et al.

^۳. Hirani and Patel

^۴. Dawood

^۵. Chalhouh and Ayer

^۶. Wang et al.

^۷. Chen and Schnabel

^۸. De Araujo et al.

^۹. Lift-Off Interface

^{۱۰}. Jackson and Keefe

منحنی سه بُعدی که سطوح آن برای ساخت یک مدل سه بُعدی طراحی شده است، ایجاد شود. این رابط کاربری به علت استفاده از محیط CAVE (یک محیط واقعیت مجازی شناور است که در آن پروژکتورها بین سه تا شش دیوار مکعب به اندازه اتاق قرار می‌گیرند) (کروز - نیرا و همکاران^۱، ۱۹۹۲). با چهار دیوار محدودیت‌هایی را برای طراحان در مقایسه با محیط باز واقعیت مجازی که در آن از دستگاه‌های نصب‌شده بر روی سر (HDM) استفاده می‌شود، ایجاد می‌کند. کلرک و همکاران نیز سیستمی بر پایه واقعیت مجازی برای خلق مدل اولیه معماری با استفاده از ایده ماینکرفت^۲ برای تولید محیط دیجیتال ارائه کردند در این پژوهش مشخص شد که طراحان تازه کار وقت کمتری برای انجام کارهای طراحی نسبت به محیط کد صرف می‌کنند اما استفاده از این سیستم در مدت طولانی باعث خستگی طراحان می‌شود (کلرک و همکاران^۳، ۲۰۱۹). در مقایسه‌ی پلتفرم‌های طراحی معماری غیرشناور سنتی و کاملا شناور واقعیت مجازی پیز و همکاران^۴ پژوهشی با معیارهای کمی و تحلیل آماری بر اساس عملکرد شرکت‌کنندگان ارائه دادند. این پژوهش نشان داد که استفاده از محیط شناور باعث می‌شود تا کاربر درک فضایی بهتری از خود ارائه دهد، همچنین محیط شناور باعث افزایش دقت تخمین فواصل در کاربران می‌شود. اما درک بهتر از آرایش فضایی در مدل مجازی شناور در بهبود فهم طراحی معماری و در طراحی بهینه آن‌ها تأثیری نداشت. همچنین این پژوهش نشان داد که درک بهتر آرایش فضایی از محیط واقعیت مجازی شناور با سن و تحصیلات رابطه مستقیم دارد (پیز و همکاران^۵، ۲۰۱۷). واقعیت مجازی و واقعیت افزوده در بخش‌های مختلف مدیریت ایمنی از جمله برنامه‌ریزی ایمنی، آموزش ایمنی و بازرسی ایمنی کاربرد دارند (دیو و همکاران^۶، ۲۰۱۸). اخیرا بیشتر مطالعات در مورد کاربردهای واقعیت افزوده و واقعیت مجازی در ایمنی ساخت در حوزه‌های شناسایی خطر، آموزش و تمرین ایمنی، بازرسی ایمنی دستورالعمل‌های ایمنی صورت گرفته‌اند (سیامیمی و همکاران^۷، ۲۰۲۰). منظور از شناسایی خطر تحلیل و استخراج خطرات بالقوه موجود در حین ساخت است (دیو و همکاران، ۲۰۱۸). روش‌های سنتی شناسایی خطر متمرکز بر دستکاپ و منابع متداول در نقشه‌ها، موارد حادثه و دانش‌های اکتشافی برای تهیه پیشگیری از خطرات احتمالی ایمنی از طریق جلسات پروژه استفاده است (رانکوهی و ووگ^۸، ۲۰۱۲). استفاده از این رویکرد برای درک خطر افراد مشغول در فرآیند ساخت در مواجهه با شرایط واقعی مشکل است و ممکن است با واقعیت تفاوت داشته باشد حال آنکه مدلسازی و تجسم در محیط‌های واقعیت مجازی، تجارب افراد و پیش‌بینی چگونگی تعامل آن‌ها در شرایط واقعی را ارتقاء می‌دهد. بدین منظور مطالعات مختلفی بر روی توسعه‌ی سیستم‌های شناسایی خطر مبتنی بر تجسم سه بُعدی و سیستم‌های واقعیت مجازی و واقعیت مخلوط از جمله سیستم طراحی برای فرآیندهای ایمنی^۹ (هادیکوسومو و راولینسون^{۱۰}، ۲۰۰۲)، سیستم‌های محیط مجازیت افزوده^{۱۱} (جی و کاوستر^{۱۱}، ۲۰۱۴)، سیستم‌های محیط‌های مجازی غار اتوماتیک (پرلمن و همکاران^{۱۲}، ۲۰۱۴)، و

^۱. Cruz-Neira et al.

^۲. Minecraft

^۳. de Klerk et al.

^۴. Paes et al.

^۵. Du et al.

^۶. Syamimi et al.

^۷. Rankohi and Waugh

^۸. Design for Safety Process (DFSP)

^۹. Hadikusumo and Rowlinson

^{۱۰}. System for Augmented Virtuality Environments (SAVEs)

^{۱۱}. Ge and kuester

^{۱۲}. Perlman et al.

سیستم‌های مدیریت ایمنی مبتنی بر نمایش^۱ (پارک و کیم^۲، ۲۰۱۳) صورت گرفته است (لی و همکاران^۳، ۲۰۱۸). نتایج این مطالعات نشان می‌دهد که بیشتر کاربران در محیط مجازی سطح ریسک بالاتری را ارزیابی کرده و خطرات بیش‌تری را نسبت به افرادی که عکس و اسناد را مطالعه می‌کنند شناسایی کرده‌اند. این درحالی است که علاوه بر این سیستم‌های واقعیت مجازی قادر به دریافت بازخورد سریع به‌منظور فهم عملکرد افراد در شناسایی خطر هستند (لیو همکاران^۴، ۲۰۲۰). در بخش آموزش ایمنی نیز واقعیت مجازی و واقعیت افزوده فرصت‌های جدیدی را برای آموزش و تمرین مؤثر افراد و دانش‌آموزان با سطح بالاتری از شناخت و خطرات کمتر فراهم می‌کند (لیو و همکاران، ۲۰۲۰). استفاده از این تکنولوژی‌ها به‌عنوان مکمل مدلسازی دیجیتالی می‌تواند منجر به برقراری ارتباط بهتر در آموزش حرفه‌ای آموزش ایمنی ساختمانی برای افزایش آگاهی ایمنی دانش‌آموزان شود (لیو و همکاران، ۲۰۲۰). لی و همکاران نشان دادند که VR و AR باعث افزایش علاقه دانش‌آموزان در یادگیری و بهبود سطح دانش ایمنی آن‌ها شده و به ایجاد رفتارهای واقع‌گرایانه در بازی‌های آموزشی ایمنی کمک می‌کند. یکی دیگر از کاربردهای واقعیت مجازی بازرسی ایمنی و ارزیابی ایمنی ساختمان است (لی و همکاران، ۲۰۱۸). کامات و التویل در مورد شناسایی صدمه‌های ناشی از زلزله و تفاوت‌های صورت‌گرفته پس از زلزله با اضافه کردن اطلاعات ذخیره‌شده قبلی ساختمان به سازه واقعی توسط واقعیت افزوده بحث کردند. یه و همکاران سیستمی تحت عنوان آی‌هلمت^۵ طراحی کردند، این سیستم به بازرس این امکان را می‌دهد تا مکان فعلی خود در سایت ساخت را در آن وارد کند و به اطلاعات مرتبط ایمنی با استفاده از واقعیت مجازی ترکیب شده با مدل‌سازی اطلاعات ساختمان^۶ دسترسی پیدا کند. برای موارد آتش‌سوزی ساختمان، زمان صرف شده در تخلیه یک عامل تعیین‌کننده برای نجات افراد است. شبیه‌سازی تخلیه اضطراری مبتنی بر واقعیت مجازی به همراه یک روش راه‌یابی، می‌تواند یک رویکرد مناسب برای دستورالعمل‌های ایمنی ساخت برای کوتاه کردن زمان تخلیه اضطراری باشد (سالم و همکاران^۷، ۲۰۲۰).

یکی دیگر از کاربردهای تکنولوژی واقعیت مجازی در صنعت ساخت را می‌توان در کنترل پروژه و مدیریت عیوب دانست. بسیاری از سیستم‌های موجود در مدیریت عیوب مانند PDA^۸، RFID^۹ و اسکنرهای لیزری^{۱۰} عملکرد واکنش‌گرا دارند به این معنی که بعد از پدیدار شدن نقص و عیب عمل استفاده می‌شوند، استفاده از فناوری‌های مدل‌سازی اطلاعات ساختمان می‌تواند به توسعه سیستم‌های بازرسی پوشش‌گرایانه و اتوماتیک پیش از وقوع عیوب کمک کند. نقص و اشتباه به‌صورت اجتناب‌ناپذیر و پرتکرار در فرآیند ساخت رخ می‌دهد و باعث افزایش زمان ساخت و افزایش هزینه‌های پروژه می‌شود. از طرفی واکنش‌گرا بودن بسیاری از سیستم‌های موجود باعث شده تا فرآیند کنترل و بازرسی پروژه یک فرآیند وقت‌گیر شود به‌طوری‌که مدیران پروژه باید وقت زیادی را صرف کنترل و نظارت کنند، همچنین از دست رفتن اطلاعات نقشه‌های شاپ

^۱. Visualized Safety Management System (VSMS)
^۲. Park and Kim
^۳. Li et al.
^۴. Liu et al.
^۵. Ihelmet

^۶. Building Information Modeling (BIM)
^۷. Salem et al.

^۸. Personal Digital Assistant

^۹. Radio-Frequency Identification

^{۱۰}. Laser Scanner

نیز یک بخش دیگری از مشکلات است. وارد کردن مجدد این اطلاعات در سیستم‌ها خود فرآیندی است که نیاز به زمان و تلاش زیادی دارد. به این ترتیب و به سبب مشکلات موجود سیستمی اتوماتیک با استفاده از مدل اطلاعات ساختمان و فناوری های واقعیت افزوده و واقعیت مجازی به همراه تکنولوژی تطبیق تصویر^۱ می‌تواند در تسریع فرآیند شناسایی عیوب مؤثر باشد (رخساری‌تالمی و همکاران^۲، ۲۰۲۰). با بررسی‌های انجام شده بر روی برخی از این سیستم‌ها مشاهده شده که سیستم‌های پیشنهادی به‌خوبی قادرند در صرفه‌جویی زمان مفید باشند و همچنین هزینه‌های دوباره‌کاری را نیز کاهش دهند (جئورج و همکاران، ۲۰۱۷).

کاربردهای واقعیت مجازی و واقعیت افزوده صنعت ساخت محدود به بخش ساختمان نمی‌شود. از مطالعات دیگر انجام شده بر روی کاربردهای واقعیت افزوده در صنعت ساخت می‌توان به پژوهش ژو و همکاران^۳ اشاره کرد. در این پژوهش ژو و همکاران به استفاده از واقعیت افزوده برای بازرسی سریع میزان جابجایی سگمنت‌ها^۴ در ساخت تونل پرداختند. این فناوری، بازرسان کیفیت سایت ساخت را قادر می‌سازد تا مدل پایه کنترل کیفیت مجازی ساخته شده بر مبنای استانداردهای کیفیت را بازیابی کنند و این مدل را بر روی جابجایی‌های واقعی منطبق سازند. بنابراین، ایمنی سازه می‌تواند به‌صورت خودکار با اندازه‌گیری تفاوت بین مدل پایه و آنچه ساخته شده است مورد ارزیابی قرار گیرد. نتایج نشان داد که سیستم مبتنی بر واقعیت افزوده پاسخگوی دقت موردنیاز برای بازرسی جابجایی سگمنت‌ها می‌باشد و مناسب برای توسعه بیشتر برای استفاده در این زمینه است. هرچند که این سیستم نیاز به بهبودهایی همچون افزایش گستره سیستم ردیابی، بهبود سیستم کالیبراسیون و از آنجا که اندازه‌ی سگمنت‌ها در تونل‌های مختلف متفاوت است نیاز است تا روشی خودکار برای تولید فایل‌های VRML^۵ از آبجکت‌های مدل اطلاعات ساختمان طراحی شود (دیو و همکاران، ۲۰۱۸).

علاوه بر این تکنولوژی واقعیت مجازی و واقعیت افزوده به سرعت خود را در بخش برنامه‌های آموزش در صنعت ساخت نیز جای داده است. مزیت استفاده از این تکنولوژی‌ها در آموزش این است که افراد بتوانند نسبت به محیط سه‌بعدی کنش و واکنش نشان دهند و محیط مجازی به یادگیری و درک بصری آن‌ها کمک کند البته این رویکرد در مقابل رویکرد سنتی که تنها اکتفا به المان‌های دو بُعدی باعث افزایش درجه آزادی ذهنی افراد می‌شود قرار دارد (هاگارد^۶، ۲۰۱۷).

واقعیت مجازی تکنولوژی‌های مرتبط با آن در آموزش در صنعت ساخت را می‌توان به پنج نوع اصلی تقسیم کرد. واقعیت مجازی مبتنی بر دسکتاپ، واقعیت مجازی شناور، واقعیت مجازی برپایه بازی‌های سه بُعدی، واقعیت مجازی بر پایه مدل اطلاعات ساختمان و واقعیت افزوده این تقسیم‌بندی هم بر اساس نحوه نمایش رسانه و هم بر اساس پلتفرم صورت گرفته است. واقعیت مجازی مبتنی بر دسکتاپ رایج‌ترین نوع این تکنولوژی در آموزش در صنعت ساخت می‌باشد. در این نوع تکنولوژی برای ارتباط با محیط سه‌بعدی مجازی تنها از یک مانیتور بدون هیچ‌گونه تجهیزات ردیابی استفاده می‌شود. برخی از معروف‌ترین این نوع سیستم‌های آموزشی در صنعت ساخت می‌توان به V-REALISM برای آموزش تعمیر و نگهداری مهندسی و سیستم یادگیری مدیریت ساخت تعاملی (ICMLS) توسعه‌یافته توسط سانی و همکاران اشاره کرد (ونگ و همکاران، ۲۰۱۸).

^۱. Image-Matching

^۲. Rokhsaritalemi et al.

^۳. Zhou et al.

^۴. Segments

^۵. Virtual Reality Modeling Language

^۶. Haggard

واقعیت مجازی شناور در قیاس با واقعیت مجازی مبتنی بر دستکتاب از سخت‌افزارهای ردیابی مختلفی مانند نمایش‌های نصب‌شونده بر روی سر (HMD)، دستکش‌های مجهز به حسگر و ... برای ردیابی و انتقال کامل کاربر به محیط مجازی استفاده می‌کند. شناوری فضایی با احاطه شدن توسط تصاویر، صداها و سایر سناریوهای مجازی ایجاد می‌شود و کاربر می‌تواند دنیای خود را کاملاً غرق در دنیای مجازی احساس کند. یکی از نمونه‌های واقعیت مجازی شناور در آموزش صنعت ساخت می‌توان برنامه‌ی تحلیل سازه‌ای مجازی (VSAP) است که در دانشگاه و مؤسسه پلی‌تکنیک ویرجینیا ساخته شد. استفاده اصلی از این سیستم، شناخت رفتار ساختاری ساختمان‌ها در محیط مجازی است (برگ و ونس^۱، ۲۰۱۷).

سکس و همکاران^۲ از یک پاوروال^۳ (یک صفحه نمایش بزرگ و با وضوح بالا که از ماتریسی از نمایشگرهای دیگر ساخته شده است)، به منظور ایجاد محیط سه‌بعدی شناور واقعیت مجازی برای مقاصد آموزش ایمنی ساخت استفاده کرد. این پاوروال از سه صفحه نمایش پروژکتور از عقب^۴ تشکیل شده بود که یک پیکربندی باز از CAVE سه‌طرفه است که از تصویرسازی سه‌بعدی استریو توسط یک عینک استفاده می‌کند. کارآموزان از یک سیستم ردیابی سر و کنترل‌کننده XBOX استفاده می‌کردند که با استفاده از هشت دوربین که روی صفحه نمایش‌ها نصب شده بود، نتایج نشان داد که آموزش مبتنی بر VR در بهبود تمرکز و درک شرکت‌کنندگان از اندازه‌گیری کنترل محیطی مؤثر بوده است. در این پژوهش شصت و شش نفر برای تمرین و آموزش ایمنی در ساخت مدنظر قرار گرفتند و دانش و مهارت‌های ایمنی آن‌ها قبل از آزمایش، بلافاصله پس از آزمایش و یک ماه بعد از انجام آزمایش مورد ارزیابی قرار گرفت. نیمی از شرکت‌کنندگان به صورت سنتی و در کلاس به همراه عکس و فیلم آموزش دیدند و نیمی دیگر در محیط واقعیت مجازی شناور ذکر شده، نتایج حاکی از آن بود که آموزش در محیط واقعیت مجازی مزایای ملموسی در سنگ‌کاری نما و در بتن‌زیری درجا داشت ولی در مورد دانش عمومی ایمنی تفاوت خاصی ایجاد نشده بود (هیرانی و پاتل، ۲۰۲۰).

فناوری بازی‌های سه‌بعدی، که به هدف ارتقاء تعاملات کاربر ساخته شده است، به صحنه‌های آموزش بازی مانند کامپیوتری گفته می‌شود که از طریق یکپارچه‌سازی تکنولوژی‌های بصری، تعاملی، شبکه چندکاربره و غیره ایجاد می‌شوند. این بازی‌ها به افزایش همکاری و تعامل در بین دانش‌آموزان و آماده‌سازی آن‌ها برای انجام عملیات در واقعیت کمک می‌کند. لی و همکاران یک پلت‌فرم آموزشی مبتنی بر بازی برای مدیریت نقص‌ها و عیوب سازه‌ای ایجاد کرد. اجزای مجازی از طریق استفاده از نرم‌افزار رویت معماری^۵ (آوهد و هینگ، ۲۰۰۷) ایجاد شده و سناریوهای نزدیک به واقعیت به کمک زبان لیندن اسکریپت^۶ (گولدینگ و همکاران، ۲۰۱۴) نمایش داده شدند. در این پلت‌فرم، دانش‌آموزان با دانش شناسایی عیوب آموزش دیدند. و سپس آن‌ها برای تشخیص نقص و فعالیت‌های احتمالی اقدام می‌کنند. نتایج نشان حاکی از افزایش تعامل و بهبود عملکرد آن‌ها در شناسایی عیوب شده بود (لیو و همکاران، ۲۰۲۰).

واقعیت افزوده در مقایسه با واقعیت مجازی کاربر را قادر می‌سازد تا با اشیای مجازی در محیط واقعی تعامل داشته باشد و ویژگی‌های این اشیاء از جمله مقیاس، محل و سایر ویژگی‌ها را تغییر دهد به طوری که کاملاً با محیط واقعی سازگار شود. به

^۱. Berg and Vance

^۲. Sacks et al.

^۳. Powerwall

^۴. Rear Projection Screen

^۵. Revit Architecture

^۶. Linden Scripting Language

همین ترتیب، بسیاری از مطالعات استدلال می‌کنند که فناوری واقعیت افزوده می‌تواند امکانات و تعاملات جدیدی را برای مشارکت دانش‌آموزان فعال فراهم کند (تبت و همکاران، ۲۰۰۲). شیرازی و بهزادان^۱ یک ابزار آموزشی برای مهندسی عمران در مقطع لیسانس مبتنی بر واقعیت افزوده به نام CAM-ART تولید کردند که بر روی گوشی‌های تلفن همراه قابل استفاده است. برای تولید این پلتفرم از زبان‌های جاوا اسکریپت و XML استفاده شده است. در واقع این پلتفرم در کنار کتاب استفاده شد، به این صورت که محتوای صوتی، تصویری (سه بُعدی) و متنی از طریق QR code توسط پلتفرم CAM-ATR شناسایی می‌شد و به صورت واقعیت مجازی از طریق گوشی تلفن همراه به محیط واقعی و کتاب اضافه می‌شد. برای تست این پلتفرم در آموزش، دانش‌آموزان به صورت رندوم به دو گروه تقسیم شدند که یکی گروه کنترل و دیگری گروه تست بود. در نهایت عملکرد هر دو گروه ارزیابی شد و داده‌های عملکردی آن‌ها جمع‌آوری شد. در نهایت تحلیل داده‌ها نشان‌دهنده بهبود عملکردی و تعاملی دانش‌آموزان در کلاس بود (رانکوهی و ووگ، ۲۰۱۲). کیم و همکاران^۲ نیز پلتفرم مبتنی بر واقعیت مجازی را برای بهینه‌سازی روند ساخت‌وساز از طریق تنظیم عملیات تجهیزات تولید کردند. مزایای ذکر شده از واقعیت افزوده در این پژوهش این است که این فناوری، تجسم را از دیدگاه اپراتورها افزایش داده و در شناسایی محدودیت‌های اطراف توسط اپراتورها مفید واقع می‌شود (کیم و همکاران، ۲۰۱۱).

به طور کلی می‌توان مزیت‌ها و چالش‌های واقعیت مجازی در صنعت ساخت ایران را در جدول‌های زیر خلاصه نمود:
چالش‌ها:

تجربه کاربر (از نظر سخت افزارها و نرم افزارها)	دانش و تخصص
کافی نبودن دانش و اطلاعات در زمینه واقعیت مجازی	
نداشتن افراد متخصص کافی در این حوزه	
عدم افشای اطلاعات و تقویت اقدامات امنیتی داده‌ها برای کاهش خطر نقض یا هک	قوانین و مقررات
قوانین و مقررات و امتیازات حقوقی	
هزینه‌های پشتیبانی (شبکه، مدیریت داده و غیره)	تامین مالی و هزینه‌ها
هزینه‌های نرم‌افزاری و سخت‌افزاری	
هزینه بالا برای ارزیابی و پیاده‌سازی (Upgrading نرم افزار-سخت افزار - تهیه account)	
هزینه‌های یادگیری و آموزش به کارکنان	
هزینه‌های اولیه و تامین مالی و سرمایه‌گذاری در این زمینه	
هزینه برای مصرف‌کنندگان و شرکت‌ها و سازمان‌ها	

^۱. Shirazi and Behzadan

^۲. Kim et al.

هزینه های بالای جبران خسارت در هنگام شکست در فناوری	سخت افزاری
عدم دسترسی به نرم افزار های مورد نیاز به علت تحریم ایران	
وابستگی سخت افزاری	
تجربیات آسان تر و شهودی ارائه شده توسط سایر نرم افزار ها	
اختلال در زیر ساخت ها در ایران و اینترنت نامناسب	فرهنگ سازمانی
عدم اعتماد و مقاومت در برابر تغییرات	
رقابت زیاد استارتاپ ها با محصولات/ایده های مشابه در ایران	
عدم تمایل مصرف کنندگان و مشاغل به فناوری جدید نظیر VR	

مزیت ها:

بهبود طراحی ۳ بعدی	فناوری
انعطاف پذیری سیستم تجسم	
افزایش سطح اطمینان در مورد آینده فناوری های جدید	کیفیت و ارتقاء همه جانبه پروژه
افزایش اثر بخشی سیستم ها در صنعت ساخت و ساز	
کاهش دوباره کاری	
افزایش ایمنی ساخت	
کاهش زمان پروژه	
افزایش کیفیت نهایی پروژه	
کاهش هزینه های ساخت و عملیاتی	
قابلیت ادغام سیستم ها	
دستیابی آسان به مدل	
امکان ایجاد برنامه ریزی مناسب تر قبل از شروع کار	
افزایش کیفیت تصمیم گیری	

اشتراک گذاری اطلاعات	فرهنگ سازمانی
بهبود مدیریت اطلاعات	
مشارکت در دستیابی به اهداف در محیط نرم افزار	
افزایش ارتباطات و توسعه اطلاعات	
افزایش کیفیت حفظ اطلاعات	
امکان ایجاد دورکاری (به مشارکت و یادگیری از راه دور بها می دهد)	
کاهش نیاز به مراجعه به کتابچه های راهنمای کاغذی	
افزایش هماهنگی بین کارکنان حین انجام کار	دانش و تخصص
افزایش سطح آموزش و دانش در زمینه AR/VR	
افزایش تجربه و تخصص در این زمینه (کسب تجربه در برنامه ها و نرم افزار های مربوطه)	

بحث و بررسی :

در ابتدا این نکته باید عنوان شود که درین دسته‌بندی صرفاً پژوهش‌هایی مدنظر قرار گرفت که با کلیدواژه AEC (معماری، مهندسی، ساخت) طرح شده بودند و مقالات حوزه مهندسی عمران و مهندسی ساخت خود پژوهش مجزایی می‌طلبند که در حیطه این پژوهش نیست. با این شرط ۱۴ مقاله به استفاده واقعیت مجازی در حوزه ساخت‌وساز پرداخته بودند. پژوهش آوهد و هینگ (۲۰۰۷) بیان می‌دارد که مدلسازی اطلاعات ساختمان یکی از محدوده‌های مهم در پژوهش‌های واقعیت مجازی در حال حاضر است. پژوهش‌های واقعیت مجازی صرفاً توسعه تکنولوژیک را مدنظر قرار نمی‌دهد بلکه بخش بسیار مهم این پژوهش‌ها به‌کارگیری این تکنولوژی‌ها و انطباق آن‌ها در رویه حرفه‌ای را مدنظر دارد (آوهد و هینگ، ۲۰۰۷). این پژوهش با درنظرگرفتن محصولات، فرآیندها و افراد، موقعیت کنونی مدلسازی اطلاعات ساختمان در صنعت ساخت‌وساز و توقعات از آن در آینده را تحلیل می‌کند. یافته‌های این پژوهش وجود برخی مشکلات تکنولوژیک و غیر تکنولوژیک در این زمینه را نشان می‌دهد که نیاز است مدنظر قرار گیرند و پژوهش‌هایی برای یافتن راه‌حلی برای رفع آن صورت گیرد.

پژوهش جنورج و همکاران در سال ۲۰۱۷ به روش‌شناسی بهره‌گیری از واقعیت مجازی در ساخت‌وساز می‌پردازد و این پژوهش بر ساخت یک روش‌شناسی برای افزایش احتمال موفقیت در استفاده از واقعیت مجازی در صنعت ساخت‌وساز توجه دارد که با وظایف متداول در این حوزه همخوان باشد و همچنین فرآیندی برای انتخاب تکنولوژی به دست می‌دهد که خصیصه‌های آن نوع تکنولوژی مانند ارائه اطلاعات، روش‌های تعامل و تکنولوژی ردیابی متناسب با یک طبقه‌بندی خاص از وظایف باشد (جنورج و همکاران، ۲۰۱۷).

پژوهش تبت و همکاران در سال ۲۰۰۲ بر مسئله کاهش هزینه‌ها در استفاده از محیط‌های واقعیت مجازی در صنعت ساخت‌وساز توجه نشان داده است. از آنجا که «هدست‌های واقعیت مجازی می‌تواند تجربه موقعیت‌های واقعی اول‌شخص را بدون امکان صدمه دیدن برای فرد شبیه‌سازی کند و از این راه کمک بزرگی به ارتقای صنعت ساخت‌وساز کند، اما هزینه بالا مانع از متداول شدن استفاده از آن است این پژوهش با طراحی روشی برای ساخت کم‌هزینه محیط‌های واقعیت مجازی

غوطه‌ور مورد استفاده در این حیطة، به دنبال رواج بیشتر واقعیت مجازی در صنعت ساخت‌وساز است. همچنین نتایج این پژوهش نشان می‌دهد داده‌های مدلسازی اطلاعات ساختمان نیز می‌تواند با استفاده از روش پیشنهادی این پژوهش با سهولت بیشتر و هزینه کمتر در صنعت ساخت‌وساز به کار گرفته شود (تبت و همکاران، ۲۰۰۲).

پژوهش گولدینگ و همکاران (۲۰۱۴) به جریان کاری پروژه‌های با قابلیت مدلسازی اطلاعات ساختمان که از واقعیت مجازی نیز بهره جسته‌اند پرداخته است و از طریق مطالعه نمونه موردی در یک پروژه واقعی به بررسی نحوه برخورد شرکت‌های معماری با چالش‌های این تکنولوژی نوین پرداخته‌اند که نتایج حاصل از بازخورد این متخصصان نشان‌دهنده مزایای فرض شده روش پیشنهادی این پژوهش در به‌کارگیری واقعیت مجازی بود. در نهایت در این پژوهش عنوان شده است که «شبیه‌سازی وظایف درون سایت و ادراک فضاهای معماری با مقیاس واقعی مزایای منحصر به فرد اپلیکیشن‌های واقعیت مجازی در رویه حرفه‌ای ساخت‌وساز هستند. این مطالعه نشان داد هزینه‌های سخت‌افزار و نرم‌افزار و مقاومت در برابر به‌کارگیری تکنولوژی‌های جدید موانع اصلی در رواج تکنولوژی واقعیت مجازی هستند بنابراین نیاز به کار بیش‌تر در صنعت کامپیوتر برای اقتصادی‌تر کردن این تکنولوژی‌ها است (گولدینگ و همکاران، ۲۰۱۴).

پژوهش هیرانی و پاتل در سال ۲۰۲۰ به این نکته اشاره می‌کند که تکنولوژی واقعیت مجازی نه تنها به طراحان کمک می‌کند بلکه امکان مشارکت سایر متخصصان مرتبط و ذینفعان عادی را نیز در ساخت‌وساز فراهم می‌کند. آن‌ها در این پژوهش سعی کرده‌اند از امکانات سرگرم‌کننده واقعیت مجازی مبتنی بر بازی جهت افزایش علاقه گروه‌های دخیل در پروژه‌های ساخت‌وساز کمک بگیرند (هیرانی و پاتل، ۲۰۲۰).

پژوهش دیو و همکاران در سال ۲۰۱۸ بر بهبود فرآیند برنامه‌ریزی شهری و ساخت‌وساز با به‌کارگیری واقعیت مجازی می‌پردازد. در این پژوهش راه‌های به‌کارگیری واقعیت مجازی برای فراهم کردن امکان قدم‌زدن در شهر و مشاهده ساختمان‌های سه‌بعدی مجازی در زمینه محیط واقعی بررسی شده است و عنوان شده است برنامه‌های کاربردی واقعیت مجازی این پتانسیل را دارند که در آینده به‌عنوان یک پلتفرم آزمایشی برای ارزیابی طرح‌های پیشنهادی با ملاحظه فاصله ناظر از بنا، سرعت حرکت، تراکم ساختمان‌ها، مسائل عملکردی و پیچیدگی مدل‌ها به‌کار گرفته شوند (دیو و همکاران، ۲۰۱۸).

پژوهش داوود (۲۰۰۹) به‌طور خاص بر به‌کارگیری ابزار واقعیت مجازی برای طراحی سیستم اکوستیکی معماری پرداخته و بیان می‌دارد که با استفاده از واقعیت مجازی می‌توان ابزارهای پیش‌بینی و شبیه‌سازی را به‌طور قابل‌ملاحظه‌ای تسریع کرد و امکان پردازش داده‌های تعاملی و انطباقی را در طی شبیه‌سازی و ارائه صدای سه‌بعدی فراهم کرد (داوود، ۲۰۰۹).

پژوهش لیو و همکاران در سال ۲۰۲۰ به پروژه‌ای می‌پردازد که رابطی برای معماری مجازی است. در این پژوهش عنوان شده است که «واقعیت‌های مجازی و افزوده دنیای جدیدی از پتانسیل‌های فوق‌العاده برای آزمایش و پژوهش روی فضا به وسیله امکان تولید فرم‌های جدید فضای معماری محسوس ساخته نشده گشوده است. Project anywhere یک سیستم برنامه کاربردی واقعیت مجازی است که بی‌سیم، چندکاربره و به‌آسانی قابل به‌کارگیری است که ارائه‌دهنده غوطه‌وری کامل بدن از طریق ردیاب‌های بدن، سر و دست‌ها است. نتایج این پژوهش توصیف‌کننده خواص ذاتی فضای معماری مجازی است که می‌تواند مدیوم نوین برای معماری باشد که مفهومی غنی از فضا را برای بررسی و آزمایش از طریق یک اپلیکیشن ارائه می‌دهد (لیو و همکاران، ۲۰۲۰).

پژوهش رخساری‌تالمی و همکاران در سال ۲۰۲۰ بر پتانسیل محیط واقعیت مجازی غوطه‌ور در ارتقای درک مدل‌های

سه‌بعدی معماری متمرکز شده و ادراک فضایی فرد در سیستم‌های واقعیت مجازی سنتی را با غوطه‌ور مقایسه می‌کند. این پژوهش با تأکید بر این نکته که پژوهش‌های قبلی نشان‌دهنده این است که «استفاده از واقعیت مجازی یک راهبرد سودمند برای طراحی در پروژه‌های ساخت‌وساز است» به اهمیت بررسی میزان اثربخشی این تکنولوژی در رویه طراحی ساخت و ساز در مقایسه با پلتفرم‌های واقعیت مجازی غیر غوطه‌ور اشاره کرده و آزمایشی تجربی را ترتیب می‌دهد تا ادراک فضایی مدل‌های سه‌بعدی را در این دو حالت مقایسه کند (رخساری‌تالمی و همکاران، ۲۰۲۰).

پژوهش هاگارد در سال ۲۰۱۷ در مورد نحوه ادراک فضا و به‌ویژه فواصل در محیط‌های واقعیت مجازی، این فرضیه را مطرح می‌کند که وجود سرنخ‌های بصری در محیط واقعیت مجازی بر دقت ادراک تأثیر دارد و در همین راستا آزمونی را طرح می‌کند تا ادراک فضا در محیط واقعیت مجازی و محیط واقعی را بسنجد و در نهایت پیشنهادهایی را ارائه می‌کند که معماران چگونه به مدلسازی محیط مجازی ساخت‌وساز بپردازند که شبیه‌سازی دقیق‌تر و قابل‌اتکاتری از واقعیت را ارائه دهد (هاگارد، ۲۰۱۷).

پژوهش رانکوهی و ووگ در سال ۲۰۱۲ با تصدیق موفقیت سال‌های اخیر واقعیت مجازی در کمک به پروژه‌های ساخت‌وساز عنوان می‌دارد که «هنوز مشخص نیست که واقعیت مجازی چگونه می‌تواند به معماران در مراحل اولیه ایده‌پردازی و طراحی کمک کند. در این پژوهش یک محیط واقعیت مجازی طراحی و تولید شد که از طریق یک هدست واقعیت مجازی امکان غوطه‌وری مجازی را فراهم می‌کرد. این پژوهش نشان داد که سیستم مدنظر این پژوهش از نرم‌افزارهای کد موجود در تولید سریع مدل‌های ساده شده، کارتر و سهل‌الاستفاده‌تر است (رانکوهی و ووگ، ۲۰۱۲).

پژوهش برگ و ونس در سال ۲۰۱۷ در مورد استفاده از واقعیت مجازی برای آموزش طراحی معماری شامل چهار مرحله طراحی محیط معماری واقعیت مجازی، تولید وظایف طراحی کلاسی و تکالیف آموزشی، انجام تکالیف در عین برقراری ارتباط میان دانشجویان و میان دانشجویان و معلم، و در نهایت پس از انجام تکالیف طراحی، دانشجویان باید در محیط واقعیت مجازی معماری به پرسه و تعامل می‌پرداختند تا معایب طراحی را در پروژه‌های ساخت‌وساز کشف و رفع کنند (برگ و ونس، ۲۰۱۷).

سالم و همکاران (۲۰۲۰) بر ارتقای ادراک فضایی در حین آموزش طراحی با استفاده از واقعیت مجازی غوطه‌ور پرداخته تا مشخص شود استفاده از این تکنولوژی چه تأثیری بر فهم فضای سه‌بعدی، ارتقای تخیل، غنی ساختن خلاقیت و تجربه حسی طرح خواهد داشت. به همین منظور مجموعه‌ای از آزمایش‌ها برای ارزیابی این مسئله صورت گرفت که نشان داد واقعیت مجازی به‌تنهایی باعث ارتقای ادراک فضایی و بهبود طرح نمی‌شود بلکه می‌تواند بر فرآیند طراحی و روش تفکر تأثیر بگذارد و همچنین به دانشجویان در به‌کارگیری تجربه انسانی در حین فرآیند طراحی کمک کند (سالم و همکاران، ۲۰۲۰).

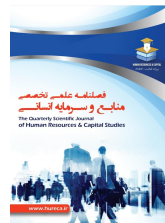
سیامیمی و همکاران (۲۰۲۰) به پژوهش پیرامون طراحی رابط کاربری در اپلیکیشن‌های واقعیت مجازی مورد استفاده در آموزش معماری در پروژه‌های ساخت‌وساز با هدف ارتقای یادگیری دانشجویان پرداختند. در این پژوهش که با استفاده از واقعیت مجازی غوطه‌ور بر چهار چالش طراحی رابط کاربری در اپلیکیشن‌های واقعیت مجازی یعنی حالت‌های راهبری، حالت‌های عملکرد، مقیاس‌های مشاهده و گزینه‌های پس‌زمینه پرداخته و به مجموعه‌ای از آزمایش‌ها بر روی ۱۲۰ دانشجو دست زده در نهایت مشخص شد که کارایی یادگیری در یک پلتفرم واقعیت مجازی با طراحی‌های مختلف رابط کاربری تفاوت چشمگیری می‌کند.

نتیجه گیری:

توسعه و پیشرفت‌های تکنولوژیکی اخیر، تأثیر به‌سزایی در کیفیت کلیه ابعاد زندگی بشر داشته است. در این میان، واقعیت مجازی تبدیل به یکی از زمینه‌های تحقیق و بررسی عمیق‌تر در حوزه‌ی ساخت‌وساز شده است. با توجه به پیشینه‌ی واقعیت مجازی در ایران، تاکنون تنها کارهای کوچک و جزئی در راستای تکامل این فناوری به انجام رسیده است. شناخت قابلیت‌ها و کاربردهای واقعیت مجازی، و به دنبال آن به‌کارگیری گسترده‌ی این تکنولوژی، می‌تواند انقلابی در ساخت و ساز و طراحی به‌وجود آورد و دامنه‌ی استفاده از آن را در ایران و جهان گسترش دهد. استفاده از این فناوری توسط معماران، تنها راه شناسایی پتانسیل‌ها و کمبودهای آن در حوزه‌ی ساخت و ساز است. بنابراین، مداخله‌ی معماران در بهبود و تکامل این تکنولوژی ضروری است و این امر، تنها با شناساندن و معرفی واقعیت مجازی به‌طور گسترده در جامعه‌ی مهندسی حاصل خواهد شد.

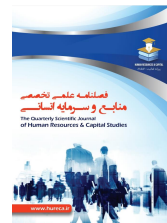
واقعیت مجازی می‌تواند یک تکنولوژی کاربردی باشد که با استفاده از امکانات خود مانند شبیه‌سازی، تعامل، ساختگی بودن، غوطه‌وری، حس حضور و شبکه‌ای بودن امکان پژوهش روی تمامی انواع فضاهای معماری را در یک بازه زمانی کوتاه فراهم کند. می‌توان سهم اصلی واقعیت مجازی در پروژه‌های ساخت‌وساز را ارتقای مهارت‌های ادراک فضایی و طراحی مشارکتی، امکان ارزیابی طرح‌های مختلف ساخت‌وساز با هزینه و زمان کمتر و به‌صورت تعاملی و تجربه‌ای نزدیک‌تر به تجربه محیط واقعی، امکان ارزیابی فضاهایی که دسترسی به آن‌ها از طریق روش‌های سنتی طراحی مشکل است، ارتقای مدل‌سازی اطلاعات ساختمان از طریق ادغام آن با واقعیت مجازی جهت پیشرفت صنعت معماری، مهندسی، ساخت، و نیز شبیه‌سازی رابطه کاربر - محیط که پیش‌بینی شناخت، ادراک و رفتار کاربران را ممکن می‌سازد، دانست.

طبقه‌بندی پژوهش‌ها به کاربرد واقعیت مجازی در پروژه‌های ساخت‌وساز نشان می‌دهد پژوهشگران باید توجه بیشتری به پژوهش پیرامون رابطه انسان - محیط انجام دهند تا خلأهای دانشی در این حوزه برطرف شود. همچنین بررسی مقالات ذکر شده نشان می‌دهد اکثر این پژوهش‌ها از واقعیت مجازی به‌عنوان ابزاری تجربی^۱ جهت انجام آزمایش روی فرضیه مدنظر خود استفاده کردند و می‌توان آن‌ها را در رویکرد تجربی و نیمه‌تجربی تقسیم کرد؛ تعداد کمتری از پژوهش‌ها هم از روش‌های توصیفی - تحلیلی برای بررسی یک مسئله پژوهشی خاص در رابطه میان واقعیت مجازی و پروژه‌های ساخت و ساز استفاده کرده‌اند. در این میان مهم‌ترین نکته‌ای که باید بدان توجه داشت شکاف میان پژوهش‌های دانشگاهی با محیط کاری حرفه‌ای است؛ بنابراین پژوهشگران باید در انتخاب موضوعات به شرایط حرفه‌ای محیطی که در آن به پژوهش می‌پردازند شناخت کافی داشته تا اولویت‌ها و مسائل مهم حوزه حرفه‌ای ساخت‌وساز در اولویت پژوهش‌ها قرار گیرد. به‌ویژه از این‌رو که مسئله دیگری که پژوهش‌های معماری و مهندسی با ابزار واقعیت مجازی به‌ویژه ابزارهای با درجه غوطه‌وری بالا و کیفیت بیشتر را با چالش روبه‌رو می‌کند مسئله هزینه به‌کارگیری نرم‌افزارها و سخت‌افزارهای واقعیت مجازی است که یک راه آن حمایت شرکت‌ها و سازمان‌های ذینفع در پروژه‌های ساخت‌وساز از پژوهش‌های این‌چنینی است که با تقویت رابطه دانشگاه - حرفه ممکن خواهد بود؛ امری که هر دو سوی این رابطه از فواید آن بهره‌مند خواهند شد.



منابع

- Avhad, A. A., & Hinge, G. A. (2017). Implementation of Virtual Reality in Construction Industry. *International Journal of Innovative Research in Science*, 6(6), 67-69.
- Benford, S., Greenhalgh, C., Reynard, G., Brown, C., & Koleva, B. (1998). Understanding and constructing shared spaces with mixed-reality boundaries. *ACM Transactions on computer-human interaction (TOCHI)*, 5(3), 185-223.
- Berg, L. P., & Vance, J. M. (2017). An industry case study: investigating early design decision making in virtual reality. *Journal of Computing and Information Science in Engineering*, 17.(۸)
- Chalhoub, J., & Ayer, S. K. (2018). Using Mixed Reality for electrical construction design communication. *Automation in Construction*, 86, 1-10.
- Chen, I. R., & Schnabel, M. A. (2009). Retrieving lost space with tangible augmented reality.
- Cruz-Neira, C., Sandin, D. J., DeFanti, T. A., Kenyon, R. V., & Hart, J. C. (1992). The CAVE: audio visual experience automatic virtual environment. *Communications of the ACM*, 35(6), 64-73.
- Dawood, N., Marasini, R., & Dean, J. (2009). 19 VR-Roadmap: A vision for 2030 in the built environment. *Virtual Futures for Design, Construction and Procurement*, 261.
- De Araújo, B. R., Casiez, G., Jorge, J. A., & Hachet, M. (2013). Mockup builder: 3d modeling on and above the surface. *Computers & Graphics*, 37(3), 165-178.
- de Klerk, R., Duarte, A. M., Medeiros, D. P., Duarte, J. P., Jorge, J., & Lopes, D. S. (2019). Usability studies on building early stage architectural models in virtual reality. *Automation in Construction*, 103, 104-116.
- Du, J., Zou, Z., Shi, Y., & Zhao, D. (2018). Zero latency: Real-time synchronization of BIM data in virtual reality for collaborative decision-making. *Automation in Construction*, 85, 51-64.
- Ge, L., & Kuester, F. (2014). Integrative simulation environment for conceptual structural analysis. *Journal of Computing in Civil Engineering*, 29(4), B4014004.



George, B. H., Sleipness, O. R., & Quebbeman, A. (2017). Using virtual reality as a design input: Impacts on collaboration in a university design studio setting. *Journal of Digital Landscape Architecture*, 2, 252-259.

Goulding, J. S., Rahimian, F. P., & Wang, X. (2014). Virtual reality-based cloud BIM platform for integrated AEC projects. *Journal of Information Technology in Construction*, 19, 308-325.

Hadikusumo, B. H. W., & Rowlinson, S. (2002). Integration of virtually real construction model and design-for-safety-process database. *Automation in Construction*, 11(5), 501-509.

Haggard, K. E. (2017). Case Study on Virtual Reality in Construction.

Hirani, M. D., & Patel, A. S. (2020). Issues and Future of Virtual Reality in Construction Project and Management.

Jackson, B., & Keefe, D. F. (2016). Lift-off: Using reference imagery and freehand sketching to create 3d mode.

Kim, B., Kim, C., & Kim, H. (2011). Interactive modeler for construction equipment operation using augmented reality. *Journal of Computing in Civil Engineering*, 26(3), 331-341.

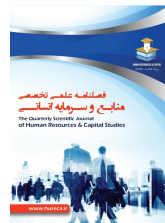
Li, X., Yi, W., Chi, H. L., Wang, X., & Chan, A. P. (2018). A critical review of virtual and augmented reality (VR/AR) applications in construction safety. *Automation in Construction*, 86, 150-162.

Liu, Y., Castronovo, F., Messner, J., & Leicht, R. (2020). Evaluating the impact of virtual reality on design review meetings. *Journal of Computing in Civil Engineering*, 34(1), 04019045.

Milgram, P., & Kishino, F. (1994). A taxonomy of mixed reality visual displays. *IEICE TRANSACTIONS on Information and Systems*, 77(12), 1321-1329.

Paes, D., Arantes, E., & Irizarry, J. (2017). Immersive environment for improving the understanding of architectural 3D models: Comparing user spatial perception between immersive and traditional virtual reality systems. *Automation in Construction*, 84, 292- 303.

Park, C. S., & Kim, H. J. (2013). A framework for construction safety management and visualization system. *Automation in Construction*, 33, 95-103.



Perlman, A., Sacks, R., & Barak, R. (2014). Hazard recognition and risk perception in construction. *Safety science*, 64, 22-31.

Rankohi, S., & Waugh, L. M. (2012). VIRTUAL REALITY IN THE AEC INDUSTRY: A LITERATURE REVIEW1. *CONVR 2014*, 89.

Rokhsaritalemi, S., Sadeghi-Niaraki, A., & Choi, S. M. (2020). A review on mixed reality: Current trends, challenges and prospects. *Applied Sciences*, 10(2), 636.

Sacks, R., Whyte, J., Swissa, D., Raviv, G., Zhou, W., & Shapira, A. (2015). Safety by design: dialogues between designers and builders using virtual reality. *Construction Management and Economics*, 33(1), 55-72.

SALEM, O., SAMUEL, I. J., & HE, S. (2020). BIM AND VR/AR TECHNOLOGIES: FROM PROJECT DEVELOPMENT TO LIFECYCLE ASSET MANAGEMENT.

Steuer, J. (1992). Defining virtual reality: Dimensions determining telepresence. *Journal of communication*, 42(4), 73-93.

Syamimi, A., Gong, Y., & Liew, R. (2020). VR industrial applications—A singapore perspective. *Virtual Reality & Intelligent Hardware*, 2(5), 409-420.

Thabet, W., Shiratuddin, M. F., & Bowman, D. (2002). Virtual reality in construction: a review. *Engineering computational technology*, 25-52.

Wang, X. (2007). Mutually augmented virtual environments for architectural design and collaboration. In *Computer-Aided Architectural Design Futures (CAADFutures) 2007* (pp. 17-29). Springer, Dordrecht.

Wang, P., Wu, P., Wang, J., Chi, H. L., & Wang, X. (2018). A critical review of the use of virtual reality in construction engineering education and training. *International journal of environmental research and public health*, 15(6), 1204.