



**A review of the application of virtual reality in
the safety management of construction projects
(with emphasis on training)**

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 subject literature on the application of virtual reality in the safety management of construction projects (with emphasis on education). Virtual reality and project safety management evaluation criteria are two basic concepts in project success. Although their importance has been increasingly explored, an integrated and coherent review of critical safety factors, evaluation criteria, and project performance metrics has not been conducted. This study shows that the quality and effectiveness of the safety management system is one of the vital factors in achieving the goals of the projects. Paying attention to safety issues and preventing workplace accidents reduces risk, provides comfort, increases productivity, improves quality, and should be in a systematic format and under the control of relevant authorities and organizations in the construction industry. Despite the benefits of implementing safety management in construction projects, due to the lack of knowledge of designers about the prerequisites and lack of considerations for creating a safety management system and the lack of new tools and technologies in the design phase of construction projects, especially in developing countries such as Iran. Which should not have been evaluated. Virtual reality is one of those developments that have recently gained popularity and application among project managers. Entering various fields of engineering has increased the efficiency and capability of engineers.

Keywords: Virtual Reality, Safety Management,
Construction Projects, Education.



فصلنامه علمی منابع و سرمایه انسانی، دوره ۲، شماره ۱، بهار ۱۴۰۱
ISSN : 2783-3984

مروری بر کاربرد واقعیت مجازی در مدیریت ایمنی پروژه‌های ساختمانی (با تأکید بر آموزش)
کدمقاله: HRC-2204-1033

مروری بر کاربرد واقعیت مجازی در مدیریت ایمنی پروژه‌های ساختمانی (با تأکید بر آموزش)

بهار جوان مولایی

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

احد نظری

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

سعید رکوعی

استادیار دانشگاه می‌سی‌سی‌پی، آمریکا

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۲/۲۰ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۳/۱۷

چکیده:

این مقاله مروری جامع و نقادانه بر ادبیات موضوع در زمینه کاربرد واقعیت مجازی در مدیریت ایمنی پروژه‌های ساختمانی (با تأکید بر آموزش) دارد. واقعیت مجازی و معیارهای ارزیابی مدیریت ایمنی پروژه دو مفهوم اساسی در زمینه موفقیت پروژه بشمار می‌آیند. اگرچه اهمیت آن‌ها بطور فزاینده‌ای مورد تحقیق قرار گرفته است، اما مرور یکپارچه و منسجمی که شامل عوامل حیاتی ایمنی، معیارهای ارزیابی و سنجش عملکرد پروژه باشد انجام نگرفته است. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد کیفیت و اثربخشی سیستم مدیریت ایمنی، یکی از عوامل حیاتی در تحقق اهداف پروژه‌ها است. توجه به مسائل ایمنی، علاوه بر پیشگیری از حوادث محیط کار، باعث کاهش خطرپذیری، تأمین آسایش خاطر، افزایش بهره‌وری، بالا بردن کیفیت شده و می‌بایست در یک قالب نظام‌مند و تحت کنترل مراجع و سازمان‌های ذیربط صنعت ساخت‌وساز قرار گیرد. علی‌رغم مزایای پیاده‌سازی مدیریت ایمنی در پروژه‌های ساخت‌وساز، به دلیل فقدان آگاهی طراحان نسبت به پیش‌نیازها و عدم ملاحظات ایجاد سیستم مدیریت ایمنی و همچنین نبود ابزارها و تکنولوژی‌های نوین در مرحله طراحی پروژه‌های ساخت، بخصوص در کشورهای در حال توسعه همچون ایران، این سیستم هنوز آنچنان که باید مورد ارزیابی قرار نگرفته است. 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.

واژگان کلیدی: واقعیت مجازی، مدیریت ایمنی، پروژه‌های ساختمانی، آموزش



مقدمه :

امروزه محیط پروژه‌ها بسیار متغیر بوده و وجود عدم قطعیت در آن‌ها بسیار زیاد است و همین امر وقوع ریسک‌های زیاد ایمنی را در مراحل مختلف اجرای پروژه به دنبال خواهد داشت (سیستم مدیریت ایمنی و بهداشت شغلی^۱، ۲۰۲۱). تحقیقات گسترده در این زمینه نشان داده است که طبیعت پیچیده و پویای صنعت ساخت‌وساز، یکی از دلایل اصلی بروز تلفات فراوان در پروژه‌ها است. چرا که هر پروژه ساختمانی منحصر به فرد بوده و شناسایی تمام خطرات احتمالی در یک پروژه و مدیریت آن‌ها، دلیلی بر عدم رخداد حوادث دیگر در سایر پروژه‌ها نخواهد بود (آزار^۲، ۲۰۱۷). صنعت ساخت‌وساز به عنوان یکی از خطرآفرین‌ترین صنایع موجود در دنیا نیز همواره با این ریسک‌ها و خطرات همراه می‌باشد (پناهی و خانزادی، ۱۳۹۷). از جمله ریسک‌های ایمنی که عمدتاً در مراحل ساخت و اجرای پروژه‌های عمرانی از نظر دور مانده و ممکن است خسارات متعددی را چه از لحاظ زمانی و چه از لحاظ هزینه‌ای به دنبال داشته باشد، ریسک‌های مرتبط با حوزه HSE^۳ در فرآیند ساخت پروژه‌هاست (سگورا و همکاران^۴، ۲۰۰۷).

عدم مدیریت صحیح سلامت، بهداشت، ایمنی و محیط‌زیست در یک سایت ساختمانی، می‌تواند یک پیمانکار را با شکست مواجه سازد. مطالعه آمار و ارقام مربوط به حوادث ساختمانی ناشی از عدم پیاده‌سازی صحیح مدیریت ایمنی در پروژه‌های ساخت‌وساز نشان می‌دهد که به دلیل نبود درک صحیح و همچنین ابزاری کارآمد جهت رفع نیازهای سیستم HSE، تلفات مالی و جانی فراوانی در پروژه‌ها حاصل گردیده است (آزار^۲، ۲۰۱۷). این در حالی است که توجه به الزامات ایمنی پروژه‌ها باعث کاهش اثرات زیان‌آور اجرای پروژه‌ها خواهد شد. به عبارت بهتر، برخلاف باور رایج که HSE را مانعی در برابر سرعت و روانی کار می‌داند، از منظر اقتصادی و دیدگاه بهره‌وری منابع انسانی، می‌توان با تهیه یک الگو برای استقرار سیستم مدیریت ایمنی در پروژه، به ساماندهی کار با راندمان بیشتر کمک نمود (حسینوند و همکاران، ۱۳۹۷). بر این اساس می‌توان گفت که کیفیت و اثربخشی سیستم مدیریت ایمنی، یکی از عوامل حیاتی در تحقق اهداف پروژه‌ها است. توجه به مسائل ایمنی، علاوه بر پیشگیری از حوادث محیط کار، باعث کاهش خطرپذیری، تأمین آسایش خاطر، افزایش بهره‌وری، بالا بردن کیفیت و کاهش اثرات زیان‌بار زیست‌محیطی ناشی از پروژه شده و می‌بایست در یک قالب نظام‌مند و تحت کنترل مراجع و سازمان‌های ذیربط صنعت ساخت‌وساز قرار گیرد (بویر و اسمعیلی^۵، ۲۰۱۵). با پیاده‌سازی و استقرار نظام مدیریت ایمنی در پروژه‌های ساخت‌وساز، بسیاری از خطرات و حوادث عملیاتی اجرایی پروژه‌ها شناسایی شده و بر این اساس، قبل از وقوع خطرات بالقوه، امکان ارائه راه‌حل‌های مناسب در جهت کاهش خطرات قابل ارائه خواهد بود (ژائو و لوکاس^۶، ۲۰۱۸). استقرار سیستم مدیریت ایمنی در فضاهای کارگاهی صنایع مختلف بخصوص پروژه‌های صنعت ساخت‌وساز، امروزه به یکی

^۱. Occupational Health and Safety Assessment Series

^۲. Azhar

^۳. Health, Safety and Environment

^۴. Segura et al.

^۵. Bhoir and Esmaeili

^۶. Zhao and Lucas



از اساسی‌ترین نیازهای پروژه‌ها تبدیل شده است. چراکه ارائه راه‌حل‌های پیشگیرانه به‌صورت همزمان درخصوص موضوعات بهداشت، ایمنی و محیط‌زیست در فضاهای کارگاهی، علاوه بر حذف فعالیت‌های موازی به‌دلیل ایجاد تعادل فنی و اقتصادی، سبب سهولت در افزایش بهره‌وری نیروی انسانی نیز می‌گردد (فام و همکاران^۱، ۲۰۱۸).

علی‌رغم مزایای پیاده‌سازی مدیریت ایمنی در پروژه‌های ساخت‌وساز، به دلیل فقدان آگاهی طراحان نسبت به پیش‌نیازها و عدم ملاحظات ایجاد سیستم مدیریت ایمنی و همچنین نبود ابزارها و تکنولوژی‌های نوین در مرحله طراحی پروژه‌های ساخت، بخصوص در کشورهای درحال توسعه همچون ایران، این سیستم هنوز آنچنان که باید مورد ارزیابی قرار نگرفته است (ضیاء شمس و مجروحی سردرود، ۱۳۹۶). همواره استفاده از ابزارها و تکنولوژی نوین موجب پیشبرد اهداف پروژه‌ها بوده است و فناوری مدلسازی اطلاعات ساختمان^۲ یکی از آن دسته پیشرفت‌هایی است که به‌تازگی 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 (توان لی و همکاران^۳، ۲۰۱۵). تکنولوژی مدلسازی اطلاعات ساختمان به‌عنوان نگرشی نوین در صنعت ساخت و ساز است که توانسته در بخش‌های مختلف این صنعت نظیر طراحی اولیه، طراحی جزئیات و مدیریت تعارضات و مدیریت زمان و هزینه و موارد بسیار دیگری از این قبیل مورد استفاده قرار بگیرد (ساکز و همکاران^۴، ۲۰۱۵).

فناوری مدلسازی اطلاعات ساختمان، فرآیند ساخت یک مدل دیجیتالی از همه جزئیات برنامه‌ریزی، طراحی، ساخت و بهره‌برداری یک ساختمان می‌باشد که دارای اجزاء و اشیای هوشمند بوده و کنترل رفتار روابط آن‌ها توسط قوانینی با نام قواعد پارامتری تعریف می‌شود (پارک و کیم^۵، ۲۰۱۲). این سیستم یک واژه توصیفی برای فرآیندهای پیشرفته، مشارکتی و اطلاعاتی است که برای طراحی، ساخت و بهره‌برداری از محیط‌های ساخته‌شده و یا در حال ساخت استفاده می‌شود. سیستم مدلسازی اطلاعات ساختمان و مستندسازی دیجیتالی اطلاعات به صورت چند بُعدی در آن، امکان استفاده از اطلاعات طراحی و ساخت‌وساز را با شیوه‌ای هوشمندانه‌تر در اختیار کاربران و ذینفعان قرار می‌دهد (لی و همکاران^۶، ۲۰۱۸). تفاوت BIM، یا یک مدل سه بُعدی CAD، توانایی آن در ذخیره اطلاعات مربوط به اجزاء و فعالیت‌های مختلف ساخت به‌صورت یکپارچه در مدل‌های چندبُعدی است، این اطلاعات شامل مواردی از قبیل برنامه زمانبندی و هزینه‌ای، مشخصات مصالح و قطعات، راهنمای نصب قطعات، راهنمای بهره‌برداری، الزامات ایمنی، مصرف انرژی و غیره می‌باشد (مور و قیصری^۷، ۲۰۱۹). یکی از مهم‌ترین کاربردهای سیستم مدلسازی اطلاعات ساختمان، قابلیت‌های آن در ایمن‌سازی محیط پروژه‌ها است (راید^۸، ۲۰۱۵). این سیستم، منافع زیادی برای مدیریت ایمنی در صنعت ساخت‌وساز به همراه دارد؛ چراکه با ایجاد یک محیط مشارکتی مابین متخصصین طراحی و تیم سازندگان، سبب ارتقاء شرایط برقراری ایمنی در کارگاه شده و بر این اساس طراحان می‌توانند تصمیمات بهتری در فرآیند اجرای پروژه بگیرند (افضل و شفیق^۹، ۲۰۲۱). همچنین استفاده از سیستم

^۱. Pham et al.

^۲. Building Information Modeling

^۳. Tuan Le et al.

^۴. Sacks et al.

^۵. Park and Kim

^۶. Li et al.

^۷. Moore and Gheisari

^۸. Raid

^۹. Afzal and Shafiq

مدلسازی اطلاعات ساختمان، امکان درک عمیق و صحیح از توالی تمامی فعالیت‌های کاری در سایت‌های ساخت‌وساز را فراهم نموده و با بکارگیری آن، احتمال وقوع حوادث در سایت قابل کاهش خواهد بود (ساکز و همکاران، ۲۰۱۳). در سال‌های اخیر، استفاده از فناوری مدلسازی اطلاعات ساختمان جهت تجسم و بصری‌سازی مراحل مختلف چرخه عمر پروژه‌های ساختمانی افزایش قابل توجهی داشته است. فناوری مدلسازی اطلاعات ساختمان با ارائه شبیه‌سازی‌های چند بُعدی و محیط‌های واقعیت مجازی از یک پروژه و سایت ساختمانی، می‌تواند منجر به ارتقاء ایمنی شغلی در پروژه‌ها شده و به‌صورت بصری، ارزیابی خطرات احتمالی را قبل از پیشرفت مراحل مختلف ساخت‌وساز در اختیار معماران، مهندسان و پیمانکاران قرار دهد (نیریم و همکاران^۱، ۲۰۱۸). استفاده از این سیستم برای مدیریت ایمنی در اجرای پروژه‌های ساخت و ساز، با افزایش درک عمیق از سایت پروژه، احتمال وقوع حوادث و خطرات پروژه را کاهش می‌دهد (ژو و ژنگ^۲، ۲۰۲۰). علی‌رغم کاربردهای فراوان سیستم مدلسازی اطلاعات ساختمان در توسعه پیش‌نیازهای حوزه HSE در صنعت ساخت و ساز، هنوز هم این موضوع در مطالعات گذشته مورد بررسی قرار نگرفته است. به همین منظور و با توجه به مجموع مطالب فوق، در این پژوهش تلاش خواهد شد تا مروری بر کاربرد واقعیت مجازی در مدیریت ایمنی پروژه‌های ساختمانی (با تأکید بر آموزش) داشته باشیم.

متدولوژی:

در این تحقیق در ابتدا کلمات کلیدی واقعیت مجازی، مدیریت ایمنی، پروژه‌های ساختمانی، آموزش در مگ ایران (mag iran)، ایرانداک (irandoc)، google scholar، civilica، oatd، scopus جستجو شد و بالغ بر ۴۰ مقاله یافت شد که در میان آن‌ها بر اساس سال انتشار، موضوع مقالات، citation و ژورنال‌های هر یک، ۲۹ مقاله انتخاب و مورد بررسی قرار گرفت. بر اساس این ۲۹ مقاله ژورنالی، این مقاله به مروری نقادانه بر مطالعات اخیر انجام گرفته در موضوعات عنوان شده از سال ۲۰۰۷ تا ۲۰۲۱ پرداخته است. این تحقیق بر کاربرد واقعیت مجازی در مدیریت ایمنی در سطح پروژه‌های ساختمانی متمرکز شده است.

مدیریت ایمنی ساخت و ساز:

در بخش ساخت‌وساز، مشکلات اصلی اجرای ایمنی ناشی از پیچیدگی پروژه و کارکنان متعدد و حجم وسیع کار و شدت و سختی کار، دوره عمر طولانی محصول نهایی، همچنین منحصربفرد بودن اهدافی که در شرکت توسعه یافته و جنبه‌های اقتصادی و اجتماعی می‌باشد (مور و قیصری، ۲۰۱۹). ویژگی‌های صنعت ساخت‌وساز و هر پروژه باعث افزایش دشواری اجرای اقدامات پیشگیرانه در پروژه و در نتیجه منجر به ازدیاد آسیب‌ها و حوادث شغلی می‌گردد (وانگ و همکاران، ۲۰۱۸). در کل مدیریت ساخت با مشکلات مختلفی مانند امکان‌سنجی و قابلیت همکاری تمام عوامل، طراحی دقیق، استفاده از روش‌های مناسب، انتخاب مصالح درست، برآورد دقیق هزینه، سازگاری و برنامه‌ریزی دقیق، مدیریت ریسک‌های ایمنی و بهداشتی مواجه می‌باشد. به لحاظ فقدان ویژگی تمان اجزای طراحی و ساخت در یک پروژه، لازم است که سازگاری بین برنامه‌های ساختمانی، ایمنی برنامه‌ریزی و فرآیند ساخت‌وساز، در تمام فرآیند از همان مرحله نخست با یک چشم‌انداز



یکپارچه شروع شود چرا که در گام اول پروژه همه عوامل شامل طراحی و هزینه و برنامه‌ریزی و اقدامات ایمنی و سازگاری و امکانات و هر تصمیم دیگری برای پروژه، نفوذ و قدرت و تأثیر بیشتری نسبت به مراحل بعد پروژه دارد (ژو و ژنگ، ۲۰۲۰). فرصت ایده‌آل برای تأثیر ایمنی ساخت‌وساز در هنگام آغاز طراحی و فازهای جزئی طراحی می‌باشد و می‌تواند بر ایمنی مؤثر باشد. بنابراین توانایی تأثیر ایمنی در ساخت با پیشرفت پروژه کاهش می‌یابد به همین دلیل اجرای تمام موارد ایمنی در گام‌های آغازین ضروری است (ژائو و لوکاس، ۲۰۱۵). بنابراین ارتباطات بین تمام اجزای طراحی و پروژه، نقش مهمی در همه مراحل پروژه برای انتشار مفاهیم و گزینه‌های طرح و اقدامات ایمنی بین همه عوامل بازی می‌کند (فام و همکاران، ۲۰۱۸). در حال حاضر، ارتباطات در جهت یک‌طرفه شدن و بدون بحث بین سهامداران پروژه، تمایل دارد که پیش رود. برای تغییر این روند، استفاد از فناوری‌های نوین در فاز طراحی ایمن‌سازی پروژه ضروری است، یکپارچه‌سازی همه اطلاعات در هر حال و بطور پیوسته در دسترس بودن آن‌ها منجر به مدلسازی اطلاعات ساختمان خواهد شد (پارک و کیم، ۲۰۱۲).

ممیزی ایمنی و سلامت، مدیران منابع انسانی را برای کسب بازخورد در مورد کارایی و اثربخشی برنامه‌های ایمنی و سلامت حرفه‌ای سازمان‌ها و انجام کار با روش درست و اصلاح شده، فعال می‌کند. ممیزی ایمنی و سلامت حرفه‌ای این امکان را ایجاد می‌کند تا در زمان معین و برنامه‌ریزی شده، خطرات به‌طور سیستماتیک تحت نظر قرار گرفته و کنترل‌هایی به منظور اطمینان از سیاست‌های ایمنی و سلامت حرفه‌ای ایجاد شوند. در انجام این کار سازمان‌ها باید ارزیابی یکپارچه را توسعه داده و داده‌های موردنیاز مدیران به‌منظور بهبود عملکرد ایمنی و سلامت و ایجاد یک فرهنگ ایمنی و سلامت و ایجاد یک فرهنگ ایمنی مثبت را تأمین کنند. یکی از راه‌های مهم جلوگیری از حوادث، تقویت فرهنگ ایمنی در محیط کار است. مدیریت بر فرآیند حوادث یعنی بررسی علل حوادث در حین کار و انجام اقدامات پیشگیرانه است و یکی از مکانیسم‌های مهم مدیریت در فرآیند حوادث، انجام به موقع معاینات دوره‌ای است که نقش پیشگیرانه و درمانی دارد.

مروری بر پیشینه تحقیقات:

شناسایی، کنترل و مدیریت ریسک‌ها و خطرات مختلف مرتبط با ایمنی در صنعت معماری، مهندسی و ساخت‌وساز^۱ یک مسئله جهانی است که امروزه مورد توجه بسیاری از محققین صنعت ساخت قرار گرفته است. عدم رعایت قوانین و استانداردها و کنترل صحیح ریسک‌های ایمنی، نه تنها ممکن است پروژه‌ها را در دستیابی به اهداف خود با مشکلات زیادی همراه نماید، بلکه بر برنامه‌ریزی استفاده از زمین و طراحی فضاهای مفید ساخت‌وساز در رشد آینده شهرها نیز تأثیرگذار خواهد بود. در سال‌های اخیر، فن‌آوری‌های مختلف ساخت‌وساز با هدف ارائه راه‌های جدید برای افزایش مدیریت ایمنی در سراسر کل چرخه حیات پروژه توسعه یافته است که هدف اصلی آن‌ها ایمنی مبتنی بر مدیریت است (اهن و همکاران^۲، ۲۰۲۰). این فن‌آوری‌ها کمک می‌کند تا خطاهای انسانی در هر مرحله‌ای از چرخه حیات پروژه شناسایی شده و اقدامات پیشگیرانه برای مقابله با آن‌ها پیشنهاد گردید تا بدین طریق از وقوع حوادث ساخت جلوگیری شود. از سال ۱۹۹۱، مطالعات مختلف نشان داده‌اند که احتمال پیوند سیستم‌های طراحی همچون CAD و فرآیند برنامه‌ریزی و مدیریت ایمنی در پروژه‌های ساخت‌وساز امکان‌پذیر است (وانگ و همکاران^۳، ۲۰۱۸). از آن سال به بعد بهره‌گیری از این سیستم‌ها به‌عنوان جایگزینی برای توسعه

^۱. Architecture, Engineering and Construction

^۲. Ahn et al.

^۳. Wang et al.

مدل‌های برنامه‌ریزی و پایگاه‌های داده‌ای در دسترس برای مدیریت ایمنی گسترش یافته است (عبدالعزیز و همکاران، ۲۰۱۴). امروزه یکی از پرطرفدارترین فناوری‌های توسعه‌یافته در این زمینه، سیستم مدل‌سازی اطلاعات ساختمان است. این فناوری رویکرد نسبتاً جدیدی برای طراحی، ساخت‌وساز و مدیریت امکانات و اطلاعات در پروژه است که از طریق مستندسازی دیجیتال، فرآیند تبادل اطلاعات را در پروژه تسهیل می‌نماید (توان‌لی و همکاران، ۲۰۱۵). با توجه به توسعه سریع و پذیرش سیستم مدل‌سازی اطلاعات ساختمان و فن‌آوری‌های مجازی مرتبط با آن، استفاده از این فناوری‌ها برای مدیریت ریسک ایمنی، به یک روند تحقیق در حال رشد تبدیل شده است و توجه بسیاری از محققین را به بهره‌گیری از برنامه‌های کاربردی مدل‌سازی اطلاعات ساختمان در مدیریت ایمنی صنعت ساخت جلب نموده است. همین موضوع تقاضا برای بازبینی و واکاوی مقالات و منابع منتشرشده در این زمینه را افزایش می‌دهد تا از این طریق ضمن شناسایی و سنجش تحقیقات گذشته، راهکارهایی برای انجام تحقیقات بهبودیافته در خصوص مدیریت ایمنی مبتنی بر واقعیت مجازی گسترش یابد. از همین رو در ادامه تلاش شده است تا پس از مروری بر ادبیات موضوع، به بررسی و شناسایی تحقیقات انجام شده در زمینه مدیریت ریسک‌های ایمنی مبتنی بر واقعیت مجازی در حوزه ساخت‌وساز پرداخته شود که در ادامه به گزیده‌ای از این تحقیقات پرداخته شده است.

سگورا و همکاران (۲۰۰۷) در مقاله خود، تأثیر یک طرح مقدماتی ایمنی در مقیاس بزرگ را در طراحی و ساخت یک تأسیسات نیمه‌هادی را مورد بررسی قرار داده‌اند. در این تحقیق، نویسندگان براساس منابع متعدد، شامل مصاحبه‌های فردی، مصاحبه‌های گروهی، اسناد ساخت‌وساز و پانل‌های تخصصی ایمنی، تعداد ۲۶ تغییر احتمالی طراحی در پروژه را شناسایی کرده و اهمیت زمان‌بندی، مشارکت قراردادهای تجاری و نوع طراحی را بر ایمنی پروژه ارزیابی نموده‌اند. در این مقاله، تأثیر تغییرات طراحی تصویب شده بر عملکرد ایمنی پروژه مورد بررسی قرار گرفته و بر این اساس، مهم‌ترین دیدگاه‌های مطرح در زمینه تلاش برای پیشگیری از آسیب‌های احتمالی در فرآیند ساخت پروژه با درگیر شدن طراحان، مهندسان و پیمانکاران در مراحل پیش‌سازمانی پروژه شناسایی گردیده است (سگورا و همکاران، ۲۰۰۷).

ساکز و همکاران (۲۰۱۵) در تحقیق خود به بررسی ارتباط مستقیم بین مرگ و میر ناشی از حوادث ساختمانی و طراحی مفهوم ایمنی در پروژه‌های ساخت‌وساز در پرداخته‌اند. نتایج این تحقیق نشان داد که ۴۲ درصد از مرگ و میرهای رخ داده با مفهوم عدم کفایت مدیریت ایمنی در پروژه‌ها مرتبط بوده است؛ همچنین براساس نتایج این تحقیق آماری مشخص شد که ایجاد یک سیستم ایمنی بسته به ویژگی‌های هر پروژه منحصر به فرد بوده و در صورت طراحی یک سیستم مدیریت ایمنی اصولی، ریسک‌های مربوط به حوادث، کاهش زیادی خواهد یافت یا به‌طور کلی حذف خواهد شد (ساکز و همکاران، ۲۰۱۵). همچنین نتیجه مطالعات بویر و اسماعیلی (۲۰۱۵) در نظرسنجی از خبرگان صنعت ساخت در خصوص ادراک آن‌ها از تأثیر ویژگی‌های واقعیت مجازی بر شاخص‌های عملکرد کلیدی (KPIs) صنعت ساخت همچون کنترل کیفیت، زمان، هزینه، ایمنی نشان داده است که برخلاف سه شاخص اول، پارامتر ایمنی و مزایای مدل‌سازی اطلاعات ساختمان در کنترل آن چندان مورد توجه خبرگان قرار نگرفته است (بویر و اسماعیلی، ۲۰۱۵).

فام و همکاران (۲۰۱۸) در تحقیق خود، اقدام به طراحی ابزار ایمنی ساختمانی مبتنی بر سیستم بصری‌سازی واقعیت مجازی نموده‌اند که قادر است ایمنی طراحان و سازندگان را به‌صورت کارآمد در فازهای مختلف پروژه مدنظر قرار بدهد. در ابزار پیشنهادی، ابتدا کلیه خطرات و ریسک‌های بالقوه موجود در فرآیند ساخت پروژه شناسایی و جمع‌آوری شده و سپس یک

فرهنگ لغت کامل و یک مدل محدودیت‌ساز برای جلوگیری از کارها و ریسک‌های پرخطر به صورت یک پلتفرم طراحی ذخیره می‌شود. سپس با بهره‌گیری از بسته نرم‌افزاری و بررسی مدل پیشنهادی در فاز ساخت پروژه، می‌توان نظارت دقیقی بر ایمنی کارکنان داشت. این ابزار همچنین باعث می‌شود که معماران نقشه‌های بهینه‌سازی شده‌ای را برای اطمینان از به حداقل رساندن خطرات و ریسک‌های ایمنی در طول ساخت پروژه فراهم نمایند. در عین حال، سازندگان نیز می‌توانند اقدامات محافظتی را برای از بین بردن خطرات ساخت‌وساز از آغاز پروژه انجام دهند. بنابراین در هر دو مرحله طراحی و ساخت، با استفاده از این ابزار طراحی شده برای مدیریت ایمنی، بهبود قابل ملاحظه‌ای در ایمنی ساخت‌وساز ایجاد خواهد شد (فام و همکاران، ۲۰۱۸).

توان لی و همکاران (۲۰۱۵) در مقاله خود به بررسی توسعه و بکارگیری قوانین و چارچوب‌های خودکار مدیریت ایمنی با استفاده از رویکرد واقعیت مجازی پرداخته‌اند. الگوریتم‌های توسعه داده شده در این مقاله یک مدل اطلاعات ساختمانی برای تشخیص خودکار خطرات و ریسک‌های ایمنی و پیشنهاد اقدامات پیشگیرانه برای کاربران در مواجهه با خطرات سقوط از ارتفاع در پروژه توسعه داده شده است. یک جستجوگر مبتنی بر استاندارد و الزامات قوانین کار و ایمنی که از این چارچوب استفاده می‌کند، در یک پلتفرم تجاری مبتنی بر سیستم مدل‌سازی اطلاعات ساختمان اجرا شده است تا قابلیت انجام این رویکرد را نشان دهد. در نتیجه، توسعه پلتفرم ایمنی خودکار، مهندسين و مدیران ساختمان را با گزارش دادن، چرایی، جانمایی، زمان و اقدامات پیشگیرانه ایمنی برای جلوگیری از حوادث ناشی از سقوط از ارتفاع در پروژه، قبل از شروع ساخت، اطلاع‌رسانی می‌نماید (توان لی و همکاران، ۲۰۱۵).

لی و همکاران (۲۰۱۸) در تحقیق خود در بین ۳۶ مدیر HSE در پالایشگاه گاز، اقدام به بهینه‌سازی سیستم مدیریت ایمنی در فعالیت‌های تعمیر و نگهداری مرتبط با پالایشگاه‌ها با ادغام چرخه بهبود مستمر دمینگ و رویکرد چندمتغیره فازی و روش تحلیل پوششی داده‌ها نموده‌اند. مراحل اصلی این تحقیق شامل شناسایی سیستم‌های مدیریت بهداشت، ایمنی و محیط‌زیست، انتخاب شاخص‌های عملکرد (ورودی و خروجی)، جمع‌آوری داده‌ها و آماده‌سازی آن‌ها، انتخاب مدل تحلیل پوششی مناسب، حل مدل تحلیل پوششی داده‌ها بوده است و در انتها با استفاده از داده‌ها از رویکرد فازی، برنامه مدیریت ایمنی در یک پالایشگاه گاز بهبود یافته است (لی و همکاران، ۲۰۱۸).

پارک و کیم (۲۰۱۲) در مورد بررسی کارکرد مدل‌سازی اطلاعات ساختمان برای آموزش به کارگرانی است که زبان متفاوتی دارند که در این مورد به کارگرانی که عمدتاً اسپانیایی زبان هستند و در یک کشور انگلیسی زبان کار می‌کنند، به‌وسیله مدل‌سازی اطلاعات ساختمان و تصویرسازی آموزش داده شد و طی نظرسنجی که بعد از این روش آموزش از کارگران به عمل آمده بود، نسبت به این روش رضایت بیشتری داشتند و از ۲۲ نفر، ۹ نفر به‌شدت موافق و ۱۱ نفر هم موافق بودند (پارک و کیم، ۲۰۱۲).

ژائو و لوکاس (۲۰۱۵) در تحقیق خود به بررسی استفاده از واقعیت مجازی در صنعت ساخت‌وساز با تمرکز بر ارتباط این تکنولوژی با مدیریت سلامت و ایمنی در پروژه پرداخته‌اند. در این تحقیق، علاوه بر بررسی گسترده ادبیات تحقیق، با استفاده از یک پرسشنامه، اقدام به جمع‌آوری اطلاعات درباره تعویض برنامه‌ریزی سلامت و ایمنی در ارتباط با محیط واقعیت مجازی برای متخصصین سایت شده است. نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل پاسخ پرسشنامه‌ها در این تحقیق نشان داد که واقعیت مجازی، قادر به بهبود برنامه‌ریزی‌های سازماندهی شده برای مدیریت سلامت و ایمنی برای پرسنل مختلف پروژه می‌باشد. همچنین نتایج این بررسی نشان داد که برای ایجاد محیطی ایمن در پروژه‌های ساخت‌وساز، می‌بایست واقعیت مجازی در

ادغام با سیستم‌های مدیریت سلامت و ایمنی ادغام شده و در سایت‌های ساخت‌وساز مورد استفاده قرار بگیرد (ژائو و لوکاس، ۲۰۱۵).

در بررسی‌های صورت گرفته توسط اهن و همکاران (۲۰۲۰) در خصوص مطالعات ایمنی این نتیجه حاصل شد که درک ویژگی‌های واقعیت مجازی به‌عنوان یک ابزار مفید و منحصر به فرد برای مدیریت ایمنی چندان مورد توجه قرار نگرفته است. همچنین نتایج این مطالعه نشان داده است که تنها ۲۱ نوع از تکنولوژی‌های نوآورانه کاربردی و ۶ سند مرتبط با استفاده از واقعیت مجازی در مدیریت ایمنی وجود داشته است (اهن و همکاران، ۲۰۲۰).

ساکز و همکاران (۲۰۱۳) در مقاله دیگری خود به بررسی میزان خطرات و ریسک‌های احتمالی سقوط از ارتفاع در پروژه‌های ساخت‌وساز پرداخته و به ارزیابی چگونگی شناسایی و حذف این خطرات در مراحل اولیه برنامه‌ریزی پروژه‌های ساختمانی با بهره‌گیری از رویکرد واقعیت مجازی پرداخته‌اند. در این تحقیق، محققین اقدام به توسعه چارچوبی نموده‌اند که شامل الگوریتم‌های کنترل ایمنی به‌صورت خودکار از طریق واقعیت مجازی می‌باشد. نمونه اولیه توسعه‌یافته در این مقاله، در یک پروژه مسکونی مورد آزمایش قرار گرفت. اولین مطالعه موردی، مقایسه مدل دستیابی به سیستم خودکار ایمنی از طریق سیستم‌های حفاظتی را نشان داده است. در این مطالعه، همچنین جزئیات طرح و ساخت دستگاه‌های ایمنی حفاظتی مورد بررسی قرار گرفته است. مطالعه موردی دوم نشان‌دهنده نتایج استفاده از چارچوب برنامه زمان‌بندی پروژه است. این مطالعه به‌طور خاص، شبیه‌سازی تشخیص و پیشگیری از خطرات سقوط از ارتفاع در پروژه است. سهم این کار، یک چارچوب قانونی کنترل خودکار است که ایمنی را به تأثیر و نقش واقعیت مجازی ربط می‌دهد و متخصصان را با روشی برای شناسایی و جلوگیری از خطرات مرتبط با سقوط از ارتفاع در پروژه‌ها آشنا می‌کند. همچنین در این مقاله مباحثی در خصوص تجاری‌سازی نمونه اولیه و ملاحظات چارچوب توسعه‌یافته بیان شده است که درک آن‌ها می‌تواند تأثیر بسزایی در حل مسائل ایمنی و گسترش شیوه‌های مدیریت ایمنی سنتی به همراه داشته باشد (ساکز و همکاران، ۲۰۱۳).

مسأله‌ای که در تحقیق عبدالعزیز و همکاران (۲۰۱۴) به آن پرداخته می‌شود این است که ریشه پاره‌ای از حوادث مربوط به سازه‌های موقت و مختصاً داربست است که اولین مورد آن تداخل کار گروه‌ها با محل قرارگرفتن داربست است و با برنامه‌ریزی توسط واقعیت مجازی باید از این تداخل جلوگیری گردد، مورد بعد سقوط اشیا از روی داربست است که به وسیله برنامه‌ریزی حرکت گروه‌ها از فاصله نزدیک به داربست مدیریت می‌شود و سومین مورد افتادن اجسام از تراز ارتفاعی بالاتر بر روی داربست می‌باشد که همگی با برنامه‌ریزی توسط واقعیت مجازی در نظر گرفته می‌گردند (عبدالعزیز و همکاران، ۲۰۱۴). ازدحام و تداخل کار در یک محل یکی از علل وقوع حادثه است که تحقیقی دیگر از نیریم و همکاران (۲۰۱۸) قصد دارد به کمک واقعیت مجازی و برنامه‌ریزی مناسب از بروز این دست حوادث جلوگیری نماید. موردی هم که به آن پرداخته است، برنامه‌ریزی بین کار کارگران بتن‌ریزی و دیگر کارگران و همچنین مصالحی که توسط تاور کرین در محیط جابجا می‌گشته است، می‌باشد. به این صورت که با اتصال سیستم موقعیت‌یاب به کلاه ۳ کارگر و بررسی مدل و الگوی جابجا شدن این افراد هنگام بتن‌ریزی ستون‌ها و همچنین بدست آوردن الگوی جابجایی اجسام توسط تاور کرین، الگوی این دو مورد را بدست آورده و با برنامه‌ریزی، حالتی که این دو الگو کمترین تداخل را دارند، بدست آورده است (نیریم و همکاران، ۲۰۱۸).

پژوهش وانگ و همکاران (۲۰۱۸) به بررسی و معرفی محرک‌های ریسک پرداخته است که یافته‌ها نتیجه بررسی ۳۶۳ مورد حادثه مختلف می‌باشد و در چهار بخش سقوط از ارتفاع، اعمال نالیمن، شک الکتریکی و گیر افتادن بین اشیا، این محرک‌ها را بررسی کرده است و در این مقاله این ادعا مطرح گردیده است که در صورت در نظر گرفتن این محرک‌ها در مرحله طراحی، حوادث تا میزان ۴۰ درصد می‌تواند کاهش یابد (وانگ و همکاران، ۲۰۱۸).

ژو و ژنگ (۲۰۲۰) براساس مطالعه خود درخصوص بررسی درصد آثار منتشر شده در زمینه واقعیت مجازی از منظر مدیریت پروژه، به این نتیجه دست یافته‌اند که ۱۷ درصد از مطالعات موجود در زمینه مدیریت برنامه و تنها ۷ درصد از مطالعات مربوط به مدیریت ایمنی مبتنی بر واقعیت مجازی بوده است. همچنین نتایج این مطالعه نشان داده است که بحث مقالات موجود تا آن زمان بیشتر درخصوص برنامه‌ریزی با واقعیت مجازی، فناوری‌های ابتکاری برای مدیریت ایمنی و همکاری و ارتباطات پروژه‌ها از طریق واقعیت مجازی بوده است. به عبارت بهتر نقش واقعیت مجازی در مدیریت ایمنی در مقالات گذشته، کمتر مورد توجه قرار گرفته است (ژو و ژنگ، ۲۰۲۰).

افضل و شفیق (۲۰۲۱) در مقاله خود به بررسی چارچوب نظری سیستم واقعیت مجازی پیشنهادی برای تعیین شاخص ایمنی در پروژه‌های ساخت‌وساز پرداخته‌اند. در این تحقیق به بررسی وضعیت فعلی ایمنی و بهداشت کار در صنعت ساخت و ساز و بررسی نحوه استفاده از واقعیت مجازی برای بهبود عملکرد ایمنی در صنعت ساخت‌وساز با استفاده از روش پرسشنامه پرداخته شده است. نتایج حاصل از نظرسنجی‌ها در این تحقیق نشان داد که اکثر شرکت‌های ساخت، سیاست‌ها، برنامه‌ها و رویه‌های لازم را در مورد شیوه‌های ایمنی و بهداشت محیط کار انجام داده‌اند. با این حال سیستم واقعیت مجازی در این شیوه‌ها چندان مورد استفاده قرار نگرفته و بر این اساس یک سیستم تولید و ایمنی هوشمند شامل مفهوم طراحی ساختاری، نظریه تشخیص، پیشگیری و کنترل خطرات و سیستم امتیازدهی حسابرسی ایمنی ساختمانی ارائه گردیده است. این سیستم به کاربران اجازه می‌دهد تا قبل از شروع پروژه و پیشبرد پروژه، جنبه‌های کلیدی عملکرد ایمنی پروژه را تحلیل و نظارت کنند (افضل و شفیق، ۲۰۲۱).

مور و قیصری (۲۰۱۹) در تحقیق خود به بررسی مسئله طراحی ایمنی پرداخته و بیان داشته‌اند که طراحی ایمنی به‌عنوان یک رویکرد مؤثر برای بهبود عملکرد ایمنی ساختمان با توجه به مشکلات ایمنی در هنگام طراحی در نظر گرفته شده است. در این تحقیق تلاش شده است تا با بکارگیری سیستم واقعیت مجازی، یک رویکرد عملی برای طراحی ایمنی با قابلیت شناسایی خودکار مشکلات احتمالی در ساختمان ارائه گردد. به همین منظور، ابتدا قوانین طراحی ایمنی مرتبط با ایمنی در پروژه‌های ساختمانی شناسایی شده و سپس با بکارگیری سیستم واقعیت مجازی، روشی یکپارچه برای شناسایی خودکار مشکلات ایمنی طراحی شده است. نتیجه این امر، عوامل خطرساز در طراحی در طول ساخت ساختمان در محل مشخص شده و در مقایسه با روش‌های مدیریت ایمنی سنتی، این روش با توجه به شناسایی اتوماتیک، منجر به کاهش هزینه‌های دوباره‌کاری به منظور چک کردن ایمنی و بهبود عملکرد مدیریت ایمنی ساختمان خواهد شد (مور و قیصری، ۲۰۱۹).

آزار (۲۰۱۷) در مقاله خود با انجام سه مطالعه موردی در پروژه‌های صنعت ساخت‌وساز، به بررسی اثربخشی فناوری‌های بصری‌سازی و تجسم خطرات احتمالی در طراحی پروژه‌های ساخت‌وساز و ارتباط و اجرای طرح‌های ایمنی ساختمان پرداخته‌اند. نتایج مطالعات موردی در این تحقیق نشان داد که ابزارهای پویای سه و چهاربُعدی در طراحی و مدیریت ایمنی پروژه‌های ساخت‌وساز، در مقایسه با ابزارهای دوبُعدی، بسیار مؤثرتر عمل می‌نمایند. چراکه ابزارهای چندبُعدی، قادر به شبیه‌سازی شرایط واقعی فرآیند اجرای پروژه بوده و علاوه بر این، تکنولوژی‌های بصری‌سازی در آموزش پیش‌نیازهای ایمنی در صنعت ساخت‌وساز در هر دو حالت رسمی و غیررسمی بسیار مؤثر خواهد بود (آزار، ۲۰۱۷).

راید (۲۰۱۵) در مقاله خود یک مدل مدیریت ایمنی چهاربُعدی مبتنی بر واقعیت مجازی جهت شناسایی خطرات بالقوه ایمنی در پروژه‌های ساخت پرداخته است. در این سیستم پس از شناسایی خطرات، با ترکیب اطلاعات متخصصین تجربی سابت و همچنین بهره‌گیری از واقعیت مجازی، اقدامات پیشگیرانه برای پیشگیری از حوادث احتمالی پروژه ارائه خواهد شد.



نتایج این تحقیق نشان داد که در صورت استفاده از سیستم پیشنهادی، تعداد مرگ و میر ناشی از حوادث و خسارات وارده به‌طور قابل‌توجهی کاهش یافته و کاربرد عملی این مدل به متخصصان ایمنی این اجازه را می‌دهد تا خطرات را شناسایی کرده و راهبردهای مناسب رفع آن را توسعه دهند (راید، ۲۰۱۵).

لی و همکاران (۲۰۱۸)، در مقاله خود به بررسی متدولوژی‌های کنترل ریسک‌های ایمنی در صنعت ساخت متروی کشور چین با استفاده از واقعیت مجازی پرداخته‌اند. این محققین بیان نموده‌اند که خطرات و ریسک‌های ساخت‌وساز مترو در کشور چین به دلیل عدم کنترل ریسک‌ها ایمنی در زمینه ساخت‌وساز، در مقیاس بزرگی رخ داده و به یکی از مسائل چالش‌برانگیز در این کشور تبدیل شده است. کنترل ریسک ایمنی برای ساخت مترو چین، عمدتاً شامل شناسایی ریسک پیش از ساخت و علائم هشداردهنده ریسک و خطر در ساخت‌وساز است که به‌عنوان یک "جعبه سیاه" مدیریت ریسک ایمنی در پروژه‌ها در کشور چین شناخته می‌شود. در این مقاله براساس پلتفرم واقعیت مجازی، یک سیستم شناسایی ریسک ایمنی^۱ و سیستم هشداردهنده زودهنگام^۲ برای پروژه‌های ساخت مترو در کشور چین ارائه شده است. روش‌ها از جمله فرآیند مدل‌سازی، روش‌ها و تکنولوژی‌های کلیدی برای سیستم شناسایی ریسک ایمنی و سیستم هشداردهنده زود هنگام در مورد جزئیات بیشتر مورد بحث قرار گرفته است. ابزار شناسایی ریسک ایمنی ساخت پایگاه داده دانش شناسایی ریسک، الگوریتم تطبیق بازیابی طرح و محاسبه سطح اطمینان ریسک می‌باشد. همچنین سیستم هشداردهنده زودهنگام نیز پایگاه داده‌ای تهیه شده مبتنی بر سیستم واقعیت مجازی و فناوری اطلاعات مدرن برای نظارت بر وضعیت ایمنی تصویب می‌نماید (لی و همکاران، ۲۰۱۸).

عاصمی اصفهانی و همکاران (۱۳۹۳) در مقاله خود ابتدا به معرفی، مرور و بررسی کاربردهای حال حاضر واقعیت مجازی در صنعت ساختمان پرداخته و سپس به بررسی تلاش‌های انجام گرفته در جهت گسترش واقعیت مجازی در زمینه‌های ایمنی، انرژی و مدیریت زنجیره تأمین مصالح پرداخته‌اند. یافته‌های این پژوهش هموارکننده آشنایی بیش‌تر و استفاده وسیع‌تر از واقعیت مجازی خواهد بود (عاصمی اصفهانی و همکاران، ۱۳۹۳).

در تحقیق انجام شده توسط شاکری و همکاران (۱۳۹۳)، ضرورت اهمیت استقرار مدیریت ایمنی، بهداشت و محیط‌زیست در کارگاه‌های ساختمانی مورد بررسی قرار گرفته و نتایج این تحقیق نشان داده که از منظر اقتصادی و دیدگاه بهره‌وری، ایمنی در وجه اول کمک و یاور مدیران در ساماندهی کار با راندمان بیشتر می‌باشد و پیشگیری از بروز حوادث و بیماری‌های ناشی از کار و معضلات زیست‌محیطی و افزایش بهره‌وری با در نظر گرفتن سلامت و ایمنی کارگران، مستلزم استقرار و بکارگیری سیستم مدیریت بهداشت، ایمنی و محیط‌زیست و نهادینه کردن آن در کارگاه‌ها می‌باشد (شاکری و همکاران، ۱۳۹۳).

حسین‌زاده و اشتهدردیان (۱۳۹۳) در مقاله خود در ابتدا مهم‌ترین علل حوادث ساخت‌وساز را در گروه‌های برنامه‌ریزی و آموزش بیان نموده و کاستی روش‌های سنتی برای حل این مشکلات را مورد بحث قرار داده‌اند. سپس تحقیقات انجام شده در دهه اخیر در زمینه مدیریت ایمنی به وسیله واقعیت مجازی را دسته‌بندی نموده و تحقیقات صورت گرفته در هر دسته را به تفصیل بررسی و مزایا و محدودیت‌های آن‌ها بیان کردند. پس از آن پتانسیل واقعیت مجازی برای حل مشکلات ایمنی در مراحل پروژه را مورد بررسی قرار داده و در انتها پیشنهادهای برای تحقیقات آتی ارائه کرده اند (حسین‌زاده و اشتهدردیان، ۱۳۹۳).

^۱. Safety Risk Identification System
^۲. Safety Risk Early Warning System

هویدی و همکاران (۱۳۹۳) در پژوهش خود به بررسی نقش فناوری‌های نوین از جمله نرم‌افزارها در مدیریت بحران و حوادث غیرمترقبه پرداخته و سعی معرفی نرم‌افزارهای مدیریت بحران نموده‌اند. این محققین با بررسی مخازن ذخیره‌سازی بنزین انبار مرکزی شرکت ملی پخش فرآورده‌های نفتی یزد که همواره در معرض ریسک انتشار مواد سمی، آتش‌سوزی و انفجار در اثر سوانح طبیعی و غیرطبیعی است، از طریق مدل‌سازی پیامدهای نشت، اشتعال و انفجار با استفاده از نرم‌افزار ALOHA پرداخته و از نتایج حاصل جهت تدوین طرح واکنش در شرایط اضطراری انبار مرکزی شرکت نفت یزد استفاده شده است (هویدی و همکاران، ۱۳۹۳).

حسینی و همکاران (۱۳۹۳) در مقاله خود ضمن تشریح مهم‌ترین مزایای استفاده از واقعیت مجازی، به بررسی ساخت‌پذیری و برنامه‌ریزی‌های ایمنی و همچنین توضیح رابطه بین ساخت‌پذیری و ایمنی پرداخته‌اند. در این تحقیق، تعیین مواردی که در آن‌ها امکان استفاده از واقعیت مجازی برای ساخت‌پذیری و ایمنی وجود دارد و همچنین مشخص کردن زمینه‌هایی که در آن‌ها امکان بهبود و پیشرفت مدل در آینده مقدور است، مورد بررسی قرار گرفته است و بر این اساس، ایمنی در ساخت به‌عنوان یکی از ویژگی‌ها و جنبه‌های ساخت‌پذیری تعیین شده است. در این تحقیق برای بدست‌آوردن یک بینش فراگیر در مورد ساخت‌پذیری ساختمان‌های تکمیل شده و تخصص‌های وابسته به صنعت ساخت‌وساز نمایندگان صنایع مورد بحث قرار گرفتند و نظرات و پیشنهادات آن‌ها در مورد مناسب‌ترین روش‌های استفاده از واقعیت مجازی در زمینه ایمنی و ساخت‌پذیری مورد ارزیابی قرار گرفت (حسینی و همکاران، ۱۳۹۳).

وطن‌خواه و مسلمان یزدی (۱۳۹۴) در تحقیق خود به بررسی میزان اثرگذاری فناوری مدل‌سازی اطلاعات ساختمان بر مدیریت ایمنی در کارهای در ارتفاع پرداخته و بیان داشته‌اند که وقوع حوادث در کارها جز جدایی‌ناپذیر هر شغلی می‌باشد که در زمینه فعالیت‌های ساختمانی، یکی از پرتکرارترین حوادث مورد وقوع، حوادث مربوط به کار در ارتفاع می‌باشد که به دلیل ماهیت وقوع آن، معمولاً دارای صدمات و خسارت‌های سنگین می‌باشد. از این‌رو، بهره‌گیری از تمامی متدها و روش‌های پیشرفته برای کاهش این‌گونه وقایع دارای اولویت می‌باشد. در همین راستا، استفاده از فناوری مدل‌سازی اطلاعات ساختمان که جزو ابزار کلیدی مدیران پروژه‌ها در دنیای امروزی و عملیات ساخت‌وساز محسوب می‌گردد. تا میزان کارایی و عملکرد آن در پیش‌بینی خطرات مربوط به کار در ارتفاع و نهایتاً کسب ایمنی بیش‌تر در عملیات ساخت‌وساز، مورد سنجش قرار گیرد (وطن‌خواه و مسلمان یزدی، ۱۳۹۴).

رضازادگان (۱۳۹۵) در پژوهش دیگری تلاش نموده تا پس از تعریف HSE برای فعالین در صنعت ساختمان و تبیین لزوم آن برای جامعه هدف، شیوه‌های برخوردی برای نیل به این منظور مورد کنکاش قرار دهد. در این تحقیق همچنین سعی شده تا ضمن کاوش در دلایل بوجود آمدن این صدمات از یک سو و خلاءهای قانونی ناشی از عدم اشراف قانونگذار به این مبحث به شکل تخصصی از دیگر سو به بررسی راهکارهای موجود در حوزه فعالیت کارگران، پیمانکاران و کارفرمایان با در نظر گرفتن بیش‌ترین تأثیرات و کم‌ترین تبعات برای صنعت ساختمان و ارائه راهکارهای مناسب و عملیاتی در این باره پرداخته شود تا فعالان بتوانند صدمات جانی و خسارات مالی ناشی از رعایت نشدن HSE در پروژه‌های عمرانی را به حداقل برسانند (رضازادگان، ۱۳۹۵).

ضیاء شمس و مجروحی سردرود (۱۳۹۶) در تحقیق خود با مروری بر پژوهش‌های گذشته در ارتباط با فناوری واقعیت مجازی، اقدام به شناسایی کاربردهای آن در فازهای مختلف ساخت در قالب زیرمجموعه‌هایی که بتوان به‌راحتی تمامی ابعاد این فناوری را مشخص و بیان نمود، کرده‌اند. این محققین در نهایت حوزه‌های جدیدی برای استفاده‌کنندگان از این

تکنولوژی همچون توسعه ابزارهای مبتنی بر واقعیت مجازی، بررسی قانون و استانداردها، فناوری اسکن لیزری، مدیریت زمان‌بندی، مدیریت ایمنی، عملکرد انرژی و عملکرد پایدار را معرفی نموده‌اند (ضیاء شمس و مجروحی سردرود، ۱۳۹۶).

حسینوند و همکاران (۱۳۹۷) در مطالعه خود بصورت توصیفی - مقطعی و با مطالعه موردی در پروژه پتروشیمی مسجد سلیمان، با استفاده از روش انتخاب مدل و الگو جهت تجزیه و تحلیل خطا، اقدام به مدیریت ریسک و شناسایی خطرات زیست‌محیطی و ایمنی در این پروژه نموده‌اند. براساس نتایج به دست آمده، چندین عامل به عنوان مخاطرات و ریسک محیط زیستی شناسایی شد که چهار عامل تبخیر فرآورده و تغییر شکل مخزن نگهداری فرآورده‌ها، دچار خردگی شدن تجهیزات و اتصالات و در ایستگاه‌های بارگیری تبخیر ترکیبات مضر و سمی به عنوان ریسک‌های با سطح بالا شناسایی شدند. با توجه بررسی‌ها خوردگی بخاطر شرایط جوی منطقه و ترکیبات و حلال‌های موجود و تولیدی از مهم‌ترین عوامل بوجود آمدن ریسک‌ها تعیین شد. همچنین بررسی مؤثر مخاطرات که بر محیط‌زیست و سیستم HSE تأثیر نامطلوب دارند نشان داد که شناسایی ریسک بر اساس روش FMEA جهت ارزیابی مخاطرات زیست‌محیطی جزء روش‌ها با دقت مطلوب و کمی به حساب می‌آید و توانایی این را دارد که دامنه وسیع از مخاطرات از تجهیزات تا سلامت و محیط‌زیستی را با دقت بالا شناسایی و الگوی برخورد با مخاطرات را ارائه دهد (حسینوند و همکاران، ۱۳۹۷).

پناهی و خانزادی (۱۳۹۸) در پژوهش خود به بررسی ساختار تلفیق فناوری واقعیت مجازی و واقعیت افزوده بر مبنای پردازش ابری در راستای افزایش بهره‌وری و کاهش زمان اتلاف برای دسترسی هرچه بهتر به اطلاعات مدل‌های واقعیت مجازی پرداخته‌اند. این محققین بیان نموده‌اند از جمله پیچیدگی‌های کاربرد واقعیت افزوده، نکات ایمنی، نوع دستگاه‌های مورد استفاده از لحاظ وزن و کیفیت، دسترسی به اطلاعات و مدل‌های سه بُعدی کامل و در لحظه می‌باشد که با بکارگیری واقعیت مجازی می‌توان در راستای استفاده هرچه بهینه‌تر از این مدل‌ها و افزایش کارایی واقعیت افزوده در پروژه‌های ساختمانی گام برداشت (پناهی و خانزادی، ۱۳۹۸).

بر اساس مطالعات مورد بررسی، در جدول (۱) مهم‌ترین عوامل اصلی و زیرعوامل مرتبط با ایمنی در پروژه‌های ساخت‌وساز و واقعیت مجازی در آن جهت اولویت‌بندی پارامترها ارائه شده است.

جدول ۱. مهم‌ترین عوامل و زیرعوامل مؤثر بر کاربرد واقعیت مجازی در راستای رفع این پیش‌نیازها و اثربخشی سیستم مدیریت ایمنی در پروژه‌های ساخت (با تأکید بر آموزش)

زیرعامل	عامل اصلی
بررسی ویژگی‌های محل مربوطه و ماشین‌آلات موردنیاز مورد با استفاده از واقعیت مجازی	عوامل استفاده از واقعیت مجازی جهت کاهش احتمال وقوع حادثه ریزش آوار (A)
شناسایی روش‌های پیشگیرانه مطابق دستورالعمل‌های مختلف HSE	
تولید انیمیشن‌ها توسط نرم‌افزارهای مختلف واقعیت مجازی و نمایش مراحل ایمن‌سازی برای درک بهتر تیم اجرا	
امکان ایجاد تعامل بین ارکان مختلف پروژه در خصوص بازیافت مصالح و تجهیزات کهنه و مستعمل و تعیین مکان‌های پسماند خارج از محدوده زیست‌محیطی مطلوب برای جلوگیری از ریزش آوار	عوامل استفاده از واقعیت مجازی جهت کاهش احتمال وقوع حادثه سقوط از ارتفاع (B)
مدل‌سازی نرده‌ها و جان‌پناه‌ها، علی‌الخصوص شبیه‌سازی داربست‌ها و تجهیزات موقت کارگاهی همچون جرثقیل و تاورکری	
بهره‌گیری از واقعیت مجازی به منظور شناخت و درک بهتر هندسه و ویژگی‌های پروژه	
استفاده از مدل‌های مستندسازی شده واقعیت مجازی برای پیش‌بینی دقیق مکان‌های فعالیت	

سنجش احتمالات در نواحی و طبقات مشخص از یک بنا با امکان تجسم و بصری‌سازی موجود در واقعیت مجازی	عوامل مؤثر شرایط محیط کار (C)
امکان بازبینی و آنالیزهای تجربی توسط مهندسين خبره در خصوص حوادث ناشناخته منجر به سقوط از ارتفاع	
امکان بررسی مدل سازه بنا قبل از ساخت توسط ابزار بصری‌سازی واقعیت مجازی برای پیش‌بینی سقوط اشیاء از مکان‌های پیش‌بینی نشده	
تعبیه پوشش ایمنی (نصب توری‌های فلزی بازدارنده از وقوع حادثه سقوط اجسام) در مکان‌های با احتمال خطر بیشتر از طریق واقعیت مجازی	
بررسی و ارزیابی نواحی کاری خارجی و داخلی سازه بنا برای تشخیص محل وقوع سقوط توسط واقعیت مجازی	عوامل استفاده از واقعیت مجازی برای کاهش احتمال وقوع حادثه در درگیری شخص با ماشین‌آلات و دیگر گروه‌ها (D)
امکان طراحی چهاربندی و ماشین‌آلات و جبهه کاری	
امکان ایجاد پیش‌نمایش و دید بصری از نحوه جاگذاری و چیدمان تجهیزات و تأسیسات مختلف موردنیاز در فضاها و تحلیل‌های مختلف تکنولوژیکی جهت از بین بردن فضاهای ناامن در سطح پروژه	
تشخیص نقاط بحرانی برنامه زمان‌بندی و برنامه‌ریزی منظم مکانی برای مسیرهای تردد انواع گروه‌های کاری در سایت پروژه	
پیش‌بینی زمان‌بندی اجرای کارهای اجرایی دارای تداخلات در برنامه زمان‌بندی عملیاتی مبتنی بر واقعیت مجازی	استفاده از واقعیت مجازی برای کاهش احتمال وقوع حادثه در آتش‌سوزی و مهار آن (E)
زون‌بندی کارگاه اجرا و اختصاص آن‌ها به پیمانکاران مختلف برای جلوگیری از تداخلات برنامه‌ریزی در گانت چارت واقعیت مجازی برای جلوگیری از تداخل پیمانکاران مختلف از نظر محدوده کاری و زمانی (امکان ارائه برنامه زمان‌بندی برای عدم فعالیت همزمان در یک طبقه یا محدوده‌ای از سایت)	
شبیه‌سازی مجازی محیط ساختمان برای استفاده در زمان آتش‌سوزی و شبیه‌سازی فرآیند تخلیه افراد	
امکان ایجاد تجسم طراحی جهت بازسازی در راستای ایجاد سازگاری فضا با محیط‌های دارای فضاهای تهویه طبیعی در صورت بروز آتش‌سوزی احتمالی در پروژه	
امکان مدل‌سازی سناریوی حرکت خودروهای امدادی (آمبولانس و آتش‌نشانی) را در مدل تعیین نواحی مناسب در سایت پروژه و یا طبقات برای انبار نمودن مواد مشتعل‌شونده مورد استفاده در بنا با توجه به فازبندی روند انجام کار در واقعیت مجازی	کاربرد واقعیت مجازی به منظور آموزش ایمنی به کارگران و عوامل بالادستی (F)
امکان انجام آنالیزهایی برای تعیین عملکرد افراد و سیستم در زمان بروز آتش‌سوزی پیش از ساخت بنا	
کنترل چک‌لیست‌های ایمنی و هشدار خودکار به ناظر HSE	
شناسایی ریسک‌ها و تحلیل پاسخ‌های محتمل	
امکان ایجاد برنامه‌ریزی ایمنی صحیح از طریق تجسم و درک درست هندسه، برنامه زمان‌بندی، اولویت‌بندی کارها، و ساختار سازمانی کارگاه	
تعریف سناریوهای متفاوت بروز حوادث ایمنی جهت آموزش‌های پیش از وقوع به کارگران و عوامل بالادستی	
بهره‌گیری از تجارب تخصصی گذشته در زمینه اصلاح و بهسازی فضا و امکان ایجاد تغییرات	

در راستای کاهش محیط‌های ناامن در سایت پروژه با استفاده از تجارب شناسایی شده در هر مرحله‌ای از فرآیند پیشرفت پروژه	کاربرد واقعیت مجازی در بخش‌های مختلف برنامه‌ریزی برای ایمنی (G)
امکان توجه به نیازهای بخش اجرا توسط واقعیت مجازی برای تعیین خروجی‌ها، زمان‌بندی خروج، میزان دبی افراد برای خروج، حجم ورود و خروج هوای تازه، نواحی پر تردد عمومی و نحوه حفاظت از آن و ...	
امکان اجرای برنامه‌ریزی برای ایمنی به موازات مرحله طراحی سازه	
امکان ساخت انیمیشن‌های ساختمانی و مدل‌های سه بُعدی برای درک بهتر برنامه‌ریزی در زمینه ایمنی	
مستندسازی اسناد و مدارک، قراردادها، اطلاعات، نقشه‌ها، دستورکارها، دستورالعمل‌ها، مستندات تحلیل ایمنی و کلیه مستندات موجود در خصوص ایمن‌سازی پروژه به صورت دیجیتالی جهت کاربرد در پروژه‌های آتی	
شناخت محیط کار، انتظارات موجود و نتیجه کار قبل از اجرا و در نتیجه آگاه‌نمودن کارگران نسبت به خطرات موجود و توجه آنان به نقاط بحرانی	سایر کاربردهای واقعیت مجازی برای کاهش احتمال وقوع حادثه و افزایش ایمنی در سایت (H)
تحلیل پیچیدگی‌های پروژه و مراجعه به محل دقیق بروز خطرات ایمنی در فرآیند اجرای پروژه با استفاده از نقشه‌های چون ساخت چندبُعدی	
تشریح بهتر نواحی بحرانی به لحاظ فضا، خطرات اجرا، محدودیت‌های فیزیکی و ... با استفاده از واقعیت مجازی	
هشدار برای زمان‌های گارانتی و بازبینی ماشین‌آلات و کیسول‌های آتش‌نشانی	
تحلیل خودکار ضوابط مربوط به ایمنی پروژه از طریق تعیین دستورالعمل‌های مرتبط با هر کارگاه به صورت منحصر به فرد	
افزایش سطح ارتباطات بین عوامل مختلف برای آگاهی از خطرات موجود در کارگاه	
کاهش هزینه‌های مربوط به سرعت گزارش‌گیری، بررسی وضعیت ایمنی ساخت در فرآیند اجرای پروژه به دلیل مستند بودن اطلاعات به صورت دیجیتالی	
برنامه‌ریزی جهت امکان پیش‌بینی‌های لازم برای انجام اقدامات پس از حوادث احتمالی	

نتیجه‌گیری:

با پیشرفت چشمگیر علم و تکنولوژی از یکسو و گسترده‌تر شدن بازار رقابت میان صنایع مختلف از سوی دیگر، دستیابی به موفقیت در بازردهی و سود بیشتر در هر صنعتی، در گرو افزایش بهره‌وری شرکت‌های فعال در آن صنعت است. در این میان، صنعت ساختمان نیز از این قاعده مستثنا نبوده و تلاش در راستای افزایش بهره‌وری و بازردهی، به یکی از مسائل اصلی این صنعت بدل شده است. با این حال یکی از مهم‌ترین مسائلی که در این صنعت نیازمند توجه و رعایت اصول بیش‌تری است، ایمنی است. سیستمی که بتواند اهداف پروژه‌های ساخت‌وساز را با موفقیت پیش برده و ایمنی کار و عوامل را ارتقاء دهد از ضروریات عصر حاضر است. این سیستم باید با ایجاد یکپارچگی، همکاری و همیاری بیش‌تر بین اعضای یک پروژه و درک عمیق‌تر آن، در مفهوم کلی از ساختارهای بکار گرفته‌شده برای نیل به این اهداف شکل گرفته و ایمنی را نیز تأمین کند. در این راستا سیستم‌های مختلفی پا به عرصه گذاشته و گامی مثبت در راستای یکپارچگی بیش‌تر و افزایش همکاری تیم دخیل در پروژه برداشته‌اند که همان‌طور که در این مقاله معرفی شد، واقعیت مجازی با تکیه بر آموزش یکی از این راهکارها می‌باشد. بر همین اساس در این پژوهش به شناسایی پیش‌نیازهای استقرار سیستم مدیریت ایمنی و همچنین



قابلیت‌های واقعیت مجازی در پروژه‌های ساختمانی با تکیه بر آموزش پرداخته شد. در آخر به این نتیجه رسیدیم که کیفیت و اثربخشی سیستم مدیریت ایمنی، یکی از عوامل حیاتی در تحقق اهداف پروژه‌ها است. توجه به مسائل ایمنی، علاوه بر پیشگیری از حوادث محیط کار، باعث کاهش خطرپذیری، تأمین آسایش خاطر، افزایش بهره‌وری، بالا بردن کیفیت شده و می‌بایست در یک قالب نظام‌مند و تحت کنترل مراجع و سازمان‌های ذیربط صنعت ساخت‌وساز قرار گیرد. علیرغم مزایای پیاده‌سازی مدیریت ایمنی در پروژه‌های ساخت‌وساز، به دلیل فقدان آگاهی طراحان نسبت به پیش‌نیازها و عدم ملاحظات ایجاد سیستم مدیریت ایمنی و همچنین نبود ابزارها و تکنولوژی‌های نوین در مرحله طراحی پروژه‌های ساخت، بخصوص در کشورهای در حال توسعه همچون ایران، این سیستم هنوز آنچنان که باید مورد ارزیابی قرار نگرفته است.

منابع

- پناهی، روشن؛ خانزادی، مصطفی. (۱۳۹۸)، بررسی تلفیق واقعیت افزوده بر مبنای پردازش ابری و مدل‌سازی اطلاعات ساختمانی، پنجمین کنفرانس ملی مهندسی عمران، معماری و توسعه شهری، بابل، مؤسسه علمی تحقیقاتی کومه علم‌آوران دانش.
- حسینی، هومن؛ اسدی بروجنی، خشایار؛ اردشیر، عبدالله. (۱۳۹۳)، بررسی جنبه‌های ایمنی در ساخت‌پذیری با استفاده از فرآیند مدلسازی اطلاعات ساختمان، دومین کنفرانس مصالح و سازه‌های نوین در علم مهندسی عمران، شیراز، شرکت پندار اندیش رهپو.
- حسینوند، روح‌الله؛ میرزایی، مجتبی؛ عادل‌زاده، مصطفی. (۱۳۹۷)، شناسایی خطرات و مدیریت ریسک و آرایه الگوی کاربردی جهت کاهش اثرات زیست‌محیطی و ایمنی (HSE) در واحد تولید اوره پتروشیمی مسجسدسلیمان، دومین کنفرانس ملی پیشرفت‌های نوین در حوزه انرژی و صنایع نفت و گاز، ساوه، مؤسسه آموزش عالی انرژی.
- حسین‌زاده، رحیم؛ اشتهدریان، حسین. (۱۳۹۴)، استفاده از مدلسازی اطلاعات ساختمان BIM به منظور ارتقاء مدیریت ایمنی، یازدهمین کنفرانس بین‌المللی مدیریت پروژه، تهران، گروه پژوهشی صنعتی آریانا.
- رضازادگان، احمد. (۱۳۹۵)، ضرورت بررسی و شناسایی راهکارهای ارتقای اصول HSE در کارگاه‌های ساختمانی، اولین همایش ملی مدیریت بحران، ایمنی، بهداشت، محیط‌زیست و توسعه پایدار، تهران، مؤسسه آموزش عالی مهر اروند، مرکز راهکارهای دستیابی به توسعه پایدار.
- شاکری، احمد؛ شفقت، محمد؛ آهنساز، مهدی؛ حاجیا، حسن. (۱۳۹۳)، مدیریت ایمنی کارگاه‌های ساختمانی و استقرار مسئول HSE، اولین کنگره ملی مهندسی ساخت و ارزیابی پروژه‌های عمرانی، گرگان، سازمان مهندسی ساختمان استان گلستان.
- ضیاء شمس، علی؛ مجروحی سردرود، جواد. (۱۳۹۶)، مروری بر پژوهش‌های انجام شده در زمینه مدل‌سازی اطلاعات ساختمان در دهه اخیر، دومین کنفرانس ملی پژوهش‌های کاربردی در مهندسی عمران (مهندسی سازه و مدیریت ساخت)، تهران، دانشگاه صنعتی شریف.



عاصمی اصفهانی، امین؛ مسلمان یزدی، حسن‌علی؛ مسلمان یزدی، علیرضا. (۱۳۹۳). پتانسیل‌های بکارگیری فناوری مدل‌سازی اطلاعات ساختمان، دومین کنگره بین‌المللی سازه، معماری و توسعه شهری، تبریز، دبیرخانه دائمی کنگره بین‌المللی سازه، معماری و توسعه شهری.

وطن‌خواه، میلاد؛ مسلمان یزدی، حسن‌علی. (۱۳۹۴). افزایش ایمنی کارهای در ارتفاع مربوط پروژه‌های ساختمانی با BIM، دومین کنفرانس بین‌المللی معماری و فرهنگ‌شهر پایدار، تهران، مؤسسه سفیران فرهنگی مبین.

هویدی، حسن؛ گیوه‌چی، سعید؛ طاقه‌باف، محمدامین. (۱۳۹۳). کاربرد فن‌آوری‌های نوین در مدیریت بحران و HSE، مطالعه موردی، انبار مرکزی شرکت ملی پخش فرآورده‌های نفتی یزد، دومین کنفرانس ملی مدیریت بحران و HSE در شریان‌های حیاتی، صنایع و مدیریت شهری، تهران، دبیرخانه دائمی کنفرانس ملی مدیریت بحران.

Abdelaziz, M. A., Alaa El Din, M., & Senousy, M. B. (2014). Challenges and issues in building virtual reality-based e-learning system. *International Journal of e-Education, e-Business, e-Management and e-Learning*, 4(4), 320.

Afzal, M., & Shafiq, M. T. (2021). Evaluating 4D-BIM and VR for Effective Safety Communication and Training: A Case Study of Multilingual Construction Job-Site Crew. *Buildings*, 11(8), 319.

Ahn, S., Kim, T., Park, Y. J., & Kim, J. M. (2020). Improving effectiveness of safety training at construction worksite using 3D BIM simulation. *Advances in Civil Engineering*, 2020.

Azhar, S. (2017). Role of visualization technologies in safety planning and management at construction jobsites. *Procedia engineering*, 171, 215-226.

Bhoir, S., & Esmaeili, B. (2015). State-of-the-art review of virtual reality environment applications in construction safety. *AEI 2015*, 457-468.

Knierim, P., Kosch, T., Hoppe, M., & Schmidt, A. (2018). Challenges and opportunities of mixed reality systems in education. *Mensch und Computer 2018-Workshopband*.

Le, Q. T., Pedro, A. K. E. E. M., Lim, C. R., Park, H. T., Park, C. S., & Kim, H. K. (2015). A framework for using mobile based virtual reality and augmented reality for experiential construction safety education. *International Journal of Engineering Education*, 31(3), 713-725.

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.

Moore, H. F., & Gheisari, M. (2019). A review of virtual and mixed reality applications in construction safety literature. *Safety*, 5(3), 51.

Occupational Health & Safety Assessment Series BSI-OHSAS 18001:2021, Occupational Health and Safety Management Systems, Specification.

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

Pham, H. C., Dao, N., Pedro, A., Le, Q. T., Hussain, R., Cho, S., & Park, C. S. I. K. (2018). Virtual field trip for mobile construction safety education using 360-degree panoramic virtual reality. *International Journal of Engineering Education*, 34(4), 1174-1191.

- Riad, R. (2015). A Framework for Safety Training Using Virtual Reality Software.

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.



فصلنامه علمی منابع و سرمایه انسانی، دوره ۲، شماره ۱، بهار ۱۴۰۱
ISSN : 2783-3984

مروری بر کاربرد واقعیت مجازی در مدیریت ایمنی پروژه‌های ساختمانی (با تأکید بر آموزش)
کدمقاله: HRC-2204-1033

Sacks, R., Perlman, A., & Barak, R. (2013). Construction safety training using immersive virtual reality. *Construction Management and Economics*, 31(9), 1005-1017.

Segura, Á., Moreno, A., Brunetti, G., & Henn, T. (2007, July). Interaction and ergonomics issues in the development of a mixed reality construction machinery simulator for safety training. In *International Conference on Ergonomics and Health Aspects of Work with Computers* (pp. 290-299). Springer, Berlin, Heidelberg.

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.

Xu, Z., & Zheng, N. (2021). Incorporating virtual reality technology in safety training solution for construction site of urban cities. *Sustainability*, 13(1), 243.

Zhao, D., & Lucas, J. (2015). Virtual reality simulation for construction safety promotion. *International journal of injury control and safety promotion*, 22(1), 57-67.

