3rd International Conference on
Building Information Modeling
سومین کنفرانس بین المللی مدل سازی اطلاعات ساختمان
2020 June
خردادماه ۹۹ - تهران

مرور نظام یافته نقش مدل‌سازی اطلاعات ساختمان (BIM) در بهبود ایمنی پروژه‌های ساخت

زینب علی اکبری[۱،*]، سید یاسر بنی هاشمی[۲]، مجتبی مغربی[۳]

*۱ و *- نویسنده مسوول: کارشناسی ارشد مهندسی و مدیریت ساخت، گروه مهندسی عمران، دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد*
(zeynab.aliakbari@mail.um.ac.ir)

۲- استادیار، دکترای مهندسی و مدیریت ساخت،گروه مهندسی عمران، دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد
(y.banihashemi@um.ac.ir)

۳- استادیار، دکترای مهندسی و مدیریت ساخت ،گروه مهندسی عمران ، دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد
(mojtabamaghrebi@um.ac.ir)

چکیده

صنعت ساخت‌وساز در کشورهای درحال توسعه رو به رشد است و به موازات این رشد، تصادفات و سوانح شغلی نیز افزایش می‌یابد که همین امر لزوم توجه به ایمنی شغلی را در این صنعت پررنگ می‌کند. گرچه دولت‌ها برای بهبود عملکرد ایمنی قوانین و مقرراتی مشخص کرده‌اند اما وضعیت همچنان نگران کننده است. با پیشرفت‌های اخیر در فناوری مدل‌سازی اطلاعات ساختمان (BIM)، استفاده‌های زیادی از آن در جهت بهبود عملکرد ایمنی در کل چرخه عمر پروژه صورت گرفته است. در این مقاله با مرور سیستماتیک مطالعات پیشین، نقش مدل‌سازی اطلاعات ساختمان در بهبود عملکرد ایمنی صنعت ساخت مورد بررسی قرار گرفته است. همچنین مقالات از نظر سال انتشار و کشور مورد مطالعه بررسی شده‌اند. در این مطالعه از روش سه مرحله‌ای برای انتخاب مقالات استفاده شده است و نتایج نشان می‌دهد که مدل‌سازی اطلاعات ساختمان در شش حوزه اصلی ۱) طراحی ایمن ۲) شناسایی خطرات ۳) نظارت و کنترل ۴) شناسایی تداخلات ۵) آموزش ایمنی و ۶) بازرسی در دوره بهره‌برداری و نگهداری، می‌تواند به بهبود عملکرد ایمنی کمک کند. در پایان موضوعاتی که کمتر به آن پرداخته شده و می‌تواند بستر مناسبی برای مطالعات آتی پژوهشگران باشد، شناسایی شده و مورد بحث قرار گرفته‌اند.

واژگان کلیدی: مدل‌سازی اطلاعات ساختمان، ایمنی، صنعت ساخت‌وساز

۱- مقدمه

آسیب دیدگی در محل‌کار، بیماری و آمار مرگ‌ومیر نشان می‌دهد بهداشت و ایمنی شغلی(OHS)[1] در صنعت ساخت‌وساز یک مشکل جهانی است. بطوریکه در ایالات متحده (US)، تصادفات ساختمانی ۱۹ درصد از کل تلفات صنعتی در سال ۲۰۱۶ را به خود اختصاص داده است و میزان تصادفات در صنعت ساخت‌وساز بالاترین رتبه را در بین کلیه صنایع دارد[۱]. از این رو پرداختن به موضوع بهبود عملکرد ایمنی در صنعت ساخت‌وساز موضوع حائز اهمیتی می‌باشد.

صنعت معماری، مهندسی و ساخت‌وساز(AEC)[2] طی چند دهه اخیر شاهد پیشرفت‌های سریع در سراسر جهان به ویژه در کشورهای در حال توسعه است. پروژه‌های AEC با برنامه‌ریزی و طراحی آغاز می‌شوند و مرحله ساخت آن برای ماه‌ها یا سال‌ها ادامه دارد و سرانجام پروژه وارد دوره بهره‌برداری خواهد شد. خطرات مختلفی ممکن است در هر یک از مراحل مختلف پروژه وجود داشته باشد که منجر به بروز حادثه شود. در سال‌های اخیر به دلیل افزایش پیچیدگی ساختاری و اندازه پروژه و اتخاذ روش‌های جدید ساخت‌وساز، حوادث به تدریج در حال رشد هستند[2]. به همین جهت برای کاهش احتمال بروز این حوادث، نیاز به مدیریت مؤثر خطرات در طول چرخه عمر یک پروژه می‌باشد.

شناسایی خطرات احتمالی برای فرآیند برنامه‌ریزی ایمنی بسیار مهم است. پیوند بین برنامه‌ریزی برای ایمنی و اجرای کار اغلب ضعیف است. برای مثال، بسیاری از پیمانکاران از روش‌های دو بعدی (2D) یا مشاهدات میدانی برای تعیین تکنیک‌های جلوگیری از خطر استفاده می‌کنند. به دلیل اینکه رویکرد آنها به صورت دستی و مبتنی بر تجربه است، نتایج مشاهده شده اغلب به علت تصمیمات ذهنی تصمیم گیرنده، خطاپذیر می‌باشد. این تفکیک و کمبود ارتباطات باعث بروز مشکلاتی برای مهندسان ایمنی می‌شود. این صنعت نیاز به بهبود پروسه‌های ایمنی ناکارآمد دارد که از طریق استفاده از فناوری‌های جدید، می‌تواند پیشرفت کند[3].

در سال‌های اخیر، فناوری‌ها و روش‌های مختلف ساختمانی با هدف ارائه راه‌های جدید تقویت مدیریت ایمنی در کل چرخه عمر پروژه ایجاد شده است که از میان آن‌ها می‌توان به BIM اشاره کرد[4]. با استفاده از BIM، مدل‌های معمولی سه بعدی یا چهار بعدی(4D) به یک مدل nD تبدیل می‌شوند که جنبه‌های مختلفی از اطلاعات مورد نیاز در هر مرحله از چرخه عمر یک پروژه را در برمی‌گیرد[5]. BIM می‌تواند با ایجاد ارتباط نزدیک بین موضوعات ایمنی و برنامه‌ریزی ساخت‌وساز، برای بهبود عملکرد ایمنی مورد استفاده قرار گیرد[6]. در این تحقیق ضمن مرور سیستماتیک مقالات منتشر شده در ارتباط با نقش مدل‌سازی اطلاعات ساختمان در بهبود عملکرد ایمنی صنعت ساخت‌وساز، آن‌ها را به شش دسته کلی تقسیم‌بندی کرده که نتایج آن می‌تواند شکاف‌های موجود در مطالعات قبلی را شناسایی کرده و بستری برای مطالعات آتی فراهم آورد.

[1] occupational health and safety

[2] Architecture, Engineering, & Construction

۲- پیشینه پژوهش

مطالعات گذشته نشان می‌دهد که ابزارها و رویکردهای زیادی در مرحله طراحی برای پیشگیری از حوادث ایمنی در ساخت‌وساز وجود دارد که می‌تواند مفید واقع شود، اما به نظارت مکرر دستی، اطلاعات عمومی و تجربه طراحان وابسته است و در عمل وقت‌گیر و ناکارآمد هستند و این امر باعث کاهش تمایل طراحان برای توجه به مسائل ایمنی در مرحله طراحی می‌گردد. بنابراین برای پیاده‌سازی بهداشت و ایمنی در پروژه‌ها به روش‌ها یا ابزارهای دارای فناوری اطلاعات بیشتری که بر پایه علوم کامپیوتر و نرم افزارهای جدید هستند، نیاز داریم[7]. در سال ۱۹۹۷ تحقیقاتی در ارتباط با جستجو و تهیه پیشنهاداتی جهت طراحی ایمن ساختمان در قالب یک پایگاه داده انجام شد تا طراحان با استفاده از این پایگاه داده بتوانند پروژه را طوری طراحی کنند که حداقل خسارات و حوادث را به دنبال داشته باشد. با توجه به اینکه تا آن زمان سیستم ثبت اطلاعات مربوط به ایمنی، رویکرد سنتی داشت و همه اطلاعات به صورت کتبی و نوشتاری موجود بود، به همین دلیل پژوهشگران تصمیم گرفتند این اطلاعات را در قالب درج در یک ابزار طراحی نرم افزار کامپیوتر چندرسانه‌ای[1] انجام دهند که نتیجه این تحقیقات منجر به ساخت ابزار طراحی مبتنی بر رایانه[2] شد[8].

پس از آن مطالعاتی انجام شد که استفاده از یکپارچه‌سازی کامپیوتر با ساخت‌وساز[3] را با هدف به حداکثر رساندن استفاده یکپارچه از سیستم‌های اطلاعاتی در کل چرخه عمر پروژه ارائه کرد که در این میان اطلاعات مربوط به ایمنی نیز جزئی از آن بود[9, 10]. اویلر [11] در سال ۱۹۹۴ در مطالعات خود اظهار داشت که نیاز به در نظر گرفتن برنامه‌ای برای نظارت بر تصادفات و ادغام آن‌ها در برنامه‌های گرافیکی وجود دارد. پس از آن در سال ۲۰۰۵، اصطلاح BIM در مطالعات منتشر شده همانگونه که امروزه ما آن را می‌شناسیم، به کار برده شد[12].

مدل‌سازی اطلاعات ساختمان (BIM) به عنوان یک تغییر و تحول فناوری و رویه‌ای در صنعت معماری، مهندسی و ساخت‌وساز بوجود آمد که باعث بهبود کیفیت طراحی، ساخت و نگهداری ساختمان‌ها می‌شود. BIM به nD گسترش یافته است و در شبیه‌سازی ساخت‌وساز، تشخیص درگیری‌های فعالیت‌ها و موارد دیگر برای بهبود مدیریت ایمنی پروژه کاربرد دارد. مدیریت ایمنی به عنوان هدف مهم یک پروژه نیز می‌تواند در چارچوب nD گنجانده شود. با بررسی مطالعات انجام شده، می‌توان روند مدیریت ایمنی در صنعت ساخت‌وساز را بدین صورت شرح داد:

۱. ابتدا باید سعی شود که مخاطرات ایمنی در مراحل اولیه پروژه کاهش داده شود و یا به طور کامل حذف شوند که این امر باعث بوجود آمدن مفهوم طراحی برای ایمنی[4] شده است.
۲. از ابزارهای دیجیتالی پیشرفته برای بهبود مدیریت ایمنی استفاده شود که از جمله آنها BIM می‌باشد[5, 13-16]

برنامه‌ریزی ایمنی مناسب در جلوگیری از بروز حوادث، سلامت کارکنان سایت، کاهش هزینه‌ها و تأخیرهای غیرضروری نقشی اساسی دارد. همچنین فعالیت‌هایی که همپوشانی دارند نیز عامل نگران کننده‌ای در بحث ایمنی می‌باشند. زیرا ممکن است فضای کاری این فعالیت‌ها درگیری داشته باشد و حادثه رخ دهد[17-20]. بر همین اساس مطالعاتی انجام شده تا بتوانند با استفاده ازترکیب فناوری BIM و تکنولوژی چهار بعدی (4D)، شبیه‌سازی‌ای از ساخت‌وساز، آنالیز ایمنی و شناسایی تداخلات

[1] multimedia computer software design tool
[2] computer-based design tool
[3] Computer Integrated Construction
[4] Design for Safety

داشته باشند[21]. در این میان همچنین مطالعاتی انجام شد تا چارچوبی را برای یک سیستم بازرسی مبتنی بر قانون[1] برای برنامه‌ریزی و شبیه‌سازی با استفاده از ادغام BIM و ایمنی ارائه دهد. در این چارچوب با استفاده از الگوریتمی خطرات ایمنی‌ای که منجر به افتادن از ارتفاع می‌شد، شناسایی شدند و روش‌های پیشگیری مربوطه به طور خودکار به کار برده شدند[۲۲]. پس از آن مطالعاتی در زمینه سیستم یکپارچه سازی BIM با ریسک‌های ایمنی[2] ارئه شد که به طراح کمک می‌کند تا خطرات احتمالی را شناسایی کرده و پیشنهاداتی را جهت کاهش سطح ریسک به وی بدهد. همچنین این سیستم دستورالعمل اقدامات لازم را که باید در طول ساخت‌وساز، بهره‌برداری و نگهداری صورت گیرد، ارائه می‌دهد[23].

با بررسی پژوهش‌های پیشین مشخص می‌شود با وجود مطالعات زیادی که در زمینه مدیریت ایمنی با استفاده از BIM انجام شده اما همچنان شکاف‌هایی در مطالعات وجود دارد که با دسته‌بندی کردن حوزه‌های مختلف ایمنی و نقش BIM در بهبود عملکرد هر حوزه می‌توان این شکاف‌ها را شناسایی کرد تا بستر مناسبی برای پژوهش‌های محققان باشد.

۳- روش تحقیق

در این مقاله با استفاده از مرور پژوهش های پیشین نقش بیم در بهبود عملکرد ایمنی مورد بررسی قرار گرفته است. به منظور مرور جامع مطالعات انجام شده از یک فرآیند سه مرحله ای که آنتوی و همکاران [24] نیز در مطالعات مروری خود آن را به کار برده اند، استفاده شده است. شکل ۱ نشان دهنده این مراحل است.

۳-۱- شناسایی مقالات چاپ شده در مجلات معتبر

ابتدا مقالات از پایگاه اطلاعات اسکوپوس جمع آوری شدند که دلیل انتخاب پایگاه اسکوپوس دقت بیشتر و پوشش همه جانبه آن نسبت به سایر موتورهای جستجو و همچنین دارا بودن بیشترین بانک‌های اطلاعاتی منتشر شده در زمینه‌های مختلف تحقیقاتی از جمله تجارت، مدیریت، مهندسی و حسابداری است[25]. در این مرحله یک جستجوی گسترده با کلید واژه‌های "safety" و "BIM" یا "Building Information Modeling"در عنوان، چکیده وکلیدواژه مقالات انجام شد. جستجو محدود به موضوعات "مهندسی" و "بیزینس، مدیریت و حسابداری" با نوع مقالات "Article in press"، "Review" و "Articles" می‌باشد و زبان انگلیسی به عنوان زبان نوشتاری مقالات انتخاب شده است. پس از آن مجلات معتبر با بیشترین تعداد مقالات چاپ شده در ارتباط با موضوع مورد مطالعه، شناسایی شدند که برای این منظور معیار ما برای انتخاب مجلات به شرح زیر است:

۱. حداقل ۳ مقاله چاپ شده در ارتباط با موضوع مورد بررسی در مجله وجود داشته باشد.
۲. با استفاده از سایت سایماگو (SJR) که مجلات را بر براساس شاخص H رتبه بندی کرده است، مجلاتی که شاخص H بالای ۴۰ دارند، انتخاب شوند.

به طور کلی در این مرحله ۱۰۰ مقاله یافت شد که نتایج آن در جدول ۱ آمده است.

[1] rule-based inspection
[2] BIM-integrated risk review system

جدول ۱- نتایج جستجو مقالات در مجلات منخب

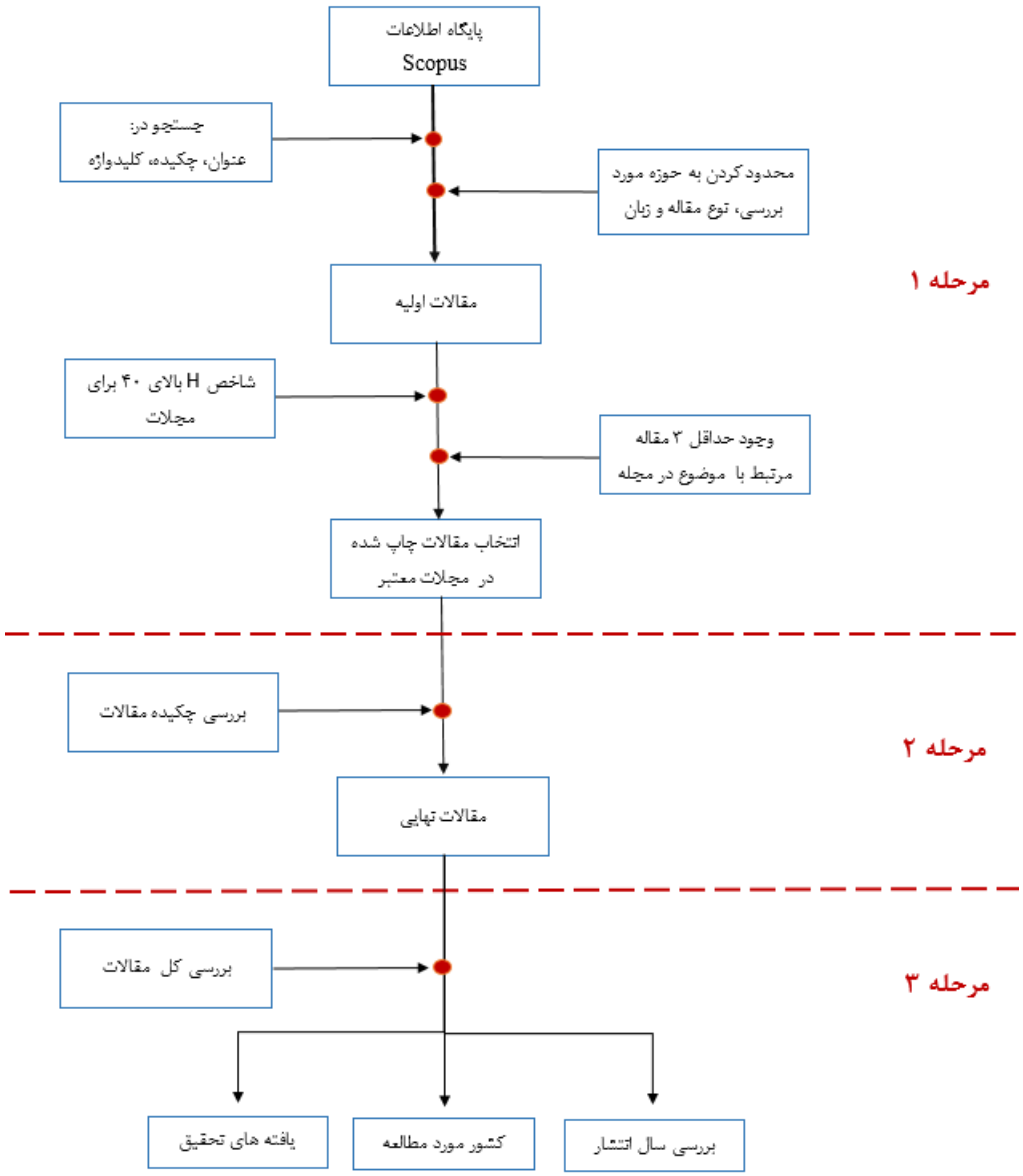
#	نام مجله	H Index	تعداد مقالات اولیه	تعداد مقالات هدف
۱	Automation In Construction	۹۵	۵۴	۲۸
۲	Journal Of Construction Engineering And Management	۹۵	۱۲	۴
۳	Safety Science	۹۰	۱۵	۱۲
۴	Advanced Engineering Informatics	۶۸	۶	۳
۵	Journal Of Computing In Civil Engineering	۶۴	۶	۴
۶	Engineering Construction And Architectural Management	۴۹	۷	۳
	مجموع مقالات		۱۰۰	۵۴

۲-۳- انتخاب مقالات هدف

در این مرحله پس از بررسی چکیده مقالات تعدادی از آن‌ها که مرتبط با موضوع نبودند، حذف شدند. تعداد مقالات از ۱۰۰ مورد به ۵۴ مورد کاهش یافت. همچنین اولین سند منتشر شده در بین مقالات هدف مربوط به سال ۲۰۱۱ است. نتایج این مرحله در جدول ۱ آمده است.

۳-۳- بررسی جامع مقالات هدف

در این مرحله مقالات هدف به طور کامل مطالعه شدند و سال انتشار مقالات، کشور مورد مطالعه و یافته‌های تحقیق مورد بررسی قرار گرفتند.

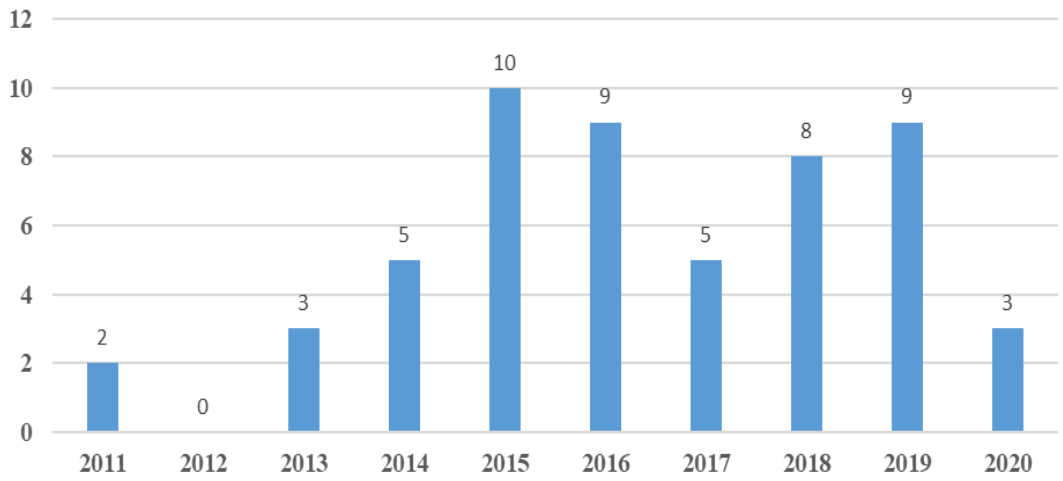


شکل ۱- مراحل انجام تحقیق

۴- نتایج و بحث

۴-۱- توزیع سالیانه مقالات

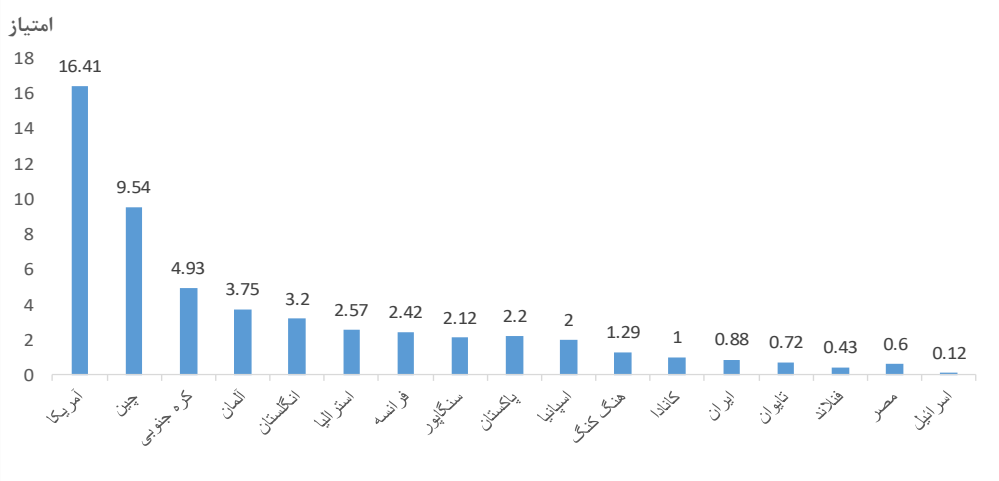
در جستجوهای اولیه تعداد ۱۰۰ مقاله در بازه زمانی ۲۰۰۹ تا ۲۰۲۰ شناسایی شدند که پس از بررسی چکیده مقالات و حذف موارد نامرتبط این تعداد به ۵۴ مقاله کاهش یافت. در بین ۵۴ مقاله هدف، اولین مطالعه مربوط به سال ۲۰۱۱ است که این امر نشان دهنده نوظهور بودن بحث مدلسازی اطلاعات ساختمان در بهبود عملکرد ایمنی می‌باشد. توزیع سالیانه مقالات در نمودار۱ آمده است. با توجه به نمودار میزان مطالعات در ۵ سال اخیر در ارتباط با استفاده از BIM در جهت بهبود عملکرد ایمنی افزایش یافته که این امر نشان دهنده افزایش علاقه محققان در این زمینه است. همچنین بیشترین مقالات چاپ شده به ترتیب در سال ۲۰۱۵ با ۱۰ مقاله و سال ۲۰۱۹ با ۹ مقاله می‌باشد.



نمودار ۱- توزیع سالیانه مقالات

۲-۴- توزیع مقالات هدف در کشورهای مختلف جهان

مقالات منتشر شده ممکن است توسط چندکشور مختلف انجام شده باشد که به همین منظور برای تعیین کشورهای منتشر کننده مقالات باید به نویسندگان امتیاز داد. برای این منظور از روش اوسی کیی [26] و ماتریسی که وی برای امتیازدهی به نویسندگان کشورهای مختلف ارائه داده است، استفاده شده و نتایج آن در نمودار۲آمده است. با توجه به نمودار ایالات متحده آمریکا با اختلاف زیادی دارای بیشترین امتیاز در بین کشورهای مختلف است که این مساله نمایانگر پیشرفت این کشور در این زمینه می‌باشد. همچنین می‌توان در توجیه این پیشرفت به این موضوع اشاره کرد که این فناوری از ایالات متحده آمریکا سرچشمه گرفته است و بسیاری از شرکت‌ها بسته‌های نرم‌افزاری BIM را در آمریکا توسعه داده‌اند. لذا در این کشور بستر بسیار مناسبی برای انجام تحقیقات در این زمینه فراهم است. پس از آن چین، کره جنوبی، آلمان، انگلستان جزء ۵ کشور اصلی هستند که مطالعات زیادی را در این زمینه انجام داده‌اند.



نمودار ۲- توزیع مقالات در کشورهای مختلف جهان

۳-۴- بررسی یافته‌های مقالات

همان طور که در بخش روش تحقیق اشاره شد ۵۴ مقاله در ارتباط با موضوع تحقیق یافت شد که با بررسی کامل مقالات مشخص گردید که استفاده از BIM در۶ حوزه مختلف می‌تواند در بهبود عملکرد ایمنی نقش اساسی داشته باشد. برخی از مطالعات روی یک یا چند حوزه بطور کلی متمرکز شده‌اند و برخی دیگر نه تنها در یک حوزه بلکه به یک فعالیت خاص پرداخته اند. در ادامه به این۶ حوزه خواهیم پرداخت:

۱. طراحی ایمن: مطالعات نشان می‌دهد که بسیاری از تلفات ساخت‌وساز مربوط به مرحله طراحی است و می توان با داشتن ملاحظات ایمنی مناسب در مرحله طراحی پروژه از بروز حوادث جلوگیری کرد. اما غالبا طراحان دانش محدودی در ارتباط با ایمنی دارند و قادر به شناسایی چگونگی ایجاد خطرات در طول عمر پروژه نیستند[23]. برای

رفع این مشکل مفهوم پیشگیری از طریق طراحی (PtD)[1] بوجود آمده که هدف آن پرداختن به ایمنی کارگران در مرحله طراحی پروژه است. به عنوان مثال یوان و همکاران[۷] یک ابزار بازرسی خودکار برای PtD ارائه داده‌اند بطوریکه یک پایگاه دانش براساس قوانین و مقررات ایمنی، اسناد موجود و تجربه خبرگان ایجاد کرده‌اند و با ترکیب این پایگاه دانش با BIM توانستند خطرات ایمنی را در مرحله طراحی پروژه به طور خودکار شناسایی کرده و به اطلاع طراح برسانند. همچنین جین و همکاران[27] روشی را پیشنهاد دادند که علاوه بر فراهم کردن اطلاعات و دانش ایمنی برای طراحان، با شبیه سازی و تجسم ریسک، مواردی از قبیل کارهای پرخطر، دوره‌های کاری پرخطر و مناطق کاری پرخطر را به اطلاع طراح برسانند و با صلاح دید وی و مدیر ایمنی تصمیم گرفته شود که طرح تغییر یابد یا تدابیر ایمنی متناسب با خطرات اتخاذ شود.

۲. شناسایی خطرات: با وجود طراحی‌های ایمن باز هم ریسک‌های ایمنی‌ای وجود دارد که ما نمی‌توانیم به طور کامل آنها را در مرحله طراحی حذف کنیم. پس از اینکه پروژه طراحی شد پیش از ورود به مرحله اجرا نیاز به برنامه‌ریزی ایمنی است. در این میان شناسایی دقیق خطرات احتمالی برای فرآیند برنامه‌ریزی ایمنی بسیار مهم است. بدین منظور پس از طراحی باید براساس قوانین موجود، خطرات ایمنی شناسایی شده و برای آن‌ها راهکارهایی ارائه گردد[3]. اکثر مطالعات در این زمینه بر نوع خاصی از فعالیت‌های ساختمانی متمرکز هستند. بطور مثال کیم و همکاران [28] سیستمی مبتنی بر BIM ارائه داده‌اند که خطرات ایمنی مربوط به فعالیت‌هایی که روی داربست انجام می‌شود، شناسایی گردند. سپس متناسب با این خطرات برنامه اصولی نصب داربست ایجاد شود. همچنین ژانگ و همکاران[22] نیز مطالعات خود را محدود به سقوط از ارتفاع کرده‌اند. روش پیشنهادی، خطرات احتمالی سقوط را بر اساس برنامه زمان‌بندی بطور پویا شناسایی کرده و متناسب با آن دستورالعمل‌های لازم جهت نصب تجهیزات مربوط به حفاظت از سقوط را ارائه می‌دهد.

۳. شناسایی تداخلات کاری و ریسک‌های ایمنی ناشی از آن: گاهی یک فعالیت به طور مجزا خطراتی را به همراه ندارد و یا خطرات آن در مرحله ۲ شناسایی شده و تدابیر ایمنی متناسب با آن اتخاذ گردیده است اما هنگامی که این فعالیت به طور هم زمان با فعالیت‌های دیگری در حال انجام باشد می‌تواند مستعد بروز حوادث دیگری شود که باید مدیران ایمنی آن را مدنظر قرار دهند. امروزه می‌توان برای شناسایی این تداخلات کاری از تکنولوژی‌های جدید تجسم مجازی[۲] یا کد سه بعدی و چهار بعدی[۳] برای استفاده کرد[18]. مطالعات زیادی در زمینه شناسایی تداخلات کاری انجام شده که به عنوان مثال موون و همکاران [29] با استفاده از ساخت مدل در محیط کد چهار بعدی تداخلات کاریی که در بازه زمانی خاص برای چند فعالیت بوجود می‌آید را بصورت بصری شناسایی کرده و ابتدا سعی می‌شود با ارائه الگوریتمی این تداخلات به حداقل برسند و پس از آن بنا به صلاح دید مدیر ایمنی یا همپوشانی زمانی فعالیت‌های موازی از بین می‌رود و یا تدابیر ایمنی متناسب با آن اتخاذ می‌گردد.

۴. نظارت و کنترل: بر اساس بررسی مطالعات انجام شده در این زمینه این مورد می‌تواند شامل نظارت بر سایت، منابع انسانی و تجهیزات باشد که اکثر مطالعات روی یک مورد خاص تمرکز کرده‌اند. با وجود اینکه در موارد ۱ و ۲ و۳

---

[1] Prevention through Design

[۲] Virtual Reality

[۳] 3D and 4D CAD

طراحی ایمن انجام شده و خطرات نیز شناسایی شدند و تدابیر ایمنی متناسب با آن اتخاذ گردیده اما گاهی ممکن است حوادثی بر اثر سهل انگاری کارگران و یا بوجود آمدن شرایط غیرقابل پیش‌بینی در سایت رخ دهد که در این زمینه نیز با استفاده از BIM می‌توان بر سایت، کارگران و تجهیزات نظارت داشت و از بروز حوادث جلوگیری کرد. به طورمثال دونگ و همکاران [30]مطالعه‌ای را انجام داده‌اند که توسط آن بر نحوه استفاده کارگران از تجهیزات حفاظت شخصی (PPE[1]) در محیط‌های پرخطر نظارت داشته و در صورت عدم رعایت قوانین هشدارهای خطر در سیستم داده می‌شود. در این مطالعه از یکپارچه سازی فناوری موقعیت‌یابی و حسگر با BIM استفاده شده است.

۵. آموزش ایمنی: مطالعات نشان می‌دهد که آموزش کارگران می‌تواند نقش موثری در جلوگیری از بروز حوادث داشته باشد. پیش از ظهور تکنولوژی‌های جدید، آموزش کارگران به صورت سنتی و در محیط کارگاه انجام می‌شد که با پیشرفت فناوری‌ها می‌توان با استفاده از شبیه‌سازی، واقعیت مجازی و تجسم‌سازیِ محیط کار، انواع خطرات و نحوه مقابله با خطرات را به کارگران آموزش داد و همچنین مدیران ایمنی می‌توانند با استفاده از شبیه‌سازی، نوع رفتارکارگران مختلف در محیط‌های پر خطر را بررسی کنند و متناسب با آن برنامه‌ریزی ایمنی انجام دهند[31] .

۶. بازرسی ساختمان در دوره بهره‌برداری و نگهداری: در چرخه عمر یک پروژه، مراحل بهره‌برداری و نگهداری به همان اندازه مهم است که برنامه‌ریزی و ساخت خود پروژه اهمیت دارد. با این حال، کارکنان تعمیر و نگهداری ساختمان بطور سنتی از نقشه‌های دو بعدی برای جستجوی اطلاعاتی مانند مکان عناصر مختلف ساختمان، ابعاد، مواد و مشخصات آن استفاده می‌کنند و عملیات نگهداری مبتنی بر اسناد کاغذی است. اما با بزرگتر شدن ساختمان‌ها و پیچیدگی آن‌ها، این فرآیند بشدت مشکل می‌شود[32]. با استفاده از BIM که تمامی مشخصات پروژه در آن موجود است می‌توان در زمان بهره برداری و نگهداری ساختمان، به تمام اطلاعات لازم جهت بازررسی‌های دوره‌ای دسترسی داشت. به عنوان مثال چن و همکاران [33] مطالعاتی را در زمینه بازرسی و نگهداری تجهیزات ایمنی در برابر آتش را با استفاده از مدل‌سازی اطلاعات ساختمان انجام دادند. این تحقیق یک مدل اطلاعاتی بر پایه BIM را برای برآورده کردن الزامات اطلاعاتی در مورد بازرسی‌ها و نگهداری این تجهیزات ایجاد کرده است.

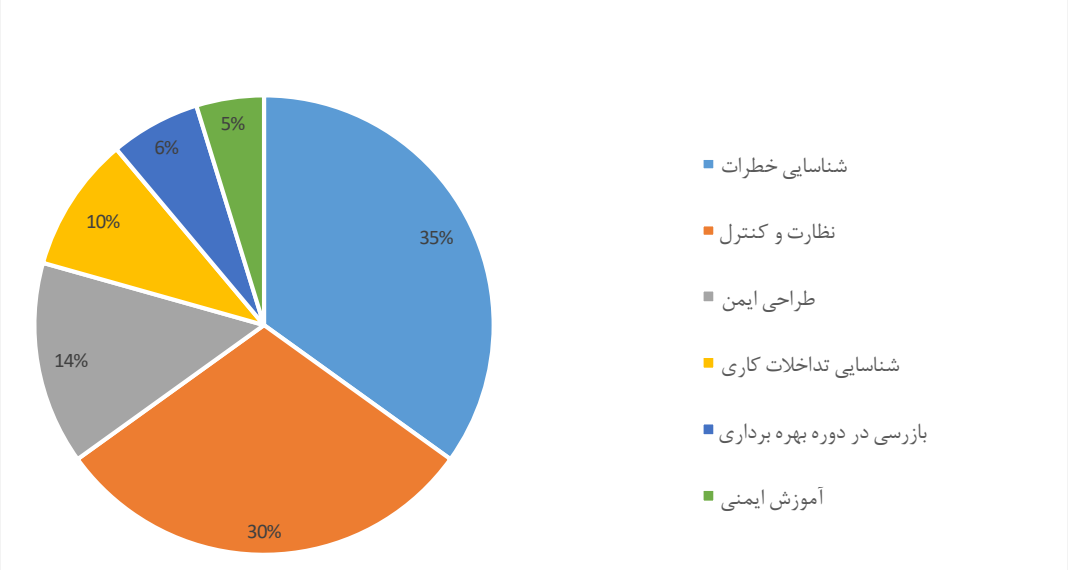
لیست مطالعاتی که در این ۶ حوزه انجام شده، در جدول ۳ آمده است.

1 personal protective equipment

جدول ۲- دسته بندی مقالات در حوزه های مختلف

مقاله	طراحی ایمن	شناسایی خطرات	شناسایی تداخلات کاری	نظارت و کنترل	آموزش ایمنی	بازرسی در دوره بهره برداری
[7] , [23] , [27] , [34] , [35]	✓					
[3] , [36] , [37] , [38]	✓	✓				
[39] , [40] , [41]					✓	
[33] , [42] , [43] , [44]						✓
[45] , [46] , [18] , [29] , [47] , [48]			✓			
[49] , [50] , [51] , [52] , [40] , [53]		✓		✓		
[54] , [30] , [55] , [56] , [57] , [58] , [59] , [60] , [61] , [62] , [63] , [64] , [65]				✓		
[66] , [67] , [28] , [22] , [68] , [48] , [69] , [70] , [71] , [72] , [73] , [46]		✓				

نمودار۳ نشان می‌دهد که از سال ۲۰۱۱ تاکنون محققان در مطالعات خود بیشتر بر شناسایی خطرات تمرکز داشته‌اند. با وجود اینکه مطالعات در این زمینه بیشتر از حوزه‌های دیگر است اما برخی از این مطالعات فقط متمرکز بر یک فعالیت و یک نوع خاص خطر است(مانند طراحی داربست و خطر سقوط از ارتفاع). به دلیل وجود گستردگی در انواع فعالیت‌ها و خطرات ناشی از آن در صنعت ساخت‌وساز هنوز هم زمینه‌های بسیار زیادی برای مطالعه در این حوزه وجود دارد که می‌تواند مورد توجه محققان قرار گیرد. پس از آن کنترل و نظارت که شامل کنترل و نظارت بر سایت، منابع انسانی و تجهیزات است بیشترین سهم را در حوزه‌های نام برده به خود اختصاص داده. همچنین استفاده از بیم جهت آموزش کارکنان به منظور بهبود عملکرد ایمنی حوزه‌ای است که کمتر به آن پرداخته شده در حالیکه آموزش یک گام اساسی در جهت افزایش ایمنی در صنعت ساخت و ساز می‌باشد.به همین جهت موضوعاتی از این قبیل که با استفاده از ویژگی تجسم BIM به کارکنان در درک قوانین و مقررات ایمنی به صورت گرافیکی و قابل درک کمک می‌کند، می‌تواند موضوع مناسبی برای مطالعات آتی باشد.



نمودار ۳ - درصد مطالعات انجام شده در هر حوزه

۵- نتیجه‌گیری

با توجه به رشد و پیشرفت صنعت ساخت‌وساز در سال‌های اخیر حوادث این صنعت نیز به موازات آن در حال رشد است که این باعث شده بهداشت و ایمنی شغلی تبدیل به یک نگرانی بزرگ در صنعت ساخت‌وساز شود. استفاده از مدل‌سازی اطلاعات ساختمان در حال حاضر رشد سریعی را در مراحل طراحی، اجرا و بهره‌برداری دارد که با بهره‌گیری از آن در مدیریت ایمنی، می‌توان کمک‌های شایانی به کمتر شدن نرخ تصادفات این صنعت کرد. این مطالعه با هدف بررسی تحقیقات انجام شده در زمینه بکارگیری BIM جهت بهبود عملکرد ایمنی انجام شده است که نتایج حاکی از آن است که BIM می تواند در ۶ حوزه طراحی ایمن، شناسایی خطرات، نظارت و کنترل، آموزش ایمنی و بازرسی در دوره بهره‌برداری به بهبود عملکرد ایمنی کمک کند.

همچنین این مطالعه اهمیت سرمایه‌گذاری جهت بهبود عملکرد ایمنی را برجسته می‌کند. زیرا اولین و مهم‌ترین قدم برای اتخاذ هر فناوری جدید، شناخت تأثیرات مالی آن است. بکارگیری روش‌ها و تکنولوژی‌های نوین جهت بهبود عملکرد ایمنی نیازمند صرف هزینه است و پیمانکاران تمایلی به هزینه‌های زیادی ندارند. این در حالی است که در صورت وقوع حادثه هزینه‌ای چندین برابر باید صرف جبران خسارت ناشی از حوادث پیش آمده شود. به همین دلیل، تمرکز بر موضوعاتی از قبیل تحلیل هزینه و فایده بکارگیری BIM جهت بهبود عملکرد ایمنی می‌تواند دید مناسبی را به پیمانکاران از جهت سرمایه‌گذاری در این زمینه بدهد.

منابع و مراجع

[۱] M. R. Hallowell and D. Hansen, "Measuring and improving designer hazard recognition skill: Critical competency to enable prevention through design," *Safety science*, vol. 82, pp. 254-263, 2016.
[۲] C.-S. Shim, K.-M. Lee, L. S. Kang, J. Hwang, and Y. Kim, "Three-dimensional information model-based bridge engineering in Korea," *Structural Engineering International*, vol. 22, no. 1, pp. 8-13, 2012.
[۳] S. Zhang, J. Teizer, J.-K. Lee, C. M. Eastman, and M. Venugopal, "Building information modeling (BIM) and safety: Automatic safety checking of construction models and schedules," *Automation in Construction*, vol. 29, pp. 183-195, 2013.
[٤] J. Teizer, B. S. Allread, C. E. Fullerton, and J. Hinze, "Autonomous pro-active real-time construction worker and equipment operator proximity safety alert system," *Automation in construction*, vol. 19, no. 5, pp. 630-640, 2010.
[٥] L. Ding, Y. Zhou, and B. Akinci, "Building Information Modeling (BIM) application framework: The process of expanding from 3D to computable nD," *Automation in construction*, vol. 46, pp. 82-93, 2014.
[٦] S. Azhar, "Role of visualization technologies in safety planning and management at construction jobsites," *Procedia engineering*, vol. 171, pp. 215-226, 2017.
[٧] J. Yuan, X. Li, X. Xiahou, N. Tymvios, Z. Zhou, and Q. Li, "Accident prevention through design (PtD): Integration of building information modeling and PtD knowledge base," *Automation in Construction*, vol. 102, pp. 86-104, 2019.
[٨] J. A. Gambatese, J. W. Hinze, and C. T. Haas, "Tool to design for construction worker safety," *Journal of Architectural Engineering*, vol. 3, no. 1, pp. 32-41, 1997.
[٩] Y. Jung and G. E. Gibson, "Planning for computer integrated construction," *Journal of computing in civil engineering*, vol. 13, no. 4, pp. 217-2.۱۹۹۹ ,۲۵

[۱۰] Y. Yamazaki, "Integrated design and construction planning system for computer integrated construction," *Automation in Construction,* vol. 1, no. 1, pp. 21-26, 1992.
[۱۱] J. K. Euler, "Advantages of Using 3-D CAD Plant Models on the Construction Site," *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering,* vol. 9, no. 6, pp. 435-444, 1994.
[۱۲] T.-c. K. Tse, K.-d. A. Wong, and K.-w. F. Wong, "The utilisation of building information models in nD modelling: a study of data interfacing and adoption barriers," *Journal of information technology in construction (ITcon),* vol. 10, no. 8, pp. 85-110, 2005.
[۱۳] R. Miettinen and S. Paavola, "Beyond the BIM utopia: Approaches to the development and implementation of building information modeling," *Automation in construction,* vol. 43, pp. 84-91, 2014.
[۱٤] B. Succar, "Building information modelling framework: A research and delivery foundation for industry stakeholders," *Automation in construction,* vol. 18, no. 3, pp. 357-375, 2009.
[۱٥] X. Xiaer, H. Dib, J. Yuan, Y. Tang, and Q. Li, "Design for Safety (DFS) and Building Information Modeling (BIM): A Review," in *International Conference on Construction and Real Estate Management,* 2016.
[۱٦] Y. Zou, A. Kiviniemi, and S. W. Jones, "A review of risk management through BIM and BIM-related technologies," *Safety science,* vol. 97, pp. 88-98, 2017.
[۱۷] V. Bansal, "Application of geographic information systems in construction safety planning," *International Journal of Project Management,* vol. 29, no. 1, pp. 66-77,.۲۰۱۱
[۱۸] H. Moon, N. Dawood, and L. Kang, "Development of workspace conflict visualization system using 4D object of work schedule," *Advanced Engineering Informatics,* vol. 28, no. 1, pp. 50-65, 2014.
[۱۹] T. A. Saurin, C. T. Formoso, and L. B. Guimarães, "Safety and production: an integrated planning and control model," *Construction Management and Economics,* vol. 22, no. 2, pp. 159-169, 2004.
[۲۰] K. Sulankivi, T. Makela, and M. Kiviniemi, "BIM-based site layout and safety planning," in *Proceedings of the First International Conference on Improving Construction and Use through Integrated Design Solutions,* 2009, pp. 125-140.
[۲۱] Z. Hu, J. Zhang, and Z. Deng, "Construction process simulation and safety analysis based on building information model and 4D technology," *Tsinghua science and technology,* vol. 13, no. S1, pp. 266-2 72, 2008.
[۲۲] S. Zhang, K. Sulankivi, M. Kiviniemi, I. Romo, C. M. Eastman, and J. Teizer, "BIM-based fall hazard identification and prevention in construction safety planning," *Safety science,* vol. 72, pp. 31-45, 2015.
[۲۳] M. A. Hossain, E. L. Abbott, D. K. Chua, T. Q. Nguyen, and Y. M. Goh, "Design-for-safety knowledge library for BIM-integrated safety risk reviews," *Automation in Construction,* vol. 94, pp. 290-302, 2018.
[۲٤] M. Antwi-Afari, H. Li, E. Pärn, and D. Edwards, "Critical success factors for implementing building information modelling (BIM): A longitudinal review," *Automation in Construction,* vol. 91, pp. 100-110, 2018.
[۲٥] Y. Hong and D. W. Chan, "Research trend of joint ventures in construction: a two-decade taxonomic review," *Journal of facilities management,* 2014.
[۲٦] R. Osei-Kyei and A. P. Chan, "Review of studies on the Critical Success Factors for Public–Private Partnership (PPP) projects from 1990 to 2013," *International journal of project management,* vol. 33, no. 6, pp. 1335-1346, 2015.
[۲۷] Z. Jin, J. Gambatese, D. Liu, and V. Dharmapalan, "Using 4D BIM to assess construction risks during the design phase," *Engineering, Construction and Architectural Management,* 2019.
[۲۸] K. Kim, Y. Cho, and S. Zhang, "Integrating work sequences and temporary structures into safety planning: Automated scaffolding-related safety hazard identification and prevention in BIM," *Automation in Construction,* vol. 70, pp. 128-142,.۲۰۱٦
[۲۹] H. Moon, H. Kim, C. Kim, and L. Kang, "Development of a schedule-workspace interference management system simultaneously considering the overlap level of parallel schedules and workspaces," *Automation in Construction,* vol. 39, pp. 93-105, 2014.

[۳۰] S. Dong, H. Li, and Q. Yin, "Building information modeling in combination with real time location systems and sensors for safety performance enhancement," *Safety science*, vol. 102, pp. 226-237, 2018.
[۳۱] R. Akram, M. J. Thaheem, A. R. Nasir, T. H. Ali, and S. Khan, "Exploring the role of building information modeling in construction safety through science mapping," *Safety Science*, vol. 120, pp. 456-470, 2019.
[۳۲] E. William East, N. Nisbet, and T. Liebich, "Facility management handover model view ",*Journal of computing in civil engineering*, vol. 27, no. 1, pp. 61-67, 2013.
[۳۳] Y.-J. Chen, Y.-S. Lai, and Y.-H. Lin, "BIM-based augmented reality inspection and maintenance of fire safety equipment," *Automation in Construction*, vol. 110, p. 103041, 2.۰۲۰
[۳٤] J. P. Cortés-Pérez, A. Cortés-Pérez, and P. Prieto-Muriel, "BIM-integrated management of occupational hazards in building construction and maintenance," *Automation in Construction*, vol. 113, p. 103115, 2020.
[۳۵] M. Afifi, B. Parke, and M. Al-Hussein, "Integrated approach for older adult friendly home staircase architectural design," *Automation in construction*, vol. 39, pp. 117-125, 2014.
[۳٦] H. Malekitabar, A. Ardeshir, M. H. Sebt, and R. Stouffs, "Construction safety risk drivers: A BIM approach," *Safety science*, vol. 82, pp. 445-455, 2016.
[۳۷] E. T. A. Lin, G. Ofori, I. Tjandra, and H. Kim, "Framework for productivity and safety enhancement system using BIM in Singapore," *Engineering, Construction and Architectural Management*, 2017.
[۳۸] Y. Zou, A. Kiviniemi, and S. W. Jones, "Developing a tailored RBS linking to BIM for risk management of bridge projects," *Engineering, Construction and Architectural Management*, 2016.
[۳۹] H. Li, M. Lu, G. Chan, and M. Skitmore, "Proactive training system for safe and efficient precast installation," *Automation in Construction*, vol. 49, pp. 163-174, 2015.
[٤۰] C.-S. Park and H.-J. Kim, "A framework for construction safety management and visualization system," *Automation in Construction*, vol. 33, pp. 95-103,.۲۰۱۳
[٤۱] M. Marzouk and I. Al Daour, "Planning labor evacuation for construction sites using BIM and agent-based simulation," *Safety science*, vol. 109, pp. 174-185, 2018.
[٤۲] M. Hu, Y. Liu, V. Sugumaran, B. Liu, and J. Du, "Automated structural defects diagnosis in underground transportation tunnels using semantic technologies," *Automation in Construction*, vol. 107, p. 102929, 2019.
[٤۳] P. Hüthwohl, I. Brilakis, A. Borrmann, and R. Sacks, "Integrating RC bridge defect information into BIM models," 20 :۱۸American Society of Civil Engineers.
[٤٤] Y. Zhang and L. Bai, "Rapid structural condition assessment using radio frequency identification (RFID) based wireless strain sensor," *Automation in Construction*, vol. 54, pp. 1-11, 2015.
[٤۵] A. J.-P. Tixier, M. R. Hallowell, B. Rajagopalan, and D. Bowman, "Construction safety clash detection: identifying safety incompatibilities among fundamental attributes using data mining," *Automation in Construction*, vol. 74, pp. 39-54, 2017.
[٤٦] J. Zhang and Z. Hu, "BIM-and 4D-based integrated solution of analysis and management for conflicts and structural safety problems during construction: 1. Principles and methodologies," *Automation in construction*, vol. 20, no. 2, pp. 155-166, 2011.
[٤۷] S. Zhang, J. Teizer, N. Pradhananga, and C. M. Eastman, "Workforce location tracking to model, visualize and analyze workspace requirements in building information models for construction safety planning," *Automation in Construction*, vol. 60, pp. 74-86, 2015.
[٤۸] S. Choe and F. Leite, "Construction safety planning: Site-specific temporal and spatial information integration," *Automation in Construction*, vol. 84, pp. 335-344, 2017.
[٤۹] J. Wang, S. Zhang, and J. Teizer, "Geotechnical and safety protective equipment planning using range point cloud data and rule checking in building information modeling," *Automation in Construction*, vol. 49, pp. 250-261, 2015.
[۵۰] H. Kim, H.-S. Lee, M. Park, B. Chung, and S. Hwang, "Automated hazardous area identification using laborers' actual and optimal routes," *Automation in Construction*, vol. 65, pp. 21-32, 2016.

[۵۱] M. Li, H. Yu, H. Jin, and P. Liu, "Methodologies of safety risk control for China's metro construction based on BIM," *Safety science*, vol. 110, pp. 418-426, 2018.
[۵۲] M. Akula, R. R. Lipman, M. Franaszek, K. S. Saidi, G. S. Cheok, and V. R. Kamat, "Real-time drill monitoring and control using building information models augmented with 3D imaging data," *Automation in Construction*, vol. 36, pp. 1-15, 2013.
[۵۳] X. Shen and E. Marks, "Near-miss information visualization tool in BIM for construction safety," *Journal of construction engineering and management*, vol. 142, no. 4, p. 04015100, 2016.
[۵۴] J. Park, K. Kim, and Y. K. Cho, "Framework of automated construction-safety monitoring using cloud-enabled BIM and BLE mobile tracking sensors," *Journal of Construction Engineering and Management*, vol. 143, no. 2, p. 05016019, 2017.
[۵۵] M. Arslan, C. Cruz, and D. Ginhac, "Visualizing intrusions in dynamic building environments for worker safety," *Safety Science*, vol. 120, pp. 428-446, 2019.
[۵۶] O. Golovina, J. Teizer, and N. Pradhananga, "Heat map generation for predictive safety planning: Preventing struck-by and near miss interactions between workers-on-foot and construction equipment," *Automation in construction*, vol. 71, pp. 99-115, 2016.
[۵۷] O. Golovina, M. Perschewski, J. Teizer, and M. König, "Algorithm for quantitative analysis of close call events and personalized feedback in construction safety," *Automation in Construction*, vol. 99, pp. 206-222, 2019.
[۵۸] M. Arslan, C. Cruz, and D. Ginhac, "Semantic trajectory insights for worker safety in dynamic environments," *Automation in Construction*, vol. 106, p. 102854, 2019.
[۵۹] Z. Riaz, M. Arslan, A. K. Kiani, and S. Azhar, "CoSMoS: A BIM and wireless sensor based integrated solution for worker safety in confined spaces," *Automation in construction*, vol. 45, pp. 96-106, 2014.
[۶۰] H. Li, M. Lu, S.-C. Hsu, M. Gray, and T. Huang, "Proactive behavior-based safety management for construction safety improvement," *Safety science*, vol. 75, pp. 107-117, 2015.
[۶۱] D. Shuang, L. Heng, M. Skitmore, and Y. Qin, "An experimental study of intrusion behaviors on construction sites: The role of age and gender," *Safety science*, vol. 115, pp. ۴۲۵-۴۳۴, ۲۰۱۹.
[۶۲] X. Li, H.-l. Chi, P. Wu, and G. Q. Shen, "Smart work packaging-enabled constraint-free path re-planning for tower crane in prefabricated products assembly process," *Advanced Engineering Informatics*, vol. 43, p. 101008, 2020.
[۶۳] Y. Fang, Y. K. Cho, S. Zhang, and E. Perez, "Case study of BIM and cloud–enabled real-time RFID indoor localization for construction management applications," *Journal of Construction Engineering and Management*, vol. 142, no. 7, p. 05016003, 2016.
[۶۴] Y.-C. Chen, H.-L. Chi, S.-C. Kang, and S.-H. Hsieh, "Attention-based user interface design for a tele-operated crane," *Journal of Computing in Civil Engineering*, vol. 30, no. 3, p. 04015030, 2016.
[۶۵] H. Kim, H.-S. Lee, M. Park, B. Chung, and S. Hwang, "Information retrieval framework for hazard identification in construction," *Journal of Computing in Civil Engineering*, vol. 29, no. 3, p. 04014052, 2015.
[۶۶] K. Schwabe, J. Teizer, and M. König, "Applying rule-based model-checking to construction site layout planning tasks," *Automation in construction*, vol. 97, pp. 205-219, 2019.
[۶۷] M. Li, H. Yu, and P. Liu, "An automated safety risk recognition mechanism for underground construction at the pre-construction stage based on BIM," *Automation in Construction*, vol. 91 ,pp. 284-292, 2018.
[۶۸] K. Kim, Y. Cho, and K. Kim, "BIM-driven automated decision support system for safety planning of temporary structures," *Journal of Construction Engineering and Management*, vol. 144, no. 8, p. 04018072, 2018.
[۶۹] L. Ding, B. Zhong, S. Wu, and H. Luo, "Construction risk knowledge management in BIM using ontology and semantic web technology," *Safety science*, vol. 87, pp. 202-213, 2016.
[۷۰] J. Kim, M. Fischer, J. Kunz, and R. Levitt, "Semiautomated scaffolding planning: development of the feature lexicon for computer application," *Journal of Computing in Civil Engineering*, vol. 29, no. 5, p. 04014079, 2015.

[۷۱] K. Kim and J. Teizer, "Automatic design and planning of scaffolding systems using building information modeling," *Advanced Engineering Informatics*, vol. 28, no. 1, pp. 66-80, 2014.
[۷۲] S. Zhang, F. Boukamp, and J. Teizer, "Ontology-based semantic modeling of construction safety knowledge: Towards automated safety planning for job hazard analysis (JHA)," *Automation in Construction*, vol. 52, pp. 29-41, 2015.
[۷۳] E. M. Wetzel and W. Y. Thabet, "The use of a BIM-based framework to support safe facility management processes," *Automation in Construction*, vol. 60, pp. 12-24, 2015.