



Integration Evaluation between BIM System Digital Capabilities along with Safety Management in Construction Projects

Ehsan Forsatkar¹, Parshin Varzandeh Azar²

Abstract

Despite the advantages of implementation of safety management in construction projects, due to the lack of awareness for the requirements and lack of requirements for the safety management system as well as the absence of tools and new digital technologies such as BIM system at the design stage of projects, the system is still not being evaluated. For this purpose, this paper attempts to explore the applications of BIM system in order to meet the requirements of the safety management system in construction projects and the degree of conformity and integration of BIM system capabilities in line with the effectiveness of the safety management system. The research methodology in this study is quantitative and qualitative. The most important prerequisites for the establishment of the safety management system in the country's construction projects and the most important BIM capabilities to address these prerequisites and the effectiveness of the safety management system in construction projects categorized in eight main categories and 40 factors were introduced along side. The results showed that documentation of safety analysis topped the list above other factors by means of Friedman's test, and it was proved that the prerequisites for the occurrence of the collapse, the high falling and the falling of objects and accidents with the machinery and fire planning, as well as the safety training in the site, can be achieved by BIM applications in projects.

Keywords: *Building Information Modeling (BIM), Safety Management, Integration of Capabilities and Prerequisites, Construction Projects*

1. Assistant Professor, Mehr Alborz Higher Education Institute, Faculty of Engineering, Tehran, Iran

2. M.Sc. in Project and Construction Management, Mehr Alborz Higher Education Institute, Faculty of Engineering, Tehran, Iran

Submitted: 12-10-2020

Accepted: 16-12-2020

Corresponding Author: Ehsan Forsatkar

Email: Forsatkar@mehralborz.ac.ir



ارزیابی یکپارچگی بین قابلیت‌های دیجیتال سیستم BIM در راستای پیاده سازی مدیریت

ایمنی در پروژه‌های ساخت و ساز

احسان فرصت کار^۱، پرشین ورزنده آذر^۲

چکیده

علی‌رغم مزایای پیاده‌سازی مدیریت ایمنی در پروژه‌های ساخت، به دلیل فقدان آگاهی طراحان نسبت به پیش‌نیازها، عدم ملاحظات ایجاد سیستم مدیریت ایمنی و نبود ابزارها و تکنولوژی‌های نوین دیجیتال همچون سیستم BIM در مرحله طراحی پروژه‌ها، این سیستم هنوز آن‌چنان که باید مورد ارزیابی قرار نگرفته است. به همین منظور در مقاله حاضر تلاش شد تا به بررسی کاربردهای سیستم BIM در راستای رفع نیازهای سیستم مدیریت ایمنی در پروژه‌های ساخت پرداخته و میزان انطباق و یکپارچگی قابلیت‌های سیستم BIM در راستای اثربخشی سیستم مدیریت ایمنی مورد بررسی قرار بگیرد. روش تحقیق در این پژوهش به صورت ترکیبی کمی و کیفی است. در تحلیل داده‌ها با استفاده از آزمون‌های آماری مبتنی بر نرم افزار SPSS تلاش شد تا معیارهای شناسایی شده رتبه‌بندی و ارزیابی شوند. مهم‌ترین پیش‌نیازهای استقرار سیستم مدیریت ایمنی در پروژه‌های ساخت و ساز کشور، مهم‌ترین قابلیت‌های BIM در راستای رفع این پیش‌نیازها و اثربخشی سیستم مدیریت ایمنی در پروژه‌های ساخت در هشت دسته اصلی و ۴۰ زیرعامل معرفی و دسته‌بندی شدند. بر اساس نتایج قابلیت‌های مستندسازی کامل اسناد و مدارک و مستندات تحلیل ایمنی به صورت دیجیتال با میانگین رتبه فریدمن ۲۴/۶۸ رتبه اول را کسب کرد و اثبات شد که پیش‌نیازهای احتمال وقوع حادثه ریزش آوار، حادثه سقوط از ارتفاع و سقوط اشیا و حادثه درگیری با ماشین‌آلات و آتش‌سوزی با قابلیت‌های BIM قابل پیشگیری و کاهش است و آموزش ایمنی به عوامل پروژه و برنامه‌ریزی برای ایمنی و افزایش ایمنی سایت نیز در صورت کاربرد BIM در پروژه‌های عمرانی قابل دستیابی است.

کلمات کلیدی: مدل‌سازی اطلاعات ساختمان (BIM)، مدیریت ایمنی، یکپارچگی قابلیت‌ها و پیش‌نیازها، پروژه‌های ساخت و ساز

۱. استادیار، موسسه آموزش عالی مهر البرز، دانشکده مهندسی، تهران، ایران

۲. کارشناسی ارشد مدیریت پروژه و ساخت، موسسه آموزش عالی مهر البرز، دانشکده مهندسی، تهران، ایران

تاریخ دریافت مقاله: ۹۹/۰۷/۲۱

تاریخ پذیرش نهایی مقاله: ۹۹/۰۹/۲۶

نویسنده مسئول مقاله: احسان فرصت کار

Email: Forsatkar@mehralborz.ac.ir

مقدمه

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 زیست محیطی ناشی از پروژه شده و باید در یک قالب نظام‌مند و تحت کنترل مراجع و سازمان‌های ذی‌ربط صنعت ساخت و ساز قرار گیرد (وانگ و همکاران^۱، ۱۹۹۹). با پیاده سازی و استقرار نظام مدیریت ایمنی در پروژه‌های ساخت و ساز، بسیاری از خطرات و حوادث عملیات اجرایی پروژه‌ها شناسایی شده و بر این اساس، قبل از وقوع خطرات بالقوه، امکان ارائه راه‌حل‌های مناسب در راستای کاهش خطرات قابل ارائه خواهد بود (گاه و عسکرعلی^۲، ۲۰۱۶). علیرغم مزایای پیاده سازی مدیریت ایمنی در پروژه‌های ساخت و ساز، به دلیل فقدان آگاهی طراحان نسبت به پیش‌نیازها، عدم ملاحظات ایجاد سیستم مدیریت ایمنی و همچنین نبود ابزارها و تکنولوژی‌های نوین در مرحله طراحی پروژه‌های ساخت، به خصوص در کشورهای در حال توسعه همچون ایران، این سیستم هنوز آن‌چنان که باید مورد ارزیابی قرار نگرفته است. فناوری مدل سازی اطلاعات ساختمان (BIM^۳) یکی از آن دسته پیشرفت‌هایی است که به تازگی در میان مدیران پروژه‌ها محبوبیت و کاربرد بسیاری کسب کرده و با ورود به حیطه‌های مختلف مهندسی، باعث افزایش ایمنی و کارایی و توانمندی پروژه می‌شود (وطن خواه و مسلمان یزدی، ۱۳۹۴). فناوری BIM، فرایند ساخت یک مدل دیجیتالی از همه جزئیات برنامه‌ریزی، طراحی، ساخت و بهره‌برداری یک ساختمان است که دارای اجزا و اشیای هوشمند بوده و کنترل رفتار روابط آن‌ها توسط قوانینی با نام قواعد پارامتری تعریف می‌شود (یان و دامیان^۴، ۲۰۰۸). یکی از مهم‌ترین کاربردهای سیستم BIM، قابلیت‌های آن در ایمن سازی محیط پروژه است (گاه و عسکرلی، ۲۰۱۶). این سیستم، منافع زیادی برای مدیریت ایمنی در صنعت ساخت و ساز به همراه دارد؛ چراکه با ایجاد یک محیط مشارکتی بین متخصصین طراحی و تیم سازندگان، سبب ارتقای شرایط برقراری ایمنی در کارگاه شده و بر این اساس طراحان می‌توانند تصمیمات بهتری در فرآیند اجرای پروژه بگیرند (جتولی و همکاران^۵، ۲۰۱۷). همچنین استفاده از سیستم BIM، امکان درک عمیق و صحیح از توالی تمامی فعالیت‌های کاری در سایت‌های و ساز را فراهم کرده و با به‌کارگیری آن، احتمال وقوع حوادث در سایت قابل کاهش خواهد بود. این فناوری BIM با ارائه شبیه سازی های چندبعدی و محیط‌های واقعیت مجازی از یک پروژه و سایت ساختمانی، می‌تواند منجر به ارتقای ایمنی شغلی در پروژه‌ها شده و به صورت بصری، ارزیابی خطرات احتمالی را قبل از پیشرفت مراحل مختلف ساخت و ساز در اختیار معماران، مهندسان و پیمانکاران قرار دهد (یان و دامیان، ۲۰۰۸).

علیرغم کاربردهای فراوان سیستم BIM در توسعه ایمنی در صنعت ساخت و ساز، هنوز هم این موضوع در مطالعات گذشته مورد بررسی قرار نگرفته است. بنابراین در این مقاله کاربردهای سیستم BIM در راستای رفع نیازهای سیستم مدیریت ایمنی در پروژه‌های ساخت و ساز بررسی خواهد شد و میزان انطباق و یکپارچگی قابلیت‌های سیستم BIM در راستای اثربخشی سیستم مدیریت ایمنی در پروژه‌های ساخت مورد ارزیابی قرار خواهد گرفت.

-
1. Wong et al.
 2. Goh & AskarAli
 3. Building Information Modeling
 4. Yan & Damian
 5. Getuli et al.

پیشینه پژوهش

با توجه به توسعه سریع و پذیرش سیستم مدل سازی اطلاعات ساختمان (BIM) و فن آوری‌های دیجیتالی مرتبط با آن، استفاده از این فن آوری‌ها برای مدیریت ایمنی، به یک روند تحقیق در حال رشد تبدیل شده است و توجه بسیاری از پژوهشگران را به بهره‌گیری از برنامه‌های کاربردی BIM در مدیریت ایمنی صنعت ساخت جلب کرده است.

وینستاین و همکاران^۱ (۲۰۰۵) در مقاله خود، تأثیر یک طرح مقدماتی ایمنی در مقیاس بزرگ را در طراحی و ساخت یک تأسیسات نیمه هادی در شمال غرب آمریکا مورد بررسی قرار دادند و مهم‌ترین دیدگاه‌های مطرح در زمینه تلاش برای پیشگیری از آسیب‌های احتمالی در فرآیند ساخت پروژه با درگیر شدن طراحان، مهندسان و پیمانکاران در مراحل پیش سازمانی پروژه شناسایی شدند. کیوای و همکاران^۲ (۲۰۱۱) در پژوهش خود، اقدام به طراحی ابزار ایمنی ساختمانی مبتنی بر سیستم بصری سازی BIM کرده‌اند که قادر است ایمنی طراحان و سازندگان را به صورت کارآمد در فازهای مختلف پروژه مدنظر قرار بدهد. ژانگ و همکاران^۳ (۲۰۱۳) در مقاله خود به بررسی توسعه و به‌کارگیری قوانین و چارچوب‌های خودکار مدیریت ایمنی با استفاده از رویکرد BIM در دانشگاه جورجیا پرداخته‌اند. نتایج نشان داد، 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، اطلاع رسانی می‌کند. حسنی و همکاران (۱۳۹۳) در مقاله خود ضمن تشریح مهم‌ترین مزایای استفاده از BIM، به بررسی ساخت پذیری و برنامه‌ریزی‌های ایمنی و همچنین توضیح رابطه بین ساخت پذیری و ایمنی پرداخته‌اند. وطن خواه و مسلمان یزدی (۱۳۹۴) در پژوهش خود به بررسی میزان اثرگذاری فناوری مدل سازی اطلاعات ساختمان بر مدیریت ایمنی در کارهای در ارتفاع پرداخته و بیان کرده‌اند که بهره‌گیری از فناوری مدل سازی اطلاعات ساختمان برای کاهش این‌گونه وقایع دارای اولویت است. عبدالقدیر و گودفورد^۴ (۲۰۱۵) در پژوهش خود به بررسی استفاده از سیستم BIM در صنعت ساخت و ساز با تمرکز بر ارتباط این تکنولوژی با مدیریت سلامت و ایمنی در پروژه پرداخته‌اند. نتایج نشان داد که سیستم BIM، قادر به بهبود برنامه‌ریزی‌های سازماندهی شده برای مدیریت سلامت و ایمنی برای کارکنان مختلف پروژه است. ژانگ و همکاران^۵ (۲۰۱۵) به بررسی میزان خطرات و ریسک‌های احتمالی سقوط از ارتفاع در پروژه‌های ساخت و ساز پرداخته‌اند و چگونگی شناسایی و حذف این خطرات در مراحل اولیه برنامه‌ریزی پروژه‌های ساختمانی با بهره‌گیری از رویکرد BIM در یک پروژه مسکونی در کشور فنلاند را ارزیابی کرده‌اند. سهم این کار، یک چارچوب قانونی کنترل خودکار است که ایمنی را به تأثیر و نقش BIM ربط می‌دهد و متخصصان را با روشی برای شناسایی و جلوگیری از خطرات مرتبط با سقوط از ارتفاع در پروژه‌ها آشنا می‌کند. تئو و همکاران^۶ (۲۰۱۶) در مقاله خود به بررسی چارچوب نظری سیستم BIM پیشنهادی برای تعیین شاخص ایمنی در پروژه‌های ساخت و ساز کشور سنگاپور پرداختند. نتایج 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 BIM 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 شده تا قبل از شروع پروژه و پیشبرد پروژه، جنبه‌های کلیدی عملکرد ایمنی پروژه را تحلیل و نظارت کنند. حسینوند و همکاران (۱۳۹۷) در مطالعه خود

1. Weinstein et al.
2. Qi et al.
3. Zhang et al.
4. Abdulkadir & Godfauard
5. Zhang et al.
6. Teo et al.

به صورت توصیفی - مقطعی و با مطالعه موردی در پروژه پتروشیمی مسجد سلیمان، با استفاده از روش انتخاب مدل و الگو برای تجزیه و تحلیل خطا، اقدام به مدیریت ریسک و شناسایی خطرات زیست محیطی و ایمنی در این پروژه کرده‌اند. از هر^۱ (۲۰۱۷) در مقاله خود با انجام سه مطالعه موردی در پروژه‌های صنعت ساخت و ساز، به بررسی اثربخشی فناوری‌های بصری سازی و تجسم خطرات احتمالی در طراحی پروژه‌های ساخت و ساز و ارتباط و اجرای طرح‌های ایمنی ساختمان پرداخته است. نتایج نشان داد که ابزارهای پویای سه و چهاربعدی در طراحی و مدیریت ایمنی پروژه‌های ساخت و ساز، در مقایسه با ابزارهای دوبعدی، بسیار مؤثرتر عمل می‌کنند. لی و همکاران^۲ (۲۰۱۸) در مقاله خود به بررسی متدولوژی‌های کنترل ریسک‌های ایمنی در صنعت ساخت متروی کشور چین با استفاده از تکنولوژی BIM پرداخته‌اند. در این مقاله براساس پلتفرم BIM، یک سیستم شناسایی ریسک ایمنی^۳ و سیستم هشداردهنده زود هنگام^۴ برای پروژه‌های ساخت مترو در کشور چین ارائه شده است.

مدل سازی اطلاعات ساختمان

مدل سازی اطلاعات ساختمان (BIM) روند توسعه و استفاده از یک مدل شبیه سازی 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. به طوری که با ایجاد تغییر در یک عضو کوچک از این مجموعه تمامی اعضای دیگر خود را با آن مطابقت می‌دهند و بدین ترتیب این تکنولوژی برای تصمیم‌گیری‌ها در راستای بهبود روند ساخت و بهره‌برداری مورد استفاده قرار می‌گیرد (اسمیت^۵، ۲۰۰۷).

نقش قابلیت‌های سیستم BIM در ایمنی پروژه

کاربرد اصلی BIM در زمینه ایمنی را می‌توان شناسایی عوامل خطر و اصلاح آن‌ها حین ساخت یا در حین مرحله طراحی برشمرد. طراحی و پیاده سازی یک ابزار نرم افزاری مناسب می‌تواند به مهندسين و مدیران، علت و مکان و زمان خطر و تمهیدات لازم برای جلوگیری از ایجاد خطر را قبل از شروع عملیات ساخت هشدار دهد (زانگ و همکاران^۶، ۲۰۱۳). یک مدل تجسمی می‌تواند به مهندسين در ارزیابی شرایط شناسایی مناطق ناایمن کمک شایانی کند. به عنوان نمونه حین اجرای دو قاب عظیم فولادی مربوط به دو ساختمان در جزیره مصنوعی ابوظبی امارات، مهندسان از محدوده‌های استوانه‌ای فرضی در مدل برای مشخص کردن حریم عملیات جوشکاری استفاده کردند و با توجه به برنامه زمان‌بندی و تشخیص تقاطع استوانه‌های فرضی با دیگر عملیات، از ایجاد خطر برای دیگر تیم‌های کاری جلوگیری شد (ایستمن و همکاران^۷، ۲۰۱۱). در روشی مشابه در پروژه برج وست در گوانجوی چین، با توجه به پیچیدگی‌های اجرایی، زمان‌بندی و احتمال بروز تداخل و تصادم در عملیات اجرایی، از مدل BIM همراه با بعد زمان برای پیشگیری از تصادمات و حوادث احتمالی بهره بردند. تشخیص برخورد تاورک‌رین با اجزای سازه‌ای یکی از مواردی بود که در این پروژه از BIM برای اصلاح موقعیت تاور کرین استفاده شد (عاصمی اصفهانی و همکاران، ۱۳۹۳). شیوه‌های ممکن به کارگیری بیم برای مباحث ایمنی در جدول ۱ ارائه شده است.

-
1. Azhar
 2. Li et al.
 3. Safety risk identification system
 4. Safety risk early warning system
 5. Smith
 6. Zhang et al.
 7. Eastman et al.

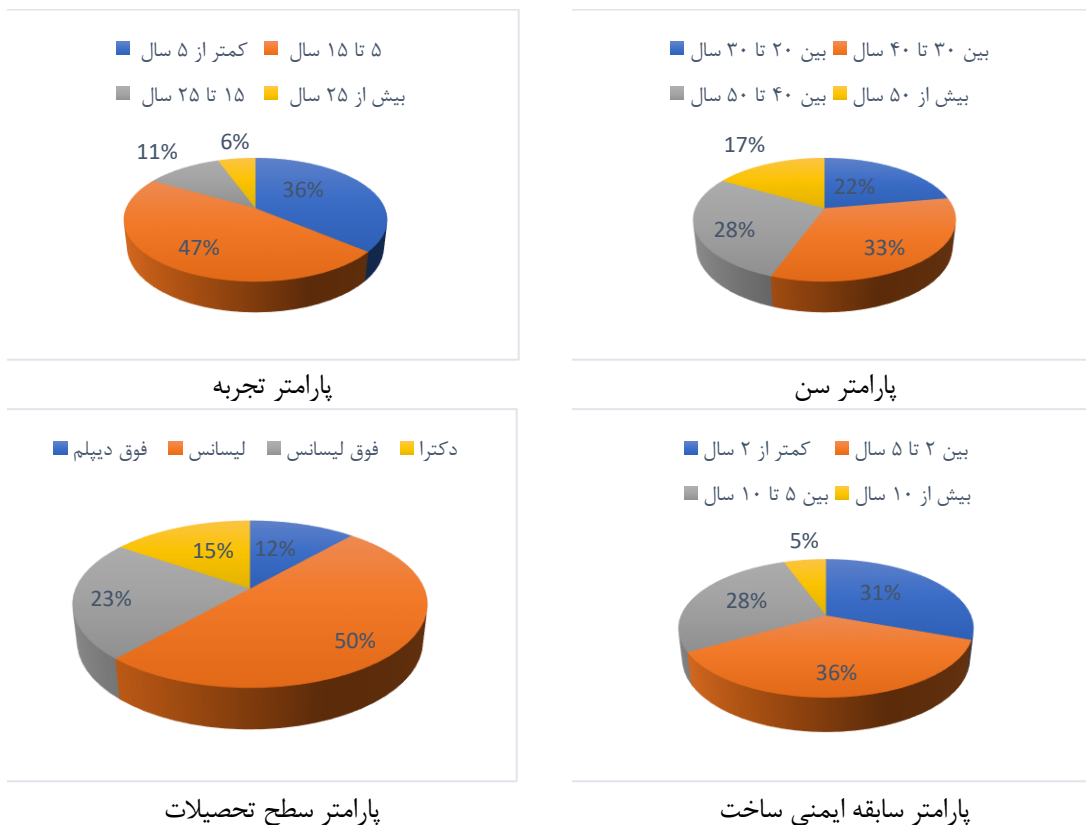
جدول ۱: شیوه‌های ممکن به‌کارگیری بیم برای مباحث ایمنی

شرح به‌کارگیری شیوه	شیوه به‌کارگیری
رؤیت مدل سه بعدی ساختمان یک فهم کلی از پیچیدگی ساختمان ارائه کرده و متخصص‌های ساخت و ساز می‌توانند امان‌هایی را که سبب ایجاد ریسک در ساخت پذیری می‌شوند را شناسایی کنند و متخصصان ایمنی نیز در مقابل می‌توانند خطرات موجود به خاطر پیچیدگی سازه در طبقات بالا را شناسایی کنند (وایت و همکاران ^۱ ، ۲۰۰۱).	ارزیابی دیداری
ترکیب کردن مدل‌های با طراحی‌های متفاوت در قالب یک فایل IFC اجرای یک مدل نیمه اتوماتیک شناسایی مغایرت‌ها برای از بین بردن مغایرت میان طرح HVAC و امان‌های سازه‌ای (حسینی و همکاران، ۱۳۹۳)	شناسایی مغایرت‌ها با استفاده از مدل ترکیبی
در مدل سازه امان‌های ساختمانی و مونتاژها با وظایف و مسئولیت‌های مختلف در کار ساخت‌وساز مرتبط شده و زمان انجام این وظایف در این برنامه‌ریزی تعریف می‌شود و پایه‌ای برای برنامه‌ریزی و طراحی چهاربعدی بر پایه بیم است. (ژانگ و همکاران ^۲ ، ۲۰۱۱).	برنامه‌ریزی بر پایه BIM
تجسمی که از نماهای سه بعدی مدل بیم و یا وضعیت تصویری چهاربعدی به دست می‌آیند هر دو به بالا بردن ایمنی کمک می‌کنند. (حسینی و همکاران، ۱۳۹۳).	تأثیر تجسم ۳ بعدی یا ۴ بعدی ساخت در ایمنی
استفاده از مدل بیم هم‌زمان با دیگر نقشه‌ها برای ارائه مدل تصویری مسائل ساخت پذیری بسیار مؤثر است. (وایت و همکاران، ۲۰۰۱).	BIM ابزاری برای تعامل میان ایمنی و ساخت پذیری
مدل سازی 3D متمرکز بر بصری کردن ساختمان برای کاربر، طراح، سازنده و متخصص ایمنی در فرایند و روش ساخت خود می‌تواند تأثیرات زیادی در ایمنی ساخت‌وساز و در نتیجه برنامه‌ریزی ایمنی بگذارد. (حسین زاده و اشتهدریان، ۱۳۹۳).	ایمنی ساخت به‌وسیله مدل سازی ۳ بعدی
اضافه کردن زمان به مدل ساختمان نشان می‌دهد که چگونه اجزای ساختمان کنار یکدیگر قرار می‌گیرند. با مدل سازی 4D برنامه‌ریزی، آموزش و ارتباطات ایمنی بسیار تسهیل شد و مدل‌های ایجا شده با شبیه سازی فرایند ساخت پروژه درشناسایی خطرات به مدیران ایمنی کمک می‌کنند. (حسین زاده و اشتهدریان، ۱۳۹۳).	ایمنی ساخت‌وساز به‌وسیله مدل سازی چهاربعدی
در سال ۲۰۱۳ الگوریتمی طراحی شد که به صورت خودکار مدل ساختمان را آنالیز کرده و خطرات ایمنی را شناسایی می‌کند و اقدامات پیشگیرانه برای خطر سقوط از ارتفاع مانند لبه‌های دال، حفره‌های دال، و بازشوهای دیوار را به کاربران پیشنهاد می‌دهد و گزارش می‌کند چه اقدامات ایمنی، چرا کجا و چه زمانی برای جلوگیری از خطرات سقوط از ارتفاع لازم است همچنین آنالیز سلامت سازه، شناسایی امان‌های سازه‌ای ناپایدار (لغزش، فروریزش، پایداری سازه‌ای ساختمان‌های اطراف)، رفتارهای ریسک دار، حوزه‌های کاری خطرناک و نظارت بر رفتار کارگران در این مدل بررسی شده است. (حسین زاده و اشتهدریان، ۱۳۹۳).	شناسایی خطرات به صورت خودکار در مدل BIM
با آموزش‌های کافی و برنامه‌ریزی ایمنی کامل و نظارت صحیح بر ایمنی همراه با اطلاعات کافی در زمینه‌های دینامیکی و تجسمی و پارامتری می‌توان به ایمنی واضح و نظارت واقعی در سایت دست یافت (هانگ لینگ و همکاران ^۳ ، ۲۰۱۷).	ترکیب تکنولوژی‌های بصری سازی با یکدیگر

1. Whyte et al.
2. Zhang et al.
3. Hongling et al.

روش پژوهش

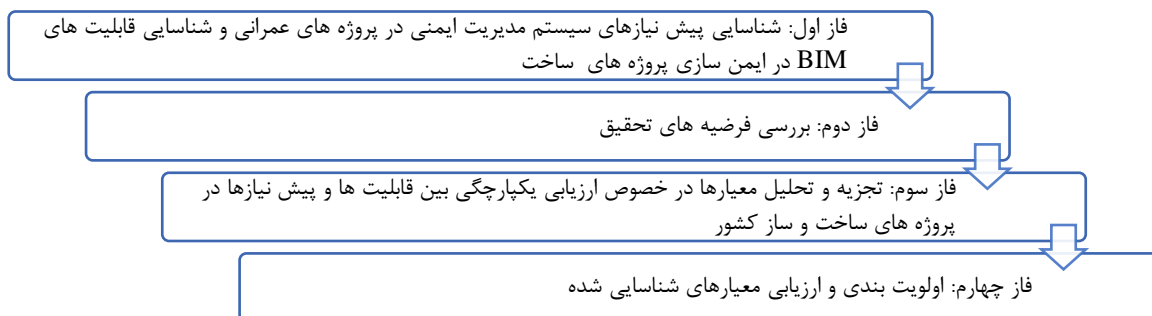
با توجه به درگیر بودن مجموعه‌ای از داده‌های کیفی و کمی، نوع روش تحقیق در این پژوهش به صورت آمیخته یعنی ترکیبی از این دو روش است. روش کیفی به این دلیل مورد استفاده قرار می‌گیرد که با استفاده از مطالعات گذشته بتوان مهم‌ترین معیارهای مؤثر و موجود در زمینه انجام پژوهش را شناسایی کرد. تحقیق کمی به این دلیل مورد استفاده قرار می‌گیرد که با تهیه پرسشنامه‌ها و جمع‌آوری آمار و اطلاعات و سپس کارهای آماری و محاسباتی با روش‌های ترکیبی تلاش می‌شود تا معیارهای شناسایی شده اولویت‌بندی و ارزیابی شوند. مقاله حاضر از نظر هدف، تحقیقی کاربردی بوده و از نظر جمع‌آوری اطلاعات، تحقیقی توصیفی و از لحاظ تجزیه و تحلیل داده‌ها، تحلیلی - توصیفی خواهد بود که با استفاده از پرسشنامه و روش پیمایش میدانی به انجام خواهد رسید. نحوه انتخاب نمونه آماری در پژوهش حاضر به صورت نمونه‌گیری غیراحتمالی و قضاوتی و با توجه به دسترس بودن افراد است. تعداد افراد انتخاب شده وابسته به هدف دلفی و دامنه مسئله، کیفیت تصمیم، توانایی تیم تحقیق در اداره مطالعه، زمان جمع‌آوری داده‌ها و منابع در دسترس و پذیرش پاسخ است. در این پژوهش نمونه آماری با احتساب ۴۰ نفر جامعه آماری و سایر پارامترها در رابطه کوکران برابر با ۳۶ است. اطلاعات جمعیت شناختی خبرگان انتخاب شده به عنوان نمونه آماری تحقیق مشتمل بر ۳۶ نفر از متخصصین در حوزه پیاده سازی مدیریت ایمنی در پروژه‌های عمرانی با قابلیت‌های BIM، در چهار پارامتر اصلی شامل سن، سابقه کار عمرانی، سابقه کار ایمن سازی پروژه‌های عمرانی، میزان تحصیلات مورد سنجش قرار گرفته است که در نمودار ۱ ارائه شده است.



نمودار ۱: تقسیم‌بندی خبرگان بر اساس سطح تحصیلات

تجزیه و تحلیل یافته‌ها

در این بخش، براساس داده‌ها و اطلاعات گردآوری شده، به استنباط آن‌ها بر مبنای روش تحقیق، پرداخته شده است. برای دستیابی به این هدف، روند پروژه در گام‌های نمودار ۲ انجام شده است.



نمودار ۲: فازهای چهارگانه تحلیل داده‌ها

فاز اول: شناسایی قابلیت‌های BIM در ایمن سازی پروژه‌های عمرانی

متغیرهای مستقل پژوهش شامل هشت دسته عوامل معرفی شد. سپس هر کدام یک از این عوامل به یک سری زیرعوامل تقسیم شد که در جدول ۲ به همراه شاخص‌های نمادی خود ارائه شده‌اند. شایان ذکر است این عوامل بر اساس نتایج به دست آمده با توجه به جمع بندی تحقیقات گذشته احصا و در هشت دسته طبقه بندی شده‌اند.

جدول ۲: مهم‌ترین عوامل و زیرعوامل مؤثر بر قابلیت‌های BIM در راستای رفع این پیش‌نیازها و اثربخشی سیستم مدیریت ایمنی در پروژه‌های ساخت

نماد	زیرعامل	عامل اصلی
A1	بررسی ویژگی‌های محل مربوطه و ماشین آلات مورد نیاز مورد با استفاده از BIM	عوامل استفاده از BIM برای کاهش احتمال وقوع حادثه ریزش آوار (A)
A2	شناسایی روش‌های پیشگیرانه مطابق دستورالعمل‌های مختلف HSE	
A3	تولید انیمیشن‌ها توسط نرم افزارهای مختلف BIM و نمایش مراحل ایمن سازی برای درک بهتر تیم اجرا	
A4	امکان ایجاد تعامل بین ارکان مختلف پروژه درخصوص بازیافت مصالح و تجهیزات کهنه و مستعمل و تعیین مکان‌های پسماند خارج از محدوده زیست محیطی مطلوب برای جلوگیری از ریزش آوار	
B1	مدل سازی نرده‌ها و جان پناه‌ها، علی‌الخصوص شبیه سازی داربست‌ها و تجهیزات موقت کارگاهی همچون جرثقیل و تاورکرین	عوامل استفاده از BIM برای کاهش احتمال وقوع حادثه سقوط از ارتفاع (B)
B2	بهره‌گیری از مدل BIM به منظور شناخت و درک بهتر هندسه ویژگی‌های پروژه	
B3	استفاده از مدل‌های مستندسازی شده BIM برای پیش بینی دقیق مکان‌های فعالیت	
B4	سنجش احتمالات در نواحی و طبقات مشخص از یک بنا با امکان تجسم و بصری سازی موجود در سیستم BIM	
B5	امکان بازبینی و آنالیزهای تجربی توسط مهندسين خیره درخصوص حوادث ناشناخته منجر به سقوط از ارتفاع	
C1	امکان بررسی مدل سازه بنا قبل از ساخت توسط ابزار بصری سازی BIM	عوامل مؤثر شرایط محیط کار (C)

نماد	زیرعامل	عامل اصلی
	برای پیش بینی سقوط اشیاء از مکان‌های پیش بینی نشده	
C2	تعبیه پوشش ایمنی (نصب توری‌های فلزی بازدارنده از وقوع حادثه سقوط اجسام) در مکان‌های با احتمال خطر بیشتر از طریق مدل BIM	
C3	بررسی و ارزیابی نواحی کاری خارجی و داخلی سازه بنا برای تشخیص محل وقوع سقوط توسط مدل BIM	
D1	امکان طراحی چهاربندی و ماشین آلات و جبهه کاری	
D2	امکان ایجاد پیش نمایش و دید بصری از نحوه جاگذاری و چیدمان تجهیزات و تأسیسات مختلف مورد نیاز در فضاها و تحلیل‌های مختلف تکنولوژیکی برای از بین بردن فضاهای ناامن در سطح پروژه	
D3	تشخیص نقاط بحرانی برنامه زمان بندی و برنامه‌ریزی منظم مکانی برای مسیره‌های تردد انواع گروه‌های کاری در سایت پروژه	
D4	پیش بینی زمان بندی اجرای کارهای اجرایی دارای تداخلات در برنامه زمان بندی عملیاتی مبتنی بر BIM	
D5	زون بندی کارگاه اجرا و اختصاص آن‌ها به پیمانکاران مختلف برای جلوگیری از تداخلات	
D6	برنامه‌ریزی در گانت چارت BIM برای جلوگیری از تداخل پیمانکاران مختلف از نظر محدوده کاری و زمانی (امکان ارائه برنامه زمان بندی برای عدم فعالیت هم‌زمان در یک طبقه یا محدوده‌ای از سایت)	
E1	شبیه سازی مجازی محیط ساختمان برای استفاده در زمان آتش‌سوزی و شبیه سازی فرآیند تخلیه افراد	
E2	امکان ایجاد تجسم طراحی برای بازسازی در راستای ایجاد سازگاری فضا با محیط‌های دارای فضاهای تهویه طبیعی در صورت بروز آتش‌سوزی احتمالی در پروژه	
E3	امکان مدل‌سازی سناریوی حرکت خودروهای امدادی (آمبولانس و آتش نشانی) را در مدل	
E4	تعیین نواحی مناسب در سایت پروژه و یا طبقات برای انبار کردن مواد مشتعل شونده مورد استفاده در بنا با توجه به فازبندی روند انجام کار در مدل BIM	
E5	امکان انجام آنالیزهایی برای تعیین عملکرد افراد و سیستم در زمان بروز آتش‌سوزی پیش از ساخت بنا	
F1	کنترل چک لیست‌های ایمنی و هشدار خودکار به ناظر HSE	
F2	شناسایی ریسک‌ها و تحلیل پاسخ‌های محتمل	
F3	امکان ایجاد برنامه‌ریزی ایمنی صحیح از طریق تجسم و درک درست هندسه، برنامه زمان‌بندی، اولویت‌بندی کارها و ساختار سازمانی کارگاه	
F4	تعریف سناریوهای متفاوت بروز حوادث ایمنی برای آموزش‌های پیش از وقوع به کارگران و عوامل بالادستی	
F5	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	
		عوامل استفاده از BIM برای کاهش احتمال وقوع حادثه در درگیری شخص با ماشین آلات و دیگر گروه‌ها (D)
		استفاده از BIM برای کاهش احتمال وقوع حادثه در آتش‌سوزی و مهار آن (E)
		کاربرد BIM به منظور آموزش ایمنی به کارگران و عوامل بالادستی (F)

نماد	زیرعامل	عامل اصلی
F6	امکان توجه به نیازهای بخش اجرا توسط مدل BIM برای تعیین خروجی‌ها، زمان بندی خروج، میزان دبی افراد برای خروج، حجم ورود و خروج هوای تازه، نواحی پر تردد عمومی و نحوه حفاظت از آن و...	کاربرد BIM در بخش‌های مختلف برنامه‌ریزی برای ایمنی (G)
F7	امکان اجرای برنامه‌ریزی برای ایمنی به موازات مرحله طراحی سازه	
G1	امکان ساخت انیمیشن‌های ساختمانی و مدل‌های سه بعدی برای درک بهتر برنامه‌ریزی در زمینه ایمنی	
G2	مستندسازی اسناد و مدارک، قراردادهای، اطلاعات، نقشه‌ها، دستورکارها، دستورالعمل‌ها، مستندات تحلیل ایمنی و کلیه مستندات موجود در خصوص ایمن سازی پروژه به صورت دیجیتالی برای کاربرد در پروژه‌های آتی	
G3	شناخت محیط کار، انتظارات موجود و نتیجه کار قبل از اجرا و در نتیجه آگاه کردن کارگران نسبت به خطرات موجود و توجه آنان به نقاط بحرانی	
G4	تحلیل پیچیدگی‌های پروژه و مراجعه به محل دقیق بروز خطرات ایمنی در فرآیند اجرای پروژه با استفاده از نقشه‌های چون ساخت چندبعدی	سایر کاربردهای BIM برای کاهش احتمال وقوع حادثه و افزایش ایمنی در سایت (H)
G5	تشریح بهتر نواحی بحرانی به لحاظ فضا، خطرات اجرا، محدودیت‌های فیزیکی و ... با استفاده از مدل BIM	
H1	هشدار برای زمان‌های گارانتی و بازبینی ماشین آلات و کپسول‌های آتش نشانی	
H2	تحلیل خودکار ضوابط مربوط به ایمنی پروژه از طریق تعیین دستورالعمل‌های مرتبط با هر کارگاه به صورت منحصر به فرد	
H3	افزایش سطح ارتباطات بین عوامل مختلف برای آگاهی از خطرات موجود در کارگاه	
H4	کاهش هزینه‌های مربوط به سرعت گزارش‌گیری، بررسی وضعیت ایمنی ساخت در فرآیند اجرای پروژه به دلیل مستند بودن اطلاعات به صورت دیجیتالی	
H5	برنامه‌ریزی برای امکان پیش بینی‌های لازم برای انجام اقدامات پس از حوادث احتمالی	

جدول ۳: نتیجه تحلیل قابلیت اعتماد عوامل اصلی و فرعی با SPSS

نتیجه تحلیل قابلیت اعتماد عوامل فرعی با SPSS		نتیجه تحلیل قابلیت اعتماد عوامل اصلی با SPSS	
Cronbach's Alpha	N of Items	Cronbach's Alpha	N of Items
۰/۹۱۱	۴۰	۰/۷۳۶	۸

طبق جدول ۳، نتیجه تحلیل پایایی^۱ برای عوامل اصلی عدد ۰/۷۳۶ و برای معیارهای فرعی ۰/۹۱۱ حاصل شده است که نشان دهنده قابل قبول بودن آن‌ها است.

پس از شناسایی مهم‌ترین معیارهای و زیرمعیارهای مؤثر بر پیش‌نیازهای مدیریت سیستم ایمنی با یکپارچگی قابلیت‌های BIM در آن، در پروژه‌های ساختمانی، در این بخش به تحلیل نتایج مربوط به وضعیت اهمیت عوامل شناسایی شده پرداخته شده است. به همین منظور در ابتدا، مقادیر پارامترهای آماری مورد نیاز در مورد معیارهای شناسایی شده یعنی مقادیر میانگین، انحراف معیار، چولگی، کشیدگی، مینیمم و ماکزیمم و ... در جدول ۴ مورد بررسی قرار گرفته است.

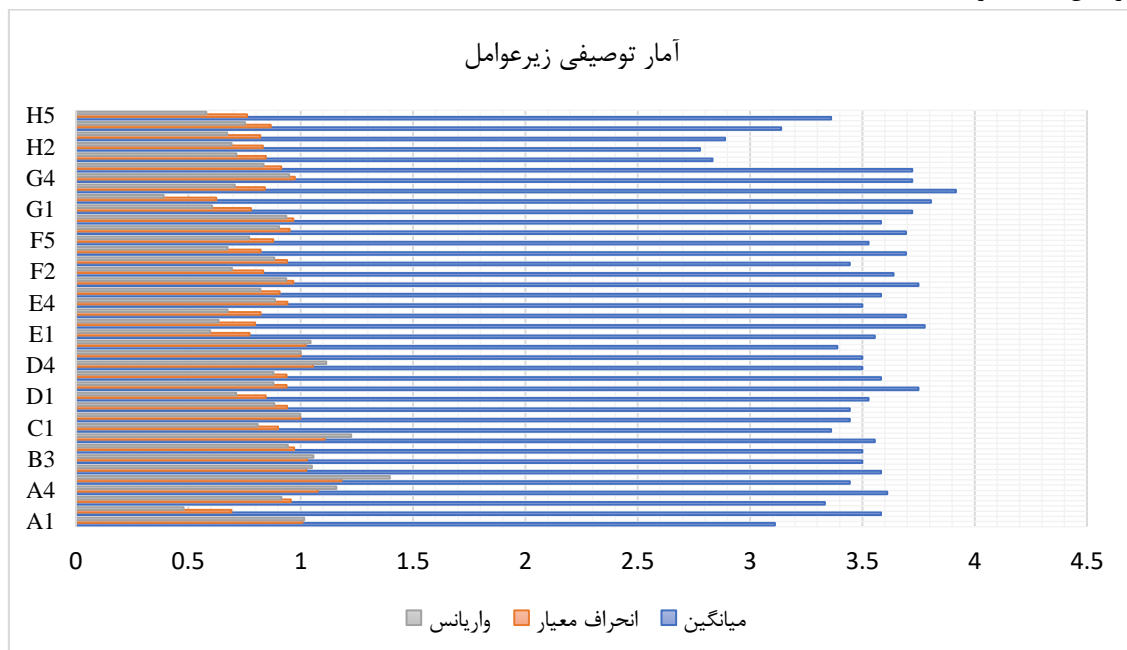
1. Reliability

برای این منظور با کمک ابزارهای آمار توصیفی و نرم افزار SPSS به تجزیه و تحلیل داده‌های جمع آوری شده از طریق پرسشنامه‌ها به منظور دستیابی به اهداف تحقیق پرداخته شده است. ابتدا به منظور تعیین اساسی‌ترین عوامل (متغیرهای اصلی) و زیرعوامل (متغیرهای فرعی) تأثیرگذار بر یکپارچگی قابلیت‌های BIM در ایمنی پروژه‌های عمرانی از آزمون فرضیات استفاده شده است.

جدول ۴: مقادیر شاخص‌های آماری و توصیفی در خصوص عوامل اصلی

پارامتر آماری	A	B	C	D	E	F	G	H
تعداد داده‌های معتبر	۳۶	۳۶	۳۶	۳۶	۳۶	۳۶	۳۶	۳۶
میانگین	۳/۳۸۸۹	۳/۴۴۴۴	۳/۳۸۸۹	۳/۳۶۱۱	۳/۴۴۴۴	۳/۴۴۴۴	۳/۵۰۰۰	۳/۴۷
استاندارد خطای میانگین	۰/۱۳۹۶۰	۰/۱۲۸۷۶	۰/۱۶۵۶۱	۰/۱۶۹۷۵	۰/۱۴۰۵۵	۰/۱۳۴۷۸	۰/۱۶۱۸۳	۰/۱۴۶
میانه	۳/۰۰۰۰	۳/۵۰۰۰	۳/۵۰۰۰	۳/۰۰۰۰	۳/۰۰۰۰	۳/۰۰۰۰	۳/۰۰۰۰	۳/۰۰۰۰
مد	۳/۰۰	۴/۰۰	۴/۰۰	۳/۰۰	۳/۰۰	۳/۰۰	۳/۰۰	۳/۰۰
انحراف معیار	۰/۸۳۷۶۱	۰/۷۷۲۵۴	۰/۹۹۳۶۳	۱/۰۱۸۴۸	۰/۸۴۳۲۷	۰/۸۰۸۶۸	۰/۹۷۱۰۱	۰/۸۷۷۸
واریانس	۰/۷۰۲	۰/۵۹۷	۰/۹۸۷	۱/۰۳۷	۰/۷۱۱	۰/۶۵۴	۰/۹۴۳	۰/۷۷۱
چولگی	۰/۰۶۴	-۰/۱۹۸	-۰/۳۲۲	۰/۰۵۷	۰/۱۸۴	۰/۳۶۲	-۰/۱۹۸	۰/۲۲۴
استاندارد خطای چولگی	۰/۳۹۳	۰/۳۹۳	۰/۳۹۳	۰/۳۹۳	۰/۳۹۳	۰/۳۹۳	۰/۳۹۳	۰/۳۹۳
کشیدگی	-۰/۴۵۲	-۰/۳۰۵	-۰/۳۵۱	-۰/۳۴۰	-۰/۴۱۸	-۰/۲۴۳	۰/۰۱۵	-۰/۵۵۲
استاندارد خطای کشیدگی	۰/۷۶۸	۰/۷۶۸	۰/۷۶۸	۰/۷۶۸	۰/۷۶۸	۰/۷۶۸	۰/۷۶۸	۰/۷۶۸
دامنه تغییرات	۳/۰۰	۳/۰۰	۴/۰۰	۴/۰۰	۳/۰۰	۳/۰۰	۴/۰۰	۳/۰۰
کمترین داده	۲/۰۰	۲/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰	۲/۰۰	۲/۰۰	۱/۰۰	۲/۰۰
بیشترین داده	۵/۰۰	۵/۰۰	۵/۰۰	۵/۰۰	۵/۰۰	۵/۰۰	۵/۰۰	۵/۰۰

مطابق نتایج اولیه از آمار توصیفی داده‌ها (نمودار ۳)، اهمیت معیارها مقادیر بسیار مشابهی در میانگین و انحراف معیار واریانس کسب کرده‌اند.



نمودار ۳: نتایج شاخص‌های توصیفی زیرعوامل

فاز دوم: آزمون فرضیات عوامل (متغیرهای اصلی تحقیق)

در ادامه، اقدام به آزمون فرضیات برای سنجش عوامل اصلی شناسایی شده در تحقیق شده است. همان‌گونه که پیش از این بیان شد، مهم‌ترین پیش‌نیازهای سیستم مدیریت ایمنی در پروژه‌های عمرانی بر اساس هشت عامل اصلی قابل بررسی است که BIM می‌تواند آن‌ها را بهبود بخشد؛ بنابراین فرضیاتی به صورت ذیل قابل تعریف خواهد بود.

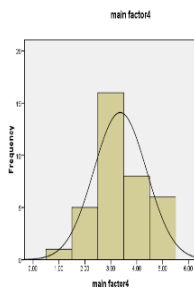
- **فرضیه ۱:** کاهش احتمال وقوع حادثه ریزش آوار به عنوان یک پیش‌نیاز در سیستم مدیریت ایمنی در پروژه‌های عمرانی مطرح است.
- **فرضیه ۲:** کاهش احتمال وقوع حادثه سقوط از ارتفاع به عنوان یک پیش‌نیاز در سیستم مدیریت ایمنی در پروژه‌های عمرانی مطرح است.
- **فرضیه ۳:** کاهش احتمال وقوع حادثه سقوط اشیاء به عنوان یک پیش‌نیاز در سیستم مدیریت ایمنی در پروژه‌های عمرانی مطرح است.
- **فرضیه ۴:** کاهش احتمال وقوع حادثه درگیری شخص با ماشین آلات و دیگر گروه‌ها به عنوان یک پیش‌نیاز در سیستم مدیریت ایمنی در پروژه‌های عمرانی مطرح است.
- **فرضیه ۵:** کاهش احتمال وقوع حادثه آتش‌سوزی و مهار آن به عنوان یک پیش‌نیاز در سیستم مدیریت ایمنی در پروژه‌های عمرانی مطرح است.
- **فرضیه ۶:** آموزش ایمنی به کارگران و عوامل بالادستی به عنوان یک پیش‌نیاز در سیستم مدیریت ایمنی در پروژه‌های عمرانی مطرح است.
- **فرضیه ۷:** بخش‌های مختلف برنامه‌ریزی برای ایمنی به عنوان یک پیش‌نیاز در سیستم مدیریت ایمنی در پروژه‌های عمرانی مطرح است.
- **فرضیه ۸:** کاهش احتمال وقوع حادثه و افزایش ایمنی در سایت به عنوان یک پیش‌نیاز در سیستم مدیریت ایمنی در پروژه‌های عمرانی مطرح است.

در تمامی متغیرها فرض صفر رد شده و طبق نمودار ۴ تمامی این متغیرهای اصلی تحقیق از نوع نرمال محسوب شده و بر این اساس تأیید فرضیات صورت گرفته است و برای بررسی فرضیات از آزمون پارامتری (T-Test) برای بررسی فرضیات استفاده شد. همچنین نتایج تحلیل‌های آماری نشان می‌دهد که تمامی عوامل شناسایی شده به عنوان معیارهای اصلی مؤثر در کاهش حوادث و ایمن سازی پروژه‌های عمرانی از اهمیت زیادی برخوردار بوده و مورد قبول واقع شده‌اند.

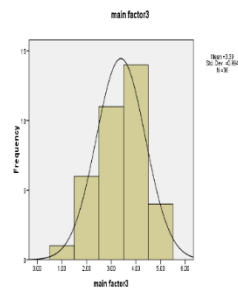
در آزمون مربوط به فرضیه اول، مقدار بحرانی برای این آزمون با فرض اطمینان ۰.۹۵٪ و درجه آزادی ۳۵ برابر ۳/۱۷۶ است، مقدار بحرانی مذکور از آماره آزمون به دست آمده بیشتر بوده و در نتیجه فرضیه صفر تأیید شده و فرضیه یک رد می‌شود؛ بنابراین، در سطح خطای ۰.۵٪ فرضیه یک رد می‌شود. به عبارت دیگر، در سطح اطمینان ۰.۹۵٪ می‌توان گفت که «کاهش احتمال وقوع حادثه ریزش آوار به عنوان یک پیش‌نیاز در سیستم مدیریت ایمنی در پروژه‌های عمرانی مطرح است».

در آزمون فرضیه دوم مقدار بحرانی برای این آزمون با فرض اطمینان ۰.۹۵٪ و درجه آزادی ۳۵ برابر ۳/۸۹۶ است، مقدار بحرانی مذکور از آماره آزمون به دست آمده بیشتر بوده و در نتیجه فرضیه صفر تأیید شده و فرضیه یک رد می‌شود؛ بنابراین، در سطح خطای ۰.۵٪ فرضیه یک رد می‌شود. به عبارت دیگر، در سطح اطمینان ۰.۹۵٪ می‌توان گفت که «کاهش احتمال وقوع حادثه سقوط از ارتفاع به عنوان یک پیش‌نیاز در سیستم مدیریت ایمنی در پروژه‌های عمرانی مطرح است».

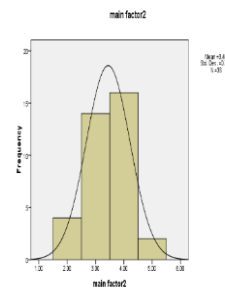
در آزمون فرضیه سوم مقدار بحرانی برای این آزمون با فرض اطمینان ۰.۹۵٪ و درجه آزادی ۳۵ برابر ۲/۷۳۶ است، مقدار بحرانی مذکور از آماره آزمون به دست آمده بیشتر بوده و در نتیجه فرضیه صفر تأیید شده و فرضیه یک رد می‌شود؛ بنابراین، در سطح خطای ۰.۵٪ فرضیه یک رد می‌شود. به عبارت دیگر، در سطح اطمینان ۰.۹۵٪ می‌توان گفت که «کاهش احتمال وقوع حادثه سقوط اشیاء به عنوان یک پیش‌نیاز در سیستم مدیریت ایمنی در پروژه‌های عمرانی مطرح است».



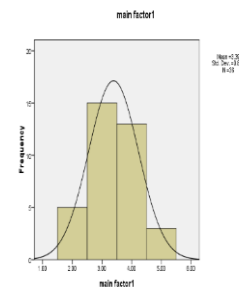
متغیر چهارم (کاهش احتمال وقوع حادثه درگیری شخص با ماشین آلات)



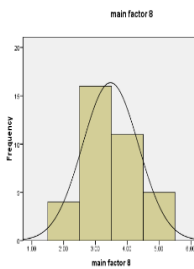
متغیر سوم (کاهش احتمال وقوع حادثه سقوط اشیاء)



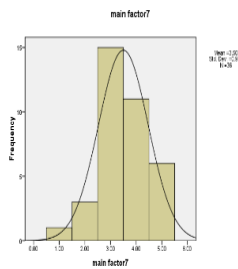
متغیر دوم (کاهش احتمال وقوع حادثه سقوط از ارتفاع)



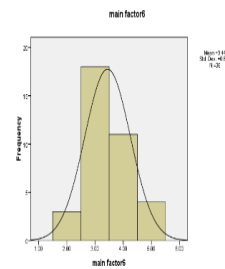
متغیر اول (کاهش احتمال وقوع حادثه ریزش آوار)



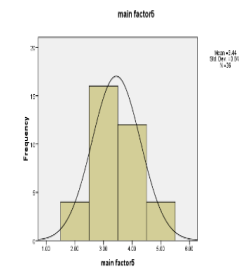
متغیر هشتم (ایمنی در سایت)



متغیر هفتم (برنامه ریزی برای ایمنی)



متغیر ششم (ایمنی به کارگران و عوامل بالادستی)



متغیر پنجم (کاهش احتمال وقوع حادثه آتش سوزی و مهار آن)

نمودار ۴: نمودار توزیع آماری متغیرهای مختلف در خصوص قابلیت های BIM در مدیریت ایمنی پروژه های ساخت

در آزمون فرضیه چهارم با توجه به آنکه مقدار بحرانی برای این آزمون با فرض اطمینان ۰.۹۵٪ و درجه آزادی ۳۵ برابر ۲/۴۸۸ است، مقدار بحرانی مذکور از آماره آزمون به دست آمده بیشتر بوده و در نتیجه فرضیه صفر تأیید شده و فرضیه یک رد می شود؛ بنابراین، در سطح خطای ۰.۵٪ فرضیه یک رد می شود. به عبارت دیگر، در سطح اطمینان ۰.۹۵٪ می توان گفت که «کاهش احتمال وقوع حادثه درگیری شخص با ماشین آلات و دیگر گروه ها به عنوان یک پیش نیاز در سیستم مدیریت ایمنی در پروژه های عمرانی مطرح است».

در آزمون فرضیه پنجم، با توجه به آنکه مقدار بحرانی برای این آزمون با فرض اطمینان ۰.۹۵٪ و درجه آزادی ۳۵ برابر ۳/۶۰۶ است، مقدار بحرانی مذکور از آماره آزمون به دست آمده بیشتر بوده و در نتیجه فرضیه صفر تأیید شده و فرضیه یک رد می شود؛ بنابراین، در سطح خطای ۰.۵٪ فرضیه یک رد می شود. به عبارت دیگر، در سطح اطمینان ۰.۹۵٪ می توان گفت که «کاهش احتمال وقوع حادثه آتش سوزی و مهار آن به عنوان یک پیش نیاز در سیستم مدیریت ایمنی در پروژه های عمرانی مطرح است».

در آزمون فرضیه ششم، با توجه به آنکه مقدار بحرانی برای این آزمون با فرض اطمینان ۰.۹۵٪ و درجه آزادی ۳۵ برابر ۳/۷۴۲ است، مقدار بحرانی مذکور از آماره آزمون به دست آمده بیشتر بوده و در نتیجه فرضیه صفر تأیید شده و فرضیه یک رد می شود؛ بنابراین، در سطح خطای ۰.۵٪ فرضیه یک رد می شود. به عبارت دیگر، در سطح اطمینان ۰.۹۵٪ می توان گفت که «آموزش ایمنی به کارگران و عوامل بالادستی به عنوان یک پیش نیاز در سیستم مدیریت ایمنی در پروژه های عمرانی مطرح است».

در آزمون فرضیه هفتم با توجه به آنکه مقدار بحرانی برای این آزمون با فرض اطمینان ۰.۹۵٪ و درجه آزادی ۳۵ برابر ۳/۵۹۹ است، مقدار بحرانی مذکور از آماره آزمون به دست آمده بیشتر بوده و در نتیجه فرضیه صفر تأیید شده و فرضیه یک رد می شود؛ بنابراین، در سطح خطای ۰.۵٪ فرضیه یک رد می شود. به عبارت دیگر، در سطح اطمینان ۰.۹۵٪ می توان گفت که «بخش های مختلف برنامه ریزی برای ایمنی به عنوان یک پیش نیاز در سیستم مدیریت ایمنی در پروژه های عمرانی مطرح است».

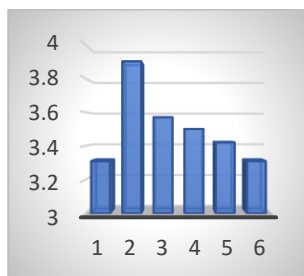
در آزمون فرضیه هشتم توجه به آنکه مقدار بحرانی برای این آزمون با فرض اطمینان ۰.۹۵ و درجه آزادی ۳۵ برابر ۳/۷ است، مقدار بحرانی مذکور از آماره آزمون به دست آمده بیشتر بوده و در نتیجه فرضیه صفر تأیید شده و فرضیه یک رد می‌شود؛ بنابراین، در سطح خطای ۰.۵٪ فرضیه یک رد می‌شود. به عبارت دیگر، در سطح اطمینان ۰.۹۵٪ می‌توان گفت که «کاهش احتمال وقوع حادثه و افزایش ایمنی در سایت به عنوان یک پیش نیاز در سیستم مدیریت ایمنی در پروژه‌های عمرانی مطرح است».

در نهایت پس از آزمون فرضیات، نتایج به دست آمده در خصوص وضعیت مطلوبیت در نظریه‌های پیش‌نیازهای سیستم مدیریت ایمنی در پروژه‌های عمرانی، تمامی فرضیه‌ها در وضعیت مطلوب قرار گرفت.

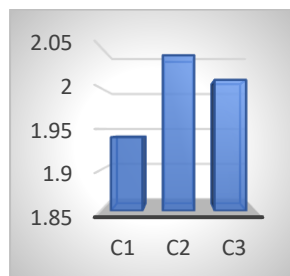
فاز سوم: تحلیل داده‌ها بر اساس قابلیت BIM در بهبود ایمنی پروژه عمرانی

در این قسمت ابتدا با استفاده از محاسبه آزمون فریدمن با در نظر گرفتن آزمون سطح معنی داری رتبه هر یک از عامل‌ها و زیرعامل‌ها محاسبه می‌شود. آزمون فریدمن یک آزمون ناپارامتری است که برای مقایسه سه یا بیش از سه گروه وابسته که حداقل در سطح رتبه‌ای اندازه‌گیری می‌شوند، مورد استفاده قرار می‌گیرد. در ادامه تحلیل نتایج استخراج شده به تفکیک هر عامل اصلی در نمودارهای نمودار ۵ ارائه شده است.

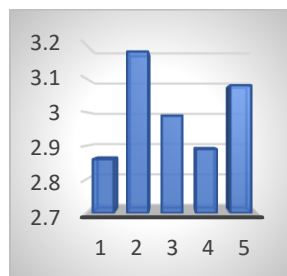
نتایج فاز سوم تحلیل داده‌ها که به بررسی قابلیت BIM در بهبود ایمنی پروژه‌های ساخت و ساز با استفاده از آزمون رتبه‌بندی فریدمن SPSS پرداخت، نشان داد که اولویت قابلیت‌ها در عامل اصلی اول (استفاده از BIM برای کاهش احتمال وقوع حادثه ریزش آوار) به ترتیب شامل مواردی همچون امکان ایجاد تعامل بین ارکان مختلف پروژه در خصوص بازیافت مصالح و تجهیزات کهنه و مستعمل و تعیین مکان‌های پسماند خارج از محدوده زیست محیطی مطلوب برای جلوگیری از ریزش آوار، شناسایی روش‌های پیشگیرانه مطابق دستورالعمل‌های مختلف HSE، تولید انیمیشن‌ها توسط نرم افزارهای مختلف BIM و نمایش مراحل ایمن سازی برای درک بهتر تیم اجرا، بررسی ویژگی‌های محل مربوطه و ماشین آلات مورد نیاز مورد استفاده از BIM تعیین شده است. این رتبه‌بندی برای سایر معیارهای مرتبط با هر عامل اصلی برحسب رتبه‌بندی اهمیت طبق آزمون فریدمن تعیین شد و نتایج آن در نمودار ۵ ارائه شده است.



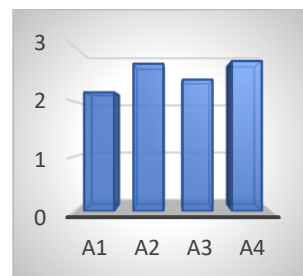
متغیر چهارم (کاهش احتمال وقوع حادثه درگیری شخص با ماشین آلات)



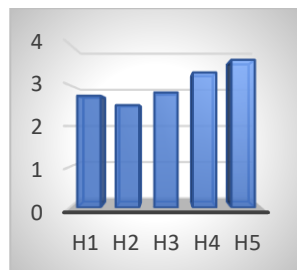
متغیر سوم (کاهش احتمال وقوع حادثه سقوط اشیاء)



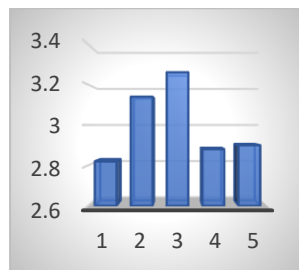
متغیر دوم (کاهش احتمال وقوع حادثه سقوط از ارتفاع)



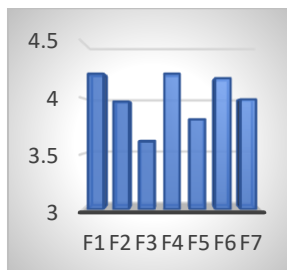
متغیر اول (کاهش احتمال وقوع حادثه ریزش آوار)



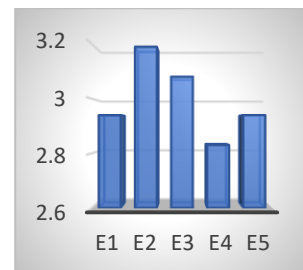
متغیر هشتم (ایمنی در سایت)



متغیر هفتم (برنامه‌ریزی ایمنی)



متغیر ششم (ایمنی به کارگران)



متغیر پنجم (کاهش احتمال آتش‌سوزی)

نمودار ۵: رتبه فریدمن معیارهای متغیر اول (کاهش احتمال وقوع حادثه ریزش آوار)

فاز چهارم: رتبه‌بندی نهایی قابلیت‌های BIM در افزایش ایمنی پروژه‌های عمرانی

نتایج آزمون فریدمن کل معیارها در جدول ۵ نشان می‌دهد که با توجه به سطح معنی داری به دست آمده (p-value < 0/05) و نیز مقدار مربع کای^۱ مشاهده شده (۱۳۲/۴۶) می‌توان نتیجه گرفت که تفاوت معنی داری بین اولویت‌بندی رتبه‌های به دست آمده از آزمون فریدمن^۲ در خصوص قابلیت‌های BIM در مدیریت ایمنی ساخت و ساز وجود دارد.

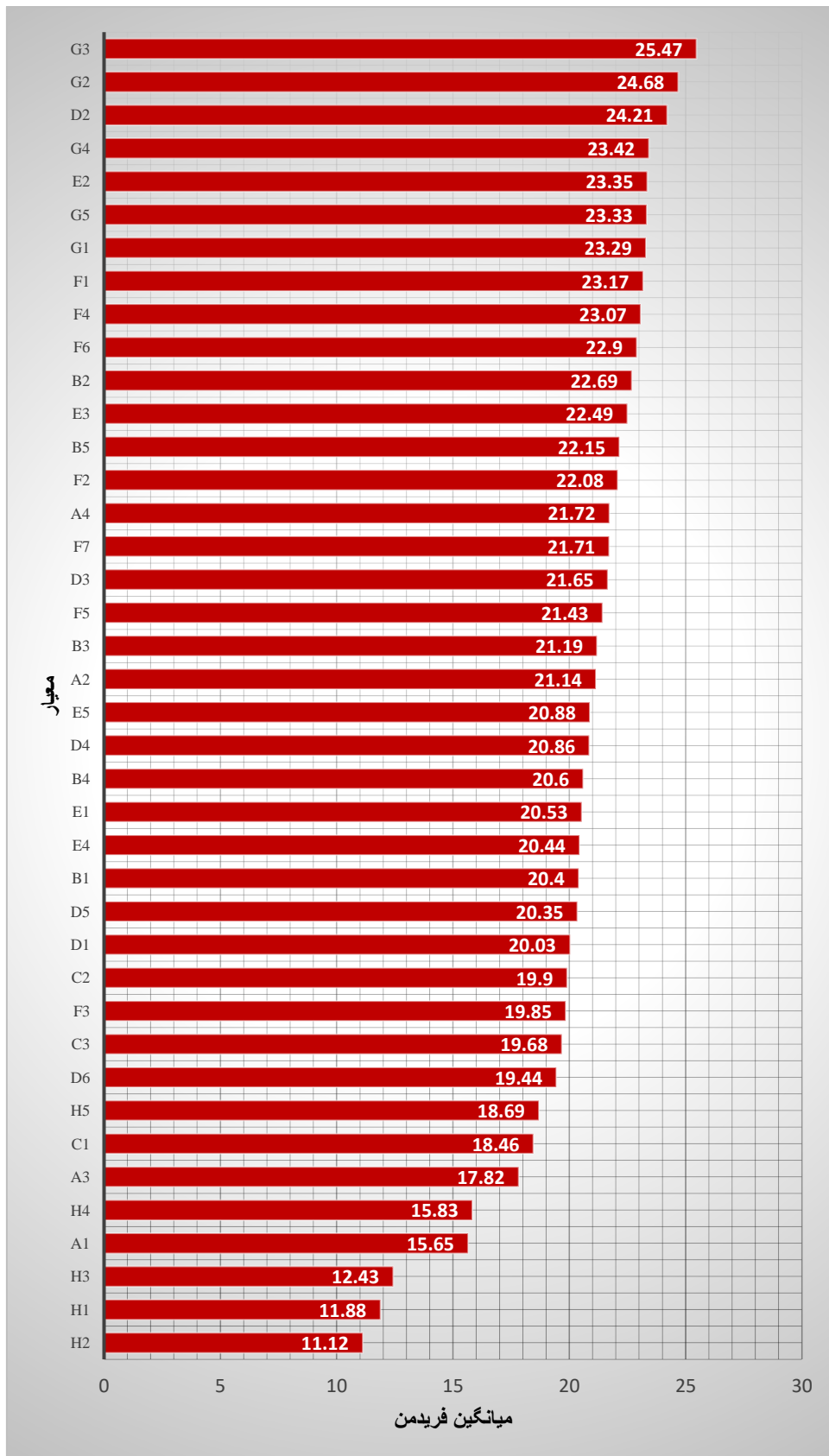
جدول ۵: نتایج آزمون فریدمن در قابلیت‌های BIM برای مدیریت ایمنی

نتایج آماری آزمون فریدمن	
۳۶	تعداد
۱۳۹/۱۴۸	مربع کای
۳۹	df
۰.۰۰۰	Asymp. Sig.

نمودار ۶ اولویت‌بندی نهایی معیارها در قابلیت BIM در افزایش ایمنی پروژه‌های ساخت و ساز را ارائه می‌دهد. طبق نتایج آزمون‌ها و تحلیل‌های آماری، قابلیت‌های زیر رتبه‌های اول تا دهم را از نظر کارشناسان حوزه ایمنی ساخت و ساز کسب کرده‌اند که نیازمند ارتقا و توجه و کاربرد آن در پروژه‌های حال حاضر است.

- ۱) مستندسازی اسناد و مدارک، قراردادهای، اطلاعات، نقشه‌ها، دستورکارها، دستورالعمل‌ها، مستندات تحلیل ایمنی و تمامی مستندات موجود در خصوص ایمن سازی پروژه به صورت دیجیتالی برای کاربرد در پروژه‌های آتی
- ۲) شناخت محیط کار، انتظارات موجود و نتیجه کار قبل از اجرا و در نتیجه آگاه کردن کارگران نسبت به خطرات موجود و توجه آنان به نقاط بحرانی
- ۳) امکان ایجاد پیش نمایش و دید بصری از نحوه جاگذاری و چیدمان تجهیزات و تأسیسات مختلف مورد نیاز در فضاها و تحلیل‌های مختلف تکنولوژیکی برای از بین بردن فضاهای ناامن در سطح پروژه
- ۴) تحلیل پیچیدگی‌های پروژه و مراجعه به محل دقیق بروز خطرات ایمنی در فرآیند اجرای پروژه با استفاده از نقشه‌های چون ساخت چندبعدی
- ۵) تشریح بهتر نواحی بحرانی به لحاظ فضا، خطرات اجرا، محدودیت‌های فیزیکی و ... با استفاده از مدل BIM
- ۶) امکان ساخت انیمیشن‌های ساختمانی و مدل‌های سه بعدی برای درک بهتر برنامه‌ریزی در زمینه ایمنی
- ۷) کنترل چک لیست‌های ایمنی و هشدار خودکار به ناظر HSE
- ۸) تعریف سناریوهای متفاوت بروز حوادث ایمنی برای آموزش‌های پیش از وقوع به کارگران و عوامل بالادستی
- ۹) امکان توجه به نیازهای بخش اجرا توسط مدل BIM برای تعیین خروجی‌ها، زمان بندی خروج، میزان دبی افراد برای خروج، حجم ورود و خروج هوای تازه، نواحی پر تردد عمومی و نحوه حفاظت از آن و ...
- ۱۰) امکان ایجاد تجسم طراحی برای بازسازی در راستای ایجاد سازگاری فضا با محیط‌های دارای فضاهای تهویه طبیعی در صورت بروز آتش‌سوزی احتمالی در پروژه

1. Chi-Square
2. Friedman Test



نمودار ۶: اولویت‌بندی نهایی معیارها در قابلیت BIM در افزایش ایمنی پروژه‌های ساخت و ساز

نتیجه‌گیری

با پیشرفت چشمگیر علم و تکنولوژی از یکسو گسترده‌تر شدن بازار رقابت میان صنایع مختلف از سوی دیگر، دستیابی به موفقیت در بازدهی 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 بازدهی، 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 ساخت و ساز را با موفقیت پیش برده و ایمنی کار و عوامل را ارتقا 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 بکارگرفته‌شده 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، مدل‌سازی اطلاعاتی ساختمان یکی از این سیستم‌هاست. بر همین اساس در این پژوهش به شناسایی پیش‌نیازهای استقرار سیستم مدیریت ایمنی و همچنین قابلیت‌های سیستم BIM در پروژه‌های ساخت‌وساز پرداخته شد. این قابلیت‌ها در راستای رفع پیش‌نیازها و اثربخشی سیستم مدیریت ایمنی در پروژه‌های ساخت در هشت دسته اصلی و ۴۰ زیرعامل معرفی و دسته‌بندی شد. نتایج SPSS در آلفای کرونباخ (برای عوامل اصلی عدد ۰/۷۳۶ و برای معیارهای فرعی ۰/۹۱۱) نشان داد که نتایج قابل قبول است. نتایج تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها با استفاده از نرم افزار SPSS و آزمون‌های آماری تی تست و رتبه‌بندی فریدمن نشان داد قابلیت‌های مستندسازی کامل اسناد و مدارک و مستندات تحلیل ایمنی به صورت دیجیتال رتبه اول را کسب کرد و اثبات شد که پیش‌نیازهای احتمال وقوع حادثه ریزش آوار، حادثه سقوط از ارتفاع و سقوط اشیا و حادثه درگیری با ماشین آلات و آتش‌سوزی با قابلیت‌های BIM قابل پیشگیری و کاهش است و آموزش ایمنی به عوامل پروژه و برنامه‌ریزی برای ایمنی و افزایش ایمنی سایت نیز در صورت کاربرد BIM در پروژه‌های عمرانی قابل دستیابی است.

منابع

- حسینی، ه؛ اسدی بروجنی، خ؛ و اردشیر، ع؛ ۱۳۹۳، بررسی جنبه‌های ایمنی در ساخت پذیری با استفاده از فرایند مدل‌سازی اطلاعات ساختمان، دومین کنفرانس مصالح و سازه‌های نوین در علم مهندسی عمران، شیراز، شرکت پندار اندیش رهپو.
- حسین زاده، ر؛ و اشتهاردیان، ا؛ ۱۳۹۴، استفاده از مدل‌سازی اطلاعات ساختمان BIM به منظور ارتقاء مدیریت ایمنی، یازدهمین کنفرانس بین‌المللی مدیریت پروژه، تهران
- حسینوند، ر؛ میرزایی، م؛ و عادل زاده، م؛ ۱۳۹۷، شناسایی خطرات و مدیریت ریسک و ارائه الگوی کاربردی برای کاهش اثرات زیست محیطی و ایمنی (HSE) در واحد تولید اوره پتروشیمی مسجدسلیمان، دومین کنفرانس ملی پیشرفت‌های نوین در حوزه انرژی و صنایع نفت و گاز، ساوه، موسسه آموزش عالی انرژی.
- عاصمی اصفهانی، ا؛ مسلمان یزدی، ح.ع؛ و مسلمان یزدی، ع.ر؛ ۱۳۹۳، پتانسیل‌های به‌کارگیری فناوری مدل‌سازی اطلاعات ساختمان (BIM)، دومین کنگره بین‌المللی سازه، معماری و توسعه شهری، تبریز، دبیرخانه دائمی کنگره بین‌المللی سازه، معماری و توسعه شهری.
- وطن خواه، م؛ و مسلمان یزدی، ح.ع؛ ۱۳۹۴، افزایش ایمنی کارهای در ارتفاع مربوط پروژه‌های ساختمانی با BIM، دومین کنفرانس بین‌المللی معماری و فرهنگ شهر پایدار، تهران، موسسه سفیران فرهنگی مبین.

- Abdulkadir, G., and Godfard, A.J., 2015, Integrating Building Information Modeling and Health and Safety for Onsite Construction, *Safety, Health and Work*, Vol. 6, No. 1, pp. 39–45.
- Azhar, S., 2017, Role of Visualization Technologies in Safety Planning and Management at Construction Jobsites, *Procedia Engineering*, Vol. 171, pp. 215–226.
- Eastman, C., Teicholz, P., Sacks, R., Liston, K., 2011, BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, *Engineers and Contractors.*, Vol. 2, John Wiley.

- Goh, Y.M., and AskarAli, A.M.J., 2016, A hybrid simulation approach for integrating safety behavior into construction planning: An earthmoving case study, *Accident Analysis & Prevention*, Vol. 93, pp. 310-318.
- Getuli, V., Ventura, S.M., Caponea, P., and Ciribini, A.L.C., 2017, BIM-based code checking for construction health and safety, Creative Construction Conference 2017, CCC 2017, Primosten, Croatia, *Procedia Engineering*, Vol. 196, pp. 454-461.
- Hongling Guo, Yantao Yu, Martin Skitmore, 2017, Visualization technology-based construction safety management A review, *Automation in Construction*. Vol. 73, Pages 135-144
- Li, M., Yu, h., Jin, H., and Liu, P., 2018, Methodologies of safety risk control for China's metro construction based on BIM, *Safety Science*, 110(A), pp. 418-426.
- Qi, J., Issa, R.R.A., Hinze, J., and Olbina, S., 2011, Integration of safety in design through the use of building information modeling. *International workshop on computing in civil engineering*, Miami, Florida, United States.
- Smith. D., 2007, An Introduction to Building Information Modeling (BIM), *Journal of Building Information Modeling*, fall 2007
- Teo, A.L.E., Ofori, G., Tjandra, I.K., and Kim, H., 2016, Design for safety: theoretical framework of the safety aspect of BIM system to determine the safety index, *Construction Economics and Building*, Vol. 16, No. 4, pp. 1-18.
- Weinstein, M., Gambatese, J., and Hecker, S., 2005, Can Design Improve Construction Safety?: Assessing the Impact of a Collaborative Safety-in-Design, *Journal of Construction Engineering & Management*, Vol. 131, No. 10, pp. 1125-1134.
- Wong, K.W. Chan, P.C. and Lo, K.K., 1999, Factors affecting the safety performance of contractors and construction sites, Proceedings of the second international conference of CIB working commission W99, *Honolulu/Hawaii*, pp. 19-23.
- Whyte, J., Bouchlaghem, D., and Thorpe, T., 2002, IT implementation in the construction organization, *Engineering Construction and Architectural Management*, Vol. 9, pp. 371-377.
- Yan, H., and Damian, P., 2008, Benefits and Barriers of Building Information Modelling, Proceedings of the 12th International Conference on Computing in Civil and Building Engineering (ICCCBE XII) & 2008 International Conference on Information Technology in Construction (INCITE 2008), Beijing, China.
- Zhang, S., Sulankivi, K., Kiviniemi, M., Romo, I., Eastman, C.H., Teizer, J., 2015, BIM-based fall hazard identification and prevention in construction safety planning, *Safety Science* Vol. 12 (5), 97-25.
- 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*, Vol. 29, pp. 183-195.
- Zhang, S, j Lee, M Venugopal, and J Teizer. 2011. "Integrating BIM and safety: An automated rule-based checking system for safety planning and simulation." *Proceedings of the CIB W099 Conference 2011*, Prevention: Means to the end of injuries, illnesses, and fatalities. Washington D.C., USA, August 24-26, 2011.