نشریه‌ی علمی-پژوهشی شهر ایمن
JOURNAL OF RESILIENT CITY
(JRC)

اولویت‌بندی ریسک‌های حریق در ساختمان‌های بلند با استفاده از مدل ترکیبی FISM و FANP

مصطفی عادلی‌زاده[1*]؛ سید محمد شبیری[2]

۱- گروه آموزش محیط زیست، دانشگاه پیام‌نور ، صندوق پستی ۴۶۹۷- ۱۹۳۹۵،تهران، ایران

۲- استاد گروه آموزش محیط زیست، دانشگاه پیام‌نور ، صندوق پستی ۴۶۹۷- ۱۹۳۹۵،تهران، ایران

دریافت مقاله ۱۳۹۸/۰۲/۰۵؛ پذیرش مقاله : ۱۳۹۸/۰۴/۲۳

واژگان کلیدی

ریسک حریق
اولویت‌بندی ریسک‌های حریق
ساختمان‌های بلند
مدل‌سازی ساختاری تفسیری فازی
***MICMAC* فازی**
فرآیند تحلیل شبکه فازی

چکیده

حریق یکی از خطرات مهمی است که مکان‌های مختلف از جمله ساختمان‌های بلند را تهدید می کند و شناخت ریسک‌های حریق و آگاهی از اهمیت آنها می‌تواند به‌طور شگرفی حوادث و زیان‌های جانی و مالی ناشی از آن در ساختمان‌های بلند را کاهش دهد. در این راستا، هدف اصلی تحقیق حاضر اولویت‌بندی ریسک‌های حریق برای ساختمان‌های بلند با استفاده از مدل ترکیبی مدل‌سازی ساختاری تفسیری فازی و فرآیند تحلیل شبکه فازی است. در این مطالعه ۷ ریسک اصلی حریق و ۳۹ ریسک فرعی حریق برای ساختمان‌های بلند با استفاده از بررسی عمیق تحقیقات گذشته استخراج شدند. براساس نتایج حاصله «ریسک وضعیت مدیریت ایمنی حریق»، «ریسک عملکرد حریق ساختمان»، «ریسک تیپ اطفاء حریق»، «ریسک رفتار انسانی»، «ریسک عوامل فاجعه‌ساز»، «ریسک تجهیزات ایمنی حریق در ساختمان» و «ریسک تخلیه ایمنی حریق» به‌ترتیب اهمیت اولویت‌بندی شدند. همچنین بااهمیت‌ترین ریسک‌های فرعی عبارتند از: «مقاومت حریق مواد ساختمان» و «جداسازی منطقه دود و محفظه حریق». مطالعه حاضر می‌تواند جهت توسعه ادبیات ریسک حریق سهم به‌سزایی داشته باشد و به مهندسان حریق درباره ریسک‌های حریق برای ساختمان‌های بلند کمک کند. علاوه بر این، به‌لحاظ روش‌شناسی، پژوهش حاضر یک مدل یکپارچه تصمیم‌گیری چندمعیاره فازی را توسعه می‌دهد که می‌تواند ضعف ترکیب دو تکنیک مذکور را رفع نماید.

* تهران؛ فلکه سوم تهرانپارس؛ خیابان ۱۹۶ شرقی؛ خیابان ۱۳۷؛ کوچه ۲۰۴ شرقی ولی عصر؛ پلاک ۱۸۷؛ شماره همراه: ۰۹۱۲۷۹۲۴۹۴۳ رایانامه: *Adeli_mostafa@yahoo.com*

۱- مقدمه

با توسعه مداوم و شتاب‌دهنده شهری، سطح زندگی مردم و الزامات مورد نیاز محیط زندگی بهبود و افزایش می‌یابد، از این‌رو بسیاری از ساختمان‌های بلند ساخته‌شده و همچنان در حال ساخت هستند (*Li et al., 2018*). ساختمان بلند به ساختمانی گفته می‌شود که به‌صورت چندطبقه ساخته می‌شود و معمولاً کاربری مسکونی، تجاری یا اداری- مسکونی یا چند کاربری دارد و تفاوت آن با آسمان‌خراش در ارتفاع است (*Ma and Guo, 2012*). بر اساس تعریف کیان‌لی و تینگ لین[1] (۲۰۱۱)، ساختمان بلند شامل مساحت بزرگ و ارتفاع بلند برای ساختمان، تعداد زیادی از افراد، تجهیزات الکتریکی در داخل، مسیر تخلیه پیچیده و بار حریق زیاد است و ریسک حریق بالایی دارد. طبق آمار ده سال اخیر در جهان، حادثه آتش‌سوزی در ساختمان‌های بلند به میزان ۲۴ درصد رشد کرده است. همچنین بر اساس آمارهای اخذشده از سوی سازمان آتش‌نشانی در ایران، این آمار رشدی ۱۸ درصدی را تجربه کرده است (*NFSI, 2018*).

به‌طور کلی، هنگامی که یک حریق در ساختمان بلند اتفاق می‌افتد، ممکن است باعث خسارت زیادی به اموال و تلفات جانی شود. به‌عبارتی، ساختمان‌های بلند در گروه واحدهای پر ریسک قرار دارند و این ریسک‌ها تا حد زیادی به زمینه جغرافیایی بستگی دارد (*Liu et al., 2017*). با این حال، تا به امروز یک مدل ارزیابی ریسک حریق جامع و مناسب برای ساختمان‌های بلند ایرانی وجود ندارد. بنابراین، نیاز فوری به ایجاد یک مدل ارزیابی ریسک حریق برای ساختمان‌های بلند در ایران به چشم می‌خورد. علاوه بر این، ایجاد چنین مدلی اهمیت اجتماعی و اقتصادی زیادی در کاهش ریسک حریق در ساختمان‌های بلند و همچنین کاهش تلفات جانی و از دست دادن اموال دارد (*Sun and Luo, 2014*). دستیابی به چنین مدلی مستلزم شناخت ریسک‌های حریق برای ساختمان‌های بلند است. در نتیجه، شناسایی ریسک‌های حریق برای ساختمان‌های بلند، تعیین اهمیت هریک از ریسک‌ها و مشخص نمودن روابط بین آنها گام نخست و اساسی برای رسیدن به یک مدل ارزیابی ریسک حریق برای ساختمان‌های بلند است. مطالعات گذشته نظریه‌ها، مدل‌ها و روش‌های مختلف ارزیابی ریسک حریق را مورد بررسی قرار داده‌اند که مهمترین این روش‌ها شامل روش مرجع استاندارد (*Hall, 2006*)، روش تحلیل منطقی (*Xin and Huang, 2013*)، روش تحلیل قطعی (*Moshashaei and Alizadeh, 2016*) و روش ارزیابی جامع (*We et al., 2018*) است. همچنین در میان مدل‌های معمول ارزیابی ریسک حریق، به مدل‌های معمول از قبیل مدل محاسبه شاخص‌های ریسک با روش‌های شبیه‌سازی (*Fraser-Mitchell, 1999*)، سیستم ارزیابی ریسک حریق (*Benichou et al., 2005*) و مدل مرکز ایمنی محیط زیست و مهندسی ریسک (*Hasofer et al., 2007*) می‌توان اشاره کرد.

به‌طور کلی، هر مدل ارزیابی ویژگی‌ها و دامنه قابل اجرا خاص خود را دارد و به‌کارگیری آن به پیش‌شرط‌ها و محدودیت‌های وضعیت مورد نظر بستگی دارد. اغلب مدل‌های ارزیابی ریسک حریق در مطالعات گذشته به تعداد زیادی از داده‌های ورودی و سناریوهای حریق متکی هستند و این می‌تواند شرایط ارزیابی را سخت کند. همچنین اکثر این مدل‌ها بر اساس ویژگی‌های ساختمان‌ها و تجهیزات سیستم حفاظت حریق است (*Hassanain, 2009; Wang and Liu, 2010; Ma and Guo, 2012; Bontempi et al., 2013; Li et al., 2013; Liu et al., 2017; Li et al., 2018; Wei et al., 2018; Sheeba and Jayaparvathy, 2019*). با این وجود، اگر شرایط نگهداری از تجهیزات ایمنی حریق، قابلیت تیپ حریق و فرهنگ ایمنی حریق ساکنین ساختمان متفاوت باشد، سطح ریسک حریق در دو ساختمان مشابه با تجهیزات مشابه متفاوت خواهد بود (*Hassanain, 2009; Wang and Liu, 2010; Sanni-Anibire and Hassanain, 2015; Wei et al., 2018 ;Li et al., 2018*). علاوه بر این، ساختمان‌های بزرگ دارای الزامات ایمنی نسبتاً بالا و انواع تجهیزات ایمنی حریق هستند (*Li et al., 2018*)، بنابراین ارزیابی ریسک حریق در ساختمان‌های بلند تنها با استفاده از مدیریت ریسک تجهیزات ایمنی حریق کافی و قابل اطمینان نیست. به‌طور کلی، هیچ مدل جامع و خاصی برای ارزیابی ریسک حریق ساختمان‌های بلند وجود ندارد و بررسی مدل‌های ارزیابی ریسک حریق موجود برای ساختمان‌های بلند نشان می‌دهد که فقدان جامعیت ریسک‌های حریق، خصوصیت سیستم ایمنی حریق برای ساختمان‌های بلند در زمینه خاص و نامشخص بودن اولویت و روابط ریسک‌ها نسبت به یکدیگر قابل توجه است. بنابراین، ارائه یک مدل ارزیابی ریسک حریق برای ساختمان‌های بلند در زمینه ایرانی

1. Qian-li and Ting-lin

به‌منظور رفع موارد فوق‌الذکر می‌تواند ارزش‌های نظری و عملی قابل توجهی را ایجاد کند.

اکثر تحقیقات مربوطه ریسک‌های حریق را از طریق تجربه جمعی (اجماع نظر) افراد حرفه‌ای شناسایی کردند. با این وجود، این مهم است بیان شود که تکیه بر تجربه جمعی افراد حرفه‌ای تنها زمانی‌که نمونه فراوان برای یادگیری وجود دارد مطلوب است. به‌عبارتی، در شرایط فنی، این موضوع زمانی که نمونه کافی از فضای شکست وجود دارد مطلوب خواهد بود. این در حالی است که تجربه‌های متعدد زیادی در ایران یافت نمی‌شود. بنابراین، یک مجموعه جامع از ریسک‌های حریق برای ساختمان‌های بلند نمی‌تواند بر اساس تجربه جمعی شناسایی شود. بر اساس قاسمی و والمحمدی[1] (۲۰۱۸)، مطالعه عمیق تحقیقات گذشته و استخراج ریسک‌های مربوط به یک موضوع خاص می‌تواند بینش عمیق‌تری را نسبت به آن موضوع ایجاد کند. رامیرز دلاهوئرگا و همکاران[2] (۲۰۰۹) اشاره می‌کنند که رابطه بین ریسک‌ها و قدرت نفوذ و قدرت وابستگی هریک از ریسک‌ها می‌تواند با استفاده از تکنیک مدل‌سازی ساختاری تفسیری[3] (ISM) و تحلیل MICMAC[4] به‌دست آید. ISM یک تکنیک معروف برای شناسایی روابط بین ریسک‌ها در یک حوزه خاص است (*Valmohammadi and dashti, 2016*) و تحلیل MICMAC این ریسک‌ها را در گروه‌های مختلف مانند خودمختار، مستقل، پیوندی و وابسته طبقه‌بندی می‌کند (*Duperrin and Godet, 1973*). بر اساس مالویا و کانت[5] (۲۰۱۷)، تکنیک ISM میزان روابط بین ریسک‌ها را نشان نمی‌دهد و برای رفع این مسأله باید روابط این تکنیک با اعداد فازی بررسی شوند. مشخص بودن میزان روابط بین ریسک‌ها می‌تواند به‌منظور تعیین وزن نهایی ریسک‌ها با استفاده از تکنیک فرآیند تحلیل شبکه فازی[6] (FANP) کمک کند (*Valmohammadi and dashti, 2016; Malviya and Kant, 2017*). بنابراین، در این مطالعه روابط ریسک‌های شناسایی‌شده با استفاده از تکنیک مدل‌سازی ساختاری تفسیری فازی (FISM) ساختاردهی و طبقه‌بندی می‌شوند و بر اساس این روابط، ریسک‌های حریق برای ساختمان‌های بلند ایرانی با استفاده از تکنیک FANP وزن‌دهی و اولویت‌بندی می‌شوند. به‌طور کلی، شناسایی ریسک‌های حریق و آگاهی از اهمیت آنها می‌تواند تا حد زیادی حوادث و خسارات جانی و مالی ناشی از آن در ساختمان‌های بلند را کاهش دهد. در این راستا، هدف اصلی این مطالعه اولویت‌بندی ریسک‌های حریق برای ساختمان‌های بلند با استفاده از مدل ترکیبی مدل‌سازی ساختاری تفسیری فازی و فرآیند تحلیل شبکه فازی است. باتوجه به مطالب فوق‌الذکر، سه سؤال اصلی تحقیق حاضر عبارتند از:

۱- ریسک‌های حریق برای ساختمان‌های بلند کدام‌اند؟

۲- مدل ساختاری تفسیری فازی ریسک‌های حریق برای ساختمان‌های بلند چگونه است؟

۳- اولویت‌بندی ریسک‌های حریق برای ساختمان‌های بلند چگونه است؟

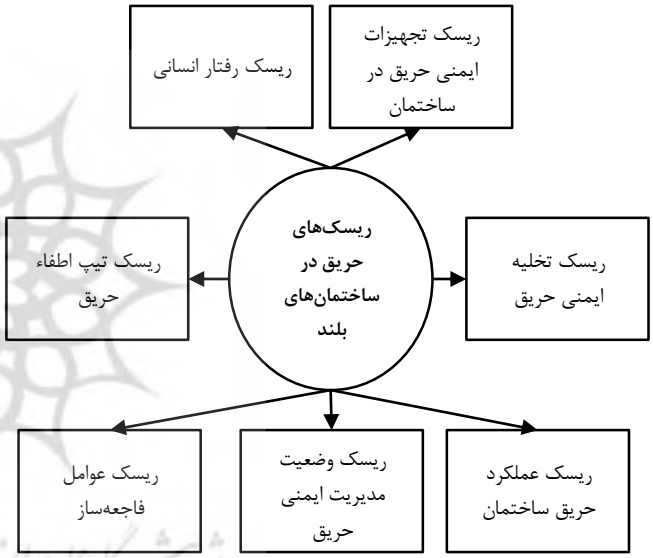
۲- چهارچوب نظری تحقیق

۲-۱ ریسک‌های حریق در ساختمان‌های بلند

حریق یکی از مهم‌ترین خطراتی است که می‌تواند مکان‌های مختلفی از جمله ساختمان‌های بلند را تهدید کند (*Li et al., 2018*). بنابراین شناخت ریسک‌های حریق و پیشگیری از وقوع حوادث ناگوار ناشی از حریق در ساختمان‌های بلند امری ضروری است (*Li et al., 2016*). افزایش آمار وقوع حوادث ناشی از حریق در ساختمان‌های بلند و شناخت بیشتر ریسک‌های حریق موجب روند تکامل روش‌های حفاظت در برابر حریق شده است (*Sun and Luo, 2014*). واتس و هال[7] (۲۰۰۲) بیان می‌کنند که ریسک بدون آگاهی اتفاق می‌افتد و عواقب ناخواسته و ناگواری را برای سلامتی بشر، اموال یا محیط دارد. ریسک حریق به‌عنوان احتمال وقوع حریق ناخواسته در یک وضعیت نامعلوم تعریف می‌شود (*Meacham, 2002*). تحلیل ریسک حریق ساختمان می‌تواند به‌عنوان یک فرایند در نظر گرفته شود که شامل «شناسایی و درک»، «ارزیابی» و «کنترل» ریسک حریق در یک ساختمان و پیامدهای ناخواسته‌ای که ممکن است اتفاق بیفتد، است (*Liu et al.,*

1. Ghasemi and Valmohammadi
2. Ramirez de la Huerga
3. Interpretative Structural Modeling (ISM)
4. aa tiiced' Impacts Cooisss Multiplication Appliquée áun Classement
5. Malviya and Kant
6. Fuzzy Analysis Network Process (FANP)
7. Watts & Hall

2012). اولین گام این فرآیند شناسایی و درک ریسک‌های حریق ساختمان است. اگر در این مرحله ریسک‌های حریق به‌خوبی و تاحد ممکن کامل شناسایی و درک شوند، مراحل بعدی تحلیل ریسک با قابلیت اطمینان بیشتری انجام خواهد شد (*Yu et al., 2016*). در این مطالعه، بررسی عمیق مطالعات گذشته نشان داد که می‌توان ریسک‌های حریق برای ساختمان‌های بلند را در ۷ ریسک اصلی و ۳۹ ریسک فرعی دسته‌بندی کرد. مدل مفهومی تحقیق در شکل ۱ نشان داده شده است. جدول ۱ ریسک‌های حریق استخراج‌شده از مطالعات گذشته را نشان می‌دهد. ریسک‌های حریق استخراج‌شده برای ساختمان‌های بلند در این مطالعه به شرح زیر است.



شکل ۱- مدل مفهومی تحقیق

۱-۱-۲ ریسک تجهیزات ایمنی حریق در ساختمان

تجهیزات ایمنی حریق به «حفاظت حریق فعال» در ساختمان‌های بلند اشاره دارد (*Bontempi et al., 2013; Weng and Liu, 2017*). بررسی‌های گذشته نشان می‌دهد که تجهیزات ایمنی حریق یکی از مهمترین ریسک‌های حریق در ساختمان‌های بلند است. لی و همکاران (۲۰۱۸) بیان می‌کند که تجهیزات ایمنی حریق باید قابلیت انجام همه مراحل اعلام و اطفاء حریق را دارا باشد. این تجهیزات شامل سیستم خاموش‌کننده حریق، سیستم کنترل دود، آسانسور حریق، سیستم آب‌پاش اتوماتیک، سیستم شیر آتش‌نشانی حریق، سیستم اعلان حریق و سیستم پیوند حریق و سیستم ارتباط و انتشار اضطراری حریق است. سیستم خاموش‌کننده حریق مجموعه اقداماتی است که برای مقابله با حریق به‌صورت خاموش کردن، کنترل کردن و هدایت کردن حریق انجام می‌گیرد (*Ma and Guo, 2012*). هدف از سیستم مدیریت و تخلیه دود، حفظ ایمنی افراد است (*Wei et al., 2018*). این سیستم‌ها می‌تواند کیفیت هوای موردنیاز برای نفس کشیدن افراد را تا زمان ترک محل حریق یا هر مکان پر از دود دیگر تضمین نماید (*Weng and Liu, 2017*). در صورتی‌که دود و گازهای ناشی از حریق در طبقات مختلف ساختمان پراکنده شده و کنترل نشوند موجب خطرات جانی و مالی بیشتر می‌شوند. در بخش‌های مختلفی از ساختمان مانند پله‌ها، راهروها و کابین آسانسورها بایستی از تجمع دود جلوگیری نمود زیرا هنگامی‌که افراد با ترس و هرج و مرج در حال خروج هستند وجود دود ممکن است باعث کاهش دید و خفگی آنها شود (*Bontempi et al., 2013; Li et al., 2016*).

آسانسورهای حریق در عملیات امدادرسانی توسط نیروهای امدادگر به افراد محصور، به‌ویژه افرادی که به علت کهولت سن، ناتوانی یا معلولیت جسمی توانایی واکنش سریع یا استفاده از پلکان‌های اضطراری را ندارند، کمک می‌کند و کارایی عملیات تخلیه افراد را افزایش می‌دهد (*Bontempi et al., 2013; Li et al., 2018*). سیستم‌های آبپاش اتوماتیک یک شبکه منظم و خودکار متشکل از لوله‌های آب‌پاش و دیگر وسایل لازم جهت پاشیدن مستقیم آب روی آتش است (*Chow et al., 2002; Hu, 2016*). سیستم شیر آتش‌نشانی حریق بخشی از سیستم توزیع آب شهری است که آب را مستقیماً از لوله‌های اصلی آب شهری دریافت می‌کنند (*Abdul Hafeez and Hassanain, 2005*). شیرهای هیدرانت برای تهیه آب مورد نیاز اطفاء حریق در داخل و خارج از ساختمان‌های بلند تعبیه می‌شوند (*Hassanain, 2009*). سیستم اعلان حریق و سیستم پیوند حریق متشکل از ارتباط تنگاتنگ دستگاه‌های کنترل هشداردهنده ساختمان با شرایط خطرناک و اضطراری و دریافت اطلاعات مربوط به شرایط و ارسال به نزدیک‌ترین ایستگاه آتش‌نشانی است (*Wang and Liu, 2010; Wei et al., 2018*). این سیستم، ایستگاه‌های دستی، حسگرها و آب‌سنج‌ها را کنترل می‌کند. این سیستم ابتدا سیگنال‌های حریق را توسط حسگر دریافت می‌کند و سپس با استفاده از نرم‌افزارهای مربوطه

آن را پردازش می‌کند. در نهایت، سیستم صوتی فعال می‌شود و آلارم شنیده می‌شود. سیستم ارتباط و انتشار اضطراری حریق یک تلفن دوطرفه است که معمولاً در ساختمان‌های بلند استفاده می‌شود. مرکز فرمان شامل واحد کنترل با گوشی اصلی برای استفاده از فرماندهان آتش‌نشانی است. سپس گوشی‌های متعددی در بخش‌های مختلف ساختمان به‌منظور برقراری ارتباط بین آتش‌نشانان و مرکز فرمان قرار دارند (*Hassanain, 2010; Li et al., 2018*). باتوجه به مباحث فوق‌الذکر، «ریسک تجهیزات ایمنی حریق در ساختمان» می‌تواند به‌عنوان یکی از ریسک‌های حریق برای ساختمان‌های بلند مورد توجه قرار گیرد.

۲-۱-۲ ریسک تخلیه ایمنی حریق

تخلیه ایمنی حریق بیانگر آن است که به هنگام وقوع حریق در یک ساختمان چقدر قابلیت تخلیه ایمن وجود دارد (*Abdul Hafeez and Hassanain, 2005*). این قابلیت ارتباط مستقیمی با شرایط مناسب پله‌ها و مسیرهای تخلیه، شاخص دستورالعمل تخلیه و قابلیت اطمینان برنامه اقتضایی تخلیه دارد (*Sanni-Anibire and Hassanain, 2015; Li et al., 2016; Li et al., 2018*). راه‌پله سازه‌ای است که برای ارتباط دو سطح غیر همسطح در ساختمان به‌کار می‌رود و از اجزای کوچکتری به نام پله ساخته شده است (*Sanni-Anibire and Hassanain, 2015*). آسانسور، پله برقی، راهروها و پله‌های اضطراری سایر مسیرهای تخلیه هستند که باید مطابق با استاندارد و دستورالعمل تخلیه ایمن باشند زیرا در شرایط بحرانی کمک شایانی به تخلیه سریع افراد می‌کنند و خسارات مالی و جانی را کاهش می‌دهد (*Wei et al., 2018; Li and Zhu, 2018*). شاخص دستورالعمل تخلیه بر اساس جریان عبور جمعیت از یک نقطه از مسیر خروج تعیین می‌شود و شامل «مدت زمان خروج»، «تعداد نفرات» و «ظرفیت خروجی‌ها» است (*Sanni-Anibire and Hassanain, 2015; Li et al., 2016*). قابلیت اطمینان به احتمال اینکه یک سیستم بدون وقوع خرابی به وظایف تعیین‌شده با محدودیت‌های تعیین‌شده در شرایط کارکردی مشخص عمل کند، اشاره دارد. بنابراین «قابلیت اطمینان برنامه اقتضایی تخلیه» احتمال موفقیت در برنامه تخلیه افراد در هنگام حریق را نشان می‌دهد (*Abdul Hafeez and Hassanain, 2005; Li et al., 2018*). به‌طور کلی، بحث فوق نشان می‌دهد که ریسک تخلیه ایمنی حریق می‌تواند به‌عنوان یک ریسک حریق برای ساختمان‌های بلند در نظر گرفته شود.

۲-۱-۳ ریسک عملکرد حریق ساختمان

عملکرد حریق ساختمان به «حفاظت حریق منفعل» در ساختمان‌های بلند اشاره دارد. بررسی‌های مربوطه نشان می‌دهد که عملکرد حریق ساختمان می‌تواند یکی از مهمترین ریسک‌های حریق در ساختمان‌های بلند باشد (*De Silva et al., 2016*). حفاظت حریق منفعل شامل آن دسته از اقداماتی است که از ایجاد و تشدید خسارات ناشی از حریق پیشگیری کرده یا احتمال آنها را کاهش می‌دهند (*Grace Cheng et al., 2004; Wei et al., 2018*). مهمترین این اقدامات شامل «طرح‌بندی کلی ساختمان» (معماری ساختمان)، «مقاومت حریق مواد ساختمان» و «جداسازی منطقه دود و محفظه حریق» است. سازه ساختمان متشکل از منطقه جغرافیایی، نقشه ساختمان، موقعیت اتاق‌ها و آسانسور، راهروها، درهای خروج و امکانات موجود در ساختمان است (*Hassanain, 2009; Ma and Guo, 2012*). «مقاومت حریق مواد ساختمان» نشان‌دهنده توانایی اجزای ساختمان جهت جلوگیری از گسترش حریق از فضای محل وقوع به فضاهای مجاور است (*De Silva et al., 2016; Weng and Liu, 2017*). اصطلاح «مقاومت در برابر حریق» لزوماً فقط به قابلیت اشتعال مواد اشاره ندارد بلکه بر پایداری و عایق بودن در برابر حرارت و حریق تأکید دارد (*Wei et al., 2018*). عبدل حافظ و حسنیان[1](۲۰۰۵) بیان می‌کند که هریک از مصالح ساختمانی باید با این فرض استفاده شود که چقدر می‌تواند در برابر حریق‌های احتمالی و حرارت مقاوم باشد و از انتقال و گسترش حرارت و حریق به فضاهای درونی یا بیرونی جلوگیری کند. «جداسازی منطقه دود و محفظه حریق» یکی دیگر از فعالیت‌های اساسی برای حفاظت حریق منفعل است. هنگامی‌که یک ساختمان دچار حریق می‌شود دود، گاز، حرارت و شعله‌های آتش در داخل ساختمان منتشر می‌شوند. بر این اساس، لازم است باتوجه به کاربری و ابعاد هر ساختمان فضابندی مناسب ایجاد شود که با نصب مواد حریق‌بند در آنها می‌توان از مقاومت مطلوب در برابر حریق اطمینان ایجاد کرد. همچنین، راه‌های ارتباطی و فضاهای پنهان

1. Abdul Hafeez and Hassanain

نظیر شفت‌ها، محل عبور کابل‌ها و لوله‌ها، فضاهای بین دیوارها و نماهای خارجی ساختمان باید به نحوی طراحی شوند که از گسترش حریق جلوگیری شود (*Hassanain, 2010; Ma and Guo, 2012; Weng and Liu, 2017*). باتوجه به موارد فوق، ریسک عملکرد حریق ساختمان می‌تواند به‌عنوان یک ریسک حریق برای ساختمان‌های بلند باشد.

۲-۱-۴ ریسک وضعیت مدیریت ایمنی حریق

وقوع حریق‌های فاجعه‌بار نشان می‌دهد که چگونه ساختمان‌های بلند می‌توانند چالش‌های واقعی برای آتش‌نشان‌ها در تخلیه ساکنین ایجاد نمایند. بنابراین، مدیریت ایمنی حریق در ساختمان‌های بلند به‌منظور حفظ ریسک مهندسی حریق در محدوده مجاز بسیار مهم است (*Weng and Liu, 2017; Wei et al., 2018*). بررسی ادبیات مربوطه نشان می‌دهد که مدیریت ایمنی حریق شامل «سیستم مسئولیت ایمنی حریق»، «اجرای قوانین و مقررات پیشگیری حریق»، «بازرسی ایمنی حریق»، «قابلیت اضطرار حریق» و «نگهداری پیشگیرانه تسهیلات کنترل حریق» است. به‌طور معمول در سیستم مسئولیت ایمنی حریق در ساختمان همه مالکان و به‌ویژه مدیر ساختمان مسئول ایمنی حریق هستند. مدیر ساختمان باید ریسک‌های حریق در ساختمان را با کمک کارشناسان حریق شناسایی کرده و از حریق‌های احتمالی و خسارات جانی و مالی جلوگیری کند (*Weng and Liu, 2017; Wei et al., 2018*). «دفتر مقررات ملی ساختمان» قوانین و دستورالعمل‌های مختلفی را برای ساختمان‌های بلند باتوجه به نوع کاربری ساختمان، منطقه جغرافیایی و بسیاری از موارد دیگر وضع کرده است (*Li et al., 2018*). بازرسی ایمنی حریق باید توسط بازرسان پیشگیری از حریق انجام شود. این بازرسان بر اساس توانایی ایجاد انگیزه در مردم و دانش فنی مربوط به پیشگیری از حریق توسط «سازمان آتش‌نشانی» انتخاب می‌شوند. بازرسان مسئولیت نظارت منظم بر ساختمان، بررسی قوانین و مقررات پیشگیری از حریق و آموزش ساکنین ساختمان را بر عهده دارند (*Weng and Liu, 2017; Li et al., 2018*). قابلیت اضطرار حریق یک برنامه از پیش‌تعیین‌شده است که هدف آن ارائه اطلاعات پیشگیری از حریق و اقدامات قابل انتظار در شرایط اضطراری است (*Wei et al., 2018*). این برنامه باید شامل همه مراحل مقابله با حریق (یعنی از شناسایی شرایط تا انتقال به محیط امن) و الزامات روش‌ها و عملیات پیشگیری برای همه افرادی که در مدیریت شرایط اضطراری نقش دارند، باشد (*Weng and Liu, 2017; Li et al., 2018*). «نگهداری پیشگیرانه تسهیلات کنترل حریق» به مجموعه فعالیت‌ها و روش‌های منظم و دوره‌ای اطلاق می‌شود که به بررسی وضعیت موجود، به‌روزرسانی و حفظ تجهیزات پیشگیری از حریق در شرایط اضطراری اشاره دارد (*Abdul Hafeez and Hassanain, 2005*). دی‌سیلوا و همکاران[1] (۲۰۱۶) بیان می‌کند که این تجهیزات باید به‌طور دوره‌ای و سیستماتیک بازرسی شوند. به‌طور کلی، بحث فوق نشان می‌دهد که ریسک وضعیت مدیریت ایمنی حریق می‌تواند به‌عنوان یک ریسک حریق برای ساختمان‌های بلند در نظر گرفته شود.

۲-۱-۵ ریسک عوامل فاجعه‌ساز

بررسی ادبیات مربوط به حریق نشان می‌دهد که وقوع حریق و تشدید آن می‌تواند ناشی از عوامل مختلفی از جمله «سیستم توزیع، حفاظت رعد و برق و اتصال زمین»، «تراکم ساکنین»، «بار حریق داخلی ساختمان»، «دکوراسیون داخلی»، «ارتفاع ساختمان»، «عمر مفید ساختمان»، «محیط خارجی»، «تجهیزات الکتریکی» و «مواد و اشیاء سریع الاشتعال و منفجره در ساختمان» باشد. فقدان «سیستم حفاظت رعد و برق» یکی از عوامل وقوع حریق در ساختمان‌های بلند است (*De Silva et al., 2016*). هنگامی‌که ابرها حرکت می‌کنند دارای بارهای الکتریکی مثبت و منفی می‌شوند و به‌دنبال مکانی هستند که بار الکتریکی خود را تخلیه کنند. در مسیر حرکت، به «ساختمان‌های بلند»، «درختان بلند» یا «مکان‌های مرتفع» که تجمع بار الکتریکی در آنجا بیشتر است می‌رسند و تخلیه بار را انجام می‌دهند. به‌منظور جلوگیری از ریسک حریق ناشی از صاعقه، نصب یک «سیستم حفاظت رعد و برق و اتصال زمین» در ساختمان‌های بلند برای تخلیه بار الکتریکی صاعقه الزامی است (*Hu, 2016; Weng and Liu, 2017*). تراکم ساکنین به معنای نسبت جمعیت ساکن به مساحت یک مترمربع زمین است که با واحد «نفر بر مترمربع» اندازه‌گیری می‌شود (*Bahr, 2014*). مسلماً هرچه تراکم ساکنین بیشتر باشد، تخلیه ساختمان هنگام وقوع حریق سخت‌تر است (*Sanni-Anibire*

1. De Silva et al

and Hassanain, 2015). بار حریق ساختمان به مقدار کل انرژی حرارتی آزادشده از مواد سوختنی موجود در یک ساختمان گفته می‌شود که به دو دسته بار حریق داخلی و خارجی تقسیم‌بندی می‌شود (*Bahr, 2014*). به مقدار انرژی حرارتی آزادشده از مواد تشکیل‌دهنده سازه ساختمان بار حریق داخلی می‌گویند. همچنین بار حریق خارجی به مقدار انرژی حرارتی آزادشده از همه اشیاء و مواد سوختنی که در داخل ساختمان وجود دارد، اشاره می‌کند (*Weng and Liu, 2017*). دکوراسیون داخلی به‌معنای طراحی هماهنگ و یکپارچه برای به تصویر کشیدن رنگ‌ها، اثاثیه و سایر اشیاء در یک اتاق یا ساختمان است. به دلیل اینکه در اکثر موارد، جنس دکوراسیون داخلی از مواد قابل اشتعال است، بنابراین به‌منظور جلوگیری از ریسک حریق در ساختمان‌های بلند باید از مواد غیرقابل اشتعال یا ایمن‌تر نسبت به حریق در دکوراسیون داخلی استفاده شود (*Weng and Liu, 2017*).

«ارتفاع ساختمان» به فاصله مرتفع‌ترین نقطه ساختمان از سطح گذر اصلی اشاره دارد و هرچه ارتفاع ساختمان بیشتر باشد، نیاز به تجهیزات پیشرفته‌تر برای اطفاء حریق و توجه به مدیریت ایمنی حریق بیشتر است (*Ma and Guo, 2012*). بر اساس مقررات ملی ساختمان، عمر مفید ساختمان به مدت زمانی که ساختمان برای سکونت مناسب است، اشاره دارد و به دو عامل «ساختاری» و «مواد» تقسیم‌بندی می‌شود. عامل ساختاری شامل نوع خاک، فندانسیون، شرایط آب و هوایی و جغرافیایی منطقه، کاربری ساختمان و نوع اسکلت سازه (از جمله آجری، گلی، بلوکی، بتنی و فلزی) است. عامل مواد به کیفیت، نحوه نگهداری و بهره‌برداری از مصالح ساختمانی اشاره دارد (*Weng and Liu, 2017; Wei et al., 2018*). محیط خارجی به هر چیز خارج از ساختمان که ممکن است سبب حریق در ساختمان شود، اطلاق می‌شود (*Weng and Liu, 2017*). بررسی‌ها نشان می‌دهد که بسیاری از حریق‌ها از اطراف ساختمان‌های بلند شروع می‌شود و به داخل ساختمان وارد می‌شود (*Wei et al., 2018*). تجهیزات الکتریکی شامل هر وسیله‌ای است که با الکتریسیته کار می‌کند و عدم توجه به استفاده ایمن از این تجهیزات سبب ایجاد جرقه و در نهایت ایجاد حریق می‌شود (*Hu, 2016*). بر اساس مباحث فوق، ریسک عوامل فاجعه‌ساز می‌تواند به‌عنوان یکی از ریسک‌های حریق برای ساختمان‌های بلند مورد توجه قرار گیرد.

۶-۱-۲ ریسک تیپ اطفاء حریق[1]

از آنجایی‌که نوع حریق‌ها و واکنش متقابل نسبت به آنها بسیار متفاوت است، بنابراین تیپ اطفاء حریق باید توانایی و تخصص لازم را در اطفاء انواع حریق داشته باشد (*Wei et al., 2018*). برای دستیابی به این توانایی، ریسک‌هایی مانند «خط حریق»، «قابلیت کمک‌رسانی تیپ حریق محلی»، «امکانات تخلیه آتش‌نشانی»، «تجهیزات آتش‌نشانی»، «تعداد آتش‌نشان‌ها»، «تجربه آتش‌نشان‌ها» و «دسترس‌پذیری ایستگاه آتش‌نشانی» باید درنظر گرفته شوند. «خط حریق» راهی است که فقط ماشین‌های آتش‌نشانی اجازه عبور از آن را دارند و توجه به الزامات خاصی از جمله «ترافیک محلی»، «چراغ راهنمایی» و «عرض خیابان‌ها» برای طراحی خط حریق ضروری است (*Weng and Liu, 2017*). به دلیل حساسیت بالای حرفه آتش‌نشانی، سطح قابلیت و توانایی کارکنان باید بیشتر از مشاغل دیگر باشد. قابلیت کمک‌رسانی تیپ حریق محلی، کارایی آتش‌نشان‌ها را در حریق نشان می‌دهد (*Weng and Liu, 2017*). ما و گائو[2](۲۰۱۲) بیان می‌کند که قابلیت‌های اصلی آتش‌نشان‌های تیپ حریق شامل تخصص فنی در زمینه حریق، شجاعت و ریسک‌پذیری، خونسردی و کار تیمی است. «امکانات تخلیه آتش‌نشانی و تدارکات خروج» به همه اقدامات و تجهیزاتی اشاره دارد که برای خارج کردن افراد از ساختمانی که دچار حریق شده است استفاده می‌شود (*Chu et al., 2007*). تجهیزات آتش‌نشانی شامل کپسول آتش‌نشانی، هیدرانت، آچار آتش‌نشانی، جعبه آتش‌نشانی، قرقره آتش‌نشانی (هوزریل) است که برای اطفاء حریق مورد نیاز هستند (*Wei et al., 2018*).

چو و همکاران[3](۲۰۰۷) اشاره می‌کند که تعداد آتش‌نشان‌های موجود در ایستگاه‌های آتش‌نشانی نکته‌ای بسیار مهم است که با برنامه‌ریزی نیروی انسانی به‌شیوه‌ای صحیح می‌توان خسارات ناشی از حریق را کاهش داد. باتوجه به نوع تیپ ایستگاه آتش‌نشانی و نوع و تعداد خودرو عملیاتی موجود در هر ایستگاه، برای یک شیفت کاری حداقل تعداد ۱۵ نفر نیروی عملیاتی بر اساس استانداردهای موجود در نظر گرفته شده است. بنابراین

1.Brigade
2. Ma and Guo
3. Chu et al

یک ایستگاه آتش‌نشانی برای سه شیفت کاری در یک روز، نیاز به ۴۵ نفر نیروی عملیاتی دارد (*NFSI, 2018*). مسئولیت عملیات به عهده فرمانده عملیات است که از افراد باتجربه در تیپ آتش‌نشانی انتخاب می‌شود. تجربه و دانش فرمانده یکی از عوامل مؤثر در توانایی اطفاء حریق توسط تیپ حریق است (*Wei et al., 2018*). وی و همکاران[1] (۲۰۱۸) بیان می‌کند که دسترس‌پذیری ایستگاه آتش‌نشانی در نقاط مختلف شهری در کاهش خسارات ناشی از حریق بسیار مؤثر است. به‌منظور تعیین بهترین موقعیت مکانی، ایستگاه‌های آتش‌نشانی باید بر اساس معیارهای مختلفی از جمله شعاع پوششی، تراکم جمعیت، نزدیکی به معابر و کاربری اراضی جایابی شوند. به‌طور کلی، بحث فوق نشان می‌دهد که ریسک توانایی اطفاء حریق تیپ می‌تواند به‌عنوان یک ریسک حریق برای ساختمان‌های بلند باشد.

۲-۱-۷ ریسک رفتار انسانی

ریسک رفتار انسانی به کلیه ریسک‌های حریقی که می‌تواند ناشی از رفتار انسان باشد اشاره دارد (*Li et al., 2018*). بررسی ادبیات مربوطه نشان می‌دهد که «آموزش»، «آگاهی»، «فرهنگ» و «تعهد و مسئولیت‌پذیری» ساکنین ساختمان درخصوص مدیریت ایمنی حریق می‌تواند به‌طور قابل ملاحظه‌ای ریسک حریق را کاهش دهد. وی و همکاران (۲۰۱۸) اشاره می‌کند که آموزش ایمنی حریق به ساکنین ساختمان‌های بلند اهمیت بسیاری دارد. آموزش حفاظت عمومی درباره حریق دو جنبه دارد که عبارتند از (*Wei et al., 2018*): «پیشگیری» و «واکنش در برابر حریق». ساکنین باید تشویق شوند و یاد بگیرند که چگونه به هنگام وقوع حریق عمل کنند تا در صورت گسترش حریق اثرات خطرناک آن به حداقل برسد. باهر[2] (۲۰۱۴) استدلال می‌کند که آگاهی ساکنین ساختمان در خصوص مدیریت ایمنی حریق کلید رفتارهای درست و منطقی در برابر حریق است. سازمان آتش‌نشانی می‌تواند در توسعه آموزش و آگاهی مردم درباره حفاظت ایمنی حریق نقش بااهمیتی داشته باشد. سانی‌انیبیر و حسنیان[3] (۲۰۱۵) متذکر می‌شوند که سازمان آتش‌نشانی می‌تواند در جهت ارتقاء دانش و اطلاعات مردم درباره فرهنگ ایمنی حریق و اهمیت نصب و نگهداری سیستم‌های اطفاء حریق اقدام نماید. اگر توجه به حفاظت ایمنی در فرهنگ و رفتار ساکنین ساختمان‌های بلند نهادینه شود، آنگاه می‌توان ریسک حریق را به اندازه قابل توجهی مدیریت کرد (*Sanni-Anibire and Hassanain, 2015*). زمانی می‌توان ادعا کرد که تلاش‌ها برای سازماندهی و نهادینه کردن ایمنی حریق مؤثر است که ساکنین ساختمان‌های بلند در مقابل مدیریت ایمنی حریق متعهد و مسئولیت‌پذیر باشند (*Weng and Liu, 2017*). بر اساس مطالب فوق، ریسک رفتار انسانی می‌تواند به‌عنوان یکی از ریسک‌های حریق برای ساختمان‌های بلند مورد توجه قرار گیرد.

۲-۲ پیشینه تحقیق

برخی محققین مدل‌های ارزیابی ریسک مختلفی را توسعه دادند. برای مثال، لی و همکاران (۲۰۱۱) ریسک حریق را با استفاده از روش TOPSIS[4] ارزیابی کردند. کیان و همکاران[5] (۲۰۱۲) سیستم شاخص ارزیابی ریسک حریق شهری را بر اساس امکان (احتمال وقوع) و شدت حریق شهری ارائه دادند. یانگ و همکاران[6] (۲۰۱۲) تحلیل رابطه خاکستری را به‌منظور ارزیابی ریسک حریق برای ساختمان‌های زیرزمینی به‌کار بردند. کی‌شوان[7] (۲۰۱۳) سیستم شاخص ارزیابی ریسک حریق را برای مراکز تجاری بزرگ با توجه به ویژگی‌های حریق معرفی کردند. ژنگ[8] (۲۰۱۴) ریسک حریق برای استادیوم‌های چین را با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی[9] (AHP) ارزیابی کرد. سان و لو[10] (۲۰۱۴) همچنین یک سیستم ارزیابی ریسک حریق برای ساختمان‌های فوق‌العاده بلند را ارائه کردند. امیدواری و همکاران[11] (۲۰۱۵) یک مدل ارزیابی ریسک حریق بر اساس روش نمره اولویت ریسک[12] (RPN) را برای آزمایشگاه‌های مراکز آموزشی در ایران توسعه دادند. جیانگ و همکاران[13] (۲۰۱۵) سیستم ارزیابی ریسک حریق برای ساختمان‌های بلند را معرفی کردند. لیو و همکاران[14] (۲۰۱۷) ریسک حریق برای

1. Wei et al
2. Bahr
3. Sanni-Anibire and Hassanain
4. Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS)
5. Qian et al
6. Yang et al
7. Ke-xuan
8. Zheng
9. Analytic Hierarchy Process (AHP)
10. Sun and Luo
11. Omidvari et al
12. Risk Priority Number (RPN)
13. Jiang et al
14. Liu et al

ساختمان‌های تجاری بلند را بر اساس روش آنتروپی ارزیابی کردند. لی و همکاران (۲۰۱۸) یک مدل فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی فازی و خاکستری را برای ارزیابی ریسک حریق ساختمان‌های بلند ارائه دادند. به‌طور کلی، جدول ۱ ریسک‌های حریق برای ساختمان‌های بلند که در مطالعات گذشته آمده است را نشان می‌دهد.

جدول ۱- ریسک‌های حریق برای ساختمان‌های بلند (گردآوری توسط محقق)

ریسک‌های اصلی/ کد اصلی	کد فرعی	ریسک‌های فرعی	منبع
ریسک تجهیزات ایمنی حریق در ساختمان (A_1)	A_{1-1}	سیستم خاموش‌کننده حریق	(*Hassanain, 1998; Wong et al.,1999; Marchant, 2000; Chow et al., 2002; Subramaniam, 2004; Abdul Hafeez and Hassanain, 2005; Hassanain, 2009; Hassanain, 2010; Wang and Liu, 2010; Ma and Guo, 2012; Bontempi et al., 2013; Li et al., 2016; Hu, 2016; Liu et al., 2017; Li et al., 2018; Wei et al., 2018; Sheeba and Jayaparvathy, 2019*)
	A_{1-2}	سیستم کنترل دود	
	A_{1-3}	آسانسور (بالابر) حریق	
	A_{1-4}	سیستم آب‌پاش اتوماتیک	
	A_{1-5}	سیستم شیر اطفاء حریق (داخلی و خارجی)	
	A_{1-6}	سیستم اعلان حریق (زنگ هشداردهنده) و سیستم پیوند حریق	
	A_{1-7}	سیستم ارتباط و انتشار اضطراری حریق	
ریسک تخلیه ایمنی حریق (A_2)	A_{2-1}	پله‌ها و مسیرهای تخلیه	(*Hassanain, 1998; Marchant, 2000; Subramaniam, 2004; Abdul Hafeez and Hassanain, 2005; Chu et al., 2007; Hassanain, 2009; Ma and Guo, 2012; Sanni-Anibire and Hassanain, 2015; Li et al., 2016; Li et al., 2018; Wei et al., 2018; Li and Zhu, 2018; Sheeba and Jayaparvathy, 2019*)
	A_{2-2}	شاخص دستورالعمل تخلیه (مانند تعداد و ظرفیت خروجی‌ها)	
	A_{2-3}	قابلیت اطمینان برنامه اقتضایی تخلیه	
ریسک عملکرد حریق ساختمان (A_3)	A_{3-1}	طرح کلی یا معماری ساختمان	(*Marchant, 2000; Grace Cheng et al., 2004; Abdul Hafeez and Hassanain, 2005; Hassanain, 2009; Hassanain, 2010; Wang and Liu, 2010; Ma and Guo, 2012; De Silva et al., 2016; Li et al., 2016; Li et al., 2018; Wei et al., 2018*)
	A_{3-2}	مقاومت حریق مواد ساختمان	
	A_{3-3}	جداکننده منطقه دود و محفظه حریق	
ریسک وضعیت مدیریت ایمنی حریق (A_4)	A_{4-1}	سیستم مسئولیت ایمنی حریق	(*Wang and Liu, 2010; Li et al., 2018; Wei et al., 2018*)
	A_{4-2}	اجرای قوانین و مقررات پیشگیری حریق	
	A_{4-3}	بازرسی ایمنی حریق و وضعیت مقررات (از جمله مشخص بودن تابلوها و علائم خروج اضطراری و تعیین فضای امن در ساختمان	
	A_{4-4}	قابلیت یا برنامه اضطرار حریق (مانند فعال شدن سیستم روشنایی اضطراری در مسیر خروج از ساختمان)	
	A_{4-5}	نگهداری پیشگیرانه تجهیزات کنترل حریق	
ریسک عوامل فاجعه‌ساز (A_5)	A_{5-1}	ارتفاع ساختمان	(*Abdul Hafeez and Hassanain, 2005; Hassanain, 2009; Ma and Guo, 2012; Bahr, 2014; Sanni-Anibire and Hassanain, 2015; Hu, 2016; Weng and Liu, 2017; Wei et al., 2018*)
	A_{5-2}	تراکم ساکنین	
	A_{5-3}	بار حریق داخلی ساختمان (بارهای حریق زنده و مرده)	
	A_{5-4}	نگهداری مواد سریع الاشتعال در ساختمان	
	A_{5-5}	سیستم‌های توزیع، حفاظت رعد و برق و اتصال زمین (ارت)	
	A_{5-6}	عمر مفید ساختمان	

	A_{5-7}	محیط خارجی	
	A_{5-8}	تجهیزات الکتریکی و تأسیساتی	
	A_{5-9}	دکوراسیون داخلی	
	A_{6-1}	خط حریق (مسیر حریق)	
	A_{6-2}	قابلیت کمک‌رسانی تیپ حریق محلی	
ریسک تیپ اطفاء حریق (A_6)	A_{6-3}	امکانات تخلیه تیپ حریق	(*Subramaniam, 2004; Abdul Hafeez and Hassanain, 2005; Chu et al., 2007; Wang and Liu, 2010; Ma and Guo, 2012; Wei et al., 2018*)
	A_{6-4}	تجهیزات تیپ حریق	
	A_{6-5}	تعداد آتش‌نشانان	
	A_{6-6}	تجربه آتش‌نشانان	
	A_{6-7}	دسترس‌پذیری ایستگاه آتش‌نشانی	
	A_{6-8}	توانایی تهویه در عملیات اطفاء حریق	
	A_{7-1}	آموزش ایمنی حریق به ساکنین	
ریسک رفتار انسان (A_7)	A_{7-2}	آگاهی ساکنین درباره مدیریت ایمنی حریق	(*Wang and Liu, 2010; Bahr, 2014; Sanni-Anibire and Hassanain, 2015; Li et al., 2018; Wei et al., 2018*)
	A_{7-3}	فرهنگ ایمنی ساکنین	
	A_{7-4}	تعهد و مسئولیت‌پذیری ساکنین درخصوص مدیریت ایمنی حریق	

۳- روش‌شناسی تحقیق

پژوهش حاضر بر اساس نتیجه یا هدف از نوع کاربردی است و به لحاظ روش، یک تحقیق توصیفی است. این مطالعه به لحاظ جمع‌آوری داده‌ها یک تحقیق پیمایشی و بر اساس روش تحلیل داده‌ها یک تحقیق کمّی محسوب می‌شود (*Harkiolakis, 2017*). جامعه این تحقیق سازمان آتش‌نشانی و خدمات ایمنی شهر تهران است و ۷ فرماندهان اصلی که دارای حداقل ۱۰ سال سابقه کاری و تجربه بیش از ۵ اطفاء حریق در ساختمان‌های بلند هستند، به‌عنوان خبرگان تحقیق انتخاب شدند. جدول ۲ ویژگی‌های جمعیت‌شناختی خبرگان تحقیق را نشان می‌دهد.

جدول ۲- ویژگی‌های جمعیت‌شناختی خبرگان تحقیق

خبره	جنسیت	سن (سال)	تحصیلات	سابقه کاری (سال)	تعداد تجربه اطفاء حریق ساختمان‌های بلند
۱	مرد	۴۰	کارشناسی ارشد	۱۵	۸
۲	مرد	۴۸	دکتری	۱۸	۱۰
۳	مرد	۳۸	کارشناسی ارشد	۱۱	۶
۴	مرد	۴۱	کارشناسی ارشد	۱۲	۹
۵	مرد	۴۴	کارشناسی ارشد	۱۶	۹
۶	مرد	۳۷	کارشناسی ارشد	۱۲	۸
۷	مرد	۳۹	دکتری	۱۵	۶

در این پژوهش برای جمع‌آوری داده‌ها و اطلاعات از دو روش کتابخانه‌ای و میدانی استفاده شد. به‌منظور جمع‌آوری اطلاعات مربوط به توصیف موضوع پژوهش و استخراج ریسک‌های حریق در ساختمان‌های بلند از روش کتابخانه‌ای استفاده شد. در روش میدانی، اطلاعات مورد نیاز از خبرگان با استفاده از پرسشنامه تکنیک‌های FISM و FANP جمع‌آوری گردید. پرسشنامه پژوهش شامل دو بخش عمومی و تخصصی است. بخش عمومی به سؤالات مرتبط با ویژگی‌های دموگرافیک خبرگان تحقیق (از جمله جنسیت، سن، تحصیلات، تجربه کاری و تعداد تجربه اطفاء حریق در ساختمان‌های بلند) اختصاص دارد. بخش تخصصی شامل پرسشنامه تعیین روابط درونی بین ریسک‌ها و میزان آن برای تکنیک FISM و پرسشنامه مقایسه زوجی ریسک‌ها برای FANP است. در این تحقیق ۷ ریسک اصلی حریق و ۳۹ ریسک فرعی حریق برای ساختمان‌های بلند با استفاده از بررسی عمیق تحقیقات گذشته و جرح و تعدیل آنها، تصدیق و استخراج شدند. به‌منظور جرح و تعدیلات لازم برای استخراج ریسک‌ها، از روش‌های زیر استفاده گردید:

- بررسی عمیق ادبیات تحقیق و میزان فراوانی یا اهمیت معرفی ریسک‌های حریق برای ساختمان‌های بلند
- نظرات ۵ نفر از اساتید دانشگاه با زمینه پژوهشی درباره مدیریت ریسک حریق

- نظرات خبرگان تحقیق

به‌منظور تأیید روایی پرسشنامه تحقیق از روایی محتوا استفاده شد (*Harkiolakis, 2017*). بدین معنا که پرسشنامه پژوهش توسط اساتید آکادمیک و خبرگان تحقیق تأیید گردید. همچنین بر اساس هارکیولاکیس[1] (۲۰۱۷)، باتوجه به جمع‌آوری ریسک‌ها از طریق بررسی عمیق تحقیقات مربوطه، می‌توان بیان کرد که ریسک‌های شناسایی‌شده روایی مناسبی دارند. مفهوم «سازگار کردن ماتریس دستیابی» در تکنیک ISM (*Jitesh Thakkar et al., 2007; Valmohammadi and dashti, 2016*) و نرخ سازگاری در تکنیک ANP (*Mikhailov and Tsvetinov, 2004*) به دقت نظرات خبرگان و قابلیت اطمینان یافته‌های تحقیق اشاره دارد و می‌توانند پایایی پرسشنامه مربوطه را تعیین کنند، بنابراین پایایی داده‌های جمع‌آوری‌شده قابل قبول است.

بر اساس پیشنهاد والمحمدی و دشتی[2] (۲۰۱۶)، به‌منظور افرازبندی ریسک‌های شناسایی‌شده و تعیین روابط بین آنها از تکنیک ISM استفاده شد. همچنین به‌منظور تعیین وزن ریسک‌ها با استفاده از تکنیک FANP، میزان روابط بین ریسک‌ها باید مشخص باشد (*Kamali Mohammadzadeh et al, 2018*) که تکنیک ISM فاقد چنین ویژگی است. تکنیک FISM می‌تواند در رفع این مسأله راهگشا باشد زیرا علاوه بر تعیین روابط بین عوامل، میزان رابطه بین این عوامل را نیز مشخص می‌کند (*Attri and Grover, 2017*).

بر اساس پیشنهاد کمالی محمدزاده و همکاران[3] (۲۰۱۸)، برای اولویت‌بندی ریسک‌های حریق در ساختمان‌های بلند از ANP فازی استفاده شد. این رویکرد به دلیل توانایی‌اش جهت در نظر گرفتن روابط عمومی بیشتر نسبت به AHP به‌کار گرفته شد (*Oztaysi et al., 2016*). علاوه بر این، ترکیب ANP با تئوری فازی به علت عدم توانایی مدل اصلی ANP جهت بررسی نظرات ذهنی تصمیم‌گیرندگان در فرایند مقایسه زوجی در محیط عدم قطعیت است (*Kamali Mohammadzadeh et al, 2018*). تئوری مجموعه فازی توسط زاده در دهه ۱۹۶۰ به‌منظور توصیف نادقیق یا مبهم فرآیندهای شناختی انسان در ریاضیات معرفی شد (*Arunraj et al, 2013*). تئوری مجموعه فازی برای مسائل وسیعی در زمینه‌های مختلف کاربرد دارد (*Hirota and Sugeno, 1995; Zadeh et al., 1996; Wang, 2012*). پیاده‌سازی منطق فازی قضاوت‌های قابل اطمینان بیشتری را نسبت به روش‌های دقیق برای تصمیم‌گیرندگان فراهم می‌کند.

۴- تحلیل داده‌ها

۴-۱ طبقه‌بندی ریسک‌های حریق: مدل‌سازی ساختاری تفسیری

تکنیک مدل‌سازی ساختاری تفسیری (ISM) اولین بار توسط وارفیلد[4] (۱۹۷۴) به‌منظور تحلیل سیستم‌های اقتصادی-اجتماعی پیچیده استفاده شد. این تکنیک بر اساس تئوری گراف و متعلق به خانواده رویکردهای نقشه علّی است و به‌منظور شناسایی روابط بین عوامل یک موضوع خاص استفاده می‌شود (*Jitesh Thakkar et al., 2007*). در این تحقیق، تجمیع نظرات خبرگان به‌منظور تعیین روابط متقابل میان عوامل در نظر گرفته شد. مراحل تکنیک ISM در پژوهش حاضر به شرح ذیل است (*Jitesh Thakkar et al., 2007; Valmohammadi and dashti, 2016*):

مرحله اول- تعیین لیست ریسک‌های شناسایی‌شده: بر اساس تحقیقات گذشته، هفت ریسک اصلی حریق برای ساختمان‌های بلند شناسایی شدند (جدول ۱).

مرحله دوم- تشکیل ماتریس خودتعاملی ساختاری (SSIM): در این مرحله، باتوجه به جدول ۳ باید روابط درونی بین ریسک‌ها تعیین شود (*Valmohammadi and dashti, 2016*) که در ماتریس خودتعاملی ساختاری نشان داده شد (جدول ۴).

مرحله سوم- تشکیل ماتریس دستیابی: در این مرحله، به‌منظور تشکیل ماتریس دستیابی باید نمادهای روابط درونی در ماتریس خودتعاملی ساختاری به اعداد صفر و یک تبدیل شوند (*Jitesh Thakkar et al., 2007*) که قواعد تبدیل در جدول ۳ ارائه شد.

مرحله چهارم- سازگار کردن ماتریس دستیابی: پس از تشکیل ماتریس دستیابی، سازگاری آن باید بررسی شود. به‌عبارتی ماتریس دستیابی باید خاصیت ترایایی داشته باشد. خاصیت ترایابی بیان می‌کند که اگر ریسک A منجر به ریسک B شود و ریسک B منجر به ریسک C شود، آنگاه باید ریسک A به

1. Harkiolakis
2. Valmohammadi and dashti
3. Kamali Mohammadzadeh et al
4. Warfield

ریسک C منجر شود (*Jitesh Thakkar et al., 2007*). اگر ماتریس دستیابی خاصیت ترایایی نداشته باشد، باید این ماتریس به‌وسیله روش قواعد ریاضی تعدیل شود (*Jitesh Thakkar et al., 2007*). در این روش، ماتریس دستیابی به توان $K+1$ رسانده می‌شود ($K \geq 1$) و این عمل بر اساس قاعده بولین[1] که در زیر آمده است (رابطه ۱) تا جایی ادامه می‌یابد که دیگر ماتریس حاصله تغییری نکند.

$$1 \times 1 = 1, \quad 1+1 = 1, 1+0 = 0+1 = 1, 0+0 = 0 \qquad (1)$$

جدول ۵، نتایج سازگار کردن ماتریس دستیابی را با استفاده از روش قواعد ریاضی نشان می‌دهد. در ماتریس دستیابی سازگارشده، درایه‌ای که علامت (*) دارد بیانگر آن است که عدد این درایه در ماتریس دستیابی صفر است و پس از سازگاری، عدد یک را به خود اختصاص داده است.

جدول ۳- روابط درونی بین ریسک‌ها در ماتریس خودتعاملی ساختاری (*Jitesh Thakkar et al., 2007*)

نماد روابط درونی	شرح	(i,j)	(j,i)
V	ریسک سطری i منجر به ریسک ستونی j می‌شود.	۱	۰
A	ریسک ستونی j منجر به ریسک سطری i می‌شود.	۰	۱
X	بین ریسک سطری i و ریسک ستونی j رابطه دو طرفه وجود دارد.	۱	۱
O	بین ریسک سطری i و ریسک ستونی j هیچ نوع رابطه‌ای وجود دارد.	۰	۰

جدول ۴- ماتریس خودتعاملی ساختاری

ریسک‌ها	A_1	A_2	A_3	A_4	A_5	A_6	A_7
A_1	---	---	V	A	O	O	A
A_2	---	---	---	A	A	A	A
A_3	---	---	---	---	V	O	O
A_4	---	---	---	---	---	A	A
A_5	---	---	---	---	---	---	A
A_6	---	---	---	---	---	---	O
A_7	---	---	---	---	---	---	---

جدول ۵- ماتریس دستیابی سازگارشده

ریسک‌ها	A_1	A_2	A_3	A_4	A_5	A_6	A_7
A_1	۱	۱	۰	۰	۰	۰	۰
A_2	۰	۱	۰	۰	۰	۰	۰
A_3	۱	۱	۱	۰	۱	۰	۰
A_4	۱	۱	۱	۱	۱	۰	۰
A_5	۰	۱	۰	۰	۱	۰	۰
A_6	۱*	۱	۱*	۱	۱*	۱	۰
A_7	۱	۱	۱*	۱	۱	۰	۱

مرحله پنجم- تعیین سطح و اولویت ریسک: برای تعیین سطح و اولویت ریسک‌ها، باید مجموعه دستیابی و مجموعه تقدم برای هر ریسک تعیین شود (*Jitesh Thakkar et al., 2007*). مجموعه دستیابی هر ریسک شامل ریسک‌هایی است که به‌وسیله ریسک مورد نظر می‌توان به آنها دست یافت و مجموعه پیش‌نیاز هر ریسک شامل ریسک‌هایی است که به‌وسیله آنها می‌توان به ریسک مور نظر دست یافت. این مجموعه‌ها با استفاده از ماتریس دستیابی به‌دست می‌آید. پس از تعیین مجموعه‌های دستیابی و تقدم، عناصر مشترک هر دو مجموعه شناسایی شده و اگر عناصر مجموعه مشترک با عناصر مجموعه دستیابی کاملاً یکسان باشند، سطح ریسک تعیین می‌شود (*Valmohammadi and dashti, 2016*). به‌عبارتی در جدول ۶، ریسکی بالاترین سطح را دارد که عناصر مجموعه دستیابی و مجموعه مشترک آن کاملاً یکسان است. پس از تعیین این ریسک، آن را از جدول حذف کرده و با ریسک‌های باقیمانده جدول بعدی تشکیل می‌شود. در تکرار دوم، همانند قبل، ریسک‌های سطح دوم تعیین می‌شوند و تکرار تا تعیین سطح همه ریسک‌ها ادامه می‌یابد (*Jitesh Thakkar et al., 2007*). در این تحقیق، ریسک‌های شناسایی‌شده در پنج سطح افرازبندی شدند که تکرار اول، نتیجه نهایی پنج تکرار انجام‌شده و قدرت نفوذ و وابستگی هریک از ریسک‌ها در جدول ۶ آمده است.

1. Boolean

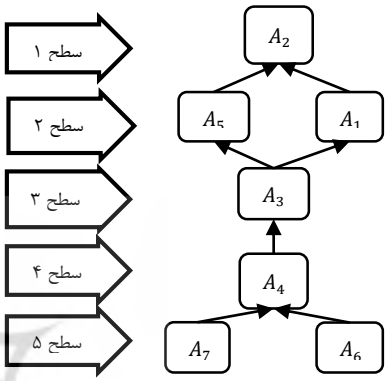
جدول ۶- تعیین سطح و اولویت ریسک‌ها

کد	ریسک‌ها	مجموعه دستیابی	مجموعه تقدم	فصل مشترک (اشتراک بین مجموعه‌های دستیابی و پیش‌نیاز)	سطح (فصل مشترک = مجموعه دستیابی)	قدرت نفوذ	قدرت وابستگی
A_1	ریسک تجهیزات ایمنی حریق در ساختمان (۱)	۱، ۲	۱، ۳، ۴، ۶، ۷	۱	سطح دوم	۲	۵
A_2	ریسک تخلیه ایمنی حریق (۲)	۲	۱، ۲، ۳، ۴، ۵، ۶، ۷	۲	سطح اول	۱	۷
A_3	ریسک عملکرد حریق ساختمان (۳)	۱، ۲، ۳، ۵	۳، ۴، ۶، ۷	۳	سطح سوم	۴	۴
A_4	ریسک وضعیت مدیریت ایمنی حریق (۴)	۱، ۲، ۳، ۴، ۵	۴، ۶، ۷	۴	سطح چهارم	۵	۳
A_5	ریسک عوامل فاجعه‌ساز (۵)	۲، ۵	۳، ۴، ۵، ۶، ۷	۵	سطح دوم	۲	۵
A_6	ریسک تیپ اطفاء حریق (۶)	۱، ۲، ۳، ۴، ۵، ۶	۶	۶	سطح پنجم	۶	۱
A_7	ریسک رفتار انسانی (۷)	۱، ۲، ۳، ۴، ۵، ۷	۷	۷	سطح پنجم	۶	۱

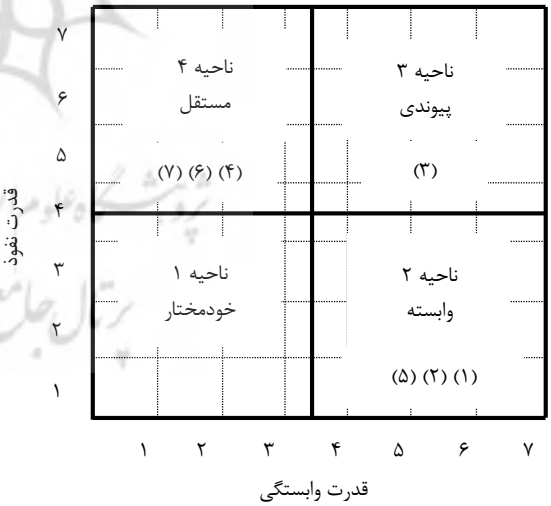
پس از تعیین روابط و سطح ریسک‌های حریق برای ساختمان‌های بلند، می‌توان آنها را به‌صورت مدلی ترسیم نمود. به‌همین منظور ابتدا ریسک‌ها بر حسب سطح‌شان به ترتیب از بالا به پایین ترسیم می‌شوند. در تحقیق حاضر ریسک‌ها در پنج سطح قرار گرفتند (شکل ۲). در بالاترین سطح مدل (سطح اول) «ریسک تخلیه ایمنی حریق» (۲) قرار گرفته است. در سطح دوم «ریسک تجهیزات ایمنی حریق در ساختمان» (۱) و «ریسک عوامل فاجعه‌ساز» (۵) قرار گرفتند. در سطح سوم «ریسک عملکرد حریق ساختمان» (۳) وجود دارد. در سطح چهارم «ریسک وضعیت مدیریت ایمنی حریق» (۴) قرار دارد. در پایین‌ترین سطح مدل (سطح پنجم) «ریسک تیپ اطفاء حریق» (۶) و «ریسک رفتار انسانی» (۷) قرار گرفتند که همانند سنگ زیربنایی برای مدل ساختاری تفسیری ریسک حریق در ساختمان‌های بلند عمل می‌کنند و باید تمرکز بر این ریسک‌ها را در اولویت قرار داد و سپس به سایر ریسک‌ها در سطوح بالاتر توجه کرد. با توجه به روابط بین ریسک‌ها، نظرات خبرگان برای ترسیم مدل ساختاری تفسیری (شکل ۲) تجمیع شد. همان‌طور که در شکل ۲ مشاهده می‌شود ریسک‌های سطوح پایین‌تر بر ریسک‌های سطوح بالاتر تأثیر می‌گذارند.

مرحله ششم- تحلیل MICMAC: در تحلیل *MICMAC*، ریسک‌ها باتوجه به قدرت نفوذ و قدرت وابستگی که در جدول ۶ نشان داده شد، به چهار ناحیه (شکل ۳) طبقه‌بندی می‌شوند (*Jitesh Thakkar et al., 2007*). ناحیه اول، ریسک‌های خودمختار هستند که دارای قدرت نفوذ و وابستگی ضعیفی هستند. به‌عبارتی این ریسک‌ها ارتباط ضعیفی با سایر ریسک‌ها دارند. در این تحقیق، هیچ ریسکی در این ناحیه وجود ندارد. ناحیه دوم، ریسک‌های وابسته هستند که قدرت محرک ضعیف اما قدرت وابستگی بالایی دارند. این ریسک‌ها تأثیرگذاری کمتری بر سایر ریسک‌ها دارند. در این تحقیق، «ریسک تجهیزات ایمنی حریق در ساختمان» (۱)، «ریسک تخلیه ایمنی حریق» (۲) و «ریسک عوامل فاجعه‌ساز» (۵) در این ناحیه قرار گرفتند. ناحیه سوم ریسک‌های پیوندی نام دارند که دارای قدرت

نفوذ و قدرت وابستگی قوی هستند. هر اقدامی روی این ریسک‌ها تأثیری بر دیگر ریسک‌ها و یا بازخوردی به خودشان خواهد داشت. در این تحقیق، «ریسک عملکرد حریق ساختمان» (۳) در این ناحیه است. ناحیه چهارم ریسک‌های مستقل هستند که دارای قدرت نفوذ قوی و قدرت وابستگی ضعیف هستند و شامل «ریسک وضعیت مدیریت ایمنی حریق» (۴)، «ریسک تیپ اطفاء حریق» (۶) و «ریسک رفتار انسانی» (۷) است.



شکل ۲- مدل ساختاری تفسیری ریسک‌های حریق



شکل ۳- تحلیل *MICMAC* ریسک‌های حریق برای ساختمان‌های بلند (قدرت نفوذ- قدرت وابستگی)

۴-۱-۱ تحلیل MICMAC فازی مبتنی بر ISM

رویکرد تحلیل MICMAC فازی مبتنی بر ISM توسط نویسندگان مختلف برای حل انواع مختلف مسائل استفاده شده است. کتیار و همکاران[1] (۲۰۱۵) رویکرد MICMAC فازی را برای بررسی تعاملات میان عوامل کلیدی زنجیره تأمین در صنایع خودرو هند به‌کار گرفتند. گوران و کانت[2] (۲۰۱۳) توانمندسازهای مدیریت زنجیره تأمین را با استفاده از این رویکرد مدل‌سازی کردند. در توسعه مدل ISM، رابطه بین دو ریسک با ۰ یا ۱ نشان داده می‌شود. زمانی‌که بین ریسک‌ها رابطه‌ای وجود ندارد صفر است و هنگامی‌که بین ریسک‌ها رابطه وجود دارد، یک است. بر اساس ماتریس دستیابی نهایی، ریسک‌ها دارای اهمیت برابر هستند (یعنی ۱)، اما نمی‌توان در همه زمان‌ها ۱ باشند. در ماتریس دستیابی نهایی، برخی ریسک‌ها ممکن است روابط قوی داشته باشند در حالی‌که برخی دیگر ممکن است روابط ضعیف داشته باشند. برای غلبه بر این کمبود، ISM فازی به شرح ذیل توسعه می‌یابد.

مرحله ۱- توسعه ماتریس رابطه مستقیم باینری[3] (BDRM): ماتریس رابطه مستقیم باینری (جدول ۷) به‌وسیله رابطه مستقیم میان ریسک‌ها در ISM به‌دست می‌آید. در این ماتریس، ورودی‌های قطری صفر می‌شوند و برای به‌دست آوردن ماتریس رابطه مستقیم باینری، ویژگی انتقال‌پذیری نادیده گرفته می‌شود (*Attri and Grover, 2017*).

جدول ۷- ماتریس رابطه مستقیم باینری

ریسک‌ها	A_1	A_2	A_3	A_4	A_5	A_6	A_7
A_1	۰	۱	۰	۰	۰	۰	۰
A_2	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
A_3	۱	۱	۰	۰	۱	۰	۰
A_4	۱	۱	۱	۰	۱	۰	۰
A_5	۰	۱	۰	۰	۰	۰	۰
A_6	۰	۱	۰	۱	۰	۰	۰
A_7	۱	۱	۰	۱	۱	۰	۰

مرحله ۲- توسعه ماتریس روابط مستقیم فازی[4] (FDRM): تحلیل MICMAC سنتی یک نوع رابطه باینری را در نظر

1. Katiyar et al
2. Gorane and Kant
3. Binary Direct Relationship Matrix (BDRM)
4. Fuzzy Direct Relationship Matrix (FDRM)

می‌گیرد، یعنی ۰ و ۱. اما تحلیل MICMAC فازی[1] (FMICMAC) از تئوری مجموعه فازی برای افزایش حساسیت تحلیل MICMAC سنتی استفاده می‌کند (*Attri and Grover, 2017*). در مقایسه با MICMAC سنتی، MICMAC فازی از یک ورودی اضافی امکان تعامل بین ریسک‌ها را بر اساس مقیاس ۰-۱ که در جدول ۸ ارائه شده است، نشان می‌دهد. برای این منظور، تجمیع نظرات خبرگان برای تعیین ارتباط بین عوامل در نظر گرفته می‌شود (جدول ۹).

جدول ۸- امکان ارزش عددی دستیابی (مقیاس عددی فازی برای تعیین میزان روابط بین ریسک‌ها) (*Attri and Grover, 2017*)

میزان رابطه	هیچ	خیلی کم	کم	متوسط	زیاد	خیلی زیاد	کامل
ارزش	۰	۰/۱	۰/۳	۰/۵	۰/۷	۰/۹	۱

جدول ۹- ماتریس روابط مستقیم فازی

ریسک‌ها	A_1	A_2	A_3	A_4	A_5	A_6	A_7
A_1	۰	۰/۷	۰	۰	۰	۰	۰
A_2	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
A_3	۰/۳	۰/۷	۰	۰	۰/۷	۰	۰
A_4	۰/۷	۰/۹	۰/۷	۰	۰/۵	۰	۰
A_5	۰	۰/۵	۰	۰	۰	۰	۰
A_6	۰	۰/۷	۰	۰/۳	۰	۰	۰
A_7	۰/۱	۰/۱	۰	۰/۷	۰/۱	۰	۰

مرحله ۳- ماتریس تثبیت‌شده[2] MICMAC *فازی:* ماتریس روابط مستقیم فازی به‌عنوان ورودی برای ماتریس تثبیت‌شده MICMAC فازی در نظر گرفته می‌شود. ماتریس روابط مستقیم فازی به‌طور تکراری تا مادامی‌که سلسله مراتب قدرت نفوذ و قدرت وابستگی تثبیت شود، ضرب می‌شود. برای ضرب، اصل ضرب ماتریس فازی به‌جای اصل ضرب بولین استفاده می‌شود (*Kandasamy, 2007*). ضرب ماتریس فازی اساساً یک تعمیم ضرب ماتریس بولین است (*Khan and Haleem, 2012; Gorane and Kant, 2013*).

در تئوری مجموعه فازی، زمانی‌که دو ماتریس فازی ضرب می‌شوند، ماتریس ضرب نیز یک ماتریس فازی است و این ضرب بر اساس قاعده مشخصی است (*Joshi et al., 2009; Debata et al., 2013*). $A = [a_{ik}]$ و $B = [b_{ik}]$ دو ماتریس فازی هستند که ضرب آنها به شرح زیر است (رابطه ۲):

$$C = A \times B = \max_k[\min(a_{ik}, b_{ik})] \qquad (2)$$

ضرب ماتریس فازی به تثبیت ماتریس روابط مستقیم فازی منجر می‌شود. قدرت نفوذ ریسک‌ها در MICMAC فازی به همان شیوه‌ای که در ISM معمولی یافت می‌شود به‌دست می‌آید. قدرت نفوذ به‌وسیله مجموع ورودی‌های ممکن‌های تعاملات در ردیف‌ها به‌دست می‌آید و قدرت وابستگی عوامل به‌وسیله مجموع ممکن‌های تعاملات در ستون‌ها تعیین می‌شود (*Debata et al., 2013*). جدول ۱۰ ماتریس روابط مستقیم فازی و میزان قدرت نفوذ و قدرت وابستگی هریک از ریسک‌ها را نشان می‌دهد.

جدول ۱۰- ماتریس تثبیت‌شده MICMAC فازی

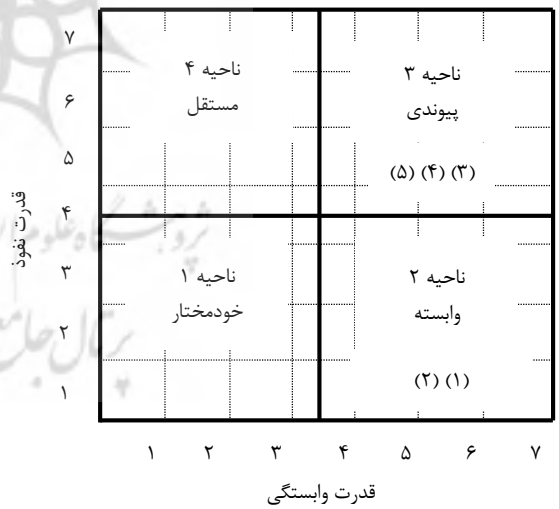
ریسک‌ها	A_1	A_2	A_3	A_4	A_5	A_6	A_7	قدرت نفوذ	رتبه
A_1	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۳
A_2	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۳
A_3	۰/۷	۰/۷	۰/۷	۰/۷	۰/۷	۰/۷	۰/۷	۴/۹	۱
A_4	۰/۷	۰/۷	۰/۷	۰/۷	۰/۷	۰/۷	۰/۷	۴/۹	۱
A_5	۰/۵	۰/۵	۰/۵	۰/۵	۰/۵	۰/۵	۰/۵	۳/۵	۲
A_6	۰/۷	۰/۷	۰/۷	۰/۷	۰/۷	۰/۷	۰/۷	۴/۹	۱
A_7	۰/۷	۰/۷	۰/۷	۰/۷	۰/۷	۰/۷	۰/۷	۴/۹	۱

1. Fuzzy MICMAC

2. Fuzzy MICMAC Stabilized Matrix

قدرت وابستگی	۳/۳	۳/۳	۳/۳	۳/۳	۳/۳	۳/۳	۳/۳
رتبه	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱

مرحله ۴- طبقه‌بندی ریسک‌ها: در این مرحله، ریسک‌های شناسایی‌شده طبقه‌بندی می‌شوند. هدف اصلی تحلیل MICMAC فازی بررسی قدرت نفوذ و قدرت وابستگی ریسک‌ها است (*Debata et al., 2013*). باتوجه به قدرت نفوذ و قدرت وابستگی، همانند تحلیل MICMAC سنتی، ریسک‌ها به چهار دسته (خودمختار، پیوندی، وابسته و مستقل) طبقه‌بندی می‌شوند (شکل ۴). «ریسک عملکرد حریق ساختمان» (۳)، «ریسک وضعیت مدیریت ایمنی حریق» (۴)، «ریسک عوامل فاجعه‌ساز» (۵)، «ریسک تیپ اطفاء حریق» (۶) و «ریسک رفتار انسانی» (۷) در ناحیه پیوندی قرار گرفتند. «ریسک تجهیزات ایمنی حریق در ساختمان» (۱) و «ریسک تخلیه ایمنی حریق» (۲) در ناحیه وابسته هستند.



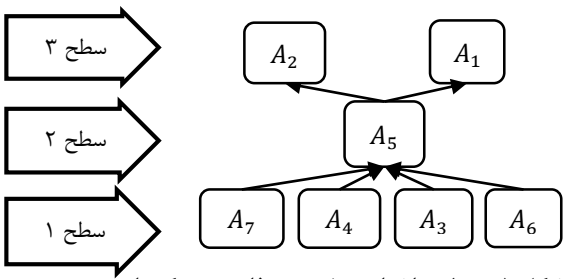
شکل ۴- نمودار MICMAC فازی (قدرت نفوذ- قدرت وابستگی)

مرحله ۵- محاسبه اثربخشی هر ریسک: ماتریس تثبیت‌شده MICMAC فازی برای محاسبه اثربخشی هر ریسک و توسعه مدل یکپارچه استفاده می‌شود. اثربخشی هر ریسک به‌وسیله تفریق قدرت وابستگی از قدرت نفوذ محاسبه می‌شود که در جدول ۱۱ ارائه می‌شود (*Attri and Grover, 2017*).

جدول ۱۱- ماتریس روابط مستقیم فازی

ریسک‌ها	A_1	A_2	A_3	A_4	A_5	A_6	A_7
قدرت نفوذ	۰	۰	۴/۹	۴/۹	۳/۵	۴/۹	۴/۹
قدرت وابستگی	۳/۳	۳/۳	۳/۳	۳/۳	۳/۳	۳/۳	۳/۳
میزان اثربخشی	-۳/۳	-۳/۳	۱/۶	۱/۶	۰/۲	۱/۶	۱/۶
سطح مدل یکپارچه	۳	۳	۱	۱	۲	۱	۱

مرحله ۶- مدل یکپارچه: در این مرحله، یک مدل یکپارچه از ماتریس تثبیت‌کننده MICMAC فازی توسعه می‌یابد. اثربخشی هر ریسک برای شکل‌گیری مدل یکپارچه استفاده می‌شود (جدول ۱۱). در مدل یکپارچه (شکل ۵)، ریسک‌های دارای اثربخشی بالاتر در پایین‌ترین موقعیت قرار دارند، در حالی‌که ریسک‌های دارای اثربخشی پایین‌تر در موقعیت بالاتر قرار دارند. ریسک‌هایی که در موقعیت پایینی مدل یکپارچه هستند برای دستیابی به دیگر ریسک‌ها که در موقعیت بالا قرار دارند، کمک خواهند کرد. شکل ۵ مدل ساختاری تفسیری فازی ریسک‌های حریق برای ساختمان‌های بلند را نشان می‌دهد که یک مدل یکپارچه سه سطحی است. در سطح اول، «ریسک عملکرد حریق ساختمان» (۳)، «ریسک وضعیت مدیریت ایمنی حریق» (۴)، «ریسک تیپ اطفاء حریق» (۶) و «ریسک رفتار انسانی» (۷) وجود دارند. در سطح دوم، «ریسک عوامل فاجعه‌ساز» (۵) قرار گرفتند. در نهایت، «ریسک تجهیزات ایمنی حریق در ساختمان» (۱) و «ریسک تخلیه ایمنی حریق» (۲) در سطح سوم هستند.



شکل ۵- مدل ساختاری تفسیری فازی ریسک‌های حریق برای ساختمان‌های بلند (مدل یکپارچه)

۲-۴ فرآیند تحلیل شبکه فازی (FANP)

در دهه ۱۹۸۰، فرآیند تحلیل شبکه (ANP) توسط ساعتی[1] به‌عنوان یکی از تکنیک‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره معرفی شد (*Lin et al., 2015*). بدون در نظر گرفتن استقلال عناصر، ANP به مراتب فراتر از AHP است. همچنین، ANP عناصر اصلی و عناصر فرعی هر خوشه را که در مسائل دنیای واقعی ضروری است، اولویت‌بندی می‌کند (*Saaty, 1999*). علاوه بر این، ترکیب ANP با تئوری فازی به دلیل ارتقاء توانایی ذهنی تصمیم‌گیرندگان در فرآیند مقایسه زوجی در محیط عدم قطعیت است (*Kamali Mohammadzadeh et al, 2018*). در این مطالعه، یک متدولوژی مبتنی بر ANP فازی برای اولویت‌بندی ریسک‌های حریق در ساختمان‌های بلند استفاده می‌شود. باتوجه به کاربرد ANP در مسائل دنیای واقعی، تعداد زیادی از رویکردهای ANP فازی (FANP) در سال‌های اخیر پیشنهاد شده است. برای مثال، میخایلوف و اسوتینوف[2] (۲۰۰۴) به‌منظور ارزیابی خدمات یک مدل FANP را توسعه دادند. پرومنتیلا و همکاران[3] (۲۰۰۸) یک روش ارزیابی چندمعیاره را با استفاده از FANP ارائه داد. داغدویرن و یوکسل[4] (۲۰۱۰) به‌منظور اندازه‌گیری سطح رقابت بخشی یک مدل FANP را به‌کار بردند. در مطالعه دیگری، تولگا و همکاران[5] (۲۰۱۰) به‌منظور اندازه‌گیری عملکرد زنجیره تأمین یک مدل ادغامی دیمتل و FANP را ارائه دادند. درگی و همکاران[6] (۲۰۱۴) یک چارچوب FANP را برای فرایند انتخاب تأمین‌کننده در صنعت خودرو توسعه دادند. اوزتایسی و همکاران (۲۰۱۶) به‌منظور تعیین استراتژی‌های بازاریابی برای فروشگاه‌ها از FANP استفاده کردند.

از میان همه رویکردهای فوق‌الذکر، در این مطالعه مدل میخایلوف و اسوتینوف (۲۰۰۴) به دلیل توانایی‌اش برای محاسبه شاخص سازگاری و به حداکثر رساندن آن و نیز مدل داغدویرن و یوکسل (۲۰۱۰) به دلیل استفاده از میزان روابط بین ریسک‌ها که از FISM حاصل می‌شود، انتخاب شدند. بر اساس میخایلوف و اسوتینوف (۲۰۰۴)، شاخص سازگاری بین ۰ و ۱ مورد قبول است و هرچه این مقدار به ۱ نزدیکتر باشد، سازگاری مقایسه‌های فازی و قضاوت‌ها بیشتر است. به‌عبارتی، مقادیر شاخص سازگاری بیشتر از ۰ نشان‌دهنده سازگاری در قضاوت‌های فازی است. از سوی دیگر، مقادیر کمتر از ۰ (مقادیر منفی) منجر به ناسازگاری شدید می‌شوند.

در تحقیق حاضر، از اعداد فازی مثلثی استفاده می‌شود که به‌صورت (l,m,u) مشخص می‌شود. پارامترهای l، m و u به‌ترتیب نشان‌دهنده کوچکترین مقدار ممکن، امیدوارکننده‌ترین مقدار ممکن و بزرگترین مقدار ممکن است که یک عدد فازی مثلثی را توصیف می‌کنند (*Kamali Mohammadzadeh et al, 2018*). در این مطالعه، مدل FANP به‌کارگرفته شده پنج مرحله دارد که به شرح ذیل است (*Dagdeviren and Yüksel, 2010*):

مرحله ۱: تشکیل سلسله مراتبی مدل ANP که شامل هدف، ریسک‌های اصلی و ریسک‌های فرعی است (شکل ۶).

مرحله ۲: به‌کارگیری مقایسه زوجی به‌منظور تعیین وزن‌های محلی ریسک‌های اصلی و ریسک‌های فرعی که با استفاده از مقیاس فازی (جدول ۱۲) در مورد اهمیت نسبی برای محاسبه وزن‌های نسبی انجام می‌شود. وزن‌های محلی ریسک‌های اصلی و ریسک‌های فرعی با استفاده روابط ۳ تا ۱۰ محاسبه می‌شوند (*Chang, 1996*). S_i یک عدد فازی مثلثی است و V درجه بزرگیِ S_i نسبت به یکدیگر است. شکل ۷ درجه بزرگی دو عدد فازی مثلثی نسبت به یکدیگر را نشان می‌دهد. به‌طور کلی، W' و W به‌ترتیب بردار اوزان محلی را نشان می‌دهند. جداول ۱۳ تا ۲۰، اوزان محلی ریسک‌های اصلی و ریسک‌های فرعی را نشان می‌دهند.

$$\sum_{j=1}^{m} M_{gi}^{j} = \left(\sum_{j=1}^{m} l_j, \sum_{j=1}^{m} m_j, \sum_{j=1}^{m} u_j\right) \quad (3)$$

$$\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m} M_{gi}^{j} = \left(\sum_{i=1}^{n} l_i, \sum_{i=1}^{n} m_i, \sum_{i=1}^{n} u_i\right) \quad (4)$$

$$\left[\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m} M_{gi}^{j}\right]^{-1} = \left(\frac{1}{\sum_{i=1}^{n} u_i}, \frac{1}{\sum_{i=1}^{n} m_i}, \frac{1}{\sum_{i=1}^{n} l_i}\right) \quad (5)$$

$$S_i = \sum_{j=1}^{m} M_{gi}^{j} \otimes \left[\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m} M_{gi}^{j}\right]^{-1} \quad (6)$$

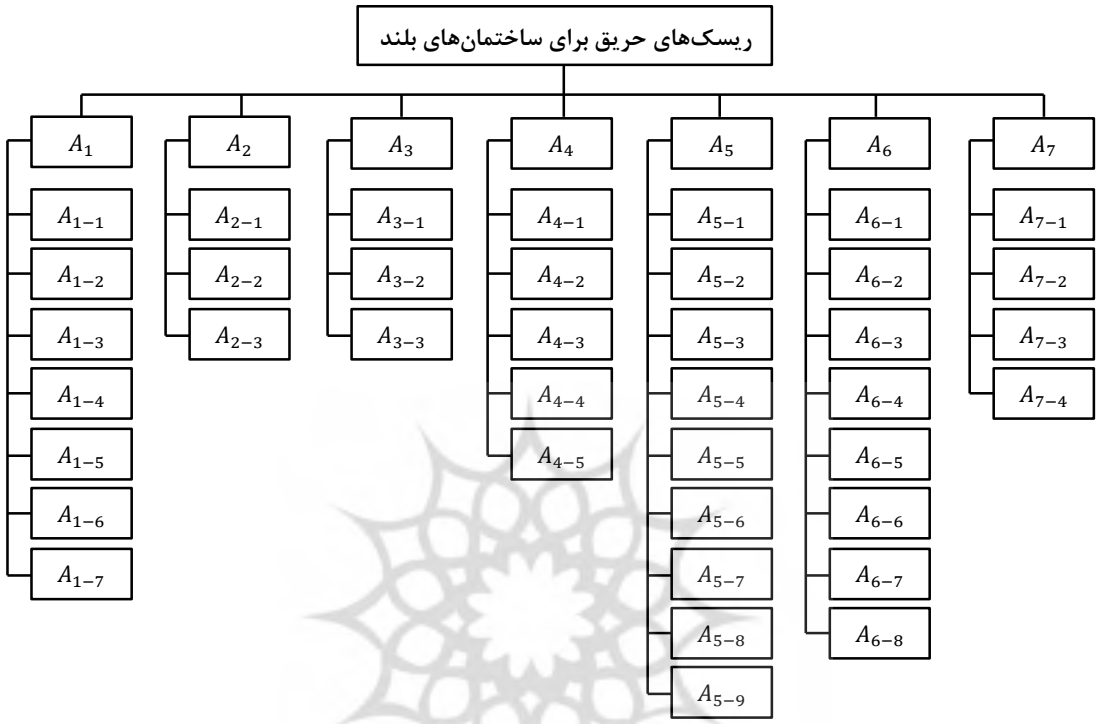
1. Saaty
2. Mikhailov and Tsvetinov
3. Promentilla et al
4. Dagdeviren and Yüksel
5. Tolga et al
6. Dargi et al

$$V(M_2 > M_1) = hgt(M_1 \cap M_2) = \mu_{M_2}(d) = \begin{cases} 1 & if\ m_2 \geq m_1 \\ 0 & if\ l_1 \geq u_2 \\ \dfrac{(u_2 - l_1)}{(u_2 - l_1) + (m_1 - m_2)} & otherwise \end{cases} \quad (7)$$

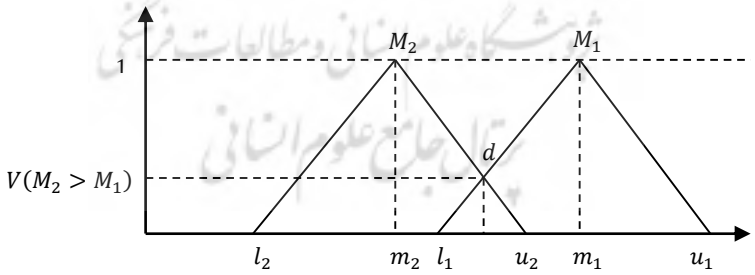
$$d'(A_i) = min\big(V(S_i \geq S_k)\big) \quad k = 1,2,\dots,n \ , \ k \neq i \quad (8)$$

$$W' = \big(d'(A_1), d'(A_2), \dots, d'(A_n)\big)^T \quad (9)$$

$$W = \big(d(A_1), d(A_2), \dots, d(A_n)\big)^T \quad (10)$$



شکل ۶. ساختار سلسله مراتبی ریسک‌های حریق برای ساختمان‌های بلند



شکل ۷- درجه بزرگی دو عدد فازی مثلثی نسبت به یکدیگر (*Chang, 1996*)

جدول ۱۲- مقیاس زبانی برای تعیین اهمیت (*Kamali Mohammadzadeh et al, 2018*)

مقیاس فازی مثلثی	مقیاس زبانی
(1,1,1)	کاملاً برابر
(0.5,1,1.5)	تقریباً برابر
(1,1.5,2)	اهمیت ضعیف‌تر

اهمیت قوی‌تر	(1.5,2,2.5)
اهمیت خیلی قویتر	(02,2.5,3)
اهمیت کاملاً قوی	(2.5,3,3.5)

جدول ۱۳- وزن محلی ریسک‌های اصلی حریق (شاخص سازگاری (λ^*) = ۰/۷۱)

ریسک	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	وزن نرمال
A1	(1,1,1)	(0.5,1,1.5)	(1,1.5,2)	(1,1.5,2)	(1,1.5,2)	(1,1.5,2)	(1.5,2,2.5)	0.131
A2	(0.67,1,2)	(1,1,1)	(1,1.5,2)	(1,1.5,2)	(1,1.5,2)	(1,1.5,2)	(2.5,3,3.5)	0.128
A3	(0.5,0.67,1)	(0.5,0.67,1)	(1,1,1)	(0.67,1,2)	(2,2.5,3)	(0.5,0.67,1)	(0.67,1,2)	0.149
A4	(0.5,0.67,1)	(0.5,0.67,1)	(0.5,1,1.5)	(1,1,1)	(1.5,2,2.5)	(0.33,0.4,0.5)	(0.33,0.4,0.5)	0.168
A5	(0.5,0.67,1)	(0.5,0.67,1)	(0.33,0.4,0.4)	(0.4,0.5,0.67)	(1,1,1)	(2,2.5,3)	(2.5,3,3.5)	0.134
A6	(0.5,0.67,1)	(0.5,0.67,1)	(1,1.5,2)	(2,2.5,3)	(0.33,0.4,0.5)	(1,1,1)	(0.33,0.4,0.5)	0.150
A7	(0.33,0.4,0.67)	(0.29,0.33,0.4)	(0.5,1,1.5)	(2,2.5,3)	(0.29,0.33,0.4)	(2,2.5,3)	(1,1,1)	0.140

جدول ۱۴- وزن محلی ریسک‌های فرعی تجهیزات ایمنی حریق در ساختمان (شاخص سازگاری (λ^*) = ۰/۸۲)

ریسک	A1-1	A1-2	A1-3	A1-4	A1-5	A1-6	A1-7	وزن نرمال
A1-1	(1,1,1)	(1,1,1)	(1,1.5,2)	(1,1,1)	(1,1.5,2)	(1,1.5,2)	(1,1.5,2)	0.122
A1-2	(1,1,1)	(1,1,1)	(1,1.5,2)	(1,1.5,2)	(1,1.5,2)	(1,1.5,2)	(1,1.5,2)	0.121
A1-3	(0.5,0.67,1)	(0.5,0.67,1)	(1,1,1)	(0.5,1,1.5)	(0.5,1,1.5)	(0.5,1,1.5)	(0.5,1,1.5)	0.152
A1-4	(1,1,1)	(0.5,0.67,1)	(0.67,1,2)	(1,1,1)	(1,1.5,2)	(1,1.5,2)	(1,1.5,2)	0.130
A1-5	(0.5,0.67,1)	(0.5,0.67,1)	(0.67,1,2)	(0.5,0.67,1)	(1,1,1)	(1,1,1)	(1,1,1)	0.158
A1-6	(0.5,0.67,1)	(0.5,0.67,1)	(0.67,1,2)	(0.5,0.67,1)	(1,1,1)	(1,1,1)	(1,1,1)	0.158
A1-7	(0.5,0.67,1)	(0.5,0.67,1)	(0.67,1,2)	(0.5,0.67,1)	(1,1,1)	(1,1,1)	(1,1,1)	0.158

جدول ۱۵- وزن محلی ریسک‌های فرعی تخلیه ایمنی حریق (شاخص سازگاری (λ^*) = ۰/۷۶)

ریسک	A2-1	A2-2	A2-3	وزن نرمال
A2-1	(1,1,1)	(0.4,0.5,0.67)	(0.4,0.5,0.67)	0.319
A2-2	(1.5,2,2.5)	(1,1,1)	(0.5,0.67,1)	0.311
A2-3	(1.5,2,2.5)	(1,1.5,2)	(1,1,1)	0.370

جدول ۱۶- وزن محلی ریسک‌های فرعی عملکرد حریق ساختمان (شاخص سازگاری (λ^*) = ۰/۷۹)

ریسک	A3-1	A3-2	A3-3	وزن نرمال
A3-1	(1,1,1)	(1.5,2,2.5)	(1.5,2,2.5)	0.260
A3-2	(0.4,0.5,0.67)	(1,1,1)	(0.67,1,2)	0.370
A3-3	(0.4,0.5,0.67)	(0.5,1,1.5)	(1,1,1)	0.370

جدول ۱۷- وزن محلی ریسک‌های فرعی وضعیت مدیریت ایمنی حریق (شاخص سازگاری (λ^*) = ۰/۸۱)

ریسک	A4-1	A4-2	A4-3	A4-4	A4-5	وزن نرمال
A4-1	(1,1,1)	(0.5,1,1.5)	(1,1.5,2)	(0.5,1,1.5)	(1,1.5,2)	0.178
A4-2	(0.67,1,2)	(1,1,1)	(0.5,1,1.5)	(0.5,1,1.5)	(0.5,1,1.5)	0.176
A4-3	(0.5,0.67,1)	(0.67,1,2)	(1,1,1)	(1,1,1)	(1,1,1)	0.218
A4-4	(0.67,1,2)	(0.67,1,2)	(1,1,1)	(1,1,1)	(0.67,1,2)	0.197
A4-5	(0.5,0.67,1)	(0.67,1,2)	(1,1,1)	(0.5,1,1.5)	(1,1,1)	0.232

جدول ۱۸- وزن محلی ریسک‌های فرعی عوامل فاجعه‌ساز (شاخص سازگاری (λ^*) = ۰/۷۷)

ریسک	A5-1	A5-2	A5-3	A5-4	A5-5	A5-6	A5-7	A5-8	A5-9	وزن نرمال
A5-1	(1,1,1)	(1,1.5,2)	(1,1.5,2)	(1,1.5,2)	(1,1.5, 2)	(1,1.5,2)	(1,1.5,2)	(1,1.5,2)	(1,1.5, 2)	0.095
A5-2	(0.5,0.67,1)	(1,1,1)	(0.67,1,2)	(0.67,1,2)	(1,1,1)	(1,1,1)	(0.67,1,2)	(0.67,1,2)	(0.67,1,2)	0.114
A5-3	(0.5,0.67,1)	(0.5,1,1.5)	(1,1,1)	(0.5,1,1.5)	(0.5,1,1.5)	(0.5,1,1.5)	(0.5,1,1.5)	(0.5,1,1.5)	(0.5,1,1.5)	0.113
A5-4	(0.5,0.67,1)	(0.5,1,1.5)	(0.67,1,2)	(1,1,1)	(0.5,1,1.5)	(0.5,1,1.5)	(0.5,1,1.5)	(0.67,1,2)	(0.67,1,2)	0.114
A5-5	(0.5,0.67,1)	(1,1,1)	(0.67,1,2)	(0.67,1,2)	(1,1,1)	(0.5,1,1.5)	(0.5,1,1.5)	(0.67,1,2)	(0.67,1,2)	0.114
A5-6	(0.5,0.67,1)	(1,1,1)	(0.67,1,2)	(0.67,1,2)	(0.67,1,2)	(1,1,1)	(0.67,1,2)	(0.5,0.67,1)	(0.5,0.67,1)	0.118
A5-7	(0.5,0.67,1)	(0.5,1,1.5)	(0.67,1,2)	(0.67,1,2)	(0.67,1,2)	(0.5,1,1.5)	(1,1,1)	(0.5,0.67,1)	(0.5,0.67,1)	0.118
A5-8	(0.5,0.67,1)	(0.5,1,1.5)	(0.67,1,2)	(0.5,1,1.5)	(0.5,1,1.5)	(1,1.5,2)	(1,1.5,2)	(1,1,1)	(1,1,1)	0.107
A5-9	(0.5,0.67,1)	(0.5,1,1.5)	(0.67,1,2)	(0.5,1,1.5)	(0.5,1,1.5)	(1,1.5,2)	(1,1.5,2)	(1,1,1)	(1,1,1)	0.107

جدول ۱۹- وزن محلی ریسک‌های فرعی تیپ اطفاء حریق (شاخص سازگاری (λ^*) = ۰/۷۸)

ریسک	A6-1	A6-2	A6-3	A6-4	A6-5	A6-6	A6-7	A6-8	وزن نرمال
A6-1	(1,1,1)	(1,1,1)	(0.5,1,1.5)	(0.5,1,1.5)	(0.5,1,1.5)	(0.5,1,1.5)	(1,1,1)	(0.5,1,1.5)	0.125
A6-2	(1,1,1)	(1,1,1)	(1,1,1)	(1,1,1)	(1,1,1)	(1,1,1)	(0.67,1,2)	(1,1,1)	0.125
A6-3	(0.67,1,2)	(1,1,1)	(1,1,1)	(1,1,1)	(1,1,1)	(1,1,1)	(0.67,1,2)	(1,1,1)	0.125
A6-4	(0.67,1,2)	(1,1,1)	(1,1,1)	(1,1,1)	(1,1,1)	(1,1,1)	(0.67,1,2)	(1,1,1)	0.125
A6-5	(0.67,1,2)	(1,1,1)	(1,1,1)	(1,1,1)	(1,1,1)	(1,1,1)	(0.67,1,2)	(1,1,1)	0.125
A6-6	(0.67,1,2)	(1,1,1)	(1,1,1)	(1,1,1)	(1,1,1)	(1,1,1)	(0.67,1,2)	(1,1,1)	0.125
A6-7	(1,1,1)	(0.5,1,1.5)	(0.5,1,1.5)	(0.5,1,1.5)	(0.5,1,1.5)	(0.5,1,1.5)	(1,1,1)	(0.5,1,1.5)	0.125
A6-8	(0.67,1,2)	(1,1,1)	(1,1,1)	(1,1,1	(1,1,1	(1,1,1	(0.67,1,2	(1,1,1	0.125

جدول ۲۰- وزن محلی ریسک‌های فرعی رفتار انسانی (شاخص سازگاری (λ^*) = ۰/۷۴)

ریسک	A7-1	A7-2	A7-3	A7-4	وزن نرمال
A7-1	(1,1,1)	(1.5,2,2.5)	(1,1.5,2)	(1,1.5,2)	0.228
A7-2	(0.4,0.5,0.67)	(1,1,1)	(0.4,0.5,0.67)	(0.4,0.5,0.67)	0.323
A7-3	(0.5,0.67,1)	(1.5,2,2.5)	(1,1,1)	(1,1,1)	0.222
A7-4	(0.5,0.67,1)	(1.5,2,2.5)	(1,1,1)	(1,1,1)	0.227

مرحله ۳: در این مرحله، وزن‌های وابستگی متقابل ریسک‌های اصلی با استفاده از ماتریس روابط مستقیم فازی، که در مرحله دوم تکنیک FISM توصیف شد، تعیین می‌شوند. بر اساس ماتریس روابط مستقیم فازی، وابستگی میان همه ریسک‌های اصلی تعیین می‌شود. وزن‌های وابستگی متقابل ریسک‌های اصلی با استفاده از ضرب اوزان محلی ریسک‌های اصلی و ماتریس روابط مستقیم فازی محاسبه می‌شوند که در زیر نشان داده می‌شود.

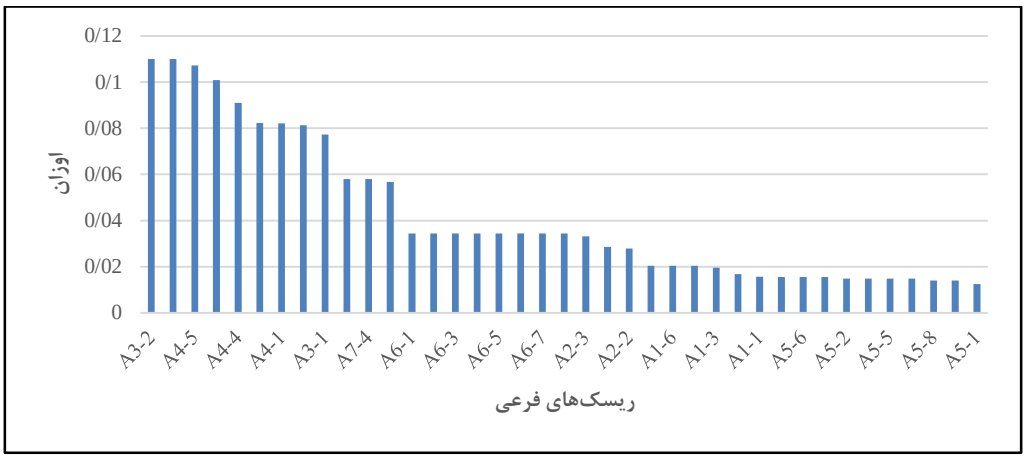
$$W_{main\ risks}=\begin{bmatrix}A_1\\A_2\\A_3\\A_4\\A_5\\A_6\\A_7\end{bmatrix}=\begin{bmatrix}0.3&0.7&0&0&0&0&0\\0&0.7&0&0&0&0&0\\0.3&0.7&0.5&0&0.7&0&0\\0.7&0.9&0.7&0.5&0.5&0&0\\0&0.5&0&0&0.5&0&0\\0&0.7&0&0.3&0&0.9&0\\0.1&0.1&0&0.7&0.1&0&0.7\end{bmatrix}\times\begin{bmatrix}0.131\\0.128\\0.149\\0.168\\0.134\\0.150\\0.140\end{bmatrix}=\begin{bmatrix}0.129\\0.089\\0.297\\0.462\\0.131\\0.275\\0.255\end{bmatrix}$$

مرحله ۴: در این مرحله، اوزان نهایی برای ریسک‌های فرعی مشخص می‌شوند. اوزان نهایی برای ریسک‌های فرعی از طریق ضرب وزن محلی ریسک فرعی، که در مرحله ۲ محاسبه شد و وزن وابستگی متقابل ریسک اصلی مربوطه، که در مرحله ۳ تعیین شد، محاسبه می‌شوند. جدول ۲۱ اوزان نهایی ریسک‌های فرعی و رتبه آنها را نشان می‌دهد. به‌منظور سهولت بررسی اولویت‌ها، شکل ۸ اولویت ریسک‌های فرعی را بر اساس اوزان نهایی آنها نشان می‌دهد. برای مثال، محاسبه اوزان نهایی ریسک‌های فرعی تجهیزات ایمنی حریق در ساختمان در زیر ارائه می‌شود.

$$W_{(A)\ sub-risks}=\begin{bmatrix}A_{1-1}\\A_{1-2}\\A_{1-3}\\A_{1-4}\\A_{1-5}\\A_{1-6}\\A_{1-7}\end{bmatrix}=\begin{bmatrix}0.122\\0.121\\0.152\\0.130\\0.158\\0.158\\0.158\end{bmatrix}\times 0.129=\begin{bmatrix}0.0157\\0.0156\\0.0195\\0.0168\\0.0203\\0.0203\\0.0203\end{bmatrix}$$

جدول ۲۱- اوزان نهایی ریسک‌های فرعی و رتبه آنها

ریسک‌های اصلی	ریسک‌های فرعی	اوزان نهایی	رتبه	ریسک‌های اصلی	ریسک‌های فرعی	اوزان نهایی	رتبه	ریسک‌های اصلی	ریسک‌فرعی	اوزان نهایی	رتبه
	A_{1-1}	0.0157	29		A_{4-1}	0.0821	7		A_{6-1}	0.0344	13
	A_{1-2}	0.0156	30		A_{4-2}	0.0812	8		A_{6-2}	0.0344	13
	A_{1-3}	0.0195	27	A_4	A_{4-3}	0.1008	4		A_{6-3}	0.0344	13
A_1	A_{1-4}	0.0168	28		A_{4-4}	0.0910	5		A_{6-4}	0.0344	13
	A_{1-5}	0.0203	24		A_{4-5}	0.1072	3	A_6	A_{6-5}	0.0344	13
	A_{1-6}	0.0203	24		A_{5-1}	0.0125	39		A_{6-6}	0.0344	13
	A_{1-7}	0.0203	24		A_{5-2}	0.0149	33		A_{6-7}	0.0344	13
	A_{2-1}	0.0285	22		A_{5-3}	0.0148	36		A_{6-8}	0.0344	13
A_2	A_{2-2}	0.0278	23		A_{5-4}	0.0149	33		A_{7-1}	0.0580	10
	A_{2-3}	0.0331	21	A_5	A_{5-5}	0.0149	33		A_{7-2}	0.0823	6
	A_{3-1}	0.0773	9		A_{5-6}	0.0155	31	A_7	A_{7-3}	0.0567	12
A_3	A_{3-2}	0.1100	1		A_{5-7}	0.0155	31		A_{7-4}	0.0580	11
	A_{3-3}	0.1100	1		A_{5-8}	0.0140	37				
					A_{5-9}	0.0140	37				



شکل ۸- اوزان نهایی ریسک‌های فرعی به‌ترتیب اولویت

۵- بحث و نتیجه‌گیری

امروزه ایمنی حریق یکی از بزرگترین چالش‌ها برای ساختمان‌های بلند محسوب می‌شوند و خسارات جانی و مالی ناشی از حریق در این ساختمان‌ها از دلایل اهمیت این موضوع است. بررسی مطالعات گذشته نشان می‌دهد که بررسی ریسک‌های حریق برای ساختمان‌های بلند هنوز هم برای دانشگاهیان و آتش‌نشانان مورد توجه است و عدم شناخت کافی این ریسک‌ها و اهمیت آنها یک موضوع مهم و اساسی است. در این راستا، شناسایی ریسک‌های حریق برای ساختمان‌های بلند، تعیین روابط بین ریسک‌ها و اولویت‌بندی آنها می‌تواند مهمترین گام متمایزی باشد که به بهترین دانش از نویسندگان، تحقیق مشابهی در متن ایرانی یافت نشد.

در پاسخ به سؤال اول این مطالعه، ریسک‌های حریق برای ساختمان‌های بلند در هفت دسته اصلی طبقه‌بندی شدند که عبارتند از: «ریسک تجهیزات ایمنی حریق در ساختمان»، «ریسک تخلیه ایمنی حریق»، «ریسک عملکرد حریق ساختمان»، «ریسک وضعیت مدیریت ایمنی حریق»، «ریسک عوامل فاجعه‌ساز»، «ریسک تیپ اطفاء حریق» و «ریسک رفتار انسانی». همچنین این ریسک‌های اصلی شامل ۳۹ ریسک فرعی هستند. در پاسخ به سؤال دوم تحقیق، افرازبندی ریسک‌های اصلی به‌منظور ارائه یک مدل ساختاری تفسیری فازی و تعیین میزان روابط بین ریسک‌های اصلی انجام شد. در نهایت به‌منظور پاسخگویی به سؤال سوم تحقیق، ریسک‌های اصلی و ریسک‌های فرعی با استفاده از رویکرد FANP وزن‌دهی و اولویت‌بندی شدند. بر اساس نتایج حاصله، ریسک وضعیت مدیریت ایمنی حریق (۰/۴۶۲)، ریسک عملکرد حریق ساختمان (۰/۲۹۷)، ریسک تیپ اطفاء حریق (۰/۲۷۵) و ریسک رفتار انسانی (۰/۲۵۵) به‌ترتیب بیشترین اهمیت را به خود اختصاص دادند. این ریسک‌های اصلی همچنین در سطح بنیادین مدل ساختاری تفسیری فازی قرار گرفتند. همچنین «مقاومت حریق مواد ساختمان» و «جداسازی منطقه دود و محفظه حریق» به‌عنوان بااهمیت‌ترین ریسک‌های فرعی معرفی شدند. در میان سایر ریسک‌های فرعی، «سیستم‌های توزیع و حفاظت رعد و برق و اتصال زمین»، «بار حریق داخلی ساختمان» و «نگهداری مواد سریع الاشتعال در ساختمان» به‌ترتیب رتبه سوم، چهارم و پنجم را به خود اختصاص دادند. از طرفی، «ارتفاع ساختمان»، «تجهیزات الکتریکی و تأسیساتی» و «دکوراسیون داخلی» به‌عنوان کم اهمیت‌ترین ریسک‌های فرعی انتخاب شدند.

این مطالعه به‌طور قابل توجهی می‌تواند بصیرت‌های عمیقی را برای دانشگاهیان و آتش‌نشانان فراهم کند. سهم اصلی این مطالعه اولویت‌بندی ریسک‌های حریق برای ساختمان‌های بلند است. از لحاظ تئوری، این تحقیق ریسک‌های حریق برای ساختمان‌های بلند را با استفاده از یک بررسی عمیق از تحقیقات گذشته شناسایی کرده است و می‌تواند در توسعه ادبیات ریسک حریق سهم به‌سزایی داشته باشد. همچنین این مطالعه می‌تواند به شناخت و رفتار مهندسان حریق در خصوص ریسک‌های حریق برای ساختمان‌های بلند کمک کند. بررسی مطالعات گذشته نشان می‌دهد که ریسک‌های حریق بر اساس مفاهیم خوب تعریف‌شده دسته‌بندی نشدند و نیز شناسایی این ریسک‌ها

بر اساس تجربیات و نظر کارشناسان انجام شده است (*Ke-xuan, 2013; Sun and Luo, 2014; Jiang et al., 2015; Liu et al., 2017; Li et al., 2018*) که این امر می‌تواند جامعیت ریسک‌های شناسایی‌شده را با تردید مواجه کند. در این راستا، بررسی عمیق مطالعات گذشته می‌تواند به‌طور شگرفی جامعیت و اعتبار ریسک‌های مورد نظر را تقویت کند. از طرفی، به لحاظ روش‌شناسی، پژوهش حاضر توانسته است یک مدل یکپارچه را بر اساس ترکیب تکنیک‌های ISM و ANP در محیط فازی توسعه دهد. چنین مدلی می‌تواند ضعف‌های ترکیب این دو تکنیک در مطالعات گذشته را رفع کند (*Valmohammadi and dashti, 2016*) و در جایگاه خودش قابل توجه باشد. بر اساس والمحمدی و دشتی (۲۰۱۶)، تکنیک ISM فقط می‌تواند روابط بین عوامل را شناسایی کند و در تعیین اهمیت این روابط ناتوان است و در چنین شرایطی، جمع‌آوری داده‌ها در ترکیب این دو تکنیک طولانی می‌شود.

به‌طور عملی، می‌توان پیشنهادات کاربردی زیر را به‌منظور ارزیابی دقیق‌تر مهندسان ریسک پیشنهاد کرد.

- تجهیزات ایمنی حریق مانند سیستم‌های اعلان حریق، اسپرینکلرها، کپسول‌های آتش‌نشانی و شیرهای آتش‌نشانی باید در محل مناسب در ساختمان نصب شده باشند و به‌صورت دوره‌ای بازرسی و تست شوند (مربوط به ریسک تجهیزات ایمنی حریق در ساختمان و ریسک وضعیت مدیریت ایمنی حریق).
- باتوجه به اینکه در هنگام حریق، ساکنین ساختمان‌های بلند اغلب از طریق خروجی اصلی یعنی آسانسور خارج می‌شوند، بنابراین ایمن‌سازی آسانسورها در برابر حریق ضروری است (مربوط به ریسک تخلیه ایمنی حریق).
- به‌منظور ساخت ساختمان‌های بلند حتماً از سازه‌های بتنی استفاده شده باشد. همچنین سازه‌های فولادی از طریق «پوشش‌های رنگ مقاوم در برابر حریق»، «پوشش‌های معدنی مقاوم در برابر حریق» و «غلاف‌های بتنی احاطه‌کننده مقاطع سازه‌های فولادی» مقاوم‌سازی شده باشند (مربوط به ریسک عملکرد حریق ساختمان).
- پیشنهاد می‌شود که مقاومت سیم‌های اتصال به زمین باید کم و مقطع آنها کافی باشد زیرا می‌تواند جریان بیشتری را بدون خطر به زمین هدایت نماید. همچنین، اگر احتمال دارد سیم اتصال زمین آسیب ببیند باید آن به شیوه مکانیکی محافظت شده باشد (مربوط به ریسک عوامل فاجعه‌ساز).
- انجام مانورهای مختلف جهت ارتقاء توانایی و قابلیت‌های اطفاء تیپ حریق (مربوط به ریسک تیپ اطفاء حریق).
- برگزاری دوره‌های آموزشی ایمنی حریق برای ساکنین ساختمان‌های بلند (مربوط به ریسک رفتار انسانی)

باتوجه به نتایج این مطالعه، برخی از پیشنهادات راهبردی برای مهندسان ریسک حریق و محققان آینده ارائه می‌شود. به‌منظور غلبه بر عدم قانون‌گذاری در خصوص مدیریت ریسک حریق برای ساختمان‌های بلند به دلیل نامشخص بودن یک مدل ارزیابی جامع، توصیه می‌شود که مهندسان حریق به‌منظور تأیید مجوزهای لازم برای ساختمان‌های بلند از مدل پیشنهادی تحقیق استفاده کنند. به‌کارگیری چنین مدلی می‌تواند قابلیت اطمینان مدیریت ریسک حریق برای ساختمان‌های بلند را به‌طور قابل توجهی افزایش دهد. علاوه بر این، می‌توان ریسک حریق مجموعه‌ای از ساختمان‌های بلند را با استفاده از مدل پیشنهادی ارزیابی کرد.

در نهایت، تحقیق حاضر همانند هر مطالعه دیگری دارای محدودیت است. این مطالعه با هدف افرازبندی و اولویت‌بندی ریسک‌های حریق برای ساختمان‌های بلند ایرانی انجام شد و تعاملات میان ریسک‌ها و اولویت‌بندی آنها ممکن است در زمینه‌های دیگر متفاوت باشد. به‌منظور رعایت احتیاط در تعمیم‌پذیری نتایج، مدل این تحقیق می‌تواند در محدوده مطالعات آینده بررسی شود.

منابع

Abdul Hafeez, M. and Hassanain, M. A. (2005), "Fire safety evaluation of restaurant facilities", *Structural Survey*, Vol 23 No 4, pp. 298-309.

Arunraj, N. S., Mandal, S., & Maiti, J. (2013). Modeling uncertainty in risk assessment: An integrated approach with fuzzy set theory and Monte Carlo simulation. *Accident Analysis & Prevention, 55*, 242-255.

Attri, R., & Grover, S. (2017). Modelling the quality enabled factors in initiation stage of production system life cycle. *Benchmarking: An International Journal*, *24*(1), 163-183.

Ayağ, Z., & Gürcan Özdemir, R. (2012). Evaluating machine tool alternatives through modified TOPSIS and alpha-cut based fuzzy ANP. *International Journal of Production Economics*, *140*(2), 630-636.

Bahr, O. (2014), "A Study on the Conservativeness of ISO Standard Fire in Office Buildings", *Journal of Structural Fire Engineering*, Vol 5 No 1, pp. 35-46.

Benichou, N., Kashef, A. H., Reid, I., Hadjisophocleous, G. V., Torvi, D. A., & Morinville, G. (2005). FIERA system: A Fire Risk Assessment Tool to Evaluate Fire Safety in Industrial Buildings and Large Spaces. Journal of Fire Protection Engineering, 15(3), 145–172.

Bontempi, F., Giuliani, L. and Gentili, F. (2013), "Structural Response of Steel High Rise Buildings to Fire: System Characteristics and Failure Mechanisms", *Journal of Structural Fire Engineering*, Vol 4 No 1, pp. 9-26.

Chang, D.-Y. (1996). Applications of the extent analysis method on fuzzy AHP. *European Journal of Operational Research*, *95*(3), 649-655.

Chow, W. K., Chong, H. W. and Wong, L. T. (2002), "Sprinkler systems: code review in high-rise buildings use", *Facilities*, Vol 20 No 11/12, pp. 374-385.

Chu, G. Q., Chen, T., Sun, Z. H. and Sun, J. H. (2007), "Probabilistic risk assessment for evacuees in building fires", *Building and Environment*, Vol 42 No 3, pp. 1283-1290.

Dagdeviren, M., & Yüksel, İ. (2010). A fuzzy analytic network process (ANP) model for measurement of the sectoral competition level (SCL). *Expert Systems with Applications: An International Journal, 37*(2), 1005-1014.

Dargi, A., Anjomshoae, A., Galankashi, M. R., Memari, A., & Tap, M. B. M. (2014). Supplier Selection: A Fuzzy-ANP Approach. *Procedia Computer Science, 31*, 691-700.

De Silva, N., Ranasinghe, M. and De Silva, C. R. (2016), "Risk analysis in maintainability of high-rise buildings under tropical conditions using ensemble neural network", *Facilities*, Vol 34 No 1/2, pp. 2-27.

Debata, B.R., Kumar, S., Bhaswati, P. and Mahapatra, S.S. (2013). Evaluating medical tourism enablers with interpretive structural modeling. *Benchmarking: An International Journal, 20*(6), 716-743.

Diabat, A., Khreishah, A., Gunasekaran, A., Kannan, G., & Panikar, V. (2013). Benchmarking the interactions among barriers in third-party logistics implementation: An ISM approach. *Benchmarking: An International Journal, 20*(6), 805-824.

Duperrin, J.C. and Godet, M. (1973), *Mehlode de hrrracchaaaoon deeeemmenddduun yyeeeee* , Rapport Economique du CEA, Paris.

Duperrin, J.C. and Godet, M. (1973), *Mehlode de hrrracchaaaoon deeeemmenddduun yyeeeee* , Rapport Economique du CEA, Paris.

Fraser-Mitchell, J. (1999). Modelling human behaviour within the fire risk assessment tool CRISP. *Fire and Materials, 23*, 349-355.

Ghasemi, B., & Valmohammadi, C. (2018). Developing a measurement instrument of knowledge management implementation in the Iranian oil industry. *Kybernetes, 47*(10), 1874-1905.

Gorane, S. J., & Kant, R. (2013). Modelling the SCM enablers: an integrated ISM-fuzzy MICMAC approach. *Asia Pacific Journal of Marketing and Logistics*, *25*(2), 263-286.

Grace Cheng, W. Y., Cheng, C. X., Lo, S. M. and Fang, Z. (2004), "A view on the means of fire prevention of ancient Chinese buildings – from religious belief to practice", *Structural Survey*, Vol 22 No 4, pp. 201-209.

Hall, J. R. (2006). Overview of Standards for Fire Risk Assessment, *Fire Science and Technorogy, 25*(2), 55-62.

Harkiolakis, N. (2017). *Quantitative Research Methods: From Theory to Publication (1st Edition)*, Create Space Independent Publishing Platform, Inc.

Hasofer, A.M., Beck, V.R. and Bennetts. I.D. (2007). Risk Analysis in Building Fire Safety Engineering, Butterworth-Heinemann (Elsevier Linacre House), Jordan Hill, Oxford, UK.

Hassanain, M. A. (1998), "Fire safety in the design and operation of student housing facilities", *Structural Survey*, Vol 26 No 1, pp. 55-62.

Hassanain, M. A. (2009), "Approaches to qualitative fire safety risk assessment in hotel facilities", *Structural Survey*, Vol 27 No 4, pp. 287-300.

Hassanain, M. A. (2010), "Preventive measures for mitigating fire risks in big box retail facilities", *Structural Survey*, Vol 28 No 3, pp. 189-196.

Hirota, K., & Sugeno, M. (1995). *Industrial Applications of Fuzzy Technology*: World Scientific Publication Co Inc.

Hu, Y.-N. (2016), "Research on the Application of Fault Tree Analysis for Building Fire Safety of Hotels", *Procedia Engineering,* Vol 135 No, pp. 524-530.

Jiang, J., Chen, L., Jiang, S., Li, G.-Q., & Usmani, A. (2015). Fire safety assessment of super tall buildings: A case study on Shanghai Tower. *Case Studies in Fire Safety, 4*, 28-38.

Jitesh Thakkar, S.G. Deshmukh, A.D. Gupta and Ravi Shankar, (2007). “Development of a balanced scorecard an integrated approach of Interpretive Structural Modeling (ISM) and Analytic Network Process (ANP)”, *International Journal of Productivity and Performance Management, 56 (1),* 25-59.

Joshi, R., Banwet, D. K. and Shankar, R. (2009). Indian cold chain: modeling the inhibitors. *British Food Journal, 111*(11), 1260-1283.

Kamali Mohammadzadeh, A., Ghafoori, S., Mohammadian, A., Mohammadkazemi, R., Mahbanooei, B., & Ghasemi, R. (2018). A Fuzzy Analytic Network Process (FANP) approach for prioritizing internet of things challenges in Iran. *Technology in Society, 53*, 124-134.

Kandasamy, W.B. (2007). *Elementary Fuzzy Matrix, Theory and Fuzzy Models for Social Scientists*, Pro Quest Information & Learning (University of Microfilm International), Automaton, Los Angeles, CA.

Kanungo, S., Duda, S. and Srinivas, Y. (1999). A structured model for evaluating information systems effectiveness. *Systems Research and Behavioral Science, 16*(6), 495-518.

Katiyar, R., Barua, M. K., and Meena, P. L., (2015). Modelling the measures of supply chain performance in the Indian automotive industry. *Benchmarking: An International Journal, 22*(4), 665-696.

Ke-xuan, L. (2013). A renovated method of fire risk evaluation of large emporium based on ANN and grey correlation, Journal of Safety and Environment, 13(1), 254–258.

Khan, U., & Haleem, A. (2012). Smart organisations: Modelling of enablers using an integrated ISM and fuzzy-MICMAC approach. *International Journal of Intelligent Enterprise, 1*(3/4), 248-269.

Li, J.-J. and Zhu, H.-Y. (2018), "A Risk-based Model of Evacuation Route Optimization under Fire", *Procedia Engineering,* Vol 211 No, pp. 365-371.

Li, S.-Y., Tao, G. and Zhang, L.-J. (2018), "Fire Risk Assessment of High-rise Buildings Based on Gray-FAHP Mathematical Model", *Procedia Engineering,* Vol 211 No, pp. 395-402.

Li, X., Sun, X.-Q., Wong, C.-F. and Hadjisophocleous, G. (2016), "Effects of Fire Barriers on Building Fire Risk - A Case Study Using CUrisk", *Procedia Engineering,* Vol 135 No, pp. 445-454.

Li, X., Wang, K., Liu, L., Xin, J., Yang, H., & Gao, C. (2011). Application of the Entropy Weight and TOPSIS Method in Safety Evaluation of Coal Mines. *Procedia Engineering, 26,* 2085-2091.

Lin, C., Madu, C. N., Kuei, C.-h., Tsai, H.-L., & Wang, K.-n. (2015). Developing an assessment framework for managing sustainability programs: A Analytic Network Process approach. *Expert Systems with Applications, 42*(5), 2488-2501.

Liu, F., Zhao, S., Weng, M. and Liu, Y. (2017), "Fire risk assessment for large-scale commercial buildings based on structure entropy weight method", *Safety Science,* Vol 94 No, pp. 26-40.

Liu, X., Zhang, H. and Zhu, Q. (2012), "Factor Analysis of High-Rise Building Fires Reasons and Fire Protection Measures", *Procedia Engineering,* Vol 45 No, pp. 643-648.

Ma, Q. and Guo, W. (2012), "Discussion on the Fire Safety Design of a High-Rise Building", *Procedia Engineering,* Vol 45 No, pp. 685-689.

Malviya, R. K., & Kant, R. (2017). Modeling the enablers of green supply chain management: An integrated ISM – fuzzy MICMAC approach. *Benchmarking: An International Journal, 24*(2), 536-568.

Marchant, E. W. (2000), "Fire safety systems – interaction and integration", *Facilities,* Vol 18 No 10/11/12, pp. 444-455.

Meacham, B.J. (2002). *“uullding iiee rkkkanasss SPP aa ndbook o ii ee oooccáion Engnreennrg”,* National Fire Protection Association, Quincy, MA, 5−153.

Mikhailov, L., & Tsvetinov, P. (2004). Evaluation of services using a fuzzy analytic hierarchy process. *Applied Soft Computing, 5*(1), 23-33.

Moshashaei, P. and Alizadeh, S. S. (2016).Fire Risk Assessment: A Systematic Review of the Methodology and Functional Areas. *Iranian Journal of Health, Safety & Environment, 4*(1), 654-669.

NFSI. (2018), *“pppo of aciivttie eeaddoo adnnnaaaace manageee n””,* National Fire and Safety Service of Iran (NFSI), Iran.

Omidvari, M., Mansouri, N., & Nouri, J. (2015). A pattern of fire risk assessment and emergency management in educational center laboratories. *Safety Science, 73*, 34-42.

Öztayşi, B., Gurbuz, T., Albayrak, E., & Kahraman, C. (2015). Target Marketing Strategy Determination for Shopping Malls Using Fuzzy ANP. *Journal of multiple-valued logic and soft computing, 27*(5), 55-71.

Promentilla, M. A. B., Furuichi, T., Ishii, K., & Tanikawa, N. (2008). A fuzzy analytic network process for multi-criteria evaluation of contaminated site remedial countermeasures. *Journal of Environmental Management, 88*(3), 479-495.

Qian, D., Tao, S. and Tian-Zhen, L. (2012). Risk evaluation of urban fire by regression model with latent variables. *China Safety Science Journal, 7*(22), 159–163.
Qian-li, M. A., & Ting-lin, H. (2011). Analysis of and Study on the Difficulties in the Fire Protection Design of Large Commercial Complex. *Procedia Engineering, 11*, 302-307.
Ramirez de la Huerga, M., Bañuls Silvera, V. A., & Turoff, M. (2015). A CIA–ISM scenario approach for analyzing complex cascading effects in Operational Risk Management. *Engineering Applications of Artificial Intelligence, 46*, 289-302.
Saaty, T. L. (1999). *Fundamentals of the Analytic Network Process*, University of Pittsburgh, Pittsburgh, USA.
Sanni-Anibire, M. O. and Hassanain, M. A. (2015), "An integrated fire safety assessment of a student housing facility", *Structural Survey*, Vol 33 No 4/5, pp. 354-371.
Sheeba, A. A. and Jayaparvathy, R. (2019), "Performance modeling of an intelligent emergency evacuation system in buildings on accidental fire occurrence", *Safety Science*, Vol 112 No, pp. 196-205.
Subramaniam, C. (2004), "Human factors influencing fire safety measures", *Disaster Prevention and Management: An International Journal*, Vol 13 No 2, pp. 110-116.
Sun, X.-q., & Luo, M.-c. (2014). Fire Risk Assessment for Super High-rise Buildings. *Procedia Engineering, 71*, 492-501.
Tolga, A. Ç., Tuysuz, F., & Kahraman, C. (2010, 18-23 July 2010). *Fuzzy real option value integrated fuzzy ANP method for location selection problems.* Paper presented at the International Conference on Fuzzy Systems.
Valmohammadi, C., & Dashti, S. (2016). Using interpretive structural modeling and fuzzy analytical process to identify and prioritize the interactive barriers of e-commerce implementation. *Information & Management, 53*(2), 157-168.
Wang, P. P. (2012). *Advances in Fuzzy Sets, Possibility Theory, and Applications*: Springer Science & Business Media.
Wang, S. and Liu, G. (2010), "Automatic fire alarm and fire control linkage system in intelligent buildings," *2010 International Conference on Future Information Technology and Management Engineering*, Changzhou (9-10 Oct. 2010), pp. 321-323.
Warfield, J. W. (1974). Developing interconnected matrices in structural modeling. *IEEE Transactions on Systems Men and Cybernetics, 4*(1), 51-81.
Watts, J.M., and Hall, J.R. (2002), *"nnoodluciion to iieekkkkanasss,, SPP aa ndbook o ii ee oooccaion nn gineennng"*, National Fire Protection Association, Quincy, MA, 1-5.
Wei, Y.-Y., Zhang, J.-Y. and Wang, J. (2018), "Research on Building Fire Risk Fast Assessment Method Based on Fuzzy comprehensive evaluation and SVM", *Procedia Engineering*, Vol 211 No, pp. 1141-1150.
Wong, L. T., Chong, H. W. and Chow, W. K. (1999), "Problems of the retrofit installation of sprinkler systems in old high-rise buildings: a case study", *Facilities*, Vol 17 No 3/4, pp. 112-119.
Xin, J. and Huang, C. (2013), "Fire risk analysis of residential buildings based on scenario clusters and its application in fire risk management", *Fire Safety Journal*, Vol 62 No, pp. 72-78.
Yang, F., Qian, X., & Huang, P. (2012). Fire Safety Assessment of Underground Buildings based on Grey Relational Analysis. *Procedia Engineering, 45*, 89-95.
Yu, Y., Ma, N., Peng, Y., Lv, X., Niu, F. and Du, X. (2016), "Fire risk analysis based on one-dimensional model in nuclear power plant", *Annals of Nuclear Energy*, Vol 94 No, pp. 409-414.
Zadeh, L. A., Klir, J. G., & Yuan, B. (1996). *Fuzzy sets, fuzzy logic, and fuzzy systems: Selected papers by Lotfi A. Zadeh (Advances in Fuzzy Systems: Application and Theory)*: World Scientific Publication Co Inc.
Zheng, W. (2014). Fire Safety Assessment of China's Twelfth National Games Stadiums. *Procedia Engineering, 71*, 95-100.

پرتال جامع علوم انسانی