نشریه‌ی علمی شهر ایمن
JOURNAL OF RESILIENT CITY
(JRC)

شناسایی و اولویت‌بندی مخاطرات ایمنی قابل پیشگیری در پروژه‌های انبوه‌سازی با استفاده از روش تلفیقی تصمیم‌گیری چندمعیاره با رویکرد مدل‌سازی اطلاعات ساختمان

امیرمحمد ملکی طولابی[1]، توحید پوررستم[2*]؛ بابک امین‌نژاد[3]

۱- گروه مهندسی عمران، واحد قشم، دانشگاه آزاد اسلامی، قشم، ایران
۲- گروه مهندسی عمران، واحد تهران مرکز، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران (نویسنده مسئول)
۳- گروه مهندسی عمران، واحد رودهن، دانشگاه آزاد اسلامی، رودهن، ایران

دریافت دست‌نوشته: ۱۴۰۲/۰۷/۲۳؛ پذیرش دست‌نوشته: ۱۴۰۲/۰۸/۱۷

واژگان کلیدی

مخاطرات ایمنی، ساخت‌وسازهای شهری، پروژه‌های انبوه‌سازی، مدل‌سازی اطلاعات ساختمان، روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره تلفیقی

چکیده

عملیات ساختمانی، به‌عنوان یکی از مخاطره‌آمیزترین بخش‌ها در بروز حوادث ناشی از کار قرار دارد. از طرفی، به دلیل آنکه فعالیت‌های ساختمان‌سازی در نقاط مختلف و به‌صورت پراکنده می‌باشند، لذا نظارت بر ایمنی در آنها بسیار چالش‌برانگیز است. 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، این سیستم هنوز آن‌چنان که باید مورد ارزیابی قرار نگرفته است. مدل‌سازی اطلاعات ساختمان (*BIM*) یکی از آن فناوری‌هایی است که به‌تازگی در میان مدیران پروژه‌ها محبوبیت یافته است که از مهم‌ترین کاربردهای آن می‌توان به قابلیت‌های منحصربه‌فرد آن در ایمن‌سازی محیط پروژه‌ها اشاره نمود. هدف اصلی این مطالعه، شناسایی و اولویت‌بندی مخاطرات ایمنی قابل‌پیشگیری در پروژه‌های انبوه‌سازی با استفاده از روش تلفیقی تصمیم‌گیری چندمعیاره فازی با رویکرد مدل‌سازی اطلاعات ساختمان است. برای این منظور، در این پژوهش، علاوه بر مصاحبه با کارشناسان و خبرگان مربوطه در زمینه مورد مطالعه، از نتایج مطالعات صورت گرفته توسط سایر پژوهشگران بهره گرفته شد و معیارهای مهم بر کاهش مخاطرات قابل‌پیشگیری در پروژه‌های انبوه‌سازی، شناسایی شد. سپس با استفاده از روش سوآرا (*SWARA*)، معیارهای شناسایی شده، وزن‌دهی شدند و در ادامه با استفاده از روش واسپاس (*WASPAS*) این معیارها برحسب اهمیت، اولویت‌بندی گردیدند. یافته‌های حاصل از پژوهش حاضر، نشان داد که معیار سیستم مدیریت ایمنی با Qi=۰/۵۴۶۵۷ به‌عنوان مهم‌ترین عامل در راستای کاهش مخاطرات ایمنی قابل‌پیشگیری در پروژه‌های انبوه‌سازی با رویکرد مدل‌سازی اطلاعات ساختمان، مطرح می‌باشد.

۱- مقدمه

هر ساله میلیون‌ها حادثه ناشی از کار در دنیا اتفاق می‌افتد. برخی از این حوادث باعث مرگ و برخی دیگر موجب ازکارافتادگی موقت می‌شوند که ممکن است ماه‌ها دوام یابد. حوادث ناشی از کار سبب ناراحتی افراد بشر و زیان‌های اقتصاد می‌گردند و جامعه متحمل خسارات فراوان می‌شود. به همین جهت جلوگیری از آنها وظیفه‌ای مهم و اساسی است. حوادث معمولاً نتیجه شرایط و یا عملیات نامطمئن و ناایمن است (حسنی و همکاران، ۱۳۹۳). حوادث ناشی از کار در حال حاضر سومین علت مرگ‌ومیر در جهان محسوب می‌شوند و

این مقاله مستخرج از رساله دکتری می‌باشد.

* نویسنده مسئول: رایانامه: towhid.pourrostam@yahoo.com

به‌عنوان یکی از مهم‌ترین عوامل خطر بهداشتی، اجتماعی و اقتصادی در جوامع صنعتی و درحال‌توسعه معرفی شده‌اند (*Choudhry & Fang, 2008*). سازمان بهداشت جهانی، حوادث ناشی از کار را همانند یک اپیدمی در حوزه بهداشت عمومی معرفی نموده است. کارهای مرتبط با صنعت ساخت‌وساز با وجود سهم قابل‌توجه در اقتصاد جهانی و با توجه به اینکه حدود ۷٪ مشاغل جهان را در بر گرفته است، به خاطر دشواری، خطرناکی محیط‌های کاری و مسائل ایمنی، به‌تنهایی مسئول ۳۰٪ تا ۴۰٪ صدمات جانی در جهان می‌باشد. تخمین زده می‌شود که سالانه یک‌صدهزار کارگر در سایت‌های ساختمان‌سازی کشته می‌شوند و این برابر است با یک کشته در هر ۵ دقیقه که عمدتاً به دلیل شرایط کاری نامطلوب و غیرقانونی رخ می‌دهد. این حقیقت اهمیت انجام تحقیقات در مورد ایمنی ساخت‌وساز را خاطر نشان می‌کند (*Carbonari et al., 2011*).

کارگاه‌های ساختمانی بعد از معادن دارای بیشترین تعداد و شدت حوادث ناشی از کار نسبت به سایر مشاغل هستند. بر اساس آمارهای موجود ۳۰٪ حوادث شغلی کشور به صنعت ساختمانی اختصاص داشته و میزان فوت ناشی از حوادث در این صنعت ۱۵٪ برآورد شده است که میزان قابل توجهی است (*Ai Lin Teo et al., 2005*). سالانه در جهان ۲۷۰ میلیون حادثه ناشی از کار اتفاق می‌افتد که در طی آن، نزدیک به دو میلیون و ۲۰۰ هزار کارگر جان خود را از دست می‌دهند (*Khosravi et al., 2014*). ایجاد شرایط ناایمن در سایت‌های ساخت عمدتاً ناشی از عملیات نامطمئن از سوی کارکنان و یا استفاده از ابزار و تجهیزات نامناسب در محیط‌های پرخطر است (*Choudhry & Fang, 2008*). شایع‌ترین حوادث ناشی از کار در سایت‌های ساختمانی شامل سقوط از ارتفاع، سقوط اجسام، ریزش آوار و دیواره گودبرداری، سقوط بالابر و برق‌گرفتگی و مواردی از این قبیل است که کارگران ساختمانی با آن مواجه هستند. بررسی‌ها نشان داده است که حدود ۸۰٪ از حوادث به وقوع پیوسته در کارگاه‌های ساختمانی اعم از آسیب‌دیدگی و فوت با رعایت مقررات ایمنی ابتدایی و صرف هزینه ناچیز قابل پیشگیری است که می‌توان در این بخش به نصب حفاظ‌های موقت در طرف پرتگاه، مهار کردن بالابرهای حمل مصالح، استفاده اجباری از لوازم حفاظت فردی (کلاه، کفش، کمربند ایمنی) و رعایت فواصل ایمنی کار در مجاورت خطوط برق فشارقوی اشاره کرد (*Abdelhamid & Everett, 2000*).

باتوجه‌به هزینه‌های جانی و مالی فراوان، قوانین و مقررات ایمنی و سلامت شغلی در دنیا از سال ۱۹۷۰ به بعد منتشر شده است. از آن زمان به بعد، راهبردهای زیادی برای پیشگیری و شناسایی مخاطرات ایمنی ارائه گردید که منجر به بهبود مدیریت ایمنی در حوزه ساخت‌وساز شدند (حسنی و همکاران، ۱۳۹۳). علی‌رغم پیشرفت‌های روزافزون در تمامی حوزه‌های صنعت ساخت، اما رویکردهای سنتی ایمنی نتوانسته‌اند آن‌چنان‌که باید و شاید در برنامه‌ریزی، آموزش و کنترل ایمنی مؤثر عمل کنند و هنوز نرخ حوادث ساخت‌وساز بالاست. یکی از مهم‌ترین مشکلات موجود در (*Hare et al., 2006*). با جدایی برنامه‌ریزی ایمنی از برنامه‌ریزی اجرای پروژه و فقدان ارتباطات منتج از آن برای مدیران ایمنی مشکل است که آنالیز کنند که چه اقدامات ایمنی، چرا، کجا و چه زمانی لازم است. علاوه بر این در روش‌های سنتی برنامه‌ریزی ساخت و ایمنی به‌طور زیادی متکی بر مشاهدات دستی، نقشه‌ها و زمان‌بندی دوبعدی مبتنی بر کاغذ است (*Sijie et al., 2013*) که زمان‌بر، طاقت‌فرسا و همچنین ناکارا است. به‌کارگیری تمهیدات و موارد اشاره شده در برنامه‌های ایمنی تا زمانی که بر روی کاغذ هستند، مؤثر و مفید و خالی از هر نوع اشکال به نظر می‌رسند. اگرچه در عمل ممکن است نتایج آنها رضایت‌بخش نباشد (*Loushine et al., 2006*). شناسایی خطرات بدین‌وسیله ناکارایی‌های دارد از جمله اینکه نقشه‌های دوبعدی تنها اجزای ساختمان را نمایش می‌دهند و توانایی نمایش فرایند ساخت‌وساز را ندارند. درنتیجه غیرممکن است قبل از ساخت تمام خطرات شناسایی شوند (*Alkaissy et al., 2020*). مهندسین و متخصصین ایمنی باید بر اساس تجربه خود خطرات ایمنی را شناسایی و سپس تجهیزات لازم را تعیین کنند و ازآنجاکه رویکرد آنها عمدتاً دستی و متکی بر تجربه است، معمولاً به دلیل قضاوت شخصی تصمیم‌گیرنده مستعد خطاست؛ درنتیجه برای ارتقای مدیریت ایمنی ساخت‌وساز نیاز به ایجاد روش‌های جدیدی است که بتواند مشکلات رویکردهای سنتی را برطرف کند

(*Choudhry et al., 2008*). از سوی دیگر، ضرورت بسترسازی تفکر ایمن که از طریق فرهنگ‌سازی در بین افراد درگیر در کار اعم از مدیریت ارشد، مدیریت کارگاه و مهندسان، کارگران و متصدیان بسط و گسترش می‌یابد، می‌تواند سبب کارایی برنامه‌های ایمنی گردد (مدیریت ایمنی در کارگاه‌های عمرانی، ۱۳۸۸).

شناسایی دقیق خطرات ایمنی بالقوه برای فرایند برنامه‌ریزی ایمنی بسیار مهم است. برنامه‌ریزی ایمنی در ساخت‌وساز به‌طورکلی جدا از برنامه‌ریزی اجرای پروژه انجام می‌شود و بازیگران مختلفی را درگیر می‌کند. این جدایی و عدم ارتباط ناشی از آن، مشکلاتی را برای مهندسان ایمنی ایجاد می‌کند تا تجزیه‌وتحلیل کنند که چه چیزی، چه زمانی، چرا و کجا اقدامات ایمنی برای جلوگیری از حوادث موردنیاز است. این صنعت به بهبود ناکارآمدی فرایندهای ایمنی مبتنی بر کاغذ و دستی موجود در محل نیاز دارد (*Zhang et al., 2013*). امروزه ادغام و یکپارچه‌سازی فرایندهای مدیریت و تحلیل ایمنی با ابزارهای مختلفی همانند مدل‌سازی اطلاعات ساختمان (*Building Information Modeling: BMI*) نیز یک امر ضروری و اجتناب‌ناپذیر در صنعت ساخت محسوب می‌گردد. به‌طوری‌که *BIM* در طی یک دهه اخیر قابلیت‌های گسترده و منحصربه‌فردی را در حوزه‌های مدیریت ایمنی ساخت‌وساز از خود نشان داده است. این فناوری با نمایش دیجیتالی ویژگی‌های مختلف ساختمان‌ها، تسهیل‌کننده فرایند تصمیم‌گیری برای مدیران پروژه‌ها و پیمانکاران و ذی‌نفعان گوناگون در فازهای مختلف پروژه است (*Hongling et al., 2016*).

رویکرد *BIM* استفاده از یک مدل شبیه‌سازی شده از برنامه‌ریزی، طراحی، ساخت و بهره‌برداری از ساختمان است که مجموعه‌ای از داده‌ها و اطلاعات غنی از تمام اجزای مربوط به ساختمان در طول چرخه حیات آن و ارتباط هوشمند تمام اعضا با یکدیگر را داراست؛ به‌طوری‌که با ایجاد تغییر در یک عضو کوچک از این مجموعه تمامی اعضای دیگر خود را با آن مطابقت می‌دهند و بدین‌ترتیب این تکنولوژی برای تصمیم‌گیری‌ها در جهت بهبود روند ساخت و بهره‌برداری مورد استفاده قرار می‌گیرد. *BIM* نمایش دیجیتالی خصوصیات فیزیکی و کاربردی یک ساختمان است. *BIM* یک منبع دانش مشترک برای اطلاعات ساختمان است که مبنای قابل اعتماد برای تصمیم‌گیری در طول چرخه عمر پروژه از مرحله ابتدایی تا مرحله تخریب تشکیل می‌دهد (*NBIMS, 2007*). پتانسیل اصلی *BIM* این است که یک مدل منحصربه‌فرد، هوشمند و مجازی را می‌توان برای پوشش دادن همه ابعاد فرایند طراحی از جمله تجسم، کنترل تضاد مکانی، تولید مونتاژ و قطعات خودکار، توالی ساخت و تحقیق و آزمایش مواد استفاده کرد. این مدل توسط همه طرفین (ذی‌نفعان) دخیل در ساخت ساختمان از معماران تا مشاوران مهندسی، پیمانکاران و پیمانکاران فرعی به اشتراک گذاشته می‌شود (*Azhar, 2017*). فناوری *BIM* را می‌بایست کاربرد ایده‌آل اطلاعات محصول در صنعت ساختمان‌سازی دانست که در آن محصول، یک ساختمان است. بانک داده می‌تواند گستره وسیعی از اطلاعات راجع به محصول ازجمله ویژگی‌های هندسی، جنس، تکنیک‌های ساخت و مونتاژ، تلورانس‌ها، هزینه‌ها و حتی اطلاعات مربوط به مدیریت زنجیره تأمین و یا بخشی از این اطلاعات را شامل باشد. به عبارت بهتر، *BIM* به سلسله فرایندهایی گفته می‌شود که شامل تولید و پردازش نمایه‌های دیجیتالی به‌منظور توصیف فضاها و عملکردها است. نتیجه حاصل از مدل‌سازی اطلاعات ساختمان، دست‌اندرکاران را از اولین مراحل ایده‌پردازی در طراحی تا مراحل ساخت و در نهایت بهره‌برداری در تمام طول پروژه یاری می‌کند (*Gu & London, 2010*).

مطالعات قبلی، با روش‌های مختلف، اهمیت ایمنی در پروژه‌های ساختمانی را بررسی کرده‌اند؛ اما هیچ تحقیقی بر روی شناسایی و اولویت‌بندی مخاطرات ایمنی قابل‌پیشگیری در پروژه‌های انبوه‌سازی با استفاده از روش تلفیقی تصمیم‌گیری چندمعیاره با رویکرد مدل‌سازی اطلاعات ساختمان متمرکز نشده است. نوآوری مورد استفاده در این تحقیق، ضمن در نظر گرفتن رویکرد مدل‌سازی اطلاعات ساختمان، با استفاده تلفیقی از روش سوآرا (*Stepwise Weight Assessment Ratio Analysis: SWARA*) و واسپاس (*Weighted Aggregated Sum Product Assessment: WASPAS*) به شناسایی و اولویت‌بندی مخاطرات ایمنی قابل‌پیشگیری در پروژه‌های انبوه‌سازی پرداخته است تا این

خلأ پژوهشی رفع گردد. بر این اساس در این مقاله، با استفاده از اصول و مبانی مدل‌سازی اطلاعات ساختمان، به شناسایی و اولویت‌بندی مخاطرات ایمنی قابل‌پیشگیری در پروژه‌های انبوه‌سازی بر پایه ۱۲ معیار همراه با امتیازبندی و وزن‌دهی با آنها، تعیین می‌گردد. در فضای تصمیم‌گیری چندمعیاره با استفاده از تکنیک سوآرا و واسپاس، این مسئله تحلیل می‌شود. در این راستا از کارشناسان خبره ایمنی و ساخت‌وساز حوزه انبوه‌سازی مسکن و جمعی از اساتید دانشگاه در تعیین معیارهای تصمیم‌گیری و امتیازدهی به آن‌ها، استفاده می‌گردد. همچنین فرضیات موردبحث در پژوهش حاضر عبارتند از:

- روش تلفیقی سوآرا و واسپاس می‌تواند رتبه‌بندی دقیقی از مخاطرات ایمنی قابل‌پیشگیری در پروژه‌های انبوه‌سازی بر مبنای مدل‌سازی اطلاعات ساختمان ارائه کند.
- به‌روز کردن و بررسی همه عوامل تأثیرگذار موجب کاهش خطرات ناشی از کار در پروژه‌های انبوه‌سازی خواهد شد.

۲- پیشینه تحقیق

با استفاده از فناوری‌های نوظهور می‌توان به پیشرفت‌های بیشتری در برنامه‌ریزی و مدیریت ایمنی ساخت‌وساز دست‌یافت. طی دو دهه اخیر پیاده‌سازی روبه‌رشد مدل‌سازی اطلاعات ساختمان (*BIM*) در صنعت ساختمان، رویکرد ایمنی در صنعت ساخت را دگرگون کرده است. به‌عنوان یک نمایش دیجیتال پارامتریک شیءگرا، *BIM* در حال تبدیل‌شدن به یک ابزار سیستماتیک است که در تمامی مراحل برنامه‌ریزی، طراحی، ساخت، بهره‌برداری و نگهداری پروژه قابل استفاده است. به‌طور مثال ادغام دانش ایمنی در مرحله طراحی می‌تواند تغییرات طراحی مناسب را در راستای ایمن‌سازی عملیات ساخت پیشنهاد دهد یا به طراح کمک کند تا با در نظر گرفتن طراحی مناسب، خطرات ساخت‌وساز را حذف یا به حداقل برساند (*Kim et al., 2016*). در مرحله طراحی، *BIM* یک روش مؤثر برای پیوند داده‌های ریسک با عناصر طراحی در *BIM* است (*Azhar et al., 2012*). *BIM* این امکان را به مدیران بخش‌های مختلف پروژه‌ها می‌دهد تا با یک فرایند پیش‌سازی و پیش‌بینی یک عملیات، تا حد امکان بروز یک حادثه را کاهش دهند. بسیاری از محققان برای درک مفهوم پیشگیری از طریق طراحی (*Prevention through Design: PtD*)، اقدام به ترکیب *BIM* با پایگاه‌های داده مرتبط نموده‌اند که هدف آن کمک به معماران و طراحان سازه در شناسایی خطرات و حوادث سایت‌های ساخت‌وساز و ارائه راه‌حل است (*Hossain et al., 2018*). به‌طورکلی دو روند اصلی در دستیابی به *PtD* وجود دارد: استفاده از نرم‌افزار *BIM* برای تشخیص برخورد و ادغام *BIM* و سیستم‌های مبتنی بر دانش برای تشخیص خطرات و حوادث (*Yuan et al., 2019*). به‌عنوان‌مثال، هو و همکاران (۲۰۰۸) مدلی از شبیه‌سازی پیوسته و پویا از کل فرایند ساخت‌وساز ایجاد کرد و سپس از فناوری *BIM* برای بازرسی برخورد استفاده کردند (*Hu et al., 2008*). ژانگ و همکاران (۲۰۱۵) قوانین ایمنی را برای شناسایی و جلوگیری از خطرات مرتبط با سقوط در *BIM* یکپارچه کردند (*Zhang et al., 2015*). هونگلینگ و همکاران (۲۰۱۶)، *BIM* را با قوانین ایمنی طراحی ترکیب کرد تا به‌طور خودکار مشکلات ایمنی احتمالی را در مرحله طراحی شناسایی کند (*Hongling et al., 2016*). حسین و همکاران (۲۰۱۸) یک سیستم بررسی ریسک را توسعه داد که با *BIM* یکپارچه شد تا به معماران و طراحان سازه کمک کند تا عناصر طراحی را بررسی کنند (*Hossain et al., 2018*).

حسین و همکاران (۲۰۱۸) یک پایگاه دانش طراحی برای ایمنی (*Design-for-Safety: DfS*) ساختاریافته را برای بررسی ریسک ایمنی یکپارچه مبتنی بر *BIM* ارائه کردند. با استفاده از کتابخانه دانش *DfS*، یک سیستم بررسی ریسک یکپارچه مبتنی بر *BIM* هوشمند پیشنهاد شده است تا به طراحان کمک کند ریسک مربوط به المان طراحی خود را همراه با ویژگی‌های طراحی مورد نیاز شناسایی کنند. یک سیستم ثبت ریسک نیز در پلتفرم *BIM* برای پیگیری هرگونه ریسک باقیمانده ایجاد شده است. سیستم بررسی ریسک پیشنهادی با یک پروژه موردی بررسی شد. مشخص شده است که بسیاری از ریسک‌ها را می‌توان با کتابخانه دانش *DfS* و سیستم بررسی ریسک هوشمند در اوایل مرحله طراحی اجتناب/حذف کرد؛ بنابراین چنین پلتفرمی به جلوگیری از

تأخیر غیرمنتظره یا تغییر طراحی پرهزینه در اواخر پروژه برای کاهش ریسک کمک می‌کند (*Hossain et al., 2018*).

لی و همکاران (۲۰۱۸) به بررسی متدولوژی‌های کنترل ریسک‌های ناایمن ناشی از حوادث کارگاهی در پروژه‌های ساخت متروی کشور چین با استفاده از تکنولوژی *BIM* پرداخته‌اند. این محققین بر اساس پلتفرم *BIM*، یک سیستم شناسایی ریسک ایمنی (*Safety Risk Identification System: SRIS*) و یک سیستم هشداردهنده زودهنگام (*Safety Risk Early Warning System:SREWS*) ارائه کردند. ابزار *SRIS* ساخت پایگاه داده دانش شناسایی ریسک، الگوریتم تطبیق بازیابی طرح و محاسبه سطح اطمینان ریسک می‌باشد. همچنین *SREWS* نیز پایگاه داده تهیه شده مبتنی بر سیستم *BIM* و فناوری اطلاعات مدرن برای نظارت بر وضعیت ایمنی تصویب می‌نماید (*Li et al., 2015*).

لی و همکاران (۲۰۲۰) توسعه اتوماسیون تخمین رتبه‌بندی ریسک مبتنی بر *BIM* و سیستم بازبینی طراحی برای ایمنی را پیشنهاد نمودند. قوانین و دستورالعمل‌های مختلفی در مورد طراحی برای ایمنی در سرتاسر جهان تدوین شده است و از آنها برای شناسایی خطرات در سایت‌های ساخت از طریق مدیریت کمی و کیفی ایمن استفاده می‌شود. به‌عبارت‌دیگر، به‌جای بازدید میدانی، به مدیریت ایمن بر اساس نقشه‌ها و مدل‌های طراحی توجه می‌شود. پیش‌بینی می‌شد که معرفی مفهوم طراحی برای ایمنی، از طریق مدیریت ایمن در مرحله طراحی، ریسک‌های ناشی از ساخت را در سایت‌های ساخت‌وساز به حداقل برساند؛ زیرا کارایی و قابلیت اطمینان چنین استراتژی در موارد مختلف به اثبات رسیده بود. با این حال، طراحی داخلی برای ایمنی، محدوده بسیار محدودی از موارد ارزیابی را پیشنهاد نموده است؛ بنابراین محدودیتی برای استفاده از چنین استراتژی‌هایی در سایت‌های ساخت‌وساز وجود دارد. فناوری مدل‌سازی اطلاعات ساختمان (*BIM*) در شرایطی که مدیریت ایمن نیز باید بر اساس طرح‌های پیشنهادی باشد، توجه را به خود جلب می‌کند. اگرچه مطالعات زیادی در مورد شناسایی خطرات سقوط از ارتفاع و شناسایی خودکار ریسک‌ها مبتنی بر سیستم *BIM* انجام شده است، اما این مطالعات تنها سطوح محدودی از موارد برای شناسایی ریسک‌های ساخت را مورد بررسی قرار داده‌اند. به‌عنوان‌مثال، استخراج ریسک مبتنی بر *BIM* که به خطرات سقوط محدود می‌شود، تنها در سطحی از تشخیص ریسک است که می‌تواند بر اساس جدول فرآیند استخراج شود و ارزیابی بر این اساس انجام نمی‌شود. ارزیابی ریسک کلی بلایا در بسیاری از موارد مورد نیاز برای تخمین رتبه‌بندی ریسک دشوار است. در این مقاله، مشکلات فوق با استخراج یک سناریوی تخمین رتبه‌بندی ریسک مبتنی بر *BIM* بر اساس سناریوی فاجعه برای خودکارسازی تخمین رتبه‌بندی ریسک مبتنی بر *BIM* حل گردیده و یک سیستم ارزیابی با استفاده از این روش توسعه داده شده است. روش تخمین رتبه‌بندی ریسک مبتنی بر *BIM* از طریق استخراج ریسک مبتنی بر *BIM*، ارزیابی اطلاعات مورد نیاز، انتخاب آیتم ارزیابی و استفاده از سیستم ارزیابی در یک بررسی طراحی برای ایمنی ارائه گردیده است (*Lee et al., 2020*).

فارگنولی و لمباردی (۲۰۲۰) به بررسی روندهای تحقیقاتی یک دهه اخیر در خصوص کارکردهای *BIM* برای افزایش ایمنی شغلی در فعالیت‌های ساختمانی پرداختند. آنها با مرور سیستماتیک مطالعات دریافتند که مناسب‌ترین و امیدوارکننده‌ترین جهت‌های پژوهشی مربوط به راه‌حل‌های مبتنی بر دانش، طراحی برای بهبود ایمنی از طریق کاربردهای *BIM* و تجسم و بازخورد پویا است. یافته‌های این مطالعه نشان داد که کاربردهای عملی *BIM* به‌ویژه با تمرکز بر آموزش ایمنی، استفاده از *BIM* برای افزایش جو ایمنی و انعطاف‌پذیری و توسعه تحلیل کمی ریسک برای حمایت بهتر از مدیریت ایمنی مورد نیاز است. به‌طورکلی، این مطالعه ترکیب تحقیقاتی جامعی را ارائه داد که دانش موجود در خصوص نقش ابزارهای مبتنی بر *BIM* در ایمنی ساخت‌وساز را افزایش می‌دهد و به‌عنوان یک چارچوب مرجع برای افزایش ایمنی کارگران با استفاده از این فناوری‌های جدید قابل استفاده است (*Fargnoli & Lombardi, 2020*).

مجروحی و همکاران (۱۴۰۱)، به اولویت‌بندی المان‌های تأسیساتی در فرایند رفع تداخل‌ها از منظر هزینه و زمان با استفاده از روش فازی - سلسله‌مراتبی با استفاده از مدل‌های

مبتنی بر *BIM* پرداختند. نتایج تحقیق نشان داد که استفاده از مدل‌سازی اطلاعات ساختمان، تأثیر مثبت خود را در فرایند شناسایی و حل تداخل‌ها نشان داده است. در طرح‌ها و پروژه‌های بزرگ به علت تعدد عوامل درگیر در طراحی‌ها و همچنین پیچیدگی و حجم بالای المان‌ها، استفاده از روش فازی - سلسله‌مراتبی با استفاده از مدل‌های مبتنی بر *BIM* می‌تواند در مدت‌زمان کوتاه و با دقت بسیار بالا، به شناسایی و اولویت‌بندی المان‌های تأسیساتی در فرایند رفع تداخل‌ها از منظر هزینه و زمان بپردازد (مجروحی و همکاران، ۱۴۰۱).

وانگ و همکاران (۲۰۲۱) به ارزیابی ریسک آتش‌سوزی برای بهره‌برداری و نگهداری ساختمان بر اساس فناوری *BIM* پرداختند. آنها با روش آنالیز ریسک آتش‌سوزی برای مهندسی، یک سیستم شاخص ارزیابی برای ساختمان‌ها در دوره‌های بهره‌برداری و نگهداری از نظر سطح خطر بالقوه، سطح خطر قابل قبول و سطح حفاظت پیشنهاد شده است. علاوه بر این، یک مدل محاسبه ارزش ریسک برای دوره‌های بهره‌برداری و نگهداری ایجاد شده و استاندارد ارزیابی ارزش ریسک برای بهبود توانایی آتش‌نشانی ساختمان‌ها تنظیم گردیده است. همچنین، شاخص‌های ارزیابی در ویژگی‌های نرم‌افزار *Revit* گنجانده شده تا تعامل اطلاعاتی بین سیستم ارزیابی و مدل بهتر درک شود. نتایج این مطالعه نشان داد که *BIM* می‌تواند به‌طور مؤثر برای ایمنی آتش‌سوزی به کار رود تا اطمینان حاصل شود که توانایی پیشگیری و کنترل خطر آتش‌سوزی دارای پایه علمی شهودی‌تری است (*Wang et al., 2021*).

پن و ژانگ (۲۰۲۱) یک روش جدید برای ارزیابی یکپارچه ریسک ایمنی ساخت مبتنی بر *BIM* در مرحله طراحی پروژه‌های ساختمانی پرداخته‌اند. این روش از سه شاخص احتمال، پیامد و رخداد تشکیل شده است. این شاخص‌ها با استفاده از داده‌های مربوط به آسیب‌های شغلی، فوتی و برنامه‌ریزی ساخت‌وساز خاص که دقیق و عینی هستند، محاسبه می‌شوند. افزونه‌ای که *BIM* را با داده‌های ریسک ایمنی مرتبط می‌کند در *Autodesk Revit* توسعه یافته و قادر به محاسبه خودکار ریسک ایمنی ساخت‌وساز است و به معماران و طراحان سازه کمک می‌کند تا جایگزین‌های طراحی را سریع‌تر انتخاب کنند. در این مطالعه همچنین یک مطالعه موردی برای نشان دادن امکان‌سنجی و اثربخشی روش پیشنهادی ارائه شده است (*Pan & Zhang., 2021*).

کولینگه و همکاران (۲۰۲۲) یک ابزار دیجیتال و کتابخانه ریسک ایمنی را برای کمک به طراحان در کار ایمنی و سلامت خود در محیط‌های دیجیتال *BIM* ارائه کردند. با توجه به نیاز صنعت برای به‌اشتراک‌گذاری دانش و همکاری، ابزار کتابخانه خطر ایمنی *BIM* با رویکرد پیشگیری از طریق طراحی (*PtD*) همسو می‌شود که خطرات ایمنی را از طریق سناریوهای مختلف خطر به درمان‌ها مرتبط می‌کند. این تحقیق باانگیزه ادامه فرایندهای مدیریت ایمنی و بهداشتی غیر بهینه، از یک چارچوب مفهومی که ریشه در راهنمایی ساخت‌وساز دارد، استفاده نمود. ساختار داده‌ها از طریق یک روش هستی‌شناسی هفت‌مرحله‌ای برای بهبود دانش طراح از مسائل و دسترسی به پایگاه دانش ایمنی در حال گسترش (کتابخانه ریسک ایمنی مبتنی بر *BIM*) اجرا شد. این ابزار به‌اشتراک‌گذاری دانش ضمنی و صریح را در محیط‌های بصری تسهیل می‌کند و صنعت ساخت‌وساز را قادر می‌سازد از داده‌های سلامت و ایمنی خود بهره‌مند شوند و درعین‌حال ابزار یادگیری تعاملی را برای طراحان فراهم می‌کند. ساختار داده‌ها همچنین فرصت‌هایی را برای سایر پیشرفت‌های دیجیتالی (به‌عنوان‌مثال از طریق بررسی خودکار قوانین) باز می‌کند (*Collinge et al., 2022*).

پوررستم و همکاران (۲۰۲۳)، به ارزیابی تأثیر قابلیت‌های سیستم مدل‌سازی اطلاعات ساختمان (*BIM*) بر عملکرد ناب ساخت‌وساز در پروژه‌های ساختمانی با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره فازی ترکیبی (*FAHP* و *FTOPSIS*) پرداختند. نتایج نشان داد که توجه مدیران پروژه‌های ساختمانی به قابلیت‌های *BIM* و استفاده از روش‌های ترکیبی *FAHP* و *FTOPSIS* می‌تواند موجب شناسایی و افزایش عملکرد ناب ساخت‌وساز و همچنین کاهش خطرات ناشی از کار در این نوع پروژه‌ها شود (*Pourrostam et al., 2023*).

علیرغم پیشرفت های صورت گرفته، هنوز هم تعداد سوانح و آسیب‌ها در پروژه‌های ساخت‌وساز زیاد بوده و اکثر چارچوب های شناسایی و پیشگیری مخاطرات ایمنی، مبتنی

بر وظایف و فعالیت هایی هستند که نسبت به یکدیگر مستقل و بی‌ارتباط می‌باشند. در ضمن، رویکردهای سنتی در حوزه‌ی برنامه‌ریزی ایمنی عمدتاً مبتنی بر اطلاعات غیر پویا، مقررات قدیمی و خط‌مشی‌های ایمنی شرکت‌های مستقل می‌باشند. در سالیان اخیر بهره‌گیری از سیستم‌های اطلاعاتی و مدل‌سازی مبتنی بر فناوری اطلاعات و ارتباطات در صنعت ساخت مسئله مهمی است که به‌موجب آن تأثیرگذاری و موفقیت پروژه‌ها نه‌تنها در نتیجه نهایی خود، بلکه در روند کلی و در طول چرخه عمرشان بهبود زیادی پیدا می‌کند. اگرچه بهره‌گیری از این رویکردهای مدل‌سازی جدید در حوزه‌های مختلف از سالیان دور شروع شده، ولی استفاده عملی از تکنولوژی‌های نوین برای مدیریت ایمنی در صنعت ساختمان تنها به دو دهه اخیر محدود می گردد. یکی از این روش‌ها مدل‌سازی اطلاعات ساختمان است که با استفاده از شبیه‌سازی و طراحی مجازی عملیات ساخت‌وساز می‌تواند برای برنامه‌ریزی و مدیریت ایمنی به کار رود. مروری بر مطالعات گذشته نشان می‌دهد که مدل‌سازی *BIM* به‌عنوان یک ابزار مفید، می‌تواند در پیشگیری از مخاطرات ایمنی کمک شایانی را به جامعه متخصصین کند؛ امروزه *BIM* یک ابزار مهم در حوزه‌ی پیشگیری از مخاطرات ایمنی ساخت‌وساز به شمار می‌رود. یکی از دلایل اصلی استفاده از *BIM* در مدیریت ایمنی، قابلیت‌های منحصربه‌فرد آن در پیشگیری از حوادث و جلوگیری از اجرای عملیات خطرناک در سایت پروژه می‌باشد.

۳- روش تحقیق

روش گردآوری اطلاعات در پژوهش حاضر، از نوع توصیفی-تحلیلی بر پایه مطالعات کتابخانه‌ای می‌باشد. اطلاعات لازم در این پژوهش، با استفاده از مطالعات کتابخانه‌ای و همچنین، ضمن تکمیل چک‌لیست به‌صورت کیفی جمع‌آوری شده و پس از آن برای انجام محاسبات از نظر کارشناسان خبره در زمینه ساخت‌وساز پروژه‌های انبوه‌سازی و ایمنی استفاده شده است. سپس با استفاده از روش سوآرا (*SWARA*)، معیارهای شناسایی شده، وزن‌دهی گردیده و در ادامه با استفاده از روش واسپاس (*WASPAS*) این معیارها برحسب اهمیت، اولویت‌بندی شده‌اند.

۳-۱- روش سوآرا (*SWARA*)

SWARA یکی از روش‌های جدید برای انتخاب گزینه برتر در یک مسئله تصمیم‌گیری استراتژیک به شمار می‌رود. *SWARA* یک روش خبره‌محور برای تعیین وزن معیارها در مسائل تصمیم‌گیری است. بدین‌معنی که خبرگان نقش مهمی را در پیاده‌سازی این روش ایفا می‌کنند. این روش بر این استدلال استوار است که با استفاده از دانش ضمنی خبرگان و مقایسات ساده نسبی می‌توان نسبت اهمیت پدیده‌های دنیای پیچیده را با دقت قابل‌قبولی درک کرد (*Zolfani et al., 2013*). روش *SWARA fuzzy* مشتمل بر پنج گام اصلی است (*Zavadskas et al., 2010*).

۳-۱-۱- گام اول: مرتب کردن معیارها

در ابتدا معیارهای مورد نظر بر اساس میزان اهمیت به ترتیب نوشته می‌شوند. مهم‌ترین معیارها در رده‌های بالاتر و معیارهای کم‌اهمیت‌تر در رده‌های پایین‌تر قرار می‌گیرند.

۳-۱-۲- گام دوم: تعیین اهمیت نسبی هر معیار (S_j)

در این گام اهمیت نسبی هر معیار نسبت به معیارهای قبلی مشخص می‌شود. در فرایند روش سوآرا این مقدار با S_j نشان داده می‌شود.

۳-۱-۳- گام سوم: محاسبه ضریب K_j

ضریب K_j که تابعی از مقدار اهمیت نسبی هر معیار است با استفاده از رابطه ۱ محاسبه می‌شود:

$$K_j = S_j + 1 \qquad (۱)$$

۳-۱-۴- گام چهارم: محاسبه وزن اولیه هر معیار

وزن اولیه معیارها از طریق رابطه ۲ محاسبه می‌شود. در این رابطه باید توجه داشت که وزن معیار نخست که مهم‌ترین معیار است، برابر ۱ در نظر گرفته می‌شود.

$$Q_j = \frac{Q_{j-1}}{K_j} \qquad (۲)$$

۳-۱-۵- گام پنجم: محاسبه وزن نرمال نهایی

در آخرین گام از روش سوآرا وزن نهایی شاخص‌ها که وزن نرمال شده نیز محسوب می‌گردد، از طریق رابطه ۳ محاسبه

می‌شود. نرمال‌سازی به روش خطی ساده انجام می‌شود.

$$W_j = \frac{Q_j}{\sum Q_j} \quad (۳)$$

۳-۲- روش واسپاس (*WASPAS*)

روش ارزیابی محصول جمع وزنی یا واسپاس (*WASPAS*)، یکی از قوی‌ترین تکنیک‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره (*MCDM*) است. این روش مدل‌های مجموع وزنی (*WSM*) و ضرب وزنی (*WPM*) را برای توسعه تصمیم‌گیری ترکیب می‌کند.

WASPAS مشابه روش‌های آراس، کوپراس، تاپسیس و ویکور برای دستیابی به گزینه مطلوب از بین چندین گزینه مورد استفاده قرار می‌گیرد. این روش دارای دقت بیشتری در مقایسه با سایر روش‌های *MCDM* بوده، درست‌تر از سایر تکنیک‌ها عمل می‌کند و نتایج بهتری را نسبت به مدل‌های مستقل *WPM* و *WSM* در بر دارد (*Mardani et al., 2017*).

مراحل اصلی پیاده‌سازی روش *WASPAS* شامل مراحل زیر می‌باشد:

۳-۲-۱- گام اول: تشکیل ماتریس تصمیم

ماتریس تصمیم یک ماتریس برای ارزیابی تعدادی گزینه بر اساس تعدادی معیار است؛ یعنی ماتریسی که در آن هر گزینه بر اساس تعدادی معیار امتیازدهی شده است. ماتریس تصمیم با x و هر درایه آن با x_{ij} در رابطه ۴ نشان داده شده است.

$$X = \begin{bmatrix} x_{11} & \dots & x_{1j} & \dots & x_{1n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{i1} & \dots & x_{ij} & \dots & x_{in} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{m1} & \dots & x_{mj} & \dots & x_{mn} \end{bmatrix} \quad (۴)$$

که در این معادله، n تعداد معیارهای ارزیابی (عوامل)، m تعداد آلترناتیوها می‌باشند. x_{ij} نیز ترجیح تصمیم‌گیرنده kام برای ارزیابی فازی آل ترناتیو iام در برابر معیار تصمیم jام را نشان می‌دهد.

۳-۲-۲- گام دوم: تهیه ماتریس بی‌مقیاس شده

در گام دوم باید ماتریس تصمیم بی‌مقیاس شود. اگر ماتریس تصمیم با x و هر درایه آن با x_{ij} نشان داده شود ماتریس تصمیم نرمال را با $\bar{x}$ و هر درایه ماتریس بی‌مقیاس شده با $\bar{x}_{ij}$ نشان می‌دهند. در تکنیک *WASPAS* نرمال‌سازی به روش خطی صورت می‌گیرد.

اگر شاخص‌ها از نوع مثبت باشد از رابطه ۵ استفاده می‌شود.

$$\bar{x}_{ij} = \frac{x_{ij}}{\max x_{ij}} \quad (۵)$$

اگر شاخص‌ها از نوع منفی باشد رابطه ۶ استفاده می‌شود.

$$\bar{x}_{ij} = \frac{\min x_{ij}}{x_{ij}} \quad (۶)$$

۳-۲-۳- گام سوم: محاسبه معیارهای انتخاب گزینه بهینه

در تکنیک WASPAS دو معیار برای گزینه بهینه محاسبه می‌شود.

نخستین معیار بهینگی گزینه‌ها روش جمع وزن‌دار (*Weighted Sum Model :WSM*) است. برای این کار وزن هر معیار باید در عناصر ستون خود در ماتریس نرمال ضرب شود که از رابطه ۷ استفاده می‌شود.

$$Q_i^{(1)} = \sum_{j=1}^{n} \bar{x}_{ij} w_j \quad (۷)$$

دومین معیار بهینگی با روش ضرب وزن‌دار (*WPM*۹) مطابق رابطه ۸، به دست می‌آید.

$$Q_i^{(2)} = \prod_{j=1}^{n} (\bar{x}_{ij})^{w_j} \quad (۸)$$

سومین معیار بر اساس فرمول زاوادکاس (رابطه ۹) محاسبه می‌شود.

۳-۲-۴- گام چهارم: تعیین ترتیب ترجیحی و رتبه‌بندی معیارها

در نهایت معیارها برحسب مقادیر Q_i رتبه‌بندی می‌شوند؛ به‌طوری‌که معیار برتر، دارای حداکثر مقدار Q_i است.

$$Q_i = 0.5Q_i^{(1)} + 0.5Q_i^{(2)} \quad (۹)$$

۳-۳- عوامل و شاخص‌های مؤثر بر کاهش مخاطرات ایمنی قابل پیشگیری در پروژه های انبوه سازی با رویکرد مدل سازی اطلاعات ساختمان

در روش سوآرا؛ خبرگان با اجماع نظر معیارها را بر اساس اولویت مرتب نموده و سپس میزان اهمیت هر معیار نسبت به معیارها مورد بررسی قرار می‌گیرد. مزیت مهم این روش توان آن در ارزیابی دقت نظر خبرگان درباره شاخص‌های وزن داده شده است.

از دلایل بهره‌گیری از این روش‌ها می‌توان به‌سادگی فرایند اجرای این روش‌ها (در مقایسه با روش‌هایی همچون *AHP* که نیاز به مقایسات زوجی زیادی دارند) اشاره داشت، همچنین این روش‌ها منجر به مقایسه‌ای استوارتر می‌شود، بدین‌معنی که پاسخ‌های قابل اطمینانی نسبت به سایر روش‌های وزن‌دهی می‌دهد. دلیل آن هم در بهره‌گیری از داده‌های مقایسه‌ای کمتر است که موجب گریز از مقایسات ناسازگار توسط خبرگان تصمیم‌گیرنده می‌شود و پذیرش بهتر از سوی خبرگانی اشاره نمود که دارای محدودیت زمان است. روش واسپاس بر اساس ترکیب دو مدل روش *WSM* و روش *WPS* به‌دست آمده است که در مسائل پیچیده تصمیم‌گیری؛ کارایی بالایی دارد و نتایج حاصل از این مدل از دقت بالایی برخوردار است.

این روش؛ توانایی منحصربه‌فرد در مسائل بهینه‌سازی تکی و چندگانه دارد و در دنیای واقعی کاربرد داشته و می‌توان آن را به‌طور موفقیت‌آمیز در مورد مسائل تصمیم‌گیری مورد استفاده قرار داد، از این‌رو، مهم‌ترین شاخص‌های مربوط به کاهش مخاطرات ایمنی قابل‌پیشگیری در پروژه‌های انبوه‌سازی با رویکرد مدل‌سازی اطلاعات ساختمان که در این پژوهش با استفاده از روش مطالعه کتابخانه‌ای و همچنین استفاده از نظرات خبرگان و کارشناسان مربوطه که با پرسش‌نامه، استخراج گردیده است، در جدول ۱ نشان داده شده است.

۴- یافته‌ها

۴-۱- محاسبه وزن نهایی معیارها با استفاده از روش سوآرا

همان‌طور که در جدول ۲ ملاحظه می‌شود، بر مبنای روش سوآرا، ابتدا از خبرگان خواسته شده تا معیارها را بر حسب اهمیت به‌طور نزولی مرتب نماید که این اولویت‌بندی در ستون اول جدول ۲ به نمایش درآمده است. همچنین گام‌های دوم تا چهارم روش سوآرا به ترتیب در سایر ستون‌های جدول ۲ نشان داده شده است.

جدول ۱- شاخص‌های مؤثر بر کاهش مخاطرات ایمنی قابل پیشگیری در پروژه‌های انبوه‌سازی با رویکرد مدل‌سازی اطلاعات ساختمان.

معیار	زیرمعیار	کد زیرمعیار	منبع
سطح سازمانی	تعهد مدیریت	C_1	(Choudhry et al., 2008)
	بهبود مستمر	C_2	(Choudhry et al., 2008)
	روابط متقابل	C_3	(Choudhry et al., 2008)
	توانمندسازی کارکنان	C_4	(Hongling et al., 2016)
سطح مدیریت ایمنی	سیستم مدیریت ایمنی	C_5	(Fargnoli & Lombardi, 2020)
	سیستم پاداش	C_6	(Li et al., 2015)
	سیستم گزارش‌دهی	C_7	(Li et al., 2015)
کار جمعی	نظارت سرپرستان	C_8	(Li et al., 2015)
	کار تیمی	C_9	(Fargnoli & Lombardi, 2020)
فردی	خودکارآمدی	C_{10}	(Li et al., 2015)
	دانش و آگاهی	C_{11}	(Li et al., 2015)
	رفتارهای ایمن	C_{12}	(Alkaissy et al., 2020), (Li et al., 2015)

بر اساس نتایج جدول ۲، زیرمعیارهای سیستم مدیریت ایمنی، تعهد مدیریت و بهبود مستمر با وزن‌های ۰/۴۰۶۸۱۱، ۰/۲۱۴۱۱۱ و ۰/۱۲۲۳۴۹ به‌عنوان مهم‌ترین زیرمعیارها شناسایی شدند. نتایج وزن دهی توسط خبرگان نشان داد که شایستگی های مدیریت ایمنی نسبت به شایستگی های سطح سازمانی از اولویت بالاتری برخوردار است که نشان‌دهنده ضرورت مهارت‌های عملی و کاربردی برای افراد دخیل در پروژه‌های ساخت‌وساز است.

۴-۲- اولویت‌بندی و انتخاب معیارها با استفاده از روش واسپاس

مطابق گام ۱ روش واسپاس، ماتریس تصمیم در جدول ۳ ارائه گردید. سپس مطابق مرحله ۲، برای معیارهای شناسایی شده، ماتریس بی مقیاس شده محاسبه گردید که در جدول‌های ۴ و ۵ نشان داده شده است.

سپس معیار بهینگی گزینه‌ها روش جمع وزن‌دار (*WSM*) مطابق جدول ۶ محاسبه گردید و سپس معیار بهینگی با روش ضرب وزن‌دار (*WPM*) محاسبه گردید که در جدول ۷ آمده است.

در ادامه، معیارها بر اساس فرمول زاوادکاس محاسبه شدند که در جدول ۸ نشان داده شده است. در نهایت معیارها برحسب مقادیر *Qi* رتبه‌بندی شدند؛ به‌طوری‌که معیار برتر، دارای حداکثر مقدار *Qi* می‌باشد و در جدول ۹ قابل مشاهده است.

جدول ۲- محاسبات روش سوآرا برای شاخص‌های مؤثر بر کاهش مخاطرات ایمنی قابل پیشگیری در پروژه‌های انبوه‌سازی با رویکرد مدل‌سازی اطلاعات ساختمان.

کد زیر معیار	مقدار متوسط اهمیت نسبی	محاسبه ضریب K_j	وزن اولیه هر شاخص	وزن نرمال نهایی
C_5	۱	۱	۱	۰/۴۰۶۸۱۱
C_1	۰/۹	۱/۹	۰/۵۲۶۳۱۶	۰/۲۱۴۱۱۱
C_2	۰/۷۵	۱/۷۵	۰/۳۰۰۷۵۲	۰/۱۲۲۳۴۹
C_{10}	۰/۶۹	۱/۶۹	۰/۱۷۷۹۶۰	۰/۰۷۲۳۹۶
C_8	۰/۵۵	۱/۵۵	۰/۱۱۴۸۱۳	۰/۰۴۶۷۰۷
C_3	۰/۴۳	۱/۴۳	۰/۰۸۰۲۸۹	۰/۰۳۲۶۶۲
C_4	۰/۳۱	۱/۳۱	۰/۰۶۱۲۸۹	۰/۰۲۴۹۳۳
C_{11}	۰/۲۲	۱/۲۲	۰/۰۵۰۲۳۷	۰/۰۲۰۳۴۷
C_{12}	۰/۱۹	۱/۱۹	۰/۰۴۲۲۱۶	۰/۰۱۷۱۷۴
C_6	۰/۱۳	۱/۱۳	۰/۰۳۷۳۵۹	۰/۰۱۵۱۹۸
C_7	۰/۰۹	۱/۰۹	۰/۰۳۴۲۷۴	۰/۰۱۳۹۴۳
C_9	۰/۰۵	۱/۰۵	۰/۰۳۲۶۴۲	۰/۰۱۳۲۷۹
	جمع کل		۲/۴۵۸	۱

جدول ۳- ماتریس تصمیم روش واسپاس جهت شاخص‌های مؤثر بر کاهش مخاطرات ایمنی قابل پیشگیری در پروژه‌های انبوه‌سازی با رویکرد مدل‌سازی اطلاعات ساختمان.

X	X1	X2	X3	X4
C_1	۱/۰۰۰۰۰	۰/۸۸۸۸۹	۱/۰۰۰۰۰	۱/۰۰۰۰۰
C_2	۰/۸۸۸۸۹	۰/۸۸۸۸۹	۰/۸۸۸۸۹	۰/۷۷۷۷۸
C_3	۰/۶۶۶۶۷	۰/۷۷۷۷۸	۰/۷۷۷۷۸	۰/۶۶۶۶۷
C_4	۰/۵۵۵۵۶	۰/۶۶۶۶۷	۰/۵۵۵۵۶	۰/۶۶۶۶۷
C_5	۱/۰۰۰۰۰	۱/۰۰۰۰۰	۱/۰۰۰۰۰	۱/۰۰۰۰۰
C_6	۰/۳۳۳۳۳	۰/۴۴۴۴۴	۰/۴۴۴۴۴	۰/۳۳۳۳۳
C_7	۰/۲۲۲۲۲	۰/۳۳۳۳۳	۰/۳۳۳۳۳	۰/۳۳۳۳۳
C_8	۰/۲۲۲۲۲	۰/۵۵۵۵۶	۰/۶۶۶۶۷	۰/۶۶۶۶۷
C_9	۰/۱۱۱۱۱	۰/۲۲۲۲۲	۰/۲۲۲۲۲	۰/۳۳۳۳۳
C_{10}	۰/۶۶۶۶۷	۰/۷۷۷۷۸	۰/۶۶۶۶۷	۰/۷۷۷۷۸
C_{11}	۰/۵۵۵۵۶	۰/۴۴۴۴۴	۰/۵۵۵۵۶	۰/۵۵۵۵۶
C_{12}	۰/۴۴۴۴۴	۰/۳۳۳۳۳	۰/۳۳۳۳۳	۰/۴۴۴۴۴

جدول ۴- محاسبات روش واسپاس جهت محاسبه مقدار اوزان.

XW	X1	X2	X3	X4
C_1	۰/۲۱۴۱۱	۰/۱۹۰۳۲	۰/۲۱۴۱۱	۰/۲۱۴۱۱
C_2	۰/۱۰۸۷۵	۰/۱۰۸۷۵	۰/۱۰۸۷۵	۰/۰۹۵۱۶
C_3	۰/۰۲۱۷۷	۰/۰۲۵۴۰	۰/۰۲۵۴۰	۰/۰۲۱۷۷
C_4	۰/۰۱۳۸۵	۰/۰۱۶۶۲	۰/۰۱۳۸۵	۰/۰۱۶۶۲
C_5	۰/۴۰۶۸۱	۰/۴۰۶۸۱	۰/۴۰۶۸۱	۰/۴۰۶۸۱
C_6	۰/۰۰۵۰۷	۰/۰۰۶۷۵	۰/۰۰۶۷۵	۰/۰۰۵۰۷
C_7	۰/۰۰۳۱۰	۰/۰۰۴۶۵	۰/۰۰۴۶۵	۰/۰۰۴۶۵
C_8	۰/۰۱۰۳۸	۰/۰۲۵۹۵	۰/۰۳۱۱۴	۰/۰۳۱۱۴
C_9	۰/۰۰۱۴۸	۰/۰۰۲۹۵	۰/۰۰۲۹۵	۰/۰۰۴۴۳
C_{10}	۰/۰۴۸۲۶	۰/۰۵۶۳۱	۰/۰۴۸۲۶	۰/۰۵۶۳۱
C_{11}	۰/۰۱۱۳۵	۰/۰۰۹۰۸	۰/۰۱۱۳۵	۰/۰۱۱۳۵
C_{12}	۰/۰۰۷۶۳	۰/۰۰۵۷۲	۰/۰۰۵۷۲	۰/۰۰۷۶۳

جدول ۵- محاسبات روش واسپاس جهت محاسبه مقدار اوزان.

X^W	X1	X2	X3	X4
C_1	۰/۷۱۸۹	۰/۷۰۱۰	۰/۷۱۸۹	۰/۷۱۸۹
C_2	۰/۷۶۲۳	۰/۷۶۲۳	۰/۷۶۲۳	۰/۷۴۹۹
C_3	۰/۸۸۲۵	۰/۸۸۷۰	۰/۸۸۷۰	۰/۸۸۲۵
C_4	۰/۸۹۸۸	۰/۹۰۲۹	۰/۸۹۸۸	۰/۹۰۲۹
C_5	۰/۶۹۳۶	۰/۶۹۳۶	۰/۶۹۳۶	۰/۶۹۳۶
C_6	۰/۹۲۲۸	۰/۹۲۶۹	۰/۹۲۶۹	۰/۹۲۲۸
C_7	۰/۹۲۲۶	۰/۹۲۷۸	۰/۹۲۷۸	۰/۹۲۷۸
C_8	۰/۸۰۷۹	۰/۸۴۳۲	۰/۸۵۰۴	۰/۸۵۰۴
C_9	۰/۹۱۷۱	۰/۹۲۵۶	۰/۹۲۵۶	۰/۹۳۰۶
C_{10}	۰/۸۰۳۰	۰/۸۱۲۰	۰/۸۰۳۰	۰/۸۱۲۰
C_{11}	۰/۹۱۲۵	۰/۹۰۸۴	۰/۹۱۲۵	۰/۹۱۲۵
C_{12}	۰/۹۱۹۷	۰/۹۱۵۱	۰/۹۱۵۱	۰/۹۱۹۷

جدول ۶- محاسبات روش واسپاس جهت تعیین معیار بهینگی گزینه‌ها به روش WSM.

کد زیر معیار	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6	C_7	C_8	C_9	C_{10}	C_{11}	C_{12}
Q_1	۰/۸۳۲۶۵	۰/۴۲۱۴۲	۰/۰۹۴۳۶	۰/۰۶۰۹۵	۱/۶۲۷۲۴	۰/۰۲۳۶۴	۰/۰۱۷۰۴	۰/۰۹۸۶۰	۰/۰۱۱۸۰	۰/۲۰۹۱۴	۰/۰۴۳۱۴	۰/۰۲۶۷۲

جدول ۷- محاسبات روش واسپاس جهت تعیین معیار بهینگی گزینه‌ها به روش WPM.

کد زیر معیار	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6	C_7	C_8	C_9	C_{10}	C_{11}	C_{12}
Q_2	۰/۲۶۰۴۸	۰/۳۳۲۱۶	۰/۶۱۲۶۷	۰/۶۵۸۵۶	۰/۲۳۱۴۱	۰/۷۳۱۵۸	۰/۷۳۶۹۶	۰/۴۹۲۶۳	۰/۷۳۱۰۶	۰/۴۲۵۱۰	۰/۶۹۰۲۹	۰/۷۰۸۳۷

جدول ۸- محاسبات روش واسپاس جهت رتبه‌بندی معیارها.

کد زیر معیار	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6	C_7	C_8	C_9	C_{10}	C_{11}	C_{12}
Q_i	۰/۵۴۶۵۷	۰/۳۷۶۷۹	۰/۳۵۳۵۲	۰/۳۵۹۷۵	۰/۹۲۹۳۳	۰/۳۷۷۶۱	۰/۳۷۷۰۰	۰/۲۹۵۶۲	۰/۳۷۱۴۳	۰/۳۱۷۱۲	۰/۳۶۶۷۲	۰/۳۶۷۵۴

جدول ۹: محاسبات روش واسپاس جهت رتبه‌بندی شاخص‌های مؤثر بر کاهش مخاطرات ایمنی قابل پیشگیری در پروژه‌های انبوه‌سازی با رویکرد مدل‌سازی اطلاعات ساختمان.

رتبه نهایی	کد زیرمعیار	نام زیرمعیار	دسته‌بندی معیار
۱	C_5	سیستم مدیریت ایمنی	سطح مدیریت ایمنی
۲	C_1	تعهد مدیریت	سطح سازمانی
۳	C_6	سیستم پاداش	سطح مدیریت ایمنی
۴	C_7	سیستم گزارش‌دهی	سطح مدیریت ایمنی
۵	C_2	بهبود مستمر	سطح سازمانی
۶	C_9	کار تیمی	کار جمعی
۷	C_{12}	رفتارهای ایمنی	فردی
۸	C_{11}	دانش و آگاهی	فردی
۹	C_4	توانمندسازی کارکنان	سطح سازمانی
۱۰	C_3	روابط متقابل	سطح سازمانی
۱۱	C_{10}	خودکارآمدی	فردی
۱۲	C_8	نظارت سرپرستان	کار جمعی

۵- نتیجه‌گیری

عدم رعایت ایمنی در ساخت پروژه‌های ساخت‌وساز، یکی از مهم‌ترین عوامل مرگ‌ومیر، همچنین اتلاف سرمایه های ملی است. دنیای امروز دنیای رقابت است و نرخ سریع تحولات فناوری و تغییر در الگوهای مصرف و نیازهای بازار و بالا رفتن انتظارات جامعه و مسئولیت‌های اجتماعی سازمان‌ها، عرصه رقابت را روز به روز تنگ‌تر می‌نماید. شرط بقاء در چنین محیطی، برخورداری از مزیت های رقابتی در سازمان است. تحقق اهداف سازمان در حوزه رقابت پذیری، پرداختن به موضوعات ایمنی را به یکی از اولویت های سازمان‌ها در تجارت امروز تبدیل نموده است. در دهه‌های اخیر روش‌های نوین ازجمله بهره‌گیری از قابلیت‌های رویکرد سیستم مدل‌سازی اطلاعات ساختمان (*BIM*) در مدیریت حوادث و ارتقای ایمنی شغلی ارائه شده است که منجر به بهینه‌سازی ایمنی پروژه‌های ساختمانی گردیده است. در پژوهش حاضر، شناسایی و اولویت‌بندی مخاطرات ایمنی قابل‌پیشگیری در پروژه‌های انبوه‌سازی با استفاده از روش تلفیقی تصمیم‌گیری چندمعیاره با رویکرد مدل‌سازی اطلاعات ساختمان، مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفته و مؤلفه‌های مهم در آن شناسایی شده و رتبه‌بندی گردیده است. با شناخت این مؤلفه‌ها و میزان اهمیت آنها، امکان کنترل و کاهش حوادث در پروژه‌های انبوه‌سازی وجود دارد. نتایج نهایی به‌دست‌آمده از روش سوآرا و واسپاس در پژوهش حاضر، نشان می‌دهد که مؤلفه‌های سیستم مدیریت ایمنی، تعهد مدیریت، سیستم پاداش و بهبود مستمر از جمله عوامل تأثیرگذار با رتبه‌بندی بالاتر نسبت به سایر مؤلفه‌ها بوده که توجه به اجرای آنها در پروژه‌های انبوه‌سازی می‌تواند موجب کاهش خطرات ناشی از حوادث کار در این نوع پروژه‌ها شود که با نتایج تحقیق محققان قبلی (*Alkaissy et al, 2020; Azhar et al., 2012; Carbonari et al., 2011; Fargnoli & Lombardi, 2020; Hongling et al., 2016; Mardani et al., 2017; Pourrostam et al., 2023; Wang et al., 2021*) مطابقت دارد. محدودیت‌های مقاله شامل در دسترس بودن افراد، مدیران پروژه و سرپرستان پروژه‌ها به‌عنوان خبرگان مسئله تصمیم‌گیری تحقیق در خصوص امتیازدهی به فاکتورهای مؤثر در کاربردهای تکنولوژی *BIM* در

راستای پیشگیری از مخاطرات ایمنی می‌باشد؛ زیرا در خصوص شناسایی و طبقه‌بندی فاکتورها و اولویت‌بندی آنها در خصوص قابلیت‌های بهره‌گیری از *BIM* در پیشگیری از مخاطرات ایمنی پروژه‌های انبوه‌سازی، شرکت‌کنندگان در نظرسنجی بایستی خبرگانی باشند که چهار خصوصیت دانش و تجربه در موضوع، تمایل، زمان کافی برای شرکت و مهارت‌های ارتباطی مؤثر را داشته باشند. با توجه به اینکه پروژه‌های ساخت‌وساز شهری متعددی در سطح کشور ایران وجود دارند که از وضعیت ساختمانی خوبی برخوردار نبوده و مخاطرات ایمنی در آنها زیاد است، لذا دسترسی به‌تمامی افراد جامعه آماری به‌راحتی امکان‌پذیر نیست، از این‌رو باید زمان زیادی را جهت شناسایی و جمع‌آوری نظرات خبرگان این حوزه، اختصاص داد. با توجه به اهمیت موضوع ایمنی در پروژه‌های عمرانی، به‌خصوص در بحث انبوه‌سازی مسکن، محققان در تحقیقات آتی می‌توانند به شناسایی و رتبه‌بندی مخاطرات در سایر حوزه‌ها (پروژه‌های راه‌سازی، سد و نیروگاه و...) با بهره‌گیری از روش‌های تلفیقی بپردازند که بدیهی است هر حوزه خطرات ناشی از کار مخصوص به خود را دارد. همچنین بهره‌گیری از روش‌هایی مثل *DANP* (ترکیب *DEMATEL* و *ANP*) یا *FCM* و ترکیب آن با روش‌های فراابتکاری (*LFCM*)، می‌تواند در تحقیقات آتی دنبال شود. همچنین توصیه می‌شود مطالعات بیشتری بر روی مسئله مدیریت ایمنی و تأثیر آن بر شبکه کاهش حوادث ساختمانی انجام پذیرد. باید به این نکته نیز توجه داشت که ارزیابی این موضوع، نیاز به مهارت بالایی دارد. بنابراین، توصیه می‌شود از نظر کارشناسانی با علم لازم و شناخت کافی از سیستم مورد مطالعه، استفاده شود. امید است که با انجام به‌موقع و مناسب راهکارهای ایمنی که تعداد مهمی از آنها در این پژوهش ارائه شد، موجب کاهش حوادث ناشی از کار در پروژه‌های عمرانی شود.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

۶- مراجع

[۱] مدیریت ایمنی در کارگاه‌های عمرانی. نشریه شماره ۴۴۷. ۱۳۸۸. معاونت نظارت راهبردی دفتر نظام فنی اجرایی.

[۲] حسنی، ه.، اسدی بروجنی، خ.، و اردشیر، ع.، ۱۳۹۳، بررسی جنبه‌های ایمنی در ساخت‌پذیری با استفاده از فرایند مدل‌سازی اطلاعات ساختمان، دومین کنفرانس مصالح و سازه‌های نوین در علم مهندسی عمران، شیراز، شرکت پندار اندیش رهپو.

[۳] مجروحی، جواد.، و همکاران ۱۴۰۱، اولویت‌بندی المان‌های تأسیساتی در فرایند رفع تداخل‌ها از منظر هزینه و زمان با استفاده از روش فازی- سلسله مراتبی. نشریه علمی شهر ایمن، ۴(۴)، ۱-۱۲. https://doi.org/10.22034/ispdrc.2022.701243

[4] Abdelhamid, T. S., and Everett, J. G. (2000). Identifying root causes of construction accidents. Journal of construction engineering and management, 126(1), 52-60. http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9364(2000)126:1(52).

[5] Ai Lin Teo, E., Yean Yng Ling, F., and Sern Yau Ong, D. (2005). Fostering safe work behaviour in workers at construction sites. Engineering, Construction and Architectural Management, 12(4), 410-422. https://doi.org/10.1108/09699980510608848.

[6] Alkaissy, M., Arashpour, M., Ashuri, B., Bai, Y., and Hosseini, R. (2020). Safety management in construction: 20 years of risk modeling. Safety science, 129, 104805. https://doi.org/10.1016/j.ssci.2020.104805.

[7] Azhar, S., Khalfan, M., and Maqsood, T. (2012). Building information modeling (BIM): now and beyond. Australasian Journal of Construction Economics and Building, 12(4), 15-28. https://doi.org/10.5130/ajceb.v12i4.3032.

[8] Azhar, S., (2017). Role of Visualization Technologies in Safety Planning and Management at Construction Jobsites, Procedia Engineering, 171, 215–226. https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.01.329.

[9] Carbonari, A., Giretti, A., and Naticchia, B. (2011). A proactive system for real-time safety management in construction sites. Automation in construction, 20(6), 686-698. https://doi.org/10.1016/j.autcon.2011.04.019.

[10] Choudhry, R. M., Fang, D., and Ahmed, S. M. (2008). Safety management in construction: Best practices in Hong Kong. Journal of Professional Issues in Engineering Education and Practice, 134(1), 20-32. https://doi.org/10.1061/(ASCE)1052-3928(2008)134:1(20).

[11] Choudhry, R. M., and Fang, D. (2008). Why operatives engage in unsafe work behavior: Investigating factors on construction sites. Safety science, 46(4), 566-584. https://doi.org/10.1016/j.ssci.2007.06.027.

[12] Collinge, W. H., Farghaly, K., Mosleh, M. H., Manu, P., Cheung, C. M., and Osorio-Sandoval, C. A. (2022). BIM-based construction safety risk library. Automation in Construction, 141, 104391. https://doi.org/10.1016/j.autcon.2022.104391.

[13] Fargnoli, M., and Lombardi, M. (2020). Building Information Modelling (BIM) to Enhance Occupational Safety in Construction Activities: Research Trends Emerging from One Decade of Studies. Buildings, 10(6), 1-23. https://doi.org/10.3390/buildings10060098.

[14] Gu, N., and London, K. (2010). Understanding and facilitating BIM adoption in the AEC industry. Automation in construction, 19(8), 988-999. https://doi.org/10.1016/j.autcon.2010.09.002.

[15] Hare, B., Cameron, I., and Roy Duff, A. (2006). Exploring the integration of health and safety with pre-construction planning. Engineering, construction and architectural management, 13(5), 438-450. https://doi.org/10.1108/09699980610690729.

[16] Hongling, G., Yantao, Y., Weisheng, Z., and Yan, L. (2016). BIM and safety rules based automated identification of unsafe design factors in construction. Procedia Engineering, 164, 467-472. https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.11.646.

[17] Hossain, M. A., Abbott, E. L., Chua, D. K., Nguyen, T. Q., and Goh, Y. M. (2018). Design-for-safety knowledge library for BIM-integrated safety risk reviews. Automation in Construction, 94, 290-302. https://doi.org/10.1016/j.autcon.2018.07.010.

[18] Hu, Z., Zhang, J., and Deng, Z. (2008). Construction process simulation and safety analysis based on building information model and 4D technology. Tsinghua Science and Technology, 13(S1), 266-272. https://doi.org/10.1016/S1007-0214(08)70160-3.

[19] Kim, H., Lee, H. S., Park, M., Chung, B., & Hwang, S. (2016). Automated hazardous area identification using laborers' actual and optimal routes. Automation in Construction, 65, 21-32. https://doi.org/10.1016/j.autcon.2016.01.006

[20] Khosravi, Y., Asilian-Mahabadi, H., Hajizadeh, E., Hassanzadeh-Rangi, N., Bastani, H., and Behzadan, A.H. (2014). Factors influencing unsafe behaviors and accidents on construction sites: A review. International Journal of Occupational Safety and Ergonomics, 20(1), 111-125. https://doi.org/10.1080/10803548.2014.11077023.

[21] Lee, Hyun Woo; Oh, Hyuntak; Kim, Youngchul; Choi, Kunhe. (2020). Quantitative Analysis of Warnings in Building Information Modeling (BIM); Automation in Construction; USA. https://doi.org/10.1016/j.autcon.2014.12.007.

[22] Li, H., Lu, M., Hsu, S. C., Gray, M., and Huang, T. (2015). Proactive behavior-based safety management for construction safety improvement. Safety Science, 75, 107-117. https://doi.org/10.1016/j.ssci.2015.01.013.

[23] Loushine, T. W., Hoonakker, P. L., Carayon, P., and Smith, M. J. (2006). Quality and safety management in construction. Total Quality Management and Business Excellence, 17(9), 1171-1212. https://doi.org/10.1080/14783360600750469.

[24] Mardani, A., Nilashi, M., Zakuan, N., Loganathan, N., Soheilirad, S., Saman, M.Z.M., and Ibrahim, O. (2017). A systematic review and meta-Analysis of SWARA and WASPAS methods: theory and applications with recent fuzzy developments. Applied Soft Computing, 57, 265-292. https://doi.org/10.1016/j.asoc.2017.03.045.

[25] NBIMS. (2007). National Building Information Modeling Standards: Overview, United States, National Institute of Building Science.

[26] Pan, Y., and Zhang, L. (2021). A BIM-data mining integrated digital twin framework for advanced project management. Automation in Construction, 124, 103564. https://doi.org/10.1016/j.autcon.2021.103564.

[27] Pourrostam, T., Moballeghi, E., Abbasianjahromi, H., and Makvandi, P. (2023). Assessing the Effect of Building Information Modeling System (BIM) Capabilities on Lean Construction

Performance in Construction Projects Using Hybrid Fuzzy Multi-criteria Decision-Making Methods. Iranian Journal of Science and Technology, Transactions of Civil Engineering, 47, 1871-1891. https://doi.org/10.1007/s40996-022-00971-1.

[28] Wang, X., and et al. (2021). Generative Design in Building Information Modelling (BIM): Approaches and Requirements. Sensors, 21(16), 1-26. https://doi.org/10.3390/s21165439.

[29] Yuan, J., Li, X., Xiahou, X., Tymvios, N., Zhou, Z., and Li, Q. (2019). Accident prevention through design (PtD): Integration of building information modeling and PtD knowledge base. Automation in construction, 102, 86-104. https://doi.org/10.1016/j.autcon.2019.02.015.

[30] Zavadskas, E. K., Turskis, Z., and Tamošaitiene, J. (2010). Risk assessment of construction projects. Journal of Civil Engineering and Management, 16(1), 33-46. https://doi.org/10.3846/jcem.2010.03.

[31] Zhang, S., Teizer, J., Lee, J.K., Eastman, C.M., Venugopal, M. (2013). Building Information Modeling (BIM) and Safety: Automatic Safety Checking of Construction Models and Schedules, Automation in Construction, 29, 183-195. https://doi.org/10.1016/j.autcon.2012.05.006

[32] Zhang, S., Sulankivi, K., Kiviniemi, M., Romo, I., Eastman, C. M., and Teizer, J. (2015). BIM-based fall hazard identification and prevention in construction safety planning. Safety Science, 72, 31-45. https://doi.org/10.1016/j.ssci.2014.08.001

[33] Zolfani, S. H., Vafaeipour, M., Varzandeh, M. H. M., Derakhti, A., and Eshkalag, M. K. (2013). Assessment of regions priority for implementation of solar projects in Iran: New application of a hybrid multi-criteria decision making approach. Energy Conversion and Management, 86, 653-663. https://doi.org/10.1016/j.enconman.2014.05.083

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

نشریه‌ی علمی شهر ایمن
JOURNAL OF RESILIENT CITY
(JRC)

Identification and Prioritizing the Preventable Safety Hazards in Mass Housing Projects using the Integrated Multi-Criteria Decision-Making Method by Applying the Building Information Modelling (BIM) Approach

Amir Mohammad Maleki Toulabi[1], Towhid Pourrostam[2*], Babak Aminnejad[3]

1. Ph.D. Candidate, Department of Civil Engineering, Qeshm Branch, Islamic Azad University, Qeshm, Iran
2. Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Central Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran (Corresponding Author)
3. Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Roudehen Branch, Islamic Azad University, Roudehen, Iran

Abstract:

Construction operation is among the most hazardous sectors in terms of occupational accidents. On the other hand, as construction activities are scattered in different locations; therefore, monitoring their safety is a great challenge. Despite various advantages of implementing safety management in the construction projects, the lack of knowledge of designers in terms of prerequisites and not implementing the safety management system, also the lack of tools and novel technologies in the design stage of construction projects, have caused that the system remain yet to be properly evaluated. The Building Information Modelling (BIM) is one of the technologies gained popularity among the project managers. Among the most important applications of this approach, one could refer to its unique capabilities in maintaining the safety of project sites. The main objective in the present research is identification and prioritizing of preventable safety hazards in the mass housing projects using the integrated multi-criteria decision-making method by applying the building information modelling (BIM) approach. For this purpose in the present research, in addition to interviewing the specialists and experts related to this study, the research works by other researchers has been used. Also, the important criteria for reducing the preventable hazards in the mass housing projects were identified. Then, using the SWARA method, the identified criteria were weighted and in continuation using the WASPAS method the criteria were prioritized based on their importance. The findings of the current research showed that the safety management system criterion with Qi=0.54657 is the most important factor in terms of reducing preventable safety hazards in mass housing projects using the BIM approach.

Keywords: Safety hazards, Urban constructions, Mass housing projects, BIM, Integrated multi-criteria decision making methods

* Corresponding author: *towhid.pourrostam@yahoo.com*