

ارزیابی خودکار ریسک سقوط از ارتفاع با استفاده از مدل اطلاعاتی ساختمان و پردازش تصویر

محمد رسولی منش (دانشجوی دکتری)

دانشکده‌ی مهندسی عمران و محیط‌زیست، دانشگاه صنعتی امیرکبیر

حسین تقدس* (استادیار)

فرزاد چوکان (دانشجوی دکتری)

دانشکده‌ی مهندسی عمران و محیط‌زیست، دانشگاه تهران

مصطفی داداشی حاجی (دانشجوی دکتری)

محمدحسین تمنایی فر (دانشجوی دکتری)

دانشکده‌ی مهندسی عمران و محیط‌زیست، دانشگاه صنعتی امیرکبیر

مهندسی عمران شریف، زمستان (۱۳۹۹)
دوره‌ی ۲ - ۳۶، شماره‌ی ۱/۴، ص. ۳۹-۴۷

آسیب‌های جانی کارکنان پروژه را می‌توان به‌عنوان یکی از مهم‌ترین عوامل در ایمنی پروژه برشمرد. روش‌های سنتی مانند استفاده از نظر خبرگان و مستندات حوادث پیشین، کارایی پایینی در شناسایی و تعیین میزان خطر ریسک‌های ایمنی دارد و رویکردهای نوین، همچون: مدل‌سازی اطلاعات ساختمان، پیاده‌سازی فرایندهای شناسایی ریسک‌های ایمنی و رتبه‌بندی آن‌ها را امکان‌پذیر می‌کنند. در پژوهش حاضر، مدلی جهت شناسایی و معرفی ریسک‌های ایمنی در پروژه‌ها معرفی شده است که محرک‌های ایمنی را در نقاط مختلف پروژه شناسایی و رتبه‌بندی می‌کند. تأثیر عامل افزایش ارتفاع و جنس سطح زیرین برای ارزیابی خطر سقوط از ارتفاع بررسی و از مدل اطلاعاتی ساختمان برای مجسم‌سازی نتایج به‌منظور کاربرد در مدیریت ایمنی پروژه استفاده شده است. اطلاعات ورودی با استفاده از پردازش تصویر فراهم شده است که در پایگاه داده به مشخصات المان‌های ساختمانی مرتبط می‌شوند. نتایج حاصل از پژوهش حاضر به‌منظور پیش‌بینی مخاطرات سقوط از ارتفاع قابل استفاده است و قابلیت شناسایی و رتبه‌بندی نقاط حادثه‌خیز را دارد.

واژگان کلیدی: سقوط از ارتفاع، مدل‌سازی اطلاعات ساختمان، ایمنی، رتبه‌بندی ریسک.

۱. مقدمه

امروزه با گسترش شهرها و افزایش شهرنشینی نیاز به ساخت پروژه‌های بزرگ‌تر و پیچیده‌تر احساس می‌شود. پیچیدگی پروژه‌ها باعث افزایش عدم قطعیت‌های موجود در پروژه‌ها می‌شود که این امر ریسک‌های مختلفی را به پروژه تحمیل می‌کند. در چنین شرایطی مدیریت ریسک‌ها و عدم قطعیت‌های موجود در پروژه به یکی از مهم‌ترین دغدغه‌های مدیران و ذی‌نفعان صنعت ساخت تبدیل شده است. بدین منظور برنامه‌ریزی در بخش‌های مختلف: زمان، هزینه، نیروهای انسانی، مدیریت بازار و غیره به‌صورت قطعی در ابتدای پروژه امکان‌پذیر نیست و مدیران پروژه، عدم قطعیت مذکور را در بخش‌های مختلف اعمال می‌کنند تا بتوانند پروژه‌ی خود را در زمان بهتر مدیریت کنند. مدیریت ایمنی پروژه‌ها، یکی از مهم‌ترین بخش‌هایی است

* نویسنده مسئول

تاریخ: دریافت ۱۳۹۸/۴/۱۹، اصلاحیه ۱۳۹۸/۷/۲۳، پذیرش ۱۳۹۸/۱۲/۱۲.

DOI:10.24200/J30.2020.53198.2539

m_rasoulimanesh@aut.ac.ir
htaghaddos@ut.ac.ir
farzad.chokan@ut.ac.ir
mostafa.dadashi@aut.ac.ir
mhmmhsstef@aut.ac.ir

حوادث را در مدیریت ریسک ایمنی جست‌وجو کرده‌اند. پژوهش‌ها نشان داده‌اند که بسیاری از ریسک‌های ایمنی که به حوادث منجر می‌شوند، در مرحله‌ی طراحی و یا حتی در کارگاه نیز قابل شناسایی نبوده‌اند. بنابراین شناسایی ریسک‌های ایمنی در سال‌های اخیر، موضوع بسیاری از پژوهش‌ها بوده است.^[۵] امروزه با توجه به رشد چشم‌گیر رویکردهای سه‌بعدی‌سازی مانند مدل‌سازی اطلاعات ساختمان کاربرد مدیریت ریسک ایمنی در مدل BIM^۱ می‌تواند سهم به‌سزایی در کاهش آسیب‌های انسانی در کارگاه داشته باشد.

در پروژه‌های مختلف ریسک‌های بسیاری وجود دارد که شناسایی و ارزیابی شدت آن‌ها، اهمیت بسیاری دارد. اگر مدیران ایمنی نتوانند میزان و شدت آن‌ها را به درستی تخمین بزنند، نتایج حاصل از بروز اتفاقات احتمالی در پروژه می‌توانند پروژه را به مخاطره بیندازند.^[۶] در گذشته، مسائل ایمنی از روی نقشه‌های دوبعدی و اسناد پروژه بررسی می‌شدند و امکان شناسایی و تحلیل بسیاری از ریسک‌ها وجود نداشت. در پژوهشی در سال ۲۰۱۴، تعدادی از سرپرست‌های کارگاه انتخاب و در دو گروه دسته‌بندی شدند. گروه اول فقط اسناد، نقشه‌ها و تعدادی عکس از پروژه در اختیار داشتند و گروه دوم در یک محیط مجازی از پروژه قرار گرفتند. نتیجه‌ی به‌دست آمده نشان داد که گروهی که در محیط مجازی ریسک‌ها را مشاهده کردند، بیشتر از از گروه اول توانایی درک مخاطرات را داشتند؛ اما در نهایت هر دو گروه نتوانسته بودند به نحوی مطلوب ریسک‌های پروژه را ارزیابی کنند. حتی مدیران پروژه‌یی که سابقه‌ی کار بسیاری داشتند و دوره‌های مختلف ایمنی را گذرانده بودند، در تحلیل ریسک‌ها چندان موفق عمل نکرده بودند.^[۲]

پژوهش‌های مختلفی ریسک‌های مختلف ایمنی را در دسته‌بندی‌های مختلفی گنجانده‌اند.^[۷] همچنین با بررسی تعدادی از حوادث، فراوانی آن‌ها را نیز اندازه‌گیری کرده‌اند تا مشخص شود که هر کدام از خطرات اشاره شده چه سهمی از حوادث را به خود اختصاص داده‌اند.^[۸] در این بین در بسیاری از پژوهش‌ها سقوط از ارتفاع به‌عنوان مهم‌ترین عامل آسیب‌های مختلف شناخته شده است. در ادامه، درصد حادثه‌های مختلف در برخی از پژوهش‌ها بیان شده است (جدول ۱).

در موارد دیگر نیز دسته‌بندی‌هایی انجام شده است که نشان می‌دهد آسیب‌های مربوط به سقوط افراد و یا اشیاء، درصد بالایی از تلفات ساختمانی را تشکیل

می‌دهند. ملکی تبار و همکاران (۲۰۱۶)^[۱۰]، تعداد ۳۶۳ حادثه را در پایگاه‌های مختلف بررسی و میزان تلفات هر کدام را به درصد بیان کرده‌اند که در جدول ۲ ارائه شده است.^[۱۰]

همان‌طور که از مطالعات پیشین مشخص است، سقوط از ارتفاع از مهم‌ترین عوامل بروز حادثه در بخش‌های مختلف است. علی‌رغم اینکه پژوهش‌های مختلفی در راستای شناسایی و کاهش خطرات ریسک‌های ایمنی بیان شده است، اما سقوط از ارتفاع همچنان از مهم‌ترین موارد ریسک‌های ایمنی به‌شمار می‌رود که به نظر می‌رسد پژوهش‌های بیشتری در راستای شناسایی و تحلیل ریسک‌های سقوط از ارتفاع موردنیاز است.^[۱۳] یکی از نخستین نوشتارهایی که به شناسایی ریسک‌های ایمنی با استفاده از مدل سه‌بعدی هوشمند ساختمان پرداخت، نوشتار ژانگ و همکاران (۲۰۱۳)^[۱۴] بوده است، که در آن خطرات ساختمان به‌صورت خودکار شناسایی شده است. بدین منظور باید ابتدا قوانین موجود در زمینه‌ی ایمنی ترجمه (در صورت لزوم تفسیر) شود. در مرحله‌ی بعد، مدل اطلاعاتی ساختمان به منظور استخراج داده‌های مورد نیاز برای تطبیق قوانین آماده‌سازی شود و سپس با مدل‌های داده شده از نرم‌افزار اجرا شده و با استفاده از ابزارهای گرافیکی نمایش داده شود. برنامه‌ی مذکور به‌صورت خودکار محل‌هایی که نیاز به اقدامات لازم جهت کاهش ریسک‌های ایمنی دارند، را به‌صورت خودکار شناسایی می‌کند. نوشتار اخیر از فرایند مدل‌سازی اطلاعات ساختمان از دو جنبه بهره برده است. نخست آنکه مدل سه‌بعدی ساختمان را به‌کار می‌گیرد، یعنی از مختصات افقی، عمودی و ارتفاعی المان‌ها استفاده می‌کند. از طرف دیگر، پارامترهای زمانی را نیز محاسبه می‌کند. به‌عنوان مثال، ممکن است موقع احداث سقف، پرتگاه وجود داشته باشد و هنگامی که دیوارها چیده شد، پرتگاه شناسایی نشود. بنابراین پرتگاه‌های شناسایی شده، اطلاعات زمانی مختص خود نیز دارند و می‌توان در مرحله‌ی طراحی، برنامه‌ی زمان‌بندی آن‌ها را نیز ارائه داد تا بخش برنامه‌ریزی ایمنی پروژه به‌صورت خودکار انجام شود. همان‌گونه که مشخص شده است، مدل اطلاعاتی ساختمان در کنار برنامه‌ی زمان‌بندی که شامل مدل چهاربعدی می‌شود، از یک طرف و قوانین اوشا در کنار تجربیات مدیریتی در قالب قوانین ایمنی از طرف دیگر وارد فرایند می‌شوند و قوانین موجود در کنار مدل چهاربعدی پیاده‌سازی و پس از برطرف شدن نقایص احتمالی موجود، اقدامات اصلاحی در

جدول ۱. پراکندگی مخاطرات در پژوهش‌های پیشین.

عوامل مختلف حادثه	هوانگ و هیئزه ^[۹] (۲۰۰۳)	ملکی تبار و همکاران ^[۱۰] (۲۰۱۶)	هاتیپیکاراسولو ^[۱۱] (۲۰۱۰)	فوتزا و همکاران ^[۱۲] (۲۰۱۶)
سقوط از ارتفاع	۳۶٫۳٪	۷۵٫۳٪	۵۱٫۷۱٪	۴۵٪
گیر کردن	۲۴٫۳٪	۲۴٫۱٪	۲۲٪	۲۳٪
گرفتار شدن در فضای بسته	۱۱٫۶٪	-	۶٫۲۹٪	۱۱٪
شوک	۱۳٫۴٪	۰٫۰۶٪	-	۷٪
عوامل دیگر	۱۴٫۵٪	-	۲۰٪	۱۴٪

جدول ۲. دسته‌بندی ارائه‌شده توسط ملکی تبار و همکاران.^[۱۰]

منبع	OSHA	NIOSH	نظرسنجی	مجموع
سقوط افراد و اشیاء	۱۲ از ۲۷ (۴۴٪)	۶۴ از ۱۰۵ (۶۱٪)	۲۱ از ۱۷ (۸۱٪)	۹۳ از ۱۵۳ (۶۰٪)
برخورد با ماشین‌آلات	۵ از ۲۱ (۲۴٪)	۷ از ۶۳ (۱۱٪)	۱۵ از ۱۵ (۳۳٪)	۱۷ از ۷۹ (۲۳٪)
برق گرفتگی	۶ از ۱۰ (۶۰٪)	۳۵ از ۸۳ (۴۲٪)	۵ از ۱ (۲۰٪)	۴۲ از ۹۸ (۴۳٪)
خفگی و مدفون‌شدگی	۹ از ۱۲ (۷۵٪)	۵ از ۱۷ (۲۹٪)	۴ از ۴ (۱۰۰٪)	۱۸ از ۳۳ (۵۵٪)
مجموع	۳۲ از ۷۰ (۴۲٪)	۱۱۱ از ۲۴۸ (۴۵٪)	۲۷ از ۴۵ (۶۰٪)	۳۶۳ از ۱۷۰ (۴۷٪)

چرخه‌ی حیات پروژه و با توجه به نیاز ذی‌نفعان پروژه می‌تواند استفاده شود. با توجه به ویژگی‌های BIM حتی می‌توان میزان دسترسی ذی‌نفعان مختلف را در مدل BIM محدود کرد، به نحوی که هر کدام از افراد، قابلیت مشاهده و یا تغییر اطلاعات تعریف شده را داشته باشند. دقت شود که در پایین‌ترین سطح تعریف اطلاعات، تمامی المان‌ها همراه با نام و نوع خاص خود را به همراه مختصات (X, Y, Z) خواهند داشت. نکته‌ی قابل توجه اینجاست که تمامی اطلاعات مذکور می‌توانند به هر صورت دلخواه بدون محدودیت خروجی گرفته شوند و یا عملیات جبری روی آن‌ها انجام شود. در جلسات طراحی و مدل‌سازی، طراحان و پیمانکاران و مدیران کارگاه به این نتیجه رسیدند که استفاده از مدل BIM، هم‌زمان با دیگر نقشه‌ها برای ارائه‌ی مدل تصویری مسائل ساخت‌پذیری بسیار مؤثر است و پیشنهاد شد که ارزیابی ساخت‌پذیری بر پایه‌ی BIM نیز در دستور کار جلسات اشاره شده قرار گیرد. در مقابل، رابطه‌ی بین ایمنی و طراحی بسیار پیچیده است، اما مدل‌ها به‌عنوان ابزاری برای کمک به تبادل نظر بین طراحان و سازندگان توصیف شده‌اند، در عین حال ساخت دقیق مدل‌های مؤثر و کارآمد، ضروری هستند.^[۲۳]

پردازش اطلاعات بینایی توسط رایانه، تلاش عمده‌ی پژوهشگران و دانشمندان در دهه‌های اخیر بوده است. پردازش تصاویر دیجیتال، یک زمینه‌ی گسترده‌ی علمی است، که براساس تجربیات مختلف در طول چند دهه توسعه یافته است. علم پردازش تصویر، شامل الگوریتم‌های استخراج و بررسی اطلاعات موجود در یک تصویر دیجیتال است. تصویر نیز همانند بسیاری از سیگنال‌های دیگر در ابتدا آنالوگ است، که برای پردازش آن توسط ماشین باید با استفاده از میدل آنالوگ به دیجیتال از حالت آنالوگ به دیجیتال تبدیل شود. یک تصویر می‌تواند با یک تابع دوبعدی به صورت $f(x, y)$ تعریف شود که x و y مختصات نقاط در تصویر هستند. مقدار تابع نیز سطح روشنایی یا سطح خاکستری آن نقطه در تصویر نامیده می‌شود. هر تصویر دیجیتال از تعداد زیادی مربعات کوچک به نام پیکسل یا عناصر تصویری تشکیل شده است. به عبارت دیگر، هر تصویر دیجیتال از قرار گرفتن پیکسل‌های مذکور در کنار هم تشکیل می‌شود.^[۲۴]

زمانی که مختصات x و y ، پیکسل‌ها و مقدار تابع f همگی مقادیر محدود و گسسته داشته باشند، یک تصویر دیجیتال در نظر گرفته می‌شود. گسسته‌سازی مختصات x و y را نمونه‌برداری و گسسته‌سازی سطح خاکستری را کوانتیزاسیون می‌نامند. یک تصویر دیجیتال، ماتریسی از اعداد حقیقی است که حاصل نمونه‌برداری و کوانتیزاسیون یک تصویر پیوسته یا آنالوگ است. یک تصویر دیجیتال با سایز $N \times M$ ، یک ماتریس با M سطر و N ستون است، که مقدار هر درایه در یک سطر و ستون مشخص، سطح روشنایی را بیان می‌کند. تعداد پیکسل‌ها در عکس به وسیله‌ی غلظت نقاط یا همان رزولوشن که وضوح تصویر را مشخص می‌کند، تعیین می‌شود. این ویژگی با تعداد نقاط در اینچ و یا با تعداد ردیف و ستون‌های عکس مثلاً 640×480 سنجیده می‌شود. پردازش دیجیتال می‌تواند شامل پردازش‌های سطح پایین که عموماً برای بالا بردن کیفیت یک تصویر به کار می‌رود و نیز شامل الگوریتم‌هایی، مانند کاهش نویز و کم یا زیاد کردن کنتراست تصویر و عمل تیز کردن تصویر است، باشد و یا شامل پردازش‌های سطح میانی و سطح بالا باشد. اولین مرحله از زنجیره‌ی پردازش تصاویر دیجیتال، دریافت تصویر است. دستگاه‌های مختلفی برای دریافت تصویر وجود دارد که هر یک مبتنی بر روش به خصوصی کار می‌کنند که از آن جمله می‌توان به دوربین‌های عکس‌برداری و فیلم‌برداری و تصویربرداری با استفاده از اشعه‌ی X و تصویربرداری در باند مادون قرمز و تصویربرداری در باند رادیویی و غیره اشاره کرد.

پردازش تصاویر دیجیتال در بسیاری از شاخه‌های علوم و مهندسی متفاوت



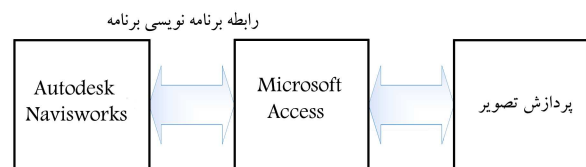
شکل ۱. تأثیر جنس مصالح در سقوط از ارتفاع.^[۱۶]

کنار اقدام‌های ایمنی سبب ایجاد گزارش ایمنی به صورت خودکار می‌شوند، که این روش سبب افزایش عملکرد گزارش‌های ایمنی می‌شود.

همچنین فایانوف باسمن (۲۰۱۰)، تعداد ۳۰۷ مورد از سقوط اشخاص را بررسی کرده‌اند. این موارد در تعدادی از شهرهای بزرگ، مانند میلان در بین سال‌های ۲۰۰۶ تا ۲۰۱۰ میلادی اتفاق افتاده‌اند و در آن‌ها متغیرهای مختلفی، از جمله: سن، وزن، میزان ارتفاع سقوط و غیره در نظر گرفته شده است. قفسه‌ی سینه (۹۲٪)، ریه‌ها (۷۶٪)، قلب (۵۳٪)، و کبد (۵۸٪) بیشترین آسیب‌دیدگی را در کل جمعیت نشان دادند. در نوشتار اخیر، ویژگی‌های شخصی افراد نیز در متغیرها دخیل شده است. اما در نهایت کلیه‌ی عوامل مختلف جمع‌آوری و معیارهای شدت آسیب بر اثر برخورد بیان شده است.^[۱۵] واضح است که چرخش بدن با توجه به ارتفاع‌های مختلف متفاوت است و با توجه به ارتفاع، آسیب به نقاط خاصی از بدن وارد می‌شود. به صورت کلی، آسیب‌ها در شکل ۱ مشاهده می‌شوند. افزایش ارتفاع سقوط باعث افزایش انرژی می‌شود. همچنین افزایش ارتفاع تا میزان خاصی، احتمال آسیب به سر در اثر واژگونی افراد را افزایش می‌دهد. به عبارت بهتر، در واژگونی اولیه‌ی افراد، احتمال آسیب به سر افزایش می‌یابد.^[۱۶]

کارنام و همکاران (۲۰۰۰-۱۹۹۷)، در پژوهش‌های خود میزان معیار آسیب سر را با توجه جنس مصالح و درشت‌دانه یا ریزدانه بودن بررسی کرده‌اند. آن‌ها با استانداردسازی محیط، شامل: وزن وزنه‌ی پرتابی و جنس مصالح، آزمایش‌های مختلفی را تکرار کرده و نتیجه گرفته‌اند که به صورت تقریبی هر چه مصالح درشت‌دانه‌تر باشد، معیار آسیب سر افزایش می‌یابد.^[۱۷-۱۹]

کمترین ارتفاعی که یک جسم سقوط می‌کند و آسیب جدی به مغز فرد وارد می‌شود، ارتفاع بحرانی سقوط^۲ تعریف می‌شود، که برای مصالح مختلف متفاوت است. ارتفاع بحرانی سقوط برای بتن برابر ۱۲/۵ فوت و برای ماسه ۵ فوت در نظر گرفته می‌شود. بدین ترتیب نتیجه می‌شود که تأثیر سقوط از ناحیه‌ی سر برای سقوط بر روی بتن، ۲ برابر سقوط بر روی ماسه خواهد بود.^[۲۰] در مدل BIM، اگر یکی از اجزاء پروژه بروزسانی شود، این بروزسانی در تمامی پلان‌ها و برش‌ها به صورت اتوماتیک می‌افتد.^[۲۱] علاوه بر آن، اطلاعات در مدل‌های سه‌بعدی معمول، شامل نمایش‌های گرافیکی، مانند: خط، منحنی، و یا دایره هستند. در حالی که مدل اطلاعاتی شامل شامل اطلاعات کاملی از المان‌ها مربوط به کل چرخه‌ی حیات پروژه را شامل می‌شود.^[۲۲] برای مثال، یک درپچه یا لوله در مدل BIM شامل تمام اطلاعات موجود در آن است، به نحوی که هر کدام از اطلاعات مذکور در طول



شکل ۲. نحوه‌ی ارتباط عوامل در چارچوب پیشنهادی.

ارزیابی مشخصات المان‌های پروژه به پایگاه داده‌ها وارد و ذخیره می‌شود. فرایند استخراج اطلاعات ثبت شده در محیط مذکور توسط رابط برنامه‌نویسی (API) در محیط Microsoft Visual Studio (۲۰۱۵) انجام شده است، که بدین ترتیب افزونه‌ی^۵ در نرم‌افزار Autodesk Navisworks (۲۰۱۶) ایجاد می‌شود که قادر است اطلاعات مذکور را در پایگاه داده‌ی Microsoft Access ذخیره کند (شکل ۲).

با تکمیل مدل چون ساخت پروژه و بعد از ثبت اطلاعات، میزان خطر هر یک از المان‌های مدل با توجه به ورودی‌های ثبت شده در پایگاه داده، شامل: ارتفاع از کف زیرین، جنس مصالح زیرین و اینکه المان در لبه‌ی سطوح واقع شده است یا خیر، میزان ریسک محاسبه می‌شود. لبه‌های موجود در مدل به دو دسته‌ی خطرناک و ایمن تقسیم می‌شوند. استفاده از مدل چون ساخت این امکان را به کاربر می‌دهد که لبه‌های اجرا شده را که در یک مرحله از فعالیت‌های پروژه در حالت خطرناک قرار دارند و در مراحل بعدی به حالت ایمن تغییر می‌کنند، از هم تمیز دهد.

با توجه به همه‌گیر شدن استفاده از مدل‌سازی اطلاعات ساختمان در فاز طراحی و ساخت پروژه و مشاهده‌ی آثار بالقوه‌ی آن در کاهش هزینه‌های مربوط به فازهای اخیر و همچنین مزایای دیگر آن، لزوم استفاده از BIM را بیش از پیش در ارزیابی ایمنی پروژه آشکار می‌سازد. با کدنویسی انجام شده در پژوهش حاضر در راستای بهبود عملکرد سنتی مدیریت ایمنی پروژه‌های ساخت، دو فاز BIM و مدیریت ایمنی در کنار یکدیگر قرار گرفته‌اند. این چارچوب با توجه به ملاحظات ایمنی، نقاط حادثه‌خیز را تعیین می‌کند. ویژگی دیگر پژوهش حاضر، استفاده از مدل سه‌بعدی زیرساخت و استفاده از قابلیت‌های مدل‌سازی اطلاعات ساخت به منظور سیستماتیک کردن فرایند دریافت و انتقال اطلاعات در دوران بهره‌برداری و مصورسازی اطلاعات است. یکی دیگر از قابلیت‌های روش مذکور، انعطاف‌پذیری و قابلیت پیاده‌سازی آن در انواع مختلف زیرساخت‌هاست که در پژوهش حاضر با توجه به مطالعه‌ی موردی در نظر گرفته شده، ساختمان اداری در شهر تهران به‌عنوان پروژه‌ی موردبحث انتخاب شده است. در واقع روش پیشنهادی قابلیت اتصال به مدل BIM انواع زیرساخت‌ها را با تغییر اطلاعات مرتبط با اعضاء آن دارد و با به‌روزرسانی مدل، مناطق پر ریسک در مجتمع اداری به‌صورت رنگ‌آمیزی شده نمایش داده می‌شود، تا تدابیر لازم برای مقابله با مخاطرات شناسایی شده اتخاذ شود.

فاز BIM مربوط به مدل کردن اطلاعات ساختمان است که در اینجا اطلاعات مرتبط با مخاطرات ایمنی یک مجتمع اداری به آن وارد شده است. مطالعه‌ی موردی که برای پژوهش حاضر استفاده شده است، یک ساختمان با زیربنای ۱۰ هزار مترمربع در شهر تهران بوده است. پروژه‌ی حاضر، ۱۰ طبقه در زمان پیاده‌سازی پژوهش در مرحله‌ی اجرای اسکلت بتنی داشته است. برای پیاده‌سازی BIM احتیاج به مدل سه‌بعدی از ساختمان بوده و مدل استفاده‌شده در پژوهش حاضر در نرم‌افزار Autodesk Revit (۲۰۱۶) مدل شده است. مدل اشاره شده پس از

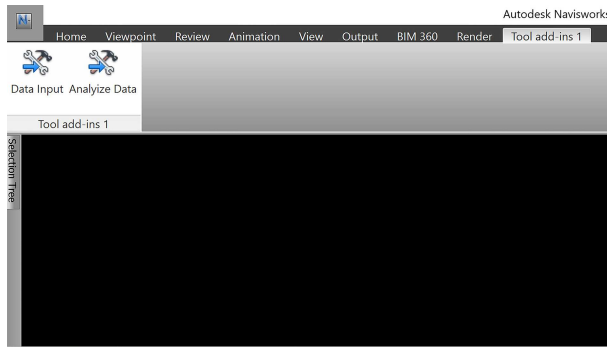
کاربرد دارد. اولین سعی و تلاش برای گسترش پردازش تصاویر دیجیتال به سال ۱۹۶۴ برمی‌گردد که توسط ناسا به منظور گرفتن عکس از سطح ماه انجام شد. بعدها پردازش تصاویر دیجیتال در حوضه‌های مختلف علوم، مانند: پزشکی، زیست‌شناسی، و حتی هوانوردی به‌منظور پیش‌بینی وضع آب و هوا و نقشه‌برداری و کاربردهای نظامی و دفاعی و کنترل ترافیک شهری استفاده شده است. در سال‌های اخیر، مطالعاتی مبنی بر پردازش تصاویر دیجیتال تقریباً در هر بخش از زمینه‌ی مهندسی عمران انجام و گزارش شده است که از آن جمله می‌توان به ارزیابی وضعیت تنش در روسازی، بازرسی وضعیت سلامت پل‌های آمریکا،^[۲۵] تغییرشکل المان‌های فولادی در دماهای بسیار بالا،^[۲۶] نمایان‌ساختن مشخصات خاص در مصالح مرکب و چندجنسی، بررسی فرایند انتشار ترک،^[۲۷] و آشکارسازی الگوی شکست، و غیره اشاره کرد.

سون و همکاران (۲۰۱۹) از پردازش تصویر برای جانمایی کارکنان در کارگاه عمرانی استفاده کردند و با تحلیل مکانی کارکنان در بستر زمان، مخاطرات احتمالی به‌صورت آنی توسط تیم مدیریت ایمنی پروژه تعیین شده و مداخلات موردنیاز به انجام رسیده است.^[۲۸] ژانگ و همکاران (۲۰۱۸)، مدلی به منظور به‌کارگیری اطلاعات استخراج شده توسط پردازش تصویر در مدل چهاربعدی پروژه توسعه دادند. در پژوهش اخیر، از اطلاعات واقعی شرایط کارگاه و اقدام آن با برنامه‌ی زمان‌بندی پروژه به منظور اتخاذ راهبردهای مناسب ایمنی استفاده شده است.^[۲۹]

با توجه به اینکه در زمان اجرای پروژه، جنس مصالح کف سقوط در طول زمان با توجه به دیوی مصالح، انبار تجهیزات و مراحل اجرایی متغیر است، استفاده از پردازش تصویر برای شناسایی خودکار جنس سطح زیرین در پژوهش اخیر استفاده شده است. برای مثال، سطح بتن‌ریزی‌شده‌ی را می‌توان در نظر گرفت که در حالت عادی، جنس کف سقوط در آن بتنی و سخت بوده است؛ ولی در برهه‌هایی از زمان اجرا، با دیوی شن و ماسه در آن سطح، جنس کف سقوط به حالت نرم تغییر کرده است. پژوهش اخیر، چنین تغییراتی را در فاز اجرای پروژه در نظر گرفته است و با استفاده از اطلاعات پردازش شده و ارتفاع سقوط که از مدل اطلاعات ساختمان استخراج می‌شود، ریسک سقوط از ارتفاع را در هر نقطه از پروژه محاسبه کرده است. با وجود تلاش‌های صورت گرفته به‌منظور خودکارسازی فرایندهای مدیریت در بستر مدل‌سازی اطلاعات ساختمان، پژوهشگران کمی از تکنولوژی‌های نوین در ترکیب با مدل اطلاعاتی ساختمان به‌منظور ارزیابی خودکار ریسک سقوط از ارتفاع استفاده کرده‌اند. به‌صورت خاص، نتایج به‌کارگیری پردازش تصویر به‌عنوان تولیدکننده‌ی خودکار اطلاعات و پایگاه داده در بستر مدل اطلاعاتی ساختمان به‌عنوان سیستم نگهداری و تحلیل اطلاعات برای ارزیابی ریسک سقوط از ارتفاع بررسی نشده است.

۲. روش پژوهش

امروزه با افزایش کاربرد BIM، جنبه‌های مختلفی از این تکنولوژی به روی فعالان حوزه‌ی ایمنی گشوده شده است. درک جایگاه BIM در بهبود فرایند ارزیابی ایمنی و ذخیره‌سازی اطلاعات مربوط به آن می‌تواند منجر به افزایش سرعت و دقت در مدیریت ایمنی پروژه‌های ساخت شود. در پژوهش حاضر، سیستمی متشکل از چارچوب BIM و مدیریت ایمنی به‌صورت یکپارچه و در کنار هم استفاده شده است. پژوهش حاضر، به‌منظور ارزیابی شرایط ایمنی به انجام رسیده و مدیریت ایمنی با استفاده از مدل اطلاعاتی ساختمان انجام شده است. در مدل BIM، ابتدا به وسیله‌ی فضای گرافیکی ارتباط با کاربر (GUI) اطلاعات



شکل ۴. افزونه‌ی ایجاد شده در محیط Autodesk Navisworks.

مسئولیت کاهش بُعد عکس‌های ورودی را بر عهده دارد. در واقع عکس ورودی به لایه‌ی ۲D MaxPulling دچار فرایند کاهش پیکسل شده و عکس خروجی با ابعاد کوچک‌تر که ماهیت عکس مادر را حفظ کرده است، به لایه‌های بعدی انتقال داده می‌شود. نوع سوم لایه‌ها، ابعاد دوبعدی پیکسل‌های هر عکس را به صورت خطی و پشت سر هم به بردار یک‌بعدی تبدیل می‌کند تا به عنوان ورودی برای لایه‌ی Dense استفاده شود. آخرین نوع لایه‌ها، اصلی‌ترین لایه‌ی شبکه‌ی عصبی است، که در آن تمام نورون‌ها به یکدیگر متصل هستند. برای آموزش شبکه‌ی عصبی از ۱۹۱ عکس شن و ۱۸۷ عکس بتن و برای آزمون مدل نیز از ۲۵ عکس شن و ۲۵ عکس بتن استفاده شده است. نتایج حاصل از آزمون، دقت ۸۸ درصدی را نشان دادند.

اطلاعات خروجی از مدل پردازش تصویر به عنوان مشخصات، به المان‌هایی که از مدل اطلاعات ساختمان استخراج و در پایگاه داده طراحی شده‌اند، ذخیره می‌شوند، می‌پیوندند. ادغام اطلاعات خروجی از مدل و نوع جنس مصالح زیرین، امکان انجام محاسباتی که قبلاً در همین بخش مطرح شده‌اند را فراهم می‌آورد. شکل ۵، الگوریتم ارائه شده در پژوهش حاضر برای ترکیب تکنولوژی‌های مدل‌سازی اطلاعات ساختمان، پایگاه داده و پردازش تصویر را به منظور تعیین عامل ریسک سقوط از ارتفاع با فرض وجود دو نوع مصالح زیرین شن و بتن نشان می‌دهد.

۳. پیاده‌سازی و تحلیل نتایج

از آنجایی که مدل BIM شامل مدل کامل پروژه‌ی مورد مطالعه است و همچنین با توجه به اینکه در نرم‌افزار Navisworks نمی‌توان هیچ تغییری بر روی مدل ایجاد و فقط می‌توان از ابزار پنهان کردن استفاده کرد، به لزوم منحصر کردن مدل به المان‌های صفحه‌ی در سطوح مختلف جهت سهولت در ورود اطلاعات و روند ارزیابی توجه می‌شود بنابراین المان‌هایی که بررسی آن‌ها با توجه به جانمایی از حوزه‌ی بررسی مطالعه‌ی موردی خارج بوده است، به طور خودکار از حالت نمایش خارج شدند تا مدل نهایی که جهت پیاده‌سازی سیستم از آن استفاده شده است، حاصل شود.

یکی از مواردی که اهمیت بسیار زیادی در فرایند تصمیم‌گیری دارد، اطلاع از وضعیت فعلی عملکرد المان‌های مدل است، همان‌گونه که ذکر شد، اطلاعات مذکور در پایگاه داده Access ذخیره می‌شوند، ولی وقتی که حجم اطلاعات ذخیره‌شده زیاد باشد، درک این وضعیت و فرایند بازبینی تک به تک وضعیت‌ها و همچنین حصول اطمینان از دقتی بودن اطلاعات فرایند بازرسی، امری دشوار و زمان‌بر می‌شود؛

```

doc.Models.OverrideParameterColor(YourSearchResult, color1)
Dim HitPoint As New Point3D(HitX, HitY, HitZ)
Dim HitPoint As New Point3D(HitX, HitY, HitZ)
Dim VBox As New BoundingBox(HitPoint, HitPoint)

YourSearchResult.Clear()

YourSearchResult.AddRange(ActiveDocument.Models.RootItemDescendantsAndSelf.Where(Function(x) VBox.Contains(x.BoundingBox)))
For Each Item In YourSearchResult
    Dim ydatarow As DataRow

    ydatarow = Data.Tables.NewRow
    ClassProperty = Item.PropertyCategories.FindPropertyByDisplayname("Element", "Elevation at Top")
    HitX = Item.BoundingBox.Min.X
    HitY = Item.BoundingBox.Min.Y
    HitZ = Item.BoundingBox.Min.Z
    MaxX = Item.BoundingBox.Max.X
    MaxY = Item.BoundingBox.Max.Y
    MaxZ = Item.BoundingBox.Max.Z

    If Not VBox.IsEmpty Then
        Dim InEndPoint As New Point3D(HitX - 1, HitY + 1, HitZ - 1)
        Dim InEndPoint As New Point3D(HitX + 1, HitY + 3, HitZ - 1)
        Dim VBox As New BoundingBox(InEndPoint, InEndPoint)

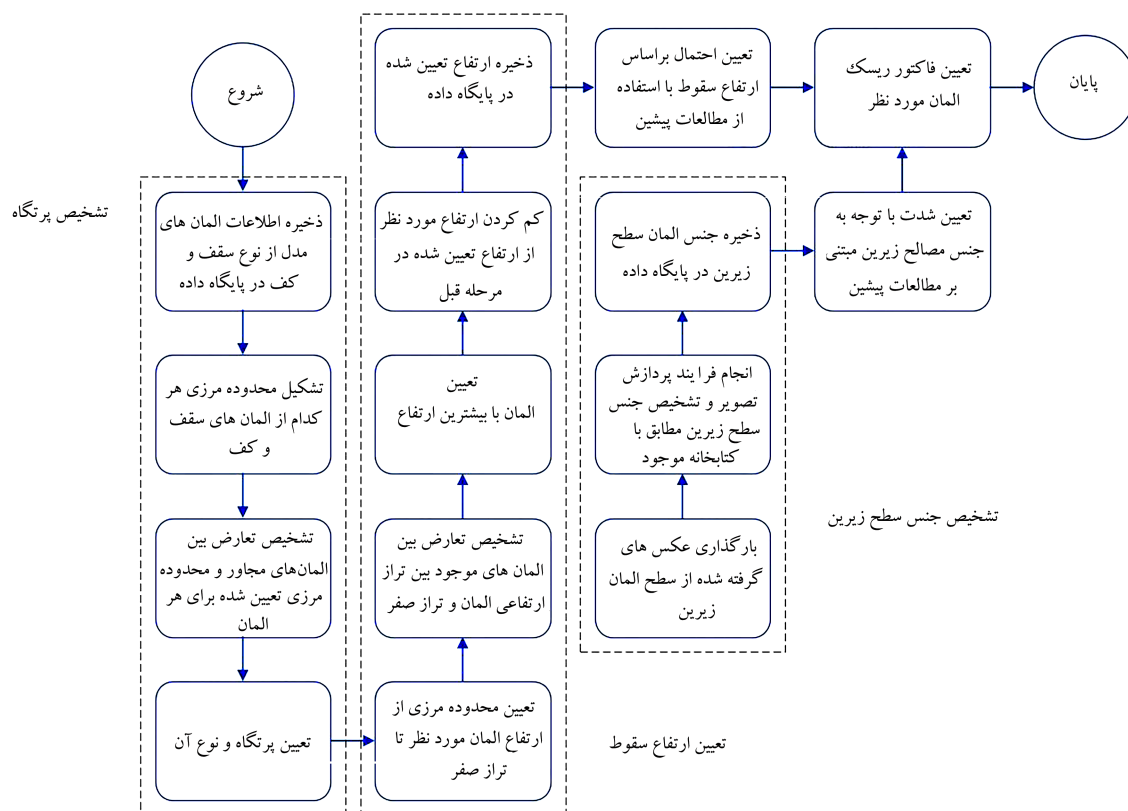
        YourSearchResults.Clear()
        YourSearchResults.AddRange(ActiveDocument.Models.RootItemDescendantsAndSelf.Where(Function(x) VBox.Contains(x.BoundingBox)))
        If Not YourSearchResults.Count > 0 Then
            Dim InEndPoint1 As New Point3D(HitX - 1, HitY + 1, HitZ)
            Dim InEndPoint1 As New Point3D(HitX + 1, HitY + 3, HitZ)
            Dim VBox1 As New BoundingBox(InEndPoint1, InEndPoint1)
            YourSearchResults.AddRange(ActiveDocument.Models.RootItemDescendantsAndSelf.Where(Function(x) VBox1.Contains(x.BoundingBox)))
            For Each Item1 In YourSearchResults
                z1 = HitZ - Item1.BoundingBox.Max.Z
            Next
        End If
    End If

```

شکل ۳. بخشی از کد نوشته شده در محیط VB.net برای ایجاد افزونه در Autodesk Navisworks.

تکمیل شدن وارد نرم‌افزار Autodesk Navisworks (۱۶/۲۰) می‌شود. نرم‌افزار اخیر فقط قابلیت نمایش، پیمایش، ذخیره‌سازی و مصورسازی اطلاعات را دارد و قادر به مدل‌سازی نیست. مراحل کار بدین صورت است که با استفاده از رابط برنامه‌نویسی (API) افزونه‌ی DataInput به Autodesk Navisworks اضافه می‌شود، سپس با انتخاب افزونه‌ی ذکر شده، در وهله‌ی اول به تمامی اعضاء مدل به صورت اتوماتیک شناسه‌ی (ID) منحصر به فردی در قسمت مشخصات^۶ هر عضو اختصاص می‌یابد که این اقدام به این دلیل در سیستم پیش‌بینی شده است که در بعضی از مدل‌ها، شناسه‌ی منحصر به فردی برای تمامی المان‌ها تعریف نشده است. در مرحله‌ی بعد، برای ارتباط با پایگاه داده‌ی Access به منظور ذخیره‌سازی اطلاعات، باید نشانی قرارگرفتن فایل پایگاه داده وارد شود. پس از اتصال افزونه به پایگاه داده، در گام بعدی در محیط نرم‌افزار Autodesk Navisworks اعضا به ترتیب انتخاب می‌شوند و همچنین امکان بزرگ‌نمایی بر روی اعضا فراهم شده است تا کاربر بتواند با توجه به موقعیت مکانی، چگونگی روند تعیین جنس مصالح سطح زیرین را داشته باشد. در مرحله‌ی کنونی، کاربر می‌تواند از اطلاعات مدل برای تعیین جنس سطح زیرین استفاده کند و یا اینکه با استفاده از پردازش تصویر و عکس‌های بارگذاری شده، جنس مصالح کف زیرین برای محاسبه‌ی اثر ریسک سقوط استفاده کند. قسمتی از کد نوشته شده برای ارتباط با API و پایگاه داده‌ها در شکل ۳ و ۴ مشاهده می‌شود.

یکی از نقاط عطف سیستم ارائه شده، تعیین خودکار جنس مصالح زیرین با استفاده از پردازش تصویر^۷ است. در این راستا و با به کارگیری الگوریتم، شبکه‌ی عصبی مصنوعی^۸ با لایه‌های ترتیبی استفاده شده است. مدل توسعه داده شده در پژوهش حاضر از نوع Image Classification است تا بتواند عکس ارائه شده از سطح زیرین را در یکی از دسته‌های شن یا بتن قرار دهد. برای پیاده‌سازی شبکه‌ی عصبی مذکور از کتابخانه‌ی Keras در زبان برنامه‌نویسی Python استفاده شده است. تعداد ۷ لایه متشکل از ۴ نوع ۲D Conv، ۲D MaxPulling، Flatten و Dense در الگوریتم مذکور استفاده شده است. لایه‌ی نوع اول با استفاده از توابع انتقال و دوران ریاضیاتی، تصاویر را دچار دگرگونی می‌سازد و تانسور پیکسل‌های تصویر ورودی را به صورت خروجی به لایه‌ی بعد ارسال می‌کند. لایه‌ی ۲D MaxPulling



شکل ۵. الگوریتم سیستم ارائه شده در پژوهش حاضر.

۶. ستون Impact: در این ستون میزان اثر براساس ستون های قبلی محاسبه می شود. در پژوهش حاضر، ضریب افزایش دهنده برای بتن نسبت به شن در نظر گرفته شده است. این ضریب در ارتفاع ضرب و مقدار Impact حاصل می شود.^[۳۰]

۷. ستون Risk Factor: در این ستون عامل ریسک برای هر المان محاسبه می شود که حاصل ضرب ستون Impact در Probability است.

۸. ستون رنگ: تقسیم بندی رنگی به منظور اعمال در مدل سه بعدی در این سلول ها وارد می شود. چهار رنگ قرمز، نارنجی، زرد و سبز نشانگرهای میزان ریسک المان ها هستند. برای ریسک های بالاتر از ۲/۵، رنگ قرمز فرض شده است. به همین منوال برای ریسک های بین ۲/۵ و ۱/۵، بین ۱/۵ و ۰/۷۵ و کمتر از ۰/۷۵ به ترتیب رنگ های نارنجی، زرد، و سبز اتخاذ می شود.

نتایج پژوهش حاضر حاکی از بالاتر بودن سطح نسبی خطر در لبه های بیرونی سطوح پروژه به نسبت بازشوهای داخلی است. این سطح خطر بالاتر هم در نقاطی با جنس سطح زیرین نرم (شن) و هم در نقاطی که جنس سطح زیرین آن ها سخت (بتن) بوده اند، مشهود است که می تواند حاکی از تأثیر بالاتر ارتفاع سقوط نسبت به جنس سطح زیرین در ریسک ناشی از سقوط از ارتفاع باشد. این مسئله را می توان با در نظر گرفتن این موضوع که معمولاً در بازشوهای درون سطحی، جنس سطح زیرین از نوع سخت و بتنی بوده و با این حال ریسک سقوط از ارتفاع این نقاط کمتر است، توجیه کرد.

به منظور اعتبارسنجی مدل ارائه شده، مصاحبه ای با مدیران و تصمیم گیران پروژه که در حوزه ایمنی تخصص داشتند، انجام شد و در آن یک بار نقشه های دوبعدی که پروژه توسط آن ها بررسی شد و از آن ها خواسته شد تا نقاط حادثه خیز را تعیین

بنابراین یکی از امکاناتی که قبل از تحلیل نتایج، سیستم پیشنهادی در اختیار کاربر قرار می دهد، مصورسازی حاصل از سیستم ارزیابی ایمنی است. مطابق با روشی که در فصل روش پژوهش بدان اشاره شد، برای مدل مورد نظر، عوامل تأثیرگذار در تعیین ریسک هر المان در جدولی در پایگاه داده ذخیره می شود. نمونه ای از این اطلاعات در جدول ۳ ارائه شده است، که توضیح ستون های آن به این شرح است:

۱. ستون ID: عددی است که جهت منحصر به فرد کردن هر روش تعمیر در پایگاه داده در نظر گرفته می شود.
۲. ستون Item: نوع المان را در پایگاه داده مشخص می کند. المان ها به صورت خودکار و براساس الگوریتم تعیین شده به دو قسمت ایمن، بدین معنی که هیچ حفره و فضای خالی در ۴ طرف خود ندارد و مستعد خطر که شامل المان هایی که در اطراف آن ها امکان سقوط وجود دارد، تقسیم می شوند. المان های ایمن با رنگ سفید نشان داده می شوند و محاسبات برای آن ها انجام نمی شود.
۳. ستون Height: با پیمایش فضای زیرین، فاصله ی اولین المان موجود زیر المان مورد بررسی تعیین و به عنوان ارتفاع سقوط تعیین می شود.
۴. ستون Lower material: برای تعیین جنس سطح زیرین است که در محاسبه ی Impact تأثیرگذار خواهد بود.
۵. ستون Probability: ستون حاضر از مطالعات پیشین پر می شود و نتایج مطالعات پیشین، الگوریتم تعیین احتمال براساس ارتفاع را مشخص می کند. این پارامتر براساس ارتفاع سطح و محل قرارگیری نقطه ی مورد بررسی و همچنین شرایط مکانی نقاط اطراف محاسبه می شود.^[۳۰]

جدول ۳. نتایج حاصل از پیاده‌سازی مدل.

ID	آیتم	ارتفاع (m)	ماده زیرین	احتمال (%)	تاثیر	فاکتور ریسک	رنگ
۱۰۰۱	ایمن	-	-	-	-	-	-
۱۰۰۲	خطرناک	۲۴٫۵	بتن	۹٫۸۲	۶۱٫۵۲	۶٫۰۲	قرمز
۱۰۰۳	ایمن	-	-	-	-	-	-
۱۰۰۴	خطرناک	۲۱	بتن	۲٫۱۶	۵۲٫۵	۱٫۱۳	زرد
۱۰۰۵	خطرناک	۱۰٫۵	بتن	۱٫۵۶	۲۶٫۲۵	۰٫۴۱	سبز
۱۰۰۶	ایمن	-	-	-	-	-	-
۱۰۰۷	خطرناک	۷	شن	۳٫۷۴	۷	۰٫۲۶	سبز
۱۰۰۸	ایمن	-	-	-	-	-	-
۱۰۰۹	خطرناک	۱۰٫۵	بتن	۳٫۷۴	۲۶٫۲۵	۰٫۹۸	زرد
۱۰۱۰	خطرناک	۲۱	بتن	۰٫۲۰	۵۲٫۵	۰٫۱۰	سبز
۱۰۱۱	خطرناک	۳٫۵	بتن	۰٫۱۲	۸٫۷۵	۰٫۰۱	سبز
۱۰۱۲	خطرناک	۲۴٫۵	شن	۹٫۸۲	۲۴٫۵	۲٫۴۱	نارنجی
۱۰۱۳	ایمن	-	-	-	-	-	-
۱۰۱۴	خطرناک	۳٫۵	بتن	۰٫۲۰	۸٫۷۵	۰٫۰۲	سبز
۱۰۱۵	ایمن	-	-	-	-	-	-
۱۰۱۸	ایمن	-	-	-	-	-	-
۱۰۱۹	خطرناک	۱۰٫۵	بتن	۱٫۵۶	۲۶٫۲۵	۰٫۴۱	سبز
۱۰۲۰	خطرناک	۲۱	شن	۰٫۰۱	۲۱	۰٫۰۰	سبز
۱۰۲۱	ایمن	-	-	-	-	-	-
۱۰۲۲	خطرناک	۲۸	شن	۰٫۰۲	۲۸	۰٫۰۱	سبز
۱۰۲۳	ایمن	-	-	-	-	-	-
۱۰۲۴	ایمن	-	-	-	-	-	-
۱۰۲۵	خطرناک	۱۰٫۵	بتن	۹٫۸۲	۲۶٫۲۵	۲٫۵۸	قرمز
۱۰۲۶	خطرناک	۱۰٫۵	بتن	۹٫۳۸	۲۶٫۲۵	۲٫۴۶	نارنجی
۱۰۲۷	خطرناک	۱۷٫۵	بتن	۶٫۸۰	۴۳٫۷۵	۲٫۹۸	قرمز
۱۰۲۸	خطرناک	۷	شن	۳٫۷۴	۷	۰٫۲۶	سبز
۱۰۲۹	خطرناک	۲۱	شن	۹٫۳۸	۲۱	۱٫۹۷	نارنجی
۱۰۳۰	خطرناک	-	-	-	-	-	-

کنند. در ادامه، مدل توسعه داده شده به نمایش گذاشته شد و نتایج حاصل به مدیران مذکور ارائه شد. در مرحله‌ی بعد از آن‌ها خواسته شد تا مقایسه‌ی بین کارایی مدل ارائه شده و روش‌های سنتی ارزیابی نقاط حادثه‌خیز داشته باشند. تمامی افرادی که مصاحبه شدند، در مورد کاراتر بودن مدل ارائه شده در پژوهش حاضر نسبت به روش‌های سنتی اتفاق نظر داشتند.

۴. نتیجه‌گیری

در پژوهش حاضر، به ارائه‌ی یک مدل شناسایی و ارزیابی ریسک‌های ایمنی جهت بررسی ریسک‌های ناشی از سقوط ارتفاع و جنس سطح زیرین در پروژه‌های صنعت ساخت با پروژه‌های ساختمانی پرداخته شده است. پژوهش حاضر بر روی یک پروژه‌ی واقعی (ساختمان وزارت جهاد کشاورزی) بررسی شد و نتایج مطلوبی در اختیار قرار داد. روند ارزیابی ریسک‌ها با توجه به هندسه‌ی سطوح پروژه که براساس طراحی انجام شده در نظر گرفته می‌شود، قابل تغییر است و یک مدل جامع

شناسایی و ارزیابی ریسک توسعه داده شده است. نتایج ارزیابی ریسک المان‌ها، که خروجی سیستم است، با اتصال به مدل BIM، امکان مصورسازی این اطلاعات را برای دست‌اندرکاران صنعت ساخت و نگهداری فراهم آورده است؛ همچنین موجب مکانیزه شدن فرایندهای ذخیره و انتقال اطلاعات می‌شود که این امکانات باعث بهبود فرآیند ساخت در پروژه‌ها می‌شود و توانایی دست‌اندرکاران نگهداری را در تصمیم‌گیری مؤثرتر افزایش می‌دهد. از جمله محدودیت‌های پژوهش حاضر می‌توان به این مسئله اشاره کرد که جنس کف زیرین فقط از نوع بتن و شن در نظر گرفته شده است و در پژوهش‌های پیش رو می‌توان انواع مختلف مصالح موجود در کارگاه‌های عمرانی را به مجموعه‌ی مذکور اضافه کرد. چگونگی پوشش سطح نیز عامل مهم دیگری است، به طوری که اگر لایه‌ی نازکی از شن، سطح بتن رویی را بپوشاند، باید از روش‌های تشخیص بر مبنای عمق‌سنجی استفاده کرد. علاوه بر این، راهبردهای بهبود ایمنی، از جمله استفاده از نرده‌ها برای جلوگیری از سقوط در این مدل در نظر گرفته نشده است، که می‌تواند به آن به‌عنوان اساس پژوهشی جدید توجه کرد. در این راستا، راهبردهای مختلف افزایش ایمنی کارگاهی به مدل وارد و مقایسه‌ی بین میزان تأثیرگذاری هر کدام انجام شده است.

پانوشتها

1. building information modeling (BIM)
2. critical fall height
3. graphical user interface (GUI)
4. application programming interface (API)
5. plug in
6. properties
7. image processing
8. artificial neural network

منابع (References)

1. Cox, R.F., Issa, R.R.A. and Ahrens, D. "Management's perception of key performance indicators for construction", *Journal of Construction Engineering and Management*, **129**(2), pp. 142-151 (2003).
2. Perlman, A., Sacks, R. and Barak, R. "Hazard recognition and risk perception in construction", *Safety Science*, **64**, pp. 22-31 (2014).
3. Zhou, W., Whyte, J. and Sacks, R. "Construction safety and digital design: A review", *Automation in Construction*, **22**, pp. 102-111 (2012).
4. Swuste, P., Frijters, A. and Guldenmund, F. "Is it possible to influence safety in the building sector?: A literature review extending from 1980 until the present", *Safety Science*, **50**(5), pp. 1333-1343 (2012).
5. Zhou, Zh., Goh, Y.M. and Li, Q. "Overview and analysis of safety management studies in the construction industry", *Safety Science*, **72**, pp. 337-350 (2015).
6. Ding, L., Zhou, Y. and Akinici, B. "Building Information Modeling (BIM) application framework: The process of expanding from 3D to computable nD", *Automation in construction*, **46**, pp. 82-93 (2014).
7. John K, E. "Advantages of using 3-D CAD plant models on the construction site", *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*, **9**(6), pp. 435-444 (1994).
8. McKinney, K., Kim, J., Fischer, M. and et al. "Interactive 4d-cad", *In Proceedings of the 3ed Congress on Computing in Civil Engineering*, pp. 17-19, ASCE, Anaheim, CA (June, 1996).
9. Huang, X. and Hinze, J. "Analysis of construction worker fall accidents", *Journal of Construction Engineering and Management*, **129**(3), pp. 262-271 (2003).
10. Malekitabar, H., Ardeshir, A., Sebt, M.H. and et al. "Construction safety risk drivers: A BIM approach", *Safety Science*, **82**, pp. 445-455 (2016).
11. Hatipkarasulu, Y. "Project level analysis of special trade contractor fatalities using accident investigation reports", *Journal of Safety Research*, **41**(5), pp. 451-457 (2010).
12. Francisco J, F., Sese, A. and Carretero-Gomez, J.M. "CONSRAT. construction sites risk assessment tool", *Safety Science*, **89**, pp. 338-354 (2016).
13. Liu, K. and Liu, W. "The development of EU law in the field of occupational health and safety: A new way of thinking", *Management and Labour Studies*, **40**(3-4), pp. 207-238 (2015).
14. Sijie, Z., Teizer, J., Lee, J.-K. and et al. "Building information modeling (BIM) and safety: Automatic safety checking of construction models and schedules", *Automation in Construction*, **29**, pp. 183-195 (2013).
15. Bruno, F. and Pasman, H. "Trends, problems and outlook in process industry risk assessment and aspects of personal and process safety management", *In Advances in Risk Management*, InTech (2010).
16. Freeman, M.D., Eriksson, A. and Leith, W. "Head and neck injury patterns in fatal falls: Epidemiologic and biomechanical considerations", *Journal of Forensic and Legal Medicine*, **21**, pp. 64-70 (2014).
17. Kartman, N.A. and Bouz, R.G. "Fatalities and injuries in the Kuwaiti construction industry", *Accident Analysis & Prevention*, **30**(6), pp. 805-814 (1998).
18. Kartman, N.A., Flood, I. and Koushki, P. "Construction safety in Kuwait: Issues, procedures, problems, and recommendations", *Safety Science*, **36**(3), pp. 163-184 (2000).
19. Kartman, N.A. "Integrating safety and health performance into construction CPM", *Journal of Construction Engineering and Management*, **123**(2), pp. 121-126 (1997).
20. Kartman, N.A. "Integrating safety and health performance into construction CPM", *Journal of Construction Engineering and Management*, **123**(2), pp. 121-126 (1997).
21. Suermann, P.C. and Issa, R.R.A. "Evaluating industry perceptions of building information modelling (BIM) impact on construction", *Journal of Information Technology in Construction (ITcon)*, **14**(37), pp. 574-594 (2009).
22. Azhar, S., Nadeem, A., Mok, J.Y.N. and Leung, B.H.Y. "Building Information Modeling (BIM): A new paradigm for visual interactive modeling and simulation for construction projects", *In Process., 1st International Conference on Construction in Developing Countries*, 1, pp. 435-446 (2008).
23. Vishal, S, Gu, N. and Wang, X. "A theoretical framework of a BIM-based multi-disciplinary collaboration platform", *Automation in Construction*, **20**(2), pp. 134-144 (2011).
24. John C, R. *The Image Processing Handbook*, CRC Press (2016).
25. Osama, A., Al Bataineh, M. and Abdel-Qader, I. "An imaging data model for concrete bridge inspection", *Advances in Engineering Software*, **35**(8-9), pp. 473-480 (2004).
26. Clive S, F. and Riedel, B. "Monitoring the thermal deformation of steel beams via vision metrology", *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, **55**(4), pp. 268-276 (2000).
27. Lange, J., Benning, W. and Siering, K. "Crack detection at concrete construction units from photogrammetric data using image processing procedures", *In ISPRS Commission VII Mid-Term Symposium Remote Sensing: From Pixels to Processes*, Enschede, Netherlands, pp. 493-496 (May 8, 2006).

28. Hyojoo, S., Choi, H., Seong, H. and et al. "Detection of construction workers under varying poses and changing back ground in image sequences via very deep residual networks", *Automation in Construction*, **99**, pp. 27-38 (2019).
29. Zhang, Z., Hamledari, H., Billington, S. and et al. "4D beyond construction: Spatio-temporal and life-cyclic modeling and visualization of infrastructure data", *Journal of Information Technology in Construction (ITcon)*, **23**, pp. 285-304 (2018).
30. Kyunghwan, K. "Statistical approach To design For fall prevention in construction", Wayne State University Theses (2015).