فصلنامه دانش پیشگیری و مدیریت بحران/ دورهٔ نهم، شمارهٔ سوم، پاییز ۱۳۹۸
Disaster Prevention and Management Knowledge (DPMK)
Quarterly, Vol. 9, No.3, Serial 33 (Fall 2019)

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۲/۰۹
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۳/۱۸

پیشنهاد مدل آسان سازی شده برای انتخاب روش مقاوم سازی سازه‌های موجود در برابر خطر حریق

محبوبه پیری زاده[۱]، محمد ابوطالبی[۲] و محمدسجاد مسعودی[۳]

۱. استادیار، گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی ومهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران غرب، تهران، ایران (نویسنده مسئول)Pirizadeh.mahboobeh@wtiau.ac.ir

۲. دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی عمران گرایش سازه، دانشکده فنی ومهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران غرب، تهران، ایران arminaboutalebi@gmail.com

۳. استادیار، گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی ومهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران غرب، تهران، ایران. Massoudi.ms@wtiau.ac.ir

چکیده

زمینه و هدف: براساس الزامات مبحث سوم مقررات ملی ساختمان، طراحی و ساخت ساختمان‌ها به نحوی انجام می‌گیرد که سازه با توجه به نوع کاربری، ابعاد و تعداد طبقات تا مدت مناسبی در برابر حریق مقاومت نموده و از تخریب ساختمان و گسترش حریق به فضاها یا ساختمان‌های مجاور جلوگیری شود. برای این منظور، تامین الزامات آیین نامه ای از منظر میزان حفاظت در برابر حریق در طراحی کلیه المان های سازه ای ساختمان‌های جدیدالاحداث و در کنترل عملکرد این المان‌ها در کلیه ساختمان‌های موجود در حال بهره برداری کشور ضروری است.

روش: با توجه به اینکه انتظارات عملکردی ایمنی در برابر آتش در مبحث سوم مقررات ملی ساختمان به صورت عبارات کیفی ارائه شده است و دستورالعمل‌ها و راهنماهای فنی موجود کشور در زمینه مقاوم سازی سازه ای ساختمان‌ها در برابر حریق نیز عمدتا با رویکرد ارائه ضوابط معماری تدوین شده است لذا ارائه مدل تصمیم یکپارچه و انعطاف پذیر بر اساس مبانی مبحث سوم مقررات ملی ساختمان و بر اساس مرور سابقه تحقیقات فنی انجام شده در زمینه روشهای مقاوم سازی سازه ای ساختمان‌های موجود برای سناریوهای محتمل حریق می‌تواند به عملیاتی شدن برنامه‌های مقاوم سازی ساختمان‌های موجود در برابر حریق کمک نماید.

یافته ها: در مقاله حاضر، بر اساس دسته بندی انواع تصرف‌های ممکن در بهره برداری از ساختمان‌های کشور به ارائه یک مدل تصمیم سریع برای ارزیابی آسیب پذیری سازه ای ساختمان در برابر حریق و تصمیم گیری برای انتخاب بهترین استراتژی ممکن در انتخاب روش مقاوم سازی سازه با توجه به نوع تصرف و کاربری، ابعاد و تعداد طبقات و نوع مصالح سیستم باربر ساختمانی پرداخته شده است.

نتیجه گیری: ارائه مدل تصمیم ساده سازی شده بر اساس الگوریتمی که از یکپارچه سازی مقررات موجود با نتایج تحقیقات آزمایشگاهی و تحلیلی حاصل شده می‌تواند به برآورد سریع حفاظت سازه ای وغیرسازه ای فضاهای بسته ساختمانی کشور و تسهیل روند مقاوم سازی فضاهای آسیب پذیر با هدف تضمین زمان کافی برای اطفای حریق و جلوگیری از تخریب ساختمان و گسترش حریق به فضاها یا ساختمان های مجاور کمک نماید.

کلید واژه‌ها: آسیب پذیری سازه ای در برابر حریق، مقاوم سازی ساختمان‌ها، حفاظت سازه ای در برابر حریق.

◀ **استناد فارسی (شیوه APA، ویرایش ششم ۲۰۱۰):** پیری‌زاده، محبوبه؛ ابوطالبی، محمد؛ مسعودی، محمدسجاد (پاییز، ۱۳۹۸)، پیشنهاد مدل آسان سازی شده برای انتخاب روش مقاوم سازی سازه‌های موجود در برابر خطر حریق. *فصلنامه دانش پیشگیری و مدیریت بحران*، ۹ (۳)،۲۶۷-۲۷۶.

Proposing the simplified model for choosing the method of retrofitting in existing structures against fire risk

Mahboobeh Pirizadeh[1], Mohammad Aboutalebi[2] & Mohammad-Sajjad Massoudi[3]

1. Assistant Professor, Faculty of Engineering, Department of Civil Engineering, Islamic Azad University, West Tehran Branch, Tehran, Iran
2. MS student, Faculty of Engineering, Department of Civil Engineering, Islamic Azad University, West Tehran Branch, Tehran, Iran
3. Assistant Professor, Faculty of Engineering, Department of Civil Engineering, Islamic Azad University, West Tehran Branch, Tehran, Iran

ABSTRACT

Background and objective: According to the necessities in the part 3 of National Building Regulations, design and construction of buildings should be in a way that the structures, according to the type of use, the size and the number of floors, resist long enough to fire, and prevent from destruction of buildings or from spread of fire to adjacent spaces or buildings. For this purpose, it is necessary to provide the regulations necessities based on the level of fire protection in designing whole structural elements in newly build constructions, and control the performance of these elements in all existing buildings in the country.

Method: As fire safety actions necessities in the part 3 of the National Building Regulations are presented in qualitative terms and the existing technical guidelines in the field of structural reinforcement of buildings to fire protections are mainly in line with the architectural design approach, therefore, presenting an integrated and flexible decision model based on the basics of the part 3 of the National Building Regulations and on the basis of a review of the technical research carried out on the structural reinforcement methods of existing buildings for possible fire scenarios can be applied to the building reinforcement plans to fire.

Findings: In this paper, based on categorization of the possible types of occupation in buildings use in the country, a rapid decision-making model presented to evaluate the building structural vulnerability against fire and deciding to choose the best strategy for structural reinforcement method considering type of occupation and application, size and number of floors, and kind of materials of structural load system.

Results: An algorithm based on a simplified decision model based on the integration of existing regulations with the results of laboratory and analytical studies can be used to quickly estimate the structural and non-structural protection of closed building spaces in the country and to facilitate the process of retrofitting vulnerable spaces in order to ensure adequate time for fire-fighting and preventing from destruction of buildings or from spread of fire to adjacent spaces or buildings.

Keywords: structural vulnerability to fire, building retrofitting, structural fire protection.

▶**Citation (APA 6th ed.):** Pirizadeh M, Aboutalebi M, Massoudi M. (2019, Fall). Proposing the simplified model for choosing the method of retrofitting in existing structures against fire risk. *Disaster Prevention and Management Knowledge Quarterly (DPMK), 9*(3),267-276.

مقدمه

با توسعه کالبدی شهرهای بزرگ می‌توانیم بگوییم که خطرپذیری شهرهای بزرگ در برابر خطرات ناشی از حوادث طبیعی و غیر طبیعی مانند آتش سوزی در حال افزایش است. خطر وقوع آتش سوزی در محیط شهری در اثر عوامل طبیعی مانند زلزله و رعد و برق و یا عوامل انسان ساخت مانند خطاهای انسانی، خرابکاری و یا نقص در سیستم‌های حرارتی و الکتریکی نسبت به سایر حوادث از فراوانی قابل توجهی برخوردار است. بزرگترین آتش سوزی‌های تاریخ به دلیل رخ دادن در مکان‌های عمومی و پرجمعیت مانند سالن‌های سینما، مدارس و کلیساها، از میزان تلفات و خسارات مالی بسیار بالایی برخوردار بوده و ضمن تخریب زیرساختهای شهری باعث از دست رفتن سرمایه‌های انسانی به عنوان مهمترین مولفه جبران ناپذیر حیات شهرها شده است. آتش سوزی‌های مدرسه دایانااندا آنگلو[1] در هندوستان، سالن تئاتر ایروکوی[2] در شیکاگو، سالن تئاتر لمان[3] در روسیه، سالن تئاتر کاملی[4] در ژاپن، کلیسای ایگلسیا دلا کمپانیا د خسوس[5] در شیلی و اتش سوزی‌های سالن تئاتر تینتسین[6]، شانگهای[7] و کانتون[8] و سالن سینمای نانتانگ[9] و ژینجیانگ[10] در چین و آتش سوزی ساختمان پلاسکو در ایران که منجر به کشته شدن تعدادی از ساکنان این مجتمع تجاری و ۱۶ تن از آتشنشانان شد، از جمله بزرگترین آتش سوزی‌های تاریخ هستند که اگر اقدامات کافی در زمینه پیشگیری و حفاظت سازه ای و غیرسازه ای آنها انجام می‌گرفت امکان کاهش خسارات ناشی از وقوع این اتفاقات ناگوار وجود داشت. به همین لحاظ، در سالهای اخیر، راهبردهای مختلفی برای کاهش خطرپذیری حریق در فضاهای بسته ساختمانی در سیاستگذاری‌های مدیریت شهری کلان شهرها در حال توسعه ارائه گردیده که شامل ترکیبی از راهبردهای پیشگیری از وقوع حریق و پیش بینی سیستم‌های حفاظت ساختمانی در برابر آتش و تسهیل عملیات مقابله با حریق در بخش آتش نشانی شهرهای بزرگ می‌باشد. بر همین اساس، رویکرد آیین نامه‌ها و مقررات ساختمانی به جهت تضمین زمان کافی از یکپارچگی ساختاری و ثبات فضاهای بسته ساختمانی برای تخلیه مردم در زمان وقوع حریق و خودایمن نمودن آنها و ارائه موانع کافی برای جلوگیری از گسترش آتش از یک اتاق به فضای دیگر، در حال رشد است (فرانسین، کدور و زاهاریا، ۲۰۰۹)[11]. در کشور ایران نیز در دو دهه اخیر، الزامات مبحث سوم مقررات ملی ساختمان (۱۳۹۵) با هدف فراهم کردن راه‌های خروج مناسب و زمان کافی و جلوگیری از گسترش دود و گازهای گرم و اطمینان از یکپارچگی ساختار ارائه گردید تا این الزامات برای یک دوره زمانی معقول به صورت آزمایشی در معرض آتش سوزی در بخش طراحی واجرای ساختمانهای جدید الاحداث اجرایی شود. اولین و دومین ویرایش مبحث سوم مقررات ملی ساختمان عمدتا با ارائه ضوابط معماری پیشگیرانه از وقوع و گسترش حریق، متمرکز گردیده بود. لکن این رویکرد در ویرایش سوم این مبحث به سوی ارائه انتظارات عملکردی از درجه مقاومت سازه ای و غیرسازه ای ساختمانها در برابر آتش گرفتن ساختمانها بر اساس نوع کاربری وتصرف در دوره بهره برداری تدوین گردید. با این وجود، وقوع حوادثی مانند حادثه ساختمان پلاسکو، بر لزوم رفع موانع حقوقی و فنی در زمینه ارزیابی وضعیت ساختمانهای موجود در کشور که قبل از ابلاغ مبحث سوم مقررات ملی ساختمان (۱۳۹۵) ساخته شده اند و یا در طول دوره بهره برداری، تغییرات عمده ای در نوع تصرف و کاربری و نحوه تعمیر ونگهداری داشته اند، دلالت دارند. لازم به ذکر است که تعیین پایداری یک سیستم سازه ای موجود به ویژه یک قاب فولادی برای تحمل بارهای حرارتی ناشی از حریق می‌تواند بسیار پیچیده باشد. زیرا لازم است در برابر یک رویداد غیرقابل پیش بینی، اثرات انتقال و هدایت گرمایی بین اتمسفر هوای محیط با سازه از محل وقوع تا هریک از المانهای سازه و اثرات توزیع حرارت در مقطع هر المان برآورد گردد. سپس بر روی سازه ای، اثرات آتش بر خصوصیات مصالح تشکیل دهنده سازه و تغییر خواص مقاومتی اعضای سازه بررسی شد و به ارزیابی از نامعینی، ظرفیت و شکل پذیری سیستم

1. Dayananda Anglo
2. Irquoise
3. Lehman
4. Kamli
5. Iglesia de la Compania de Jesus
6. Tientsin
7. Shanghai
8. Canton
9. Nuntung
10. Xinjiang
11. Franseen, Kodur & Zaharia, 2009

بعد از رویداد مورد نظر تا زمان بازتوزیع بارهای ثقلی و پتانسیل وقوع خرابی پیش رونده با استفاده از روش های آنالیز غیرخطی سازه ای منجر گردید (گلابگیر و میثمی، ۱۳۹۴). به همین لحاظ، به منظور فراگیر نمودن مقاوم سازی ساختمانهای موجود در کشور در برابر حوادث حریق، توسعه مدلهای آسان سازی شده برای ارزیابی آسیب پذیری ساختمانهای موجود در برابر حریق و انتخاب بهینه شیوه مقاوم سازی بر مبنای ترکیبی از مطالعات آزمایشگاهی و مدلسازی رفتاری تیپ‌های سازه ای در برابر حریق و تحلیل و کنترل معیارهای پذیرش با استفاده از تجربیات و توصیه‌های استانداردهای موجود جهانی ضروری به نظر می‌رسد.

در این مقاله با هدف تسهیل در تصمیم گیری برای کاهش خطرپذیری سازه‌های داخل کشور در برابر حوادث محتمل حریق، به بررسی انواع سیستم‌های حفاظت ساختمانها در برابر حریق پرداخت شده و بر مبنای ضوابط مبحث سوم مقررات ملی ساختمان (۱۳۹۵) و بررسی دستورالعمل‌ها و تحقیقات معتبر در حوزه ی مهندسی حریق، کوشش حاصل گردیده تا مدل یکپارچه، شفاف و آسان برای ارزیابی کیفی وکمّی آسیب پذیری سازه‌های موجود فلزی و بتنی در کشور در برابر حریق و انتخاب شیوه مقاوم سازی آنها برای تامین درجه مقاومت موردنیاز در برابر حریق جهت حفظ پایداری و تضمین زمان کافی برای تخلیه افراد ارائه گردد.

معرفی تقسیم بندی انواع حریق بر اساس نوع سوخت

آتش سوزی‌ها بسته به نوع ماده سوختنی در زمان وقوع حریق، به دو دسته ی کلی آتش سلولزی و آتش هیدروکربنی تقسیم می‌شوند. در آتش سوزی های سلولزی ناشی از حریق مواد سلولزی و سوخت های جامد آلی، دما پس از یک ساعت به ۹۲۰ درجه سانتیگراد رسیده و سپس منحنی شیب ملایمی خواهد داشت. در حالی که در آتش سوزی‌های هیدروکربنی حاصل از سوخت مواد هیدروکربنی، دما در مدت ۴دقیقه به ۹۳۰ درجه سانتیگراد (طبق منحنی استاندارد اتش مطابق شکل ۱) می‌رسد (سالاری و غیاثی، ۱۳۹۵).

در مبحث سوم مقررات ملی ساختمان (۱۳۹۵) مبنای کنترل سازه براساس آتش استاندارد بنا نهاده شده است و میزان مقاومت حریق برابر مدت زمانی که مصالح و ساختار سازه توانایی مقاومت در مقابل آتش مستقیم مطابق آزمایش حریق استاندارد را داشته باشد، تعیین شده است. بر اساس این مقررات، دیوارها، پارتیشنها، ستونها و تیرهای ضد حریق شده باید در طول دوره زمانی موردنظر حریق استاندارد، مقاومت کرده و اگر به عنوان حامل هستند، باید در طول حریق، تحمل بار وارده از طرف طبقات بالا را داشته باشند. همچنین در حین آزمایش، مقاومت لازم را در برابر فشار آب آتشنشانی در هنگام اطفاء حریق را داشته باشند و در اثر انبساط و انقباض ناگهانی خرد نشوند، شعله یا گاز را از خود عبور نداده و اجازه نفوذ شعله را به بخشهای مجاور ندهند.

رفتار و عملکرد مصالح و اجزای ساختمانی در برابر حریق در استانداردهایی مانند دین ۴۱۰۲[1] (۱۹۹۸) و استانداردهای ملی ایران (۱۳۹۵) مطرح شده است. بر اساس این استانداردها، مصالح ساختمانی به دو گروه اصلی نسوز و قابل اشتعال طبقه بندی می‌شوند. ممکن است مصالح تشکیل دهنده ی ساختار از نوع مواد ساختمانی نسوز به همراه مواد ساختمانی قابل اشتعال باشد. زمان مقاومت ساختارها بر اساس آزمایش حریق انجام میشود. در این آزمایش، حریق تحت شرایط استاندارد بر ساختار اعمال شده و هنگامی که عملکرد ساختار در برابر حریق دچار نقصان گردید (زمانی که مقاومت اجزاء در برابر عبور حرارت کاهش یافته یا زمانی که ساختار دچار ناپایداری یا فروریزی گردید) آزمایش متوقف شده و زمان ثبت می‌شود.در مواد و مصالح ساختمانی، فاصله زمانی بین شروع حریق در محیط تا انتقال حرارت به مصالح اجزای سازه ای و رسیدن به دمای بحرانی، از اهمیت خاصی برخوردار است؛ به عبارت دیگر، ایمنی سازه زمانی به خطر می‌افتد که دمای سازه از دمای بحرانی فراتر رود (سیلوا، ۲۰۰۵).

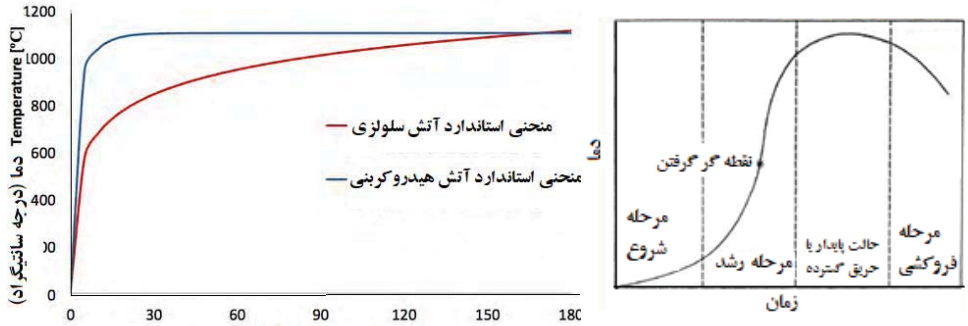
به جز عامل نوع ماده سوختنی، سایر عواملی که در تعیین دمای آتش در محیط فضای بسته ساختمانی دخالت دارند عبارت اند از:

- میزان مواد سوختنی و نحوه ی پراکندگی آنها
- نوع مصالح به کار رفته در دیوار، کف و سقف که مانند مانع در برابر انتشار حرارت عمل می‌نمایند.
- پنجره و اندازه آن، کانالهای خروج، مسیر و سرعت باد و دمای محیط

انتقال حرارت در آتش سوزی‌ها از اتمسفر محیط به اجزای

1. DIN4102

سازه، به سه طریق شامل اثرات هدایت گرمایی، اثرات جریان همرفتی و تشعشع صورت می‌گیرد. انتقال حرارت تشعشعی که از عوامل مهم در طراحی پوشش های ضد حریق آتش های هیدروکربنی است، تحت تأثیر شکل، طول، قطر و زاویه ی آتش و همچنین رطوبت هوا می‌باشد. علاوه بر این، انتقال حرارت در سازه موردنظر و انتقال گازی که به اندازه کافی گرم شده تا سبب شعله ور گشتن مواد سلولزی سوختنی مثل پرده و مبلمان و سایر اجزای موجود در محیط است نیز مدنظر قرار می‌گیرد.



شکل ۱. منحنی طبیعی و استاندارد رشد آتش و تفاوت آتش سلولزی و هیدروکربنی

شکل ۱: منحنی طبیعی و استاندارد رشد آتش و تفاوت آتش سلولزی و هیدروکربنی

معرفی سیستم‌های محافظت در مقابل حریق

سیستم هایی که در ساختمان جهت محافظت در مقابل حریق مورد استفاده قرار می‌گیرند، به دو دسته ی کلی سیستم های فعال[1] و غیر فعال[2] تقسیم بندی می‌شوند.

سیستمهای فعال تحت تأثیر شرایط ایجاد شده ناشی از حریق برانگیخته می‌شوند. در این سیستمها با درک عواملی همچون گرما، دود یا نور حاصله از شعله، بروز حریق شناسایی شده و سپس همراه با بکار انداختن ادوات هشدار دهنده، سیستم های طراحی شده جهت مقابله با حریق را وارد عمل میکنند. سیستمهای فعال محافظت در برابر حریق، بدون شک بسیار مؤثر میباشند، اما به دلیل وابستگی به عملکرد صحیح هر یک از اجزای سیستم انتخاب شده، مشکلات درون ساختاری بزرگی دارند. هرگونه اشکال در مکانیسم کشف، اعلام و یا اطفاء حریق (مانند خرابی مکانیسم تغذیه آب و یا شیرهای عملیاتی) و یا هر اشکال ساده و کوچک دیگری میتواند سیستم را ناکارآمد سازد. لذا بایستی توجه داشت که طراحی سیستم محافظ در برابر حریق یک ساختمان بر اساس یک سیستم منفرد فعال که عملکرد آن همواره قابل تضمین نیست، طرحی ناقص و ناکارآمد است.

سیستم‌های غیرفعال محافظت در مقابل حریق، به سیستم هایی اطلاق می‌گردد که با عایق نمودن سازه، از گسترش آتش و دود و فروریختن ساختمان تحت اثرات حریق جلوگیری می‌نماید. اجزای سیستم غیرفعال شامل انواع پوشش های ضد حریق، سیستم های آتشبند و دودبند، درب‌ها و کانال‌های ضد حریق و سیستم‌های مشابه می‌باشد.

در سیستم غیرفعال سعی بر آن است که آتش در محدوده ی اولیه ی شکل گیری مهار شده و پایداری اجزای باربر سازه حفظ گردد.در نتیجه، زمان مناسب برای خروج افراد از ساختمان فراهم می‌شود. همچنین ایمنی لازم برای ورود آتشنشان‌ها به داخل ساختمان و عملکرد سرویس های مقابله با حریق تأمین و اطفای حریق های گسترش یافته، ممکن می‌شود. سیستم های فعال و غیرفعال نه تنها نقیض یکدیگر نیستند، بلکه مکمل هم نیز می‌باشند. قوانین وضع شده نیز چنین مسئله ای را با کار توأم هر دو سیستم در نظر گرفته اند (مرتضوی و زعیم دار، ۱۳۹۴).

انواع پوششهای مقاوم در برابر حریق

در سالهای اخیر، پوششهای مقاوم در برابر حریق به عنوان یکی از روشهای اجرایی کارآمد در ایجاد سیستم غیرفعال حفاظت در برابر آتش متداول شده است که از مهم ترین انواع آنها میتوان به مواد

1. Active Protection
2. Passive Protection

پاششی معدنی[1]، رنگ های منبسط شونده[2] و بورد پنل های ضد حریق[3] اشاره نمود (کوریا، برانکو و فریرا، ۲۰۱۰)[4].

الف) مواد پاششی

مواد پاششی به دلیل سادگی روش اجرا، یکی از پر استفاده ترین مواد محافظت کننده در برابر آتش در مقاوم سازی سازه‌های ساختمانی می‌باشند. پوشش های ضد حریقی که برای محافظت از سازه های فلزی و بتنی طراحی و اجرا می‌شوند عمدتا بر دو نوع پایه معدنی و پایه گچی تولید می‌شوند. مدت زمان محافظت از سازه بر اساس آیین نامه‌های موجود وابسته به شرایط سازه همچون شکل آن، نوع کاربری، میزان مواد قابل اشتعال، نوع حریق احتمالی، ارتفاع سازه و فاصله از ایستگاه آتش نشانی و افراد در حال کار و ساکن در محل قابل محاسبه می‌باشد. اما معمولا استفاده از مواد پاششی معدنی در محافظت از سازه‌های متداول موجود، قابلیت جلوگیری از افزایش دمای سازه ی پوشش داده شده در هنگام آتش سوزی در یک زمان معین، به دمای تخریب سازه بستگی دارد.

کاهش انتقال حرارت در هنگام آتش سوزی اساس عملکرد این نوع ضد حریق‌ها می‌باشد که زمان این عملکرد، رابطه ی مستقیم با ضخامت پوشش اجرا شده دارد. بر اساس تحقیقات آزمایشگاهی موجود، مدت زمان موردنیاز محافظت از سازه در برابر هر دو نوع حریق سلولزی و هیدروکربنی بنابر انتظارات عملکردی مبحث سوم مقررات ملی ساختمان از طریق پاشش مواد معدنی بر قسمتهای نمایان سازه‌های فلزی موجود در ضخامتهای پوششی بین دو تا چهار سانتیمتر قابل دستیابی می‌باشد. در شکل ۲ نمونه ای از تیر فولادی به همراه پوششهای معدنی پاششی نشان داده شده است. به عنوان یکی از نمونه‌های اجرایی مواد پاششی بر پایه ی معدنی می‌توان به ورمیفایر اشاره نمود که بر اساس استاندارد آی پی اس-ای-۲۶۰[5] صنایع نفت ایران (۱۳۹۲) از مخلوط کنترل شده ورمیکولیت، سیمان و افزودنی های لازم ساخته می‌شود.

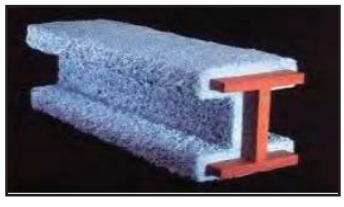
به علت معدنی بودن کلیه ترکیبات ورمیفایر، مواد پاششی در هنگام آتش سوزی هیچگونه دود یا گاز سمی تولید نمی کند.

1. Spray Mortars
2. Paint Intumescent
3. Fire Protection Boards
4. Correia, Branco & Ferreira, 2010
5. IPS-C-CE-260

از دیگر مزایای ورمیفایر میتوان به مقاومت در برابر شوک های حرارتی، عدم استفاده از آزبست، عدم روندگی آتش بر روی سطح پوشش، یکپارچگی پس از اجرا، سختی و ماندگاری، سبکی، قابلیت اجرای آسان در کلیه شرایط و امکان ترمیم ساده آن اشاره نمود.

در استانداردهایی مانند ای اس تی ام ای ۳۷۶ [6] (۲۰۱۷) نیز روش آزمایش استاندارد برای پیوستگی و چسبندگی اسپری مواد ضد حریق اجرا شده روی اجزای سازه ارائه شده است. به طور کلی، پیوند روکش ضد حریق با سطح زیرین در مواردی که سطح زیرین، به علت رنگ قبلی، اسیدی بوده باشد (مثل رنگهای آلکیدی)، بسیار کم است. در این موارد، نیاز به یک عامل پیوند دهنده یا لایه روکش کلیدی[7] می‌باشد که مابین سطح موردنظر و روکش ضد حریق قرار گرفته و با pH خنثی خود با هر دو لایه که یکی اسیدی (سطح رنگ شده) و دیگری قلیایی (روکش ضد حریق) است، پیوند ایجاد کرده و موجب چسبندگی مناسب روکش به سطح میگردد. درصورتی که دستیابی به پیوند و چسبندگی مناسب مقدور نباشد، با استفاده از توری فلزی، حصاری در برگیرنده اطراف روکش به وجود آورده و به کمک پین هایی آن را به سطح متصل میکنند. این توری مانند حفاظی از جدا شدن روکش از سطح جلوگیری می‌کند. در تیرهای سایز خیلی بزرگ، پوشش دادن ۲۵ درصد از وسط عرض تیر، به کمک توری های فلزی کفایت می‌کند (اسدی، ۱۳۹۳).

لازم به ذکر است که در سازه‌های خاص مثل کاربری‌های پتروشیمی که به علت وجود مواد هیدروکربنی، امکان افزایش ناگهانی دما تا ۲۰۰۰ درجه فارنهایت محتمل است و امکان نشت مواد شیمیایی و اسیدی نیز به عنوان خطری برای مقاومت سازه در مقابل حریق وجود دارد، سیستمهای ضد حریق باید مقاوم در برابر انواع حلالهای شیمیایی و اسیدی بر مبنای استانداردهای سخت گیرانه تری مانند یو ال ۱۷۰۹[8] (۲۰۱۷) باشند. (مرتضوی و زعمی دار، ۱۳۹۴)



شکل ۲: پوشش‌های مقاوم در برابر حریق – مواد پاششی معدنی

6. ASTM E736
7. Key Coat
8. UL1709

ب) رنگ های منبسط شونده

رنگ های ضد حریق، به عنوان یکی دیگر از سیستم‌های محافظت سازه در برابر حریق مانع از انتقال حرارت به لایه های زیرین اجسام می‌گردند. نحوه ی عملکرد آنها به این صورت است که هنگام حریق در دمای ۳۰۰ درجه سانتیگراد پف کرده و تا ۲۰ برابر ضخامت اولیه افزایش حجم پیدا می‌کنند. در نتیجه با ایجاد یک حالت زغالی که خود نقش عایق دارد، از انتقال حرارت به سطح زیرین و رسیدن فلز به دمای نرم شدگی (حدود ۶۰۰ درجه سانتیگراد) ممانعت می‌کند. به این سیستم می‌توان عنوان یک پوشش ضد حریق متورم شونده یا حجیم شونده اطلاق نمود که به محض رسیدن اولین شعله به سطح آن شروع به تورم می‌نماید و یک فوم جامد مشکی رنگ با ضخامت تقریبی ۵/۲ سانتی متر ایجاد می‌نماید.

فوم پف کرده حاوی میلیون‌ها سلول کوچک بسته و مقاوم در برابر حریق است. فوم به عنوان عایق، تماس شعله با سطح زیرین عایق را تا حدود یک ساعت به تعویق انداخته و به عنوان یک مانع تأخیر انداز از گرم شدن سریع و احتراق سطح زیرین جلوگیری می‌کند. در واقع با اعمال پوشش ضد حریق بر روی مصالح و موادی که در محیط قرار دارند و در حالت عادی در تماس با اولین شعله توسعه حریق را به دنبال خواهند داشت، زمان سوختن چند ثانیه ای آنها به ساعت تبدیل میشود. این عملکرد خود در شرایط بحران آتش سوزی، یک فرصت حیاتی غیر قابل تصور بشمار می‌رود.

رنگ های پاششی بر مبنای مایع بکار رفته در تولید و آماده سازی آنها قبل از پاشش به رنگ های پف کننده پایه حلالی و رنگ های پف کننده پایه آبی تقسیم می‌شوند.

رنگ های پف کننده پایه حلالی شامل یک پوشش پایه حلالی حجیم شونده محافظ در برابر حریق جهت مصارف داخل و خارج ساختمان به منظور بالا بردن مقاومت در برابر حریق برای پوشش تیرها و ستون های فولادی بکار می‌روند. در این رنگ‌ها از حلال برای رقیق سازی استفاده می‌شود. این نوع رنگ ضد حریق در محیط های باز و مرطوب بیشتر کاربرد دارد. به منظور اعمال پوشش های ضد حریق بر روی سازه های فلزی می‌بایست پس از آماده سازی سطح، ابتدا پرایمر مناسب بر روی سازه فلزی اعمال شود و سپس پوشش ضد حریق را اعمال نمود. این نوع پوشش به سهولت و در زمان بسیار کوتاه و با ابزارهای مختلف اعمال می‌گردد و بر روی کلیه ی سطوح با هر زاویه و شکستگی قابل اعمال است. ضخامت اعمالی رنگ بسته به نوع و شکل سازه میتواند از حدود ۰/۵ تا ۲ میلیمتر تعریف گردد. سطح نهایی این نوع پوشش ضد حریق، صاف می‌باشد و پس از اتمام عملیات پوشش دهی نیاز به هموار کردن سطح نیست. ظاهر رنگ های ضد حریق بسیار صاف بوده و نیازی به عملیات ترمیم و ماستیک کاری نداشته و حتی میتوان برای زیبایی بیشتر ضد حریق، از رنگ های دکوراتیو استفاده نمود. چنانچه نقاطی از سطح که به وسیله ی پوشش های ضد حریق متورم شونده پوشانده شده است، در معرض ضربه قرار گیرد و نیاز به ترمیم داشته باشد، میتوان به سهولت و حتی با قلم مو سطح را ترمیم نمود. باید توجه داشت، ارزیابی مواد ضد حریق بر اساس میزان کارایی و مقاومت آن در مقابل آتش و حفاظت از سازه در خلال آتش سوزی صورت می‌گیرد و قابل استفاده بودن روکش یا رنگ ضد حریق پس از آتش سوزی مدنظر قرار نمی گیرد و بنابراین پس از وقوع آتش سوزی نیاز است که رنگ تراشیده شود و مجدد رنگ یا روکش انجام شود.

ج) بورد و پنل های ضد حریق

بوردهای ضد حریق از جمله سیستم‌های محاظت در برابر حریق می‌باشند که به صورت پانل هایی از جنس کناف، گچ، ورمیکولیت، پشم سنگ، منیزیم، اکسید منیزیم و فیبرهای سیمانی فشرده بر پایه مواد معدنی مقاوم در برابر حریق تولید می‌شوند. این بوردها تقریباً به مدت ۴ ساعت، قابلیت حفاظت سازه های فلزی، داکت‌ها، سقف‌ها، کف‌ها و دیوارها را در برابر حریق دارند. این محصولات ضد حریق به لحاظ زیبایی، سهولت نصب و اجرا مورد توجه قرار گرفته اند. نمونه ا ی از نصب بوردهای ضد حریق در شکل ۳ نشان داده شده است. بوردهای ضد حریق دارای مزایا و معایبی هستند که از جمله مزایای آنها می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:

۱- به علت وزن سبک حمل آن آسان و کم هزینه است.

۲- برش و نصب سریع و آسانی دارد.

۳- قابلیت پذیرش انواع فینیشینگ اعم از کاغذ دیواری، رنگ و غیره را دارند.

۴- با استفاده از این بوردهای ضد حریق در دیوارهای داخلی و

خارجی، پارتیشن بندی و دیوارهای کاذب میتوان از انتشار حریق در سازه جلوگیری کرد.

این بوردها دارای نقاط ضعفی نیز می‌باشند که از آن جمله می‌توان به شکست مکانیکی ترد، ضعف آنها در برابر حلال‌ها، برخی چسب‌ها و رنگ‌ها، دوام پایین در برابر شرایط محیطی خارجی و... اشاره نمود.

شکل ۳: بوردها و پنل های ضد حریق

ارزیابی آسیب پذیری ساختمانهای موجود در برابر حریق و ارائه مدل تصمیم برای انتخاب روش مقاوم سازی سازه ای

بر اساس الزامات مبحث سوم مقررات ملی ساختمان، طراحی و ساخت ساختمانها بایستی به نحوی انجام گیرد که سازه با توجه به نوع تصرف و کاربری، ابعاد و تعداد طبقات بتواند تا مدت مناسبی در برابر حریق مقاومت نموده و از تخریب ساختمان و گسترش حریق به فضاها یا ساختمان های مجاور جلوگیری نماید. درجه مقاومت ساختمان در برابر حریق در این مبحث، همان حداقل مدت زمان لازم برای تضمین پایداری اجزای سازه می‌باشد که بر حسب نوع عملکرد موردانتظار از سازه در زمان حریق و درجه اهمیت و حساسیت کاربری ساختمان بین ۶۰ تا ۱۸۰ دقیقه بر مبنای متغیرهای زیر تعیین می‌گردد:

۱- نوع کاربری و تصرف ساختمان

۲- مشخصات هندسی ساختمان (تعداد طبقات و وسعت هر طبقه) و فاصله ساختمان از بناهای مجاور

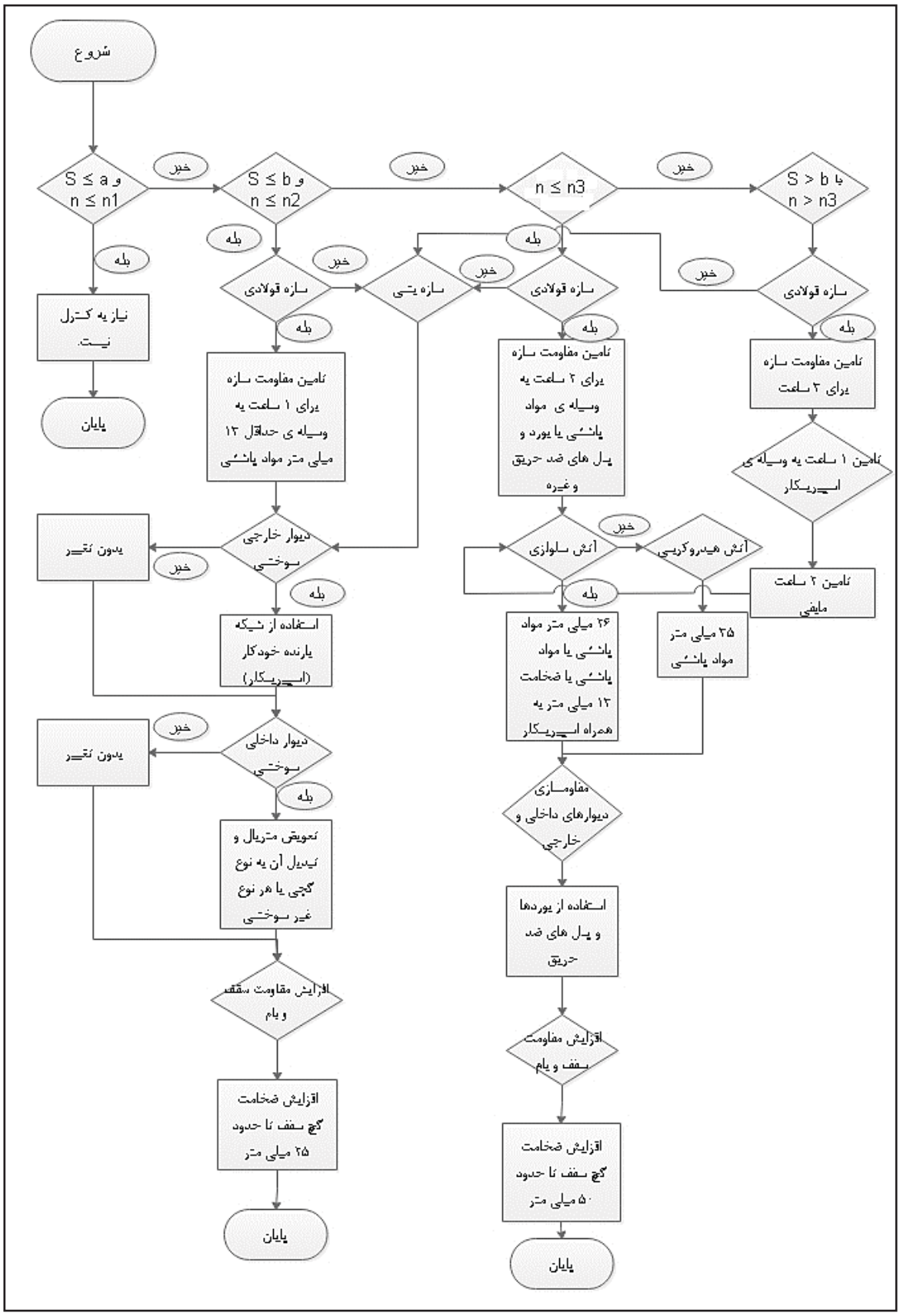
۳- میزان جمعیت ساکن در بنا

۴- نوع مصالح اجزای سازه ای و غیر سازه ای

با توجه به اینکه در ارزیابی تامین درجه مقاومت در برابر حریق ساختمانها، موردانتظار مبحث سوم مقررات ملی ساختمان در برابر حریق استاندارد، ضروری می‌باشد، لذا می‌توان الگوریتمی برای ارزیابی از وضعیت آسیب پذیری سازه‌های فلزی و بتنی موجود در کشور، بنابر نوع تصرف و کاربری آنها (مطابق جدول ۱ و ۲)، ارائه نمود. برای این منظور، ابتدا مساحت زیربنا (S) و تعداد طبقات (n) ساختمان با حدود موجود در جدول ۱ و ۲ مقایسه شده و سپس با توجه به نوع مصالح ساختمان، سیستم باربر قائم وجانبی سازه (فولادی یا بتنی)، هدف عملکردی موردانتظار در حریق استاندارد مطابق فلوچارت شکل۴، مشخص می‌گردد. در این مدل، سعی شده است بنابر نوع آسیب پذیری قابل پیش بینی برای سیستم سازه بر حسب نوع مصالح، پیشنهاد مناسبی برای انتخاب روش مقاوم سازی برای هریک از اجزای سازه بنابر جمع بندی اطلاعات موجود در مطالعات آزمایشگاهی و استانداردها و دستورالعمل‌های موجود به نحوی ارائه گردد که هم با محدودیت‌های اجرایی در مقاوم سازی ساختمان موجود با حداقل دخالت در بهره برداری فعلی از ساختمان سازگار باشد و هم به تامین انتظارات عملکردی لازم مطابق مقررات موجود کشور منجر گردد.

برای نمونه، اگر یک ساختمان فلزی پنج طبقه مسکونی با مساحت زیربنای ۲۰۰۰ مترمربع که در سال ۱۳۸۰ (قبل از ابلاغ اولین ویرایش مبحث سوم مقررات ملی ساختمان) احداث شده را در نظر بگیریم مطابق جداول ۱ و ۲، در حالت ($a(=1475\ m^2)$ $n2(=4)<n(=5)<n3(=11)$ و $S(=2000m^2)<b(=2225\ m^2)$ قرار خواهیم داشت. بنابراین برای حفاظت سازه ای در برابر حریق استاندارد (حریق سلولزی) نیاز است که از حداقل پوشش مواد معدنی برابر با ۲۶ میلیمتر روی کلیه اجزای فلزی سیستم باربر سازه استفاده شود یا به عنوان روش جایگزین با ایجاد یک شبکه بارنده خودکار (اسپرینکلر) در ساختمان و تامین پوشش حداقل ۱۳ میلیمتری روی کلیه اجزای فلزی سیستم باربر سازه استفاده شود. علاوه بر این، تامین ضخامتی حداقل برابر۵۰ میلیمتر برای گچ یا سایر پوششهای مورداستفاده زیر سطوح تیرهای فرعی سقف و مقاوم سازی کلیه دیوارهای خارجی و داخلی از طریق نصب بوردهای ضدحریق ضروری است.

به این ترتیب بر مبنای اطلاعات این فلوچارت می‌توان از پیچیدگی فرآیند ارزیابی آسیب پذیری و انتخاب روش مقاوم سازی در تصمیم گیری در تیپ‌های متداول سازه‌های موجود کاست



شکل ۴: فلوچارت مدل تصمیم آسان سازی شده برای انتخاب روش مقاوم سازی سازه‌های موجود در برابر خطر حریق

و به تصویری از حداقل اقدامات موردنیاز درکاهش خطرپذیری سازه موجود در برابر حریق دست یافت. البته نتیجه این روش، می‌تواند در ترکیب با روشهای کمّی مدلسازی سناریوهای حریق و تحلیل غیرخطی سازه در برابر بارهای حرارتی متغیر در طول زمان بهینه گردد. لازم به ذکر است که فلوچارت موردنظر صرفا برای حوزه مقاوم سازی سازه ای در برابر حریق تهیه شده است و سایر اقدامات موردنیاز در بخش معماری، تامین راه‌های خروج و مسیر تردد و سیستم اطفا و کنترل دود (مطابق فصول پنجم تا هشتم ویرایش سوم مقررات ملی ساختمان) را در بر نمی گیرد.

جدول ۱: مقادیر ضرایب a و b مربوط به حدود مساحت برای استفاده از فلوچارت شکل ۵ (مبحث سوم مقررات ملی ساختمان، ۱۳۹۵)

نوع تصرف	a (مترمربع)	b (مترمربع)
اداری	۲۱۰۰	۳۵۰۰
فرهنگی	۸۰۰	۱۵۰۰
مسکونی	۱۴۷۵	۲۲۲۵
تجاری	۱۱۵۰	۲۰۰۰
بیمارستان	۱۰۰۰	۱۴۰۰
هتل	۱۴۷۵	۲۲۲۵
مدارس	۱۳۵۰	۲۴۵۰
انبار مواد سوختنی	۱۶۲۵	۲۴۰۰
انبار مواد غیر سوختنی	۲۴۰۰	۳۶۲۵
اماکن عمومی تجمعی (مساجد و رستورانها و...)	۹۰۰	۱۵۰۰

جدول ۲: مقادیر ضریب n مربوط به تعداد طبقات برای استفاده از فلوچارت شکل ۵ (مبحث سوم مقررات ملی ساختمان، ۱۳۹۵)

نوع تصرف	n ۱ (طبقه)	n ۲ (طبقه)	n ۳ (طبقه)
اداری	۴	۵	۱۱
فرهنگی	۲	۳	۵
مسکونی	۴	۴	۱۱
تجاری	۴	۴	۱۱
بیمارستان	۱	۲	۴
هتل	۴	۴	۱۱
مدارس	۲	۳	۵
انبار مواد سوختنی	۳	۴	۱۱
انبار مواد غیر سوختنی	۴	۵	۱۱
اماکن عمومی تجمعی (مساجد و رستورانها و...)	۲	۳	۱۱

نتیجه گیری

یکی از مخاطرات مهم در طول بهره برداری انواع ساختمانها، بحث آتش سوزی است که امکان وقوع آن حتی بعد از پدیده های دیگری همچون زلزله و یا حملات تروریستی نیز در طول بهره برداری از ساختمان محتمل است. به همین لحاظ، راهبردهای مختلفی برای کاهش خطرپذیری حریق در فضاهای بسته ساختمانی شامل ترکیبی از راهبردهای پیشگیری از وقوع حریق و پیش بینی سیستم‌های حفاظت ساختمانی در برابر آتش و تسهیل عملیات مقابله با حریق در بخش آتش نشانی شهرهای بزرگ در حال توسعه می‌باشد. با توجه به روند پیشرفت مقررات ملی ساختمان در حوزه حفاظت از ساختمانها در برابر بارهای حرارتی ناشی از حریق، موضوع به کارگیری فنون جدید پیشگیری و حفاظت منفعل در برابر حریق به خصوص در حوزه مقاوم سازی ساختمانهای آسیب پذیر موجود با تصرفات عمومی خطرپذیر در کنار به کارگیری سیستم های فعال مقابله با آتش (نظیر تجهیزات اخطار دهنده و یا اطفای حریق در ساختمان) موردتوجه سیاستگذاری‌های شهری قرار گرفته است. بدین منظور، ارائه مدل‌های آسان سازی شده برای طراحی و یا مقاوم سازی سازه‌های موجود در برابر حریق می‌تواند به کاهش پیچیدگی تصمیم گیری برای اجرایی شدن راهبردهای مدیریت خطرپذیری در حوادث حریق فضاهای بسته ساختمانی کمک نماید. در این مقاله، با جمع بندی مقررات موجود در کشور و نتایج تجربیات و تحقیقات آزمایشگاهی و تحلیلی، الگوریتمی برای تصمیم گیری یکپارچه جهت تامین درجه مقاومت موردانتظار، مطابق الزامات مبحث سوم مقررات ملی ساختمان، با هدف تضمین زمان کافی برای اطفای حریق و جلوگیری از تخریب ساختمان و گسترش حریق به فضاها یا ساختمان های مجاور با توجه به نوع تصرف و کاربری، ابعاد و تعداد طبقات و نوع مصالح سیستم باربری ساختمانی در قالب یک نمودار (فلوچارت)پیاده سازی شده که می‌تواند به ارزیابی وتصمیم گیری سریع جهت برآورد حفاظت سازه ای فضاهای بسته ساختمانی در برابر حریق کمک نماید. همچنین امکان جایگزینی روش‌های توصیه شده در این مقاله با سایر روش‌های مقاوم سازی نیز در چارچوب فرآیند پیشنهادی در این تحقیق وجود دارد.

منابع

اسدی، مصطفی (۱۳۹۳). معرفی استانداردهای پوشش‌های ضدحریق. بازیابی از:http://www.pyrogen.co.ir

دفتر تدوین مقررات ملی ساختمان. (۱۳۹۵). مبحث سوم مقررات ملی ساختمان (حفاظت ساختمان‌ها در برابر حریق)، ویرایش سوم، تهران: انتشارات مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی.

سازمان ملی استاندارد ایران. (۱۳۹۵). فراورده‌ها و اجزای ساختمانی: طبقه بندی واکنش در برابر آتش، استاندارد ملی شماره ۱-۸۲۹۹.

سالاری، افشین؛ غیاثی، امیر (۱۳۹۵). طراحی سازه‌ها در آتش سوزی پس از زلزله، پنجمین همایش ملی توسعه پایدار در مناطق خشک و نیمه خشک، ابرکوه، ایران.

گلابگیر، امیر؛ میثمی، محمدحسن (۱۳۹۴). مقایسه ضوابط ویژه طراحی ستون تحت حریق با نتایج شبیه سازی عددی، همایش ملی عمران و معماری با رویکردی بر توسعه پایدار، فومن: دانشگاه آزاد اسلامی واحد فومن و شفت.

مرتضوی، سید محمدرضا؛ زعمی دار، بهروز (۱۳۹۴). آسیب پذیری سازه‌های فولادی در معرض حریق و معرفی تمهیدات و راهکارهای نوین حفاظت و پیشگیری مطرح در استانداردهای بین‌المللی، کنفرانس بین المللی پژوهش‌های کاربردی مهندسی عمران، معماری و مدیریت شهری، تبریز: دبیرخانه دائمی کنفرانس.

وزارت نفت جمهوری اسلامی ایران (۱۳۹۲). استاندارد پوششهای ضد حریق ساختمانها (IPS-C-CE-۲۶۰)، ویرایش سوم، استانداردهای نفت ایران.

ASTM E736 (2017). Standard test method for cohesion/adhesion of sprayed fire-resistive materials applied to structural members, ASTM International, West Conshohocken, P. A., Retrieved from: www.astm.org

Correia, J. R., Branco, F. A. & Ferreira, J. G. (2010). The effect of different passive fire protection systems on the fire reaction properties of GFRP pultruded profiles for civil construction. Journal of Composites, Part A: Applied Science and Manufacturing, 41(3): 441-452. Retrieved from: https://doi.org/10.1016/j.compositesa.2009.12.002.

DIN 4102-1 (1998). Fire behaviour of building materials and elements- Fire test to building material, Germany Standard.

Franseen, J. M., Kodur, V. & Zaharia, R. (2009). Designing steel structures for fire safety, London: Taylor & Francis Group.

Silva, V. P. (2005). Determination of the steel fire protection material thickness by an analytical process - A simple derivation. Journal of Engineering Structures, 27(14): 2036-2043. Retrieved from: https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2005.05.018.

UL 1709 (2017). Standard for rapid rise fire tests of protection materials for structural steel, Underwriters Laboratories (UL), USA, ISBN 0-7629-1074-7.