



مؤسسه آموزش عالی غیردولتی غیرانتفاعی انرژی

اولویت لایه‌های حفاظتی پیشگیری و مقابله با حریق در

ساختمان‌های بلند به روش AHP

(مطالعه موردی: منطقه ۱ آتش‌نشانی تهران)

پایان‌نامه یا رساله برای دریافت درجه کارشناسی ارشد

در رشته مهندسی ایمنی، بهداشت و محیط زیست گرایش HSE

نام دانشجو

عادل آقامحمدی

استاد راهنما:

دکتر مصطفی عادل‌زاده

استاد مشاور:

دکتر مسیب زارع

شهریور ماه ۱۴۰۱



مؤسسه آموزش عالی غیردولتی غیرانتفاعی انرژی

اولویت لایه‌های حفاظتی پیشگیری و مقابله با حریق در ساختمان‌های بلند به روش AHP (مطالعه موردی: منطقه ۱ آتش‌نشانی تهران)

پایان‌نامه یا رساله برای دریافت درجه کارشناسی ارشد
در رشته مهندسی ایمنی، بهداشت و محیط زیست گرایش HSE

نام دانشجو

عادل آقامحمدی

استاد راهنما:

دکتر مصطفی عادل‌زاده

استاد مشاور:

دکتر مسیب زارع

شهریور ماه ۱۴۰۱

الحمد لله الذي جعل
الدين الاسلامي
الارحم من كل الدين

تأییدیه‌ی صحت و اصالت نتایج

باسمه تعالی

اینجانب عادل آقا محمدی به شماره دانشجویی ۹۹۱۳۳۸۰۳ دانشجوی رشته مهندسی ایمنی، بهداشت و محیط زیست مقطع تحصیلی کارشناسی ارشد تأیید می‌نمایم که کلیه‌ی نتایج این پایان‌نامه حاصل کار اینجانب و بدون هرگونه دخل و تصرف است و موارد نسخه‌برداری‌شده از آثار دیگران را با ذکر کامل مشخصات منبع ذکر کرده‌ام. در صورت اثبات خلاف مندرجات فوق، به تشخیص دانشگاه مطابق با ضوابط و مقررات حاکم (قانون حمایت از حقوق مؤلفان و مصنفان و قانون ترجمه و تکثیر کتب و نشریات و آثار صوتی، ضوابط و مقررات آموزشی، پژوهشی و انضباطی ...) با اینجانب رفتار خواهد شد و حق هرگونه اعتراض در خصوص احقاق حقوق مکتسب و تشخیص و تعیین تخلف و مجازات را از خویش سلب می‌نمایم. در ضمن، مسئولیت هرگونه پاسخگویی به اشخاص اعم از حقیقی و حقوقی و مراجع ذی صلاح (اعم از اداری و قضایی) به عهده‌ی اینجانب خواهد بود و دانشگاه هیچ‌گونه مسئولیتی در این خصوص نخواهد داشت.

نام و نام خانوادگی: عادل آقا محمدی

امضا و تاریخ:

مجوز بهره‌برداری از پایان‌نامه

بهره‌برداری از این پایان‌نامه در چهارچوب مقررات کتابخانه و با توجه به محدودیتی که توسط استاد راهنما به شرح زیر تعیین می‌شود، بلامانع است:

- ☐ بهره‌برداری از این پایان‌نامه / رساله برای همگان بلامانع است.
- ☐ بهره‌برداری از این پایان‌نامه / رساله با اخذ مجوز از استاد راهنما، بلامانع است.
- ☐ بهره‌برداری از این پایان‌نامه / رساله تا تاریخ ممنوع است.

نام استاد راهنما: جناب دکتر مصطفی عادل‌زاده

تاریخ:

امضا:

تقدیم بہ

بہ پاس تعبیر عظیم و انسانی شان از کلمہ ایثار و از خودگذشتگان
بہ پاس عاطفہ سرشار و کرمای امید بخش وجودشان کہ در این سردترین روزگار ان بہترین پشتیبان است
بہ پاس قلب ہای بزرگشان کہ فریاد رس است و سرکردانی و ترس در پناہشان بہ شجاعت می گراید
و بہ پاس محبت ہای بی دریغشان کہ مرکز فروکش نمی کند
این مجموعہ را بہ پدر و مادر عزیزم و تمامی مردان بی ادعا کہ در راہ نجات ہم وطن ہایشان عاشقانہ پر کشیدند تقدیم می کنم.

مشکر و قدردانی

اکنون که به یاری پروردگار و یاری و راهنمایی اساتید بزرگ موفق به پایان این رساله شده‌ام و وظیفه خود دانسته که نهایت سپاسگزاری را از تمامی عزیزانی که در این راه به من کمک کرده‌اند را به علل آورم:

در آغاز از استاد بزرگ و دانشمند جناب دکتر عادل زاده که راهنمایی این پایان‌نامه را به عهده داشته‌اند کمال تشکر را دارم.

از جناب آقای مهندس زارع که مشاور این پایان‌نامه بوده‌اند نیز قدردانی می‌نمایم.

خالصانه از تمامی اساتید و معلمان و مدرسانی که در مقطع مختلف تحصیلی به من علم آموخته و مرا از سرچشمه دانایی سیراب کرده‌اند تشکر می‌کنم.

از کلیه هم‌دانشگاهیان و هم‌رئان عزیز، دوستان خوبم آقایان مهندس حمیدیان و مهندس مهتابی نهایت سپاس را دارم.

چکیده

موقعیت مکانی و جغرافیایی منطقه ۱ سازمان ایمنی و آتش‌نشانی تهران، در منطقه ۵ شهرداری تهران واقع شده است. این منطقه با توجه به تعداد زیاد ساختمان‌های بلند چه به لحاظ تجاری، اداری و چه به لحاظ مسکونی معروف می‌باشد. کمک و امداد رسانی در این ساختمان‌های بلند در هنگام بروز حوادث آتش‌سوزی با مشکلات بسیاری زیادی همراه می‌باشد و احتمال شدت یافتن پیامد و همچنین خسارت به ساختمان، تجهیزات، اموال و سرمایه ساکنین و نفرات وجود دارد، لذا ضروری به نظر می‌رسد تا ساختمان‌های بلند که در این منطقه از تهران قرار گرفته‌اند خود دارای لایه‌های حفاظتی پیشگیری کننده از حریق و کاهنده شدت پیامد ناشی از حریق باشند. اما اولویت‌رانی این لایه‌های حفاظتی خود یکی از مباحث مهم در بکارگیری آنها می‌باشد، لذا در این تحقیق به بررسی و رتبه‌بندی لایه‌های حفاظتی پیشگیری کننده از حریق و لایه‌های حفاظتی کاهنده شدت پیامد ناشی از بروز رویداد حریق بر اساس معیارهای انتخابی در ساختمان‌های بلند منطقه ۱ سازمان آتش‌نشانی تهران پرداخته شد. در این مطالعه به منظور، اولویت‌بندی لایه‌های حفاظتی پیشگیری کننده از حریق (Preventive Measurements) و همچنین لایه‌های حفاظتی کاهنده شدت پیامد ناشی از بروز رویداد (Mitigative Measurements)، معیارهایی مشخص گردید در این مطالعه ۶ معیار هزینه اجرای لایه حفاظتی، کارایی و قابلیت اطمینان لایه حفاظتی، هزینه تعمیر و نگهداری، راحتی و سهولت در تعمیر و نگهداری، سهولت اجرای لایه حفاظتی، مدت زمان اجرای لایه حفاظتی انتخاب گردید. سپس اولویت‌بندی گزینه‌های انتخابی با استفاده از تکنیک فرآیند تجزیه و تحلیل سلسله مراتبی فازی (FAHP) انجام شد. در این مطالعه به ترتیب معیار کارایی و قابلیت اطمینان لایه حفاظتی با وزن نسبی $31/27$ درصد در رتبه اول، معیار هزینه اجرای لایه حفاظتی با وزن نسبی $31/05$ درصد در رتبه دوم و معیار هزینه تعمیر و نگهداری لایه حفاظتی با وزن $19/38$ درصد در رتبه سوم و سایر معیارها مانند راحتی در تعمیر و نگهداری $7/95$ درصد، سهولت اجرای لایه حفاظتی $6/32$ درصد و در آخر مدت زمان اجرای لایه حفاظتی با $4/02$ درصد در رتبه‌های بعدی قرار دارند. در ادامه ۸ لایه حفاظتی شامل بر، سیستم‌های شناساگر، سیستم‌های اعلان حریق، سیستم‌های اطفاء حریق خودکار، سیستم‌های مکانیزه اطفاء حریق مبتنی بر دخالت انسان، تجهیزات اطفاء حریق دستی، سیستم‌های فرار و خروج اضطراری، سیستم‌های محافظت از سازه ساختمان و سیستم‌های مکانیزه کاهش دود، توسط کارشناسان انتخاب گردید و اولویت‌بندی گزینه‌ها بر اساس ۶ معیار انتخابی با استفاده از تکنیک ترجیح براساس مشابهت به راه حل ایده‌آل فازی (Fuzzy TOPSIS) انجام شد. با توجه به معیارهای انتخابی سه گزینه اول شامل بر تجهیزات دستی اطفاء حریق با درجه شباهت $41/49$ درصد، سیستم‌های شناساگر با درجه شباهت $33/48$ درصد و سیستم‌های اعلان با درجه شباهت $33/29$ درصد در اولویت اول تا سوم قرار دارند. در اولویت‌های بعدی سیستم‌های اطفاء خودکار با درجه شباهت $29/7$ درصد، سیستم‌های محافظت از سازه ساختمان با درجه شباهت $29/33$ ، سیستم‌های مکانیزه اطفاء حریق با درجه شباهت $27/32$ درصد، سیستم مکانیزه کاهش دود با درجه شباهت $25/16$ و در آخر سیستم‌های فرار و خروج اضطراری با درجه شباهت $0/74$ درصد قرار دارند.

کلید واژه‌ها

ساختمان‌های بلند، لایه‌های حفاظتی، پیشگیری، مقابله، حریق، تصمیم‌گیری چند معیاره، تکنیک Fuzzy AHP، تکنیک Fuzzy TOPSIS

فهرست مطالب

عنوان	شماره صفحه
فصل ۱- کلیات تحقیق.....	۱
۱-۱- مقدمه	۲
۲-۱- بیان مسأله اساسی تحقیق	۴
۳-۱- اهمیت و ضرورت تحقیق	۵
۴-۱- اهداف تحقیق	۷
۱-۴-۱- هدف کلی	۷
۲-۴-۱- اهداف ویژه	۷
۳-۴-۱- هدف نهایی و کاربردی	۷
۵-۱- فرض‌های تحقیق	۷
۶-۱- سؤالات تحقیق	۸
۷-۱- تعاریف و اصطلاحات فنی و تخصصی	۸
فصل ۲- مروری بر منابع.....	۱۲
۱-۱- مقدمه	۱۳
۲-۲- تاریخچه بلند مرتبه‌سازی	۱۴
۱-۲-۲- تاریخچه بلند مرتبه‌سازی در جهان	۱۴
۲-۲-۲- تاریخچه بلند مرتبه‌سازی در ایران	۱۵
۳-۲- تاریخچه آتش‌سوزی‌های عظیم	۱۶
۱-۳-۲- تاریخچه آتش‌سوزی‌های عظیم در دنیا	۱۶
۲-۳-۲- تاریخچه آتش‌سوزی‌های عظیم در ایران	۲۴
۴-۲- منطقه ۵ شهرداری تهران	۲۸
۱-۴-۲- پیشینه اجمالی و مراحل گسترش و توسعه کالبدی منطقه ۵ شهرداری تهران	۲۹
۵-۲- سازمان خدمات ایمنی و آتش‌نشانی	۳۴
۶-۲- پیشینه مطالعات	۳۵
۱-۶-۲- پیشینه مطالعاتی در ایران	۳۵
۲-۶-۲- پیشینه مطالعات در جهان	۴۳
فصل ۳- روش تحقیق.....	۴۷
۱-۱- مقدمه	۴۸
۲-۳- معرفی آتش‌نشانی منطقه یک	۵۰

۵۰	۳-۲-۱- معرفی ایستگاه آتش نشانی شماره ۵۵
۵۳	۳-۳- روش تحقیق
۵۳	۳-۳-۱- متدولوژی انجام پژوهش
۵۶	۳-۳-۲- تکنیک‌ها و روش‌های مورد استفاده
۵۶	۳-۲-۱- تجزیه و تحلیل سلسله مراتبی
۵۸	۳-۲-۲- الگوریتم تجزیه و تحلیل سلسله مراتبی
۶۲	۳-۲-۳- تکنیک TOPSIS
۶۵	فصل ۴- نتایج و تفسیر آن‌ها
۶۶	۱-۱- مقدمه
۶۷	۴-۲- انجام تکنیک فرآیند تجزیه و تحلیل سلسله مراتبی فازی (FAHP)
۶۸	۴-۲-۱- تشکیل تیم مطالعاتی به منظور انجام مقایسات زوجی
۶۸	۴-۲-۲- ترسیم نمودار سلسله مراتبی
۶۹	۴-۲-۳- تعریف اعداد فازی به منظور انجام مقایسه های زوجی
۷۰	۴-۲-۴- تشکیل ماتریس مقایسه زوجی (A) با بکارگیری اعداد معادل فازی
۷۱	۴-۲-۴- تشکیل ماتریس مقایسه زوجی (A) برای تجمیع نظرات کارشناسان
۷۱	۴-۲-۵- تشکیل ماتریس میانگین هندسی فازی (ri)
۷۱	۴-۲-۶- محاسبه وزن فازی معیارها (Wi)
۷۲	۴-۲-۷- فازی‌زدایی وزن معیارها (Wi)
۷۲	۴-۲-۸- نرمال سازی خطی وزن معیارها
۷۴	۴-۲-۹- محاسبه نرخ ناسازگاری ماتریس مقایسات زوجی
۷۴	۴-۲-۹-۱- تشکیل ماتریس مقایسات زوجی غیرفازی جهت محاسبه نرخ ناسازگای
۷۵	۴-۲-۹-۲- نرمال سازی و تعیین وزن نسبی معیارها جهت محاسبه نرخ ناسازگای
۷۶	۴-۲-۹-۳- تعیین بزرگترین مقدار ویژه ماتریس (λ_{max})
۷۷	۴-۲-۹-۴- محاسبه مقدار شاخص ناسازگاری (C.I)
۷۷	۴-۲-۹-۵- محاسبه نرخ ناسازگاری (C.R)
۷۹	۴-۳- انجام تکنیک ترجیح براساس مشابهت به راه حل ایده‌آل (TOPSIS)
۷۹	۴-۳-۱- الگوریتم حل مساله در تکنیک Fuzzy Topsis
۷۹	۴-۳-۱-۱- تشکیل تیم مطالعاتی به منظور اولویت‌بندی لایه‌های حفاظتی
۸۰	۴-۳-۱-۲- تشکیل ماتریس تصمیم در تکنیک Fuzzy Topsis
۸۱	۴-۳-۱-۳- تعریف اعداد فازی در تکنیک Fuzzy Topsis
۸۲	۴-۳-۱-۴- جایگزین کردن لغات زبانی با اعداد فازی
۸۲	۴-۳-۱-۵- تشکیل ماتریس تصمیم ترکیب نظرات کارشناسان
۸۲	۴-۳-۱-۶- نرمال سازی ماتریس تصمیم گیری ترکیب شده فازی

- ۷-۱-۳-۴- محاسبه ماتریس تصمیم نرمال وزین فازی ۸۳
- ۸-۱-۳-۴- تعیین گزینه ایده‌آل مثبت و ایده‌آل منفی ۸۳
- ۹-۱-۳-۴- محاسبه اندازه فاصله از ایده‌آل مثبت و ایده‌آل منفی فازی ۸۴
- ۱۰-۱-۳-۴- محاسبه di^* و di^- برای گزینه‌ها ۸۴
- ۱۱-۱-۳-۴- محاسبه ضریب نزدیکی و اولویت‌بندی گزینه‌ها ۸۵
- ۱۲-۱-۳-۴- رتبه بندی گزینه ها ۸۵

فصل ۵- جمع‌بندی و پیشنهادها..... ۸۷

- ۱-۵- بحث و نتیجه‌گیری ۸۸
- ۲-۵- پاسخ به سوالات و فرضیات تحقیق ۹۰
- ۳-۵- نوآوری تحقیق ۹۲
- ۴-۵- پیشنهادات تحقیق ۹۲
- ۱-۴-۵- پیشنهادات پژوهشی تحقیقی ۹۲
- ۲-۴-۵- پیشنهادات اجرایی تحقیق ۹۳
- ۵-۵- محدودیت‌های تحقیق ۹۳

مراجع..... ۹۴

- فهرست مراجع فارسی ۹۵
- فهرست مراجع غیرفارسی ۹۷

پیوست‌ها..... ۹۸

فهرست جدول‌ها

عنوان	شماره صفحه
جدول (۱-۱) تعاریف ساختمان بلند مرتبه از دیدگاه مختلف (رهنما و رزاقیان، ۱۳۹۲).....	۹
جدول (۱-۲) وسعت سرسبزی پوشش گیاهی منطقه ۵ شهرداری تهران سالهای ۱۳۶۹ تا ۱۳۸۵.....	۳۲
جدول (۱-۳) شاخص ناسازگاری تصادفی.....	۵۹
جدول (۲-۳) مقایس فرآیند تکنیک تجزیه و تحلیل سلسله مراتبی.....	۵۹
جدول (۳-۳) مقیاس ۹ درجه‌ای ساعتی در روش تجزیه و تحلیل سلسله مراتبی (AHP) (Saaty, 2008).....	۶۰
جدول (۱-۴) مشخصات کارشناسان حاضر در مطالعه اولویت‌بندی لایه‌های حفاظتی.....	۶۸
جدول (۲-۴) طیف فازی معادل مقیاس نه تایی ساعتی در تکنیک AHP.....	۶۹
جدول (۳-۴) تشکیل ماتریس مقایسه زوجی با بکارگیری اعداد معادل فازی برای معیارها.....	۷۰
جدول (۴-۴) میانگین نظرات کارشناسان در مقایسات زوجی معیارها.....	۷۱
جدول (۵-۴) تشکیل ماتریس میانگین هندسی فازی (ri).....	۷۱
جدول (۶-۴) فازی‌زدایی وزن معیارها (Wi).....	۷۲
جدول (۷-۴) اوزان نهایی برای اولویت‌بندی معیارها.....	۷۴
جدول (۸-۴) تشکیل ماتریس مقایسات زوجی غیرفازی.....	۷۵
جدول (۹-۴) نرمال سازی عناصر.....	۷۵
جدول (۱۰-۴) تعیین وزن‌های غیرفازی.....	۷۵
جدول (۱۱-۴) اوزان نسبی نهایی برای محاسبه نرخ ناسازگاری ماتریس مقایسات زوجی.....	۷۶
جدول (۱۲-۴) تعیین بزرگترین مقدار ویژه ماتریس (λ_{max}).....	۷۶
جدول (۱۳-۴) شاخص ناسازگاری تصادفی.....	۷۷
جدول (۱۴-۴) مشخصات کارشناسان حاضر در مطالعه اولویت‌بندی لایه‌های حفاظتی.....	۸۰
جدول (۱۵-۴) طیف فازی تکنیک TOPSIS.....	۸۱
جدول (۱-۵) اوزان نهایی برای اولویت‌بندی معیارها.....	۸۹
جدول (۲-۵) اولویت‌بندی لایه‌های حفاظتی با استفاده از تکنیک Fuzzy TOPSIS بر اساس معیارهای انتخابی.....	۹۰
جدول (۳-۵) اوزان نهایی برای اولویت‌بندی معیارها.....	۹۱
جدول (۴-۵) اولویت‌بندی لایه‌های حفاظتی با استفاده از تکنیک Fuzzy TOPSIS بر اساس معیارهای انتخابی.....	۹۲

فهرست شکل‌ها

عنوان	شماره صفحه
شکل (۱-۲) تصویری از آتش‌سوزی تگزاس سیتی ایالت تگزاس در سال ۱۹۴۷ میلادی.....	۲۰
شکل (۲-۲) تصویری از آتش‌سوزی بندر هالیفاکس منطقه نووا اسکوتیا کانادا در سال ۱۹۱۷.....	۲۱
شکل (۳-۲) تصویری از آتش‌سوزی توکیو، ژاپن در سال ۱۹۲۳ میلادی.....	۲۲
شکل (۴-۲) ساختمان پلاسکو در سال ۱۳۵۳.....	۲۵
شکل (۵-۲) ساختمان پلاسکو در حال سوختن.....	۲۶
شکل (۶-۲) آتش‌سوزی در برج سلمان مشهد.....	۲۸
شکل (۷-۲) نقشه جغرافیایی منطقه ۵ شهرداری تهران.....	۳۳
شکل (۱-۳) خودرو فرماندهی.....	۵۱
شکل (۲-۳) خودرو پیشرو.....	۵۱
شکل (۳-۳) خودرو مأموریت نجات.....	۵۱
شکل (۴-۳) خودرو ضدعفونی کننده.....	۵۱
شکل (۵-۳) خودرو نردبان.....	۵۲
شکل (۶-۳) لودر.....	۵۲
شکل (۷-۳) بیل زنجیری پشتیبانی.....	۵۲
شکل (۸-۳) خودرو بالابر سنگین.....	۵۲
شکل (۹-۳) مانور آتش‌نشانی در ایستگاه شماره ۵۵ منطقه ۱ آتش‌نشانی تهران.....	۵۲
شکل (۱۰-۳) مشخص نمودن هدف، گزینه‌ها، معیارها و کارشناسان در نرم افزار Fuzzy TOPSIS.....	۶۴
شکل (۱-۴) محاسبه وزن فازی معیارها (Wi).....	۷۲
شکل (۲-۴) مراحل اولویت‌بندی معیارها در نرم‌افزار Microsoft Excel 2019.....	۷۳
شکل (۳-۴) مراحل محاسبه و تعیین نرخ ناسازگاری در ماتریس مقایسات زوجی.....	۷۸
شکل (۴-۴) ماتریس تصمیم کارشناس اول.....	۸۲
شکل (۵-۴) نرمال سازی ماتریس تصمیم گیری ترکیب شده فازی.....	۸۳
شکل (۶-۴) ماتریس تصمیم نرمال وزین فازی.....	۸۳
شکل (۷-۴) تعیین گزینه ایده آل مثبت و ایده آل منفی.....	۸۳

- شکل (۸-۴) محاسبه اندازه فاصله از ایده‌آل مثبت و ایده‌آل منفی فازی ۸۴
- شکل (۹-۴) رتبه بندی گزینه‌ها ۸۵
- شکل (۱۰-۴) رتبه بندی گزینه ها بر روی نمودار خروجی از نرم افزار تاپسیس فازی سولور (BT Fuzzy) ۸۵
- شکل (۱۱-۴) مراحل محاسبه تکنیک Fuzzy TOPSIS در نرم‌افزار تاپسیس فازی سولور (BT Fuzzy) ۸۵
- شکل (TOPSIS Solver) ۸۶

فهرست نمودارها

عنوان	شماره صفحه
نمودار (۱-۱) متدولوژی انجام پژوهش	۵۵
نمودار (۱-۳) سلسله مراتب تصمیم خرید خانه	۵۷
نمودار (۱-۴) تشکیل نمودار درختواره سلسله مراتبی جهت اولویت بندی معیارها	۶۹
نمودار (۲-۴) تابع عضویت اعداد مثلث فازی	۶۹
نمودار (۳-۴) نمودار هفت عدد فازی مثلثی	۸۱

فهرست روابط

عنوان	شماره صفحه
رابطه (۱-۳) محاسبه بردار مجموع وزنی WSV	۵۸
رابطه (۲-۳) محاسبه شاخص ناسازگاری	۵۹
رابطه (۳-۳) محاسبه نرخ ناسازگاری	۵۹
رابطه (۴-۳) رابطه معکوس مقدار زیر قطر اصلی ماتریس با مقدار بالای قطر ماتریس	۶۰
رابطه (۵-۳) ماتریس تصمیم (D) به صورت زیر نرمال (بی مقیاس)	۶۲
رابطه (۶-۳) وزن‌های نرمال شده ماتریس تصمیم	۶۲
رابطه (۷-۳) گزینه ایده‌ها مثبت	۶۲
رابطه (۸-۳) گزینه ایده‌ها منفی	۶۲
رابطه (۹-۳) اندازه فاصله بر اساس نرم اقلیدسی به ازاء راه حل ایده‌ها منفی	۶۳
رابطه (۱۰-۳) اندازه فاصله بر اساس نرم اقلیدسی به ازاء راه حل ایده‌ها مثبت	۶۳
رابطه (۱۱-۳) نزدیکی نسبی A_i به راه حل ایده‌ها	۶۳
رابطه (۱-۴) معکوس اعداد معادل فازی	۷۰
رابطه (۲-۴) میانگین هندسی فازی نظرات کارشناسان	۷۱
رابطه (۳-۴) محاسبه وزن فازی	۷۱
رابطه (۴-۴) فازی زدایی وزن معیارها (W_i)	۷۲
رابطه (۵-۴) نرمال سازی خطی وزن معیارها	۷۲
رابطه (۶-۴) اگر معیار بار مثبت داشته باشد	۸۲
رابطه (۷-۴) اگر معیار بار منفی داشته باشد	۸۳
رابطه (۸-۴) محاسبه ماتریس تصمیم نرمال وزین فازی	۸۳
رابطه (۹-۴) تعیین گزینه ایده‌آل مثبت و ایده‌آل منفی	۸۳
رابطه (۱۰-۴) محاسبه اندازه فاصله از ایده‌آل مثبت و ایده‌آل منفی فازی	۸۴
رابطه (۱۱-۴) محاسبه di^* و $-di$ برای گزینه‌ها	۸۴
رابطه (۱۲-۴) محاسبه ضریب نزدیکی و اولویت‌بندی گزینه‌ها	۸۵

فهرست علائم اختصاری

فارسی	انگلیسی	اختصارات
تکنیک فرآیند تجزیه و تحلیل سلسله مراتبی	Analytical Hierarchy Process	AHP
سیستم رتبه‌بندی ایمنی حریق	Computerized Fire Safety Evaluation System	CFSES
تکنیک تجزیه و تحلیل درختواره رویداد	Event Tree Analysis	ETA
تکنیک فرآیند تجزیه و تحلیل سلسله مراتبی فازی	Fuzzy Analytical Hierarchy Process	FAHP
تکنیک تجزیه و تحلیل درخت خطا	Fuzzy Fault Tree Analysis Technique	FFTA
روش مهندسی ارزیابی ریسک حریق	Fire Risk Assessment Method for Engineering	FRAME
تکنیک تجزیه و تحلیل درخت خطا	Fault Tree Analysis Technique	FTA
تکنیک ترجیح بر اساس مشابهت به راه حل ایده‌آل فازی	Fuzzy Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution	FTOPSIS
سیستم اطلاعات جغرافیایی	Geographic Information System	GIS
ساختار شکست ریسک	Risk Breakdown Structure	RBS
تکنیک ترجیح بر اساس مشابهت به راه حل ایده‌آل	Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution	TOPSIS

فصل ۱- کلیات تحقیق

۱-۱- مقدمه

تحول فرهنگی در هر جامعه‌ای، تحول در مسکن را به وجود می‌آورد. هر جامعه‌ای با توجه به تاریخ، فرهنگ، مسائل اقتصادی و اجتماعی خویش به ساخت نوعی از مسکن، به سبکی از معماری روی می‌آورد. یکی از شیوه‌های ساخت و ساز که در حال رشد بی‌رویه و بسیار گسترده می‌باشد، آپارتمان‌سازی و برج‌سازی یا به عبارت دیگر بلندمرتبه‌سازی است (لیت کوهی و میرشفیعی، ۱۳۹۵).

رشد شهرنشینی و محدود بودن زمین در مراکز شهرهای بزرگ دنیا موجب استفاده از ساختمان‌های بلند (ارتفاع بیش از ۲۲ متر) شده است. با افزایش جمعیت و گسترش روز افزون ساخت برج‌های مسکونی، تجاری و اداری در تهران و سایر شهرهای بزرگ ایران، باید ایمنی این گونه ساختمان‌ها در برابر آتش‌سوزی مورد توجه قرار گیرد.

حریق یکی از مهمترین خطراتی است که مراکز صنعتی، تجاری، آموزشی و درمانی را تهدید می‌نماید. همچنین به دلیل افزایش تراکم ساکنین در محیط‌های مسکونی و صنعتی و عدم دسترسی سریع به فضای خارج در زمان وقوع حریق، تخلیه ساکنین بسیار سخت بوده که این مساله باعث افزایش تلفات خواهد شد. بر اساس گزارش آمارهای ملی در سال ۲۰۱۰ در ایالات متحده آمریکا، ۲۷۸۲ نفر بر اثر مواجهه با دود، حریق و شعله جان خود را از دست دادند. این آمار در کشورهای جنوب غربی آسیا ۱۱/۶ مورد شرق مدیترانه ۴/۶ مورد و آفریقا ۶/۱ مورد (به ازاء هر یک میلیون نفر جمعیت در سال) بوده است. در ایران نیز طبق بررسی‌های انجام شده، هر سال بین ۶۰۰ تا ۹۰۰ مورد حریق به ازاء هر یک میلیون نفر جمعیت روی داده که اغلب آنها در محیط‌های کار بوده است (عسگری پور و همکاران، ۱۳۹۶).

در کشور ایران همواره حوادث آتش‌سوزی منجر به تحمیل خسارت‌ها و لطمه‌های فراوانی گردیده است. تا پیش از سال ۱۳۸۰ سالانه حدود ۴۴۴۲ مورد آتش‌سوزی که به طور میانگین روزی ۱۲/۲ حادثه آتش‌سوزی ثبت شده است. در سال ۱۳۸۰ این آمار به روزی ۱۴/۹ حادثه آتش‌سوزی افزایش یافت. در سال ۱۳۸۵ نیز ۹۱۵۶ حادثه آتش‌سوزی یعنی متوسط حدود روزی ۲۵ حادثه آتش‌سوزی و در سال ۱۳۹۳ تعداد ۲۱۵۸۳ حادثه آتش‌سوزی که میانگین روزی ۵۵ حادثه آتش‌سوزی محسوب می‌شود واقع گردیده است. حوادث آتش‌سوزی آثار وحشتناکی دارد که فوت یا معلولیت فقط بخشی از آن است و بخش مهم‌تر آسیب‌های اجتماعی است که دامنگیر خانواده‌ها می‌گردد ضمن اینکه خسارت‌ها و صدمه‌های اقتصادی ناشی از آتش‌سوزی بسیار بالاست (مظاهریان، ۱۳۹۶).

بر اساس قانون مورفی، در صورتیکه امکان یک رویداد وجود داشته باشد، آن رویداد در بدترین لحظات اتفاق خواهد افتاد. بنابراین باید انتظار داشت که آتش‌سوزی در ساختمان‌های بلند رخ دهد.

بعضی از عوامل گسترش آتش در ساختمان‌های مرتفع عبارتند از: طراحی ساختمان، مواد بکار گرفته شده در بنای ساختمان، وسایل مورد استفاده در داخل ساختمان و جنس آنها، سیستم تهویه هوا و وضعیت آن، روش گردش هوا، وضعیت سرویس‌های ساختمان و موقعیت درب و پنجره‌ها (نهضت، ۱۳۹۴).

آتش یکی از ضروریات زندگی امروزی است و نمی‌توان آن را از زندگی امروزی انسان‌ها حذف کرد ولی نیاز به مدیریت ریسک حریق برای تعادل بین مزایا و معایب آن و پیشگیری از وقوع حوادث ناگوار ناشی از حریق، امری ضروری می‌باشد. افزایش آمار وقوع حوادث ناشی از حریق در ساختمان‌ها و پروژه‌های صنعتی، موجب

روند رو به تکامل روش‌های حفاظت در برابر حریق گردیده است. با وجود این که روش‌های زیادی برای ارزیابی ریسک و طراحی سیستم‌های پیشگیری و حفاظت از حریق وجود دارد، ولی مطالعات کمی در خصوص نحوه استفاده کاربردی و عملی از نتایج این روش‌ها وجود دارد. همچنین اکثر روش‌های ارزیابی ریسک حریق در صنایع، برای ارزیابی یک فرآیند خاص کاربرد داشته، امکان تعمیم نتایج آنها به تمامی واحدهای یک صنعت و صنایع مشابه وجود ندارد. همچنین مطالعاتی که میزان کارایی این روش‌ها را در حفاظت از حریق در ساختمانها بررسی نماید، بسیار محدود می باشد (عسگری پور و همکاران، ۱۳۹۶).

روش‌های حفاظت در برابر حریق نیز به طور کلی در دو گروه اقدامات فعال و اقدامات غیرفعال طبقه بندی می شوند. در روش حفاظت غیرفعال، سیستم‌های طراحی شده به دلیل این که قسمتی از فرآیند یا ساختمان هستند، بدون نیاز به راه اندازی و فعال شدن، می توانند از ایجاد و گسترش حریق جلوگیری نمایند. بر اساس آیین نامه‌های حفاظت در برابر حریق تدارک راه‌های خروج از ساختمان و تخلیه ایمن ساکنین، از جمله مهمترین روش‌های حفاظت غیرفعال شمرده می‌شوند. روش‌های حفاظت فعال در واقع قسمتی از تاسیسات حفاظت در برابر حریق هستند که با انجام یک سری عملیات مکانیکی در شرایط اضطرار، موجب کنترل حریق می گردند. سیستم‌های اعلام حریق، سیستم‌های کنترل و اطفای حریق و حضور گروه‌های آتش‌نشانی نیز از جمله روش‌های حفاظت فعال محسوب می‌شوند (عسگری پور و همکاران، ۱۳۹۶).

در فصل اول از این پژوهش در ابتدا به بیان مساله اصلی تحقیق پرداخته شده و سپس ضرورت انجام تحقیق بیان می گردد. سپس اهداف تحقیق (هدف اصلی، اهداف ویژه و هدف کاربردی) ذکر می‌شود. در ادامه فصل سوم فرضیات و سوالات تحقیق مطرح شده و خاطر نشان می‌گردد که این سوالات و فرضیه‌ها در فصل پنج از این پژوهش پاسخ داده شده است.

۲-۱- بیان مسأله اساسی تحقیق

بیش از یک قرن از ظهور ساختمان‌های بلند مرتبه می‌گذرد. این گونه ساختمان‌ها در ابتدا به عنوان نشانه‌ای از پیشرفت‌های تکنولوژیک جوامع و به عنوان نمادهای قدرت شهرهای پیشرفته و پاسخی به رشد شدید جمعیت و کمبود زمین جهت احداث واحدهای مسکونی کافی بودند. رفته رفته بحران انرژی، آلودگی‌های محیطی در شهرهای ماشینی و ریسک ساختمان‌های بلند، باعث تغییر دیدگاه‌ها در تصمیم‌گیری سیاست‌های شهری شد. در این راستا نظریه رشد هوشمند شهری با تکیه بر اصول ۱۰ گانه خود بر کاربری‌های ترکیبی، تراکم بالا، بهره‌گیری از ایده شهر فشرده^۱، ایجاد همسایگی‌های قابل دسترس توسط افراد پیاده و حفظ فضای باز و مزایای زیست محیطی به عنوان اثر فشرده سازی تاکید داشته و فرم شهر فشرده به خاطر پیامدهای مثبتی مانند حمل و نقل موثر، کاهش طول سفرها و کاهش مصرف سوخت و غیره، پذیرفته شد. همچنین سیاست‌های شهرنشینی با هدف کاهش تاسیسات زیربنایی شهری از جمله خدمات آب، فاضلاب، برق و دیگر تسهیلات و نزدیکی محل‌های کار، سکونت و اوقات فراغت، به سمت رشد هوشمند در حال تغییر بوده که ایده شهر فشرده را با توجه به نظریه رشد هوشمند شهری مورد تاکید قرار میدهد. علاوه بر این تازگی و تنوع شهر فشرده، کیفیت زندگی بالاتری را برای کلیه شهروندان فراهم میکند. لذا سیاست‌های شهرنشینی از الگوی رشد افقی به سمت الگوی رشد هوشمند تغییر کرد و ایده شهر فشرده مستلزم ساخت در ارتفاع و تغییر الگوی ساخت و ساز شهری مورد توجه قرار گرفت. بنابراین ساخت ساختمانهای بلندمرتبه در شهرها با کاربریهای مختلط مسکونی، تجاری، اداری، تفریحی و غیره در طبقات مختلف آن توجیه میشود. منظور از کاربری مختلط، ساختمانی است که حداقل مساحت کاربری تجاری یا اداری آن ۲۱ درصد کل زیر بنا باشد. سیاست‌های شهرنشینی در ایران نیز با انگیزه صرفه جویی در مصرف زمین گران قیمت مراکز شهرهای بزرگ، به بلند مرتبه‌سازی روی آورد و به راهکاری جهت پاسخگویی به نیاز روزافزون جمعیت جوان کشور به مسکن تبدیل شد. کمبود زمین و بخصوص رشد غیرمنطقی قیمت آن در سراسر کشور از یک سو، و افزایش تقاضا جهت اسکان در کلان‌شهرها، سیاستگذاران را بر آن داشت که ضوابط و مقررات افزایش تراکم و بلندمرتبه سازی را در ۱۳۶۹/۱۰/۲۴ تصویب نموده و تاکید بر خط مشی کلی تشویق بلندمرتبه سازی، تطبیق الگوی تفکیک با مقتضیات بلندمرتبه سازی، تشویق به تجمع قطعات در مناطق نوسازی را در دستور کار خود قرار دهند (رهنما و رزاقیان، ۱۳۹۲).

اما در این میان مسأله‌ای که مطرح می‌شود که ساخت و ساز این بناها می‌تواند ریسک‌های جدیدی را به جامعه تحمیل نماید. یکی از مهمترین این ریسک‌ها، ریسک ایجاد حریق در این ساختمان‌ها می‌باشد. حریق یکی از مهمترین خطرات تهدیدکننده زندگی بشر است که در ساختمان‌های بلند از اهمیت بیشتری برخوردار است. وقوع حریق در ساختمان‌های مسکونی، مجتمع‌های تجاری و صنایع کوچک و بزرگ، همه ساله باعث وارد آمدن خسارت‌های جانی، مالی و زیست محیطی فراوانی به جوامع مختلف می‌شود. در ایران سالانه حدود ۱۵۰۰ نفر در اثر آتش‌سوزی جان خود را از دست می‌دهند و بیش از ۵۰۰۰ نفر به سختی مجروح می‌شوند. اگرچه آمار تفکیکی از وقوع حریق‌های ساختمانی در کشور ارائه نشده است؛ اما با نگاهی به حوادث مشخص می‌شود که نرخ حوادث حریق ساختمان‌های بلند به ویژه در سال‌های اخیر بسیار قابل توجه

^۱ Compact City

می‌باشد. آتش سوزی ساختمان تجاری پلا سکو با ۲۲ کشته و ده‌ها مصدوم، مهمترین حادثه آتش سوزی ساختمان‌های بلند مرتبه در سال‌های اخیر به شمار می‌رود (رجبی و همکاران، ۱۳۹۸).

بررسی پژوهش‌های جهانی نشان می‌دهد که برای ساختمان‌های بلند مرتبه تمهیدات متفاوتی نسبت به سایر ساختمان‌ها بکار گرفته می‌شود و در اکثر موارد اجرایی شدن این تمهیدات منوط به در نظر گرفتن آن‌ها از مرحله طراحی ساختمان و مطابق با ضوابط و آیین‌نامه‌های ویژه ساختمان‌های بلند است. به عنوان مثال الزام به وجود فضاهای پناه‌گیری در ساختمان‌های بلند و یا نصب آسانسورهای مجهز و استفاده از آن‌ها برای انجام تخلیه اضطراری از استثنائات مختص به ساختمان‌های بلند است. از طرفی دیگر، در بسیاری کشورهای پیشرو در مباحث ایمنی آتش‌سوزی از قبیل سوئد، انگلستان، امریکا، کانادا، نیوزیلند و ژاپن برای ساختمان‌های بلند روش طراحی کارکردی به جای الزامات تجویزی آئین‌نامه ای بکار گرفته می‌شود (فلاحی و امیدخواه، ۱۳۹۴).

به طور کلی، ایمنی حریق در ساختمان‌های بلند مرتبه چندطبقه به دلایل ساختار پیچیده‌تر این ساختمان‌ها از نظر ارتفاع و تعداد طبقات، وجود منافذ عمودی متعدد (نظیر راه پله، چاله آسانسور و غیره)، تراکم بالای جمعیت در این ساختمان‌ها و عدم آگاهی آن‌ها از حریق، بالا بودن بار حریق به دلیل وجود مواد سوختنی متعدد و گسترده و مسدود شدن یا کاهش پهنای راهروها بسیار حائز اهمیت می‌باشد؛ بنابراین، انجام اقدامات پیشگیرانه برای پیشگیری و کاهش پیامدهای حریق ضروری است (رجبی و همکاران، ۱۳۹۸).

موقعیت مکانی و جغرافیایی منطقه ۱ سازمان ایمنی و آتش‌نشانی تهران، در منطقه ۵ شهرداری تهران واقع شده است. این منطقه با توجه به تعداد زیاد ساختمان‌های بلند چه به لحاظ تجاری، اداری و چه به لحاظ مسکونی معروف می‌باشد. کمک و امداد رسانی در این ساختمان‌های بلند در هنگام بروز حوادث آتش‌سوزی با مشکلات بسیاری زیادی همراه می‌باشد و احتمال شدت یافتن پیامد و همچنین خسارت به ساختمان، تجهیزات، اموال و سرمایه ساکنین و نفرات وجود دارد، لذا ضروری به نظر می‌رسد تا ساختمان‌های بلند که در این منطقه از تهران قرار گرفته‌اند خود دارای سیستم‌های شناساگر دود و حریق و لایه‌های حفاظتی پیشگیری کننده حریق و کاهنده شدت پیامد ناشی از حریق باشند تا در صورت تاخیر و یا عدم کمک رسانی و امداد به موقع و سریع ایستگاه‌های خدمات ایمنی و آتش‌نشانی منطقه ۱ سازمان آتش‌نشانی تهران از گستردگی حریق جلوگیری بعمل آمده و از سرمایه و اموال ساکنین و جان آنها محافظت شود. اما اولویت قرارگیری این لایه‌های حفاظتی خود یکی از مباحث مهم در بکارگیری آنها می‌باشد، لذا در این تحقیق به بررسی و رتبه‌بندی لایه‌های حفاظتی پیشگیری کننده از حریق و لایه‌های حفاظتی کاهنده شدت پیامد ناشی از بروز رویداد حریق بر اساس معیارهای انتخابی در ساختمان‌های بلند منطقه ۱ سازمان آتش‌نشانی تهران پرداخته خواهد شد.

۱-۳- اهمیت و ضرورت تحقیق

رشد فزاینده جمعیت، توسعه فرهنگ شهرنشینی و کمبود فضا و ارزش بالای زمین در گسترش شهرها از یک سو و پیشرفت تخصص و فناوری ساخت و ساز از دیگر سو، باعث افزایش روزافزون بلند مرتبه‌سازی و سکونت مردم در آنها شده است. چنین ساختمان‌هایی به دلیل تعدد طبقات، تراکم جمعیتی بالا و وجود تاسیسات و تجهیزات الکتریکی و مکانیکی در هنگام بروز سوانحی چون زلزله و آتش‌سوزی با چالش‌های متفاوتی نسبت

به ساختمانهای کوتاه تر روبرو می‌باشند. از جانب دیگر به علت ارزش افزوده بنا و تجهیزات اینگونه مجتمع‌های مسکونی و نیز تراکم انسانی و مالی، مدیریت ایمنی در مقابله با سوانح به منظور کاهش تلفات و خسارات با مقولات پیچیده تری مواجه بوده و ملزم به اتخاذ سیاست‌های متفاوتی می‌باشند (فلاحی و امیدخواه، ۱۳۹۴).

آتش‌سوزی یکی از مهمترین مباحث تأثیرگذار در هر سه مقوله ایمنی، بهداشت و محیط زیست (HSE) می‌باشد که می‌تواند در زمان کوتاه، دارایی و سلامتی افراد را به خطر اندازد. وقوع حوادث حریق و انفجار در صنایع کوچک و بزرگ همه ساله باعث وارد آمدن خسارت‌های مالی، جانی و زیست محیطی فراوانی به کشورهای مختلف جهان از جمله ایران می‌گردد. بر طبق در آمار جهانی حریق توسط انجمن بین‌المللی خدمات آتش‌نشانی و نجات (CTIF) در بازه زمانی سراسر جهان ۲۹۴۶۰۴۰ مورد آتش‌سوزی، ۲۳۱۲۷ مرگ و میر ناشی از آتش سوزی و ۷۰۲۷۰ صدمات ناشی از آتش سوزی رخ داده است. متأسفانه، آتش سوزی‌های بزرگی در تاریخ شهر تهران و مجتمع‌های تجاری آن ثبت شده که تلفات انسانی یا خسارات جانی، مالی و حتی صدمات جبران‌ناپذیر فرهنگی به ابنیه و اشیاء در بر داشته است (خاک کار و همکاران، ۱۳۹۹).

وقوع حریق در ساختمان‌های مسکونی، مجتمع‌های تجاری و صنایع کوچک و بزرگ همه ساله باعث وارد آمدن خسارت‌های جانی، مالی و زیست محیطی فراوانی به جوامع مختلف می‌شود. طبق اطلاعات موجود نیمی از مرگ و میرهای ناشی از حریق، در حریق‌های ساختمانی اتفاق می‌افتد. تعداد مرگ و میر سالانه ناشی از حریق‌های ساختمانی به ازای هر یک میلیون نفر جمعیت در کشور استرالیا برابر با ۴ نفر می‌باشد. این رقم در کشور انگلستان برابر با ۱۵ نفر و در آمریکا برابر با ۲۰ نفر می‌باشد. در انگلستان و ولز در سال ۲۰۰۴، تعداد ۳۳۴۰۰ مورد حریق در ساختمان‌های غیرمسکونی رخ داده است که منجر به مرگ ۳۸ نفر و آسیب جدی ۱۳۰۰ نفر شده است. در همین سال کل خسارت‌های ناشی از حریق شامل تلفات جانی، خسارت به اموال، خسارت‌های ۲/۵ بلیون یورو برآورد شده است. در کشور ما سالانه حدود ۱۴۰۰ نفر در آتش سوزی کشته شده و بیش از ۴۵۰۰ نفر به سختی مجروح می‌شوند. همچنین سالانه در اثر حریق قریب چهارصد و پنجاه میلیارد ریال خسارت بر جامعه تحمیل می‌شود. طبق برآوردهای به عمل آمده، احتمال آتش سوزی در شهرهای زیر ۵۰ هزار نفر جمعیت یک مورد حریق در شبانه روز، تا یکصد هزار نفر جمعیت ۲ مورد حریق و تا پانصد هزار نفر جمعیت ۳ مورد آتش سوزی برآورد شده است. بررسی‌ها نشان می‌دهد که سالانه ۶۰ تا ۹۰ مورد آتش‌سوزی به ازای هر یکصد هزار نفر جمعیت در شهرهای ایران رخ می‌دهد که بسیاری از آنها مربوط به محیط‌های کاری می‌باشد. آمار نشان می‌دهد که حریق‌های بزرگ معمولاً برای اولین بار و بدون پیش آگهی ملموسی برای کارکنان و شاغلین رخ می‌دهد. امروزه ایمنی حریق یکی از بزرگترین چالش‌های پیش روی طراحان ساختمان می‌باشد (حکم آبادی و همکاران، ۱۳۹۶).

البته این حوادث و خسارات در ساختمان‌های بزرگ می‌تواند ابعاد گسترده‌تر و گاهی مهم‌تر پیدا کند. لذا بایستی یا تمهیداتی از بروز آنها جلوگیری نموده و یا در صورت بروز شدت پیامدهای ناشی از آنها را کاهش داد. جهت مقاله با حریق در ساختمان‌های بلند می‌تواند از دو لایه حفاظتی استفاده نمود، لایه های حفاظتی پیشگیری کننده از حریق و لایه های حفاظتی کاهنده شدت پیامد ناشی از بروز رویداد حریق در این پژوهش لایه های حفاظتی پیشگیری کننده و کاهنده در بروز رویداد حریق ورد مطالعه قرار گرفته و در خصوص

اولویت بندی آنها مطالعه ای صورت خواهد پذیرفت.

۴-۱- اهداف تحقیق

۴-۱-۱- هدف کلی

- اولویت‌بندی لایه‌های حفاظتی پیشگیری کننده و لایه‌های حفاظتی مقابله با حریق در ساختمان‌های بلند مرتبه در منطقه یک سازمان ایمنی و آتش‌نشانی تهران بزرگ با استفاده از فرآیند تجزیه و تحلیل سلسله مراتبی (AHP)

۴-۱-۲- اهداف ویژه

- بررسی و ریشه‌یابی حوادث به وقوع پیوسته در گذشته در ایران و جهان
- شناسای لایه‌های حفاظتی پیشگیری کننده و کاهنده احتمال بروز رویداد حریق^۱ در ساختمان‌های بلند مرتبه
- شناسایی لایه‌های حفاظتی کاهنده شدت پیامد ناشی از بروز حریق^۲ در ساختمان‌های بلند مرتبه
- انتخاب معیارهای مطالعاتی بر اساس نظرات کارشناسان
- اولویت‌بندی معیارها با استفاده از تکنیک Fuzzy AHP
- اولویت‌بندی گزینه‌های انتخابی (لایه‌های حفاظتی پیشگیری کننده و کاهنده شدت) بر اساس تکنیک Fuzzy TOPSIS بر اساس معیارهای انتخابی

۴-۱-۳- هدف نهایی و کاربردی

- این مطالعه با هدف اولویت‌بندی لایه‌های حفاظتی پیشگیری کننده و لایه‌های کاهش دهنده شدت حریق در ساختمان‌های بلند مرتبه در منطقه ۱ سازمان ایمنی و آتش‌نشانی تهران بزرگ انجام خواهد شد.

۵-۱- فرض‌های تحقیق

- فرضیه (۱): بررسی مطالعات و نتایج حاصل از مطالعه نشان می‌دهد که استفاده از تکنیک‌های منطق فازی می‌تواند از عدم موجود در تکنیک‌های تصمیم‌گیری AHP و TOPSIS بکاهد.
- فرضیه (۲): به نظر می‌رسد مهمترین معیار در رتبه‌بندی و اولویت‌بندی در اجرای لایه‌های حفاظتی، معیار هزینه می‌باشد.
- فرضیه (۳): به نظر می‌رسد نصب سیستم‌های اعلان دارای اولویت بیشتری نسبت به سایر لایه‌های حفاظتی می‌باشد.

^۱ Preventive Measurements

^۲ Mitigative Measurements

۶-۱- سؤالات تحقیق

- سوال (۱): آیا استفاده از تکنیک‌های منطق فازی می‌تواند از عدم موجود در تکنیک‌های تصمیم‌گیری AHP و TOPSIS بکاهد؟
- سوال (۲): آیا مهمترین معیار در رتبه‌بندی و اولویت‌بندی در اجرای لایه‌های حفاظتی، معیار هزینه می‌باشد؟
- سوال (۳): آیا نصب سیستم‌های اعلان دارای اولویت بیشتری نسبت به سایر لایه‌های حفاظتی می‌باشد؟

۷-۱- تعاریف و اصطلاحات فنی و تخصصی

تعاریف و اصطلاحات فنی و تخصصی که در این تحقیق بکارگیری شده، به قرار زیر می‌باشد:

ساختمان بلند مرتبه

در ارتباط با "ساختمان بلند" در کشورهای مختلف جهان، تعاریف متعددی ارائه گردیده است. بعنوان مثال "شورای ساختمان‌های بلند و سکونتگاه‌های شهری" در آمریکا به این نتیجه رسیده است که هر گونه تعریف مناسب برای ساختمانهای بلند باید در رابطه با این مطلب باشد که طراحی، کارکرد یا تاثیرات شهری آن ساختمان تا چه حد تحت تأثیر "بلندی" آن قرار دارد و در مقایسه با ساختمان‌هایی که معمولی به حساب می‌آیند تا چه حد به ضوابط و تدابیر ویژه در طراحی، برنامه‌ریزی و ساختمان نیاز دارد. بر این اساس تقسیم‌بندی‌های مختلفی از ساختمان‌های بلند صورت گرفته است. بنا به تعریف سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور از ساختمان بلند، هر بنایی که ارتفاع آن (فاصله قائم بین تراز کف بالاترین طبقه قابل تصرف تا تراز پایین‌ترین سطح قابل دسترسی برای ماشین‌های آتش‌نشانی) از ۳۲ متر بیشتر باشد، ساختمان بلند محسوب می‌شود. معیارهای زیر می‌توانند یک ساختمان بلند را بدون توجه به بلندی یا تعداد طبقات تعریف کنند: (زیدعبدی و سبزی، ۱۳۹۵).

- تراکم خالص ساختمانی: نسبت کل سطح زیربنا به سطح قطعه زمینی که ساختمان روی آن بنا شده است در مقایسه با عرف محل بالا باشد.
 - از سیستم‌های مکانیکی (معمولاً آسانسور) برای ارتباطات عمودی استفاده شود.
 - استفاده از سیستم‌ها و روش‌های ویژه ساختمانی و مدیریتی با سیستم‌های مورد استفاده در ساخت و سازهای کم مرتبه معمولی تفاوت داشته باشد.
 - با توجه به بررسی‌های انجام شده در مورد تعریف ساختمان بلند بر اساس ارتفاع آن‌ها، در این تحقیق ساختمانهایی که ۱۱ طبقه و بیشتر دارند بعنوان بلندمرتبه در نظر گرفته شده‌اند.
- ساختمان‌های بلندمرتبه بر اساس نوع استفاده از آنها به ساختمان‌های مسکونی، اداری، تجاری و مختلط مهمترین کاربری بلندمرتبه‌ها در کلان‌شهرها، کاربری مسکونی است. این کاربری تقریباً ۸۰ درصد از عمده مقدار کاربری‌هاست. پس از آن اداری دومین کاربری و سپس تجاری و خدماتی کاربری سوم را تشکیل

می‌دهد. کاربریهای مسکونی بیشتر توسط سازندگان خصوصی مورد استفاده قرار می‌گیرد و کاربری اداری نیز توسط سازندگان دولتی مورد توجه است. ساختمانهای بلندمرتبه در ایران بر اساس ضوابط و مقررات شورای عالی معماری و شهرسازی ایران مصوب سال ۱۳۱۱، به ساختمانهای بالای ۶ طبقه گفته شده، اما این تعریف بر اساس طرح جامع تهران، مصوب سال ۱۳۰۶ به ساختمانهای بالای ۱۳ طبقه اطلاق شده است. مشکل اساسی تعریف ساختمانهای بلندمرتبه از بعد منظر شهری این است که این تعریف از انعطاف لازم برخوردار نیست. زیرا "ساختمان بلند" دارای یک مفهومی نسبی است که باید علاوه بر ارتفاع آن، به موارد دیگری نیز توجه شود. به همین دلیل، تعریف ساختمانهای بلند در رابطه با مسایل شهری میتواند ترکیبی از متغیرهای کمی و کیفی باشد. به طور مثال در برخی مناطق انگلستان، ساختمانهای بلند بر اساس ارتفاع، تأثیرگذاری بر محیط اطراف یا تأثیر عمده بر خط آسمان تعریف میشود. اگر بنایی یکی از این شرایط را داشته باشد، ساختمان بلندمرتبه محسوب میشود. به طور مثال با این شرایط یک ساختمان با ارتفاع متوسط هم به شرط تأثیرگذاری در خط آسمان یا محیط اطراف می‌تواند تابع ضوابط بلندمرتبه‌سازی باشد. بر همین اساس، منظور از ساختمان بلندمرتبه در این تحقیق عبارت است از بنایی که به دلیل بلندیش تأثیر عمده در خط آسمان دارد (زیدعبدی و سبزی، ۱۳۹۵).

بر اساس ضوابط مقررات ملی ساختمان مبحث سوم، هر بنایی که فاصله قائم بین تراز کف بالاترین طبقه قابل تصرف، تا تراز مناسب‌ترین سطح قابل دسترسی برای ماشین آتش‌نشانی که به تایید مقام قانونی مسئول برسد و از ۲۳ متر بیشتر باشد، عمارت بلند محسوب می‌شود (مقررات ملی ساختمان، مبحث سوم، حفاظت ساختمان‌ها در مقابل حریق، ۱۳۹۲).

اگر چه چنین تعاریفی برای ساختمان‌های بلند مرتبه مطرح شده است، اما معیار خاصی برای تعریف اینگونه ساختمان‌ها ارائه نشده است. بلندی ساختمان نسبی است و بستگی به شرایطی همچون شرایط اجتماعی، تصورات فرد از محیط و ارتفاع ساختمانهای همجوار دارد و تا حد زیادی با توجه به عرف محل تعریف می‌شود. به این صورت که در میان آسمان‌خراش‌های شهرهایی چون نیویورک و شیکاگو، ساختمان‌های ۴۰ تا ۵۰ طبقه کوتاه به نظر می‌رسند، در حالی که همین بناها برای شهرهای بزرگ اروپایی جزو ساختمان‌های بلند مرتبه محسوب می‌شوند (رهنما و رزاقیان، ۱۳۹۲).

در جدول (۱-۱) تعاریف ساختمان بلند مرتبه از دیدگاه مختلف آورده شده است.

جدول (۱-۱) تعاریف ساختمان بلند مرتبه از دیدگاه مختلف (رهنما و رزاقیان، ۱۳۹۲).

ردیف	دیدگاه	نویسنده	سال	تعریف ساختمان بلند مرتبه
۱	هندسی	ناطق الهی	۱۳۷۵	ساختمانهای منفرد مرتفع که ارتفاع آن بلندتر از قطر دایره محاطی پلان باشد بلندمرتبه خواهند بود.
۲	مهندسی ساختمان	بمانیان	۱۳۷	هنگامی که ارتفاع ساختمان باعث شود نیروهای جانبی ناشی از زلزله و باد بر طراحی آن تأثیر بگذارد، بر این مبنا از لحاظ ارتفاع ساختمان‌های بیشتر از ۱۱ طبقه، بلندمرتبه به شمار می‌آیند.

ردیف	دیدگاه	نویسنده	سال	تعریف ساختمان بلند مرتبه
۳	مهندسی تاسیسات	Barney	۲۰۰۳	ساختمان کوتاه عمدتاً ۸ تا ۱ طبقه، ساختمان میان مرتبه ۳ تا ۱۱ طبقه، ساختمان بلند مرتبه ۱۱ تا ۱۶ طبقه و ساختمان‌های بسیار بلند ۲۱ تا ۸۱ طبقه هستند.
۴	برنامه ریزان و طراحان شهری	سعیدنیا	۱۳۸۳	به آپارتمان‌های بلند مرتبه بیش از ۱۱ طبقه اصطلاحاً برج می‌گویند
۵	از نظر حریق در ایران	حسینعلی پور	۱۳۸۰	طبق دستورالعمل اجرایی محافظت ساختمان‌ها در برابر آتش‌سوزی، حداقل تعداد طبقات ساختمان مرتفع ۳ طبقه تعریف شده است.
۶	از دیدگاه مسائل اجتماعی	بمانیان	۱۳۷۷	فاصله‌ای که نظارت بر فعالیت‌های کودکان و نوجوانان در فضای باز و صداکردن آنها براحتی امکانپذیر است، تعیین کننده ساختمان بلند مرتبه است و این مقدار حدود ۱۱ الی ۸۱ متر می‌باشد و حد ارتفاع جهت بلندمرتبه بودن ساختمان‌های مسکونی ۸۲ متر می‌باشد.

بنابراین با توجه به نسبی بودن تعریف ساختمان بلند مرتبه، و تاثیر عامل زمان و مکان در اینگونه ساختمان‌ها، در پژوهش حاضر با توجه به شرایط مکانی منطقه یک سازمان آتش نشانی تهران، ساختمان‌های ۱۰ و بیشتر به عنوان ساختمان‌های بلند در نظر گرفته خواهد شد.

تکنیک فرآیند تجزیه و تحلیل سلسله مراتبی^۱ (AHP)

یکی از برجسته‌ترین رویکردهای تصمیم‌گیری چند معیاره، رویکرد فرآیند تحلیل سلسله مراتبی است، که تمرکز آن، در به دست آوردن اوزان نسبی عوامل و ارزش کلی هر گزینه بر مبنای این اوزان است. در این تکنیک آنالیز داده‌ها بر اساس علم ریاضیات و روانشناسی، که در تصمیم‌گیری‌های پیچیده مورد استفاده قرار می‌گیرد. این تکنیک یکی از تکنیک‌های به روز و کارا برای رتبه‌بندی و تعیین اولویت وزن نسبی عناصر است که در این تکنیک با استفاده از مقایسات زوجی گزینه‌ها بر اساس معیارهای انتخابی اولویت‌بندی می‌شوند. تکنیک فرآیند تجزیه و تحلیل سلسله مراتبی (AHP) توسط فردی به اسم ساعتی^۲، در سال ۱۹۷۰ میلادی توسعه داده شد. تکنیک فرآیند تجزیه و تحلیل سلسله مراتبی (AHP)، مانند هوش مصنوعی به آنالیز داده‌ها پرداخته آنها را بصورت زوجی با یکدیگر مقایسه کرده و درصد وزن نسبی آنها رانسبت به یکیگر نشان می‌دهد. تکنیک فرآیند تجزیه و تحلیل سلسله مراتبی (AHP) این امکان را برای کاربر فراهم می‌سازد تا اثرات متقابل و همزمان بسیاری از وضعیت‌های پیچیده و نامعین را تعیین کند. این فرآیند به کاربر این امکان را می‌دهد تا احساسات و قضاوت‌های خود را بطور کامل در فرآیند سلسله مراتبی وارد کند. برای حل مسائل تصمیم‌گیری از طریق تکنیک فرآیند تجزیه و تحلیل سلسله مراتبی (AHP)، باید مساله را به دقت و با همه

^۱ Analytical Hierarchy Process (AHP)

^۲ Thomas L. Saaty

جزئیات، تعریف و تبیین کرد و جزئیات آن را به صورت ساختار سلسله مراتبی ترسیم نمود. تکنیک فرآیند تجزیه و تحلیل سلسله مراتبی (AHP) دارای سه اصل کلی ترسیم درختواره سلسله مراتبی، اصل تدوین و تعیین اولویت‌ها و اصل سازگاری منطقی قضاوت‌ها می‌باشد (شاگردکانی و همکاران، ۱۳۹۲).

تصمیم^۱ و تصمیم‌گیری^۲

تصمیم، عبارت است از نتیجه و پایان یک فرآیند.

فرآیندی که داده‌ها و اطلاعات موجود در مورد موضوعی خاص را، در جریان تجزیه و تحلیل قرار داده و از ترکیب مناسب آنها، به استراتژی‌های مورد نظر و بهترین راه حل می‌رسد. لذا پایان یک فرآیند می‌تواند شروع فرآیند دیگری باشد. اتخاذ تصمیم معمولاً توسط یک فرد یا گروهی از افراد یک سازمان، برای کسب یک هدف یا هدف‌های معینی صورت می‌پذیرد. هدف‌های یک سازمان می‌تواند سودآوری، بهره‌وری، ابتکار و توسعه منابع مالی، توسعه و افزایش کارایی مدیریت بهبود عملکرد کارمندان و سایر موارد مشابه باشد.

در یک دسته بندی می‌توان تصمیم‌گیری را به دو دسته اصلی تقسیم کرد:

- مدل تصمیم‌گیری کلاسیک (تک هدفه): در این مدل تصمیم‌گیری، براساس تنها یک هدف کمی صورت می‌گیرد مانند حداکثر کردن سود و یا حداقل کردن هزینه‌های سازمان.
- مدل تصمیم‌گیری چند شاخصه: در این مدل تصمیم‌گیری، بر مبنای بهینه کردن چندین معیار کمی و یا کیفی به شکل همزمان صورت می‌گیرد. حداکثر کردن سود، حداقل کردن هزینه، بالا بردن کارایی و سایر موارد مشابه بصورت همزمان.

تکنیک ترجیح براساس مشابهت به راه حل ایده‌آل^۳ TOPSIS

تاپسیس یکی از روش‌های تصمیم‌گیری چند شاخصه است که جهت امتیازدهی و رتبه‌بندی گزینه‌ها بکار می‌رود. تاپسیس به دو بخش تاپسیس کلاسیک و تاپسیس فازی تقسیم می‌شود.

تاپسیس فازی یکی از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره است که با تکیه بر منطق فازی جهت کاهش ابهام در نظر کارشناسان، همزمان فاصله شاخص‌های مورد بررسی را از ایده‌آل منفی به شینه و از ایده‌آل مثبت کمینه می‌کند و جهت رتبه‌بندی گزینه‌ها در محیط فازی بکار گرفته می‌شود. این روش ابتدا توسط هوانگ و یون در سال ۱۹۸۱ ارائه شد ولی اصلی‌ترین توسعه آن توسط آقای چن در سال ۲۰۰۰ در مقاله‌ای با عنوان بسط روش TOPSIS به تصمیم‌گیری گروهی در محیط فازی ارائه شد، که در آن تکنیک تاپسیس با رویکرد فازی، مورد استفاده قرار گرفت.

^۱ Decision

^۲ Decision Making

^۳ Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS)

فصل ۲- مروری بر منابع

۱-۱- مقدمه

در این پژوهش به منظور جمع‌آوری و دسته‌بندی اطلاعات و داده‌ها از روش‌های زیر بهره‌گیری شده است:

- مطالعات کتابخانه‌ای
 - مطالعات صورت گرفته در حوزه آتش سوزی در ساختمان‌های بلند مرتبه (دلایل بروز، بررسی احتمال بروز، مدلسازی حریق و دود در ساختمان‌های مرتفع، بررسی شدت آتش‌سوزی و نرم‌افزارهای بکار رفته در تحلیل و بررسی رفتار حریق در ساختمان‌های بلند)
 - مطالعات صورت گرفته در زمینه اولویت‌بندی و تعیین ارجحیت معیارها و گزینه‌ها
 - مطالعات صورت پذیرفته با استفاده از تکنیک فرآیند تجزیه و تحلیل سلسله مراتبی (AHP)
 - مطالعات صورت پذیرفته با استفاده از تکنیک ترجیح براساس مشابهت به راه‌حل ایده‌آل (TOPSIS)
 - مطالعات صورت پذیرفته بر استفاده از تکنیک‌های تلفیقی
 - مطالعات صورت پذیرفته با استفاده از تکنیک‌های کمی‌سازی و منطق فازی
 - بازدیدهای میدانی از ساختمان‌های بلند مرتبه واقع در منطقه یک سازمان ایمنی و آتش‌نشانی تهران بزرگ
 - مصاحبه با کارشناسان ایمنی و آتش‌نشانی منطقه ۱ آتش‌نشانی تهران بزرگ
 - مصاحبه با سایر کارشناسان و خبرگان
- در این پژوهش به منظور تجزیه و تحلیل داده‌ها از تکنیک‌های زیر بهره‌گیری شد:
- تکنیک ترجیح بر اساس مشابهت به راه حل ایده‌آل فازی (Fuzzy TOPSIS)
 - تکنیک فرآیند تجزیه و تحلیل سلسله مراتبی فازی (Fuzzy AHP)

۲-۲- تاریخچه بلند مرتبه‌سازی

۲-۲-۱- تاریخچه بلند مرتبه‌سازی در جهان

بلند مرتبه سازی در جهان پدیده‌ای است که از اواخر قرن ۱۹ و اوایل قرن ۲۰ چهره خود را به ثبت رسانیده و نخستین گام‌ها در تولید آسمان خراش‌ها از حدود سال ۱۸۸۰ تا ۱۹۰۰ در شیکاگو برداشته شده است. آخرین دهه‌های قرن نوزدهم با آغاز رشد عمومی بلند مرتبه سازی در غرب همراه بوده است. پدیده بلند مرتبه سازی در طی حیات خود اگرچه همواره از سوی اندیشمندان گوناگون مسائل اجتماعی، اقتصادی و شهرسازی مورد انتقاد واقع شده و به کاربرد آن با شک و تردید نگریسته‌اند اما همواره بنا به ضرورت‌ها، نتوانسته است حضور دائمی خویش را به اثبات رساند و بر میدان فعالیت خود بیافزاید. این پدیده از سویی می‌تواند به بسیاری از مسایل شهری مانند کمبود زمین، کمبود مسکن و سایر موارد مشابه پاسخ دهد، اما از سویی دیگر خود پدید آورنده مشکلات و نارسایی‌های دیگری می‌باشد. در کشورهای غربی سعی شده برای بهره‌مندی از مزایای بلند مرتبه‌سازی و برای کنترل مسائل و مشکلات ناشی از آن بر اساس قوانین و مقررات کاربردی عمل کنند و پدیده را تحت کنترل بیاورند. مکتب شیکاگو^۱ اصطلاحی است که در قالب ایجاد تحولات شهر شیکاگو بعد از آتش‌سوزی بزرگ این شهر در سال ۱۸۷۱ اطلاق می‌شود. این مکتب در راستای جنبش نوگرایی قرن نوزدهم و بیستم میلادی حرکت می‌کرد و از خصایص مهم این جنبش رد سنت دیرین در تزیین و آراستن بنا و رو کردن به اشکال ساده و خالص و نمایان ساختن اسکلت ساختمان است. بلند مرتبه سازی مکتب شیکاگو را باید نتیجه دو عامل مهم، پیشرفت‌های تکنیکی ساختمان و افزایش تقاضای زمین در بافت‌های مرکزی شهرهای بزرگ آمریکا دانست. ساختمان‌های بلند ابتدا برای امور تجاری، اداری، هتل‌ها و در نهایت برای مسکن بکار گرفته شد. حاصل این نگرش رشد روزافزون و متراکم ساختمان‌های بلند در جوار یکدیگر در بافت‌های مرکزی بسیاری از شهرهای دنیا شده است (صدوقیان، ۱۳۷۱).

پس از مکتب شیکاگو، به مکتب نوگرایی می‌توان اشاره کرد که در قرن بیستم به اوج رشد خود رسیده و بیشترین تاثیر را بر شکل‌دهی آسمان خراش‌ها در این قرن داشته است. اندیشه‌های بزرگان این مکتب بیش از هر چیز برخاسته از شرایط بد طبقات پایین جامعه شهری صنعتی بوده است. اصول کلی عقاید این مکتب برگرفته از بیانیه منشور آتن که در سال ۱۹۳۱ در کنگره جهانی معماران مدرن در آتن ارائه شد، می‌باشد. منشور آتن بعد از ذکر نابسامانی‌های زندگی شهری، راه حل مساله را قوانین شهری محکم می‌داند که تامین کننده رفاه و عدالت شهری باشد و از طرف حکومت مقتدر پشتیبانی گردد (اوستروفسکی، ۱۳۷۳).

نظرات مکتب نوگرایی در خصوص مرتفع سازی را می‌توان در جملات زیر خلاصه نمود:

- آزاد شدن سطح زمین از قید ساخت و ساز و استفاده از آن برای ایجاد فضاهای باز و سبز
- قرار دادن خدمات عمومی در ساختمانهای بلند با مزیت دسترسی راحت و آسان
- صرفه جویی اقتصادی در تولید ساختمان، تولید انبوه و مصرف کم زمین
- بهره گیری از فواید عملی ناشی از بالا رفتن قیمت زمین
- ساختمان های بلند با کاربری متفاوت تجاری، اداری، مسکونی و سایر کاربردها مشابه.

^۱ Chicago

مکتب سنترستیونیسم^۱ از شاخه‌های مکتب نوگرایی در روسیه شوروی بعد از انقلاب اکتبر و همزمان با پایان جنگ جهانی اول و مشخصه بارز سال‌های پس از جنگ جهانی اول است. مشخصه بارز سال‌های پس از جنگ جهانی اول در شوروی، فعالیت‌های بود که در زمینه شهرسازی و معماری، در ابعاد نظری و عملی صورت گرفت. از سویی به علت متوقف شدن عملیات ساختمانی در طول جنگ نوعی کمبود مسکن در شهرها احساس می‌شد و از سویی دیگر به علت صدماتی که در طی جنگ به بسیاری از شهرها وارد آمده بود، این کمبود شدت گرفت، بنابراین لازم بود تا به عملیات ساختمانی در مقیاس وسیع اقدام گردد. نظرات مکتب سنترستیونیسم در خصوص مرتفع‌سازی را می‌توان در جملات زیر خلاصه کرد (صدوقیان، ۱۳۷۱).

- بلند مرتبه سازی بنا بر اصل حداکثر بازدهی، هزینه هر واحد تولید شده را پایین آورده و در مصرف زمین و تاسیسات و سایر اقلام ضروری ساختمان صرفه جویی می‌گردد.
- بلند مرتبه سازی مسکونی موجب کاهش فضای خصوصی و افزایش فضای مشترک و عمومی می‌گردد.

- ایجاد ساختمان‌های بلند مسکونی در جوار و نزدیکی محل کار
- سادگی در داخل و خارج بناهای بلند مسکونی و غیر مسکونی

از نظرات دیگر می‌توان مگا استراکچریسم^۲ را نام برد که در اواسط دهه ۱۹۵۰ و برای تقریباً ۲۰ سال حاکم گردید. بر اساس این مکتب، ایده شهر به شکل یک ساختمان بزرگ بهم پیوسته مطرح شد. ایده شهر به مثابه ساختمان در طول نیمه آخر قرن نوزدهم میلادی با استفاده از تکنولوژی جدید و ایده‌های نوینی در این رابطه طرح گردید. صاحبان این مکتب اصولاً برای تبیین و توجیه عقاید و طرح‌های خود بر اصول و عقایدی همچون شرایط نگران کننده محیط زیست و تاکید بر استفاده وسیع از آخرین توانایی‌های تکنولوژی تاکید می‌ورزیدند. نظرات مکتب مگا استراکچریسم را می‌توان در جملات زیر خلاصه کرد (صدوقیان، ۱۳۷۱).

- طرح نظریه بطور کلی و طرح بلند مرتبه‌های غول آسا به طور خاص برای آینده نامشخص
- استفاده از بلند مرتبه سازی در اشکال تخیلی و ابعاد غول‌آسا
- استفاده از بلند مرتبه سازی در مکان‌هایی مانند فضا، اعماق دریا و اعماق زمین
- استفاده از تکنولوژی فوق‌العاده پیچیده در طراحی بلند مرتبه‌های غول‌آسا

۲-۲-۲- تاریخچه بلند مرتبه‌سازی در ایران

بلند مرتبه سازی در ایران از اواسط سده حاضر در تهران و سپس در شهرهای بزرگ شکل عملی به خود گرفت و به تدریج به سایر نقاط کشور سرایت کرد. تاریخچه اصلی بلند مرتبه‌سازی در ایران به حدود دهه ۳۰ باز می‌گردد. در این سالها (۱۳۲۸-۱۳۳۰) نخستین ساختمان بلند مرتبه به سبک غربی در تهران توسط مهندس خانشقانی در خیابان جمهوری (نادر سابق) با ۱۰ طبقه ساخته شد اسکلت این ساختمان از بتن آرمه و مجهز به دو دستگاه آسانسور بود که هنوز هم در حال استفاده است. در سالهای ۱۳۳۹-۱۳۴۱ در محل تقاطع خیابان فردوسی و جمهوری، ساختمان تجاری ۱۶ طبقه ای به نام "پلاسکو" متعلق به القانیان ساخته شد. این اولین ساختمان با اسکلت فلزی در ایران بود. دو سال بعد، ساختمان تجاری ۱۳ طبقه آلومینیوم نیز

^۱ Centercitionism

^۲ Mega Structurism

با اسکلت فلزی در خیابان جمهوری با سرمایه‌القانیان ساخته شد که دارای دو دستگاه آسانسور بود. از جمله ساختمانهای بلند مرتبه در دهه ۱۳۴۰، ساختمان "بانک کار" بود که در خیابان ۱۳۴۳-۱۳۴۹ بین خیابان حافظ و ولیعصر ساخته شد. احداث این مجموعه پس از تدوین و تصویب قانون تملک آپارتمانها در سال ۱۳۴۳، برای تشویق بلند مرتبه سازی مسکونی آغاز شد. پس از تصویب ماده صد اصلاحی قانون مالیات‌های مستقیم (مصوب ۱۳۴۵)، ساخت مجتمع مسکونی سامان در ۲۰ طبقه در ضلع شمالی بلوار کشاورز آغاز شد. این ماده برای تشویق و ترغیب مالکان و صاحبان سرمایه به احداث ساختمان‌های بلندتر از ۱۰ طبقه تنظیم شده بود. در سال‌های دهه ۱۳۵۰، ساخت مجموعه‌های مسکونی بلند مرتبه عمدتاً در شمال و شمال غرب تهران رونق یافت. محل استقرار و نوع این مجموعه‌ها نشان می‌دهد که سیاست تشویق و ترغیب بلند مرتبه سازی برای تامین اقشار کم درآمد و متوسط، حاصل دیگری به بار آورد. شاید از مهمترین دلایل این امر، گرانی قیمت تمام شده ساختمان‌های بلندمرتبه مسکونی بود. با وقوع انقلاب اسلامی، بلند مرتبه سازی تقریباً به مدتی بیش از ۱۱ سال متوقف شد در این سال‌ها، ساخت و ساز این نوع ساختمان‌ها به تکمیل مجموعه‌های مسکونی نیمه تمام محدود ماند. ساختمان‌های بلندمرتبه مسکونی ساخته شده در دو دهه ۱۳۵۱ و ۱۳۶۱ در تهران، به دو بخش متمایز تقسیم می‌شوند. نخست مجتمع‌های مسکونی بسیار بزرگ ساخته شده با منابع مالی و مدیریت دولتی و دوم، مجتمع‌های کوچکتر که با سرمایه و مدیریت بخش خصوصی ساخته شده‌اند. موج جدید بلندمرتبه سازی در سال‌های پایانی دهه ۱۳۶۱، در پی افزایش قیمت زمین و آغاز فروش تراکم از سوی شهرداری تهران آغاز شد و از بخش‌های شمالی تهران شروع و تمامی مناطق تهران را تحت پوشش خود قرار داد (زید عبدی و سبزی، ۱۳۹۵).

۲-۳- تاریخچه آتش‌سوزی‌های عظیم

۲-۳-۱- تاریخچه آتش‌سوزی‌های عظیم در دنیا

از زمانی که بشر به جای سنگ از چوب در ساختن سازه‌ها استفاده کرد همواره آتش‌سوزی وجود داشته و تقریباً هر شهر بزرگی در جهان حداقل یک بار به طور کامل در آتش سوخته است. برخی حتی بیشتر از یک بار دچار حریق شده‌اند. برای مثال شهر قسطنطنیه، استانبول امروزی، بین سالهای ۴۰۶ تا ۱۲۰۴ میلادی حداقل پنج بار دچار آتش‌سوزی شده و هر بار نیز ساکنان آن با تلاشی و صف‌ناشدنی دوباره شهر را از نو ساخته و البته شرایط را برای آتش‌سوزی بعدی مهیا کرده‌اند. گاهی این آتش‌سوزی‌ها منشأ انسانی داشته و در نتیجه جنگ‌ها به وجود می‌آید. با این وجود اغلب این حوادث طبیعی بوده و روش‌های ساخت نامناسب، استفاده گسترده از مصالح ساختمانی قابل اشتعال و ناتوانی مطلق در مهار شعله‌های آتش نیز مزید بر علت می‌گردید. بسیاری از این آتش‌سوزی‌ها با توجه به ابعاد گسترده آن‌ها و نقش آن‌ها در تحولات تاریخی همچنان در ذهن بشریت مانده‌اند. در زیر به تشریح برخی از مهیب‌ترین، خاتمان‌سوزترین و مهمترین آتش‌سوزی‌هایی که منشأ آنها جنگ نبوده است پرداخته خواهد شد.

- آتش‌سوزی شهر بوستون آمریکا در سال ۱۸۷۲ میلادی

اگر چه آتش‌سوزی بوستون در سال ۱۸۷۲ میلادی به بزرگی آتش‌سوزی سال قبل از آن در شیکاگو و آتشی که سه دهه بعد سانفرانسیسکو را با خاک یکسان کرد نبود اما بیشتر از هر آتش‌سوزی دیگری به مردم آمریکا

خسارت وارد کرد. این حریق بیشتر مناطق پایین شهر که عمده مراکز تجاری در آن واقع شده بودند را در بر گرفت و باعث شد که هزاران نفر از ساکنان شهر بوستون مشاغل خود را از دست داده و صدها کسب و کار دیگر به کلی نابود شوند. آتش سوزی بوستون چنان خسارتی به اموال ساکنان شهر زده بود که بسیاری از شرکت‌های بیمه پس از ناتوانی در جبران خسارت‌های مشتریان خود اعلام ورشکستگی کردند. متأسفانه اگر اداره آتش‌نشانی پرکار شهر مجبور به بستن جعبه‌های اعلام خودکار حریق نمی‌شد (که توسط اعضای شورای شهر برای جلوگیری از اعلان‌های اشتباهی بسته شده بودند)، فشار آب کم نبوده و ابزارهای اطفاء حریق بهتری در شهر وجود داشت چنین خسارت عظیمی به شهر وارد نمی‌شد. تمامی این اشتباهات باعث شد که ۶۵ هکتار از مناطق جنوبی شهر بوستون به خاکستر تبدیل شده، ۷۷۶ خانه در آتش سوخته و ۲۰ نفر نیز جان خود را از دست بدهند. این آتش سوزی یکی از مهیب‌ترین آتش سوزی‌هایی بود که در سواحل جنوبی آمریکا اتفاق افتاد.

• آتش‌سوزی شهر لندن در سال ۱۲۱۲ میلادی

آتش سوزی مهیب سال ۱۲۱۲ میلادی در لندن که به آتش سوزی بزرگ «سوٲ وارک مشهور»^۱ است باعث مرگ ۳۰۰۰ نفر از ساکنان این شهر شد. اغلب این قربانیان بعد از سوختن و غرق شدن پل چوبی لندن در میان شعله‌های آتش گرفتار شده و زنده زنده در آتش سوختند. البته آتش‌سوزی مهیب دیگری در سال ۱۶۶۶ میلادی نیز در این منطقه اتفاق افتاد که تعداد قربانیان آن از آتش سوزی سال ۱۲۱۲ میلادی بسیار کمتر بود. اگر چه تعداد دقیق خانه‌هایی که در آتش سوختند معلوم نیست اما این آتش‌سوزی مهیب اکثر مناطق جنوب رودخانه تایمز که به سوٲ وارک معروف بود را در خود بلعید و بیش از یک سوم این شهر تاریخی را به ویرانه تبدیل کرد. البته این تنها آتش سوزی اتفاق افتاده در شهر لندن نبود و قبل از آن نیز دو آتش سوزی دیگر در سال‌های ۱۱۳۰ و ۱۱۳۵ میلادی بخش‌هایی از شهر را ویران کرده بودند (آتش سوزی سال ۱۱۳۵ میلادی اکثر مناطق بین محله‌های سنت پل و سنت کلمنت دینز^۲ در منطقه وست مینستر را به خاکستر تبدیل کرد). در واقع این شهر بزرگ در بین سالهای ۱۱۳۰ تا ۱۶۶۶ میلادی بارها دچار حریق شد و یکی از شهرهایی بود که همواره امکان آتش‌سوزی در آن وجود داشت. این آتش‌سوزی‌ها چنان شایع شده بود که هیچ بیمه‌ای در برابر آتش‌سوزی وجود نداشت.

• آتش‌سوزی شهر رم در سال ۶۴ میلادی

اگر چه این آتش سوزی مهیب شهر رم پایتخت امپراطوری روم را با خاک یکسان کرد اما بر خلاف افسانه‌ها هیچ مدرکی دال بر ویولون زدن امپراطور نرون همزمان با وقوع آتش سوزی در شهر وجود ندارد (در آن زمان هنوز ساز ویولون اختراع نشده بود). همچنین ادعا می‌شود که نرون برای ساختن قصر خود مناطقی از شهر را عمداً دچار حریق کرده است که این ادعا نیز به نظر نادرست آمده و بیشتر مربوط به شایعاتی است که مخالفان برای بدنام کردن وی بعد از مرگش در بین مردم پخش کردند. بر طبق اسناد به جا مانده از آن دوره و ادعای تاریخ نویس رومی مارکوس تاسیتوس^۳ شهر به مدت پنج روز و نیم در آتش می‌سوخت و ۱۰ منطقه از ۱۴ منطقه شهر به تلی از خاکستر تبدیل شد. اگر چه امپراطور نرون دخالتی در این آتش سوزی نداشت

¹ The Great Fire of Southwark

² St Clement Danes

³ Marcus Tacitus

اما ظاهراً از آن به عنوان دستاویزی برای دستگیری و زندانی کردن مسیحیان محلی استفاده کرده است زیرا آنها را مسئول آتش سوزی می‌دانست. با این وجود او بعد از مدتی یکی از بهترین قصرهایش را بر ویرانه‌های به جای مانده از این آتش سوزی ساخت که همین اقدام شرایط را برای سرنگونی حکومت وی در سال‌های بعد مهیا کرد.

• آتش‌سوزی شیکاگو در سال ۱۸۷۱ میلادی

آتش‌سوزی‌های کمی وجود دارند که بتوانند با آتش سوزی اکتبر سال ۱۸۷۱ میلادی که شیکاگو را به خاکستر تبدیل کرد و باعث ویرانی ۱۷۰۰ خانه و آواره شدن ۹۰۰۰۰ نفر شد، برابری کند. خوشبختانه این آتش سوزی سریع انتهای پیدا نکرد و تنها ۳۰۰ نفر جان خود را از دست دادند اما بعد از اتمام آتش سوزی بسیاری از ساکنان در طول زمستان آن سال بدون پناهگاه در سرمای شدید منطقه گرفتار شده بودند. بر طبق اسناد موثق این آتش سوزی از یک انبار علوفه آغاز شد ولی علت دقیق آتش سوزی تاکنون مشخص نشده است. یک روزنامه نگار محلی ادعا کرده بود که یک فانوس در انبار علوفه از سقف افتاده و گاوهای حاضر در انبار با لگد کردن آن موجبات وقوع آتش سوزی را فراهم کرده‌اند اما این ادعا بعدها توسط خود او تکذیب شده و اذعان کرد که تنها برای بال و پر دادن به ماجرا این داستان را از خود ساخته است. اما محققان به این نتیجه رسیده‌اند که به احتمال زیاد شخصی که در این مکان سیگار روشن کرده و سیگار خود را در علف‌های خشک موجود در انبار انداخته سهواً باعث آتش‌سوزی شیکاگو شده است. با این وجود این آتش سوزی نیز مانند آتش سوزی سال ۱۶۶۶ میلادی در شهر لندن شرایط را برای نو سازی شهر شیکاگو فراهم ساخت به طوری که این شهر بعد از چندین دهه به یکی از بزرگترین کلان شهرهای آمریکا تبدیل شد. همچنین این آتش سوزی مسئولان شهر را بر آن داشت که بخش آتش‌نشانی شهر را توسعه داده و تجهیز کنند. اکنون آتش‌نشانی این شهر به یکی از مهمترین و بهترین مراکز اطفاء حریق در کشور آمریکا تبدیل شده است.

• آتش‌سوزی سانفرانسیسکو در سال ۱۹۰۶ میلادی

این آتش‌سوزی که بیش از ۲۵۰۰۰ ساختمان را در ۲۴۰ محله با خاک یکسان کرد و حدود ۳۰۰۰ کشته برجای گذاشت هم منشأ انسانی داشت و هم منشأ طبیعی. آتش‌سوزی سانفرانسیسکو با وقوع زلزله در ساعات اولیه روز ۱۸ آوریل سال ۱۹۰۶ آغاز شد و بسیاری از خرابیها در نتیجه اقدامات اشتباه و از روی درماندگی آتش‌نشانان بی تجربه در منفجر کردن ساختمان‌های دست نخورده و سالم برای ایجاد مانع در برابر آتش به وقوع پیوست (بر طبق آمار بیش از ۵۰ درصد خرابی‌های توسط مأموران آتش‌نشانی برای مهار کردن آتش اتفاق افتاد که نهایتاً سود چندانی نیز نداشت). اگرچه زلزله باعث از بین رفتن مخازن آب شده بود اما مشکل اصلی از این ناشی می‌شد که مسئولان شهر مدیریت درستی نداشته و بودجه‌ای که برای مواقع اضطراری در نظر گرفته شده بود را در جاهای دیگر هزینه کرده و بدین ترتیب امکانات و تجهیزات لازم برای بخش آتش‌نشانی شهر فراهم نشده بود. اتفاق ناگوار دیگر مرگ رییس باتجربه بخش آتش‌نشانی بود که عملاً بعد از مرگ وی کسی وجود نداشت که آتش‌نشانان را سازماندهی و هدایت کند. بدون شک این روز یکی از سخت‌ترین روزهای زندگی ساکنان شهر سانفرانسیسکو بوده است اما بعد از آتش‌سوزی، بازسازی شهر چنان با سرعت صورت گرفت که یک دهه بعد نشانی از آتش‌سوزی مهیب دهه قبل در شهر دیده نمی‌شد.

- آتش‌سوزی شهر پستیگو^۱، ایالت ویسکانسین^۲ در سال ۱۸۷۱ میلادی

اگر چه بسیاری از مردم آمریکا از آتش‌سوزی سال ۱۸۷۱ میلادی در شیکاگو اطلاع دارند اما بسیاری نمی‌دانند که درست در همان زمان آتش‌سوزی مهیب دیگری چند صد مایل دورتر در ایالت شمالی ویسکانسین اتفاق افتاد که بیش از هر آتش‌سوزی دیگری در تاریخ آمریکا قربانی داشت. با توجه به دورافتاده بودن منطقه و روستایی بودن اکثریت ساکنان نمی‌توان تعداد دقیق قربانیان این آتش‌سوزی را برآورد کرد اما بر طبق برخی ادعاها منطقه آتش گرفته دو برابر مساحت ایالت رود آیلند بوده و ۱۲ محله را درگیر خود کرد. برخی تعداد کشته شدگان را بالغ بر ۲۵۰۰ نفر برآورد کرده اند. بیشترین آسیب به شهر کوچک پستیگو وارد شد به طوری که اکثر ساکنان این شهر (حدود ۱۷۰۰ نفر) از قربانیان آتش‌سوزی بودند و اجساد بسیاری از آنان هرگز شناسایی یا حتی پیدا نشد (بسیاری از ترس شعله‌های آتش خود را در رودخانه پستیگو و چاه‌ها و دیگر مخازن آب شهر انداخته و همگی غرق شدند). برخی از شاهدین واقعه ادعا می‌کردند که شعله‌های آتش باعث به وجود آمدن طوفانی شده بود که واگن‌های قطار و خانه‌ها را صدها متر به هوا بلند کرده و کاملاً تخریب می‌کرد.

- آتش‌سوزی تگزاس سیتی ایالت تگزاس در سال ۱۹۴۷ میلادی

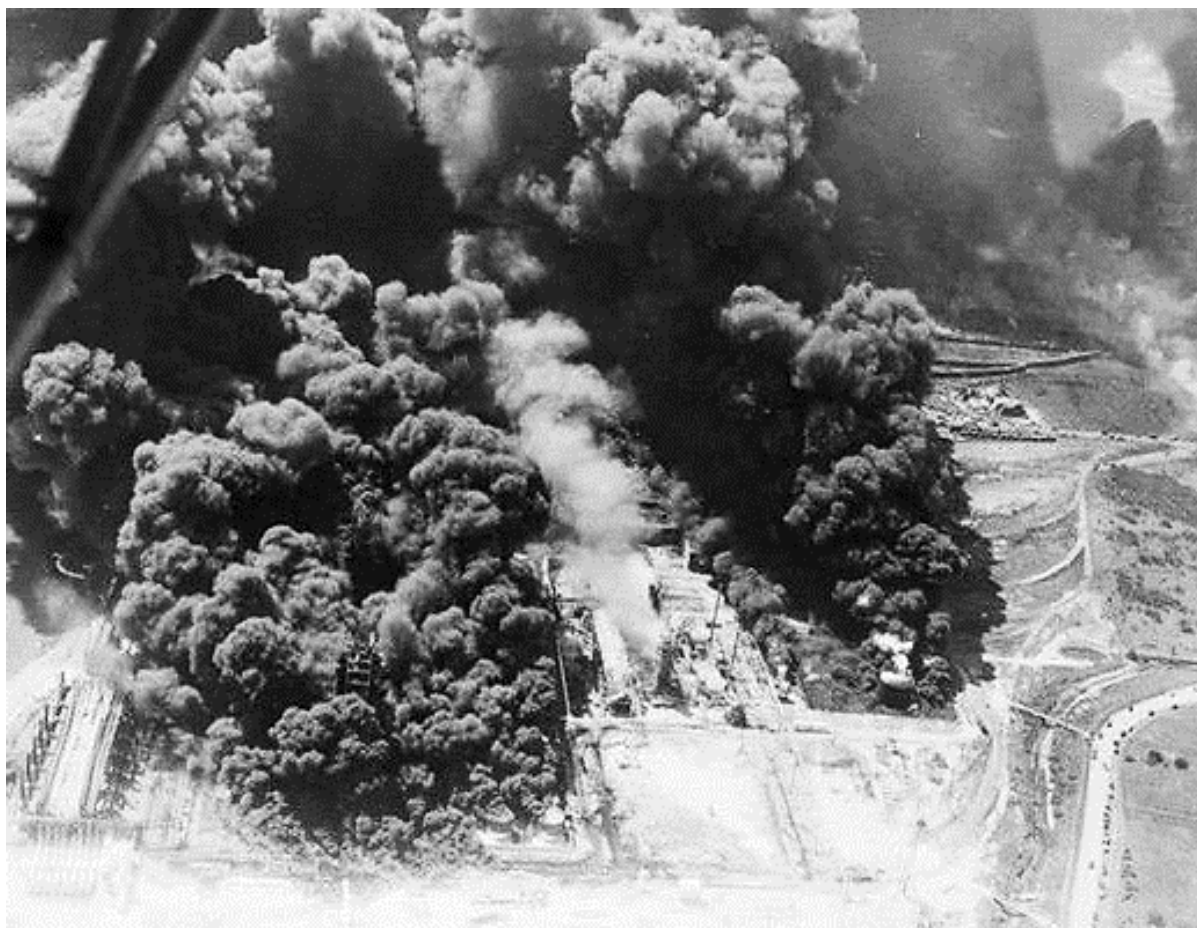
کسی فکر نمی‌کرد که یک آتش‌سوزی مختصر در یک کشتی باری پهلو گرفته در لنگرگاه چنین آتش‌سوزی عظیمی ایجاد کند. این کشتی حامل ۲۳۰۰ تن کود نیترات آمونیوم بود که آتش‌سوزی در آن باعث شد بزرگترین انفجار صنعتی در تاریخ آمریکا به وقوع بپیوندد. شدت انفجار این محموله به قدری بود که ۱۰۰۰ ساختمان در آن حوالی را با خاک یکسان کرد و بیش از ۶۰۰ کشته و ناپدید برجای گذاشت (از جمله تمامی اعضای داوطلب آتش‌نشانی شهر تگزاس سیتی که بعد از وقوع آتش‌سوزی در درون کشتی حضور یافته و برای مهار آن تلاش می‌کردند). آتش حاصل از این انفجار به چندین پالایشگاه و مرکز تولید مواد شیمیایی مجاور لنگرگاه نیز سرایت کرد و باعث سوختن تمامی بندر و قسمت زیادی از شهر شد. شدت انفجار چنان بود که مردم نیواورلئان^۳ در فاصله ۲۵۰ مایلی از محل آتش‌سوزی صدای انفجار را شنیده و شیشه ساختمانها در شهر هیوستون^۴ که در فاصله ۴۰ مایلی تگزاس سیتی واقع بود نیز شکست. این انفجار حتی یک فروند هواپیمای مسافربری که در فاصله ای دور از آسمان شهر تگزاس سیتی در پرواز بود را تحت تاثیر قرار داد و یکی از لنگرهای کشتی را حدود یک مایل به هوا پرتاب کرد (این لنگر تنها چیزی است که از تمام بندر مانده است).

¹ Peshtigo

² Wisconsin

³ New Orleans

⁴ Houston



شکل (۱-۲) تصویری از آتش‌سوزی تگزاس سیتی ایالت تگزاس در سال ۱۹۴۷ میلادی

• آتش‌سوزی بندر هلیفاکس^۱ منطقه نووا اسکوتیا^۲ کانادا در سال ۱۹۱۷ میلادی

آتش‌سوزی بندر هلیفاکس در زمان جنگ جهانی اول اتفاق افتاد و بزرگترین آتش‌سوزی تاریخ نام گرفت که منشا انسانی داشته است. در صبحگاه ششم دسامبر سال ۱۹۱۷ میلادی کشتی باری مون بلان^۳ که تا مملو از مهمات جنگی بود با یک کشتی باری نیروزی در دهانه باریک بندر هلیفاکس برخورد کرد و دچار حریق شد. قبل از این که آتش‌شانان بتوانند آتش را مهار کنند شعله‌ها به مواد منفجره موجود در کشتی رسیده و انفجاری با قدرت ۳ تن TNT به وقوع پیوست. شدت موج این انفجار به حدی بود که باعث به وجود آمدن سونامی در بندر هلیفاکس، از ریشه درآمدن درختان، خم شدن ریل‌های قطار، از بین رفتن ساختمان‌ها و سیستم لوله‌کشی زیرزمینی منطقه شد و قطعات کشتی را صدها مایل به هر طرف پرتاب کرد. روز بعد نیز چنان کولاک شدیدی در گرفت که تلاش‌ها برای کمک‌رسانی به مردمی که از روز قبل در زیر آوار گرفتار شده بودند را متوقف کرده و باعث افزایش تعداد کشته‌شدگان (بیش از ۲۰۰۰ نفر) شد. این انفجار ۹۰۰۰ نفر نیز زخمی برجای گذاشته و قسمت اعظم شهر را ویران کرد چنانکه تا سال‌ها بعد بندر هلیفاکس قابل استفاده نبود.

^۱ Halifax

^۲ Nova Scotia

^۳ Mont-Blanc



شکل (۲-۲) تصویری از آتش‌سوزی بندر هالیفاکس منطقه نووا اسکوتیا کانادا در سال ۱۹۱۷

• آتش‌سوزی توکیو، ژاپن در سال ۱۹۲۳ میلادی

در سال ۱۹۲۳ میلادی در توکیو زلزله‌ای به وقوع پیوست که با آتش‌سوزی همراه بود. این زلزله و آتش‌سوزی متعاقب آن شهر توکیو را به ویرانه تبدیل کردند. به گزارش برخی منابع در نتیجه این دو حادثه بیش از ۱۴۲۰۰۰ نفر جان خود را از دست دادند (بیش از ۳۸۰۰۰ نفر از آنان افرادی بودند که بعد از وقوع زلزله و آتش‌سوزی در فضای باز جنوب شهر توکیو تجمع کرده و در نتیجه گردباد آتشین تولید شده از شعله‌های آتش زنده زنده سوختند). موضوعی که این آتش‌سوزی را از هر نظر منحصر بفرد می‌کند این است که تعدادی از عوامل مختلف در بروز چنین فاجعه وحشتناکی دخیل بودند. برای مثال زلزله زمانی رخ داد که بسیاری از ساکنان در حال پختن غذای ظهر بودند که خود باعث شد در نقاط مختلفی از شهر آتش‌سوزی آغاز شده و در نتیجه باد شدید به دیگر نقاط نیز سرایت پیدا کند. در نتیجه آتش‌سوزی‌های مهیبی در بیشتر نقاط شهر رخ داد که به طوفان‌های آتشین سوزان تبدیل شدند. علاوه بر این زلزله باعث وقوع سونامی دیگری نیز شد که بر ابعاد ویرانی و تعداد کشته شدگان افزود. در نتیجه این دو حادثه همزمان بیش از ۵۷۰۰۰۰ خانه در شهر توکیو و مناطق اطراف ویران شده و نزدیک به دو میلیون نفر نیز بی‌خانمان شدند. این حادثه توکیو را به دوزخی سوزان برای ساکنان خود تبدیل کرد. با این وجود شهر توکیو به سرعت بازسازی شد اما در جنگ جهانی دوم بار دیگر توسط هواپیماهای بمب افکن بی ۲۹ (B-29) آمریکا در آتش سوخت.



شکل (۲-۳) تصویری از آتش‌سوزی توکیو، ژاپن در سال ۱۹۲۳ میلادی

علاوه بر ۱۰ مورد آتش‌سوزی بزرگ تاریخ، شهرهای دیگری نیز در طول تاریخ به دلیل حریق‌های بزرگ با خاک یکسان شده‌اند از جمله:

- نیویورک سیتی (یک بار در سال ۱۷۷۶ و بار دیگر در سال ۱۸۳۵ میلادی)،
- آمستردام (یک بار در سال ۱۴۲۱ و بار دیگر در سال ۱۴۵۲ میلادی)،
- مسکو (چهار بار بین سال‌های ۱۵۴۷ تا ۱۸۱۲ میلادی)،
- کپنهاگن (یک بار در سال ۱۷۲۸ و بار دیگر ۶۷ سال بعد از آن)
- و نیواورلئان (یک بار در سال ۱۷۸۸ و بار دیگر در سال ۱۷۹۴ میلادی) (سلامت آنلاین/ ترجمه: ندا اظهري).

آتش‌سوزی در ساختمان‌های مسکونی و تجاری یکی از هولناک‌ترین حوادثی است که موجب خسارات مالی و جانی فراوان می‌شود. برای بسیاری از افراد، مرگ در شعله‌های آتش، بدترین و دردناک‌ترین سناریوی ممکن برای کشته شدن است. آتش‌سوزی موجب تخریب خانه‌های مسکونی، مجتمع‌های تجاری، شهرها و جنگل‌ها و مهم‌تر از همه، جان انسان‌ها شده که امری جبران ناپذیر است. آتش‌سوزی ممکن است بر اثر عوامل طبیعی مانند زلزله، رعد و برق رخ داده و یا بر اثر خطاهای انسانی و یا خرابکاری و یا نقص در سیستم‌های حرارتی و الکتریکی به‌وجود آید. بزرگترین آتش‌سوزی‌های تاریخ به دلیل رخ دادن در مکان‌های عمومی و پرجمعیت مانند سالن سینما، مدرسه و کلیسا، از میزان تلفات و خسارات مالی بسیار بالایی برخوردار بوده و جان تعداد زیادی انسان بیگناه را گرفته است. در زیر به تشریح برخی از مهمترین و خسارت بارترین حوادث ساختمانی در دنیا اشاره خواهد شد.

- مدرسه دایاناندا آنگلو^۱ در هندوستان در سال ۱۹۹۵ میلادی در روز ۲۵ دسامبر سال ۱۹۹۵ میلادی، در هنگام مراسم توزیع جوایز با حضور دانش آموزان و والدین در مدرسه دایاندا آنگلو، یک آتش‌سوزی در این سالن به وقوع پیوست که موجب مرگ بیشتر حاضرین گردید. در این حادثه که تنها ۲ روز پیش از عید کریسمس رخ داد، نزدیک به ۵۴۰ نفر در شعله‌های آتش جان باختند.
- تئاتر تینتسین^۲ در چین در سال ۱۸۷۲ میلادی یکی دیگر از بزرگترین و هولناک‌ترین آتش‌سوزی‌های تاریخ در سالن تئاتر تینتسین در تیانشین کشور چین به وقوع پیوست. این حادثه که یکی از مرگبارترین حوادث تاریخ این کشور نیز به حساب می‌آید، در تاریخ ۲۰ ماه می سال ۱۸۷۲ رخ داد و موجب کشته شدن ۶۰۰ نفر گردید.
- تئاتر ایروکوی^۳ در شیکاگو در سال ۱۹۱۳ میلادی حادثه تئاتر ایروکوی شهر شیکاگو ایالت ایلینوی آمریکا که در تاریخ این شهر به یکی از مرگبارترین و بزرگترین آتش‌سوزی‌ها ثبت شد، در ۳۰ دسامبر سال ۱۹۱۳ میلادی به وقوع پیوست. این حادثه مرگبار جان ۶۰۳ نفر از حاضرین در سالن را گرفت.
- سالن سینمای نانتانگ^۴ در چین در سال ۱۹۳۷ میلادی در روز ۱۳ فوریه سال ۱۹۳۷ میلادی، آتش سوزی مرگباری که در سالن سینمای نانتانگ به وقوع پیوست، جان ۶۵۸ نفری را که برای تماشای فیلم در آن حاضر شده بودند را گرفت و تبدیل به یکی از بزرگترین مرگبارترین آتش‌سوزی‌های این کشور و تاریخ گردید.
- سالن سینمای ژینجیانگ^۵ در چین در سال ۱۹۷۷ میلادی یک سینمای چینی دیگر نیز در جمع بزرگترین آتش‌سوزی‌های تاریخ حضور دارد. در این حادثه که در سال ۱۹۷۷ میلادی رخ داد، شعله‌های آتش ۶۶۷ تماشاگر را به کام مرگ فرستادند.
- تاتر لمان^۶ در روسیه در سال ۱۸۳۶ میلادی در جریان برنامه یک سیرک در شهر سن پترزبورگ کشور روسیه، آتشی که در حین اجرا بوجود آمده بود به سرعت گسترش یافت و تمامی سالن تاتر را در بر گرفت. این آتش سوزی بزرگ که در سال ۱۸۳۶ رخ داد، منجر به کشته شدن بیش از ۸۰۰ انسان گردید.
- تاتر شانگهای^۷ در چین در سال ۱۸۷۱ میلادی در ماه ژوئن سال ۱۸۷۱ میلادی، در حدود ۹۰۰ نفر از تماشاچسانی که برای تماشای برنامه به بزرگترین سالن تاتر این شهر آمده بودند، به کام مرگ فرو رفتند. این حادثه نیز در جمع دردناکترین و بزرگترین آتش‌سوزی‌های تاریخ این کشور پیوست.

^۱ Dayananda Anglo^۲ Tientsin^۳ Irquoise^۴ Nuntung^۵ Xinjiang^۶ Lehman^۷ Shanghai

• تاتر کانتون^۱ در چین در سال ۱۸۴۵ میلادی

کشور چین حضور بسیار فعالی در فهرست بزرگترین آتش سوزی‌های تاریخ دارد. در ۱ ماه می سال ۱۸۴۵ میلادی، نزدیک به ۱۶۷۰ نفر در جریان اجرای نمایش در سالن نمایش کانتون در گوانگ ژو^۲ در شعله‌های آتش سوختند. از این حادثه به عنوان یکی از بزرگترین آتش سوزی‌های قرن ۱۹ میلادی نیز یاد می‌گردد.

• تاتر کاملی^۳ در ژاپن در سال ۱۸۹۳ میلادی

در روز دوم آگوست سال ۱۸۹۳ آتشی که از چراغ‌های نفتی موجود در سالن کاملی آغاز شده بود، به سرعت گسترش یافت و تمامی این سالن را در بر گرفت. بیش از ۳۰۰۰ نفر در این سالن حاضر بودند و نزدیک به ۱۹۹۵ نفر از آنان در این حادثه کشته شدند. شورش و اغتشاش پس از این آتش‌سوزی، آن را به یکی از مرگبارترین نمونه‌ها در تاریخ ژاپن تبدیل کرد.

• کلیسای ایگلسیا دلا کمپانیا د خسوس^۴ در شیلی در سال ۱۸۶۳ میلادی

قدیمی‌ترین و بزرگترین حادثه‌ای که منجر به کشته شدن انسان‌ها در جریان آتش سوزی یک ساختمان به وقوع پیوسته، مربوط به کلیسای ایگلسیا دلا کمپانیا د خسوس در شهر سانتیاگو کشور شیلی است. این واقعه در روز ۸ دسامبر سال ۱۸۶۳ رخ داد که منجر به کشته شدن ۲۵۰۰ انسان در شعله‌ها گردید. در هنگام برگزاری مراسم مذهبی، لامپ‌های روغنی موجود در سالن موجب ایجاد یک آتش‌سوزی شدند. آتش به سرعت به تمامی کلیسا سرایت کرد. پرده‌ها و تزئینات موجود سرعت حریق را بیشتر نموده و در نهایت سقف چوبی این کلیسا نیز طعمه شعله‌های آتش گردید. ریزش آوار موجب بسته شدن در ورودی به عنوان تنها راه خروج گردید و تمامی حاضرین با به تله افتادن در این جهنم سوزان، به کام مرگ فرو رفته و یکی از دردناک‌ترین و بزرگترین آتش سوزی ساختمان را در تاریخ رقم زدند (منبع World Atlas).

۲-۳-۲- تاریخچه آتش سوزی‌های عظیم در ایران

• آتش سوزی ساختمان پلاسکو در سال ۱۳۹۵ شمسی

ساختمان پلاسکو، ساختمانی تجاری در ضلع شمال شرقی چهارراه استانبول، تهران بود. و از آن به‌عنوان اولین آسمان‌خراش و ساختمان مدرن خاورمیانه یاد می‌شد. پلاسکو با ارتفاع ۴۲ متر در زمان اتمام ساخت در سال ۱۳۴۱ بلندترین ساختمان تهران بود و در کنار ساختمان آلومینیوم از اولین آسمان‌خراش‌های تهران شمرده می‌شد. این ساختمان نماد تهران جدید و معماری مدرن در پایتخت و به عنوان یک نماد شاخص شهری محسوب می‌شد. این ساختمان در زمان خود بلندترین بنای ساختمانی در ایران بود و یکی از نمادهای مدرنیته ایران به شمار می‌رفت. در تصویر زیر عکس از ساختمان پلاسکو در سال ۱۳۵۳ را نشان داده شده است.

¹ Canton

² Guangzhou

³ Kamli

⁴ Iglesia de la Compania de Jesus



شکل (۲-۴) ساختمان پلاسکو در سال ۱۳۵۳

ساختمان پلاسکو شامل ۱۷ طبقه (یک طبقه زیرزمین، یک طبقه همکف و ۱۵ طبقه روی پیلوت) و سازه آن از نوع اسکلت فلزی بود. متراژ تقریبی زیربنای ساختمان پلاسکو ۲۹ هزار متر مربع بود و طبقات اول تا چهارم مساحت بیشتری نسبت به سایر طبقات داشتند. سازه ساختمان پلاسکو تمام فولادی بود و حتی نمای بیرونی آن کلاف کشی و با فولاد بسته شده بود که با این شیوه ساخت استوار، عمر مفید آن را ۲۰۰ سال تخمین می‌زدند. در ابتدای گشایش پاساژ، تهیه کنندگان فیلم و شرکت‌های مختلف در طبقات اول دفتر گرفته بودند، ولی رفته رفته، این بنگاه‌ها، جای خود را به تولیدی‌ها و تک فروشی‌های پوشاک دادند و حضور صنف پوشاک در این پاساژ تا پایان عمر ساختمان ادامه داشت. عمده واحدهای این ساختمان با مرور زمان و در سالهای انتهایی عمر آن به کارگاه‌های تولیدی تبدیل شده بود که با کاربری آن همخوانی نداشت. از نمای سپید و قرمز سال‌های اولیه برج پلاسکو و مجسمه عظیم «کانادا درای» نارنجی که برای تبلیغ روی برج پلاسکو نصب کرده بودند، در سالهای آخر فقط قطعات فلزی منظمی باقی مانده بود که از یک طرف نمای برج بیرون زده بود. با این حال، ساختمان پلاسکو هنوز تا فاصله قابل توجهی از هر طرف، کاملاً دیده می‌شد. طبقات اول تا چهارم این ساختمان دارای مساحت بیشتری نسبت به سایر طبقات بودند که بیشتر خرده فروش بودند و انواع پوشاک، به ویژه پوشاک مردانه ارائه می‌شد. در سایر طبقات نیز اکثراً تولیدی‌ها یا دفاتر پخش پوشاک مستقر بودند. معماری ساختمان پلاسکو به شکل حرف L انگلیسی بود و قسمت اصلی برج آن که واحدهای تولیدی و کارگاهی در آن قرار داشت و در ضلع جنوبی آن و در سمت ورودی ساختمان از خیابان جمهوری قرار داشت جزو بخش عمودی بود و در ادامه مغازه‌های عرضه پوشاک شامل طبقات منهای یک تا چهارم در بخش افقی سازه با یک سقف شیشه‌ای قرار داشت. سقف بسیار بلند مجتمع و طراحی دایره وارث گردش و دیدن ویتروین‌ها را بسیار آسان کرده بود. در راهروها هم صندلی‌هایی برای نشستن

وجود داشت که فضای تجاری را انسانی می‌کرد. راه پله‌های پلاسکو به سبک قدیم موزاییکی و با لبه‌های فلز کوبی شده بود. در پاگردها سطل آشغال‌های بزرگ قرار داشت و آگهی‌های تهیه لوازم خیاطی و چیزهای دیگر را می‌شد دید. در طبقه‌های بالایی مغازه‌های ویتترین دار وجود نداشت. در این طبقات کاغذهای راهنمایی نصب شده بود که مشتری‌ها را به سمت تولیدی‌هایی که به دنبالش بودند راهنمایی می‌کرد. در راهروها هم اکثر مواقع کیسه‌های پلاستیکی بزرگ با آدرس شهرهای مختلف و جعبه‌هایی که می‌بایست برای کاسب‌ها ارسال می‌شد قرار داشت. از طبقه پنجم به بعد فضای ساختمان کوچک‌تر می‌شد و راهروهای به هم پیوسته وجود نداشت. دسترسی به این بخش ساختمان با راه پله و آسانسور امکان‌پذیر بود. طبقه آخر برج پلاسکو، تا مدتی، یک رستوران سلف سرویس قرار داشت، جایی که از آن یک راه پله به پشت بام می‌رفت. ساختمان پلاسکو، بعد از بازار تهران، از بزرگترین و معروف‌ترین بورس توزیع پوشاک در تهران بود. پاساژ پلاسکو، یکی از نخستین مراکز خرید مدرن در ایران بود که با بازار سنتی فرق بسیاری داشت؛ مکانی لوکس و مرتفع که مغازه‌های بسیاری را با دکورها و ویتترین‌های رنگارنگ در دل خود جای داده بود و به همراه رستوران سلف سرویس در بالاترین طبقه و مکان‌هایی برای استراحت مشتریان، به یکی از پر رونق‌ترین مکان‌های اقتصادی ایران تبدیل شده بود. در این مجتمع حدود ۵۶۰ واحد تجاری فعال بود که بیشتر آنها را تولیدی‌های پوشاک تشکیل می‌دادند. سهم اشتغال ساختمان پلاسکو در صنعت پوشاک کشور حدود ۰/۶ درصد بود که نشانی از نقش بسزای آن در اشتغال بود. با توجه به نزدیک شدن به ایام عید، بیشتر واحدهای تولیدی مشغول به کار بودند تا بتوانند پاسخگوی نیاز شب عید مردم باشند. ارزش اجناس هر واحد تولید به طور میانگین، حدود ۲۰۰ میلیون تومان بوده است. نرخ اجاره‌ها و فروش سرقفلی در پاساژ پلاسکو متفاوت بود و ارزش سرقفلی برخی مغازه‌ها به ۴ تا ۵ میلیارد تومان نیز می‌رسید و اجاره بهای برخی از آنها نزدیک ۳۰ تا ۴۰ میلیون تومان در ماه بود. این ساختمان در روز پنج‌شنبه ۳۰ دی ۱۳۹۵ پس از ۵۴ سال از زمان ساخت بر اثر آتش‌سوزی فرو ریخت و ۵۶۰ واحد تجاری در آن نابود شد. پلاسکو در حالی بعد از ۳/۵ ساعت سوختن، فرو ریخت که هنوز تعداد زیادی آتش‌نشان در حال مهار آتش‌سوزی، در بیرون و داخل ساختمان بودند.



شکل (۵-۲) ساختمان پلاسکو در حال سوختن

در صبح روز پنجشنبه ۳۰ دی ۱۳۹۵ در هنگام صبح طبقات هشتم و نهم این ساختمان که بیشتر شامل واحدهای تولیدی لباس بودند و در شیفت شب هم به کار می‌پرداختند گرفتار آتش شد پس از حضور مأموران آتش‌نشانی و حوالی ساعت ۱۱ صبح در حالی که گفته می‌شد آتش مهار شده است ناگهان آتش از بخش شرقی ساختمان زبانه کشید و دیوار شمالی ساختمان پلاسکو نیز به طور کامل فرو ریخت. سرانجام در حوالی ظهر پس از گذشت ۳/۵ ساعت از شروع آتش سوزی کل ساختمان به طور عمودی فرو ریخت. پس از مهار نسبی آتش در ساعات اولیه، تعدادی از مغازه‌داران این پاساژ برای خارج کردن کالاهای خود به داخل رفته بودند، همچنین تعداد قابل توجهی آتش‌نشان در هنگام ریزش ساختمان در ساختمان حضور داشتند.

بر اثر این حادثه و عملیات‌های آواربرداری پس از آن حدود ۲۳۵ نفر مصدوم شدند که برخی از آنها بصورت سرپایی مداوا شدند. یکی از آتش‌نشانان حاضر در زمان تخریب به علت شدت سوختگی در بیمارستان درگذشت. همچنین پیکر ۱۵ آتش‌نشان و ۵ شهروند عادی نیز از زیر آوار خارج شد و با این حساب مجموع قربانیان اعلام شده از طرف پز شکی قانونی تاکنون ۲۱ نفر می‌باشد. طبق اعلام رسمی تعداد مفقودین غیر آتش‌نشان پلاسکو ۱۰ تن بوده است که پیکر ۵ تن شناسایی شده است. عملیات آواربرداری پلاسکو، حدود ۹ روز به طول انجامید و طی آن ۱۹۰۰ کامیون حدود ۲۰ هزار تن خاک و نخاله را از محل خارج کردند.

هیأت گزارش ملی حادثه ساختمان پلاسکو نیز علت آتش‌سوزی را «در حدی که جمع‌آوری اطلاعات برای این هیئت امکان‌پذیر بوده»، اتصال برق و احتمالاً نشت هم‌زمان گاز از کپسول گاز اعلام کرده است. همچنین علت گسترش آتش‌سوزی «وجود مقادیر فوق‌العاده زیاد پارچه در ساختمان، ارتباط کامل بین فضاها از طریق سقف‌های کاذب، پلکان و شفت تأسیسات و گسترش آتش از طریق این فضاها، نبودن هر گونه فضا بندی و جداسازی مقاوم در برابر آتش درون و در بین طبقات ساختمان، نبود پلکان اضطراری و وجود اشکال در پلکان و عدم انطباق راه خروج با طراحی صحیح و برابر با اصول ایمنی در برابر آتش، عدم وجود سیستم بارنده خودکار (اسپرینکلر) در ساختمان، مشکلات فنی لوله‌های قائم آتش‌نشانی و عدم تعمیر و نگهداری صحیح از آن‌ها در دوران بهره‌برداری، نبودن یک سیستم گرمایشی استاندارد و وجود تعداد زیادی کپسول‌های گاز پیک‌نیک و نیز وجود موانع زیادی برای فعالیت آتش‌نشانان» عنوان شده است. بنا به ادعای این هیأت، نتیجه بررسی‌های فنی در زمینه علت اصلی فروریزش ساختمان، منحصراً «آتش» بوده و این هیئت هر گونه فرضیه‌ای مبنی بر وقوع انفجار یا وجود مواد قابل انفجار در هر سطحی را رد کرد.

• آتش سوزی در برج سلمان مشهد در سال ۱۳۹۰ شمسی

آتش سوزی گسترده در «برج سلمان» مشهد که به واسطه جنس نمای آن به سرعت فراگیر شد، موجی از نگرانیها را در پی داشت، آتش سوزی که مسئولان امر علت وقوعش را اتصال سیم برق عنوان نمودند و زمانی مهار جدی‌اش در دستور کار قرار گرفت که از وسعت قابل توجهی برخوردار شده و به سرعت در حال پیشروی بود و در نهایت با مشارکت ۲۵۰ آتش‌نشان طی چهار ساعت، این برج خاموش شد. آتش‌سوزی در «برج سلمان» مشهد که از طبقات سوم و چهارم این برج آغاز شد، بخش وسیعی از این ساختمان بزرگ را در بر گرفت و منجر به ایجاد نگرانی در نزد مردم شد. پس از وسعت گرفتن آتش در برج «سلمان»، بخش اعظمی از توان آتش‌نشانی مشهد برای کنترل حریق این برج اعزام شد و با تکیه بر خودروهای اطفای حریق سنگین، نردبان و تانکر آب عملیات اطفای حریق در دستور کار قرار گرفت و بیش از ۱۰۰ خودروی آتش‌نشانی با ۲۵۰

آتش نشان به همراه شش دستگاه آمبولانس و یک دستگاه اتوبوس آمبولانس در محل حادثه مستقر شدند. در جریان عملیات اطفاء حریق چراغ‌های این خیابان خاموش شد و امداد گاز اقدام به قطع گاز این خیابان کرد تا از انفجار لوله‌های گاز جلوگیری گردد. برج تجاری سلمان در منطقه خیابان راهنمایی مشهد واقع شده است. علت آتش‌سوزی برج سلمان از سوی آتش‌نشانی اتصال برق در تراس یکی از واحدهای طبقه چهارم و به صورت غیر عمدی اعلام شد. به گزارش ایسنا، مهدی رضایی، معاون عملیات سازمان آتش‌نشانی و خدمات ایمنی شهرداری مشهد، در نشست خبری با اصحاب رسانه در ۲۸ تیر ماه، اظهار کرد: یک تیم ۱۰ نفره از زمان حادثه تا کنون برای شناسایی علت حادثه فعال بوده‌اند و به این نتیجه رسیدند که اتصالی برق عامل آتش‌سوزی این برج بوده است همچنین این اتصال برق مربوط به کارگاه طلاسازی نبوده است. تیم علت‌یاب که از ۱۰ نفر تشکیل شده بود شامل مدیران ارشد عملیاتی، مدیران ارشد پیشگیری و سرپرستان ایستگاه‌های آتش‌نشانی مشهد بودند و براساس تمام شهود به چنین نتیجه‌هایی رسیدند.



شکل (۶-۲) آتش‌سوزی در برج سلمان مشهد

۴-۲- منطقه ۵ شهرداری تهران

منطقه ۵ شهرداری تهران در شمال غربی تهران واقع گردیده است. قبل از شکل‌گیری منطقه ۲۲ شهر تهران، منطقه ۵ به عنوان غربی‌ترین حد شهر تهران به حساب می‌آمده است. محدوده‌ای که روزگاری روستاهای سرسبز حاشیه تهران را تشکیل می‌داده که بدلیل قرار گرفتن در کوهپایه دارای آب و هوای مطلوب، دسترسی مناسب، بافت شهرسازی متمایز و بسیاری از عوامل دیگر سبب شد که طی دو دهه گذشته این منطقه بیشترین رشد جمعیت و کالبد را داشته باشد. این منطقه با مساحت ۵۲۸۷ هکتار، جمعیتی در

حدود ۹۰۰ هزار نفر را در خود جای داده است. جمعیت منطقه ۵ شهرداری تهران بر اساس سرشماری سال ۱۳۹۵ ایران، ۸۵۸۳۴۶ نفر می‌باشد که این عدد ۲۹۲۲۵۷ خانوار را در بر می‌گیرد. که از این تعداد ۴۲۱۴۴۴ نفر مرد و ۴۳۶۹۰۲ نفر نیز زن می‌باشند.

حدود و ثغور این منطقه در تقسیمات شهر تهران به گونه زیر است:

- از شمال: رود دره فرحزاد و منطبق بر این خط دره حصارک و از این نقطه منطبق بر تراز ۱۶۰۰ تا تقاطع پل موجود بر روی رودخانه کن.
 - از جنوب: آزاد راه تهران - کرج
 - از شرق: بزرگراه محمد علی جناح (شمال میدان آزادی) و در امتداد آن بزرگراه اشرفی اصفهانی (تقاطع آن با ۳۵ متری حصارک)
 - از غرب: تقاطع رودخانه کن و جاده مخصوص کرج و منطبق بر لبه جنوبی این جاده تا میدان آزادی منطقه ۵ از شرق همسایه منطقه ۲، از جنوب مجاور منطقه ۹ و از غرب در مجاورت مناطق ۲۱ و ۲۲ می‌باشد، همانطور که گفته شد شمال منطقه را نیز ارتفاعات شمالی شهر تهران را شکل داده است.
- بر اساس تقسیمات داخلی ملاک عمل شهرداری در وضع موجود منطقه ۵ از ۷ ناحیه و ۲۹ محله تشکیل شده است. در بین نواحی هفت گانه منطقه، ناحیه ۳ با بیشترین مساحت مشتمل بر ۸ محله و ناحیه ۵ با کمترین مساحت از ۳ محله تشکیل شده است. محلات منطقه ۵ شهرداری تهران عبارت است از:
- کن، شهر زیبا، شهران، مهران، آریا شهر، جنت‌آباد، پونک، باغ فیض، سردار جنگل، شهرک آپادانا، شهرک اکباتان، اشرفی اصفهانی، سولقان، حصارک.

۲-۴-۱- پیشینه اجمالی و مراحل گسترش و توسعه کالبدی منطقه ۵ شهرداری تهران

بسترهای اولیه سکونت در منطقه ۵ را می‌توان در ۵ محله آن دانست که مهمترین آن روستای کن می‌باشد. علاوه بر روستای کن ۵ محدوده دیگر که از لحاظ قدمت به مانند کن به گذشته دور باز می‌گردند، عبارتند از باغ فیض، ده حصارک، مرادآباد، حسن‌آباد و وسک.

دو محدوده حسن‌آباد و وسک در درون بافت شهری منطقه حل شده و اثر قابل ملاحظه‌ای از آنان به جای نمانده است ولی سه محدوده دیگر آن کماکان آثاری از گذشته را در خود دارند. به لحاظ قدمت سکونت در نواحی شمالی منطقه، به خصوص نواحی ۲ و ۳ قدمتی دیرینه دارند. سابقه سکونت در روستای کن در ناحیه دو به بیش از هزار سال و حتی بر اساس پاره‌ای پژوهش‌ها به پیش از اسلام باز می‌گردد.

روستای کن در گذشته کاربرد کاروانسرای نیز داشته است. قرارگیری در مسیر زایران امام‌زاده داوود و برخورداری از آب و هوای مناسب از تداوم سکونت در این محدوده است. محلات باغ فیض و پونک نیز در ناحیه ۳ از نخستین سکونتگاه‌های شمال و شمال غرب تهران هستند که با وجود قدمت زیاد آنها تاریخ مستند و دقیقی از مدت زمان پیدایش آنها در دست نیست. هسته اولیه این دو محله در ناحیه ۳ روستاهای پونک و باغ فیض است. عبور رودخانه از محدوده این دو روستا، وجود امام‌زاده‌های عین‌علی و زین‌علی در محله پونک و امام‌زاده‌های علی بن جعفر (ع) و سید محمد رضا (ع) در باغ فیض، هسته‌های اولیه سکونت در این دو محله را شکل داده است.

چنانچه منطقه را به دو قسمت شمالی و جنوبی تقسیم کنیم نواحی موجود در شمال منطقه (۱، ۲، ۳ و ۷) از

قدمت بیشتری نسبت به نواحی جنوبی برخوردارند. به غیر از هسته‌های اولیه سکونت در کن، باغ فیض و پونک که مربوط به روستاهای پراکنده در شمال محدوده است موج موخرتر سکونت در شمال منطقه از دهه ۴۰ شمسی و از جنوب این نواحی به سمت شمال آنها آغاز شده است. شروع سکونت در نواحی ۵ و ۶ نیز از دهه ۴۰ شمسی و در ناحیه ۴ از اواسط دهه ۵۰ شمسی آغاز شد. اولین نشانه‌های ساخت و ساز گسترده منطقه در فاصله سال‌های ۱۳۴۳ تا ۱۳۵۸ از روی نقشه‌های در دسترس قابل مشاهده است.

منطقه در این دوره شاهد توسعه بطنی و آرام بوده است و در آن محدوده تصفیه خانه شماره ۲ آب تهران در مسیر روستای کن شکل می‌گیرد که با احداث بلوکهای مسکونی چهار طبقه در شمال این تصفیه خانه و ساختمانهای یک و دو طبقه در شرق آن در سال‌های ابتدایی دهه چهل شکل گرفته است. بدین ترتیب در فاصله این سال‌ها بافت مسکونی به همراه شبکه موصلاتی حول دو محور شروع به توسعه می‌نمایند. جاده شهر زیبا (آیت الله کاشانی) و جاده مخصوص تهران کرج که در حول این دو محور شهرک‌های مختلفی شروع به احداث می‌نمایند. احداث محدوده آریا شهر در مجاورت منطقه، توسعه بافت مسکونی شهر زیبا را به دنبال دارد. کوی فردوس، کوی مهران، کوی سازمان برنامه و کوی کیهان در این سال‌ها شکل گرفته‌اند و یا آغاز به ساخت و ساز می‌کنند. در مجاورت جاده مخصوص کرج (حد فاصل این جاده تا بزرگراه تهران - کرج) شهرکهای آپادانا و کوی بیمه شکل می‌گیرند.

لازم به ذکر است که در شکل‌گیری شبکه خیابان‌ها و بافت شهری در منطقه طی سالیان یاد شده منطبق بر الگوی مهندسی و شطرنجی بوده که در بخش‌هایی به سبب وجود شبکه‌های قدیمی و ارگنتیک این شکل منظم دچار تغییرای نیز شده است. دومین تغییرات بنیادین را می‌توان مربوط به سالهای ۱۳۵۸ تا ۱۳۶۶ دانست. در این دوره بافت مسکونی در محدوده منطقه به صورت چشمگیری گسترش یافته و تقریباً تمامی نیمه جنوبی محدوده مورد ساخت و ساز قرار می‌گیرد. از سوی دیگر با فعال شدن تعاونی مسکن ادارات و نهادهای مختلف و گسترده‌ای ارضی منطقه، این ساخت و سازها در تمامی منطقه گسترش می‌یابد.

در این سال‌ها اراضی پونک، شهران، جنت آباد، شهرک نیروی هوایی، شهرک کوه سار، شهرک المهدی، شهرک میلاد، کوی سازمان برنامه، شهرک پرواز، شهرک کارمندان سازمان آب، شهرک مبعث و سایر موارد شروع به شکل‌گیری نموده و برخی از آنها به صورت کامل ساخته می‌شوند. به تبع این ساخت و سازها شبکه‌های شهری با توجه به اینکه جمعیت ساکن در محدوده شکل خود را پیدا نموده و به سرعت احداث می‌گردند. در مجموع می‌توان گفت حاشیه غربی تهران در جریان گسترش شهر و افزایش مهاجرت به آن در اواسط دهه ۶۰ جزئی از تهران شد و پیش از آن از حواشی شهر تهران محسوب می‌شد. اشباع شدن ظرفیت پهنه‌های مرکزی شهر و افزایش قیمت زمین و مسکن در این پهنه‌ها به گونه‌ای بود که مهاجرین شهرستانی توانایی تهیه مسکن در پهنه‌های مرکزی تهران را نداشتند و در مناطقی که در آن زمان هنوز جزء حاشیه‌های شهر تهران محسوب می‌شدند سکونت می‌گزیدند.

قرار داشتن بسیاری از کارخانه‌ها و کارگاه‌های بزرگ و کوچک در حاشیه مسیر تهران - کرج در غرب تهران نیز بر مطلوبیت پهنه غربی تهران برای افرادی که برای کار در این کارخانه‌ها به تهران می‌آمدند، می‌افزود. علاوه بر این گروه، بسیاری از افراد متعلق به دهکهای متوسط و پایین جامعه شهری نیز توانایی خرید مسکن در پهنه‌های مرکزی را نداشتند، با خرید زمین ارزانتر در غرب تهران اقدام به ساخت و ساز در این پهنه

کردند. به جز این دو گروه، تعاونی‌های برخی از سازمان‌ها و ادارات نیز اقدام به خرید زمین‌های ارزان قیمت حاشیه تهران کردند و این زمین‌ها اقدام به ساخت و ساز کرده و یا آن را در اختیار اعضا خود قرار دادند. سومین دوره تغییرات فضایی را می‌توان در فاصله سال‌های ۱۳۶۶ تا ۱۳۷۳ دانست. در این مقطع زمانی توسعه کالبدی منطقه که پس از پیروزی انقلاب آغاز شده بود با شدت بیشتری ادامه یافت. به گونه‌ای که محدوده شمالی بزرگراه ایرانپارس (شهید آبشناسان) که کمتر مورد ساخت و ساز قرار گرفته بود مورد توجه قرار می‌گیرد. در فاصله سال‌های ۱۳۷۳ تا به امروز با توجه به رشد چشمگیر بورس بازی و اقتصاد زمین، تخریب و نوسازی بناهایی که در سال‌های پیش ساخته شده بودند و نیز استفاده بیشتر از اراضی بایر و خالی در سطح منطقه ۵ به صورت مجموعه‌ها و مجتمع‌های مسکونی مشاهده می‌شود.

از جمله محدوده‌های که در سطح منطقه شکل گرفتند می‌توان از شهرک هوانیروز در شمال غربی منطقه، شهرک دانشگاه واقع در غرب شهرک مذکور و شمال بزرگراه ایرانپارس، شهرک نفت واقع در غرب جاده فرحزاد، شهرک قوه قضاییه واقع در منتهی الیه شمال شرقی منطقه نام برد. در سال‌های اخیر به دنبال گسترش شبکه بزرگراهی و افزایش تقاضا برای خرید مسکن که منجر به افزایش قیمت زمین و مسکن شد، سکونت در محدوده‌های زراعی و باغی در برخی از قسمت‌های منطقه شکل گرفت و نیز در برخی قسمت‌های دیگر بسیاری از ساختمان‌هایی که مدت زمان زیادی نیز از ساخت آنها سپری نمی‌شد، تخریب و به جای آنها آپارتمان احداث گشت. با این وجود هنوز هم زمین‌هایی که در گذشته کاربری کشاورزی داشته و امروز به صورت زمین‌های بایر یا خرابه‌هایی در میان ساختمان‌ها در آمدند در پهنه مورد بررسی دیده می‌شوند.

در نهایت می‌توان گفت منطقه ۵، با وجود قرارگیری در بستر محیطی مناسب به دلیل چند پارگی بافت منطقه بوسیله شبکه ارتباطی، هویت و حس تعلق ساکنان تحت الشعاع این مسئله قرار گرفته و تا حدی باعث جدایی میان ساکنان شده است.

منطقه ۵ بدلیل قرار گرفتن در کوهپایه دارای آب و هوای سرد و کوهستانی است. همچنین این منطقه از نظر سرانه فضای سبز در وضعیت مطلوبی قرار داشته و دارای سرانه فضای سبز ۱۷ متر، بدون احتساب پارک جنگلی کوهسار است. از نظر تنوع گیاهی، این منطقه غنی بوده و انواع گیاهان در آن پرورش می‌یابد.

برآوردهای اخیر نشان می‌دهد که در حال حاضر ۴۵ درصد از جمعیت جهان در نواحی شهری زندگی می‌کنند که تا سال ۲۰۳۰ به بیش از ۶۰ درصد خواهد رسید. به علت توسعه فیزیکی شهرها بخش‌های وسیعی از پوشش سبز نواحی شهری و حومه آنها دستخوش تغییرات کاربری شده‌اند. که این امر به علت افزایش ارزش اقتصادی اراضی شهری و رشد روزافزون شهرنشینی شتاب بیشتری به خود گرفته است. بنابراین شهرسازی به دو علت گسترش فضایی و شهرنشینی، شکل زمین‌سما را از انواع پوشش‌های طبیعی به اراضی شهری تغییر می‌دهد. ترکیب و تغییر پوشش اراضی برای بسیاری از تحقیقات علمی و ارزیابی‌های اقتصادی-اجتماعی جنبه‌های مهمی به شمار می‌روند. به طوری که آگاهی از اطلاعات مکانی پوشش اراضی برای مدیریت مناسب، برنامه‌ریزی و نظارت بر تغییرات منابع طبیعی ضروری می‌باشد. فناوری سنجش از دور با تحت پوشش قرار دادن نواحی وسیع می‌تواند مجموعه‌ای از داده‌های مکانی را با جزئیات و تناوب زمانی زیاد فراهم کند. امکان مقایسه چند زمانه داده‌های سنجش از دور، از جمله ویژگی‌های منحصر به فرد این فناوری است که آن را به عنوان بهترین ابزار در زمینه کشف تغییرات قرار داده است. بدین ترتیب می‌توان

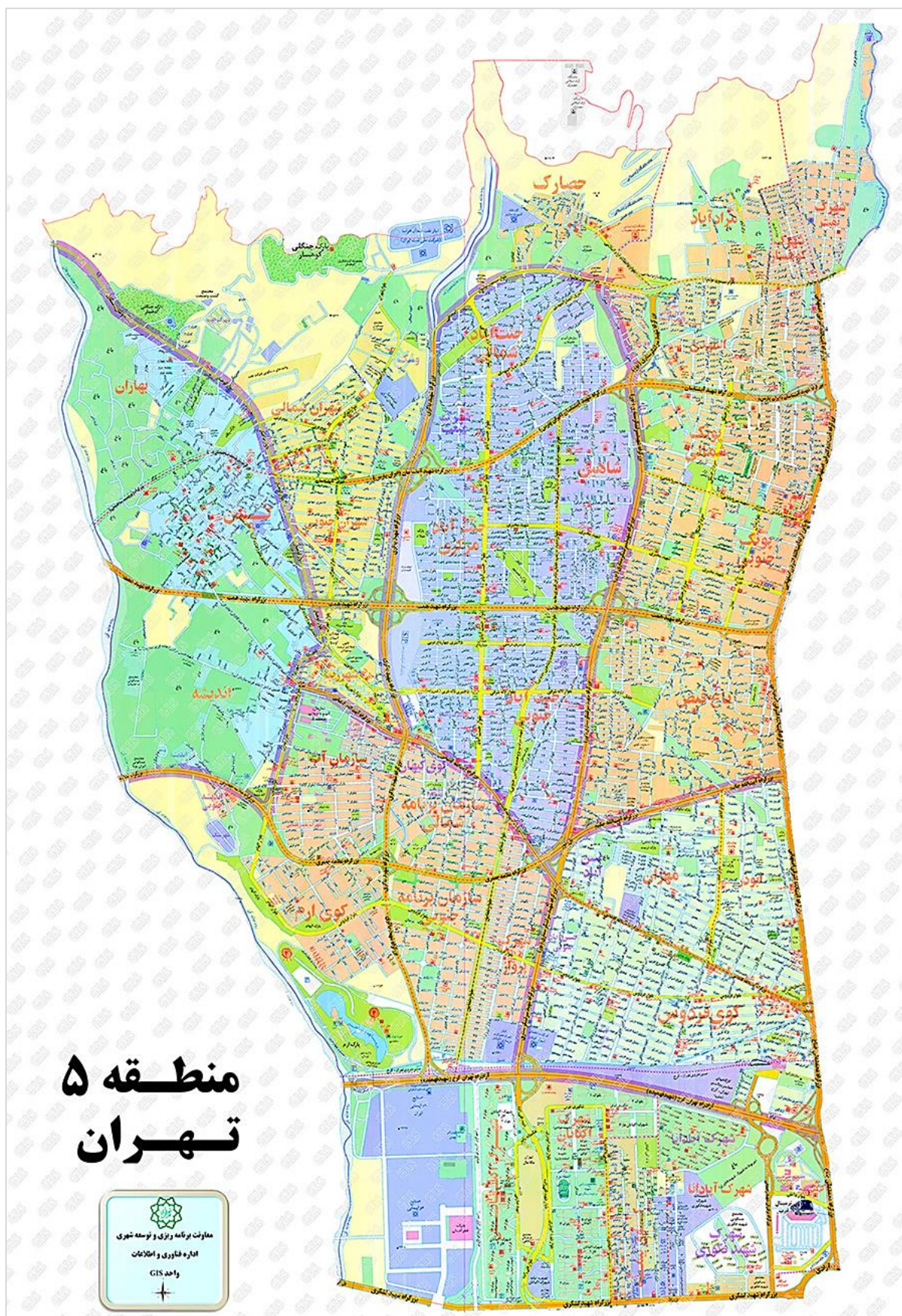
تغییرات پوشش گیاهی نواحی شهری را در بازه‌های زمانی مختلف بررسی نمود (سروردی و جوزی، ۱۳۹۵) جدول زیر وسعت کلاس‌های سر سبزی نقشه پوشش گیاهی منطقه ۵ شهرداری تهران بین سالهای ۱۳۶۹ تا سال ۱۳۸۵ را نشان می‌دهد.

جدول (۱-۲) وسعت سرسبزی پوشش گیاهی منطقه ۵ شهرداری تهران سالهای ۱۳۶۹ تا ۱۳۸۵

تغییرات وسعت به هکتار	سال ۱۳۸۵	سال ۱۳۶۹	خصوصیات پوشش گیاهی منطقه
	وسعت (هکتار)	وسعت (هکتار)	
+ ۴۰۸/۰۶	۵۰۳۴/۶۰۲۰	۴۶۲۶/۵۴۲۰	اراضی بدون پوشش گیاهی
+ ۲۹۹/۴۳	۸۴۹/۶۰۰۰	۵۵۰/۱۷۰۰	پوشش گیاهی با درجه سر سبزی ضعیف
- ۶۸۴/۲۷	۱۶/۹۲۰۰	۷۰۱/۱۹۰۰	پوشش گیاهی با درجه سرسبزی متوسط
- ۲۳/۲۲۰۰	.	۲۳/۲۲۰۰	پوشش گیاهی با درجه سرسبزی خوب
- ۴۰۸/۰۶	۸۶۶/۵۲	۱۲۷۴/۵۸	اراضی دارای پوشش گیاهی

نتایج حاصله از مقالات و مطالعات گسترده نشان می‌دهد که با نابودی کامل اراضی تحت پوشش گیاهی با درجه سرسبزی متوسط به ضعیف و متوسط به اراضی فاقد پوشش گیاهی، سطح کیفی پوشش گیاهی منطقه در بازه زمانی مورد مطالعه روند منفی را طی نموده است. همچنین در این دوره به میزان ۴۰۸/۰۶ هکتار بر وسعت اراضی فاقد پوشش گیاهی افزوده و به همین میزان از وسعت اراضی دارای پوشش گیاهی گسته شده است. که این امر تخریب صورت گرفته در پوشش گیاهی منطقه به علت تغییر کاربری اراضی را نشان می‌دهد.

در شکل (۲-۷) نقشه جغرافیایی منطقه ۵ شهرداری تهران نشان داده شده است.



شکل (۷-۲) نقشه جغرافیایی منطقه ۵ شهرداری تهران

۲-۵- سازمان خدمات ایمنی و آتش‌نشانی

نخستین شهر کشور که به تجهیزات و سازمان آتش‌نشانی مجهز شد، شهر تبریز بود. در حدود یکصد و پنجاه سال پیش، مهندسين روسی در این شهر نخستین سازمان آتش‌نشانی ایران را تاسیس نمودند، برج آتش‌نشانی تبریز از یادگارهای آن دوران است. دومین و سومین واحدهای آتش‌نشانی رسمی در جنوب کشور و در شهرهای مسجد سلیمان و آبادان برای حفظ تأسیسات ایجاد شده در پالایشگاه آن شهرها تاسیس شد. سپس با توجه به ایجاد زیر ساخت‌های اقتصادی در اقصای کشور، ایجاد واحدهای اطفایی در مناطق مختلف کشور آغاز گردید که می‌توان به احداث واحدهای اطفاییه (آتش‌نشانی) در بلدیه (شهرداری) آروز نام برد که در قطب‌های اقتصادی و صنعتی کشور ایجاد شده و بطور مثال احداث پایگاه‌هایی در تهران ۱۳۰۳، قزوین ۱۳۰۳، اهواز ۱۳۰۴، بندر انزلی ۱۳۰۵، شهر رشت ۱۳۱۰، مشهد مقدس ۱۳۱۲، شهر زنجان ۱۳۲۷، شهر اصفهان ۱۳۲۸ و شهر شیراز ۱۳۲۹ نام برد. در تهران نیز اولین بار، یک ژنرال روس در محل سه‌راه امین‌حضور، اقدام به تاسیس اولین ایستگاه آتش‌نشانی نمود و بعدها با گسترش همین واحد و انتقال آن به چهار راه حسن‌آباد، واحد اطفاییه بلدیه تاسیس گردید. به تدریج با افزایش نیازهای شهر تهران این واحد به دو ایستگاه تهران و شمیرانات توسعه پیدا کرد. در سال ۱۳۲۶ این ایستگاه‌ها به پنج ایستگاه افزایش یافت و امروزه تعداد ایستگاه‌های حریق تهران ۹۴ ایستگاه است. با شروع سلطنت پهلوی اول، تصمیم بر آن بود که شهرها به خصوص تهران، سر و سامان بگیرند و وضع آبرومندی پیدا کنند در نتیجه «بلدیه» مورد توجه بیشتری قرار گرفت. در سال ۱۳۰۳ شمسی، بلدیه تهران یک دستگاه اتوموبیل آبپاشی خیابان‌های خاکی شهر تهیه کرده بود. از آن جایی که این کامیون به یک موتور پمپ مجهز بود، با تهیه چند متر لوله، یک سر لوله و چند شیر، از آن برای اطفاء حریق‌های احتمالی نیز استفاده می‌شد. از آنجایی که شهر فاقد لوله کشی آب بوده از این تانکر برای آب‌فروشی به مردم نیز استفاده می‌شد، تا آن تاریخ تنها منبع تأمین آب آشامیدنی مردم تهران، جوی‌های روباز و به شدت آلوده‌ای بود که از کنار خیابان‌ها می‌گذشت. به همین دلیل به تدریج تقاضا برای خرید آب بیشتر شد. بنابراین، تانکرهای دیگری نیز خریداری شد و افراد بیشتری نیز استخدام شدند. البته در کنار ارائه این خدمات، اطفاء حریق نیز به صورت وظیفه دوم، به عهده این افراد بود. با توسعه شهر بر تعداد حریق‌ها افزوده شد و در نتیجه لازم بود که اداره مشخصی مسئول مقابله با این آتش‌سوزی‌ها شود. بدین جهت در سال ۱۳۰۴ تا ۱۳۰۵، شالوده اداره آتش‌نشانی ریخته شد. این اداره که «شعبه اطفاییه» خوانده می‌شد، تحت سرپرستی بلدیه تهران در گاراژی به نام «گاراژ حسینی» در خیابان چراغ برق (امیرکبیر)، سه راه امین‌حضور، تأسیس گردید.

۶-۲- پیشینه مطالعات

۶-۲-۱- پیشینه مطالعاتی در ایران

۱- شهرکی و واحدی‌نژاد (۱۴۰۰) در مطالعه‌ای تحت عنوان "مدیریت و ارزیابی ریسک پروژه‌های ساخت تونل با روش ترکیبی ویکور و تحلیل سلسله مراتبی (AHP)" عنوان می‌دارند که، مدیریت پروژه شامل مدیریت زمان، هزینه، کیفیت و ریسک پروژه است. هر پروژه دارای قیود زمان، هزینه و کیفیت می‌باشد. از آنجایی که هر یک از این قیود پتانسیل ریسک دارند، در نتیجه مدیریت ریسک پروژه امری ضروری می‌باشد. افزایش هزینه و توسعه مقیاس پروژه‌ها از یک سو و افزایش عدم قطعیت و ریسک پروژه‌ها از سوی دیگر، سبب شده است که مدیریت و ارزیابی ریسک از اهمیت برخوردار باشد. هدف مدیریت و ارزیابی ریسک، شناسایی و ارزیابی رویدادهای تصادفی است که می‌توانند اثر مثبت یا منفی بر اهداف پروژه داشته باشند. در این پژوهش، یک مدل ترکیبی برای مدیریت و ارزیابی ریسک‌های مرتبط با عملیات ساخت تونل با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره ارائه شده است. پس از شناسایی ریسک‌ها و اجرای فرآیند دلفی، برای دسته‌بندی ریسک‌ها از ساختار جامع شکست ریسک (RBS) برای وزن دهی ریسک‌ها از روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP) و جهت تعیین رتبه ریسک‌ها از روش تصمیم‌گیری چند معیاره ویکور استفاده شده است. نتایج تحقیق نشان می‌دهد که در میان ریسک‌ها، ریسک نیروی انسانی، ریسک‌های اقتصادی و ریسک‌های مدیریت در دسته ریسک‌های بحرانی قرار گرفته‌اند (شهرکی و واحدی‌نژاد، ۱۴۰۰).

۲- کاله و همکاران (۱۴۰۰) در مطالعه‌ای با عنوان "ارائه الگوریتم رتبه‌بندی ایمنی ساختمانهای اداری با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی فازی (FAHP)" عنوان می‌دارند که، ساختمان‌ها، انسان و اموال را درون خود نگهداشته و در مقابل تهدیدات و آسیب‌های گوناگون محافظت می‌کند. آگاهی از وضعیت ایمنی ساختمان‌ها می‌تواند جلوی بسیاری از حوادث و خسارات را بگیرد. هدف از این تحقیق ارائه الگوریتم رتبه‌بندی ایمنی ساختمان‌های اداری در حال بهره‌برداری به منظور ارائه ابزاری جهت پیش‌آگاهی از وضعیت ایمنی این نوع ساختمانهاست. در این مطالعه ابتدا فاکتورهای موثر بر ایمنی ساختمان‌های اداری بر اساس مرور منابع و مقررات ملی ساختمان ایران تعیین شدند. سپس چک لیست طراحی، روان سنجی و با استفاده از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی فازی (FAHP) وزن دهی شد. سپس الگوریتم رتبه‌بندی ایمنی ساختمان‌های اداری بر اساس روابط درونی معیارها تهیه گردید. در مرحله بعدی ابزار ارائه شده برای ارزیابی سطح ایمنی ساختمان اداری دانشگاه علوم پزشکی شهیدبهشتی بکاربرده شد. یافته‌های حاصل از این پژوهش نشان می‌دهد که، چک لیست ۴۲ آیتی بر اساس سه معیار اصلی دخیل در ایمنی ساختمان طراحی و شاخص‌های روان سنجی آن در حد قابل قبول ارزیابی شد. معیارهای اصلی شامل معیارهای "فنی- خدماتی"، "معماری" و "مدیریتی" به ترتیب وزن‌های موضعی ۰/۵۴۹، ۰/۳۱۳ و ۰/۱۳۶ را در ایمنی ساختمان کسب کردند. الگوریتم رتبه‌بندی ایمنی ساختمان بر اساس نتایج به دست آمده از وزن دهی معیارها و درخت تصمیم ساخته شد. شاخص ارزیابی ایمنی ساختمان در ۵ رتبه از خیلی-خوب تا خیلی-ضعیف تعیین گردید. نتایج ارزیابی ایمنی ساختمان اداری دانشگاه با استفاده از الگوریتم و فرمول ارائه شده نشان داد که نمره ایمنی آن ۱۳/۲۷ بوده و در محدوده سطح ایمنی متوسط قرار دارد. اهمیت و وزن معیارهای اثرگذار بر ایمنی ساختمان

یکسان نیست. از میان آیتم‌های استخراج شده، مقررات و عناصر مرتبط با ایمنی راه‌های خروج و اطفاء حریق بیشترین وزن و تاثیر را در نمره ایمنی ساختمان‌های اداری در حال بهره‌برداری به خود اختصاص داده‌اند. بیشترین عدم انطباق‌ها در بازرسی از ایمنی ساختمان در معیارهای فنی-خدماتی و معماری دیده می‌شوند (کاله و همکاران، ۱۴۰۰).

۳- خاک کار و همکاران (۱۳۹۹) در مطالعه‌ای با موضوع "ارزیابی ریسک حریق در مجتمع‌های تجاری منطقه ۱۲ تهران و ارتباط آن با ویژگی‌های سازه‌ای و کاربری آن‌ها" عنوان می‌دارند که، مجتمع‌های تجاری از پرتددترین اماکن عمومی و مستقر در مرکز شهرها، از منظر ایمنی شهری و پدافند غیرعامل حائز اهمیت می‌باشند. وقوع حوادث بزرگی مانند فاجعه پلاسکو و وسعت خسارات ناشی آن لزوم توجه به ایمنی این گونه اماکن را بیش از پیش نمایان ساخته است. این مطالعه با هدف تعیین نمره ریسک ایمنی حریق مجتمع‌های تجاری و ارتباط عوامل موثر بر آن انجام شده است. در این مطالعه، مجتمع‌های تجاری ناحیه ۱ منطقه ۱۲ تهران مورد مطالعه قرار گرفتند. ویژگی‌های مجتمع‌های مورد بررسی شامل بر ارتفاع ساختمان، مساحت، ضریب اشغال، نوع و ضریب فعالیت واحدهای هر مجتمع گردآوری گردیده و سپس ارزیابی ریسک حریق آنها با استاندارد NFPA 101 و نرم‌افزار CFSES در سه حیطة ایمنی عمومی، کنترل و راه‌های خروجی انجام شده است. در این مطالعه در محیط نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۱ از آزمون‌های آماری رگرسیون خطی و ANOVA برای تعیین ارتباط میان متغیرها استفاده گردیده است. از ۷۹ مجتمع تجاری مورد مطالعه، تنها هشت مجتمع در حیطه کنترل و چهار مجتمع در حیطه عمومی سطح ریسک قابل قبولی را به دست آوردند. هیچ یک از مجتمع‌ها نمره قابل قبول در بخش راه‌های خروجی کسب نکردند. طبق نتایج این مطالعه، بین سطوح ریسک ایمنی حریق با تعداد طبقات، نوع و ضریب فعالیت مجتمع‌ها ارتباط معناداری وجود نداشته است. البته بین ضریب اشغال مجتمع‌ها با سطوح حیطه‌های کنترل و عمومی ایمنی حریق و بین سازه با تمامی سطوح ارتباط معناداری وجود دارد. نتیجه این مقاله نشان می‌دهد که وضعیت فعلی مجتمع‌های تجاری مورد مطالعه مستعد ایجاد فاجعه‌ای در منطقه ۱۲ تهران می‌باشند؛ از فجایع تاسف بار حریق در مجتمع تجاری، حادثه حریق ساختمان پلاسکو در دی ماه ۱۳۹۵ تهران است که مرور درس‌های آموزنده این حادثه هشدار دهنده وضعیت مجتمع‌های تجاری در حال استفاده ایران می‌باشد. استفاده از نتایج این مطالعه در برنامه‌ریزی شهری و ارتباط بین بخشی برای ارتقاء ایمنی مجتمع‌های تجاری منطقه با در نظر گرفتن اصول پدافند غیرعامل در بافت تاریخی، تجاری و سیاسی تهران پیشنهاد می‌شود (خاک کار و همکاران، ۱۳۹۹).

۴- رجبی و همکاران (۱۳۹۸) در مطالعه‌ای با موضوع "ارزیابی ریسک حریق در ساختمان‌های تجاری چند طبقه با استفاده از سامانه ارزیابی ریسک حریق (CFSES): مطالعه موردی در شهر شیراز" وقوع حریق در ساختمان‌ها، خسارت‌های فراوانی را بر جوامع و افراد تحمیل می‌کند. این موضوع در ساختمان‌های تجاری چند طبقه به دلیل بار زیاد مواد سوختنی، جمعیت زیاد و آموزش ندیده، ارزش بالای ساختمان و تجهیزات درون آن و پیچیده بودن تخلیه اضطراری و عملیات اطفاء حریق بسیار اهمیت دارد. در این راستا، مطالعه حاضر با هدف ارزیابی ریسک حریق در ساختمان‌های تجاری چندطبقه شهر شیراز انجام شد. مطالعه

مقطعی-تو صیفی حا ضر در ارتباط با ۲۲ ساختمان تجاری چندطبقه شهر شیراز که به طور میانگین چهار طبقه داشتند، انجام شد. بررسی میدانی با استفاده از چک لیست‌های استخراج شده از استاندارد NFPA 101 انجام شد و در ادامه، ریسک حریق از سه بعد الزامات کنترل حریق، الزامات راه‌های خروجی و الزامات ایمنی کلی حریق با استفاده از نرم‌افزار^۱ CFSES ارزیابی گردید. نتایج نهایی مطالعه نیز با استفاده از نرم‌افزار Excel 2013 تجزیه و تحلیل شدند. نتایج نشان دادند که در بین پارامترهای ایمنی حریق مورد بررسی در ساختمان‌ها، پارامتر سازه، بهترین وضعیت و پارامترهای کنترل دود و آب فشان، بدترین وضعیت را داشتند. علاوه بر این، نتایج نهایی ارزیابی ریسک حریق حاکی از آن بودند که ۵۰ درصد از ساختمان‌ها در بعد کنترل حریق، ۷۳ درصد در بعد راه‌های خروجی و ۴۵/۵ درصد در بعد ایمنی کلی حریق، ریسک غیرقابل قبولی داشتند. به طور کلی، ریسک حریق تنها در ۵ ساختمان (۲۲/۷ درصد) از ۲۲ ساختمان مورد بررسی در هر سه بعد قابل قبول بود. وضعیت ایمنی حریق در ساختمان‌های مورد بررسی نامطلوب بود؛ بنابراین انجام اقداماتی نظیر اصلاح وضعیت راه‌های خروجی، نصب سامانه‌های خودکار کشف، اعلان و اطفاء حریق و تدوین و اجرای برنامه واکنش در برابر شرایط اضطراری ضروری می‌باشد (فاضل و همکاران، ۱۳۹۸).

۵- فلاحی و همکاران (۱۳۹۷) در مطالعه‌ای با عنوان "تأثیر زمان تخلیه در برنامه‌ریزی مدیریت ایمنی آتش‌سوزی در دو ساختمان بلند مرتبه مسکونی" عنوان می‌دارند که، توجه ویژه به مقوله ایمنی در برابر آتش‌سوزی در ساختمان‌های بلندمرتبه که تعداد زیادی جمعیت را در خود جای می‌دهند حائز اهمیت است. به دلیل چالش‌های منحصر به چنین ساختمان‌هایی، تأمین ایمنی این بناها نیازمند انجام برنامه‌ریزی و مدیریت ایمنی است. یکی از اصلی‌ترین موضوعات مورد توجه انجام تخلیه اضطراری ایمن و به موقع می‌باشد. پژوهش حاضر، به معرفی مفهوم «زمان تخلیه» در قالب دو بازه «زمان تأخیر» و «زمان حرکت» پرداخته است. بدین منظور بازه زمانی تأخیر پیش از شروع حرکت به دو روش، و بازه زمانی حرکت به سه روش برای دو ساختمان بلندمرتبه مورد مطالعه محاسبه شده و مقدار بیشینه نتایج به دست آمده از هر یک، انتخاب و با هم جمع شده و به عنوان زمان کلی تخلیه در نظر گرفته شده است. سپس از طریق ترسیم خط زمان برای هر ساختمان و مراجعه به مؤلفه‌های اثرگذار در روشی که زمان بیشینه را نتیجه داده‌اند، عوامل مؤثر در افزایش زمان تخلیه مورد تحلیل و بررسی قرار گرفته‌اند. نتایج تحقیق نشان می‌دهد به دلیل نبود ساختاری منسجم برای عهده‌دار شدن مسئولیت‌های مرتبط با ایمنی در ساختمان‌های بلند مسکونی، نگهداری نامناسب تجهیزات ایمنی، در هنگام رخداد آتش‌سوزی به علت تأخیر زمانی در شروع تخلیه ساکنان میزان زیادی از زمان موجود برای فرار را از دست خواهند داد و علاوه بر آن در هنگام خروج نیز با مسائلی چون حرکت کند جمعیت، مسدود شدن راه‌های خروج به دلیل کاهش عرض مفید و ورود دود و گازهای سمی به آن‌ها مواجه خواهند شد. نتیجه‌گیری نشان می‌دهد که تسریع فرآیند تخلیه اضطراری صرفاً به مفهوم حرکت سریع‌تر افراد در خروج نیست، بلکه با به حداقل رساندن زمان تأخیر پیش از تخلیه از طریق آموزش و مانور و انجام واکنشی سریع‌تر از طرف ساکنان و نیز کاربرد آسانسورها می‌توان ایمنی آتش را در تخلیه اضطراری افزایش داد (فلاحی و همکاران، ۱۳۹۷).

^۱ Computerized Fire Safety Evaluation System (CFSES)

۶- طهماسبی و صادقی تملی (۱۳۹۷) در مقاله‌ای تحت عنوان "رتبه‌بندی معیارهای پیاده‌سازی سیستم مدیریت کیفیت در شرکت‌های کنترل کیفی ساختمان با استفاده از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی فازی" عنوان می‌دارد که، از جمله عوامل متصدی و دخیل در پروژه‌های عمرانی، شرکت‌های مهندسیین مشاور کنترل کیفی و مقاومت مصالح ساختمان هستند که همواره در تلاش‌اند تا با تناسب داخلی با ساختار پروژه‌ها و تناسب خارجی با محیط، عملکرد مؤثری داشته باشند و بتوانند این پروژه‌ها را در کمترین زمان و هزینه ممکن و البته با درجه کیفیت معین و مناسب به پایان برسانند. هدف از این مقاله ذکر جایگاه و اهمیت مدیریت کیفیت در شرکت‌های کنترل کیفی ساختمان و اولویت-بندی معیارهای پیاده‌سازی موفق آن است. در این راستا، پرسش‌نامه‌ای با ۳۳ متغیر و ۷ شاخص برای رتبه‌بندی معیارهای پیاده‌سازی مدیریت کیفیت با استفاده از مرور ادبیات و مصاحبه با خبرگان طراحی شد. در تعامل با مدیران و کارکنان ارشد فنی شرکت‌های مهندسیین مشاور، ۱۵ زیر شاخص نهایی انتخاب گردید. جامعه تحقیق شامل ۲۲ شرکت مرتبط با فرآیند کنترل کیفی و مقاومت مصالح ساختمان در شهرستان رشت هستند. زیرشاخص‌ها توسط پرسش‌نامه مقایسات زوجی مورد سؤال قرار گرفتند. نتایج با استفاده از نرم افزار فرآیند تحلیل سلسله مراتبی فازی مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت و معیارها اولویت بندی شدند و میزان تأثیر آن‌ها بر مدیریت کیفیت شرکت‌های کنترل کیفی ساختمان مشخص شد. از میان شاخص‌ها، شاخص آموزش و فرآیند مدیریت به صورت کاربردی به عنوان مهم‌ترین عوامل مدیریت کیفیت شرکت‌های مهندسیین مشاور ساختمان شناسایی شدند (طهماسبی و صادقی تملی، ۱۳۹۷).

۷- بهزادی و همکاران (۱۳۹۷) در مقاله‌ای با عنوان "پهنه‌بندی خطر آتش سوزی مراتع و جنگلها با استفاده از GIS و مدل AHP (مطالعه موردی: پارک ملی بوم)" عنوان می‌دارند که، پارک ملی بوم در استان فارس شاهد بروز سالانه حریق و تکرار آن در سال‌های متمادی است. با توجه به اهمیت حفظ پارک و مجاورت آن با پالایشگاه شیراز، اقدام به پهنه بندی خطر حریق با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی و فرایند تحلیل سلسله مراتبی گردید. با در نظر گرفتن عوامل چهارگانه فیزیوگرافی (ارتفاع، شیب، جهت)، اقلیم (دما و باران)، عوامل انسانی (گرد شگری، نواحی صنعتی، مناطق نظامی، مناطق مسکونی و جاده‌ها) و مواد سوختی (نوع تیپ و تراکم پوشش گیاهی) و وزن‌دهی بر اساس لایه‌های رقومی، نظرات کارشناسی و تکمیل پرسشنامه‌ها و تلفیق لایه‌های تولیدی، نقشه نهایی پهنه‌بندی حریق بر مبنای طبقه‌بندی از ۰ تا ۱۰۰ به صورت بدون خطر (۰-۲۰)، کم خطر (۲۰-۴۰)، خطر متوسط (۴۰-۶۰)، خطرناک (۶۰-۸۰) و بسیار خطرناک (۸۰-۱۰۰) تهیه گردید. نتایج نشان داد ۲۳/۳٪ (۱۴۲۶۳ هکتار) از محدوده در پهنه خطرناک و ۲۰/۲۵٪ در بسیار خطرناک (۲/۸۴) قرار دارد. ارزیابی دقت و صحت مدل تهیه شده نشان می‌دهد که ۷۶/۶۰٪ از سطح محدوده‌ای که قبلاً دچار حریق شده در پهنه‌های خطرناک و بسیار خطرناک واقع شده و این موضوع بیانگر تطبیق واقعیت زمینی با نقشه‌های تهیه شده است. با توجه به ایجاد ارتباط منطقی بین نواحی خطر با مکان‌های واقعی می‌توان موفقیت این روش را اثبات کرد. از این رو پیشنهاد می‌گردد نسبت به تدوین برنامه مدیریت بحران به طور ویژه و افزایش تجهیزات و نیروی انسانی در جهت جلوگیری از بروز حریق و گسترش آن در پهنه‌های خطرناک و بسیار خطرناک منطقه اقدام نمود (بهزادی و همکاران، ۱۳۹۷).

۸- حسینی و میراکبری (۱۳۹۶) در مطالعه‌ای با عنوان "نقش اجرای سیستم‌های اعلام و اطفاء حریق در ساختمان‌های بلند در کاهش آتش سوزی" عنوان می‌دارند که، یکی از اهداف مهم حفاظت در برابر حریق در ساختمان‌ها به ویژه ساختمان‌های بلند، حفظ جان و ایمنی ساکنان ساختمان است و یکی از مهمترین ابزارها برای رسیدن به این هدف، اجرای سیستم‌های اعلام و اطفاء حریق بصورت اتوماتیک و دستی در ساختمان می‌باشد. در سال‌های اخیر با پیگیری و نظارت سازمان آتش‌نشانی تهران بر ساخت و سازهای بلندتر از شش طبقه و اهمیت بیشتر به مساله اجرا و نصب این سیستم‌ها، خوشبختانه سازندگان بناها و همچنین مسوولین شهرداری‌ها همکاری‌های شایان توجهی نموده‌اند، به طوری که در حال حاضر می‌توان گفت، ساختمان‌های بلند مرتبه در رابطه با ایمنی جان و مال ساکنان ساختمان در وضعیت نسبتاً مطلوبی قرار دارند. گرچه باید اذعان نمود به دلیل عدم وجود ضوابط، مقررات و استانداردهای منطبق با شرایط اقلیمی، فرهنگی و معماری، پرهزینه بودن تمهیدات ایمنی در ساختمان‌ها و کمبود قوانین معتبر ایمنی ساختمان‌ها، وضعیت ایمنی ایده‌آل هنوز در ساختمان‌ها حاکم نیست. لیکن با طرح‌هایی که سازمان در دست بررسی و اقدام دارد؛ در آینده‌ای نه چندان دور، اصولاً هیچ بنایی بدون کسب مجوز ایمنی از آتش‌نشانی، اجازه ساخت و ساز و بهره‌برداری نخواهد داشت. بدیهی است در این راه همکاری بیشتر مسوولین و سازندگان بنا و سیاست‌گذاران بخش مسکن شهر و مهمتر از همه مردم ضامن موفقیت خواهد بود. مردم باید به مساله ایمنی ساختمان محل سکونت خود اهمیت دهند؛ به خصوص آن دسته از مردم که ساختمان‌های بلند را جهت مسکن خود انتخاب می‌کنند حتماً دقت نمایند که هنگام خرید واحد مسکونی، ساختمان دارای مجوز ایمنی از آتش نشانی باشد. بدیهی است ضوابط و دستورالعمل‌های مربوطه توسط آتش‌نشانی به سازندگان بناها ابلاغ میشود و در صورت عدم رعایت، ساختمانها مجوز بهره‌برداری و پایان کار دریافت نخواهند کرد. در این مقاله سعی شده است که ضمن آشنا کردن مردم با ضوابط و دستورالعملها و دادن اطلاعات مختصری در مورد محصولات احتراق و اثرات زیان‌آور حریق، آنها را از شیوه‌ها و روش‌های مطلوب ایمنی از حریق در ساختمان آگاه نمود. مطالب ارائه شده منطبق با ضوابط و استانداردهای بین‌المللی و حاصل تجربیات بیش از پانزده سال انجام وظیفه در سازمان آتش‌نشانی و شرکت در بسیاری از حریق‌ها و حوادث و کارشناسی در امور بررسی علل حریق، ایمنی در برابر حریق در اماکن مختلف بخصوص اماکن مسکونی می‌باشد. با بررسی نقش موثر اجرای سیستم‌های اعلام و اطفاء حریق در ساختمان‌ها در حفاظت از جان و مال مردم به ضرورت این امر پی خواهیم برد (حسینی و میراکبری، ۱۳۹۶).

۹- عسگری‌پور و همکاران (۱۳۹۶) در مقاله‌ای با عنوان "ارزیابی ریسک حریق و تعیین کارایی روش‌های حفاظت فعال و غیرفعال در کاهش ریسک حریق در اتاق کنترل یک ساختمان صنعتی" بیان می‌دارند که، خسارت‌های سنگین انسانی و اقتصادی ناشی از حریق، ضرورت برخورد علمی با حریق‌های صنعتی بزرگ، سرمایه‌گذاری جهت توسعه تکنولوژی حفاظت در برابر حریق و تعیین موثرترین تکنیک‌ها جهت محدود کردن خسارات را نمایان می‌سازد. این مطالعه با هدف بررسی میزان تأثیر روش‌های حفاظت فعال و غیرفعال، بر کاهش سطح ریسک حریق در اتاق کنترل یک نیروگاه حرارتی انجام گردیده است. در این مطالعه، در فاز اول، با استفاده از روش مهندسی ارزیابی ریسک حریق، سطح ریسک حریق برای ساختمان و محتویات، ساکنین و فعالیت‌ها محاسبه گردیده و سپس در فاز دوم، از بین ۳۶ زیر فاکتور مؤثر در سطح ریسک، اصلاح

سه زیر فاکتور از اقدامات حفاظت غیر فعال و دو زیر فاکتور از اقدامات حفاظت فعال در کاهش سطح ریسک حریق ساکنین مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که سطح ریسک حریق ساکنین بالاتر از حد قابل قبول می‌باشد. اصلاح سه زیر فاکتور، بار ثابت حریق، شماره طبقه، تغییر ابعاد و مساحت اتاق کنترل تا ۴۰ درصد و نصب سیستم اطفاء حریق خودکار و آموزش استفاده از تجهیزات اطفاء حریق و تخلیه اضطراری تا ۳۳ درصد در کاهش سطح ریسک حریق موثر می‌باشد. روش‌های حفاظت فعال و غیرفعال، با وجود تاثیر در کاهش سطح ریسک، به صورت جداگانه قادر به تأمین سطح ایمنی قابل قبول در برابر حریق نمی‌باشند. بنابراین استفاده توأم این روش‌ها جهت حفاظت از ساختمان‌ها، افراد و پیشگیری از ایجاد وقفه در فعالیت سیستم، ضروری می‌باشد (عسگری پور و همکاران، ۱۳۹۶).

۱۰- حکم آبادی و همکاران (۱۳۹۶) در پژوهشی تحت عنوان "ارزیابی ریسک حریق در مجتمع بیمارستانی با استفاده از مهندسی ریسک حریق (FRAME)" عنوان می‌دارند که، وقوع حریق در ساختمان‌های مسکونی، مجتمع‌های تجاری و صنایع کوچک و بزرگ همه ساله سبب وارد آمدن خسارت‌های جانی، مالی و زیست محیطی فراوانی به جوامع مختلف می‌شود. ارزیابی ریسک حریق، روش موثری جهت ارزیابی اقدامات، وسایل و تجهیزات اعلان و اطفاء حریق می‌باشد بنابراین هدف مطالعه ارزیابی ریسک حریق با استفاده از روش ارزیابی مهندسی ریسک حریق (FRAME) در یک مجتمع بیمارستانی می‌باشد. این مطالعه توصیفی به صورت مقطعی در مجتمع بیمارستان امام علی (ع) دانشگاه علوم پزشکی خراسان شمالی توسط روش ارزیابی مهندسی ریسک حریق (FRAME) انجام گرفت. نتایج بر اساس فرمول‌های روش مذکور با استفاده از نرم‌افزار اکسل طراحی شده محاسبه گردید. در این مطالعه تعداد ۱۸ بخش که شامل ۱۶۵ واحد در بیمارستان می‌باشد مورد ارزیابی قرار گرفتند که بیشترین مقدار سطح ریسک حریق برای ساختمان، افراد و فعالیت به ترتیب در بخش‌های اتاق عمل (۰/۳۱)، اتاق عمل (۳/۱۸) و تاسیسات (۰/۹۵) می‌باشد و کمترین مقدار سطح ریسک حریق به ترتیب در بخش‌های MRI (۰/۱۱)، ICU (۰/۲۵) و انبار (۰/۱۳) می‌باشد. همچنین ریسک حریق در وضعیت موجود برای ساختمان و فعالیت در کلیه بخش‌های بیمارستان کمتر از یک می‌باشد ولی ریسک حریق برای افراد در کلیه بخش‌های بیمارستان بالاتر از یک می‌باشد. نتایج بدست آمده حاکی از این است که سطح ایمنی ساختمان، افراد و فعالیت‌ها از حداقل ممکن برخوردار می‌باشد و از طرفی بالاترین ریسک و پتانسیل حریق متوجه افراد می‌باشد که لازم می‌باشد مسئولین اقدامات لازم را در این خصوص انجام دهند (حکم آبادی و همکاران، ۱۳۹۶).

۱۱- زید عبدی و سبزی (۱۳۹۵) در مقاله‌ای تحت عنوان "بلند مرتبه‌سازی در کلان شهرها (بررسی تاثیرات آن در معماری شهری)" عنوان می‌دارند که، رشد شتابان و بی‌رویه جمعیت در شهرهای بزرگ و به تبع آن نیاز به مسکن در سطح وسیع، از یک سو و نیز جلوگیری از گسترش افقی شهرها از سوی دیگر، احداث ساختمان‌های بلند مرتبه را به عنوان راه‌حلی در مقابل مسئله زمین ضروری ساخته است. امروزه، اساس بسیاری از طرح‌های شهری این است که با افزایش تراکم و احداث ساختمان‌های بلند، تا آنجا که ممکن است از سطح زیربنای همکف کاسته تا بتوان جمعیت زیادتری را اسکان داده و از زمین آزاد برای تامین فضای باز عمومی و خدمات مورد نیاز و نیز استفاده بهینه از تاسیسات زیربنایی شهری استفاده نمود. بررسی مساله

ساختمان‌های بلند مرتبه در کلان شهرها دارای ابعاد مثبت و منفی زیادی است که شناخت این ابعاد می‌تواند تصمیم‌گیرندگان را در جهت تقویت ابعاد مثبت و همچنین حذف ابعاد منفی کمک نماید. راهبرد بلندمرتبه سازی در زمان حاضر رواج یافته است و به علت تجمیع کاربران در سطحی محدود لازم است تا فرایند طراحی و مرحله بهره‌برداری موردتوجه خاص قرار گیرد بر همین اساس، تحقیق حاضر به بررسی جایگاه ساختمان‌های بلند مرتبه در کلان شهرها با هدف روشن‌تر ساختن ابعاد مسئله می‌پردازد و همچنین با تحلیل محتوای متون تخصصی و بررسی تحلیلی-ارزیابانه رویکردها و جنبشهای مطرح در توسعه ساختمان‌های بلند مرتبه، به منظور استخراج پیشینه طرح این رویکرد از دیگر اهداف این نوشتار است و در نتیجه اینکه بتوان با بررسی این ابعاد راهکارهایی جهت بکارگیری این عنصر شهر سازی که در معماری معاصر بسیار مورد توجه قرار گرفته است را در راستای شکل‌گیری شهرسازی مثبت و هدفمند بکار برد (زیدعبدی و سبزی، ۱۳۹۵).

۱۲- لیت کوهی و میرشفیعی (۱۳۹۵) در مقاله‌ای با عنوان "نقش ساختمان‌های بلندمرتبه مسکونی بر عقاید و باور مردم" بیان می‌دارند که، تحول فرهنگی در هر جامعه‌ای، تحول در مسکن را به وجود می‌آورد. هر جامعه‌ای با توجه به تاریخ، فرهنگ، مسایل اقتصادی و اجتماعی خویش به ساخت نوعی از مسکن، به سبکی از معماری روی می‌آورد. یکی از شیوه‌های ساخت و ساز که در حال رشد بی‌رویه و بسیار گسترده می‌باشد، آپارتمان سازی و برج‌سازی یا به عبارت دیگر بلند مرتبه سازی است که البته زندگی در این مساکن نوع خاصی از فرهنگ را می‌طلبد. نگاه صرف به مسکن بعنوان یک سرپناه و به منظور رفع نیاز مسکن باعث بی‌توجهی به جنبه‌های دیگر این مسایل شده، که همگی ناشی از محدود شدن مکان و گسترش عمودی فضا می‌باشد. نوشتار پیش رو به بررسی ساختمان‌های مسکونی بلند مرتبه با هدف شناخت تأثیرات و چالش‌های آن بر فرهنگ، عقاید و باورهای مردم می‌پردازد. در این مقاله مفروض بر این است که ساختمان‌های بلندمرتبه به علت تعارض و تقابل با ارزش‌ها و عقاید سنتی مردم ایران تأثیرات منفی را با خود به همراه دارند تا جایی که این تأثیرات از سطح عقاید فراتر رفته و هویت اصیل مردم را به چالش می‌کشد و به مرور زمان مردم با این تأثیرگذاری سوو به صورت نسبی کنار می‌آیند. روش پژوهش، توصیفی و مبتنی بر داده‌ها و اطلاعات کتابخانه‌ای و میدانی می‌باشد (لیت کوهی و میرشفیعی، ۱۳۹۵).

۱۳- زید آبادی و ا سدی (۱۳۹۵) در مطالعه‌ای با عنوان "تحلیل آتش سوزی برج سلمان مشهد در قیاس با ساختمان جلما^۱ در سائوپائولو برزیل" بیان می‌دارند که، همواره آتش‌سوزی یکی از حوادث اجتناب‌ناپذیر بوده و روزانه تعداد بی‌شماری از ساختمان‌های مسکونی، تجاری، آموزشی، درمانی، کارگاه‌های صنعتی و غیره را به کام خود می‌کشد. بررسی آتش‌سوزی‌های گذشته بدون شک باعث تدوین آیین‌نامه‌هایی به منظور جلوگیری از وقوع حوادث مشابه شده است و همچنین نیاز سنجی سازمانی از قبیل تجهیزاتی، آموزشی، فرهنگی و ... صورت گرفته است. در این مقاله سعی بر این شده است که با تکیه بر مستندات و پژوهش‌های انجام گرفته از آتش‌سوزی‌های برج ۱۸ طبقه سلمان در مشهد و ساختمان ۲۵ طبقه ساختمان جلما در شهر سائوپائولوی برزیل بتوان تحلیل قیاسی از مؤلفه‌های مهم و تأثیرگذار بر وقوع اینگونه حوادث و عمق حادثه و همچنین نیازهای تجهیزاتی و آموزشی را بررسی کرد. اگر چه بحث و گفتگو و برداشتهای تجربی از اینگونه حوادث

^۱ Joelma

بسیار زیاد است ولی به نحوی تحلیل هر حادثه منجر به دریافتن نقاط ضعف و تقویت آنها برای آمادگی هر چه بیشتر در حوادث غیر قابل پیش‌بینی آینده خواهد بود (زیدآبادی و اسدی، ۱۳۹۵).

۱۴- عبدالرحیمیان و همکاران (۱۳۹۴) در مقاله‌ای با عنوان "شناسایی و رتبه‌بندی شاخص‌های سرمایه انسانی با استفاده از روش تجزیه و تحلیل سلسله مراتبی" عنوان می‌دارند که، این پژوهش با هدف شناسایی و رتبه‌بندی شاخص‌های سرمایه انسانی در دانشگاه علم و هنر یزد انجام گردیده است. این مطالعه از روش تحقیق توصیفی-تحلیلی با پیمایش به صورت میدانی انجام گردید. جامعه آماری پژوهش پژوهش حاضر را مدیران دانشگاه علم و هنر شعبه یزد تشکیل می‌دهند. داده‌های این پژوهش از طریق پرسشنامه مقایسات زوجی و نظرات خبرگان جمع‌آوری گردیدند. با بررسی پیشینه پژوهش‌های صورت گرفته جهت شناسایی شاخص‌های سرمایه انسانی ابتدا با بررسی ادبیات تحقیق و مطالعات مشابه، شاخص‌های ابتدایی شناسایی گردید. سپس با نظرسنجی از خبرگان معیارها، زیرمعیارها و شاخص‌های سرمایه انسانی شناسایی شد و جهت رتبه‌بندی این عوامل از روش تجزیه و تحلیل سلسله مراتبی (AHP) فازی استفاده گردید. نتایج این پژوهش نشان داد که معیار رهبری دارای بیشترین اهمیت در بین معیارهای مورد مطالعه در دانشگاه علم و هنر یزد می‌باشد. در پایان بر اساس رتبه‌بندی شاخص‌های سرمایه انسانی پیشنهادهایی برای تحقیقات آینده و مدیران جهت بکارگیری در این سازمان ارائه گردید (عبدالرحیمیان و همکاران، ۱۳۹۴).

۱۵- شاکر اردکانی و همکاران (۱۳۹۲) در مطالعه‌ای با موضوع "رتبه‌بندی کارمندان و انتخاب سرپرستان با رویکرد ترکیبی فرآیند تحلیل سلسله مراتبی فازی (FAHP) و تاپسیس فازی (FTOPSIS)" عنوان می‌دارند که، انتخاب نیروی انسانی لایق و شایسته، عامل کلیدی موفقیت برای یک سازمان تولیدی و صنعتی است. هدف این مطالعه، ارائه یک رویکرد تصمیم‌گیری چند معیاره فازی برای ارزیابی گزینه‌ها در ارتباط با ترجیحات تصمیم‌گیرندگان است. دو روش تصمیم‌گیری چند معیاره برای حل مساله تصمیم‌گیری چند معیاره انتخاب کارمندان در شرکت فولاد غدیر ایرانیان پیشنهاد شده است: فرایند تحلیل سلسله مراتبی فازی (FAHP) و تاپسیس فازی (FTOPSIS)؛ که اولی برای تعیین اوزان نسبی شاخص‌های مورد استفاده در انتخاب کارمندان (مولفه‌های اصلی و فرعی) و دومی برای رتبه‌بندی گزینه‌ها (کارمند) بکار برده شده است. زمانی که ارزیابی در برخی جنبه‌ها مبهم و غیردقیق می‌باشد، رویکردهای تصمیم‌گیری چند معیاره فازی، راه حلی ترجیحی و مناسب است. در پایان مقاله نیز پیشنهادهایی برای پژوهش‌های آینده ارائه شده است (شاکر اردکانی و همکاران، ۱۳۹۲).

۱۶- رهنما و رضاقیان (۱۳۹۲) در مقاله‌ای تحت عنوان "مکان‌یابی ساختمانهای تجاری با تاکید بر نظریه رشد هوشمند" که در مجله علمی پژوهشی جغرافیایی فضا ارائه گردیده، بیان می‌دارند که، امروزه سیاست‌های شهرنشینی از الگوی رشد افقی به سمت رشد هوشمند تغییر کرده است که به ایده شهر فشرده منجر می‌شود. تجاری سازی به عنوان یکی از روش‌های ساخت شهرهای فشرده، برای استفاده حداکثر از فضا و منابع محدود، بسیار مورد توجه مدیران شهری قرار گرفته است. اما عدم توجه به معیارها و ضوابط لازم برای مکان‌یابی صحیح این ساختمان‌ها می‌تواند باعث بروز مشکلات متعددی در مناطق شهری و آینده

شهرها گردد. لذا هدف این مقاله شناسایی معیارهای موثر در مکان‌یابی ساختمان‌های تجاری منطقه ۹ شهرداری مشهد با تاکید بر اصول نظریه رشد هوشمند شهری از جمله ایده شهر فشرده، کاربری ترکیبی، حفظ فضای باز و در نهایت بررسی پتانسیل منطقه به لحاظ تجاری سازی می‌باشد. لذا با استفاده از روش اسنادی و میدانی، ۹ معیار در دو گروه کالبدی- فضایی و کیفیت محیطی برای بررسی مکان‌های مناسب جهت تجاری سازی انتخاب شده است. همچنین از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) بعنوان ابزار تعیین وزن معیارها و سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) به عنوان ابزار تلفیق، تحلیل و نمایش داده‌های مکانی در فرآیند مکان‌یابی، استفاده شده است. از سطح کل منطقه (۴۵۶۱۷ قطعه) تعداد ۱۷۴۷ قطعه با مساحت ۱۰۰ هکتار به ترتیب در اولویت‌های اول و دوم، برای تجاری سازی پیشنهاد شده است. اما محدوده‌های پیشنهادی با آنچه در حال وقوع می‌باشد، متفاوت بوده و فرضیه مقاله مبنی بر عدم بکارگیری اصول و معیارهای مبتنی بر ایده شهر فشرده و متراکم، مورد تایید قرار گرفته است (رهنما و رضاقیان، ۱۳۹۲).

۲-۶-۲- پیشینه مطالعات در جهان

۱- Arewa و همکاران (2021) در مقاله‌ای با عنوان "ایمنی حریق در ساختمان‌های بلند مرتبه یک استراتژی موفق و یا یک تاکتیک جهت نگهداری" چنین عنوان می‌دارند که، از لحاظ تاریخی، حوادث آتش‌سوزی در ساختمان‌های بلند نشان می‌دهد که خدمات آتش‌نشانی و نجات اغلب به تاکتیک‌های ماندن متکی هستند (یعنی ساکنان ساختمان‌های بلند باید در آپارتمان خود بمانند) در طول یک جهنم. وقوع آتش‌سوزی اخیر در ساختمان‌های بلند نشان می‌دهد که دو دیدگاه متضاد در مورد تاکتیک ماندن وجود دارد. اول، درک این موضوع که تاکتیک ماندن در محل کار مفیدی است که برای محافظت، کنترل و تسهیل تخلیه آرام سرنشینان در طول حوادث آتش‌سوزی استفاده می‌شود. دوم، این استدلال که تاکتیک ماندن یک استراتژی بیهوده و قضاوت نادرست است که منجر به مرگ و میر می‌شود، به ویژه در ساختمان‌های بلند. هدف از این مطالعه ارائه آگاهی و درک از استفاده خدمات آتش‌نشانی و نجات از تاکتیک اقامت در ساختمان‌های مرتفع بود. پژوهشگران سعی می‌کنند تا به این سؤالات پاسخ دهند که آیا تاکتیک ماندن یک قضاوت نادرست است و یا استراتژی موفق است؟ این مطالعه استراتژی‌های پژوهشی پدیدار شناختی را با گروه‌های کانونی مختلف متشکل از آتش‌نشانان و بازماندگان باتجربه با گزارش‌های دست اول از دستورالعمل‌های اقامت در ساختمان‌های مرتفع اتخاذ کرد. این مطالعه همچنین سه مطالعه موردی از حوادث آتش‌سوزی در ساختمان‌های بلند در دو کشور را مورد بررسی قرار داد. این مطالعه نشان داد که تاکتیک ماندن منسوخ شده است. با پتانسیل ایجاد قضاوت نادرست فاجعه آمیز، عمدتاً در هنگام آتش‌سوزی در ساختمان‌های بلند. نیاز به تحقیقات پیشرفته در مورد استفاده از سیستم‌های ارتباطی هوش مصنوعی و دوربین‌های تشخیص تصویر مادون قرمز برای افزایش تخلیه سریع و روان آتش در ساختمان‌های بلند وجود دارد (Arewa, et al. 2021).

۲- Li و همکاران (2017) در مطالعه‌ای با موضوع "ارزیابی ریسک حریق در ساختمان‌های بلند به روش تجزیه و تحلیلی سلسله مراتبی با رویکرد منطق فازی و مدل‌سازی ریاضی" عنوان می‌دارند که، ارزیابی خطر آتش‌سوزی راه اساسی برای کاهش و کنترل آتش‌سوزی ساختمان‌های بلند است. در این مقاله عوامل موثر

بر آتش‌سوزی ساختمان‌های مرتفع برای راه‌اندازی سیستم شاخص ارزیابی افزایش حریق برای ساختمان‌های بلند که عوامل اصلی آن تاسیسات سخت‌افزاری ایمنی آتش‌سوزی، توانایی تخلیه ایمنی در برابر حریق، قابلیت پیشگیری از حریق ساختمان و عوامل اصلی آن می‌باشد، تحلیل می‌شود. وضعیت مدیریت ایمنی در برابر آتش‌سوزی ساختمان برای ایجاد مدل ریاضی از روش درجه ریسک خاکستری، AHP و روش ارزیابی فازی استفاده شده است. این مدل برای تجزیه و تحلیل و مقایسه خطر آتش‌سوزی ۵ ساختمان مرتفع مانند ساختمان اطلاعات Shaanxi، ساختمان علم و فناوری Zhongguancun و غیره استفاده می‌شود. نتایج نشان می‌دهد که سطح ایمنی ساختمان‌های بلندمرتبه با عملکرد اداری که توسط ساختمان اطلاعات Shaanxi نشان داده شده است، "خوب" است، اما سیستم اطفاء حریق و تجهیزات آسانسور آتش‌نشانی هنوز باید به طور منظم بررسی و نگهداری شوند، در حالی که سطح ایمنی ساختمان‌های بلندمرتبه با عملکرد مراکز خرید و ساختمان‌های مسکونی "متوسط" است که نیاز به تقسیم مجدد معقول پارتیشن آتش و دود و بهبود قابلیت واکنش اضطراری دارد (Li, et al. 2017).

۳- Akhimien و Adamolekum (2017) مقاله‌ای را با عنوان "ایمنی حریق در ساختمان‌ها" ارائه نمودند. ایشان هدف از این مطالعه را بررسی اقدامات ایمنی در برابر آتش‌سوزی و قابلیت ماندگاری این اقدامات در ساختمان‌ها و اقدامات مورد نیاز مبتنی بر فناوری بیان می‌دارند. ساختمان‌ها باید به گونه‌ای طراحی شوند که در صورت آتش‌سوزی، ساکنان بتوانند به راحتی و بدون نیاز به کمک فرار کنند. با این حال، مطالعات موردی نشان می‌دهد که ساکنین اغلب قادر به فرار به موقع نیستند و اغلب اوقات اقدامات پیشگیرانه مورد نیاز برای جلوگیری از آتش‌سوزی یا فرار از آن را تضعیف می‌کنند. روش مطالعه بر اساس ارزیابی‌های حادثه و آزمایش‌های واقعی، مانند تمرین‌های تخلیه اعلام‌شده بود. امکانات واقعیت مجازی برای مطالعه رفتار انسان در آتش‌سوزی تاکنون به سختی توسط محققان پذیرفته شده است. با این وجود، از آنجایی که در محیط‌های مجازی افراد آزمایش‌کننده می‌توانند به صورت ایمن با پدیده آتش‌سوزی مواجه شوند. همچنین با جمع‌آوری داده‌ها از کتاب‌ها، مجلات و مقالات مرتبط، استفاده از ابزار سنجش رفتاری و تحقیق در واقعیت مجازی، مکمل ارزشمندی بر روش‌های تحقیق موجود باشد. به طور کلی اطلاعات کمی در مورد رفتار واقعی انسان در یک رویداد آتش‌سوزی شناخته شده است. بنابراین، بهتر است ایمنی ساختمان‌ها در برابر حریق بر اساس رفتار واقعی انسان در آتش باشد. آگاهی دادن به ساکنان در مورد اقدامات ایمنی در هنگام وقوع آتش‌سوزی در داخل و اطراف ساختمان و سایر روش‌های پیشگیری از آتش‌سوزی که برای ایمنی آنها اتخاذ می‌شود، مهم است. این مطالعه پس از ارزیابی مناسب اقدامات ایمنی آتش‌نشانی موجود که برای کاربران اعمال می‌شود و اثربخشی این اقدامات، اقدامات ایمنی مناسب در برابر آتش را مطابق با بهترین شیوه‌ها توصیه می‌کند (Akhimien and Admolekum, 2017).

۴- Ronchi و Nilsson (2013) در مطالعه‌ای با عنوان "تخلیه اضطراری ساختمان‌های بلند مرتبه در هنگام حریق: بررسی رفتار انسان و مدلسازی امداد و نجات" به بررسی تخلیه نفرات در هنگام بروز حریق و آتش‌سوزی‌های بزرگ در ساختمان‌های بلند پرداختند. ایشان اهداف مختلفی را برای این مطالعه بیان می‌دارند که عبارتند از: (۱) برای شناسایی عوامل رفتاری کلیدی مؤثر بر عملکرد افراد در هنگام آتش‌سوزی

در ساختمان‌های بلند، ویژگی‌های منحصر به فرد مرتبط با این نوع ساختمان‌ها و زمینه‌های تحقیقات آتی؛ (۲) بررسی رویه‌ها و استراتژی‌های اتخاذ شده در حال حاضر در ساختمان‌های بلند؛ (۳) بررسی و تجزیه و تحلیل قابلیت‌های مدل‌های تخلیه با بررسی ویژگی‌ها و کاربردهای فعلی آنها در زمینه تخلیه ساختمان‌های بلند. این بررسی شامل هر دو یافته در مورد رفتار انسان در ساختمان‌های بلند و تکنیک‌ها و ابزار مدل‌سازی بود. مقوله‌های مختلف کاربری ساختمان، یعنی ساختمان‌های اداری، ساختمان‌های مسکونی و تأسیسات مراقبت‌های بهداشتی در نظر گرفته شد. استفاده فردی یا ترکیبی از اجزای مختلف خروجی مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. اجزای خروجی شامل استفاده از پله‌ها، آسانسورها و همچنین ابزارهای جایگزین برای فرار (مانند پل‌های هوایی، هلیکوپترها، و غیره). اثربخشی اجزای خروجی به شدت تحت تأثیر کاربری ساختمان و جمعیت درگیر است. بررسی این مطالعه نشان می‌دهد که مدل‌های تخلیه را می‌توان به طور موثر برای مطالعه استراتژی‌های جابجایی و مسائل ایمنی مرتبط با ساختمان‌های بلند به کار برد. مناسب بودن مدل‌های خروجی برای تخلیه ساختمان‌های بلند با انعطاف‌پذیری آنها در نمایش اجزای خروجی مختلف و فرآیندهای رفتاری پیچیده مرتبط است. این بررسی نشان می‌دهد که مدل قطعی برای استفاده وجود ندارد، اما اگر بیش از یک مدل برای مطالعه جنبه‌های مختلف خروج به کار گرفته شود، قابلیت‌های پیش‌بینی تکنیک‌های مدل‌سازی تخلیه افزایش می‌یابد. تحقیقات آتی و تحولات مدل باید بر مطالعه تأثیر اقدامات کارکنان، پویایی گروه و افراد دارای معلولیت متمرکز باشد. با توجه به افزایش ارتفاع ساختمان‌ها و کاهش تدریجی در توانایی‌های فیزیکی جمعیت، اثرات خستگی بر تخلیه نیاز به مطالعات بیشتری دارد (Nilsson and Ronchi, 2013).

۵- Xiuyu و همکاران (2012) در مطالعه‌ای با موضوع "تجزیه و تحلیل فاکتورهای بروز حریق در ساختمان‌های مرتفع و بررسی لایه‌های حفاظتی پیشگیری کننده" عنوان می‌دارند که، آتش‌سوزی در ساختمان‌های بلند دارای ویژگی‌های بسیاری مانند تنوع شعله‌ها، عوامل، راه‌های مختلف گسترش آتش و دشواری تخلیه است. لذا جهت تجزیه و تحلیل درختواره رویداد^۱ (ETA) ناشی از حریق، نیازمند مطالعه جامع عواملی است که می‌توانند باعث آتش‌سوزی در ساختمان‌های بلند شوند. استقرار سیستم ایمنی و آتش‌نشانی در ساختمان بلندمرتبه با اقدام متقابل از «انسان-ماشین-محیط» شروع می‌شود، یعنی فناوری (سخت‌افزار) و مدیریت (نرم‌افزار) که تأثیر هدایت و هماهنگی مدیریت با فناوری را برجسته می‌کند. و فناوری به عنوان روش: استقرار و بهبود سیستم ذخیره، تقویت "درختواره مدل‌سازی"، ارتقای مدیریت ایمنی پرسنل مرتبط و پرورش احساس ایمنی، برقرار نمودن برنامه شرایط اضطراری آتش‌سوزی با هدف حفاظت در برابر حریق ساختمان‌های مرتفع می‌باشد (Xiuyu. etal. 2012).

۶- Kobe و همکاران (2008) در مقاله‌ای تحت عنوان "ریسک حریق در ساختمان‌های تجاری بر اساس رفتار انسان در حریق" را ارائه نمودند. ایشان در این مقاله به بررسی ریسک حریق در ساختمان‌های تجاری در ارتباط با رفتار افراد در هنگام تخلیه ساختمان پرداخته‌اند. هدف از این مقاله، تعیین ریسک حریق بر پایه رفتار انسانی در هنگام خروج از مکان‌هایی که دچار حریق گشته، استوار شده است. در این مقاله به شناسایی

^۱ Event Tree Analysis (ETA)

و تعیین مسیرهای فرار و همچنین مشخص نمودن موانع فرار در هنگام خروج افراد تمرکز گردیده است. در روش انجام کار بر روی احتمال بروز حریق و پیامدهای ناشی متمرکز شده و سپس ریسک این پیامدها بر روی انسان مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرد. سپس برای کاهش شدت پیامدهای ناشی از بروز رویداد بر روی انسان پیشنهاداتی گردیده است. برخی از این پیشنهادات عبارتند از: در ساختمانهایی که نفرات حضور دارند مانند خانه‌های نگهداری از سالمندان، بیمارستان‌ها و مکانهایی که به منظور استراحت نفرات مورد استفاده قرار می‌گیرد مانند هتل‌ها و مهمانسراها، این موضوع بسیار حیاتی و مهم است که از بروز حریق و دود در آنها تا حد امکان جلوگیری بعمل آید. این بدان معنا است که بایستی حریق و دود ایجاد شده در لحظات اولیه رویداد، خاموش شده و از گسترش آن در کوتاه‌ترین زمان ممکن اقدام مقتضی صورت گیرد. بدین منظور بایستی تمامی طبقات در ساختمان‌های بلند مجهز به سیستم‌های خاموش کننده حریق (اسپرینکلر) باشد این موضوع بویژه در هتل‌ها و ساختمانهایی که تعداد نفرات زیادی حضور دارند پر رنگ تر می‌باشد. بررسی‌ها و مطالعات بر روی رفتار انسان‌ها در هنگام حریق نشان می‌دهد که هنگام بروز رویداد حریق، مسیر خروج نفرات در ساختمان معمولاً همان مسیرهای شناخته شده اصلی برای ورود و خروج نفرات در زمانهای معمول می‌باشد. همچنین بیشترین مورد استفاده نیز آسانسور می‌باشد. لذا بایستی مسیرهای خروج و ورود نفرات و همچنین آسانسورها به نحو مطمئنی در برابر حریق ایمن سازی گردند (Kobe, etal. 2008).

فصل ۳- روش تحقیق

۱-۱- مقدمه

قدمت طولانی شهر و شهرنشینی در ایران، موجب تأثر آن از شرایط حاکم بر ادوار متفاوت تاریخی کشور شده و به ارائه سیما و منظر متفاوتی از آن در هر دوره انجامیده است. زمانی به اقتضای این شرایط، دوره‌ای از رشد و شکوفایی را تجربه کرده‌اند و در برهه‌هایی از تاریخ، همین شرایط زمینه‌ساز ضعف و زوال آن شده‌اند. زمانی عامل تأثیرگذار داخلی بوده است، زمانی خارجی و زمانی نیز هر دو، زمانی شهرها مرکز و مظهر خودنمایی حکومت‌ها می‌شوند و زمانی پایگاه مبارزات مردمی در مقابل حکومت‌ها. در کل می‌توان گفت که شهرها با تأثیرپذیری از حوادث تاریخی، ساخت و بافت خود را شکل داده‌اند و حوادث تاریخی ملت‌ها در شهرهای آن‌ها رخ می‌نماید. به نظر میرسد شهرهای امروزی، تحولات سده و به خصوص دهه‌های اخیر بر ساخت و بافت شهرهای کشور تأثیر گذاشته است، که پدیده بلندمرتبه‌سازی از علائم و نشانه‌های تأثیر این تحولات بر شهرسازی کشور است. از نیمه دوم قرن نوزدهم به بعد که استفاده از ساختمان‌های بلند در شهرهای جهان متداول گردید و گسترش یافت. بلندمرتبه‌سازی همواره بعنوان یک پدیده مهم و اساسی مورد بحث بوده است. در واقع، این پدیده از سویی می‌تواند به بسیاری از مسائل شهری مانند کمبود زمین، مسکن، بهینه نمودن هزینه تأسیسات شهری، جلوگیری از رشد افقی شهرها و... پاسخ داده و از سوی دیگر، خود پدید آورنده مشکلات و نارسایی‌هایی مانند افزایش تراکم جمعیتی و ساختمانی، اختلال در تأسیسات زیربنایی و خدمات شهری، تأثیرات نامطلوب کالبدی و زیست محیطی و... در فضای شهری باشد (زیدعبدی و سبزی، ۱۳۹۵).

ساخت و ایجاد ساختمان‌های بزرگ و پیچیده، موجب افزایش تراکم افراد، عدم دسترسی سریع به فضای خارج، تأخیر در تخلیه ساکنین و در نتیجه افزایش مرگ و میر ناشی از حریق شده است. آمارها نشان می‌دهد نیمی از مرگ‌های ناشی از حریق، در داخل ساختمان‌ها اتفاق می‌افتد. در سال ۲۰۱۱ فقط در ایالات متحده، تعداد ۱۳۸۹۵۰۰ مورد حریق گزارش شده است که موجب مرگ ۳۰۰۵ نفر، ۱۷۵۰۰ مورد صدمه به افراد غیرنظامی و حدود ۷ میلیارد دلار خسارت به اموال و تجهیزات گردیده است. همچنین ۱۷ مورد از ۲۲ حریق بزرگ در سال ۲۰۱۱، در ساختمان‌های مسکونی رخ داده است که در مجموع باعث خسارتی معادل ۲۹۵۰ میلیون دلار شده است. ارزیابی حریق در بسیاری از کشورها از اوایل ۱۹۷۰ مورد توجه قرار گرفت. برخی از کشورهای در حال توسعه مانند انگلستان، ژاپن، استرالیا، آمریکا، کانادا و نیوزیلند، سرمایه‌گذاری زیادی در این بخش انجام دادند. محورهای این سرمایه‌گذاری‌ها طراحی حریق، اصول مهندسی ایمنی در برابر آتش، روش‌های پیش‌بینی و ارزیابی کمی خطرات حریق و همچنین روش‌های ارزیابی خسارات وارده به ساختمان‌ها بوده است. پس از پایان جنگ جهانی دوم، پیشرفت‌های چشمگیری در زمینه تدوین استانداردها، آیین نامه‌های اجرایی و روش‌های ارزیابی حریق روی داد. این روش‌ها در ابتدا پس از وقوع حوادث و به منظور پیشگیری از وقوع حوادث مشابه مورد توجه قرار گرفت. با توجه به اینکه اکثر حریق‌های بزرگ، برای اولین بار رخ می‌دهند، لذا پیش‌بینی حریق‌های محتمل و کوشش در راستای کاهش شدت پیامد و احتمال وقوع حوادث، اهمیت بسزایی دارد. با توجه به موارد فوق، نیاز به استفاده از اصول تکنیکی ارزیابی ریسک، برای اجرای اقدامات ایمنی حریق در ساختمان‌ها و کمک به تصمیم‌گیری مدیریت در مورد انتخاب سیستم‌های حفاظت در برابر حریق، بیش از پیش احساس می‌شود (شیرالی و همکاران، ۱۳۹۴).

از آنجا که تاثیر ساختمانهای بلند مرتبه از جنبه‌های ایمنی و آتش‌نشانی متنوع است و هر مقوله از آن تحقیق جداگانهای را می‌طلبد، لذا در این تحقیق سعی بر آن شده است تا با لایه‌های حفاظتی پیشگیری کننده و لایه‌های حفاظتی مقابله با حریق در ساختمان‌های بلند در منطقه ۱ آتش‌نشانی تهران به روش AHP اولویت بندی گردد

۳-۲- معرفی آتش‌نشانی منطقه یک

منطقه یک دارای ۱۹ ایستگاه آتش‌نشانی می‌باشد. ایستگاه ۲۰ شهید صالحی استادبوم آزادی، ایستگاه ۲۷ شهید ابراهیم خودرو (جنت‌آباد جنوبی)، ایستگاه ۳۰ (پارک چیتگر)، ایستگاه ۳۴ ترمینال غرب، ایستگاه ۴۴ (کیلومتر ۱۸ جاده مخصوص کرج)، ایستگاه ۴۵ (کیلومتر ۱۴ جاده مخصوص کرج، ایستگاه ۵۵ (پونک)، ایستگاه ۶۸ شهید باقری، ایستگاه ۶۹ شهید قانع (شهرک راه آهن)، ایستگاه ۷۴ کوهسار، ایستگاه ۷۶ شهید کاظمی (پمپ گاز چیتگر)، ایستگاه ۸۰ (شهرک دانشگاه شریف)، ایستگاه ۹۴ (سیمون بولیوار)، ایستگاه ۹۸ (شهرک اکباتان)، ایستگاه ۱۰۰ (دهکده المپیک)، ایستگاه ۱۰۲ شهید عبا سی (بلوار ابادر)، ایستگاه ۱۰۹ پمپ بنزین ورد آورد، ایستگاه ۱۱۱ خیابان لقمان، ایستگاه ۱۱۴ دریاچه می‌باشد.

به لحاظ موقعیت جغرافیایی یکی از وسیع‌ترین مناطق ۸ گانه عملیاتی سازمان، بنحوی که از شمال تا بزرگراه جدید التاسیس تهران-شمال، از شرق بزرگراه آیت الله اشرافی اصفهانی، از جنوب تا بزرگراه فتح و از غرب تا بزرگراه شهید فهمیده حدفاصل شهرک وردآورد را در بر می‌گیرد که این گستره کل منطقه ۵ و قسمتی از منطقه ۲۱ و ۲۲ شهرداری تهران را پوشش می‌دهد. وسعت منطقه تحت پوشش ایستگاه‌های ۱۹ گانه منطقه ۱ عملیات به بیش از ۱۶۴,۶۵۰ کیلومتر مربع و جمعیتی بالغ بر ۱,۰۵۰,۶۵۰ میلیون نفر در این محدوده می‌شود؛ فلذا ایمن‌سازی و افزایش آگاهی شهروندان در شناخت مخاطرات و ترغیب شهروندان به این مهم از وظایف دشوار آتش‌نشانان این حوزه می‌باشد. بزرگراه آزادگان، شهید لشگری، فتح، شهید فهمیده، شهید همت (خرازی)، شهید حکیم (همدانی، تونل شهدای غزه)، شهید باکری، شهید آیت الله اشرافی اصفهانی، شهید ستاری، محمدعلی جناح، شهید آبه‌شناسان محدوده ترافیکی و پر خطر مستعد تصادفات جاده‌ای منطقه ۱ بشمار می‌رود. شایان ذکر است که منطقه عملیاتی مذکور خود به تنهایی مشتمل بر ۱۰ ایستگاه مترو ریلی، تونلی شمال: صادقیه، ترمینال غرب، شهرک اکباتان، آزادی، ارم سبز، بیمه، مجموعه ورزشی آزادی، ایران خودرو، چیتگر، وردآورد می‌باشد.

۳-۲-۱- معرفی ایستگاه آتش‌نشانی شماره ۵۵

تهران دارای ۸ منطقه عملیاتی آتش‌نشانی می‌باشد. منطقه یک عملیاتی از ۱۹ ایستگاه آتش‌نشانی تشکیل شده است. ایستگاه ۲۷ دفتر مرکزی منطقه یک عملیاتی می‌باشد و ایستگاه مرکزی منطقه ۱ عملیات ایستگاه ۵۵ می‌باشد که در موقعیت اشرافی اصفهانی ۳۵ متری گلستان میدان عدل ایستگاه شماره ۵۵ قرار دارد. این ایستگاه متشکل از ۳ شیفت عملیاتی می‌باشد. تعمیرات (تعمیرات وسایل ادوات و تجهیزات عملیاتی منطقه ۱)، منطقه تامین آب منطقه ۱ در این ایستگاه می‌باشد که پرسنل تامین آب به صورت اداری خدمت رسانی می‌کنند ولی پرسنل تعمیرات بصورت شیفتی هستند که شامل ۳ شیفت کاری می‌باشد. ایستگاه شماره ۵۵ در حدود ۵۵۰۰ متر مربع مساحت دارد که ۵۰۰ متر آن تشکیل زیربنایی می‌باشد. هر شیفت این ایستگاه متشکل از ۲۰ نفر می‌باشد که در هر شیفت ۱ فرمانده، ۲ نفر معاون فرمانده و ۱۰ نفر کاردان و ۲ نفر آتش‌نشان می‌باشد. ایستگاه شماره ۵۵ متشکل از ۳ خودرو بنزینی می‌باشد که شامل ماشین پیشرو، ماشین پسرو و تویوتا می‌باشد. فرمانده هر شیفت در خودرو پیشرو سوار می‌شود و راننده و ۲ آتش‌نشان داخل ماشین پیشرو می‌باشند و ۱ نفر معاون و راننده و آتش‌نشان داخل ماشین پسرو می‌باشند و

خودرو تویوتا متشکل از ۱ نفر راننده و ۱ نفر آتش نشان می‌باشد. که در زمان اعلام حادثه این ۳ خودرو اعزام می‌شوند. ستاد هماهنگی (۱۲۵) با توجه به نوع حادثه خودروی اعزامی را اعلام می‌کند. ایستگاه شماره ۵۵ دارای خودرو پشتیبان می‌باشد که شامل تشک نجات، خودرو نردبان ۳۲ متری، تجهیزات تنفسی، پودر و کف، خودرو تهویه (فن)، خودرو نورافشان، موتور سیکلت ۷۵۰ و ۲۵۰ سی سی و شامل یک سری خودرو پشتیبانی که در مواقع بحرانی کاربرد دارند مانند لودر، بیل مکانیکی، بیل زنجیری، مینی لودر، بیل بهکو، خودرو FH به همراه کشنده، جرثقیل ۳ تنی و ۸ تنی، خودرو تانکر ۱۲۰۰۰ لیتری می‌باشد. نیروهای ایستگاه شماره ۵۵ با توجه به صلاحیت فرمانده و معاونین هر روز در قسمت‌های مختلف بکار گرفته می‌شوند. ایستگاه شماره ۵۵ شامل یکسری از تجهیزات می‌باشد که در شرایط خاص استفاده می‌شوند مانند انواع کف کش‌ها در اندازه‌های متفاوت و دستگاه جمع‌آوری گاز کلر در بخش تعمیرات پرسنل متخصص تعمیرات لوازم آتش‌نشانی مشغول بکار هستند که از شارژ کردن کپسول‌های اطفاء حریق و تعمیرات داخل خودروها که دچار نقص می‌شوند را رفع نقص می‌کنند که متشکل از ۱ فرمانده ۳ نفر آتش نشان می‌باشد. در قسمت تامین آب نیز متشکل از ۱ فرمانده و ۲ آتش نشان می‌باشد که وظیفه تعمیرات شیرهای ایستاده آتش‌نشانی که در سطح شهر می‌باشند را انجام می‌دهند و در هنگام حادثه‌های بزرگ فرمانده تامین آب موظف است در محل حریق حضور پیدا کند تا در صورت نیاز به آب برای حریق آن را تامین کند. در زیر برخی از تصاویر تجهیزات موجود در ایستگاه شماره ۵۵ آتش نشانی آورده شده است.

	
<p>شکل (۲-۳) خودرو پیشرو</p>	<p>شکل (۱-۳) خودرو فرماندهی</p>
	
<p>شکل (۴-۳) خودرو ضد عفونی کننده</p>	<p>شکل (۳-۳) خودرو مأموریت نجات</p>



شکل (۶-۳) لودر



شکل (۵-۳) خودرو نردبان



شکل (۸-۳) خودرو بالابر سنگین



شکل (۷-۳) بیل زنجیری پشتیبانی



شکل (۹-۳) مانور آتش نشانی در ایستگاه شماره ۵۵ منطقه ۱ آتش نشانی تهران

۳-۳- روش تحقیق

۳-۳-۱- متدولوژی انجام پژوهش

متدولوژی انجام پژوهش با موضوع "اولویت لایه‌های حفاظتی پیشگیری و مقابله با حریق در ساختمان‌های بلند به روش AHP (مطالعه موردی: منطقه ۱ آتش‌نشانی تهران)" به قرار مراحل ذیل می‌باشد:

مرحله اول تحقیق: مطالعات کتابخانه‌ای

- مرور حوادث آتش‌سوزی در ساختمان‌های بلند مرتبه در ایران و جهان و بررسی علل بروز رویداد حریق در این ساختمان‌ها
- تهیه لیستی از ساختمان‌های بلند مرتبه در منطقه یک آتش‌نشانی تهران و بررسی تاریخچه حوادث آتش‌سوزی در این ساختمان‌ها

مرحله دوم تحقیق: هدف گذاری

- هدف گذاری: تعیین اولویت لایه‌های حفاظتی پیشگیری کننده از حریق و لایه‌های حفاظتی کاهنده شدت پیامد ناشی از بروز رویداد

مرحله سوم تحقیق: تشکیل تیم مطالعاتی

- تشکیل تیم مطالعاتی شامل بر ۵ کارشناس از تیم ایستگاه آتش‌نشانی شماره ۵۵ منطقه ۱ آتش‌نشانی تهران بزرگ (در این مطالعه وزن نظر کارشناسان یکسان در نظر گرفته شده است)

مرحله چهارم تحقیق: شناسایی لایه‌های حفاظتی

شناسایی لایه‌های حفاظتی پیشگیری کننده و لایه‌های حفاظتی کاهنده شدت پیامد ناشی از بروز رویداد حریق در ساختمان‌های بلند مرتبه و تهیه لیست کاملی از این لایه‌های حفاظتی که ضرورت بکارگیری آنها در مقررات ملی و بین‌المللی، حفاظت ساختمان‌ها در مقابل حریق لحاظ گردیده است. پس از تعیین تیم مطالعاتی، در مرحله بعد برنامه‌ریزی به منظور برگزاری جلسات منظم و تعیین لایه‌های حفاظتی و معیارهای اولویت‌بندی لایه‌های حفاظتی، انجام شد. در این مطالعه لایه‌های حفاظتی پیشگیری کننده از حریق (Preventive Measurements) و لایه‌های حفاظتی کاهنده شدت پیامد ناشی از بروز رویداد (Mitigative Measurements)، برای اولویت‌بندی انتخاب شد:

- سیستم‌های شناساگر (شناساگر گاز قابل اشتعال، شناساگر دود، شناساگر حرارت، شناساگر آتش)
- سیستم‌های اعلان حریق (پیجرها و هشدار دهنده‌های بروز حادثه)
- سیستم‌های اطفاء حریق خودکار (سیستم‌های اینسپرینکلر آب و دی اکسید کربن و FM200)
- سیستم‌های مکانیزه اطفاء حریق مبتنی بر دخالت انسان (فایر باکس و Hose Reel)
- تجهیزات اطفاء حریق دستی (کپسول‌های اطفاء حریق آب، CO₂، فوم و پور و گاز)
- سیستم‌های فرار و خروج اضطراری (راه پله فرار، سرسره فرار)
- سیستم‌های محافظت از سازه ساختمان (عایق حرارتی سازه ساختمان و درب‌های ضد حریق)
- سیستم‌های مکانیزه کاهش دود (جت فن‌ها)

مرحله پنجم تحقیق: شناسایی معیارها

در این مطالعه به منظور، اولویت‌بندی لایه‌های حفاظتی پیشگیری کننده از حریق (Preventive Measurements) و همچنین لایه‌های حفاظتی کاهنده شدت پیامد ناشی از بروز رویداد (Mitigative Measurements)، معیارهایی مشخص گردید. این معیارها عبارتند از:

- هزینه اجرای لایه حفاظتی
- کارایی و قابلیت اطمینان لایه حفاظتی
- هزینه تعمیر و نگهداری
- راحتی در تعمیر و نگهداری
- سهولت اجرای لایه حفاظتی
- مدت زمان اجرای لایه حفاظتی

مرحله ششم تحقیق: اولویت بندی معیارها با تکنیک Fuzzy AHP

- تهیه فرم نظرخواهی بر اساس تکنیک (AHP) بر اساس معیارهای انتخابی
- جمع‌آوری فرم‌های تکمیل شده و انتقال داده‌ها به فایل تنظیم شده در نرم‌افزار Microsoft Excel 2019
- اولویت‌بندی گزینه‌های انتخابی با استفاده از تکنیک فرآیند تجزیه و تحلیل سلسله مراتبی فازی (FAHP)
- توزیع فرم نظرخواهی بین کارشناسان جهت درج نظرات خود در خصوص اولویت گزینه‌ها

مرحله هفتم تحقیق: اولویت‌بندی گزینه‌ها با استفاده از تکنیک ترجیح براساس مشابهت به راه حل ایده‌آل فازی (Fuzzy TOPSIS)^۱

مرحله هشتم تحقیق:

- جمع‌بندی و نتیجه‌گیری
- ارائه پیشنهادات پژوهشی و اجرایی تحقیق

در نمودار (۱-۱) متدولوژی انجام پژوهش نشان داده شده است.

^۱ Fuzzy Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution (FTOPSIS)



۳-۳-۲- تکنیک‌ها و روش‌های مورد استفاده

در این مطالعه از تکنیک تجزیه و تحلیل سلسله مراتبی (AHP) و تکنیک اولویت‌بندی بر اساس شباهت به راه‌حل ایده‌آل (TOPSIS) استفاده شده است. در زیر به توضیح مختصر تکنیک‌ها پرداخته شده است:

۳-۳-۱- تجزیه و تحلیل سلسله مراتبی^۱

تکنیک تجزیه و تحلیل سلسله مراتبی (AHP) توسط فردی به نام تماس ال ساعتی^۲ در دهه ۱۹۷۰ میلادی ارائه گردید. تکنیک فرآیند تجزیه و تحلیل سلسله مراتبی (AHP) برای تصمیم‌گیری با معیارهای چندگانه^۳ به کار می‌رود زیرا با استفاده از این مدل می‌توان چندین معیار را به صورت سلسله مراتبی با هم مقایسه نمود. این معیارها می‌توانند کمی و یا کیفی باشند. این روش بر اساس مقایسات زوجی انجام می‌شود. این روش، مانند آنچه در مغز انسان انجام می‌شود، به تجزیه و تحلیل مسائل می‌پردازد. تکنیک تجزیه و تحلیل سلسله مراتبی (AHP) تصمیم‌گیرندگان را قادر می‌سازد اثرات متقابل و همزمان بسیاری از وضعیت‌های پیچیده و نامعین را تعیین کنند. این فرآیند، تصمیم‌گیرندگان را یاری می‌کند که احساسات و قضاوت‌های خود را بطور کامل در نظر گیرند. به عنوان مثال، اگر شخصی تصمیم بگیرد تا چندین مکان با ویژگی‌های کاملاً متفاوت را برای احداث سالن ورزشی با یکدیگر مقایسه کند، در ابتدا بایستی تمام معیارهایی که برای انتخاب یک سالن ورزشی مناسب وجود دارد را در نظر گرفته و سپس با استفاده از تکنیک تجزیه و تحلیل سلسله مراتبی (AHP) این معیارها و اولویت بندی کرده و با توجه به نظرات خبرگان تصمیم‌گیری چندمعیاره را انجام دهد. برای حل مسائل تصمیم‌گیری از طریق تکنیک تجزیه و تحلیل سلسله مراتبی (AHP)، باید مساله را به دقت و با همه جزئیات، تعریف و تبیین کرد و جزئیات آن را به صورت ساختار سلسله مراتبی ترسیم نمود. تکنیک تجزیه و تحلیل سلسله مراتبی (AHP) بر اساس سه اصل زیر استوار شده است:

الف) اصل ترسیم درخت سلسله مراتبی

ب) اصل تدوین و تعیین اولویت‌ها

ج) اصل سازگاری منطقی قضاوت‌ها

اکنون هر یک از سه اصل بالا بصورت زیر تشریح می‌گردد (مومنی، ۱۳۹۲).

الف) اصل ترسیم درخت سلسله مراتبی

بر اساس این اصل، درک یک مساله در حالت کلی و پیچیده، برای انسان کاری دشوار است و ممکن است ابعاد مختلف و مهم مساله مورد نظر، مورد توجه قرار نگیرد. از این رو، تجزیه یک مساله کلی، به چندین مساله جزئی‌تر، در درک مساله بسیار کارساز می‌باشد. در واقع، تجزیه یک مساله بزرگتر به مسائل کوچکتر، بیانگر روابط موجود بین عناصر کوچکتر است به گونه‌ای که با انجام این عمل، روابط و مفاهیم مساله مورد تصمیم‌گیری و همچنین ارتباط هر عنصر با عناصر دیگر، به دقت درک می‌شود. با این کار درخت سلسله مراتبی تصمیم، بوجود می‌آید و در درک مساله، کمک قابل توجهی می‌کند. نمونه زیر، یک موقعیت تصمیم‌گیری را به صورت درخت سلسله مراتبی تصمیم‌گیری، نمایان می‌سازد. برای

¹ Analytical Hierarchy Process (AHP)

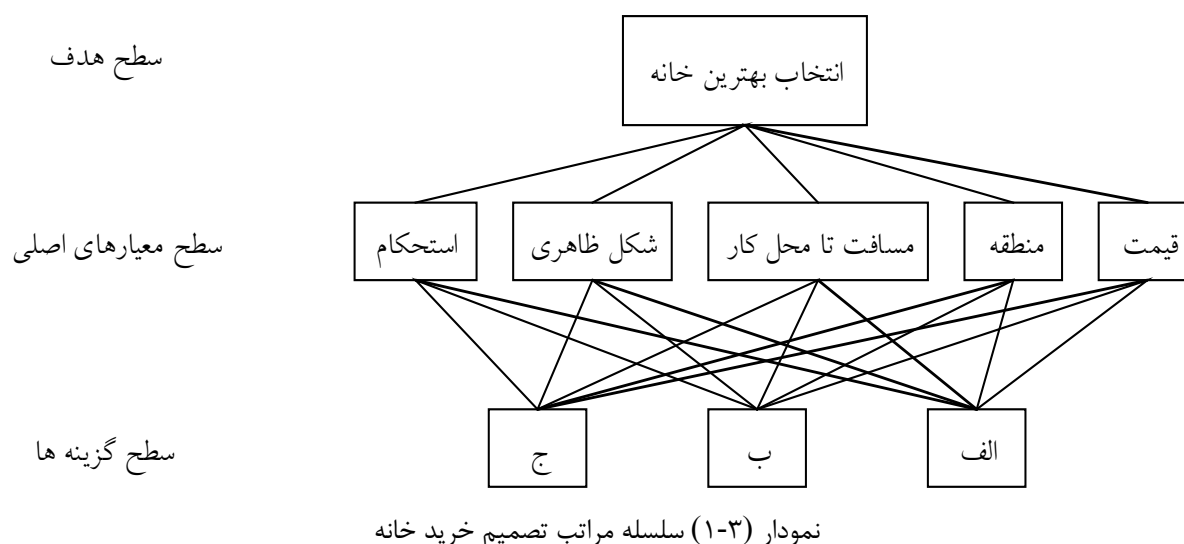
² Thomas L. Saaty

³ Multi Criteria

درک کامل فرآیند تحلیل سلسله مراتبی، می‌توان مساله زیر را مورد توجه قرار داد (مومنی، ۱۳۹۲). فرض کنید می‌خواهید خانه‌ای خریداری کنید و برای این منظور، ۵ معیار قیمت، منطقه، مسافت تا محل کار، شکل ظاهری و استحکام را در نظر می‌گیرید. پس از بررسی‌های صورت گرفته، سه خانه را که واجد شرایط اولیه هستن، در نظر گرفته‌اید این سه خانه را با الف، ب و ج نشان می‌دهیم.

- در سطح اول، هدف (در این مساله، انتخاب بهترین خانه) قرار می‌گیرد.
- در سطح دوم، معیارها ذکر می‌شوند. اگر معیارهای فرعی نیز وجود داشته باشند،
- در سطح سوم گزینه‌ها ذکر می‌شوند. (در این مساله، معیار فرعی وجود ندارد) در پایین ترین سطح، گزینه‌ها، قرار می‌گیرند.

برای این مساله، سلسله مراتب تصمیم‌گیری به صورت نمودار (۱-۳) سلسله مراتب تصمیم خرید خانه نشان داده شده است (مومنی، ۱۳۹۲).



ب) تعیین اولویت‌ها

از آنجا که نمی‌توان به طور کامل یک مساله را درک نمود، بنابراین در ابتدا آنها را به مسائل کوچکتر تجزیه و سپس با توجه به معیارهای مشخص، بین آنها مقایسات زوجی، انجام داده و برتری یک گزینه بر گزینه دیگر را مشخص می‌کند. سپس این نتایج، وارد مدل‌های مختلف شده تا درک بهتری از کل سیستم ارائه شود.

ج) سازگاری منطقی قضاوت‌ها

ذهن انسان می‌تواند به نحوی بین اجزاء، رابطه برقرار کند که بین آنها سازگاری و ثبات منطقی وجود داشته باشد. سازگاری در دو مفهوم بکار می‌رود.

- ایده‌ها و اشیاء مشابه، با توجه به ارتباطشان، در یک گروه قرار می‌گیرند. برای نمونه یک انگور و یک مهره، از نظر معیار گردی، در یک گروه قرار می‌گیرند، ولی اگر معیار مورد نظر، طعم باشد، بین این دو ارتباطی وجود ندارد.
- معیار دوم، میزان ارتباط بین ایده‌های مختلف، با توجه به معیار خاص آنهاست. برای مثال، اگر معیار مورد نظر ما شیرینی باشد و بخواهیم شیرینی عسل، شکر و شیره ملاس را با هم مقایسه کنیم و

شیرینی عسل، ۵ برابر شیرینی شکر باشد و شیرینی شکر ۲ برابر شیرینی شیر ملایم باشد، در این صورت عسل ده برابر از شیر ملایم شیرین‌تر است. در این مثال، اگر شیرینی عسل، ۴ برابر شیرینی شیر ملایم باشد قضاوت‌ها با هم سازگاری ندارند. این ارتباطات، تاثیر نسبی اجزای هر سطح را به اجزای سطوح بالاتر نشان می‌دهد (مومنی، ۱۳۹۲).

۳-۲-۳-۲- الگوریتم تجزیه و تحلیل سلسله مراتبی

در این مرحله با مدل تجزیه و تحلیل سلسله مراتبی (AHP)، مساله را تجزیه و تحلیل کرده و آن را به چند قسمت ساده‌تر تجزیه می‌کنیم. پس از آن که گزینه‌ها و شاخص‌ها مشخص شد، بین شاخص‌ها مقایسات زوجی انجام می‌دهیم. در مرحله بعد، برای هر شاخص بین گزینه‌ها، مقایسات زوجی انجام می‌دهیم. سپس از الگوریتم زیر پیروی می‌کنیم (مومنی، ۱۳۹۲).

الف) به‌هنگار^۱ کردن ماتریس مقایسات زوجی

ب) بدست آوردن میانگین حسابی هر سطر ماتریس به‌هنگار شده مقایسات زوجی (که به آن وزن‌های نسبی گفته می‌شود)

ج) ضرب وزن‌های نسبی شاخص‌ها در میانگین حسابی گزینه‌ها

د) رتبه‌بندی کردن گزینه‌ها

بعد از این مرحله، به سراغ سنجش نرخ ناسازگاری می‌رویم. به این منظور مراحل زیر را طی می‌کنیم:

گام اول: محاسبه بردار مجموع وزنی^۲ (WSV)

ماتریس مقایسه زوجی (D) را در بردار وزن‌های نسبی ضرب کنید. به بردار حاصل، بردار مجموع وزنی گفته می‌شود.

$$WSV = D \times W$$

رابطه (۱-۳) محاسبه بردار مجموع وزنی WSV

که در آن WSV بردار مجموع وزنی، D ماتریس مقایسه زوجی و W بردار وزن‌های نسبی می‌باشند.

گام دوم: محاسبه بردار سازگاری^۳ (CV)

عناصر بردار مجموع وزنی را بر بردار وزن‌های نسبی تقسیم کنید. به بردار حاصل، بردار سازگاری گفته می‌شود.

گام سوم: محاسبه بزرگترین مقدار ویژه^۴ ماتریس مقایسات زوجی (λ_{max})

برای محاسبه بزرگترین مقدار ویژه ماتریس مقایسات زوجی، میانگین عناصر بردار سازگاری محاسبه می‌شود.

گام چهارم: محاسبه شاخص ناسازگاری^۵ (II)

¹ Normalize

² Weighted Sum Vector (WSV)

³ Consistency Vector

⁴ Eigen Value

⁵ Inconsistency Index

شاخص ناسازگاری (II) به صورت زیر محاسبه می‌گردد.

$$II = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \quad \text{رابطه (۲-۳) محاسبه شاخص ناسازگاری}$$

که در آن II شاخص ناسازگاری، لاندا ماگزیمم مقدار ویژه ماتریس مقایسات زوجی و n ابعاد ماتریس می‌باشد.

گام پنجم: محاسبه نرخ ناسازگاری^۱ (IR)

به این منظور، به ترتیب زیر عمل می‌شود.

$$IR = \frac{II}{IRI} \quad \text{رابطه (۳-۳) محاسبه نرخ ناسازگاری}$$

که در آن IR نرخ ناسازگاری و II شاخص ناسازگاری می‌باشد. در اینجا IRI شاخص ناسازگاری تصادفی بوده و مقداری است که از جدول مربوطه استخراج می‌شود. جدول ناسازگاری تصادفی، بر اساس شبیه‌سازی به دست آمده است و به صورت جدول (۱-۳) شاخص ناسازگاری تصادفی است.

جدول (۱-۳) شاخص ناسازگاری تصادفی

n	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰
IRI	۰	۰	۰/۵۸	۰/۹۰	۱/۱۲	۱/۲۴	۱/۳۲	۱/۴۱	۱/۴۵	۱/۵۱

در صورتی که نرخ ناسازگاری، کوچکتر یا مساوی ۰/۱۰ باشد ($IR \leq 0.10$)، در مقایسات زوجی، سازگاری وجود دارد و می‌توان کار را ادامه داد. در غیر اینصورت، تصمیم‌گیرنده باید در مقایسات زوجی تجدید نظر کند. لازم به ذکر است که برای پر کردن ماتریس مقایسات زوجی، از مقیاس ۱ تا ۹ استفاده می‌شود تا اهمیت نسبی هر عنصر نسبت به عناصر دیگر، در رابطه با آن خصوصیت، مشخص شود. باید توجه داشت که در ماتریس‌های زوجی، سطر i با ستون j مقایسه می‌شود. بنابراین تمامی عناصر قطر اصلی این ماتریس عدد یک می‌باشد. همچنین هر مقدار زیر قطر اصلی ماتریس، معکوس مقدار بالای قطر ماتریس است. در جدول (۲-۳) مقایس فرآیند تکنیک تجزیه و تحلیل سلسله مراتبی نشان می‌دهد.

جدول (۲-۳) مقایس فرآیند تکنیک تجزیه و تحلیل سلسله مراتبی

درجه اهمیت	تعریف	شرح
۱	اهمیت یکسان	دو عنصر، اهمیت یکسانی داشته باشند.
۳	نسبتاً مرجح	یک عنصر نسبت به عنصر دیگر، نسبتاً ترجیح داده می‌شود.
۵	ترجیح زیاد	یک عنصر نسبت به عنصر دیگر، زیاد ترجیح داده می‌شود.
۷	ترجیح بسیار زیاد	یک عنصر به عنصر دیگر، بسیار زیاد ترجیح داده می‌شود.
۹	ترجیح فوق العاده زیاد	یک عنصر به عنصر دیگر، ترجیح فوق العاده زیادی دارد.
۲، ۴، ۶، ۸	ارزش‌های بینابین در قضاوتها	

^۱ Inconsistency Ration

هنگامیکه عنصر i با j مقایسه می‌شود، یکی از اعداد بالا به آن اختصاص می‌یابد. در مقایسه عنصر j با i ، مقدار معکوس آن عدد اختصاص می‌یابد.

$$X_{ji} = \frac{1}{X_{ij}} \quad \text{رابطه (۳-۴) رابطه معکوس مقدار زیر قطر اصلی ماتریس با مقدار بالای قطر ماتریس}$$

متغیرهای مورد بررسی در قالب یک مدل مفهومی و شرح چگونگی بررسی و اندازه‌گیری متغیرها: این مطالعه از نوع توصیفی می‌باشد که متغیرهای مورد بررسی در آن معیارها و گزینه‌های تصمیم‌گیری در خصوص انتخاب بهترین لایه ایمنی در ساختمان‌های تجاری می‌باشد. به هر یک از این معیارها و گزینه‌ها بر اساس نظر کارشناس یک مقدار عددی تعلق می‌گیرد که مقدار آن‌ها و معادل توصیفی مربوطه در جدول (۳-۳) مقیاس ۹ درجه‌ای ساعتی در روش تجزیه و تحلیل سلسله مراتبی (AHP) (Saaty, 2008) آورده شده است.

جدول (۳-۳) مقیاس ۹ درجه‌ای ساعتی در روش تجزیه و تحلیل سلسله مراتبی (AHP) (Saaty, 2008)

مقیاس AHP	متغیرهای زبانی	
۱	Equally	اهمیت یکسان
۲	Equally to Moderately	بینابین
۳	Moderately	اهمیت متوسط
۴	Moderately to Strongly	بینابین
۵	Strongly	اهمیت قوی
۶	Strongly to Very Strongly	بینابین
۷	Very Strongly	اهمیت خیلی قوی
۸	Very Strongly to Extremely	بینابین
۹	Extremely	اهمیت مطلق

تجزیه و تحلیل سلسله مراتبی فازی^۱

مدل AHP قطعی در بخش قبلی معرفی شد. اکنون می‌خواهیم AHP را که مبتنی بر اعداد فازی است، مطرح کنیم. در سال ۱۹۸۳ دو محقق هلندی به نام‌های لارهن و پدریک^۲، روشی را برای فرآیند تحلیل سلسله مراتبی فازی پیشنهاد کردند که براساس روش حداقل مجذورات لگاریتمی بنا نهاده شده بود. میزان محاسبات و پیچیدگی مراحل روش آنها باعث شد مورد اقبال قرار نگیرد. در سال ۱۹۹۶ روش دیگری تحت عنوان روش تحلیل توسعه‌ای EA^۳ توسط یک محقق چینی بنام چانگ^۴ ارائه گردید. اعداد مورد استفاده در این روش، اعداد مثلثی فازی هستند. مفاهیم و تعاریف AHP فازی بر اساس EA تشریح می‌شود. دو عدد مثلثی $M_1=(l_1, m_1, u_1)$ و $M_2=(l_2, m_2, u_2)$ که رسم شده‌اند را در نظر بگیرید.

^۱ Fuzzy Analytical Hierarchy Process (FAHP)

^۲ Laarhoven & Padrycz

^۳ Extent Analysis Method

^۴ Chang

عملگرهای ریاضی آنها بصورت زیر تعریف می‌شود. (مومنی، ۱۳۹۲)

$$M_1 + M_2 = (l_1 + l_2, m_1 + m_2, u_1 + u_2)$$

$$M_1 \times M_2 = (l_1 \times l_2, m_1 \times m_2, u_1 \times u_2)$$

$$M_1^{-1} = \left[\frac{1}{U_1}, \frac{1}{m_1}, \frac{1}{l_1} \right] \quad M_2^{-1} = \left[\frac{1}{u_2}, \frac{1}{m_2}, \frac{1}{l_2} \right]$$

باید توجه داشت که حاصل ضرب دو عدد فازی مثلثی، یا معکوس یک عدد فازی مثلثی، دیگر یک عدد فازی مثلثی نیست. این روابط، فقط تقریبی از حاصل ضرب واقعی دو عدد فازی مثلثی و معکوس یک عدد فازی مثلثی را بیان می‌کنند. (مومنی، ۱۳۹۲)

در روش EA، برای هر یک از سطرهای ماتریس مقایسات زوجی، مقدار S_k ، که خود یک عدد مثلثی است، بصورت زیر محاسبه می‌شود:

$$S_k = \sum_{j=1}^n M_{kl} \times \left[\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n M_{ij} \right]^{-1}$$

که در آن k بیانگر شماره سطر i و j به ترتیب نشان دهنده گزینه‌ها و شاخص‌ها هستند. در روش EA، پس از محاسبه S_k ها، باید درجه بزرگی آنها را نسبت به هم بدست آورد. بطور کلی M_1 و M_2 دو عدد مثلثی فازی باشند، درجه بزرگی M_1 بر M_2 که با $V(M_1 \geq M_2)$ نشان دهیم، بصورت زیر تعریف می‌شود:

$$\left\{ \begin{array}{l} V(M_1 \geq M_2) = 1 \quad \text{اگر } m_1 \geq m_2 \\ V(M_1 \geq M_2) = hgt(m_1 \cap m_2) \end{array} \right\}$$

همچنین داریم:

$$hgt(M_1 \cap M_2) = \frac{u_1 - l_2}{(u_1 - l_2) + (m_2 - m_1)}$$

میزان بزرگی یک عدد فازی مثلثی از k عدد فازی مثلثی دیگر نیز از رابطه زیر بدست می‌آید.

$$V(M_1 \geq M_2, \dots, M_k) = \min[V(M_1 \geq M_2), \dots, V(M_1 \geq M_k)]$$

در روش برای محاسبه وزن شاخص‌ها در ماتریس مقایسه زوجی به صورت زیر عمل می‌کنیم:

$$W(x_i) = \min\{V(S_i \geq S_k)\}, \quad k = 1, 2, \dots, n, \quad k \neq i$$

بنابراین، بردار وزن شاخص‌ها بصورت زیر خواهد بود:

$$W = [W(c_1), W(c_2), \dots, W(c_n)]^T$$

که همان بردار ضرایب غیر بهنجار AHP فازی است (مومنی، ۱۳۹۲).

۳-۲-۳-۳-۳ تکنیک TOPSIS^۱

این روش در سال ۱۹۸۱ توسط هوانگ و یون ارائه گردید. در این روش m گزینه بوسیله n شاخص مورد ارزیابی قرار می‌گیرند و هر مساله را می‌توان به عنوان یک سیستم هندسی شامل m نقطه در یک فضای n بعدی در نظر گرفت. این تکنیک بر این مفهوم بنا شده است که گزینه انتخابی باید کمترین فاصله را با راه‌حل ایده‌آل مثبت بهترین حالت ممکن، A_i^+ و بیشترین فاصله را با راه‌حل ایده‌آل منفی (بدترین حالت ممکن)، A_i^- داشته باشد. فرض بر این است که مطلوبیت هر شاخص بطور یکنواخت افزایشی و یا کاهششی است (آذر و رجب زاده، ۱۳۸۹).

گام اول تکنیک TOPSIS

ماتریس تصمیم (D) به صورت زیر نرمال (بی مقیاس) می‌شود:

رابطه (۵-۳) ماتریس تصمیم (D) به صورت زیر نرمال (بی مقیاس)

$$r_{ij} = \frac{r_{ij}}{\sqrt{\sum_{j=1}^j r_{ij}^2}} \quad j=1, 2, 3 \dots n \quad i=1, 2, 3 \dots m$$

ماتریس بدست آمده N_D نامیده می‌شود.

گام دوم تکنیک TOPSIS

وزن‌های نرمال شده ماتریس تصمیم، به صورت زیر حاصل می‌شود:

$$V = N_D \times W_{n \times n} \quad \text{رابطه (۶-۳) وزن‌های نرمال شده ماتریس تصمیم}$$

$$j=1, 2, 3 \dots n \quad i=1, 2, 3 \dots m$$

که در آن V ماتریس بی‌مقیاس موزون و W یک ماتریس قطری از وزن‌های بدست آمده برای شاخص‌ها می‌باشد.

گام سوم تکنیک TOPSIS

راه حل ایده‌آل مثبت (A_i^+) و راه حل ایده‌آل منفی (A_i^-) به صورت زیر تعریف می‌شوند:

$$A^+ = \{(MAX_i V_{ij} | j \in J_1), (MIN_i V_{ij} | j \in J_2) | i=1, 2, 3, \dots, m\}$$

رابطه (۷-۳) گزینه ایده‌آل مثبت

$$A^- = \{(MIN_i V_{ij} | j \in J_1), (MAX_i V_{ij} | j \in J_2) | i=1, 2, 3, \dots, m\}$$

رابطه (۸-۳) گزینه ایده‌آل منفی

$$A_i^+ = \{v_1^+, v_2^+, \dots, v_n^+\}$$

$$A_i^- = \{v_1^-, v_2^-, \dots, v_n^-\}$$

بطوریکه

$$= J_1 \{1, 2, 3, \dots, n | \text{اذا عناصر مثبت شاخص ها}\}$$

$$= J_2 \{1, 2, 3, \dots, n | \text{اذا عناصر منفی شاخص ها}\}$$

¹ Technique for Order Performance by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS)

گام چهارم تکنیک TOPSIS

اندازه فاصله بر اساس نرم اقلیدسی به ازاء راه حل ایده‌ال منفی و گزینه مثبت و همین اندازه را به ازاء راه حل ایده‌ال مثبت و گزینه منفی بصورت زیر بدست می‌آوریم:

رابطه (۹-۳) اندازه فاصله بر اساس نرم اقلیدسی به ازاء راه حل ایده‌ال منفی

$$d_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^+)^2} \quad i=1, 2, 3 \dots m$$

رابطه (۱۰-۳) اندازه فاصله بر اساس نرم اقلیدسی به ازاء راه حل ایده‌ال مثبت

$$d_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^-)^2} \quad i=1, 2, 3 \dots m$$

گام پنجم تکنیک TOPSIS

نزدیکی نسبی A_i به راه حل ایده‌ال بصورت زیر محاسبه می‌شود:

رابطه (۱۱-۳) نزدیکی نسبی A_i به راه حل ایده‌ال

$$C_i = \frac{d_i^-}{d_i^+ + d_i^-} \quad i=1, 2, 3 \dots m$$

چنانچه $A_i = A_i^+$ باشد، آنگاه $d_i^+ = 0$ و $C_i = 1$ می‌شود و در صورتیکه $A_i = A_i^-$ باشد،

آنگاه $d_i^- = 0$ و $C_i = 0$ خواهد شد، بنابراین هر گزینه A_i به راه حل ایده‌ال نزدیک تر باشد، مقدار C_i آن به یک نزدیکتر خواهد بود.

گام ششم تکنیک TOPSIS

با توجه به مقایسه حاصل شده C_i برای هر گزینه، ترتیب رتبه‌ها به دست می‌آید.

در این مطالعه برای اولویت بندی لایه‌های حفاظتی در محیط TOPSIS از نرم افزار تاپسیس فازی سولور (BT Fuzzy TOPSIS Solver) استفاده گردید.

نرم افزار تاپسیس فازی سولور (BT Fuzzy TOPSIS Solver)

روش شباهت به گزینه ایده‌ال فازی یا همان تاپسیس فازی (Fuzzy TOPSIS) برای تعیین وزن معیارها و رتبه‌بندی گزینه‌ها از مقادیر دقیق و معین استفاده می‌شود. در بسیاری از مواقع تفکر انسان با عدم قطعیت همراه است و این عدم قطعیت در تصمیم‌گیری تاثیرگذار است. در این گونه موارد بهتر است از روش‌های تصمیم‌گیری فازی استفاده شود که روش تاپسیس فازی (مثلی) یکی از روش‌ها است. نرم‌افزار تاپسیس فازی سایت بهین تصمیم (BT Fuzzy TOPSIS Solver) یکی از بهترین نرم‌افزارها برای حل این روش است. این نرم افزار مراحل زیر را به صورت خودکار انجام میدهد:

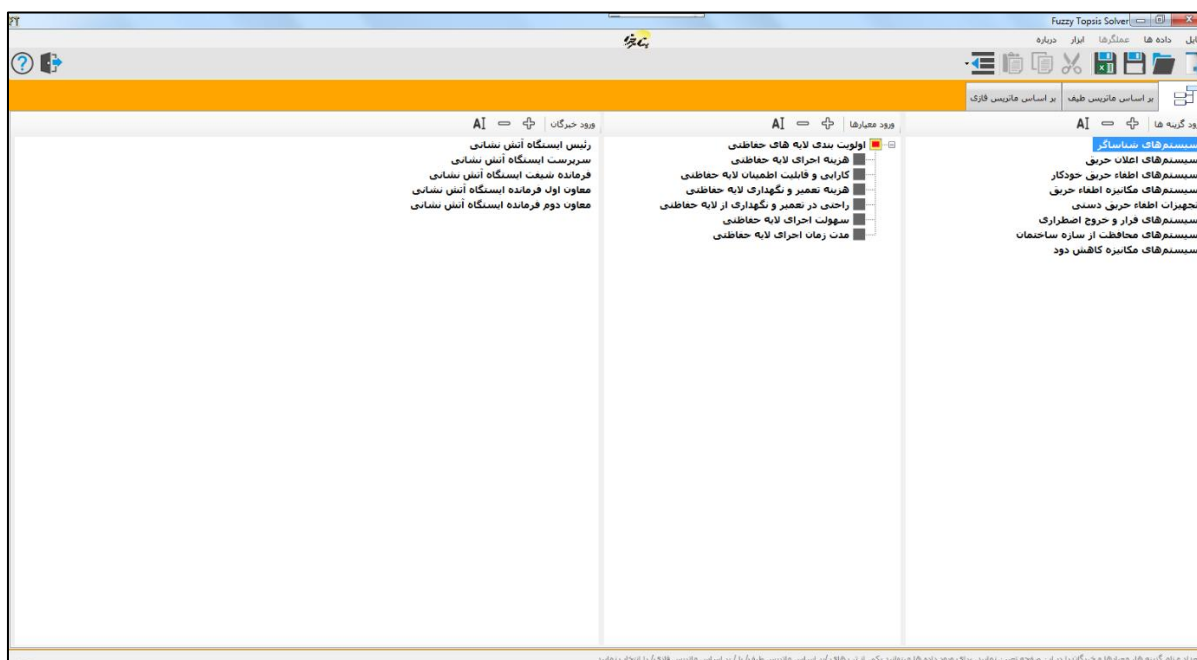
- بی مقیاس سازی ماتریس (نرمال سازی)
- تعیین ماتریس وزن دار
- یافتن راه حل ایده‌ال و غیر ایده‌ال فازی

- محاسبه فاصله از راه حل ایده‌آل و غیر ایده‌آل
- محاسبه شاخص شباهت
- رتبه‌بندی گزینه‌ها

نرم افزار تاپسیس فازی سولور (BT Fuzzy TOPSIS Solver) تمام مراحل بالا محاسبه می کند.

برخی از قابلیت‌ها و امکانات این نرم‌افزار به شرح زیر می‌باشد:

- توانایی حل ماتریس تصمیم بدون محدودیت در تعداد
 - بدون نیاز به نرم‌افزار متلب یا نرم‌افزار جانبی دیگر
 - امکان خروجی اکسل
 - امکان کپی داده‌ها از اکسل به نرم‌افزار و برعکس
 - نمایش تمام مراحل محاسبه به تفکیک
 - نمایش نمودار گرافیکی
 - تعریف خبرگان
 - امکان ورود داده‌ها به صورت ماتریس طیف یا ماتریس فازی
 - کاربری راحت نرم‌افزار و سرعت بسیار بالای محاسبات
 - قابلیت نصب روی انواع ویندوز از جمله XP, 7, 8, 10
- در تصویر زیر ورودی و خروجی نرم افزار نشان داده شده است.



شکل (۳-۱۰) مشخص نمودن هدف، گزینه‌ها، معیارها و کارشناسان در نرم افزار Fuzzy TOPSIS

فصل ۴- نتایج و تفسیر آنها

۱-۱- مقدمه

هر چند هدف از بکارگیری تکنیک فرآیند تجزیه و تحلیل سلسله مراتبی (AHP) به دست آوردن نظر کارشناسان و متخصصین است، با این وجود روش تجزیه و تحلیل سلسله مراتبی معمولی به درستی نحوه تفکر انسانی را منعکس نمی‌کند، زیرا در مقایسه‌های زوجی این روش از اعداد دقیق استفاده می‌شود. از دیگر مواردی که اغلب تکنیک فرآیند تجزیه و تحلیل سلسله مراتبی (AHP) به خاطر آن‌ها مورد نکوهش قرار می‌گیرد عبارتند از:

- وجود مقیاس نامتوازن در قضاوت‌ها^۱
 - عدم قطعیت و نادقیق بودن مقایسه‌های زوجی
- تصمیم‌گیرندگان اغلب به علت طبیعت فازی مقایسه‌های زوجی قادر نیستند به صراحت نظرشان را در مورد برتری‌ها اعلام کنند. به همین دلیل در قضاوت‌هایشان ارائه یک بازه را به جای یک عدد ثابت ترجیح می‌دهند. برای غلبه بر این مشکلات روش فرآیند تجزیه و تحلیل سلسله مراتبی فازی مورد استفاده قرار گرفته است.
- در روش تجزیه و تحلیل سلسله مراتبی فازی پس از تهیه نمودار سلسله مراتبی از تصمیم‌گیرندگان خواسته شد تا عناصر هر سطح را نسبت به هم مقایسه کنند و اهمیت نسبی عناصر را با استفاده از اعداد فازی بیان کنند.

^۱ Unbalanced Scale

۴-۲- انجام تکنیک فرآیند تجزیه و تحلیل سلسله مراتبی فازی (FAHP)

روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی فازی (FAHP) روشی برای تحلیل ماتریس مقایسه زوجی با استفاده از منطق فازی می‌باشد. در روش مرسوم فرآیند تحلیل سلسله مراتبی از شایستگی‌ها و توانایی‌های ذهنی افراد خبره برای انجام مقایسات استفاده می‌شود. اما باید به این نکته توجه داشت که مقایسه زوجی به روش سنتی، امکان انعکاس سبک تفکر انسانی را بطور کامل نداد. استفاده از اعداد فازی سازگاری بیشتری با عبارات کلامی و گاه مبهم انسانی دارد بنابراین بهتر است که با بکارگیری اعداد فازی به تصمیم‌گیری در دنیای واقعی پرداخت. دو پژوهشگر هلندی به نام فان لارهن و پدریک در سال ۱۹۸۳ برای نخستین بار روشی را برای فرآیند تحلیل سلسله مراتبی فازی پیشنهاد نمودند. این روش با جایگزینی اعداد فازی مثلی در ماتریس مقایسه‌های زوجی و بر مبنای حداقل مجزورات لگاریتمی بنا نهاده شده است. پیچیدگی مراحل این روش باعث شده این روش چندان مورد استفاده قرار نگیرد. پس از آن روش‌های متعددی برای فرآیند تحلیل سلسله مراتبی فازی پیشنهاد شد:

- روش آنالیز توسعه چانگ
 - روش میانگین هندسی باکلی (بهبود یافته AHP فازی)
 - برنامه‌ریزی ترجیحات فازی (FPP)
 - برنامه‌ریزی ترجیحات فازی لگاریتمی (LFPP)
- در این مطالعه از دو روش آنالیز توسعه چانگ و روش میانگین هندسی باکلی (بهبود یافته AHP فازی) استفاده شده است.

روش آنالیز توسعه چانگ

در سال ۱۹۹۲ روشی با عنوان روش تحلیل توسعه ای توسط چانگ ارائه گردید. بعدها در سال ۱۹۹۶ این روش توسط خود وی بهبود بخشیده شد. روش گسترش یافته چانگ بیش از همه روش‌های دیگر برای محاسبات تحلیل سلسله مراتبی فازی مورد استفاده قرار گرفته است. اعداد مورد استفاده در این روش اعداد مثلی فازی هستند. چانگ جهت تعمیم تکنیک AHP به فضای فازی از مفهوم درجه امکان‌پذیری استفاده کرده است. منظور از درجه امکان‌پذیری آن است که مشخص شود چقدر احتمال دارد یک عدد فازی بزرگتر از یک عدد فازی دیگر باشد.

روش میانگین هندسی باکلی (بهبود یافته AHP فازی) (Buckley, 1985)

نظر به نارسایی‌های نخستین روش AHP فازی، باکلی در سال ۱۹۸۵ روش جدیدی را برای فازی سازی تکنیک AHP گسترش داد. این روش به روش میانگین هندسی باکل موسوم است. باکلی دو ایراد اساسی به تکنیک لارهن و پدریک وارد کرده است. نخست اینکه آنها از معادلات خطی استفاده کرده بودند و این روش ممکن است همیشه پاسخ یکسانی نداشته باشد. دوم اینکه اعداد ذوقه ای برای فازی سازی دیدگاه خبرگان مناسب تر از اعداد مثلی است. باکلی به سال ۲۰۰۱ اشهر کرده است که اگر سازگاری مقایسه های زوجی کامل باشد، در این صورت نتیجه حاصل از روش وی با روش بردار ویژه ساعتی یکسان خواهد بود در غیر این صورت نتایج روش وی بیشتر با واقعیت سازگار خواهد بود. در روش آنالیز توسعه چانگ معایبی وجود داشت از جمله اینکه وزن معیارها ممکن بود صفر و یا حتی منفی شود که البته در ذات روش چانگ وجود

داشت و نشان از اشتباه بودن روش نیست. بنابراین ضعف‌های روش چانگ این روش (بهبود یافته AHP فازی) پیشنهاد می‌شود. در این مطالعه به منظور اولویت‌بندی لایه‌های حفاظتی در ابتدا با استفاده از تکنیک فرآیند تجزیه و تحلیل سلسله‌مراتبی فازی، مراحل زیر به روش چانگو روش میانگین هندسی باکلی (بهبود یافته AHP فازی) انجام شد:

۴-۲-۱- تشکیل تیم مطالعاتی به منظور انجام مقایسات زوجی

در این مطالعه به منظور انجام مقایسات زوجی از ۵ کارشناس استفاده شد. در جدول (۴-۱) مشخصات کارشناسان حاضر در مطالعه اولویت‌بندی لایه‌های حفاظتی نشان داده شده است.

جدول (۴-۱) مشخصات کارشناسان حاضر در مطالعه اولویت‌بندی لایه‌های حفاظتی

ردیف	سمت سازمانی	تحصیلات	سابقه کار	سن
۱	رئیس ایستگاه آتش‌نشانی	لیسانس آتش‌نشانی	۲۹	۵۵
۲	سرپرست ایستگاه آتش‌نشانی	لیسانس آتش‌نشانی	۲۳	۵۰
۳	فرمانده شیفت ایستگاه آتش‌نشانی	لیسانس آتش‌نشانی	۱۸	۴۳
۵	معاون ۱ فرمانده شیفت ایستگاه آتش‌نشانی	لیسانس آتش‌نشانی	۱۶	۴۰
۶	معاون ۲ فرمانده شیفت ایستگاه آتش‌نشانی	لیسانس آتش‌نشانی	۱۶	۴۰

پس از تعیین تیم مطالعاتی، در مرحله بعد برنامه‌ریزی به منظور برگزاری جلسات منظم و تعیین لایه‌های حفاظتی و معیارهای اولویت‌بندی لایه‌های حفاظتی، انجام شد. در این مطالعه به منظور، اولویت‌بندی لایه‌های حفاظتی پیشگیری کننده از حریق (Preventive Measurements) و همچنین لایه‌های حفاظتی کاهنده شدت پیامد ناشی از بروز رویداد (Mitigative Measurements)، معیارهایی مشخص گردید. این معیارها عبارتند از:

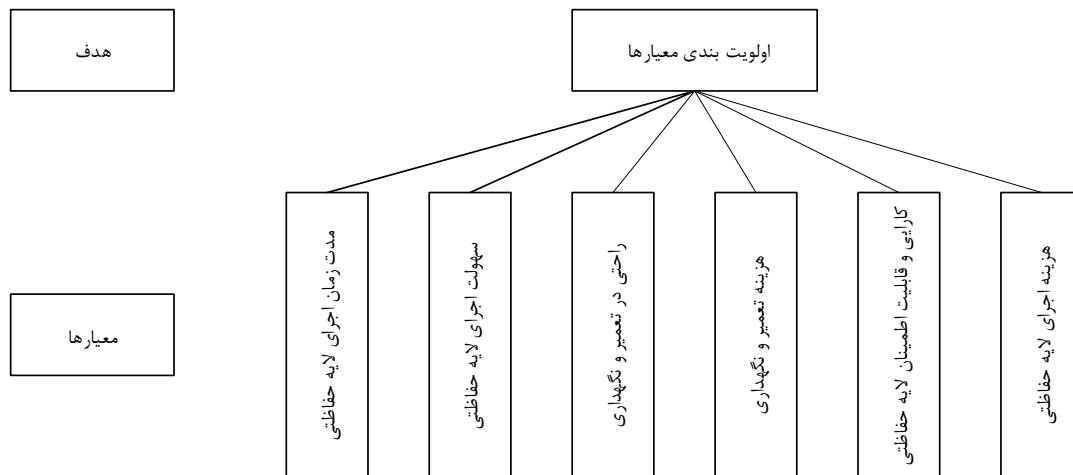
- هزینه اجرای لایه حفاظتی
- کارایی و قابلیت اطمینان لایه حفاظتی
- هزینه تعمیر و نگهداری
- راحتی در تعمیر و نگهداری
- سهولت اجرای لایه حفاظتی
- مدت زمان اجرای لایه حفاظتی

۴-۲-۲- ترسیم نمودار سلسله‌مراتبی

در این مطالعه به منظور اولویت‌بندی معیارها برای لایه‌های حفاظتی پیشگیری کننده^۱ و لایه‌های حفاظتی کاهنده^۲ یک نمودار شامل بر یک هدف (اولویت‌بندی معیارها) و ۶ معیار انتخاب شد. پس از تعیین معیارهای بال نمودار مقایسات زوجی ترسیم گردید. در نمودار (۴-۱) تشکیل نمودار درختواره سلسله‌مراتبی جهت اولویت‌بندی معیارها نشان داده شده است.

^۱ Preventive Measurements

^۲ Mitigative Measurements



نمودار (۱-۴) تشکیل نمودار درختواره سلسله مراتبی جهت اولویت بندی معیارها

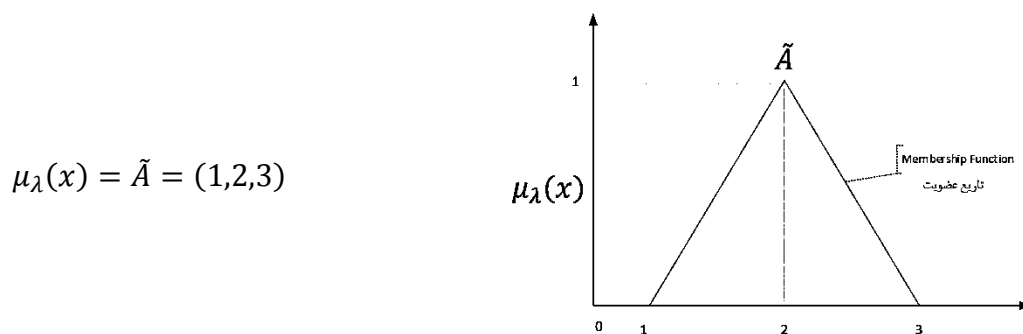
۳-۲-۴- تعریف اعداد فازی به منظور انجام مقایسه های زوجی

متغیرهای زبانی مورد استفاده در این تحقیق را نشان می‌دهد.

جدول (۲-۴) طیف فازی معادل مقیاس نه تایی ساعتی در تکنیک AHP

مقیاس فازی AHP		مقیاس AHP	عبارت کلامی (واژه های زبانی) وضعیت مقایسه i نسبت به j
معادل فازی معکوس	معادل فازی (مثلی)		
(1, 1, 1)	(1, 1, 1)	1	اهمیت یکسان (Equally)
(0.333, 0.5, 1)	(1, 2, 3)	2	بینابین (Equally to Moderately)
(0.25, 0.333, 0.5)	(2, 3, 4)	3	اهمیت متوسط (Moderately)
(0.2, 0.25, 0.333)	(3, 4, 5)	4	بینابین (Moderately to Strongly)
(0.166, 0.2, 0.25)	(4, 5, 6)	5	اهمیت قوی (Strongly)
(0.142, 0.166, 0.2)	(5, 6, 7)	6	بینابین (Strongly to Very Strongly)
(0.125, 0.142, 0.166)	(6, 7, 8)	7	اهمیت خیلی قوی (Very Strongly)
(0.111, 0.125, 0.142)	(7, 8, 9)	8	بینابین (Very Strongly to Extremely)
(0.111, 0.111, 0.111)	(9, 9, 9)	9	اهمیت مطلق (Extremely)

در نمودار نمودار (۲-۴) تابع عضویت اعداد مثلث فازی نشان داده شده است.



نمودار (۲-۴) تابع عضویت اعداد مثلث فازی

۴-۲-۴- تشکیل ماتریس مقایسه زوجی (\tilde{A}) با بکارگیری اعداد معادل فازی

اگر بیش از یک کارشناس وجود دارد از میانگین هندسی فازی برای تجميع دیدگاه خبرگان استفاده می‌شود. در ادامه نتایج نظرات پنج کارشناس در قالب واژه‌های زبانی در خصوص معیارهای زیر نمایش داده شده است.

$$(\tilde{A}) = \begin{bmatrix} 1 & \tilde{a}_{12} & \dots & \tilde{a}_{1n} \\ \tilde{a}_{21} & 1 & \dots & \tilde{a}_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \tilde{a}_{n1} & \tilde{a}_{n2} & \dots & 1 \end{bmatrix}$$

که این ماتریس حاوی اعداد فازی زیر می‌باشد. که در آن در قطر ماتریس $i=j$ و در سایر سلول‌ها $i \neq j$ می‌باشد.

$$\tilde{a}_{ij} = [\tilde{1}, \tilde{2}, \dots, \tilde{9} \text{ or } \tilde{1}^{-1}, \tilde{2}^{-1} \dots \tilde{9}^{-1}]$$

برای تشکیل ماتریس مقایسه زوجی ۶ معیار تعیین گردید. این شش معیار عبارت است از:

- هزینه اجرای لایه حفاظتی
- کارایی و قابلیت اطمینان لایه حفاظتی
- هزینه تعمیر و نگهداری
- راحتی و سهولت در تعمیر و نگهداری
- سهولت اجرای لایه حفاظتی
- مدت زمان اجرای لایه حفاظتی

از ۵ کارشناس درخواست گردید تا مقایسات زوجی را انجام داده و نظرات خود را در درون ماتریس قرار دهند. در جدول (۳-۴) تشکیل ماتریس مقایسه زوجی با بکارگیری اعداد معادل فازی برای معیارها آورده شده است.

جدول (۳-۴) تشکیل ماتریس مقایسه زوجی با بکارگیری اعداد معادل فازی برای معیارها

A	j_1			j_2			j_3			j_4			j_5			j_6		
i_1	1	1	1	4	5	6	6	7	8	3	4	5	1	2	3	4	5	6
i_2				1	1	1	4	5	6	6	7	8	1	2	3	5	6	7
i_3							1	1	1	2	3	4	6	7	8	6	7	8
i_4										1	1	1	1	2	3	1	2	3
i_5													1	1	1	1	2	3
i_6																1	1	1

قسمت بالای قطر ماتریس توسط کارشناس اول تا پنج بطور مجزا تکمیل می‌گردد سپس برای سلول‌های پایین قطر ماتریس از فرمول معکوس اعداد معادل فازی \tilde{A}^{-1} استفاده شد.

$$\tilde{A}^{-1} = (l, m, u)^{-1} = \left(\frac{1}{u}, \frac{1}{m}, \frac{1}{l} \right) \quad \text{رابطه (۱-۴) معکوس اعداد معادل فازی}$$

لذا با توجه به رابطه بالا، معکوس اعداد فازی قطر بالای ماتریس در قطر زیرین ماتریس درج می‌گردد. البته باید توجه داشت که در این رابطه ابتدا معکوس مقدار بالایی، سپس معکوس مقدار میانی و در آخر معکوس مقادیر پایینی در قطر زیر نمودار قرار می‌گیرد. همچنین نوشتن مقادیر در زیر قطر بصورت عمودی می‌باشد.

۲-۴-۲-۴- تشکیل ماتریس مقایسه زوجی (\tilde{A}) برای تجمیع نظرات کارشناسان

پس از آنکه تمامی کارشناسان مقایسات زوجی را برای تمامی معیارها انجام دادند و ماتریس‌های مقایسات زوجی تشکیل شد حال بایستی نظرات را اجماع کرده و ماتریس تجمیع نظرات را شکل دهیم. در این مطالعه برای تشکیل ماتریس تجمیع نظرات، تک تک سلول‌های بالا، پایین و میانی با یکدیگر جمع شده و با توجه به اینکه در این مطالعه از ۵ کارشناس استفاده شد، عدد حاصله بر ۵ تقسیم گردید. این روش یک روش میانگین‌گیری حسابی می‌باشد. در جدول (۴-۴) میانگین نظرات کارشناسان در مقایسات زوجی معیارها نشان داده شده است.

جدول (۴-۴) میانگین نظرات کارشناسان در مقایسات زوجی معیارها

مدت زمان اجرای لایه حفاظتی			سهولت اجرای لایه حفاظتی			راحتی در تعمیر و نگهداری			هزینه تعمیر و نگهداری			کارایی و قابلیت اطمینان لایه حفاظتی			هزینه اجرای لایه حفاظتی		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
0.2632	0.3571	0.5556	1	1	1	4	5	6	4.8	5.8	6.8	3.2	4.2	5.2	5.2	6.2	7.2
0.2778	0.3846	0.625	0.1667	0.2	0.25	1	1	1	3.4	4.4	5.4	5.4	6.4	7.4	5.8	6.8	7.8
0.2083	0.2632	0.3571	0.1471	0.1724	0.2083	0.1852	0.2273	0.2941	1	1	1	1.6	2.6	3.6	1.6	2.6	3.6
0.2941	0.4167	0.7143	0.1923	0.2381	0.3125	0.1351	0.1563	0.1852	0.2778	0.3846	0.625	1	1	1	1.4	2.4	3.4
0.2	0.25	0.3333	0.1389	0.1613	0.1923	0.1282	0.1471	0.1724	0.2778	0.3846	0.625	0.2941	0.4167	0.7143	1	1	1

۵-۲-۴- تشکیل ماتریس میانگین هندسی فاز (\tilde{r}_i)

پس از تشکیل ماتریس میانگین نظرات کارشناسان حال بایستی میانگین هندسی فاز \tilde{r}_i نظرات محاسبه گردد. میانگین هندسی فاز از رابطه زیر محاسبه گردید.

رابطه (۲-۴) میانگین هندسی فاز نظرات کارشناسان

$$\tilde{A}_1 \otimes \tilde{A}_2 = (l_1, m_1, u_1) \otimes (l_2, m_2, u_2) = (l_1 \cdot l_2, m_1 \cdot m_2, u_1 \cdot u_2) > 0$$

$$\tilde{r}_i = (\tilde{a}_{ij} \dots \otimes \tilde{a}_{ij} \otimes \dots \otimes \tilde{a}_{in})^{\frac{1}{n}}$$

برای محاسبه میانگین هندسی فاز از دستور POWER در برنامه Microsoft Excel استفاده شد.

جدول (۵-۴) تشکیل ماتریس میانگین هندسی فاز (\tilde{r}_i)

ردیف	معیارهای رتبه بندی لایه های حفاظتی	میانگین هندسی فاز		
۱	هزینه اجرای لایه حفاظتی	1.7987	2.5353	3.2208
۲	کارایی و قابلیت اطمینان لایه حفاظتی	2.093	2.5418	3.077
۳	هزینه تعمیر و نگهداری	1.3046	1.5657	1.911
۴	راحتی در تعمیر و نگهداری	0.4939	0.6415	0.8106
۵	سهولت اجرای لایه حفاظتی	0.3792	0.4927	0.6667
۶	مدت زمان اجرای لایه حفاظتی	0.2574	0.3136	0.4126

۶-۲-۴- محاسبه وزن فاز معیارها (\tilde{W}_i)

در این مطالعه به منظور محاسبه وزن فاز از رابطه زیر استفاده می‌گردد.

رابطه (۳-۴) محاسبه وزن فاز

$$\tilde{A}_1 \oplus \tilde{A}_2 = (l_1, m_1, u_1) \oplus (l_2, m_2, u_2) = (l_1 + l_2, m_1 + m_2, u_1 + u_2)$$

$$\tilde{A}_1 \otimes \tilde{A}_2 = (l_1, m_1, u_1) \otimes (l_2, m_2, u_2) = (l_1 \cdot l_2, m_1 \cdot m_2, u_1 \cdot u_2) > 0$$

$$\tilde{W}_i = \tilde{r}_i \otimes (\tilde{r}_1 \dots \oplus \tilde{r}_i \otimes \dots \otimes \tilde{r}_n)^{-1}$$

همانطور که در رابطه بالا نشان داده شده در نهایت بایستی معکوس گردد برای معکوس کردن اعداد فازی دوباره بایستی از رابطه معکوس اعداد فازی \tilde{A}^{-1} استفاده نمود. در شکل (۴-۱) محاسبه وزن فازی معیارها (\tilde{W}_i) نشان داده شده است.

معیارهای رتبه بندی لایه های حفاظتی	میانگین هندسی فازی \tilde{r}_i			معکوس عدد فازی \tilde{r}_i^{-1}			وزن فازی معیارها \tilde{W}_i		
	$r1$	$r2$	$r3$	$r1$	$r2$	$r3$	$w1$	$w2$	$w3$
هزینه اجرای لایه حفاظتی	1.7987	2.5353	3.2208	0.099	0.1236	0.1581	0.1781	0.3134	0.5091
کارایی و قابلیت اطمینان لایه حفاظتی	2.093	2.5418	3.077				0.2073	0.3142	0.4863
هزینه تعمیر و نگهداری	1.3046	1.5657	1.911				0.1292	0.1935	0.302
راحتی در تعمیر و نگهداری	0.4939	0.6415	0.8106				0.0489	0.0793	0.1281
سهولت اجرای لایه حفاظتی	0.3792	0.4927	0.6667				0.0375	0.0609	0.1054
مدت زمان اجرای لایه حفاظتی	0.2574	0.3136	0.4126				0.0255	0.0388	0.0652
$r1+r2+r3+r4+r5+r6$	6.3269	8.0906	10.099						

$$\tilde{A}^{-1} = (l, m, u)^{-1} = \left(\frac{1}{u}, \frac{1}{m}, \frac{1}{l}\right)$$

$$\tilde{W}_i = \tilde{r}_i \otimes (\tilde{r}_1 \dots \oplus \tilde{r}_i \otimes \dots \otimes \tilde{r}_n)^{-1}$$

$$\tilde{A}_1 \otimes \tilde{A}_2 = (l_1, m_1, u_1) \otimes (l_2, m_2, u_2) = (l_1 \cdot l_2, m_1 \cdot m_2, u_1 \cdot u_2) > 0$$

شکل (۴-۱) محاسبه وزن فازی معیارها (\tilde{W}_i)

۴-۲-۷- فازی زدایی وزن معیارها (W_i)

پس از محاسبه وزن فازی معیارها، حال بایستی با فرآیند فازی زدایی، وزن نهایی معیارها را محاسبه نمود. در این مطالعه برای فرآیند فازی زدایی وزن ها از رابطه زیر استفاده می شود.

$$W_i = \frac{(u-1) + (m-l)}{3} + l = \frac{l+m+u}{3} \quad \text{رابطه (۴-۴) فازی زدایی وزن معیارها (W_i)}$$

جدول (۴-۶) فازی زدایی وزن معیارها (W_i)

وزن غیر فازی معیارها	وزن فازی معیارها \tilde{W}_i			فازی زدایی		وزن غیر فازی معیارها
	$w1$	$w2$	$w3$	$w1$	$w2$	
هزینه اجرای لایه حفاظتی	0.333514289	0.333514289	0.333514289	0.178	0.313	0.509
کارایی و قابلیت اطمینان لایه حفاظتی	0.335919328	0.335919328	0.335919328	0.207	0.314	0.486
هزینه تعمیر و نگهداری	0.208247254	0.208247254	0.208247254	0.129	0.194	0.302
راحتی در تعمیر و نگهداری	0.085439613	0.085439613	0.085439613	0.049	0.079	0.128
سهولت اجرای لایه حفاظتی	0.06794259	0.06794259	0.06794259	0.038	0.061	0.105
مدت زمان اجرای لایه حفاظتی	0.043153108	0.043153108	0.043153108	0.025	0.039	0.065

۴-۲-۸- نرمال سازی خطی وزن معیارها

باتوجه به اینکه جمع جبری وزن غیر فازی معیارها بیشتر از ۱ به دست می آید در اینجا بایستی یک نرمال سازی به منظور، نرمال نمودن وزن ها انجام شود. در این قسمت هر یک از اوزان محاسبه شده به مجموعه اوزان تقسیم می کنیم. این وزن از رابطه زیر محاسبه می گردد.

رابطه (۴-۵) نرمال سازی خطی وزن معیارها

$$W_i = \frac{W_i}{\sum W_i}$$

در شکل (۴-۲) مراحل اولویت بندی معیارها در نرم افزار Microsoft Excel 2019 نشان داده شده است.

مرحله اول: نظرخواهی از کارشناسان در خصوص ماتریس مقایسات زوجی معیارها

نظرات کارشناس اول (۱) در مورد اولویت بندی معیارها

مدت زمان اجرای لایه حفاظتی	سهولت اجرای لایه حفاظتی				راحتی در تعمیر و نگهداری				هزینه تعمیر و نگهداری				کارایی و قابلیت اطمینان لایه حفاظتی				هزینه اجرای لایه حفاظتی				معیارهای رتبه بندی لایه های حفاظتی			
۱	۲	۳	۴	۵	۱	۲	۳	۴	۱	۲	۳	۴	۱	۲	۳	۴	۱	۲	۳	۴	۱	۲	۳	۴
۸	۶	۷	۸	۶	۶	۵	۶	۴	۴	۵	۶	۴	۱	۱	۱	۴	۰.۳۳۳۳۳	۰.۳۳۳۳۳	۰.۵	۰.۲۵	۰.۳۳۳۳۳	۰.۲۵	۰.۳۳۳۳۳	۰.۵
۸	۶	۷	۸	۶	۶	۵	۶	۴	۴	۵	۶	۴	۰.۲۵	۰.۳۳۳۳۳	۰.۵	۰.۱۶۶۶۷	۰.۳۳۳۳۳	۰.۵	۰.۱	۰.۲	۰.۱۶۶۶۷	۰.۳۳۳۳۳	۰.۵	۰.۲۵
۴	۲	۳	۴	۲	۱	۱	۱	۲	۰.۲	۰.۳۳۳۳۳	۰.۱۶۶۶۷	۰.۲	۰.۲۵	۰.۳۳۳۳۳	۰.۵	۰.۱۴۲۸۶	۰.۱۶۶۶۷	۰.۱۲۵	۰.۱۴۲۸۶	۰.۱۶۶۶۷	۰.۱۲۵	۰.۱۴۲۸۶	۰.۱۶۶۶۷	۰.۱۲۵
۳	۱	۱	۱	۱	۰.۲۵	۰.۳۳۳۳۳	۰.۵	۰.۱	۰.۱۶۶۶۷	۰.۲۵	۰.۳۳۳۳۳	۰.۵	۰.۱۲۵	۰.۱۴۲۸۶	۰.۱۶۶۶۷	۰.۱۲۵	۰.۳۳۳۳۳	۰.۵	۰.۱۲۵	۰.۱۴۲۸۶	۰.۱۶۶۶۷	۰.۳۳۳۳۳	۰.۵	۰.۱۲۵
۱	۱	۱	۱	۱	۰.۲۵	۰.۳۳۳۳۳	۰.۵	۰.۱	۰.۱۶۶۶۷	۰.۲۵	۰.۳۳۳۳۳	۰.۵	۰.۱۲۵	۰.۱۴۲۸۶	۰.۱۶۶۶۷	۰.۱۲۵	۰.۳۳۳۳۳	۰.۵	۰.۱۲۵	۰.۱۴۲۸۶	۰.۱۶۶۶۷	۰.۳۳۳۳۳	۰.۵	۰.۱۲۵

نظرات کارشناس دوم (۲) در مورد اولویت بندی معیارها

مدت زمان اجرای لایه حفاظتی	سهولت اجرای لایه حفاظتی				راحتی در تعمیر و نگهداری				هزینه تعمیر و نگهداری				کارایی و قابلیت اطمینان لایه حفاظتی				هزینه اجرای لایه حفاظتی				معیارهای رتبه بندی لایه های حفاظتی			
۱	۲	۳	۴	۵	۱	۲	۳	۴	۱	۲	۳	۴	۱	۲	۳	۴	۱	۲	۳	۴	۱	۲	۳	۴
۶	۴	۵	۶	۴	۳	۴	۵	۳	۲	۳	۴	۲	۲	۳	۴	۲	۱	۱	۱	۲	۱	۱	۱	۱
۷	۵	۶	۷	۵	۴	۵	۶	۴	۴	۵	۶	۴	۱	۱	۱	۳	۰.۳۳۳۳۳	۰.۳۳۳۳۳	۰.۵	۰.۲	۰.۳۳۳۳۳	۰.۳۳۳۳۳	۰.۵	۰.۲۵
۴	۲	۳	۴	۲	۱	۱	۱	۲	۰.۲	۰.۳۳۳۳۳	۰.۱۶۶۶۷	۰.۲	۰.۲۵	۰.۳۳۳۳۳	۰.۵	۰.۱۴۲۹	۰.۳۳۳۳۳	۰.۵	۰.۲۵	۰.۲	۰.۱۶۶۶۷	۰.۳۳۳۳۳	۰.۵	۰.۲۵
۵	۳	۴	۵	۳	۲	۳	۴	۳	۱	۲	۳	۴	۲	۳	۴	۲	۱	۱	۱	۲	۱	۱	۱	۱
۶	۴	۵	۶	۴	۳	۴	۵	۳	۲	۳	۴	۲	۲	۳	۴	۲	۱	۱	۱	۲	۱	۱	۱	۱

نظرات کارشناس سوم (۳) در مورد اولویت بندی معیارها

مدت زمان اجرای لایه حفاظتی	سهولت اجرای لایه حفاظتی				راحتی در تعمیر و نگهداری				هزینه تعمیر و نگهداری				کارایی و قابلیت اطمینان لایه حفاظتی				هزینه اجرای لایه حفاظتی				معیارهای رتبه بندی لایه های حفاظتی			
۱	۲	۳	۴	۵	۱	۲	۳	۴	۱	۲	۳	۴	۱	۲	۳	۴	۱	۲	۳	۴	۱	۲	۳	۴
۷	۵	۶	۷	۵	۴	۵	۶	۴	۴	۵	۶	۴	۲	۳	۴	۲	۱	۱	۱	۲	۱	۱	۱	۱
۸	۶	۷	۸	۶	۴	۵	۶	۴	۴	۵	۶	۴	۱	۱	۱	۳	۰.۳۳۳۳۳	۰.۳۳۳۳۳	۰.۵	۰.۲	۰.۳۳۳۳۳	۰.۳۳۳۳۳	۰.۵	۰.۲۵
۳	۱	۱	۱	۱	۰.۲۵	۰.۳۳۳۳۳	۰.۵	۰.۱	۰.۱۶۶۶۷	۰.۲۵	۰.۳۳۳۳۳	۰.۵	۰.۱۲۵	۰.۱۴۲۹	۰.۱۶۶۶۷	۰.۱۲۵	۰.۳۳۳۳۳	۰.۵	۰.۱۲۵	۰.۱۴۲۹	۰.۱۶۶۶۷	۰.۳۳۳۳۳	۰.۵	۰.۱۲۵
۴	۲	۳	۴	۲	۱	۱	۱	۲	۰.۲	۰.۳۳۳۳۳	۰.۱۶۶۶۷	۰.۲	۰.۲۵	۰.۳۳۳۳۳	۰.۵	۰.۱۴۲۹	۰.۳۳۳۳۳	۰.۵	۰.۲۵	۰.۲	۰.۱۶۶۶۷	۰.۳۳۳۳۳	۰.۵	۰.۲۵
۵	۳	۴	۵	۳	۲	۳	۴	۳	۱	۲	۳	۴	۲	۳	۴	۲	۱	۱	۱	۲	۱	۱	۱	۱
۶	۴	۵	۶	۴	۳	۴	۵	۳	۲	۳	۴	۲	۲	۳	۴	۲	۱	۱	۱	۲	۱	۱	۱	۱

نظرات کارشناس چهارم (۴) در مورد اولویت بندی معیارها

مدت زمان اجرای لایه حفاظتی	سهولت اجرای لایه حفاظتی				راحتی در تعمیر و نگهداری				هزینه تعمیر و نگهداری				کارایی و قابلیت اطمینان لایه حفاظتی				هزینه اجرای لایه حفاظتی				معیارهای رتبه بندی لایه های حفاظتی			
۱	۲	۳	۴	۵	۱	۲	۳	۴	۱	۲	۳	۴	۱	۲	۳	۴	۱	۲	۳	۴	۱	۲	۳	۴
۷	۵	۶	۷	۵	۴	۵	۶	۴	۴	۵	۶	۴	۲	۳	۴	۲	۱	۱	۱	۲	۱	۱	۱	۱
۸	۶	۷	۸	۶	۴	۵	۶	۴	۴	۵	۶	۴	۱	۱	۱	۳	۰.۳۳۳۳۳	۰.۳۳۳۳۳	۰.۵	۰.۲	۰.۳۳۳۳۳	۰.۳۳۳۳۳	۰.۵	۰.۲۵
۳	۱	۱	۱	۱	۰.۲۵	۰.۳۳۳۳۳	۰.۵	۰.۱	۰.۱۶۶۶۷	۰.۲۵	۰.۳۳۳۳۳	۰.۵	۰.۱۲۵	۰.۱۴۲۹	۰.۱۶۶۶۷	۰.۱۲۵	۰.۳۳۳۳۳	۰.۵	۰.۱۲۵	۰.۱۴۲۹	۰.۱۶۶۶۷	۰.۳۳۳۳۳	۰.۵	۰.۱۲۵
۴	۲	۳	۴	۲	۱	۱	۱	۲	۰.۲	۰.۳۳۳۳۳	۰.۱۶۶۶۷	۰.۲	۰.۲۵	۰.۳۳۳۳۳	۰.۵	۰.۱۴۲۹	۰.۳۳۳۳۳	۰.۵	۰.۲۵	۰.۲	۰.۱۶۶۶۷	۰.۳۳۳۳۳	۰.۵	۰.۲۵
۵	۳	۴	۵	۳	۲	۳	۴	۳	۱	۲	۳	۴	۲	۳	۴	۲	۱	۱	۱	۲	۱	۱	۱	۱
۶	۴	۵	۶	۴	۳	۴	۵	۳	۲	۳	۴	۲	۲	۳	۴	۲	۱	۱	۱	۲	۱	۱	۱	۱

نظرات کارشناس پنجم (۵) در مورد اولویت بندی معیارها

مدت زمان اجرای لایه حفاظتی	سهولت اجرای لایه حفاظتی				راحتی در تعمیر و نگهداری				هزینه تعمیر و نگهداری				کارایی و قابلیت اطمینان لایه حفاظتی				هزینه اجرای لایه حفاظتی				معیارهای رتبه بندی لایه های حفاظتی			
۱	۲	۳	۴	۵	۱	۲	۳	۴	۱	۲	۳	۴	۱	۲	۳	۴	۱	۲	۳	۴	۱	۲	۳	۴
۶	۴	۵	۶	۴	۳	۴	۵	۳	۲	۳	۴	۲	۲	۳	۴	۲	۱	۱	۱	۲	۱	۱	۱	۱
۷	۵	۶	۷	۵	۴	۵	۶	۴	۴	۵	۶	۴	۱	۱	۱	۳	۰.۳۳۳۳۳	۰.۳۳۳۳۳	۰.۵	۰.۲	۰.۳۳۳۳۳	۰.۳۳۳۳۳	۰.۵	۰.۲۵
۳	۱	۱	۱	۱	۰.۲۵	۰.۳۳۳۳۳	۰.۵	۰.۱	۰.۱۶۶۶۷	۰.۲۵	۰.۳۳۳۳۳	۰.۵	۰.۱۲۵	۰.۱۴۲۹	۰.۱۶۶۶۷	۰.۱۲۵	۰.۳۳۳۳۳	۰.۵	۰.۱۲۵	۰.۱۴۲۹	۰.۱۶۶۶۷	۰.۳۳۳۳۳	۰.۵	۰.۱۲۵
۴	۲	۳	۴	۲	۱	۱	۱	۲	۰.۲	۰.۳۳۳۳۳	۰.۱۶۶۶۷	۰.۲	۰.۲۵	۰.۳۳۳۳۳	۰.۵	۰.۱۴۲۹	۰.۳۳۳۳۳	۰.۵	۰.۲۵	۰.۲	۰.۱۶۶۶۷	۰.۳۳۳۳۳	۰.۵	۰.۲۵
۵	۳	۴	۵	۳	۲	۳	۴	۳	۱	۲	۳	۴	۲	۳	۴	۲	۱	۱	۱	۲	۱	۱	۱	۱
۶	۴	۵	۶	۴	۳	۴	۵	۳	۲	۳	۴	۲	۲	۳	۴	۲	۱	۱	۱	۲	۱	۱	۱	۱

مرحله دوم: تشکیل ماتریس مقایسه زوجی برای تجميع نظرات کارشناسان(Ā)

میانگین نظرات کارشناسان در مورد اولویت بندی معیارها

مدت زمان اجرای لایه حفاظتی	سهولت اجرای لایه حفاظتی				راحتی در تعمیر و نگهداری				هزینه تعمیر و نگهداری				کارایی و قابلیت اطمینان لایه حفاظتی				هزینه اجرای لایه حفاظتی				معیارهای رتبه بندی لایه های حفاظتی			
۱	۲	۳	۴	۵	۱	۲	۳	۴	۱	۲	۳	۴	۱	۲	۳	۴	۱	۲	۳	۴	۱	۲	۳	۴
۵.۲	۴.۲	۵.۲	۵.۲	۵.۲	۴.۸	۵.۸	۶.۸	۴.۸	۳.۶	۴.۶	۵.۶	۳.۶	۲.۸	۳.۸	۴.۸	۲.۸	۳.۴	۴.۴	۵.۴	۳.۴	۲.۴	۳.۴	۴.۴	۲.۴
۷.۲	۶.۲	۷.۲	۷.۲	۷.۲	۶.۴	۷.۴	۸.۴	۶.۴	۵.۲	۶.۲	۷.۲	۵.۲	۴.۰	۵.۰	۶.۰	۴.۰	۴.۸	۵.۸	۶.۸	۴.۸	۳.۸	۴.۸	۵.۸	۳.۸
۷.۸	۶.۸	۷.۸	۷.۸	۷.۸	۶.۴	۷.۴	۸.۴	۶.۴	۵.۲	۶.۲	۷.۲	۵.۲	۴.۰	۵.۰	۶.۰	۴.۰	۴.۸	۵.۸	۶.۸	۴.۸	۳.۸	۴.۸	۵.۸	۳.۸
۳.۶	۲.۶	۳.۶	۳.۶	۳.۶	۲.۴	۳.۴	۴.۴	۲.۴	۱.۶	۲.۴	۳.۴	۱.۶	۱.۲	۱.۲										

مرحله سوم: تشکیل ماتریس میانگین هندسی فازي

میانگین هندسی فازي

مدت زمان اجرای لایه حفاظتی	میانگین هندسی فازي			
۱	۲	۳	۴	۵
۱	۱.7987	2.5353	3.2208	
۲	2.093	2.5418	3.077	
۳	1.3046	1.5657	1.911	
۴	0.4939	0.6415	0.8106	
۵	0.3792	0.4927	0.6667	
۶	0.2574	0.3136	0.4126	

مرحله چهارم: محاسبه وزن فازي معیارها

وزن فازي معیارها

مدت زمان اجرای لایه حفاظتی	وزن فازي معیارها			
۱	۲	۳	۴	۵
۱	0.1781	0.3134	0.5091	
۲	0.2073	0.3142	0.4863	
۳	0.1292	0.1935	0.302	
۴	0.0489	0.0793	0.1281	
۵	0.0375	0.0609	0.1054	
۶	0.0255	0.0388	0.0652	

مرحله پنجم: فازي زدايي وزن معیارها

فازي زدايي

مدت زمان اجرای لایه حفاظتی	فازي زدايي			
۱	۲	۳	۴	۵
۱	0.333514289			
۲	0.335919328			
۳	0.208247254			
۴	0.085439613			
۵	0.06794259			
۶	0.043153108			

وزن غیرفازي معیارها

مدت زمان اجرای لایه حفاظتی	وزن غیرفازي معیارها			
۱	۲	۳	۴	۵
۱	0.333514289			
۲	0.335919328			
۳	0.208247254			
۴	0.085439613			
۵	0.06794259			
۶	0.043153108			

مرحله ششم: نرمال سازی خطي وزن معیارها

ايزان نرمال سازی شده

مدت زمان اجرای لایه حفاظتی	ايزان نرمال سازی شده			
۱	۲	۳	۴	۵
۱	0.310472226			
۲	0.312711104			
۳	0.193859725			
۴	0.079536702			
۵	0.063248526			
۶	0.040171716			

میانگین هندسی فازي

مدت زمان اجرای لایه حفاظتی	میانگین هندسی فازي			
۱	۲	۳	۴	۵
۱	0.310472226			
۲	0.312711104			
۳	0.193859725			
۴	0.079536702			
۵	0.063.			

همانطور که در شکل قبل نشان داده شده اوزان نهایی برای اولویت بندی معیارها به قرار جدول زیر می‌باشد:

جدول (۷-۴) اوزان نهایی برای اولویت‌بندی معیارها

	درصد وزنی	اوزان نرمال سازی شده برای معیارها	معیارهای رتبه بندی لایه های حفاظتی
W1	31.05%	0.3105	هزینه اجرای لایه حفاظتی
W2	31.27%	0.3127	کارایی و قابلیت اطمینان لایه حفاظتی
W3	19.38%	0.1938	هزینه تعمیر و نگهداری
W4	7.95%	0.0795	راحتی در تعمیر و نگهداری
W5	6.32%	0.0632	سهولت اجرای لایه حفاظتی
W6	4.02%	0.0402	مدت زمان اجرای لایه حفاظتی

همانگونه که از نتایج جدول (۷-۴) اوزان نهایی برای اولویت‌بندی معیارها، بر می‌آید، در رتبه اول آیتم کارایی و قابلیت اطمینان آن لایه حفاظتی در پیشگیری از حریق و یا کاهش شدت پیامد ناشی از بروز حریق می‌باشد. در رتبه دوم هزینه اجرای لایه حفاظتی می‌باشد که این موضوع بسیار به واقعیت نزدیک است. در هر پروژه‌ای، کارایی و هزینه اجرای لایه حفاظتی بسیار مهم و تاثیر گذار می‌باشد. زیرا یکی از دلایل عدم اعلام لایه‌های حفاظتی هزینه بالای این اقلام، تجهیزات و تمهیدات می‌باشد. در آیتم شماره ۳، هزینه تعمیر و نگهداری تجهیزات، ادوات و تمهیدات مورد نظر برای پیشگیری و کاهش شدت پیامد ناشی از حریق می‌باشد. اگر هزینه تعمیر و نگهداری از این تجهیزات بسیار بالا باشد و مقرون به صرفه نباشد لذا پس از مدتی این تعمیر و نگهداری رها شده و تجهیزات کارایی و قابلیت اطمینان خود را از دست خواهند داد.

۹-۲-۴- محاسبه نرخ ناسازگاری ماتریس مقایسات زوجی

در این قسمت نرخ ناسازگاری ماتریس مقایسات زوجی محاسبه گردید. یک ماتریس ممکن است سازگار و یا ناسازگار باشد. در ماتریس سازگار محاسبات وزن ها ساده بوده و با استفاده از نرمالیزه کردن تک تک ستون ها بدست می آید. محاسبه مقدار ناسازگاری از اهمیت بالایی برخوردار می باشد. زیرا نشان می دهد که تا چه میزان می توان به اولویت های حاصل مقایسات اطمینان نمود. در حالت کلی می توان گفت که میزان قابل قبول ناسازگاری یک ماتریس مقایسه زوجی یا سیستم بستگی به تصمیم گیرندگان دارد. اما ال. ساعتی (۱۹۸۵) عدد ۰/۱ را به عنوان حدقابل قبول ارائه می نماید و متعقد است چنانچه میزان ناسازگاری بیشتر از / باشد بهتر است تا در قضاوت تجدید نظر صورت گیرد. برای محاسبه نرخ ناسازگاری در ماتریس مقایسات زوجی الگوریتمی ترسیم می گردد. در این مطالعه برای تعیین نرخ ناسازگاری ماتریس مقایسات زوجی از روش زیر استفاده می شود:

۱-۹-۲-۴- تشکیل ماتریس مقایسات زوجی غیرفازی جهت محاسبه نرخ ناسازگاری

در مرحله اول، ماتریس مقایسات زوجی را تشکیل می‌دهیم. با توجه به اینکه ماتریس مقایسات زوجی در این مطالعه بصورت فازی بوده است، در ابتدا، ماتریس میانگین نظرات کارشناسان با اعداد معادل فازی با استفاده از رابطه دیفازی سازی (رابطه (۴-۴) فازی زدایی وزن معیارها (W_i)) به ماتریس غیرفازی تبدیل کرده و سپس مراحل محاسبه نرخ ناسازگاری انجام می‌شود. در جدول (۸-۴) تشکیل ماتریس مقایسات زوجی غیرفازی

جدول (۱۱-۴) اوزان نسبی نهایی برای محاسبه نرخ ناسازگاری ماتریس مقایسات زوجی

ردیف	معیارهای رتبه بندی لایه های حفاظتی	W
W1	هزینه اجرای لایه حفاظتی	0.3002
W2	کارایی و قابلیت اطمینان لایه حفاظتی	0.2974
W3	هزینه تعمیر و نگهداری	0.2089
W4	راحتی در تعمیر و نگهداری	0.0817
W5	سهولت اجرای لایه حفاظتی	0.0715
W6	مدت زمان اجرای لایه حفاظتی	0.0404

۳-۹-۲-۴- تعیین بزرگترین مقدار ویژه ماتریس (λ_{max})

در این مرحله یا توجه به این که بزرگترین مقدار ویژه ماتریس (λ_{max}) در این مطالعه مشخص نمی‌باشد، این مقدار را از روابط زیر محاسبه می‌کنیم.

• ضرب بردار W_i در ماتریس (\tilde{A})

در این هر یک از عناصر موجود در یک ردیف از ماتریس (\tilde{A}) را W_i ضرب کرده و با جمع می‌کنیم.

$$M = \sum_{ij} (\tilde{a}_{ij} \cdot W_i)$$

سپس در مرحله بعد مقدار به دست آمده را دوباره بر وزن معیار W_i تقسیم می‌شود.

$$\lambda = \frac{M = \sum_{ij} (\tilde{a}_{ij} \cdot W_i)}{W_i}$$

پس از محاسبه λ برای تمامی معیارها، حال از تقسیم مجموع λ بر تعداد معیارها (۶)، λ_{max} بدست می‌آید.

$$\lambda_{max} = \frac{\lambda = \frac{M = \sum_{ij} (\tilde{a}_{ij} \cdot W_i)}{W_i}}{n(criteria)} = 1.0036$$

جدول (۱۲-۴) تعیین بزرگترین مقدار ویژه ماتریس (λ_{max})

ردیف	معیارهای رتبه بندی لایه های حفاظتی	گام اول (Σ)	گام دوم (Σ/w)
۱	هزینه اجرای لایه حفاظتی	0.383250422	1.27682182
۲	کارایی و قابلیت اطمینان لایه حفاظتی	0.278845795	0.937743892
۳	هزینه تعمیر و نگهداری	0.143017196	0.684567529
۴	راحتی در تعمیر و نگهداری	0.066635491	0.816085505
۵	سهولت اجرای لایه حفاظتی	0.080597218	1.127473773
۶	مدت زمان اجرای لایه حفاظتی	0.047653878	1.178714808

۴-۹-۲-۴- محاسبه مقدار شاخص ناسازگاری (C.I)

در این مطالعه میزان شاخص ناسازگاری از رابطه زیر محاسبه گردید.

$$C.I = \left| \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \right| = \left| \frac{\frac{\lambda = \frac{M = \sum_{ij} (\tilde{a}_{ij} \cdot W_i)}{W_i}}{n(Criteria)} - n}{n - 1} \right|$$

که در این رابطه λ_{max} بزرگترین مقدار ویژه ماتریس و n برابر با تعداد معیارها می باشد.

$$C.I = \left| \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \right| = 0.12143$$

۴-۹-۲-۵- محاسبه نرخ ناسازگاری (C.R)

در گام آخر، نرخ ناسازگاری با توجه به مقادیر ثابتی که در جدول () نشان داده شده بود، محاسبه می گردد. در این مرحله با توجه به اینکه تعداد معیارها برابر با ۶ می باشد ($n=6$)، مقدار R.I با توجه به جدول فوق الذکر، برابر با ۱/۲۴ می باشد. نرخ ناسازگاری از رابطه زیر محاسبه می گردد.

$$C.R = \frac{C.I}{R.I} = \frac{C.I = \left| \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \right|}{R.I}$$

در اینجا RI شاخص ناسازگاری تصادفی بوده و مقداری است که از جدول مربوطه استخراج می شود. جدول ناسازگاری تصادفی، بر اساس شبیه‌سازی به دست آمده است.

جدول (۴-۱۳) شاخص ناسازگاری تصادفی

n	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰
IRI	۰	۰	۰/۵۸	۰/۹۰	۱/۱۲	۱/۲۴	۱/۳۲	۱/۴۱	۱/۴۵	۱/۵۱

در صورتی که نرخ ناسازگاری، کوچکتر یا مساوی ۰/۱۰ باشد ($IR \leq 0.10$)، در مقایسات زوجی، سازگاری وجود دارد و می‌توان کار را ادامه داد. در این مطالعه نرخ ناسازگاری از ۰/۱ کمتر است لذا نظرات سازگاری دارد.

در شکل (۳-۴) مراحل محاسبه و تعیین نرخ ناسازگاری در ماتریس مقایسات زوجی نشان داده شده است.

تعیین نرخ ناسازگاری در ماتریس مقایسات زوجی

مرحله اول: تشکیل ماتریس مقایسات زوجی

میانگین نظرات کارشناسان در مورد اولویت بندی معیارها

مدت زمان اجرای لایه حفاظتی	سهولت اجرای لایه حفاظتی	راحتی در تعمیر و نگهداری			هزینه تعمیر و نگهداری			کارایی و قابلیت اطمینان لایه حفاظتی			هزینه اجرای لایه حفاظتی			معیارهای رتبه بندی لایه های حفاظتی					
5	4	3	3.4	2.4	1.4	4.8	3.8	2.8	3.6	2.6	1.6	3.8	2.8	1	1	1	1	1	
7.2	6.2	5.2	5.2	4.2	3.2	6.8	5.8	4.8	6	5	4	1	1	0.556	0.357	0.263	کارایی و قابلیت اطمینان لایه حفاظتی	2	
7.8	6.8	5.8	7.4	6.4	5.4	5.4	4.4	3.4	1	1	1	0.25	0.2	0.167	0.625	0.385	هزینه تعمیر و نگهداری	3	
3.6	2.6	1.6	3.6	2.6	1.6	1	1	1	0.294	0.227	0.185	0.208	0.172	0.147	0.357	0.263	راحتی در تعمیر و نگهداری	4	
3.4	2.4	1.4	1	1	1	0.625	0.385	0.278	0.185	0.156	0.135	0.313	0.238	0.192	0.714	0.417	سهولت اجرای لایه حفاظتی	5	
1	1	1	0.714	0.417	0.294	0.625	0.385	0.278	0.172	0.147	0.128	0.192	0.161	0.139	0.333	0.25	0.2	مدت زمان اجرای لایه حفاظتی	6

A6	A5	A4	A3	A2	A1	معیارهای رتبه بندی لایه های حفاظتی	ردیف				
4	2.4	3.8	2.6	2.8	1	هزینه اجرای لایه حفاظتی	1				
6.2	4.2	5.8	5	1	0.392	کارایی و قابلیت اطمینان لایه حفاظتی	2				
6.8	6.4	4.4	1	0.206	0.429	هزینه تعمیر و نگهداری	3				
2.6	2.6	1	0.236	0.176	0.276	راحتی در تعمیر و نگهداری	4				
2.4	1	0.429	0.159	0.248	0.475	سهولت اجرای لایه حفاظتی	5				
1	0.475	0.429	0.149	0.164	0.261	مدت زمان اجرای لایه حفاظتی	6				
مجموع ستونها					23	17.08	15.86	9.144	4.593	2.833	

W	A6	A5	A4	A3	A2	A1	معیارهای رتبه بندی لایه های حفاظتی	ردیف
0.3002	0.1739	0.1406	0.2396	0.2844	0.6096	0.3529	هزینه اجرای لایه حفاظتی	1
0.2974	0.2696	0.2460	0.3657	0.5468	0.2177	0.1383	کارایی و قابلیت اطمینان لایه حفاظتی	2
0.2089	0.2957	0.3748	0.2775	0.1094	0.0448	0.1515	هزینه تعمیر و نگهداری	3
0.0817	0.1130	0.1523	0.0631	0.0258	0.0383	0.0975	راحتی در تعمیر و نگهداری	4
0.0715	0.1043	0.0586	0.0271	0.0174	0.0539	0.1676	سهولت اجرای لایه حفاظتی	5
0.0404	0.0435	0.0278	0.0271	0.0163	0.0357	0.0922	مدت زمان اجرای لایه حفاظتی	6
1.0000								

مرحله سوم: نرمال سازی و تعیین وزن نسبی معیارها

گام دوم (Σ/w)	گام اول (Σ)	معیارهای رتبه بندی لایه های حفاظتی	ردیف
1.27682182	0.383250422	هزینه اجرای لایه حفاظتی	1
0.937743892	0.278845795	کارایی و قابلیت اطمینان لایه حفاظتی	2
0.684567529	0.143017196	هزینه تعمیر و نگهداری	3
0.816085505	0.066635491	راحتی در تعمیر و نگهداری	4
1.127473773	0.080597218	سهولت اجرای لایه حفاظتی	5
1.178714808	0.047653878	مدت زمان اجرای لایه حفاظتی	6

$$\lambda = \frac{M = \sum_{ij} (\tilde{a}_{ij} \cdot W_i)}{W_i}$$

$$\lambda_{max} = \frac{M = \sum_{ij} (\tilde{a}_{ij} \cdot W_i)}{n_{(Criteria)}}$$

$$\lambda_{max} = 1.0036$$

$$C.I = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} = \frac{\frac{M = \sum_{ij} (\tilde{a}_{ij} \cdot W_i)}{W_i} - n}{n - 1}$$

$$C.I = 0.121432112$$

مرحله چهارم: محاسبه مقدار شاخص ناسازگاری

$$\lambda = \frac{M = \sum_{ij} (\tilde{a}_{ij} \cdot W_i)}{W_i}$$

$$\lambda_{max} = \frac{M = \sum_{ij} (\tilde{a}_{ij} \cdot W_i)}{n_{(Criteria)}}$$

$$C.I = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} = \frac{\frac{M = \sum_{ij} (\tilde{a}_{ij} \cdot W_i)}{W_i} - n}{n - 1}$$

$$C.I = 0.121432112$$

مرحله پنجم: نرخ ناسازگاری

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
IRI	0.00	0.00	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.51

$$C.R = \frac{C.I}{R.I} = \frac{C.I = \left| \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \right|}{R.I}$$

$$C.R = 0.097929123$$

شاخص ناسازگاری ماتریس تصادفی

شکل (۴-۳) مراحل محاسبه و تعیین نرخ ناسازگاری در ماتریس مقایسات زوجی

۴-۳- انجام تکنیک ترجیح براساس مشابهت به راه حل ایده‌آل (TOPSIS)

یکی از خصوصیات تکنیک ترجیح براساس مشابهت به راه حل ایده‌آل (TOPSIS) این است که بایستی وزن معیارها (Criteria) توسط روش‌های دیگر بدست آورده شده و سپس با استفاده از روش TOPSIS گزینه‌ها (Alternatives) اولویت‌بندی شوند. در این مطالعه معیارهای اولویت‌بندی گزینه‌ها بوسیله روش فرآیند تجزیه و تحلیلی سلسله مراتبی وزن‌دهی گردید. پس از تعیین اوزان نهایی برای معیارها بر اساس نظرات کارشناسان، در این مرحله گزینه‌ها (لایه‌های حفاظتی پیشگیری کننده از حریق و لایه‌های حفاظتی کاهنده شدت پیامد ناشی از بروز رویداد) بر اساس نظرات کارشناسان و بر اساس وزن معیارهای انتخابی، اولویت‌بندی می‌شوند. تاپسیس یکی از روش‌های تصمیم‌گیری چند شاخصه است که جهت امتیازدهی و رتبه‌بندی گزینه‌ها بکار می‌رود. تاپسیس به دو بخش تاپسیس کلاسیک و تاپسیس فازی تقسیم می‌شود. تاپسیس فازی یکی از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره است که با تکیه بر منطق فازی جهت کاهش ابهام در نظر کارشناسان، همزمان فاصله شاخص‌های مورد بررسی را از ایده‌آل منفی به‌شینه و از ایده‌آل مثبت کمینه می‌کند و جهت رتبه‌بندی گزینه‌ها در محیط فازی بکار گرفته می‌شود. این روش ابتدا توسط هوانگ و یون در سال ۱۹۸۱ ارائه شد ولی اصلی‌ترین توسعه آن توسط آقای چن در سال ۲۰۰۰ در مقاله‌ای با عنوان بسط روش TOPSIS به تصمیم‌گیری گروهی در محیط فازی ارائه شد، که در آن تکنیک تاپسیس با رویکرد فازی، مورد استفاده قرار گرفت.

تفکرات انسان همراه با عدم قطعیت است یعنی زمانی که داده‌های مساله از دقت کمتری برخوردار است یا به عبارت دیگر امکان تعیین دقیق مقادیر برای وضعیت گزینه‌ها نسبت به هر یک از معیارها وجود ندارد، عدم قطعیت ایجاد می‌گردد که این عدم قطعیت در روند تصمیم‌گیری تاثیر گذار است. به همین دلیل از روش‌های تصمیم‌گیری فازی استفاده می‌گردد که یکی از این روش‌ها تاپسیس فازی برای رتبه‌بندی گزینه‌ها (Alternatives) می‌باشد. در این حالت عناصر ماتریس تصمیم‌گیری، یا وزن‌های شاخص‌ها و یا هر دوی آنها به صورت فازی و با اعداد فازی بیان می‌گردند.

تفاوت تاپسیس فازی و تاپسیس معمولی در این است که تاپسیس فازی برای رتبه‌بندی گزینه‌ها از خاصیت فازی و غیرقطعی (۰ و ۱) که بیشتر ماهیت فازی و غیرقطعی پدیده‌های طبیعی را در امر رتبه‌بندی لحاظ می‌نماید، استفاده می‌کند. یا به عبارت دیگر تاپسیس فازی از مقادیر پیوسته و تاپسیس از مقادیر گسسته استفاده می‌کند. اما مدل تاپسیس فازی و تاپسیس معمولی هر دو دارای این شباهت هستند که برای رتبه‌بندی گزینه‌ها، از تصمیم‌گیری چند معیاره استفاده می‌کنند.

۴-۳-۱- الگوریتم حل مساله در تکنیک Fuzzy TOPSIS

۴-۳-۱-۱- تشکیل تیم مطالعاتی به منظور اولویت‌بندی لایه‌های حفاظتی

در این مطالعه به منظور انجام مطالعات اولویت‌بندی لایه‌های حفاظتی با استفاده از تکنیک Fuzzy TOPSIS از ۵ کارشناس آتش‌نشانی منطقه ۱ ایستگاه شماره ۵۵ استفاده شد. در جدول (۴-۱۴) مشخصات کارشناسان حاضر در مطالعه اولویت‌بندی لایه‌های حفاظتی نشان داده شده است.

جدول (۴-۱۴) مشخصات کارشناسان حاضر در مطالعه اولویت‌بندی لایه‌های حفاظتی

ردیف	سمت سازمانی	تحصیلات	سابقه کار	سن
۱	رئیس ایستگاه آتش‌نشانی	لیسانس آتش‌نشانی	۲۹	۵۵
۲	سرپرست ایستگاه آتش‌نشانی	لیسانس آتش‌نشانی	۲۳	۵۰
۳	فرمانده شیفت ایستگاه آتش‌نشانی	لیسانس آتش‌نشانی	۱۸	۴۳
۵	معاون فرمانده شیفت ایستگاه آتش‌نشانی	لیسانس آتش‌نشانی	۱۶	۴۰
۶	معاون فرمانده شیفت ایستگاه آتش‌نشانی	لیسانس آتش‌نشانی	۱۶	۴۰

پس از تعیین تیم مطالعاتی، در مرحله بعد برنامه‌ریزی به منظور برگزاری جلسات منظم و تعیین لایه‌های حفاظتی و معیارهای اولویت‌بندی لایه‌های حفاظتی، انجام شد. در این مطالعه لایه‌های حفاظتی پیشگیری کننده از حریق (Preventive Measurements) و لایه‌های حفاظتی کاهنده شدت پیامد ناشی از بروز رویداد (Mitigative Measurements)، برای اولویت‌بندی انتخاب شد:

- سیستم‌های شناساگر (شناساگر گاز قابل اشتعال، شناساگر دود، شناساگر حرارت، شناساگر آتش)
- سیستم‌های اعلان حریق (پیچرها و هشدار دهنده‌های بروز حادثه)
- سیستم‌های اطفاء حریق خودکار (سیستم‌های اینسپرینکلر آب و دی اکسید کربن و FM200)
- سیستم‌های مکانیزه اطفاء حریق مبتنی بر دخالت انسان (فایر باکس و Hose Reel)
- تجهیزات اطفاء حریق دستی (کپسول‌های اطفاء حریق آب، CO₂، فوم و پور و گاز)
- سیستم‌های فرار و خروج اضطراری (راه پله فرار، سرسره فرار)
- سیستم‌های محافظت از سازه ساختمان (عایق حرارتی سازه ساختمان و درب‌های ضد حریق)
- سیستم‌های مکانیزه کاهش دود (جت فن‌ها)

۴-۳-۱-۲- تشکیل ماتریس تصمیم در تکنیک Fuzzy Topsis

ماتریس تصمیم به ماتریس ارزیابی m گزینه (Alternative) بر اساس n معیار (Criteria) گفت می‌شود. در این ماتریس به هر گزینه بر اساس تک تک معیارها امتیازی تعلق خواهد گرفت. هر ستون نشان دهنده یک شاخص سنجش و هر سطر نماینده یک گزینه است. x_{ij} بیانگر کمیت گزینه iام در زیرمعیار jام می‌باشد.

$$(\tilde{D}) = \begin{matrix} A_1 \\ \vdots \\ A_i \\ \vdots \\ A_m \end{matrix} \begin{bmatrix} \tilde{x}_{11} & \dots & \tilde{x}_{12} & \dots & \tilde{x}_{1n} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ \tilde{x}_{i1} & \dots & \tilde{x}_{i2} & \dots & \tilde{x}_{in} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ \tilde{x}_{m1} & \dots & \tilde{x}_{m2} & \dots & \tilde{x}_{mn} \end{bmatrix}$$

که در این ماتریس

$$i = 1, 2, \dots, m$$

$$j = 1, 2, \dots, n$$

این ماتریس از کسب نظرات کارشناسان تشکیل می‌گردد و بر اساس معیارهای وزن دهی شده در مرحله قبل، حال تک تک لایه‌های حفاظتی از کارشناسان بر اساس متغیرهای زبانی سوال می‌گردد. در این مرحله

۵ ماتریس تصمیم‌گیری به صورت جداگانه ترسیم می‌شود. سپس در تکنیک تاپسیس فازی بر اساس هر معیار به هر گزینه عدد فازی مثلثی اختصاص داده می‌شود.

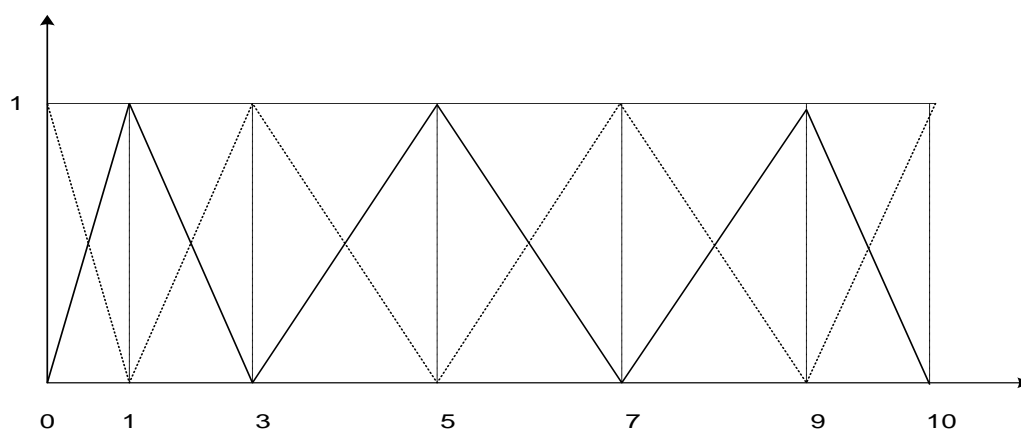
۳-۱-۳-۴- تعریف اعداد فازی در تکنیک Fuzzy Topsis

فازی‌سازی روشی است که در آن عبارات کلامی و مقادیر کیفی با اعداد فازی به صورت کمی درمی‌آید. زمانیکه از دیدگاه خبرگان برای مقایسه معیارها و یا تخمین مقادیر آنها استفاده می‌شود آنها دیدگاه کلامی خود را بصورت عبارات کلامی بیان می‌کنند. بنابراین گام اول در حل مسأله مبتنی بر منطق فازی، در مدیریت آن است که داده‌ها فازی شوند. به عبارت بهتر، از مجموعه‌های فازی، سازگاری بیشتری با توضیحات زبانی و بعضاً مبهم انسانی دارد. بنابراین بهتر است که با استفاده از مجموعه‌های فازی (یا همان بکارگیری اعداد فازی) به تصمیم‌گیری در دنیای واقعی پرداخت، برای این منظور از انواع اعداد فازی استفاده می‌شود. در بحث تاپسیس نیز معمولاً در ارزیابی کیفی گزینه‌ها با اعداد قطعی، از طیف (مقیاس زبانی) نه درجه استفاده می‌شود. برای انجام محاسبات تکنیک بصورت فازی نخست از یک طیف زبانی مناسب برای گردآوری داده‌ها استفاده می‌شود. اما در ارزیابی کیفی گزینه‌ها در تکنیک تاپسیس فازی معمولاً از مقیاس هفت درجه استفاده می‌گردد. طیف مقیاس زبانی هفت درجه پیشنهادی (Chen, 2000) در ارزیابی گزینه‌ها برای تکنیک تاپسیس فازی عبارتند از:

جدول (۴-۱۵) طیف فازی تکنیک TOPSIS

متغیر زبانی	مقدار فازی	عدد فازی مثلثی
خیلی ضعیف (Very Poor) / خیلی کم	1	(0, 0, 1)
ضعیف (Poor) / کم	2	(0, 1, 3)
تقریباً ضعیف (Poor Medium) / تقریباً کم (بین کم و متوسط)	3	(1, 3, 5)
متوسط (Fair)	4	(3, 5, 7)
تقریباً خوب (Medium Good) / تقریباً زیاد (بین متوسط و زیاد)	5	(5, 7, 9)
خوب (Good) / زیاد	6	(7, 9, 10)
خیلی خوب (Very Good) / خیلی زیاد	7	(9, 10, 10)

در نمودار زیر هفت عدد فازی مثلثی را بصورت مثلثی نشان داده شده است.



نمودار (۴-۳) نمودار هفت عدد فازی مثلثی

۴-۱-۳-۴- جایگزین کردن لغات زبانی با اعداد فازی

در این مرحله مقادیر x_{ij} که توسط کارشناسان منتخب تعیین شده بود بر اساس طیف فازی ۷ درجه وارد ماتریس تصمیم‌گیری می‌شود. به این منظور لغات زبانی تعیین شده توسط خبرگان را با اعداد فازی مثلثی با استفاده از جدول (۴-۱۵) طیف فازی تکنیک TOPSIS جایگزین می‌گردد. در این مرحله ۵ ماتریس تصمیم فازی تشکیل می‌شود.

۴-۱-۳-۵- تشکیل ماتریس تصمیم ترکیب نظرات کارشناسان

در این بخش لازم است تا نظرات ۵ کارشناس با یکدیگر ترکیب شده و یکپارچه شود. اگر ارزیابی گزینه‌ها بر مبنای معیارها، بوسیله نظرخواهی از یک گروه کارشناس (خبره) دارای k انجام گیرد و ارزیابی فازی k امین تصمیم گیرنده عدد فازی مثلثی $x_{ij} = (l_{ijk}, m_{ijk}, u_{ijk})$ باشد با توجه به معیارهای رتبه‌بندی فازی ترکیبی، گزینه‌های ماتریس تصمیم ترکیب شده را می‌توان بر اساس روابط زیر بدست آورد.

$$l_{ij} = \min(a_{ijk})$$

$$m_{ij} = \frac{\sum_k m_{ijk}}{k}$$

$$u_{ij} = \max(u_{ijk})$$

ماتریس	هزینه اجرای لایه حفاظتی	قابلیت کارایی و ایمنی لایه حفاظتی	هزینه نگهداری لایه حفاظتی	راحتی در نصب و نگهداری لایه حفاظتی	سهولت اجرای لایه حفاظتی	زمان اجرای لایه حفاظتی												
0.1781	0.3134	0.5091	0.2073	0.3142	0.4863	0.1292	0.1935	0.0489	0.0793	0.1281	0.0375	0.0809	0.1064	0.0255	0.0388	0.0652	ورن ها	0.0652
نوع معیار	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	نوع معیار	0.0652
سیستم‌ها	L	M	U	L	M	U	L	M	U	L	M	U	L	M	U	L	سیستم‌ها	0.0652
سیستم‌ها	1	3	5	3	5	7	1	3	5	7	9	5	7	9	1	3	سیستم‌ها	0.0652
سیستم‌ها	9	10	10	9	10	10	3	7	5	3	7	5	3	1	0	7	سیستم‌ها	0.0652
سیستم‌ها	9	10	10	9	10	10	3	7	5	3	7	5	3	1	0	7	سیستم‌ها	0.0652
تجهیزات	1	3	5	1	3	5	1	3	5	1	3	5	1	3	5	1	تجهیزات	0.0652
سیستم‌ها	9	10	10	9	10	10	3	7	5	3	7	5	3	1	0	7	سیستم‌ها	0.0652
سیستم‌ها	9	10	10	9	10	10	3	7	5	3	7	5	3	1	0	7	سیستم‌ها	0.0652
سیستم‌ها	5	7	9	3	5	7	1	3	5	1	3	5	1	3	5	1	سیستم‌ها	0.0652

شکل (۴-۴) ماتریس تصمیم کارشناس اول

۴-۱-۳-۶- نرمال سازی ماتریس تصمیم گیری ترکیب شده فازی

در این مرحله بایستی تصمیم‌گیری ترکیب شده فازی نظرات کارشناسان را به یک ماتریس بدون مقیاس (نرمال) تبدیل نمود. برای بدست آوردن این ماتریس، کافی است طبق روش بی‌مقیاس سازی خطی اگر معیارها مثبت (Beneficial) هستند از رابطه اول و اگر منفی (Cost) است از رابطه دوم استفاده می‌شود:

$$\tilde{n}_{ij} = \left(\frac{l_{ij}}{u_j^*}, \frac{m_{ij}}{u_j^*}, \frac{u_{ij}}{u_j^*} \right) \quad \text{رابطه (۴-۶) اگر معیار بار مثبت داشته باشد}$$

$$u_j^* = \max(u_{ij})$$

رابطه (۷-۴) اگر معیار بار منفی داشته باشد

$$\tilde{n}_{ij} = \left(\frac{l_j^-}{u_{ij}}, \frac{l_j^-}{u_{ij}}, \frac{l_j^-}{u_{ij}} \right)$$

$$l_j^- = \min(l_{ij})$$

ماتریس فایبک			هزینه اجزاء...			کارایی و ...			هزینه تعمیر...			راحتی در ...			سهولت آید...			مدت زمان...		
U	M	L	U	M	L	U	M	L	U	M	L	U	M	L	U	M	L	U	M	L
3.8	1.8	0.4	9.6	8.2	6.2	9.8	8.8	7	2.6	0.8	0	7	5	3	5.8	3.8	1.8	سیستم‌های شناساگر		
3.8	1.8	0.4	9.2	7.8	5.8	9.8	8.8	7	3	1	0	7	5	3	5.8	3.8	1.8	سیستم‌های اطلاع حریق		
9.4	8.2	6.2	4.2	2.2	0.6	6.2	4.2	2.2	9.2	7.8	5.8	10	9.8	8.6	10	9.8	8.6	سیستم‌های اطفاء حریق خود...		
9.2	7.8	5.8	4.2	2.2	0.6	5.4	3.4	1.6	9	7.4	5.4	9.6	8.4	6.6	9.6	8.8	7.4	سیستم‌های مکانیزه اطفاء حریق...		
3.2	2.2	1.8	10	10	9	10	10	9	3.8	1.8	0.4	6.2	4.2	2.2	4.2	2.2	0.6	تجهیزات اطفاء حریق دستی		
10	10	9	1	0	0	7.6	5.8	3.8	3.4	1.4	0.2	7.4	5.4	3.4	10	10	9	سیستم‌های فرار و خروج اضطر...		
10	9.8	8.6	1	0	0	7.6	6	4.2	3.4	1.6	0.4	10	10	9	10	10	9	سیستم‌های محافظت از سازه...		
6.6	4.6	2.6	6.2	4.2	2.2	7	5	3	5.8	3.8	1.8	7	5	3	7	5	3	سیستم‌های مکانیزه کاهش دود...		

شکل (۵-۴) نرمال سازی ماتریس تصمیم گیری ترکیب شده فازی

۷-۱-۳-۴- محاسبه ماتریس تصمیم نرمال وزین فازی

در این مرحله ماتریس تصمیم نرمالیزه شده موزون را می‌توان با ضرب وزن معیارها در ماتریس تصمیم فازی نرمالیزه شده مرحله قبل محاسبه نمود. در این مطالعه، وزن معیارها با استفاده از نظر کارشناسان اشاره شده، با استفاده FAHP محاسبه گردید. جهت انجام محاسبه می‌بایست نظیر به نظیر مولفه‌ها ماتریس تصمیم را در وزن مربوطه ضرب نمود.

رابطه (۸-۴) محاسبه ماتریس تصمیم نرمال وزین فازی

$$\tilde{v}_{ij} = \tilde{r}_{ij} \otimes \tilde{w}_{ij}$$

$$i = 1, 2, \dots, m$$

$$j = 1, 2, \dots, n$$

ماتریس وزین			هزینه اجزاء...			کارایی و ...			هزینه تعمیر...			راحتی در ...			سهولت آید...			مدت زمان...		
U	M	L	U	M	L	U	M	L	U	M	L	U	M	L	U	M	L	U	M	L
0.0652	0.0086	0.0027	0.1021	0.0663	0.0232	0.1255	0.0698	0.0342	0	0	0	0.3404	0.1571	0.0622	0.1697	0.0495	0.0184	سیستم‌های شناساگر		
0.0652	0.0086	0.0027	0.0979	0.0631	0.0217	0.1255	0.0698	0.0342	0	0	0	0.3404	0.1571	0.0622	0.1697	0.0495	0.0184	سیستم‌های اطلاع حریق		
0.0042	0.0019	0.0011	0.0447	0.0178	0.0022	0.0794	0.0333	0.0108	0	0	0	0.4863	0.3079	0.1783	0.0355	0.0192	0.0107	سیستم‌های اطفاء حریق خود...		
0.0045	0.002	0.0011	0.0447	0.0178	0.0022	0.0692	0.027	0.0078	0	0	0	0.4668	0.2639	0.1368	0.0413	0.0214	0.0111	سیستم‌های مکانیزه اطفاء حریق...		
0.0145	0.0071	0.0032	0.1064	0.0809	0.0338	0.1281	0.0793	0.044	0	0	0	0.3015	0.132	0.0456	0.5091	0.0855	0.0254	تجهیزات اطفاء حریق دستی		
0.0029	0.0016	0.001	0.0106	0	0	0.0974	0.046	0.0186	0	0	0	0.3599	0.1697	0.0705	0.0339	0.0188	0.0107	سیستم‌های فرار و خروج اضطر...		
0.003	0.0016	0.001	0.0106	0	0	0.0974	0.0476	0.0205	0	0	0	0.4863	0.3142	0.1866	0.0339	0.0188	0.0107	سیستم‌های محافظت از سازه...		
0.01	0.0034	0.0015	0.066	0.034	0.0082	0.0897	0.0396	0.0147	0	0	0	0.3404	0.1571	0.0622	0.1018	0.0376	0.0153	سیستم‌های مکانیزه کاهش دود...		

شکل (۶-۴) ماتریس تصمیم نرمال وزین فازی

۸-۱-۳-۴- تعیین گزینه ایده‌آل مثبت و ایده‌آل منفی

در این گام باید ایده‌آل مثبت و ایده‌آل منفی ماتریس محاسبه گردد. به این منظور ایده‌آل مثبت برابر با بزرگترین درایه هر ستون معیار و ایده‌آل منفی برابر با کوچکترین درایه هر ستون معیار در نظر گرفته شد.

رابطه (۹-۴) تعیین گزینه ایده‌آل مثبت و ایده‌آل منفی

$$A^+ = (\tilde{v}_1^*, \tilde{v}_2^*, \dots, \tilde{v}_n^*) \text{ where } \tilde{v}_j^* = (\tilde{c}_j^*, \tilde{c}_j^*, \dots, \tilde{c}_j^*) \text{ and } \tilde{c}_j^* = \max_i \{\tilde{c}_{ij}\}$$

$$A^- = (\tilde{v}_1^-, \tilde{v}_2^-, \dots, \tilde{v}_n^-) \text{ where } \tilde{v}_j^- = (\tilde{a}_j^-, \tilde{a}_j^-, \dots, \tilde{a}_j^-) \text{ and } \tilde{a}_j^- = \min_j \{\tilde{a}_{ij}\}$$

راه حل ها			هزینه اجزاء...			کارایی و ...			هزینه تعمیر...			راحتی در ...			سهولت آید...			مدت زمان...		
U	M	L	U	M	L	U	M	L	U	M	L	U	M	L	U	M	L	U	M	L
0.0652	0.0652	0.0652	0.1064	0.1064	0.1064	0.1281	0.1281	0.1281	0	0	0	0.4863	0.4863	0.4863	0.5091	0.5091	0.5091	ایده آل		
0.001	0.001	0.001	0	0	0	0.0078	0.0078	0.0078	0	0	0	0.0456	0.0456	0.0456	0.0107	0.0107	0.0107	بد ایده آل		

شکل (۷-۴) تعیین گزینه ایده‌آل مثبت و ایده‌آل منفی

۹-۱-۳-۴ محاسبه اندازه فاصله از ایده‌آل مثبت و ایده‌آل منفی فازی

در این مرحله مجموع فواصل هر یک از مولفه‌ها، از ایده‌آل مثبت فازی و ایده‌آل منفی فازی بصورت جداگانه، از طریق روابط زیر محاسبه می‌گردد که هر دو شبیه همدیگر هستند اما رابطه اول فاصله از ایده‌آل مثبت و رابطه دوم فاصله از ایده‌آل منفی در نظر گرفته می‌شود:

رابطه (۱۰-۴) محاسبه اندازه فاصله از ایده‌آل مثبت و ایده‌آل منفی فازی

$$d^+ = d(x, y) = \sqrt{\frac{1}{3}[(a_1 - a_2)^2 + (b_1 - b_2)^2 + (c_1 - c_2)^2]}$$

$$d^- = d(x, y) = \sqrt{\frac{1}{3}[(a_1 - a_2)^2 + (b_1 - b_2)^2 + (c_1 - c_2)^2]}$$

فاصله تا راه حل ایده‌آل	هزینه اجرا...	کارایی و ...	هزینه تعم...	راحتی در ...	سهولت ا...	مدت زمان...	+S
سیستم‌های شناساگر	0.4348	0.3212	0	0.0638	0.0533	0.0487	0.9219
سیستم‌های اعلان حریق	0.4348	0.3212	0	0.0638	0.0551	0.0487	0.9236
سیستم‌های اطفاء حریق خود...	0.4874	0.2055	0	0.0915	0.0866	0.0628	0.9339
سیستم‌های مکانیزه اطفاء حر...	0.4847	0.2394	0	0.0969	0.0866	0.0627	0.9703
تجهیزات اطفاء حریق دستی	0.3712	0.3435	0	0.0561	0.0445	0.0571	0.8724
سیستم‌های قرار و خروج اضطر...	0.4881	0.3105	0	0.081	0.103	0.0634	1.0459
سیستم‌های محافظت از سازه...	0.4881	0.1995	0	0.0796	0.103	0.0633	0.9335
سیستم‌های مکانیزه کاهش د...	0.459	0.3212	0	0.086	0.0742	0.0603	1.0007
فاصله تا راه حل ضد ایده‌آل	هزینه اجرا...	کارایی و ...	هزینه تعم...	راحتی در ...	سهولت ا...	مدت زمان...	-S
سیستم‌های شناساگر	0.0946	0.1822	0	0.0783	0.0716	0.0373	0.464
سیستم‌های اعلان حریق	0.0946	0.1822	0	0.0783	0.0684	0.0373	0.4609
سیستم‌های اطفاء حریق خود...	0.0152	0.3058	0	0.0439	0.0278	0.0019	0.3946
سیستم‌های مکانیزه اطفاء حر...	0.0187	0.2789	0	0.0371	0.0278	0.0021	0.3646
تجهیزات اطفاء حریق دستی	0.2911	0.1559	0	0.0834	0.0796	0.0086	0.6187
سیستم‌های قرار و خروج اضطر...	0.0142	0.1956	0	0.0565	0.0061	0.0011	0.2736
سیستم‌های محافظت از سازه...	0.0142	0.3089	0	0.057	0.0061	0.0012	0.3875
سیستم‌های مکانیزه کاهش د...	0.0549	0.1822	0	0.0509	0.0431	0.0054	0.3365

شکل (۸-۴) محاسبه اندازه فاصله از ایده‌آل مثبت و ایده‌آل منفی فازی

۱۰-۱-۳-۴ محاسبه d_i^+ و d_i^- برای گزینه‌ها

در این بخش با جمع نتایج مرحله قبل برای هر گزینه (هر سطر)، d_i^+ را برای جدول ایده‌آل مثبت فازی و d_i^- را برای جدول ایده‌آل منفی فازی طبق روابط زیر محاسبه می‌شود.

رابطه (۱۱-۴) محاسبه d_i^+ و d_i^- برای گزینه‌ها

$$d_i^+ = \sum_{j=1}^n dv(\tilde{v}_{ij}, \tilde{v}_j^*), \quad i = 1, 2, \dots, m$$

$$d_i^- = \sum_{j=1}^n dv(\tilde{v}_{ij}, \tilde{v}_j^-), \quad i = 1, 2, \dots, m$$

۱۱-۱-۳-۴ محاسبه ضریب نزدیکی و اولویت‌بندی گزینه‌ها

در این گام با تعیین ضریب نزدیکی یا شاخص شباهت برای هر گزینه از نتایج مرحله قبل، رتبه‌بندی تمامی گزینه‌ها (Alternative) می‌تواند محاسبه شود، ضریب نزدیکی هر گزینه به صورت زیر محاسبه می‌شود:

رابطه (۱۲-۴) محاسبه ضریب نزدیکی و اولویت‌بندی گزینه‌ها

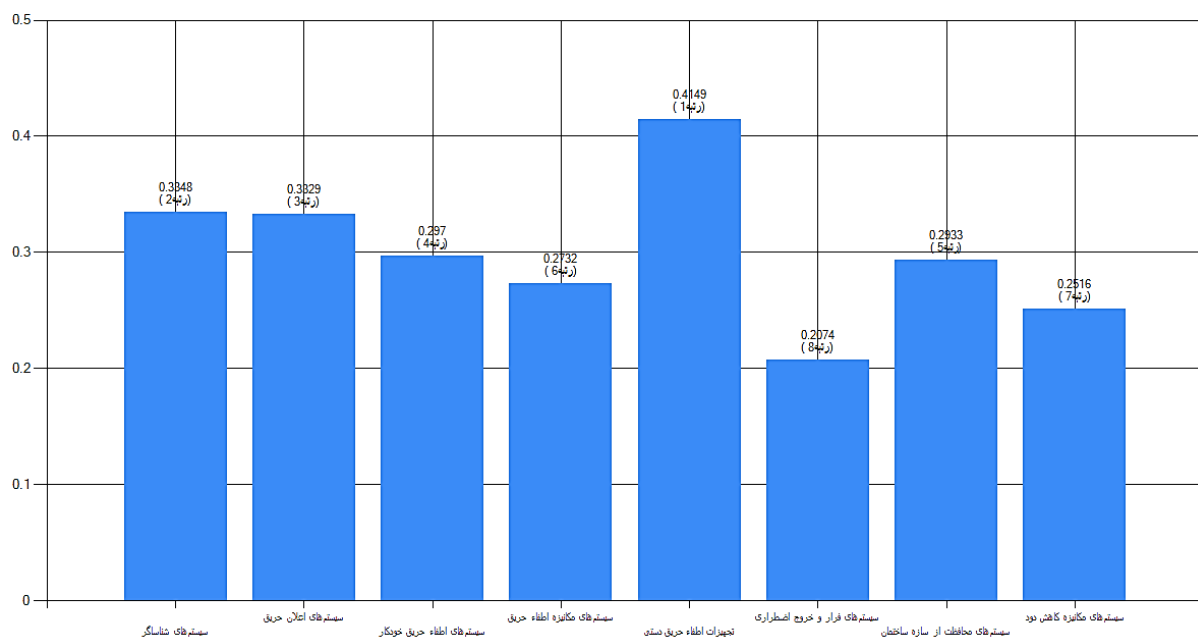
$$C_i = \frac{d_i^-}{d_i^+ + d_i^-}$$

۱۲-۱-۳-۴ رتبه‌بندی گزینه‌ها (لایه‌های حفاظتی)

در گام پایانی و بر اساس نتایج به دست آمده مرحله قبل، C_i به ترتیب نزولی مرتب می‌شود. حال می‌توان گزینه‌ها را رتبه‌بندی کرد و در خصوص بهترین گزینه تصمیم‌گیری لازم را انجام داد.

رتبه	شباهت	نتیجه
2	0.3348	سیستم‌های شناساگر
3	0.3329	سیستم‌های اعلان حریق
4	0.297	سیستم‌های اطفاء حریق خودکار
6	0.2732	سیستم‌های مکانیزه اطفاء حریق
1	0.4149	تجهیزات اطفاء حریق دستی
8	0.2074	سیستم‌های فرار و خروج اضطراری
5	0.2933	سیستم‌های محافظت از سازه ساختمان
7	0.2516	سیستم‌های مکانیزه کاهش دود

شکل (۹-۴) رتبه‌بندی گزینه‌ها



شکل (۱۰-۴) رتبه‌بندی گزینه‌ها بر روی نمودار خروجی از نرم افزار تاپسیس فازی سولور (BT Fuzzy TOPSIS Solver)

رتبه	شباهت	نتیجه
2	0.3348	سیستم‌های شناساگر
3	0.3329	سیستم‌های اعلان حریق
4	0.297	سیستم‌های اطفاء حریق خودکار
6	0.2732	سیستم‌های مکانیزه اطفاء حریق
1	0.4149	تجهیزات اطفاء حریق دستی
8	0.2074	سیستم‌های فرار و خروج اضطراری
5	0.2933	سیستم‌های محافظت از سازه ساختمان
7	0.2516	سیستم‌های مکانیزه کاهش دود

۸۶

فصل ۵- جمع‌بندی و پیشنهادها

۵-۱- بحث و نتیجه‌گیری

رشد شهرنشینی و محدود بودن زمین در مراکز شهرهای بزرگ دنیا موجب استفاده از ساختمان‌های بلند شده است. با افزایش جمعیت و گسترش روز افزون ساخت برج‌های مسکونی، تجاری و اداری در تهران و سایر شهرهای بزرگ ایران، باید ایمنی این گونه ساختمان‌ها در برابر آتش‌سوزی مورد توجه قرار گیرد. موقعیت مکانی و جغرافیایی منطقه ۱ سازمان ایمنی و آتش‌نشانی تهران، در منطقه ۵ شهرداری تهران واقع شده است. این منطقه با توجه به تعداد زیاد ساختمان‌های بلند چه به لحاظ تجاری، اداری و چه به لحاظ مسکونی معروف می‌باشد. کمک و امدادرسانی در این ساختمان‌های بلند در هنگام بروز حوادث آتش‌سوزی با مشکلات بسیاری زیادی همراه می‌باشد و احتمال شدت یافتن پیامد و همچنین خسارت به ساختمان، تجهیزات، اموال و سرمایه ساکنین و نفرات وجود دارد، لذا ضروری به نظر می‌رسد تا ساختمان‌های بلند که در این منطقه از تهران قرار گرفته‌اند خود دارای سیستم‌های شناساگر دود و حریق و لایه‌های حفاظتی پیشگیری کننده حریق و کاهنده شدت پیامد ناشی از حریق باشند تا در صورت تاخیر و یا عدم کمک رسانی و امداد به موقع و سریع ایستگاه‌های خدمات ایمنی و آتش‌نشانی منطقه ۱ سازمان آتش‌نشانی تهران از گسترده‌گی حریق جلوگیری بعمل آمده و از سرمایه و اموال ساکنین و جان آنها محافظت شود. اما اولویت قرارگیری این لایه‌های حفاظتی خود یکی از مباحث مهم در بکارگیری آنها می‌باشد، لذا در این تحقیق به بررسی و رتبه‌بندی لایه‌های حفاظتی پیشگیری کننده از حریق و لایه‌های حفاظتی کاهنده شدت پیامد ناشی از بروز رویداد حریق بر اساس معیارهای انتخابی در ساختمان‌های بلند منطقه ۱ سازمان آتش‌نشانی تهران پرداخته شد. در ابتدا جهت انجام پژوهش با موضوع "اولویت لایه‌های حفاظتی پیشگیری و مقابله با حریق در ساختمان‌های بلند به روش AHP (مطالعه موردی: منطقه ۱ آتش‌نشانی تهران)" متدلوژی انجام تحقیق به رشته تحریر درآمد. سپس تیم مطالعاتی شامل بر ۵ کارشناس از تیم ایستگاه آتش‌نشانی شماره ۵۵ منطقه ۱ آتش‌نشانی تهران بزرگنسبت به اولویت بندی عناصر و آیتم‌های لایه‌های حفاظتی اقدام نمودند. این افراد شامل بر نفرات مشروحه زیر می‌باشند که مشخصات کامل آنها در فصول قبل ذکر شده است.

- رئیس ایستگاه آتش‌نشانی
- سرپرست ایستگاه آتش‌نشانی
- فرمانده شیفت ایستگاه آتش‌نشانی
- معاون ۱ فرمانده شیفت ایستگاه آتش‌نشانی
- معاون ۲ فرمانده شیفت ایستگاه آتش‌نشانی

در مرحله بعد برنامه‌ریزی به منظور برگزاری جلسات منظم جهت شناسایی لایه‌های حفاظتی پیشگیری کننده از بروز حریق (Preventive Measurements) و لایه‌های حفاظتی کاهنده شدت پیامد ناشی از بروز رویداد حریق در ساختمان‌های بلند مرتبه و تهیه لیست کاملی از این لایه‌های حفاظتی که ضرورت بکارگیری آنها در مقرات ملی و بین‌المللی، حفاظت ساختمان‌ها در مقابل حریق اقدام گردیده است. لایه‌های حفاظتی شناسایی شده به قرار زیر می‌باشد:

- سیستم‌های شناساگر (شناساگر گاز قابل اشتعال، شناساگر دود، شناساگر حرارت، شناساگر آتش)
- سیستم‌های اعلان حریق (پیچرها و هشدار دهنده‌های بروز حادثه)

- سیستم‌های اطفاء حریق خودکار (سیستم‌های اینسپرینکلر آب و دی اکسید کربن و FM200)
 - سیستم‌های مکانیزه اطفاء حریق مبتنی بر دخالت انسان (فایر باکس و Hose Reel)
 - تجهیزات اطفاء حریق دستی (کپسول‌های اطفاء حریق آب، CO₂، فوم و پودر و گاز)
 - سیستم‌های فرار و خروج اضطراری (راه پله فرار، سرسره فرار)
 - سیستم‌های محافظت از سازه ساختمان (عایق حرارتی سازه ساختمان و درب‌های ضد حریق)
 - سیستم‌های مکانیزه کاهش دود (جت فن‌ها)
- سپس در این مطالعه به منظور، اولویت‌بندی لایه‌های حفاظتی پیشگیری کننده از حریق (Preventive Measurements) و همچنین لایه‌های حفاظتی کاهنده شدت پیامد ناشی از بروز رویداد (Mitigative Measurements)، معیارهایی مشخص گردید. معیارهای منتخب عبارتند از:
- هزینه اجرای لایه حفاظتی
 - کارایی و قابلیت اطمینان لایه حفاظتی
 - هزینه تعمیر و نگهداری
 - راحتی در تعمیر و نگهداری
 - سهولت اجرای لایه حفاظتی
 - مدت زمان اجرای لایه حفاظتی
 - نظرخواهی از کارشناسان در خصوص اولویت‌بندی معیارهای انتخابی
- پس از مشخص شدن معیارها، اولویت بندی معیارها با استفاده از تکنیک Fuzzy AHP با تهیه فرم نظرخواهی از خبرگان بر اساس تکنیک (FAHP) اقدام شد و کارشناسان بر اساس جدول امتیازدهی نسبت به امتیازدهی به معیارهای انتخابی اقدام نمودند. سپس فرم‌های تکمیل شده جمع‌آوری گردید و داده‌ها به فایل تنظیم شده در نرم‌افزار Microsoft Excel 2019 انتقال داده شد. اوزان نهایی برای اولویت بندی معیارها به قرار جدول زیر می‌باشد:

جدول (۱-۵) اوزان نهایی برای اولویت‌بندی معیارها

	معیارهای رتبه بندی لایه های حفاظتی	اوزان نرمال سازی شده برای معیارها	درصد وزنی
W1	هزینه اجرای لایه حفاظتی	0.3105	31.05%
W2	کارایی و قابلیت اطمینان لایه حفاظتی	0.3127	31.27%
W3	هزینه تعمیر و نگهداری	0.1938	19.38%
W4	راحتی در تعمیر و نگهداری	0.0795	7.95%
W5	سهولت اجرای لایه حفاظتی	0.0632	6.32%
W6	مدت زمان اجرای لایه حفاظتی	0.0402	4.02%

همانگونه که از نتایج جدول (۴-۷) از مطالعات در جدول فوق الذکر نشان داده شده است، در رتبه اول کارایی و قابلیت اطمینان لایه حفاظتی قرار دارد. در رتبه بعدی هزینه اجرای لایه حفاظتی می‌باشد که این موضوع بسیار به واقعیت نزدیک است. در هر پروژه‌ای، هزینه اجرای لایه حفاظتی و کارایی آن تقریباً در یک سطح قرار داشته و این دو مقوله بسیار مهم و تاثیر گذار می‌باشد. زیرا یکی از دلایل عدم اجرای لایه‌های حفاظتی

هزینه بالای این اقلام، تجهیزات و تمهیدات می‌باشد. در آیتم شماره ۳، هزینه تعمیر و نگهداری تجهیزات، ادوات و تمهیدات مورد نظر برای پیشگیری و کاهش شدت پیامد ناشی از حریق می‌باشد. اگر هزینه تعمیر و نگهداری از این تجهیزات بسیار بالا باشد و مقرون به صرفه نباشد لذا پس از مدتی این تعمیر و نگهداری رها شده و تجهیزات کارایی و قابلیت اطمینان خود را از دست خواهند داد.

پس از اولویت بندی و وزن دهی به معیارها بر اساس نظرات کارشناسان، نوبت به اولویت بندی لایه های حفاظتی بر اساس معیارهای وزن دهی شده رسید، در این مرحله، فرم نظرخواهی بین کارشناسان جهت درج نظرات خود در خصوص اولویت گزینه‌ها توزیع گردید. اولویت‌بندی گزینه‌ها بر اساس معیارهای انتخابی با استفاده از تکنیک ترجیح براساس مشابهت به راه حل ایده‌آل فازی (Fuzzy TOPSIS)^۱ انجام گردید. اولویت بندی گزینه‌ها بر اساس معیارها با استفاده از تکنیک TOPSIS فازی در جدول زیر نشان داده شده است.

جدول (۵-۲) اولویت‌بندی لایه‌های حفاظتی با استفاده از تکنیک Fuzzy TOPSIS بر اساس معیارهای انتخابی

رتبه	شباهت	لایه‌های حفاظتی
۲	۰/۳۳۴۸	سیستم‌های شناساگر (شناساگر گاز قابل اشتعال، شناساگر دود، شناساگر حرارت، شناساگر آتش)
۳	۰/۳۳۲۹	سیستم‌های اعلان حریق (پیچرها و هشدار دهنده‌های بروز حادثه)
۴	۰/۲۹۷۰	سیستم‌های اطفاء حریق خودکار (سیستم‌های اینسپرینکلر آب و دی اکسید کربن و FM200)
۶	۰/۲۷۳۲	سیستم‌های مکانیزه اطفاء حریق مبتنی بر دخالت انسان (فایر باکس و Hose Reel)
۱	۰/۴۱۴۹	تجهیزات اطفاء حریق دستی (کپسول‌های اطفاء حریق آب، CO ₂ ، فوم و پودر و گاز)
۸	۰/۲۰۷۴	سیستم‌های فرار و خروج اضطراری (راه پله فرار، سرسره فرار)
۵	۰/۲۹۳۳	سیستم‌های محافظت از سازه ساختمان (عایق حرارتی سازه ساختمان و درب‌های ضد حریق)
۷	۰/۲۵۱۶	سیستم‌های مکانیزه کاهش دود (جت فن‌ها)

۵-۲- پاسخ به فرضیات تحقیق

فرضیه (۱): استفاده از تکنیک‌های منطق فازی می‌تواند از عدم موجود در تکنیک‌های تصمیم‌گیری AHP و TOPSIS بکاهد.

روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی فازی (FAHP) روشی برای تحلیل ماتریس مقایسه زوجی با استفاده از منطق فازی می‌باشد. در روش مرسوم فرآیند تحلیل سلسله مراتبی از شایستگی‌ها و توانایی‌های ذهنی افراد خبره برای انجام مقایسات استفاده می‌شود. اما باید به این نکته توجه داشت که مقایسه زوجی به روش سنتی، امکان انعکاس سبک تفکر انسانی را بطور کامل نداد. استفاده از اعداد فازی سازگاری بیشتری با عبارات کلامی و گاه مبهم انسانی دارد بنابراین بهتر است که با بکارگیری اعداد فازی به تصمیم‌گیری در دنیای واقعی پرداخت. دو پژوهشگر هلندی به نام فان لارهون و پدریک در سال ۱۹۸۳ برای نخستین بار روشی را برای فرآیند تحلیل سلسله مراتبی فازی پیشنهاد نمودند. این روش با جایگزینی اعداد فازی مثلثی در ماتریس مقایسه‌های زوجی و بر مبنای حداقل مجذورات لگاریتمی بنا نهاده شده است. پیچیدگی مراحل این روش باعث شده این روش چندان مورد استفاده قرار نگیرد. پس از آن روش‌های متعددی برای فرآیند

^۱ Fuzzy Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution (FTOPSIS)

تحلیل سلسله مراتبی فازی پیشنهاد شد:

تفکرات انسان همراه با عدم قطعیت است یعنی زمانی که داده‌های مساله از دقت کمتری برخوردار است یا به عبارت دیگر امکان تعیین دقیق مقادیر برای وضعیت گزینه‌ها نسبت به هر یک از معیارها وجود ندارد، عدم قطعیت ایجاد می‌گردد که این عدم قطعیت در روند تصمیم‌گیری تاثیر گذار است. به همین دلیل از روش‌های تصمیم‌گیری فازی استفاده می‌گردد که یکی از این روش‌ها تاپسیس فازی برای رتبه‌بندی گزینه‌ها (Alternatives) می‌باشد. در این حالت عنا صر ماتریس تصمیم‌گیری، یا وزن‌های شاخص‌ها و یا هر دوی آنها به صورت فازی و با اعداد فازی بیان می‌گردند.

تفاوت تاپسیس فازی و تاپسیس معمولی در این است که تاپسیس فازی برای رتبه‌بندی گزینه‌ها از خاصیت فازی و غیرقطعی (۰ و ۱) که بیشتر ماهیت فازی و غیرقطعی پدیده‌های طبیعی را در امر رتبه‌بندی لحاظ می‌نماید، استفاده می‌کند. یا به عبارت دیگر تاپسیس فازی از مقادیر پیوسته و تاپسیس از مقادیر گسسته استفاده می‌کند. اما مدل تاپسیس فازی و تاپسیس معمولی هر دو دارای این شباهت هستند که برای رتبه‌بندی گزینه‌ها، از تصمیم‌گیری چند معیاره استفاده می‌کنند.

فرضیه (۲): مهمترین معیار در رتبه‌بندی و اولویت‌بندی در اجرای لایه‌های حفاظتی، معیار هزینه می‌باشد. همانطور که در جدول (۵-۳) اوزان نهایی برای اولویت‌بندی معیارها، نشان داده شده اوزان نهایی برای اولویت بندی معیارها به قرار جدول زیر می‌باشد. بر اساس نظرخواهی از خبرگان و کارشناسان حاضر در این مطالعه مهمترین معیار برای اجرای لایه حفاظتی در درجات اول، کارایی و قابلیت اطمینان لایه حفاظتی و همچنین هزینه اجرای لایه حفاظتی می‌باشد. بطور کلی مقوله کارایی و هزینه در اجرای پروژه‌ها بسیار مهم می‌باشد. همچنین در مرتبه بعدی هزینه تعمیر و نگهداری از آن می‌اشد زیرا هر چه هزینه تعمیر و نگهداری لایه حفاظتی اعمال شده بیشتر باشد تمایل برای اجرای آن کاسته شده و همچنین از نظر مالی نیز به صرفه نخواهد بود.

جدول (۵-۳) اوزان نهایی برای اولویت‌بندی معیارها

	درصد وزنی	اوزان نرمال سازی شده برای معیارها	معیارهای رتبه بندی لایه های حفاظتی
W1	31.05%	0.3105	هزینه اجرای لایه حفاظتی
W2	31.27%	0.3127	کارایی و قابلیت اطمینان لایه حفاظتی
W3	19.38%	0.1938	هزینه تعمیر و نگهداری
W4	7.95%	0.0795	راحتی در تعمیر و نگهداری
W5	6.32%	0.0632	سهولت اجرای لایه حفاظتی
W6	4.02%	0.0402	مدت زمان اجرای لایه حفاظتی

فرضیه (۳): نصب سیستم‌های اعلان دارای اولویت بیشتری نسبت به سایر لایه‌های حفاظتی می‌باشد. همانطور که در جدول زیر نشان داده شده است با توجه به وزن معیارهای انتخابی، سیستم‌های شناساگر و اعلان در رتبه‌های دو و سه قرار دارند.

جدول (۴-۵) اولویت‌بندی لایه‌های حفاظتی با استفاده از تکنیک Fuzzy TOPSIS بر اساس معیارهای انتخابی

رتبه	شباهت	لایه‌های حفاظتی
۲	۰/۳۳۴۸	سیستم‌های شناساگر (شناساگر گاز قابل اشتعال، شناساگر دود، شناساگر حرارت، شناساگر آتش)
۳	۰/۳۳۲۹	سیستم‌های اعلان حریق (پیچرها و هشدار دهنده‌های بروز حادثه)
۴	۰/۲۹۷۰	سیستم‌های اطفاء حریق خودکار (سیستم‌های اینسپرینکلر آب و دی اکسید کربن و FM200)
۶	۰/۲۷۳۲	سیستم‌های مکانیزه اطفاء حریق مبتنی بر دخالت انسان (فایر باکس و Hose Reel)
۱	۰/۴۱۴۹	تجهیزات اطفاء حریق دستی (کپسول‌های اطفاء حریق آب، CO ₂ ، فوم و پودر و گاز)
۸	۰/۲۰۷۴	سیستم‌های فرار و خروج اضطراری (راه پله فرار، سرسره فرار)
۵	۰/۲۹۳۳	سیستم‌های محافظت از سازه ساختمان (عایق حرارتی سازه ساختمان و درب‌های ضد حریق)
۷	۰/۲۵۱۶	سیستم‌های مکانیزه کاهش دود (جت فن ها)

۳-۵- نوآوری تحقیق

موارد اشاره شده در عبارات زیر می‌تواند جنبه‌ای از نوآوری در این پژوهش را نشان دهد:

- انجام مطالعات در منطقه ۱ آتش‌نشانی تهران بزرگ، ایستگاه شماره ۵۵
- استفاده از تکنیک‌های تلفیقی در مطالعه
- بکارگیری ۵ کارشناس در نظرخواهی از خبرگان
- استفاده از تکنیک تصمیم‌گیری FAHP و Fuzzy TOPSIS
- استفاده از نرم‌افزار تاپسیس فازی سولور (BT Fuzzy TOPSIS Solver)

۴-۵- پیشنهادات تحقیق

۱-۴-۵- پیشنهادات پژوهشی تحقیقی

- پیشنهاد می‌شود با توجه به معیارهای وزن دهی شده و همچنین لایه‌های حفاظتی اولویت‌بندی شده، برج‌های بلند و ساختمان‌های مرتفع در منطقه ۵ شهرداری تهران (منطقه ۱ آتش‌نشانی تهران بزرگ) اولویت‌بندی شوند.
- پیشنهاد می‌شود از سایر روش‌های تصمیم‌گیری مانند VIKOR و Fuzzy VIKOR و سایر روش‌های مشابه نیز استفاده شود و نتایج با نتایج حاصله از این مطالعه مقایسه شود.
- پیشنهاد می‌شود این مطالعه با روش‌های غیرفازی نیز انجام شود و با نتایج حاصل از این مطالعه مقایسه شود.
- پیشنهاد می‌شود سایر معیارها و سایر لایه‌های حفاظتی نیز مورد مطالعه قرار گیرد.
- پیشنهاد می‌شود تا در مطالعه‌ای جداگانه رفتار دود و حریق در ساختمان‌های منتخب منطقه ۱ آتش‌نشانی تهران با نرم‌افزارهای CFD مانند Pyrosim مدلسازی شود.

۵-۴-۲- پیشنهادات اجرایی تحقیق

- پیشنهاد می‌شود از نتایج این تحقیق در مطالعات ارزیابی ریسک ساختمان‌های بلند استفاده شود.
- پیشنهاد می‌شود بکارگیری لایه‌های حفاظتی سه رتبه‌ول در تمامی ساختمان‌های ساخته شده اجباری شود.
- پیشنهاد می‌شود لایه‌های حفاظتی رتبه ۴، ۵ و ۶ برای ساختمان‌های در حال ساخت اجباری شود.

۵-۵- محدودیت‌های تحقیق

- یکی از مهمترین محدودیت‌ها در این تحقیق، هماهنگی با کارشناسان به منظور جمع‌آوری نظرات ایشان می‌باشد. با توجه به اینکه تیم آتش‌نشانی یک تیم عملیاتی می‌باشد هماهنگی جلسات یکی از مهمترین محدودیت‌ها در این تحقیق می‌باشد.

مراجع

فهرست مراجع فارسی

- بهزادی، حسن. محتشم نیا، سعید. قره دای، حسین. ۱۳۹۷. پهنه‌بندی خطر آتش‌سوزی مراتع و جنگل‌ها با استفاده از GIS و مدل AHP (مطالعه موردی: پارک ملی بمو). دوره ۲۵. شماره ۴ (پیاپی ۷۳). زمستان ۱۳۹۷. صفحات ۸۱۷-۸۲۸.
- حسینی، مرتضی. میراکبری، سیدفرشید. ۱۳۹۶. نقش اجرای سیستم‌های اعلام و اطفاء حریق در ساختمان‌های بلند در کاهش آتش‌سوزی، سومین همایش ملی آتش‌نشانی و ایمنی شهری، تهران.
- حکم‌آبادی، رجبعلی. مهدی نیا، محسن. زارع، رحمان. میرزایی، محمد. کهساری، پریرسا. ۱۳۹۶. ارزیابی ریسک حریق در یک مجتمع بیمارستانی با استفاده از مهندسی ریسک حریق (FRMAE). مجله دانشگاه علوم پزشکی خراسان شمالی. سال ۱۳۹۶. دوره ۹. شماره ۲. صفحات ۱۷۳ تا ۱۸۲.
- خاک‌کار، ساحل. رنجبریان، محمد. خداکریم، سهیلا. پویاکیان، مصطفی. ۱۳۹۹. ارزیابی ریسک حریق در مجتمع‌های تجاری منطقه ۱۲ تهران و ارتباط آن با ویژگی‌های سازه‌ای و کاربری آن‌ها. فصلنامه بهداشت و ایمنی کار. جلد ۱۰. شماره ۳. پاییز ۱۳۹۹. صفحات ۲۷۳ تا ۲۸۹.
- رجبی، فاضل. جهانگیری، مهدی. توانا شولی، فطمه. راستگار، شیرین. ۱۳۹۸. ارزیابی ریسک حریق در ساختمان‌های تجاری چند طبقه با استفاده از سامانه ارزیابی ریسک حریق (CFSES): مطالعه موردی در شهر شیراز. مجله تحقیقات نظام سلامت. دوره ۱۵. شماره ۱. بهار ۱۳۹۸. صفحات ۷۴ تا ۸۲.
- رهنما، محمد رحیم. رزاقیان، فرزانه. ۱۳۹۲. مکانیابی ساختمان‌های بلند مرتبه با تاکید بر نظریه رشد هوشمند شهری در منطقه ۹ شهرداری مشهد. مجله آمایش جغرافیایی فضا. فصلنامه علمی-پژوهشی دانشگاه گلستان. سال سوم. شماره مسلسل نهم. پاییز ۱۳۹۲. صفحات ۴۵-۶۳.
- زید عبدی، ساغر. سبزی، زهرا. ۱۳۹۵. بلند مرتبه‌سازی در کلان شهرها (بررسی تأثیرات آن در معماری شهری). کنفرانس بین‌المللی نوآوری در علوم و تکنولوژی. بارسلون اسپانیا. ۲۳ مهر ماه ۱۳۹۵. صفحات ۵۵۴-۵۳۸.
- زیدآبادی، ابراهیم. اسدی، محسن. (۱۳۹۵). تحلیل آتش‌سوزی برج سلمان مشهد در قیاس با ساختمان JOELMA در سائوپائولو برزیل. هشتمین کنفرانس بین‌المللی مدیریت جامع بحران. تهران. دبیرخانه دائمی کنفرانس بین‌المللی مدیریت جامع بحران.
- شاکر اردکانی، محمد. سعیده، کتابی. شفیع محمد، مجید. ۱۳۹۲. رتبه‌بندی کارمندان و انتخاب سرپرستان با رویکرد ترکیبی فرآیند سلسله مراتبی فازی (FAHP) و تاپسیس فازی (FTOPSIS). نشریه مدیریت تولید و عملیات. دوره ۴. شماره ۲ (پیاپی ۷). صفحات ۱ تا ۲۲.
- شهرکی محمدرضا. واحدی نژاد، ندا. ۱۴۰۰. مدیریت و ارزیابی ریسک پروژه‌های ساخت تونل با روش ترکیبی ویکور و تحلیل سلسله مراتبی (AHP). نشریه علمی مهندسی معدن. دوره ۱۶. شماره ۵۰. بهار ۱۴۰۰. صفحه ۳۹ تا ۵۷.
- شیرالی غلامعباس، یاراحمدی، رسول. کاظمی، الهه. ۱۳۹۴. تعیین ریسک با رویکردی مهندسی و ارائه استراتژی‌های حفاظتی کاربردی در یک نیروگاه حرارتی. دو ماهنامه سلامت کار ایران. دوره ۱۲. شماره ۵. آذر و دی ماه ۱۳۹۴. صفحات ۷۵-۸۲.

- طهماسبی، حمزه امین. صادقی تملی، آرش. ۱۳۹۷. رتبه‌بندی معیارهای پیاده‌سازی سیستم مدیریت کیفیت در شرکت‌های کنترل کیفی ساختمان با استفاده از فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی فازی. نشریه مهندسی و مدیریت کیفیت. جلد ۸. شماره ۱. بهار ۱۳۹۷. صفحات ۴۹-۶۲.
- عبدالرحیمیان، محمد حسین. گنجی اشکذری، مصطفی. فیروز آبادی، الهام. شیریف‌ن‌دا. ۱۳۹۴. شناسایی و رتبه‌بندی شاخص‌های سرمایه‌انسانی با استفاده از روش تجزیه و تحلیل سلسله‌مراتبی فازی. کنفرانس بین‌المللی پژوهش‌های نوین در مدیریت، اقتصاد و حسابداری. موسسه مدیران پردازان پایتخت ایلیا. انجمن اقتصاد انرژی. سال ۱۳۹۴. دوره ۲.
- عسگری‌پور، طالب. شیرالی، غلامعباس. یاراحمدی، رسول. کاظمی، الهه. ۱۳۹۶. ارزیابی ریسک حریق و تعیین کارایی روش‌های حفاظت فعال و غیر فعال در کاهش ریسک حریق در اتاق کنترل یک ساختمان صنعتی. فصلنامه بهداشت و ایمنی کار. جلد ۸. شماره ۱. بهار ۱۳۹۷. صفحات ۹۳ تا ۱۰۳.
- فلاحی، علیرضا. محمدرضا، حافظی. عاطفه، امیدخواه. ۱۳۹۷. تاثیر برنامه‌ریزی مدیریت ایمنی آتش‌سوزی در دو ساختمان بلندمرتبه مسکونی. نشریه معماری و شهرسازی آرمان شهر. زمستان ۱۳۹۷. دوره ۱۱. شماره ۲۵. صفحات ۱۲۵-۱۳۶.
- کاله، هیرو. پویاکیان، مصطفی. اعتماد، کورش. ابوحسین. علیرضا. ۱۴۰۰. ارائه الگوریتم رتبه‌بندی ایمنی ساختمان‌های اداری با استفاده از روش تحلیل سلسله‌مراتبی فازی (FAHP). مجله علمی پژوهشی سلامت کار ایران. دوره ۱۸. شماره ۲۰. سال ۱۴۰۰.
- لیت‌کوهی، ساناز. میرشفیعی، الهه. ۱۳۹۵. نقش ساختمان‌های بلندمرتبه مسکونی بر عقاید و باور مردم، سومین کنفرانس بناهای بلند، قرچک.
- مقرات ملی ساختمان ایران، مبحث سوم، حفاظت ساختمان‌ها در مقابل حریق. وزارت راه و شهرسازی، معاونت مسکن و ساختمان. دفتر مقررات ملی ساختمان. ویرایش دوم. تهران. نشر توسعه ایران. شابک: ۹-۹۷۸-۶۰۱-۳۰۷-۰. نوبت چاپ اول. سال ۱۳۹۲.
- نهیضت، ناصر. ۱۳۹۴. آتش‌سوزی در ساختمان‌های بلند. ماهنامه پیام ایمنی. شماره ۵۳. سال دوازدهم. مهر و آبان ۱۳۹۴.

فهرست مراجع غیرفارسی

- Akhimien, Noah. Admolekum, M.O. (2017). *Fire Safety Inbuilding*. *Journal of Civil & Environmental Engineering* · January 2017.
<https://www.researchgate.net/publication/328075851>.
- Arewa, Andrew Oyen. Ahmad, Abdullah. Edwards. Daivid. Nwankwo, Chizaram. (2021). *Fire Safety in High-Rise Buildings: Is the Stay-Put Tactic a Misjudgement or Magnificent Strategy?*. *Buildings* 2021, 11, 339. <https://doi.org/10.3390/buildings11080339>.
- Kobes, M., J.Post, I. Helsloot, B. de Vries (2008) *Fire risk of high-rise buildings based on human behavior in fires*. *Conference Proceedings FSHB 2008. First International Conference on fire Safety of High-rise Buildings*. Bucharest, Romania, May 07-09, 2008.
- Li, Shi-Yu. TAO, Gange. Zhang, Li-Jing. (2017). *Fire Risk Assessment of High-Rise Building based on gray-FAHP Mathematical Model*. *2017 8th International Conference on Fire Science and Fire Protection Engineering (on the Development of Performance-based Fire Code)*. *Procedia Engineering* 211 (2018) 395–402.
- RONCHI, Enrico. Nilsson, Daniel. (2013). *Fire evacuation in high-rise buildings: a review of human behaviour and modelling research*. *Springer Open Journal*. 2013.2:3.
<http://www.firesciencereviews.com/content/2/1/7>.
- Xiuye, Liu. Hao, Zhang. Qingming, Zho. (2012). *Factor analysis of high-rise building fires reasons and fire protection measures*. *Procedia Engineering* 45 (2012) 643 – 648. 1877-7058
© 2012 Published by Elsevier Ltd.

پیوست‌ها

Abstract

The location and geographical location of the 1st zone of Tehran Safety and Fire Organization is located in the 5th zone of Tehran Municipality. This area is famous due to the large number of tall buildings, both commercial, office and residential. Assistance and relief in these tall buildings during fire incidents are associated with many problems and there is a possibility of the consequences becoming more severe as well as damage to the building, equipment, property and capital of the residents and people, therefore it seems necessary that the tall buildings that are in This area of Tehran is located to have protective layers that prevent fire and reduce the severity of the consequences caused by fire. But the priority of the placement of these protective layers is one of the important topics in their use, therefore, in this research, the protective layers that prevent fire and the protective layers that reduce the severity of the consequences of a fire event based on selected criteria in high-rise buildings in Region 1 are examined and rated. Tehran fire department was paid. In this study, in order to prioritize the protective layers that prevent fire (Preventive Measures) and also the protective layers that reduce the severity of the consequences caused by the occurrence of the event (Mitigative Measures), criteria were determined. Protection layer, maintenance cost, comfort and ease of maintenance, ease of implementation of protection layer, duration of implementation of protection layer were selected. Then, the prioritization of the selected options was done using the Fuzzy Hierarchical Analysis Process (FAHP) technique. In this study, the criterion of efficiency and reliability of the protective layer with a relative weight of 31.27% is ranked first, the criterion of the cost of implementing the protective layer with a relative weight of 31.05% is ranked second, and the criterion of the maintenance cost of the protective layer with a weight of 38.19% are in the third place and other criteria such as convenience in maintenance and maintenance 7.95%, ease of implementation of the protective layer 6.32% and lastly the duration of the implementation of the protective layer with 4.02% are in the next ranks. In the following, there are 8 layers of protection including detection systems, fire alarm systems, automatic fire extinguishing systems, mechanized fire extinguishing systems based on human intervention, manual fire extinguishing equipment, escape and emergency exit systems, building structure protection systems and mechanized smoke reduction systems. , was chosen by experts and the options were prioritized based on 6 selection criteria using the preference technique based on similarity to the fuzzy ideal solution (Fuzzy TOPSIS). According to the selection criteria of the first three options, including manual fire extinguishing equipment with a degree of similarity of 41.49%, identification systems with a degree of similarity of 33.48%, and notification systems with a degree of similarity of 33.29% are in the first to third priority. In the next priorities, automatic fire extinguishing systems with a similarity degree of 29.7%, building structure protection systems with a similarity degree of 29.33, mechanized fire extinguishing systems with a similarity degree of 27.32%, mechanized smoke reduction systems with a similarity degree of 25.16 and in At the end of the system, there are escape and emergency exit systems with a degree of similarity of 0.74%.

Keywords;

Tall Buildings, Protective Layers, Prevention, Mitigation, Fire, Multi-Criteria Decision Making, Fuzzy AHP Technique, Fuzzy TOPSIS Technique



Energy Institute of Higher Education

***Prioritization of fire prevention and protection layers
in high rise buildings through AHP Technique
(Case Study: Tehran Fire Department Zone No.1)***

**A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirement for the
Degree of Master of Science in Health, Safety and Environment Eng.**

By:

Adel Agha Mohammadi

Supervisor:

Dr. Mostafa Adelizadeh

Advisor:

Dr. Mosaeib Zare

September 2022