مقاله پژوهشی

فصلنامه پژوهش های نوین در مهندسی محیط زیست
دوره اول، شماره ۴، زمستان ۱۴۰۲ ، صفحات ۷۷-۶۷
شاپا الکترونیکی: ۰۹۳۰-۲۹۸۱

ارزیابی ریسک حریق مناطق مسکونی با استفاده از روش مهندسی FRAME
(مطالعه موردی: پروژه مجتمع سکونتگاهی ۲۵۷ واحدی سرو اراک)

الهام حسنی دانشجوی کارشناسی ارشد رشته مهندسی ایمنی، بهداشت و محیطزیست (HSE)، واحد الکترونیک، دانشگاه آزاد اسلامی، ایران.

سید علی جوزی* استاد گروه محیطزیست، واحد تهران شمال، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

سحر رضایان دانشیار گروه محیطزیست، واحد شاهرود، دانشگاه آزاد اسلامی، شاهرود، ایران.

چکیده مبسوط

مقدمه: با افزایش ساختمان های بلندمرتبه مسائل ایمنی بیشتر مورد توجه قرار می گیرند و حریق یکی از عوامل خطرآفرین در ساختمان‌های بلندمرتبه به شمار می آید. وقوع حریق در ساختمان های بلند مرتبه و مجتمع‌های سکونتگاهی به دلیل بار زیاد مواد سوختی، جمعیت زیاد و آموزش ندیده، ارزش بالای ساختمان و تجهیزات درون آن و پیچیده بودن تخلیه اضطراری و عملیات اطفای حریق بسیار اهمیت دارد. هدف از انجام این پژوهش ارزیابی ریسک حریق در مجتمع سکونتگاهی ۲۵۷ واحدی سرو اراک به روش مهندسی ارزیابی ریسک حریق (FRAME) می باشد.

مواد و روش‌ها: روش FRAME جامع‌ترین و شفاف‌ترین و علمی‌ترین روش ارزیابی ریسک حریق می‌باشد که به طور همزمان سطح ریسک حریق را برای سه پارامتر ساختمان و محتویات، افراد و فعالیت‌ها محاسبه می‌کند. ابتدا جهت کسب نتیجه با حداکثر دقت، کلیه فرمول‌های محاسباتی در روش FRAME در نرم‌افزار Excel نوشته شد. سپس ریسک حریق برای ۸ قسمت از مجتمع سکونتگاهی سرو اراک با استفاده از چک‌لیست‌های ارزیابی و فرمول‌های مربوطه محاسبه گردید. به دلیل پیچیدگی در فرمول‌ها کلیه محاسبات با استفاده از نرم‌افزار محاسباتی Excel صورت گرفت.

نتایج و بحث: به طور میانگین ریسک حریق به ترتیب برای ساختمان و محتویات ۰/۰۴ تا ۲/۲ ، برای افراد ۰/۰۴ تا ۰/۲ و برای فعالیت‌ها ۰/۱تا ۲/۷ بود. حد قابل‌قبول ریسک حریق در روش FRAME، ۱/۶ درنظر گرفته شده است. با درنظرگرفتن عدد قابل قبول، ریسک حریق برای افراد در همهٔ سطوح قابل‌قبول و ریسک حریق در ساختمان و محتویات و فعالیت‌های طبقات چهارم و هفتم در هر دو بلوک غیر قابل قبول و نیازمند اقدامات اصلاحی و پیشگیرانه است. ارتفاع ساختمان، محدودیت در دسترسی، عدم خروج به موقع برای ساکنین و احتمال جمع شدن محصولات حریق به عنوان عوامل موثر در افزایش ریسک شناخته شدند.

نتیجه‌گیری: در مجتمع سکونتگاهی سرو با در نظرگرفتن نتایج واحدهای انتخاب شده (۴ واحد از ۲ بلوک) حدود ۳۷٪ از واحدها دارای ریسک حریق قابل‌قبول (P<۱/۶) بودند. ریسک حریق غیرقابل‌قبول (P>۱/۶) در مجتمع، شامل ۶۳٪ از واحدها و در طبقات چهارم و هفتم از هر دو بلوک شناسایی شده‌اند. با بررسی‌های دقیق‌تر عوامل مؤثر در کاهش سطح حفاظت، از جمله فقدان منبع آب کافی، سیستم اطفا حریق دستی و عوامل مؤثر در بالابودن ریسک بالقوه در ساختمان شامل کمبود راه‌های خروجی، ارتفاع و سطح دسترسی مشخص شد.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۱/۰۹

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۲/۲۷

واژه‌های کلیدی: ارزیابی ریسک حریق، ریسک حریق، روش FRAME، مجتمع سرو اراک

نویسنده مسئول: سید علی جوزی

نشانی: واحد تهران شمال، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران. **تلفن:** ۰۹۱۲۶۱۹۴۶۷۶ **پست الکترونیکی:** sajozi@yahoo.com

استناد: حسنی الهام، جوری سیدعلی، رضایان سحر. ارزیابی ریسک حریق مناطق مسکونی با استفاده از روش مهندسی FRAME (مطالعه موردی: پروژه مجتمع سکونتگاهی ۲۵۷ واحدی سرو اراک). پژوهش‌های نوین در مهندسی محیط زیست. ۱۴۰۲؛ ۱(۴): ۷۷-۶۷

حقوق نویسندگان محفوظ است. این مقاله با دسترسی آزاد و تحت مجوز مالکیت خلاقانه http://creativecommons.org/licenses/by/4.0 در فصلنامه پژوهش‌های نوین در مهندسی محیط زیست منتشر شده است. هرگونه استفاده غیرتجاری فقط با استناد و ارجاع به اثر اصلی مجاز است.

مقدمه

گسترش ساختمان‌ها به‌صورت عمودی با درنظرگرفتن افزایش جمعیت در سطح جهان رو به افزایش بوده و همواره ساختمان های بلندمرتبه در بافت شهرسازی به‌شدت مورد توجه جوامع قرار دارد. از این‌رو تأمین وضعیت ایمنی ساختمان حائز اهمیت است. یکی از مخاطرات روبرو با ساختمان‌های بلندمرتبه، مبحث حریق است که سالانه خسارت های جانی و مالی و زیست‌محیطی فراوانی به همراه دارد (هانسن و همکاران ۲۰۱۸). اگر چه وجود آتش موجب تحولات عظیم در زندگی بشر شد، ولی استفاده ناایمن و خارج از کنترل از آن سبب بروز حوادث ناگوار برای افراد جامعه و محیطزیست می‌شود و همین مسئله اهمیت بکارگیری اصول ایمنی حریق را در ساختمان‌ها پررنگ‌تر می‌کند. باوجود اینکه از دیدگاه ایمنی، حریق در ساختمان‌های متفاوت بسته به ابعاد ساختمان است و در دسته بندی ساختمان‌های کم‌خطر و پرخطر قرار می‌گیرند، ولی استفادهٔ روزافزون از مواد قابل‌اشتعال در مواد و مصالح ساختمان و همچنین لوازم خانه در محیط، این امر را از نظر ریسک حریق پراهمیت‌تر می‌کند و لزوم ایمنی از حریق را بیش‌از پیش مطرح می‌سازد (کامیارراد و همکاران ۱۴۰۱). تاکنون در ایران آمار دقیقی از حوادث ساختمان، مبنی بر حریق منتشر نشده است. با نگاهی اجمالی نرخ بالای حوادث در ساختمان‌های بلند مرتبه و مجتمع‌های سکونتگاهی و تجاری مبنی بر حریق در سال‌های اخیر قابل‌توجه است. آتش‌سوزی پلاسکو با ۲۲ کشته و ده‌ها مصدوم، جز مهم‌ترین حوادث آتش‌سوزی در ساختمان‌های تجاری در سال‌های اخیر است (دانزی و همکاران ۲۰۲۱). بر اساس تحقیق ژانگ و همکاران (۲۰۲۲) که به ارزیابی و کنترل خطر آتش‌سوزی مبتنی بر شبیه‌سازی (CFD[1]) در پل‌های بادوباران تاریخی دونگ در منطقه هونان غربی پرداختند. این مطالعه خطر آتش‌سوزی پل‌های بادوباران را از نظر مصالح ساختمانی، اشکال سازه‌ای، عادات آتش‌سوزی و بار آتش بررسی کرد. نتایج بررسی نشان داد پس از آتش‌سوزی، غرفه مرکزی در ۲۰۰ ثانیه دچار فلاش شد. در ۶۰۰ ثانیه، حداکثر دمای پل ۱۲۰۰ درجه سانتیگراد بود و کل پل در شرایط فلاش اور قرار داشت. استفاده از تجهیزات اطفای حریق خودکار و پوشش‌های نسوز پیشنهاد شد.

در مطالعه‌ای دیگر وانگ و همکاران (۲۰۲۱) به ارزیابی خطر آتش‌سوزی در بهره‌برداری و نگهداری ساختمان ها بر اساس فناوری مدلسازی اطلاعات ساختمان (BIM[2])پرداختند. نتایج نشان دادکه فناوری BIM می‌تواند به طور مؤثر برای ایمنی آتش‌سوزی به کار رود. آنان ایده‌هایی برای توسعه و کاربرد فناوری BIM ارائه دادند. کیم و همکاران (۲۰۲۰) به ارزیابی خطر آتش‌سوزی پل‌های کابلی برای نصب تأسیسات آتش‌نشانی پرداختند. در این تحقیق یک روش ارزیابی خطر آتش‌سوزی برای نصب هیدرانت‌های آتش‌نشانی و سیستم‌های پایه بر روی پل‌های کابلی پیشنهاد شد. کاوه (۱۳۹۸) در مطالعه‌ای به ارزیابی ریسک حریق در یکی از هتل‌های شهر اصفهان پرداخت. مطالعه توصیفی – پیمایشی در ارتباط با هتل کوثر اصفهان با داشتن ۲۲۵ اتاق ۱۳۵ پارکینگ ۴ رستوران در ۸ طبقه با استفاده از روش آنالیزحالات و اثرات خرابی (SAW-FMEA[3]) صورت گرفت. نتایج نشان داد که در بین عوامل مؤثر حریق در هتل مذکور، مهم‌ترین عامل برق و گاز موجود بود. بر اساس مطالعات افروخته (۱۴۰۰) با موضوع ارزیابی ریسک حریق با استفاده از روش FRAMEو ارائه راهکارهای کنترلی مؤثر در کارخانه مهراد طوس مشهد، وضعیت کارخانه با استفاده از روش FRAME بررسی شد. اطلاعات لازم از طریق مصاحبه با افراد خبره در سه حالت افراد، ساختمان و فعالیت‌های هر واحد بررسی شد. نتایج ارزیابی ریسک نشان داد که در اکثر واحدها بیشترین ریسک مربوط به ساکنین است. در ادامه با توجه به وضعیت ریسک واحدها راهکارهایی برای کنترل سطح ریسک آنها و افزایش ایمنی ارائه شد که موثر واقع شده و قادر به کاهش ریسک مورد نظر می‌باشند. هدف از انجام این پژوهش ارزیابی ریسک حریق در مجتمع سکونتگاهی ۲۵۷ واحدی سرو اراک به روش FRAME می باشد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

حریق از جمله خطرات مهم در ساختمان‌ها به شمار می‌رود و پیشگیری در این امر مهم و ضروری تلقی می‌شود و هدف این تحقیق پاسخ به یک مسئله زیست‌محیطی و ایمنی از نگاه مدیریتی است، لذا این تحقیق کاربردی است (تقی‌اکبری و همکاران ۱۳۹۹). مجتمع سکونتگاهی سرو اراک در مرکز استان مرکزی، در شهرک الهیه و دارای ۲۵۷ واحد می باشد (شکل۱). مجتمع مذکور در ۷ طبقه روی سطح زمین و ۲ طبقه زیر سطح

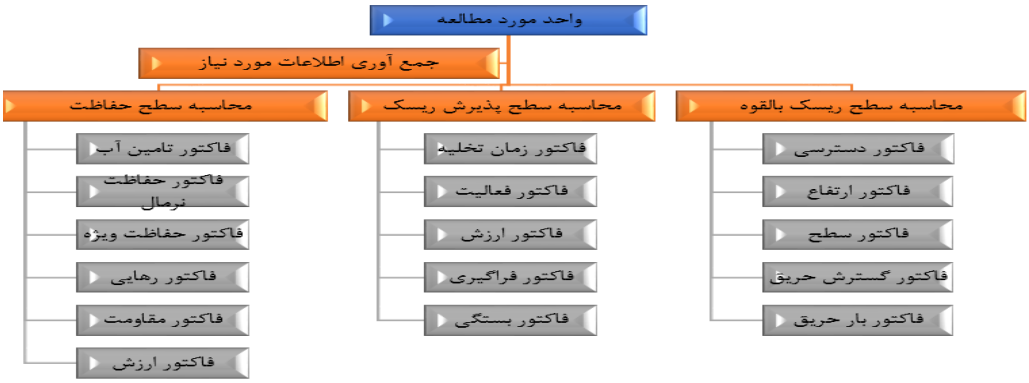
[1] Computational Fluid Dynamics
[2] Building Information Modeling
[3] Failure Mode and Effects Analysis

زمین با زیربنای خالص ۲۵۸۱۰ مترمربع است، که کل واحدهای طراحی شده از ۹۱ مترمربع تا ۱۲۰ مترمربع با ۲۳ واحد یک‌خوابه، ۲۲۷ واحد دوخوابه و ۷ واحد سه‌خوابه تقسیم‌بندی گردیده است. این مجتمع دارای ۱۳۸ انباری و فضایی با ۲۵۷ پارکینگ، بتنی و با اسکلت فلزی ساخته شده است. اتاق‌ها دارای یک پنجره و پذیرایی و آشپزخانه نیز در طراحی ساختمان دارای دو پنجره هستند. در راه‌پله‌ها یک پنجره با شیشهٔ دوجداره در نظر گرفته شده است. شکل کلی هر واحد به‌صورت مربعی طراحی شده است. دیوارپوش‌ها از جنس بلوک‌های بتنی و آجری و سیستم گرمایشی هر واحد پکیج و رادیاتور می باشد. سیستم سرمایشی موجود در ساختمان کولر آبی به‌صورت مستقل در هر واحد می باشد. ساختمان دارای یک آسانسور در هر بلوک است. به‌منظور شناسایی و محاسبات بهتر و دقیق‌تر، منطقه مورد مطالعه به واحدهای کوچک‌تر تقسیم‌بندی گردید. برای محاسبه در چهار موقعیت متفاوت، دو بلوک موردمطالعه قرار گرفت.

روش‌کار

قبل از اجرای طرح با همکاری و مشورت مهندسین طراح و مجری طرح مورد مطالعه، مصاحبه های لازم صورت و نظرات کارشناسی آنان دربارهٔ مصالح استفاده شده و امتیازدهی‌های مربوط با روش دلفی انجام شد. بعد از مشخص‌شدن موقعیت جغرافیایی پروژه سعی در شناسایی کامل ساختمان از جنبه‌های ساخت ساختمان، صورت گرفت. به‌منظور ارزیابی ریسک حریق از روش FRAME که کامل‌ترین و جامع‌ترین روش ارزیابی مهندسی است و به طور هم‌زمان ریسک حریق برای ساختمان و محتویات، افراد و فعالیت‌ها را مشخص می‌کند، استفاده شد (شکل ۲). برای استفاده از روش FRAME در ابتدا ساختمان از جنبهٔ سازه مورد بررسی قرار گرفت. سازهٔ مورداستفاده در این مجتمع سازهٔ بتنی است که یکی از متداول‌ترین انواع سازه‌های ساختمانی است. سپس نوع دیوارهای داخلی و خارجی مشخص و شناسایی گردید. دیوارهای مورد استفاده با عرض ۲۰ سانتی‌متر و از جنس بتن با مشاهدات و مستندات موجود در پروژه تعیین گردید.

شکل ۱- مجتمع سکونتگاهی سرو اراک واقع در شهرک الهیه



شکل ۲- مراحل ارزیابی ریسک حریق به روش FRAME

نوع پنجره‌ها، نمای داخلی که شامل لوازم مورد استفاده از جمله نوع کابینت، کاغذدیواری و سایر لوازم زینتی مورد استفاده در ساختمان و همچنین نمای خارجی به جهت مؤثربودن در ارزیابی ریسک حریق نیز مورد بررسی قرار گرفت. همچنین کلیه تأسیسات مکانیکی و الکترونیکی بررسی و ثبت گردید.

از مزایای استفاده از روش FRAME می‌توان به ارزیابی کمی ریسک، هزینه کم، صرفه‌جویی در زمان و تخمین میزان خطر اشاره کرد. مزیت اصلی این روش این است که ریسک حریق را در سه حالت مختلف یعنی برای ساختمان و محتویات آن، افراد و فعالیت‌های داخل ساختمان به طور جداگانه محاسبه می‌کند (سپهر و همکاران ۱۳۹۹، وانگ ۲۰۱۵). در این روش سطح ریسک حریق به‌صورت مجزا برای ساختمان و محتویات (R)، ساکنان و افراد(R_1) و نوع فعالیت‌های انجام شده (R_2) بر اساس ریسک بالقوه برای ساختمان و محتویات (P)، ریسک بالقوه برای ساکنین و افراد (P_1) و ریسک بالقوه برای فعالیت‌ها (P_2) محاسبه می‌شود (امیدواری و همکاران ۲۰۱۵، هانسن و همکاران ۲۰۱۸).

سطح پذیرش برای ساختمان و محتویات (A)، ساکنان و افراد (A_1) و نوع فعالیت‌های انجام شده در ساختمان (A_2) سطح حفاظت برای ساختمان و محتویات (D)، ساکنین و افراد (D_1) و فعالیت‌ها (D_2) اندازه‌گیری می‌شود و این محاسبات شدت ریسک حریق را مشخص می‌کنند (حبیبی و اصلانی ۱۳۹۷، افروخته ۱۴۰۰، هانسن و همکاران ۲۰۱۸). پس از آشنایی با ساختمان موردمطالعه با استفاده از روش FRAME و معادلات ۱-۱۲، ریسک حریق برای ساختمان و محتویات، افراد و فعالیت‌ها به طور جداگانه ارزیابی گردید. برای انجام محاسبات فرمول‌های فرعی و اصلی در Excel پیاده‌سازی و محاسبه لازم انجام شد، در نهایت یک عدد بدون واحد برای ایمنی به دست می آید. برای تصمیم‌گیری برای ریسک، اگر عدد R کوچک‌تر از ۱/۶ باشد، یعنی صورت کسر یا همان سطح پذیرش و سطح حفاظتی عدد بالاتر از سطح ریسک بالقوه بوده، در نتیجه ریسک قابل‌قبول است. به بیان ساده‌تر ساختمان موردمطالعه از نظر ایمنی در سطح قابل‌قبولی قرار دارد. هرچه این عدد به سمت صفر میل کند شرایط ایمنی مطلوب‌تر است (وانگ و همکاران ۲۰۱۵، هانسن و همکاران ۲۰۱۸).

در حالت دوم اگر عدد R بزرگ‌تر از ۱/۶ باشد، یعنی سطح ریسک بالقوه عددی بالاتر از سطح پذیرش و سطح حفاظتی است، در نتیجه ریسک قابل‌قبول نمی‌باشد و اقدامات ایمنی در سطح ضعیفی قرار دارند. منطقی است که هر چه عدد بالاتر از ۱ باشد میزان سطح ایمنی ساختمان موردمطالعه در شرایط بدتری بوده و نیاز به اقدامات ایمنی است (افروخته ۱۴۰۰). در مرحلهٔ بعد به‌منظور شناسایی زیر پارامترهای مؤثر در کسب نمرهٔ به‌دست‌آمده در فاکتور سطح ریسک، از فرمول‌های سطح ریسک بالقوه (P) استفاده شد و پارامترهایی که عدد بالای ۱ کسب کرده باشند به‌عنوان عامل مؤثر شناسایی می‌شوند (کوچرانه و همکاران ۲۰۱۲). برای شناسایی عامل مؤثر فاکتور سطح ریسک با استفاده از فرمول‌های مربوطه و با در نظر گرفتن این امر که هریک از مقادیر به‌دست‌آمده اگر کمتر از ۱/۶ باشد، سیستم در معرض خطر قرار می‌گیرد. پس باید مجموع پارامترهای a، t، c و d در فرمول مربوط به A کمتر از ۰/۶ باشد. از این‌رو اگر مقادیر به‌دست‌آمده برابر یا بزرگ‌تر از ۱ باشند به‌عنوان عامل مؤثر شناخته می‌شود (وانگ ۲۰۱۵، امیدواری و همکاران ۲۰۱۵، چو و سان ۲۰۰۸، ژانگ و همکاران ۲۰۱۳).

به‌منظور محاسبهٔ ریسک بالقوه برای مجتمع سکونتگاهی موردنظر، با درنظرگرفتن بار حریق، گسترش حریق، ارتفاع، تهویه، دسترسی برای هر ۸ موقعیت انتخاب شده با استفاده از فرمول اصلی ریسک بالقوه (معادلات ۱-۱۲)، محاسبات صورت گرفت. در نتایج حاصل شده اگر اعداد به‌دست‌آمده کمتر از ۱ باشند، یعنی سطح حفاظت پایین بوده و هر یک از عوامل مؤثر در این سطح اگر امتیاز کمتر از ۱ کسب کنند، به‌عنوان عامل مؤثر در کمبود سطح حفاظت شناخته می‌شوند (حبیبی و اصلانی ۱۳۹۷، رضایی و همکاران ۱۳۹۶).

$$R = \frac{P}{A \times D} \qquad (۱)$$

که:

R ریسک حریق برای ساختمان و محتویات، P ریسک بالقوه برای ساختمان و محتویات، A سطح پذیرش ریسک برای ساختمان و محتویات و D سطح حفاظتی برای ساختمان و محتویات می باشد.

$$R_1 = \frac{P_1}{A_1 \times D_1} \qquad (۲)$$

که:

R_1 ریسک حریق برای افراد و ساکنین، P_1 ریسک بالقوه برای افراد و ساکنین، A_1 سطح پذیرش ریسک برای افراد و ساکنین و D_1 سطح حفاظتی برای افراد و ساکنین است.

$$R_2 = \frac{P_2}{A_2 \times D_2} \qquad (۳)$$

که: R_2 ریسک حریق برای فعالیت ها، P_2 ریسک بالقوه برای فعالیت‌ها، A_2 سطح پذیرش ریسک برای فعالیت‌ها، D_2 سطح حفاظتی برای فعالیت‌ها می باشد.

$$P = q \times I \times g \times e \times v \times z \qquad (۴)$$

که:

P ریسک بالقوه برای ساختمان و محتویات، q فاکتور بار حریق، I فاکتور گسترش حریق، g فاکتور سطح، e فاکتور ارتفاع، v فاکتور تهویه و z فاکتور دسترسی می باشد.

$$P_1 = q_1 \times I_1 \times g_1 \times e_1 \times v_1 \times z_1 \quad (۵)$$

که:

P_1 ریسک بالقوه برای افراد و ساکنین، q_1 فاکتور بار حریق، I_1 فاکتور گسترش حریق، g_1 فاکتور سطح، e_1 فاکتور ارتفاع، v_1 فاکتور تهویه و z_1 فاکتور دسترسی می باشد.

$$P_2 = q_2 \times I_2 \times g_2 \times e_2 \times v_2 \times z_2 \quad (۶)$$

که: P_2 ریسک بالقوه برای فعالیت ها، q_2 فاکتور بار حریق، I_2 فاکتور گسترش حریق، g_2 فاکتور سطح، e_2 فاکتور ارتفاع، v_2 فاکتور تهویه و z_2 فاکتور دسترسی است.

$$A = (1/6 - a - t - c) \quad (۷)$$

که:

A سطح پذیرش ریسک برای ساختمان و محتویات، a فاکتور فعالیت، t فاکتور زمان تخلیه و c فاکتور ارزش می باشد.

$$A_1 = (1/6 - a - t - r) \quad (۸)$$

که:

A_1 سطح پذیرش ریسک برای افراد و ساکنین، a فاکتور فعالیت، t فاکتور زمان تخلیه وr فاکتور فراگیری است.

$$A_2 = (1/6 - a - c - d) \quad (۹)$$

که:

A_2 سطح پذیرش ریسک برای فعالیت ها، a فاکتور فعالیت، c فاکتور ارزش و d فاکتور بستگی می باشد.

$$D = (W \times N \times S \times F) \quad (۱۰)$$

که:

D سطح حفاظت برای ساختمان و محتویات، W فاکتور تأمین آب، N فاکتور حفاظت نرمال، S فاکتور حفاظت ویژه و F فاکتور مقاومت در برابر حریق است.

$$D_1 = (N \times U) \quad (۱۱)$$

که:

D_1 سطح حفاظت برای افراد و ساکنین، N فاکتور حفاظت نرمال، U فاکتور رهایی است.

$$D_2 = (W \times N \times S \times Y) \quad (۱۲)$$

که:

D_2 سطح حفاظت برای فعالیت ها، W فاکتور تأمین آب، N فاکتور حفاظت نرمال، S فاکتور حفاظت ویژه و Y فاکتور رهایی محتویات ساختمان می باشد.

نتایج و بحث

جدول ۱ نتایج محاسبات صورت‌گرفته برای سطح ریسک بالقوه رانشان می‌دهد. با استفاده از نتایج حاصل‌شده می‌توان به سطح ریسک بالقوه برای ساختمان رسید. جدول ۲ ریسک بالقوه را به تفکیک برای ۴ واحد مورد مطالعه در دو بلوک نشان می‌دهد. نتایج حاصل شده از این بخش مربوط به عواملی همچون گسترش حریق، فاکتور سطح، ارتفاع، تهویه و دسترسی است. در مطالعه انجام شده در این بخش میزان ریسک بالقوه برای موقعیت‌های متفاوت بین ۰/۱۱ تا ۰/۸۸ می باشد. باتوجه به اینکه ریسک بالقوه کمتر از ۱(P<1) بوده به معنای مطلوب‌بودن سطح ریسک بالقوه برای کلیهٔ واحدهای موردمطالعه است. در مطالعهٔ صورت‌گرفته سطح ریسک بالقوه در برخی از طبقات نظیر طبقات اول و چهارم نزدیک به یک است که در نهایت بر روی سطح ریسک تأثیرگذار بوده‌اند. جدول ۳ نتایج محاسبات سطح پذیرش با استفاده از روابط و فرمول‌های مربوط به روش FRAME را نشان می دهد. جدول ۴ نتایج حاصل از محاسبات صورت‌گرفته برای سطح پذیرش در سه پارامتر ساختمان و محتویات، افراد و فعالیت‌ها را نشان می‌دهد که طبق نتایج به‌دست‌آمده میانگین اکثر اعداد کمتر از ۱ می‌باشد که با در نظر گرفتن رابطهٔ A<1 یعنی سطح قابل‌قبولی برای سطح پذیرش است. نتایج محاسبات برای به‌دست‌آوردن سطح حفاظت با استفاده از روابط و فرمول‌های مربوط به روش FRAME در جدول ۵ آورده شده است. با استفاده از این نتایج سطح حفاظت برای هر سه وجه ساختمان و محتویات، افراد و ساکنین و فعالیت ها مشخص گردید. جدول ۶ نتایج حاصل از سطح حفاظت برای ساختمان، افراد و فعالیت‌ها را بیان می کند. سطح حفاظت با در نظرگرفتن نتایج، تنها ۳۰٪ قابل‌قبول است و این نشان‌دهنده سطح پایین حفاظت در مجتمع سکونتگاهی مورد مطالعه است. با درنظرگرفتن اینکه سطح حفاظت کوچکتر از ۱، قابل‌قبول نیست می‌توان به کمبود سطح ایمنی در ساختمان اشاره داشت. جدول ۷ سطح ریسک برای ساختمان و محتویات، افراد، فعالیت‌ها را نشان می‌دهد که با در نظر گرفتن رابطهٔ ۱، نتایج فوق حاصل شده است. ۴۲٪ از نتایج حاصل شده در موقعیت‌های متفاوت بیش از ۱ بوده و سطح ایمنی غیرقابل‌قبول را نشان می‌دهند و با بررسی‌های مجدد در عوامل مؤثر، مشخص می شود چه عواملی باعث کاهش سطح ایمنی شده است.

نمودار سطح ریسک برای ساختمان و محتویات در شکل ۳ آورده شده است. سطح ریسک از مجموع ۸ واحد مورد مطالعه، برای ۴ واحد که طبقات چهارم و هفتم از بلوک اول و دوم بالاتر از ۱ (نامطلوب) است. در طبقات مذکور سطح ریسک بالقوه بیشتر از حاصل‌ضرب سطح حفاظت و سطح پذیرش است. در بلوک دوم اعداد ریسک نسبت به بلوک اول بیشتر نشان‌داده‌شده است که این تفاوت‌ها نشان‌دهندهٔ بالابودن سطح ریسک بالقوه در بلوک دوم نسبت به بلوک اول و عوامل مؤثری همچون سطح دسترسی کمتر بلوک دوم است. شکل ۴، نمودار سطح ریسک برای افراد را

نشان می دهد. سطح ریسک افراد در کلیهٔ واحدها کمتر از ۱ و در شرایط مطلوب قرار دارند. علاوه بر این نمودار سطح ریسک فعالیت‌ها در شکل ۵ آورده شده است. سطح ریسک فعالیت‌ها از مجموع ۸ واحد مورد مطالعه در ۴ واحد شامل طبقات چهارم و هفتم از هر دو بلوک بیش از ۱ (نامطلوب) است. مقایسه هر دو بلوک در این شکل نشان داده شده است. سطح ریسک فعالیت در طبقاتی که نامطلوب بوده‌اند تا حدی برابر هستند و عواملی همچون سطح دسترسی، ارتفاع، تهویه نامناسب در ساختمان به یک اندازه در هر دو بلوک، جز عوامل مؤثر در این محاسبات می باشند.

جدول۱- نتایج محاسبات مؤثر در ریسک بالقوه

پارامترهای مؤثر در ریسک بالقوه							
نام بخش		Q	I	g	e	v	z
بلوک اول	پارکینگ	۱	۰/۳	۰/۲	۱/۷	۰	۱/۲
	طبقهٔ اول	۱/۵	۰/۴	۰/۱۴	۱/۷	۰/۳	۱/۶
	طبقهٔ چهارم	۱/۲	۰/۴	۰/۱۵	۱/۵	۱/۰۷	۳/۱
	طبقهٔ هفتم	۱/۳	۰/۴	۰/۱۴	۱/۶	۰/۳	۴/۷
بلوک دوم	پارکینگ	۱	۰/۳	۰/۲	۱/۷	۰	۱/۵
	طبقهٔ اول	۱/۵	۰/۴	۰/۱	۱/۷	۰/۳	½
	طبقهٔ چهارم	۱/۲	۰/۴	۰/۱۵	۱/۶	۱/۰۷	۴/۲
	طبقهٔ هفتم	۱/۳	۰/۴	۰/۱۴	۱/۵	۰/۳	۵/۱

جدول ۲- ریسک بالقوه برای ساختمان، افراد و فعالیت‌ها

ریسک بالقوه				
نام بخش		ساختمان و محتویات P	افراد P1	فعالیت‌ها P2
بلوک اول	پارکینگ	۰/۱۵	۰/۱۵	۰/۱۵
	طبقهٔ اول	۰/۸۸	۰/۸۸	۰/۸۸
	طبقهٔ چهارم	۰/۴۱	۰/۴۱	۰/۴۱
	طبقهٔ هفتم	۰/۲۵	۰/۲۵	۰/۲۵
بلوک دوم	پارکینگ	۰/۱۸	۰/۱۸	۰/۱۸
	طبقهٔ اول	۰/۱۱	۰/۱۱	۰/۱۱
	طبقهٔ چهارم	۰/۵۵	۰/۵۵	۰/۵۵
	طبقهٔ هفتم	۰/۲۷	۰/۲۷	۰/۲۷

جدول ۳- نتایج محاسبات مؤثر در سطح پذیرش

پارامترهای مؤثر در سطح پذیرش						
نام بخش		R	C	a	d	T
بلوک اول	پارکینگ	۰/۶	۱/۵	۰/۴	۰/۳	۰/۴
	طبقهٔ اول	۰/۵	۱/۵	۰/۴	۰/۳	۰/۰۱
	طبقهٔ چهارم	۰/۵	۱/۵	۰/۴	۰/۳	۰/۰۱
	طبقهٔ هفتم	۰/۵	۱/۵	۰/۴	۰/۳	۰/۰۲
بلوک دوم	پارکینگ	۰/۶	۱/۵	۰/۴	۰/۳	۰/۴
	طبقهٔ اول	۰/۵	۱/۵	۰/۴	۰/۳	۰/۰۱
	طبقهٔ چهارم	۰/۵	۱/۵	۰/۴	۰/۳	۰/۰۱
	طبقهٔ هفتم	۰/۵	۱/۵	۰/۴	۰/۳	۰/۰۲

جدول ۴- سطح پذیرش برای ساختمان، افراد و فعالیت‌ها

سطح پذیرش				
نام بخش		ساختمان و محتویات A	افراد A1	فعالیت‌ها A2
بلوک اول	پارکینگ	۰/۷	۰/۱۹	۰/۶
	طبقهٔ اول	۰/۳۱	۰/۶۹	۰/۶
	طبقهٔ چهارم	۰/۳۱	۰/۶۸	۰/۶
	طبقهٔ هفتم	۰/۳۱	۰/۶۸	۰/۶
بلوک دوم	پارکینگ	۰/۷	۰/۱۹	۰/۶
	طبقهٔ اول	۰/۳۱	۰/۶۹	۰/۶
	طبقهٔ چهارم	۰/۳۱	۰/۶۸	۰/۶
	طبقهٔ هفتم	۰/۳۲	۰/۶۸	۰/۶

جدول ۵- نتایج محاسبات پارامترهای مؤثر در سطح حفاظت

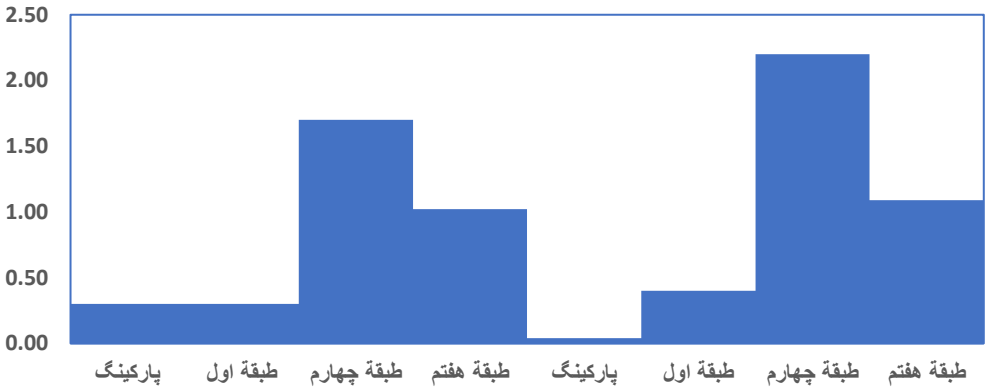
پارامترهای مؤثر در سطح حفاظت							
نام بخش		S	N	w	y	u	F
بلوک اول	پارکینگ	۳/۲	۰/۸	۰/۱	۱/۲	۲/۹	۲/۳
	طبقهٔ اول	۳/۲	۰/۸	۰/۱	۱/۳	¼	۳/۰۱
	طبقهٔ چهارم	۳/۲	۰/۸	۰/۱	۱/۳	¼	۳/۰۱
	طبقهٔ هفتم	۳/۲	۰/۸	۰/۱	۱/۳	¼	۳/۰۱
بلوک دوم	پارکینگ	۳/۲	۰/۸	۰/۱	۱/۲	۲/۹	۲/۳
	طبقهٔ اول	۳/۲	۰/۸	۰/۱	۱/۳	¼	۳/۰۱
	طبقهٔ چهارم	۳/۲	۰/۸	۰/۱	۱/۳	¼	۳/۰۱
	طبقهٔ هفتم	۳/۲	۰/۸	۰/۱	۱/۳	¼	۳/۰۱

جدول ۶- سطح حفاظت برای ساختمان، افراد و فعالیت‌ها

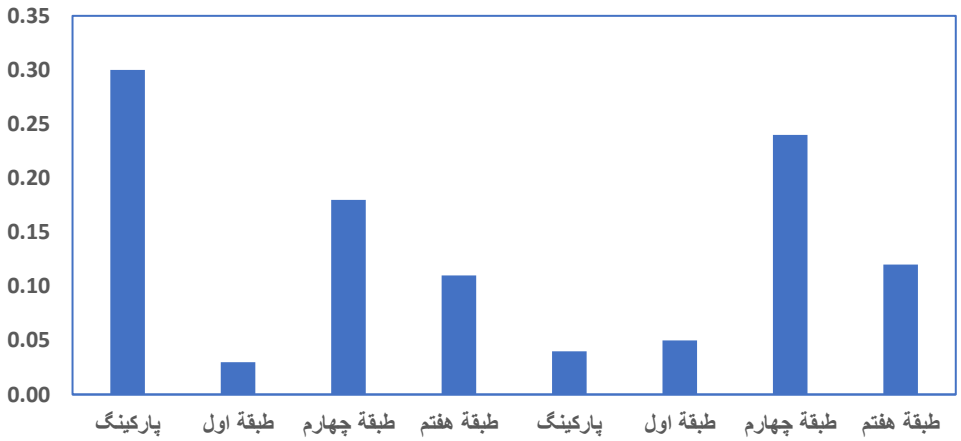
سطح حفاظت				
نام بخش		ساختمان و محتویات D	افراد D1	فعالیت‌ها D2
بلوک اول	پارکینگ	۰/۵۸	۲/۳	۰/۳
	طبقهٔ اول	۰/۷۷	۳/۲۸	۰/۳۳
	طبقهٔ چهارم	۰/۷۷	۳/۲۸	۰/۳۳
	طبقهٔ هفتم	۰/۷۷	۳/۲۸	۰/۳۳
بلوک دوم	پارکینگ	۰/۵۸	۲/۳	۰/۳
	طبقهٔ اول	۰/۷۷	۳/۲۸	۰/۳۳
	طبقهٔ چهارم	۰/۷۷	۳/۲۸	۰/۳۳
	طبقهٔ هفتم	۰/۷۷	۳/۲۸	۰/۳۳

جدول ۷- سطح ریسک ساختمان‌ها، افراد، فعالیت

نام بخش		سطح ریسک		
		ساختمان و محتویات R	افراد R1	فعالیت‌ها R2
بلوک اول	پارکینگ	۰/۳	۰/۳	۰/۸
	طبقهٔ اول	۰/۳	۰/۰۳	۰/۴۴
	طبقهٔ چهارم	۱/۷	۰/۱۸	۲/۰۸
	طبقهٔ هفتم	۱/۰۲	۰/۱۱	۱/۲
بلوک دوم	پارکینگ	۰/۰۴	۰/۰۴	۰/۱
	طبقهٔ اول	۰/۴	۰/۰۵	۰/۵
	طبقهٔ چهارم	۲/۲	۰/۲۴	۲/۷
	طبقهٔ هفتم	۱/۰۹	۰/۱۲	۱/۳



شکل۳- نمودار سطح ریسک ساختمان و محتویات



شکل ۴- نمودار سطح ریسک افراد

شکل ۵- نمودار سطح ریسک فعالیت‌ها

در مطالعات افروخته (۱۴۰۰) نتایج ارزیابی ریسک نشان داد که در اکثر واحدها بیشترین ریسک برای ساکنین است وی با ارائه راهکارهای کنترلی، سطح ریسک را کاهش و سطح ایمنی را افزایش داد. در مطالعه حاضر نتایج نشان داد سطح ریسک غیر قابل‌قبول برای ساکنین در طبقات چهارم و هفتم از هر دو بلوک به لحاظ ارتفاع از سطح زمین و دسترسی نامطلوب است. میزان ریسک قابل قبول برای واحدهای پارکینگ و طبقات اول به علت دسترسی راحت‌تر و مقاومت نسبی ساختمان است. عوامل موثر در بالابودن سطح ریسک حریق برای افراد بی‌توجهی و کمبود راه‌های خروج اضطراری، نبود سیستم اطفا حریق خودکار شناخته شد. در مطالعهٔ دیگر از رجبی و همکاران (۱۳۹۸) به ارزیابی ریسک حریق در یک مجتمع تجاری چندطبقه پرداختند. نتایج نشان داد در ریسک بالقوه، پارامتر سازه، بهترین وضعیت و پارامترهای کنترل دود و آب‌فشان، بدترین وضعیت را داشتند. نتایج نهایی ارزیابی ریسک حریق حاکی از آن بود که ۹ درصد از ساختمان‌ها در بعد کنترل حریق، ۱۳درصد در بعد راه‌های خروجی و ۰/۵۰درصد در بعد ایمنی کلی حریق، ریسک غیرقابل‌قبولی داشتند. در مطالعه حاضر، پارامتر سازه که یکی از مهمترین و موثرترین پارامترهای ریسک بالقوه شناخته شده است دارای سطح ریسک قابل قبول است و نتایج نشان داد پارامتر تهویه نیاز به راهکارهای کنترلی و پیشگیرانه دارد.

نتایج مطالعات کاوه (۱۳۹۸) دربارهٔ یک هتل در اصفهان نشان داد که عامل موثر در افزایش ریسک حریق، برق و گاز بوده است. در مقایسه با پژوهش حاضر می‌توان گفت که عواملی مثل برق و گاز که در ایجاد حریق مؤثر هستند در این ساختمان با شرایط ایمن طراحی و اجرا شده‌اند و با بررسی‌های منظم از وقوع حریق جلوگیری می‌شود. ژانگ و همکاران (۲۰۱۳) نشان دادند که استفاده از سازه‌های مقاوم در برابر حریق می‌تواند تا حد قابل‌قبولی از خسارات ناشی از حریق جلوگیری کرد. در مقایسه با پژوهش حاضر، سازه مقاوم در برابر حریق در ساختمان مورد مطالعه به کار رفته است.

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

همواره پیش‌بینی و داشتن یک برنامه برای جلوگیری از وقوع حادثه، بهتر و کاربردی‌تر از زمانی است که حادثه رخ دهد. از این‌رو دستورالعمل‌ها و بازرسی‌های منظم و مستندسازی شده و انجام اقدامات مناسب جهت رفع نقص‌ها و رعایت استانداردها باید در اولویت قرار گیرد(خاک‌کار و همکاران۲۰۲۰؛ کاوه ۱۳۹۸؛ مقصودلو کمالی ۱۳۹۹). باتوجه به وضعیت نامطلوب ایمنی در ساختمان‌های مسکونی، تجاری و اداری و حوادث غیر قابل جبرانی مانند حادثهٔ پلاسکو پیشنهاد می‌شود کلیهٔ ساختمان‌ها قبل از ساخت ارزیابی ریسک حریق انجام داده و میزان ریسک قابل‌قبول مشخص شود. در پژوهش حاضر با بررسی نتایج ارزیابی به‌دست‌آمده سطح ریسک در طبقات اولیه قابل‌قبول ($P<1.6$) بوده ولی در برخی از طبقات مانند طبقات چهارم و هفتم قابل‌قبول نمی‌باشد ($P>1.6$). با بررسی‌های صورت‌گرفته علت سطح حفاظت پایین و ریسک بالقوهٔ بالا در این طبقات کمبود تهویه تا ۱۰ درصد، راه‌های خروجی تا ۳۰ درصد و فقدان منبع آب و سیستم اطفا حریق خودکار تا ۶۰ درصد در این نتایج مؤثر هستند. اجرای یک سیستم تهویه مکانیکی از تجمع محصول حریق در طبقات جلوگیری می‌کند علاوه بر این داشتن یک سیستم اطفاء حریق خودکار در جایگزین با سایر سیستم‌های دستی در سطح حفاظت مؤثر است. همچنین در نظر گرفتن یک مخزن آب با سیستم خودکار تأمین آب برای زمان‌های اضطراری پیشنهاد می گردد.

تشکر و قدردانی

مقالهٔ حاضر مستخرج از پایان‌نامه کارشناسی ارشد مهندسی ایمنی، بهداشت و محیطزیست (HSE) است. بدین‌وسیله از کلیه استادان و شرکت سازنده مجتمع سکونتگاهی سرو اراک که در این پژوهش ما را یاری نموده‌اند، کمال تشکر را داریم.

References

1. Taghiakbati L, Bakhtiary S, Drodyani Z. Reaction to Fire Classification of Flexible Elastomeric Foams (FEF). *Building Engineering and Housing Science.* 2020; 13(2): 25-29. [In Persian].
2. Afrookhteh Sh. 2021. Assessing the risk of fire using FRAME method and providing effective control strategies (case study of Mahrad factory of mashhad). M. Sc. Ferdowsi University of Mashhad. [In Persian]
3. Chu G, Sun J. Decision analysis on fire safety design based on evaluating building fire risk to life', *Safety science*. 2008; 46 (7): 1125-1136. Doi:10.1016/j.ssci.2007.06.011
4. Cochrane M A, Moran C J, Wimberly M C, Baer A D, Finney M A, Beckendorf K L, Eidenshink J, Zhu Z. Estimation of wildfire size and risk changes due to fuels treatments. *International Journal of Wildland Fire*. 2012; 21(4): 357-367. Doi:10.1071/WF11079
5. Danzi E, Fiorentini L, Marmo L. FLAME: a parametric fire risk assessment method supporting performance based approaches. *Fire Technology*. 2021; 57:721-765. https://doi.org/10.1007/s10694-020-01014-9
6. Habibi E, Aslani A M. Evaluation of fire risk by FRAME method and studying the effect of trained crisis management team of fire risk level in Hazrat Rasoul-e Akram hospital of Fereydunshahr in 2016**.** *JoRaR.* 2017; 9 (1) :46-55. [In Persian]. http://jorar.ir/article-1-343-en.html
7. Hansen N D, Steffensen F B, Valkvist M, Jomaas G, Van Coile R. A fire risk assessment model for residential high-rises with a single stairwell', *Fire safety journal*. 2018; 95: 160-169. https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2017.11.006
8. Maghsoudlo Kamali b, Jafari Nodoushan R, Nouri M. Strategic Decision Making in Fire Risk Management in Aftab Gorgan Commercial Complex using Artificial Intelligence Model. *OOHP* 2020; 4 (3):196-209. [In Persian]. URL: http://ohhp.ssu.ac.ir/article-1-255-en.html
9. Kamyar Rad S, Kamyar G H, Kamyar Rad S A. Right to the Safe City in Human Rights and Iranian law. *Journal of Legal Research*. *2022;* 21 (51): 177-202. [In Persian]. Doi: 10.48300/jlr.2022.160775
10. Khakkar S, Ranjbarian M, Khodakarim S, Poyakian M. Assessment of fire risk in commercial complexes of 12th district of Tehran and its relationship with their structural features and use. *JHSWork.* 2020;10(3): 31-34.
11. Kave, A. H. 2019. Fire risk assessment in one of the hotels in Isfahan city. M. Sc. Naghshejahan University. [In Persian]
12. Kim M O, Kim K, Yun J H, Kim M K. Fire risk assessment of cable bridges for installation of firefighting facilities. *Fire Safety Journal*. 2020; 115:103146. Doi:10.1016/j.firesaf.2020.103146
13. Omidvari M, Mansouri N, Nouri J. A pattern of fire risk assessment and emergency management in educational center laboratories.*Safety science*. 2015; 73: 34-42. https://doi.org/10.1016/j.ssci.2014.11.003.
14. Rajabi F, Jahangiri M, Tavana Sholi F, Rastkar SH. Fire risk Assessment in Multi-story Commercial Buildings Using Computerized Fire Safety Evaluation System: A Case Study in Shiraz. *Health System Research Journal*. 2019; 15(1): 74-82. [In Persian]. http://hsr.mui.ac.ir/article-1-1065-en.html
15. Rezaee M, Givehchi S, Nasrabadi M. Fire Risk Assessment in Hotels and Resorts Using FRAME (A case study of four-star hotels in Mashhad). *OHHP*. 2017; 1 (2) :80-93 URL: http://ohhp.ssu.ac.ir/article-1-47-fa.html
16. Sepehr P, Azarian H, Porchengiz A, ESHAGHI M. Fire Risk Assessment in an Educational Environment using the Fire Risk Assessment Method for Engineers (FRAME). *Occupational Hygiene and Health Promotion.*2020; 4(2): 130-142. [In Persian]. Doi: https://doi.org/10.18502/ohhp.v4i2.3988
17. Wang L, Li W, Feng W, Yang R. Fire risk assessment for building operation and maintenance based on BIM technology. *Building and Environment*. 2021; 205: 108188. https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.108188
18. Wang Y F, Li Y, Zhang B, Yan P N, Zhang L. Quantitative risk analysis of offshore fire and explosion based on the analysis of human and organizational factors. *Mathematical Problems in Engineering.* 2015; 2015(2): 1-10. https://doi.org/10.1155/2015/537362
19. Zhang, Y. Analysis on comprehensive risk assessment for urban fire: The case of Haikou City. *Procedia Engineering*. 2013; 52: 618-623. https://doi.org/10.1016/j.proeng.2013.02.195.
20. Zhang F, Shi L, Liu S, Shi J, Shi C, Xiang T. CFD-Based Fire Risk Assessment and Control at the Historic Dong Wind and Rain Bridges in the Western Hunan Region: The Case of Huilong Bridge. *Sustainability*. 2022; 14(19): 12271. Doi:10.3390/su141912271

Research Article

Journal of New Researches in Environmental Engineering

Volume 1, Issue 4, Winter 2024, Pages 67-77

ISSN (Online): 2981-0930

Fire Risk Assessment of Residential Areas by Using FRAME Engineering Method (Case Study: 257-Unit Residential Complex Project of Sarv in Arak)

Elham Hasani M.Sc. student, Safety, Health and Environmental Engineering (HSE), Electronics Branch, Islamic Azad University, Iran.

Seyed Ali Jozi * Professor, Department of Environment, North Tehran Branch, Islamic Azad University, Iran.

Sahar Rezayan Associate Professor, Department of Environment, Shahrood Branch, Islamic Azad University, Iran.

Received: 29 Jan 2024

Accepted: 17 Mar 2024

Keywords: Fire Risk Assessment, Fire Risk, FRAME, Sarv Complex Arak

Extended Abstract

Introduction: A fire within a building constitutes one of the most fundamental hazards, annually resulting in extensive human, financial, and environmental damage. Prevention of such an incident is perceived as both critical and necessary. In this regard, this research aims to provide a solution to an environmental safety issue from a management perspective, thereby designating this study as applied in nature.

Materials and Methods: Frame is the most comprehensive, transparent and scientific fire risk assessment method that simultaneously calculates the fire risk level for three parameters of the building and its contents, people, and activities. First, in order to obtain results and achieve maximum accuracy, all calculation formulas were performed in FRAME method in Excel software.In the present research, the Fire Risk Assessment Method for Engineers (FRAME) was initially utilized to calculate fire risk for eight sections of the Sarv residential complex in Arak using assessment checklists and formulas of the FRAME method. Due to the complexity of the formulas, all calculations were carried out using the computational software Excel.

Results and Discussion: The fire risk for the building and its contents averaged between 0.04 and 2.2, whereas for individuals, it ranged from 0.04 to 0.2, and for activities, it fluctuated between 0.1 and 2.7. As per the acceptable threshold in FRAME, the fire risk to individuals was within acceptable levels across all floors. However, the fire risk pertaining to the building, its contents, and activities was found to exceed acceptable limits on both blocks' fourth and seventh floors, suggesting an immediate requirement for remedial and preventive actions.

Conclusion: In the residential complex under investigation, considering the selected units (four units from two blocks) for more precise calculations, approximately 37% of the units had an acceptable fire risk (P<1). The unacceptable fire risk (P>1) in the complex involved 63% of the units identified on the fourth and seventh floors of both blocks. Further analysis identified significant factors contributing to the reduced level of protection, including insufficient water supply, manual fire extinguishing systems, and egress. Factors contributing to the potential increase in risk in the building included a lack of exit routes, building height, and level of access.

Corresponding author: Seyed Ali Jozi

Address: Department of Environment, North Tehran Branch, Islamic Azad University. **Tel:** +989126194676 **Email:** sajozi@yahoo.com

Citation: Hasani E, Jozi S A, Rezayan S . Fire Risk Assessment of Residential Areas by Using FRAME Engineering Method (Case Study: 257-Unit Residential Complex Project of Sarv in Arak) .Journal of New Researches in Environmental Engineering. 2024; 1(4): 67-77.

© 2024, This article published in Journal of New Researches in Environmental Engineering (JNREE) as an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0). Non-commercial use, distribution and reproduction of this article is permitted in any medium, provided the original work is properly cited.