فصلنامه دانش پیشگیری و مدیریت بحران/ دورهٔ پنجم، شمارهٔ اوّل، بهار ۱۳۹۴
Disaster Prevention and Management Knowledge (DPMK) Quarterly, Vol. 5, No. 1 (Spring 2015)

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۱۱/۳۰
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۰۲/۱۵

آمادگی در برابر آتش‌سوزی در ساختمان‌های بلندمرتبه

رویکردهای کاهش آسیب‌پذیری و آمادگی در برابر آتش‌سوزی احتمالی در ساختمان‌های بلندمرتبه

علیرضا فلاحی[۱] و عاطفه امیدخواه[۲*]
۱. دانشیار و مدیر گروه پژوهشی بازسازی پس از سانحه، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران
*۲. کارشناس ارشد بازسازی پس از سانحه، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران (نویسنده مسئول) atefe_omidkhah@yahoo.com

چکیده

زمینه و هدف: توجه به مسئله ایمنی در برابر آتش‌سوزی در ساختمان‌های بلندمرتبه که امروزه بخش عظیمی از ساخت‌وسازهای شهری را به خود اختصاص می‌دهند حائز اهمیت است. عدم شناخت مسائل مرتبط با این نوع ابنیه به دلیل مجموعه شرایط منحصر به فرد آن‌ها می‌تواند تهدیدی جدی برای جان و مال افراد باشد. این مقاله در پی پاسخ به این پرسش است که به چه طریق روش‌های مطرح آمادگی در برابر آتش‌سوزی احتمالی امکان اجرایی شدن در شرایط فعلی بلندمرتبه‌سازی کشورمان را دارا هستند؟

روش: این مطالعه مروری به مرور مبانی نظری و تجربیات جهانی در راستای کاهش آسیب‌پذیری و آمادگی ساختمان‌های بلند در برابر رخداد سانحه آتش‌سوزی می‌پردازد. بدین منظور با مرور متون تخصصی، ضوابط و دستورالعمل‌های جهانی درزمینه مدیریت ایمنی سانحه آتش‌سوزی در ساختمان‌های بلندمرتبه و نیز بررسی راهکارهای نوین شده و نهایتاً جمع‌بندی نتایج با توجه به امکان کاربست آن‌ها در کشور پرداخته شده است.

یافته‌ها: در کشورهای توسعه یافته ازلحاظ دانش ساخت‌وسازهای بلندمرتبه سه روش پیشگیری به‌کارگرفته می‌شود. اولین روش «محاسبه زمان تخلیه جهت طراحی مسیر تخلیه مطلوبی» است که امکان خروج بار جمعیتی ساکن در ساختمان را در مدت زمان محدود به سمت فضای امن داشته باشد. روش دوم بر «تجهیز و کاربرد آسانسورهای ساختمان» جهت تسریع فرآیند تخلیه تمرکز دارد و نهایتاً روش سوم با در نظر گرفتن احتمال عدم وجود شرایط خروج و یا صرف‌نظر کردن از آن به دلیل شرایط جسمی یا روحی افراد بر محافظت از ساکنان در نقاطی امن در زیربنای ساختمان تحت عنوان «طبقات یا فضاهای پناه» تأکید می‌ورزد.

نتیجه‌گیری: افزون بر این‌ها توجه به ابعاد سانحه و آسیب‌پذیری‌های ساختمان در برابر آن از زمان شروع طراحی و به‌کارگیری چندین گزینه جایگزین جهت تأمین ایمنی به همراه تشکیل تیم مدیریت بحران و برنامه‌ریزی‌های مداوم در مدیریت ایمنی ساختمان‌های بلند نیز می‌تواند به اثربخشی اقدامات کمک نماید.

نوع مقاله: مطالعه مروری.

کلیدواژه‌ها: آمادگی در برابر آتش‌سوزی، ساختمان بلندمرتبه، ضوابط بلندمرتبه‌سازی، ایمنی ساختمان‌ها، تخلیه اضطراری، زمان تخلیه، طبقات پناه، تخلیه ایمن.

◀ **استناد فارسی (شیوه APA، ویرایش ششم ۲۰۱۰):** فلاحی، علیرضا؛ امید خواه، عاطفه (بهار ۱۳۹۴). رویکردهای کاهش آسیب‌پذیری و آمادگی در برابر آتش‌سوزی احتمالی در ساختمان‌های بلندمرتبه. *فصلنامه دانش پیشگیری و مدیریت بحران*، ۵(۱)، ۴۳-۵۷.

PREPAREDNESS AGAINST FIRES IN HIGH-RISE BUILDINGS

Approaches to Reducing Vulnerability and Preparedness against Possible Fire in High-Rise Buildings

Alireza Fallahi[1] & Atefe Omidkhah[2*]
1. Associate Professor,Faculty of Architecture and Urbinization,Shahid Beheshti Univ., Tehran, Iran
*2. MS. in Post-disaster reconstruction, Faculty of Architecture and Urbinization,Shahid Beheshti Univ., Tehran, Iran (Corresponding author) atefe_omidkhah@yahoo.com

ABSTRACT

Background and objectives: Fire safety issues in high-rise buildings which are the dominant trend of urban new developments are critically noticeable. Lack of knowledge about fire safety problems in these types of construction seriously threats people's lives and properties. This article seeks to answer the question that in what ways methods of preparedness against possible fire has the possibility of implementing in the current situation of high rise building of our country.

Method: This article reviews the literature and international experience in preparedness and vulnerability reduction in high-rise buildings against fire incidents. For this purpose by reviewing of the specialized literature, international standards and guidelines in the field of safety management of fire incident in high rise buildings as well as search for new solutions, finally it has been concluded due to the possibility of their use in our country.

Findings: In developed countries in terms of knowledge of high rise construction three preventive methods were used. The first method is "to calculate the evacuation time to design an optimal evacuation route" which may provide the population to exit the building in a limited safe time. The second method focuses on "mobilization and application of the building lifts" to expedite the evacuation process. Finally, the third method, taking into account the probability of some residents becomes unable to evacuate or face sets of difficulties because of physical disabilities, propose "defend-in-place concept by constructing refuge zones or floors".

Conclusion: In addition, paying attention to the dimensions of the incident and building vulnerabilities against it since the beginning of the design of high-rise building and applying some alternative options to ensure safety along with the disaster management team and ongoing planning in safety management of high-rise building can contribute to effectiveness of measures.

Type of paper: Review article

Keywords: Preparedness against Fire, High-Rise Building, Standards of High-Rise Buildings, Safety of Buildings, Emergency Evacuation, Evacuation Time, Refuge Floors, Safe Evacuation.

▶ **Citation (APA 6th ed.):** Fallahi A. & Omidkhah A. (2015, Spring). Approaches to reducing vulnerability and preparedness against possible fire in high-rise buildings. *Disaster Prevention and Management Knowledge Quarterly (DPMK), 5*(1), 43-57.

مقدمه

رشد فزاینده جمعیت، توسعه شهرنشینی و کمبود و ارزش زمین در گسترش شهرها از یک‌سو؛ و پیشرفت تخصص و فناوری ساخت‌وساز از دیگر سو، باعث افزایش روزافزون بلندمرتبه‌سازی و سکونت مردم در آن‌ها شده است. چنین ساختمان‌هایی به دلیل تعدد طبقات، تراکم جمعیتی بالا و وجود تأسیسات و تجهیزات الکتریکی و مکانیکی در هنگام بروز سوانحی چون زلزله و آتش‌سوزی با چالش‌های متفاوتی نسبت به ساختمان‌های کوتاه‌تر روبرو می‌باشند. از جانب دیگر به علل 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. با توجه به تجربیات محدود کشور در مدیریت بحران‌های شهری به نظر می‌رسد در اثر وقوع آتش‌سوزی در ساختمان‌های بلند مسائل و مشکلاتی متعددی بروز نموده که رسیدگی، کنترل و مدیریت آن‌ها تنها در شرایط اضطراری پس از سانحه بسیار دشوار خواهند بود. این مطالعه قصد دارد ضمن مرور مواردی که در هنگام رخداد آتش‌سوزی ساختمان‌های بلندمرتبه را تبدیل به کالبدهایی بسیار پرخطر می‌نماید، به بازشناسی رویکردهای جدید جهت مقابله با این مخاطرات بپردازد. نمونه اخیر این قبیل شرایط بحرانی را می‌توان در آتش‌سوزی طبقات ۱۳ تا ۱۵ برج چهارده طبقه اداری شهید تند گویان در عسلویه مشاهده کرد (شبکه خبر، ۱۳۹۳؛ شبکه اطلاع‌رسانی راه، ۱۳۹۳). بنا به گفته شاهدان آتش‌سوزی این برج پس از ساعت‌ها ادامه داشته است و به دلیل ارتفاع زیاد این ساختمان مهار آتش در طبقه چهاردهم این برج باوجود استقرار تمامی عوامل آتش‌نشانی شهرستان عسلویه و شهرهای هم‌جوار امکان‌پذیر نبوده و ساکنان حاضر در آن طبقات محبوس شده بودند. علاوه بر موارد فوق میزان خسارت چشمگیر وارد به این برج لزوم تأمل مجدد درزمینه میزان ایمنی ساختمان‌های بلندمرتبه در برابر آتش‌سوزی را به روشنی نمودار می‌سازد.

«آسیب‌پذیری»[1] به مجموعه‌ای از شرایط منتج از عواملی از قبیل فیزیکی، اجتماعی و اقتصادی اطلاق می‌شود که برخلاف توانایی پاسخگویی به سانحه عمل می‌کنند (فلاحی، ۱۳۸۸)؛ به عبارت دیگر، آسیب‌پذیری باعث بروز خسارات و تحمیل هزینه‌های تعویض و تعمیر و یا از دست رفتن زندگی و تندرستی مردم می‌گردد. با توجه به فرآیند چرخه‌ای بحران‌ها که ازلحاظ زمانی در ۳ سطح (قبل، حین و بعد از بحران) قابل تقسیم‌بندی است. به منظور کاهش آسیب‌پذیری در رابطه با هر سانحه خاص در مرحله پیش از بحران باید به وجوه پیشگیری و «آمادگی»[2] مبادرت ورزید (سازمان شهرداری‌ها ودهیاری‌های کشور، ۱۳۸۵). آمادگی خود شامل پژوهش و برنامه‌ریزی، ایجاد ساختارهای مدیریتی، آموزش و مانور می‌شود. (جزایری فارسانی و ابراهیمی، ۱۳۷۴). در مطالعه حاضر دامنه بررسی‌ها به «ساختمان‌های بلند»[3] محدود شده است که مطابق ضوابط ساختمان‌هایی هستند که ارتفاع آن‌ها به شرح فاصله قائم از تراز متوسط کف زمین طبیعی تا متوسط ارتفاع بام ساختمان بیش از ۲۳ متر باشد (سازمان آتش‌نشانی و خدمات ایمنی شهر تهران، ۱۳۹۳).

بررسی پژوهش‌های جهانی نشان می‌دهد که برای ساختمان‌های بلندمرتبه تمهیدات متفاوتی نسبت به سایر ساختمان‌ها بکارگرفته می‌شود و در اکثر موارد اجرایی شدن این تمهیدات منوط به در نظر گرفتن آن‌ها از مرحله طراحی ساختمان و مطابق با ضوابط و آئین‌نامه‌های ویژه ساختمان‌های بلند است. به‌عنوان 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، نیوزلند و ژاپن برای ساختمان‌های بلند روش طراحی کارکردی به جای الزامات تجویزی آئین‌نامه‌ای بکارگرفته می‌شود (تاوارس، ۲۰۰۹).[4] با توجه به اینکه به‌کارگیری بسیاری از این روش‌ها نیازمند وجود سطوح بالای دانش تخصصی در حوزه ایمنی آتش‌سوزی می‌باشد و از طرف دیگر باعث تحمیل هزینه‌های بیشتری در فرآیند ساخت‌وساز می‌گردد، مطالعه حاضر ضمن تلاش برای شناخت دقیق‌تر این راهکارها در پی‌پاسخ به این

1. Vulnerability

2. Preparedness

3. High-rise Buildings

4. Tavares, 2009

پرسش است که به چه طریق روش‌های مورداشاره فوق امکان اجرایی شدن در شرایط فعلی بلندمرتبه‌سازی کشورمان را دارا هستند؟

روش

پژوهش حاضر مقدمه‌ای بر بومی‌سازی[1] راهکارهای جهانی به منظور حل مسائل و تصمیم‌گیری برای مشکلات موجود در کشور است، لذا مرور متون تخصصی، تجارب و دستورالعمل‌ها حائز اهمیت می‌باشد. پژوهش از نوع مروری است و در آن هدف اساسی مورد نظر رسیدن به ارائه راه‌کارها، پیشنهادها و یا الگوی مناسب به‌واسطه کسب شناخت از موضوعات می‌باشد. هدف از انجام پژوهش بررسی اقدامات جهانی در موضوع و نهایتاً جمع‌بندی یافته‌ها با توجه به امکان کاربست آن‌ها در کشور و طریق ارائه راهکار است. به منظور تدقیق در موضوع، دامنه مطالعات در این پژوهش محدود به ساختمان‌هایی است که به عنوان بلندمرتبه طبقه‌بندی می‌شوند و دارای کاربری مسکونی هستند و سانحه مورد نظر برای آن‌ها نیز محدود به آتش‌سوزی شده است. برای جمع‌آوری داده‌ها از روش بررسی اسناد (کتاب‌های علمی و تخصّصی، مقالات علمی و پژوهشی، اسناد و مدارک دست اوّل، آرشیو سازمان‌های رسمی و سایت‌های اینترنتی دانشگاهی) استفاده شد.

یافته‌ها

پیش از بررسی رویکردهای کاهش آسیب‌پذیری در برابر سانحه آتش‌سوزی در ساختمان‌های بلندمرتبه ابتدا لازم است تا نقاط ضعف و عواملی که در تشدید آسیب‌پذیری ساختمان‌های بلندمرتبه اثرگذارند شناسایی شوند:

◀ **عوامل مؤثر در تشدید آسیب‌پذیری آتش‌سوزی در ساختمان‌های بلندمرتبه:** طبق نظر انجمن معماران ایالت انتاریو[2] کانادا شش دلیل اصلی به عنوان عوامل تشدیدکننده آسیب‌پذیری در برابر آتش‌سوزی در ساختمان‌های بلندمرتبه بیان شده است:

۱. **ویژگی‌های سیستم خروج:**[3] به دلیل تعداد طبقات زیاد و افزایش نیافتن عرض پله‌ها ضمن پایین آمدن، احتمال ازدحام و حرکت آرام در راه‌پله‌های خروجی ساختمان‌های بلند وجود دارد. از طرف دیگر با در نظر گرفتن این موضوع که زمان موردنیاز برای پایین آمدن ساکنان از راه‌پله با ازدیاد ارتفاع ساختمان بیشتر می‌گردد و نیز چاه پله مسیر اصلی حرکت عمودی دود آتش به حساب می‌آید، با ورود دود به مسیر راه پله، احتمال در معرض دود بودن افراد نیز بالا می‌رود.

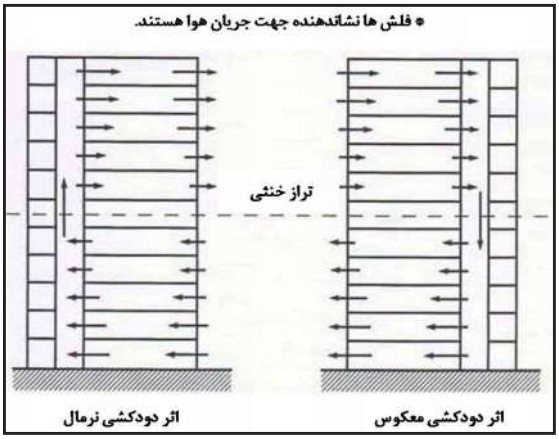
۲. **دسترسی آتش‌نشانان[4] در هنگام سوانح:** در ساختمان‌های بلند برای آتش‌نشانان محدودیت‌های تاکتیکی وجود دارد (کولومبوس (اوهایو). بخش آتش‌سوزی. دفتر پیشگیری از آتش‌سوزی، ۲۰۱۰).[5] حتی با وجود خودروهای مدرن و نردبان‌های هوایی جدید نیز، آتش‌نشانان قادر به دسترسی ۶ تا ۷ طبقه ساختمان از بیرون خواهند بود. امداد و آتش‌نشانی خارجی غالباً به طبقات پایینی محدود می‌شود. در ساختمان‌های بلند تلاش‌های اطفای حریق محدود به اطفاء آن از داخل ساختمان می‌شود (کیلی، ۲۰۰۸).[6] از طرف دیگر زمان مورد نیاز و شرایطی که در آن آتش‌نشانان باید به محل آتش‌سوزی برسند مشکلات را افزایش می‌دهد ((کولومبوس (اوهایو). بخش آتش‌سوزی. دفتر پیشگیری از آتش‌سوزی، ۲۰۱۰). اگر آتش‌سوزی در سطح بالاتر از دسترسی نردبان‌های آتش‌نشانی باشد، آتش‌نشانان می‌بایست حرکت عمودی‌شان به سمت بالا برای دسترسی به محدوده آتش‌گرفته از داخل ساختمان و در شرایطی انجام دهند که ساکنان در حال پایین آمدن از پله‌ها هستند. با توجه به زمان مورد نیاز برای رسیدن کارکنان اداره آتش‌نشانی به محل وقوع سانحه، این امر موجب ایجاد تأخیر در دسترسی به آتش و خاموش کردن آن شده و میزان آلودگی را در چاه پله به علت بازماندن درهای ورودی به آن برای عبور شلنگ آتش‌نشانی افزایش می‌دهد (ریچاردسون، ۲۰۰۲).[7]

۳. **نیروهای طبیعی:**[8] نیروهایی مانند باد و اختلاف فشار هوا در

1. Localization
2. Ontario
3. Egress Systems
4. Fire Department Access
5. Columbus (Ohio). Division of Fire. Fire Prevention Bureau, 2010
6. Kealy, 2008
7. Richardson, 2003
8. the Force of Nature

اثر ارتفاع باعث ایجاد «اثر دودکشی»[1] در ساختمان‌های بلند می‌شود که تأثیر بسزایی در انتقال دود دارند. اثر دودکشی با افزایش ارتفاع ساختمان بیشتر می‌شود. سرعت و جهت باد نیز بر مسیر آتش تأثیر می‌گذارد. این دو عامل در ساختمان‌های کوتاه‌تر تأثیر به مراتب کمتری دارند (ریچاردسون، ۲۰۰۲). در ساختمان‌های بلند جابجایی عمده هوا و دود در داخل ساختمان به علت اثر دودکشی یا اثر دودکشی معکوس صورت می‌گیرد. اثر دودکشی با افزایش ارتفاع ساختمان و افزایش اختلاف دمای داخل و بیرون تشدید پیدا می‌کند (کیلی، ۲۰۰۸). تصویر ۱ اثر دودکشی نرمال را در یک ساختمان بلندمرتبه که در آن دمای خارجی از دمای داخل ساختمان کمتر است (مانند فصل زمستان) و اثر دودکشی معکوس را زمانی که دمای داخلی از دمای خارجی کمتر است (مانند تهویه ساختمان در فصل تابستان) نشان می‌دهد (ریچاردسون، ۲۰۰۲).

تصویر ۱. جریان هوا درنتیجه اثر دودکشی نرمال و معکوس*



***منبع:** ریچاردسون، ۲۰۰۲، ص ۲۸.

در زمستان، هوا از سطوح پایین‌تر از خنثی (تصویر ۱) وارد شده و از بالای آن خارج می‌شود و درنتیجه دود و هوا به طرف بالا در داخل ساختمان حرکت می‌کند. در تابستان، هوا از بالای تراز خنثی وارد شده و از پایین آن خارج می‌شود که این امر سبب حرکت به سمت پایین هوا و دود موجود در داخل ساختمان می‌گردد. باد نیز باعث به وجود آمدن اختلاف فشارهای عمده، نشت و نفوذ هوا و درنتیجه جابجایی دود بیشتر می‌گردد. عوامل جهت باد، پوسته بیرونی ساختمان و ارتفاع آن نسبت به ساختمان‌های مجاورش در میزان تأثیرگذاری باد مهم هستند. جریان هوا در اثر باد در داخل ساختمان در شرایط عادی به صورت افقی است. در شرایط آتش‌سوزی و در اثر شکسته شدن پنجره ها، افزایش فشار در طبقه محل آتش باعث جریان یافتن دود به طبقات مجاور و شفت‌های عمودی می‌گردد (ریچاردسون، ۲۰۰۲).

۴. **افزایش تراکم ساکنان و بار حریق:**[2] عامل دیگر افزایش خطرپذیری در ساختمان‌های بلند است. وجود طبقات متعدد اشغال شده یکی برفراز دیگری باعث تجمع افراد و در نتیجه وجود میزان زیادی اموال شخصی و تجاری است. این به معنی وجود پتانسیل بالاتر احتمال ایجاد آتش‌سوزی و وجود مقادیر بیشتر سوخت بالقوه برای هرگونه آتشی که در ساختمان رخ دهد است (تارمارجان، ۲۰۰۷).[3] از طریق اضافه شدن طبقات به ساختمان، تراکم ساکنان و نیز بار سوخت نیز در ساختمان بیشتر می‌شود. به علت وجود موانع افقی، آتش تمایل به حرکت به سمت بالا و اضافه شدن سوخت بیشتر و تحت تأثیر قرار دادن نفرات بیشتری دارد (ریچاردسون، ۲۰۰۲). بار سنگین سوخت می‌تواند باعث گسترش آتش به طبقات بالایی از طریق پنجره شود (کولومبوس (اوهایو). بخش آتش‌سوزی. دفتر پیشگیری از آتش‌سوزی، ۲۰۱۰). احتمال گسترش کنترل‌نشده آتش به سمت بالا یک خطر همیشگی برای ساختمان‌های بلند است چراکه این‌ها سازه‌های عمودی هستند. افزون بر این موارد، تجمع افراد در یک محل خاص گردآمده‌اند، بدین معناست که در هرزمانی به معنی احتمال بیشتر صدمات یا مرگ است (تارمارجان، ۲۰۰۷). با توجه به نوع کاربری ساختمان افراد مختلفی با شرایط گوناگون می‌توانند در آن حضورداشته باشند. در ساختمان‌های مسکونی کودکان و افراد سالخورده حضور دارند و در ساعات مختلف شبانه‌روز افراد ممکن است در حال استراحت و خواب بوده و ازآنچه در اطرافشان

۱. «اثر دودکشی» به حرکت به سمت بالا یا پایین دود در اثر اختلاف دما بین داخل و خارج ساختمان گفته می‌شود. این اثر تقریباً مانند نسخه بزرگ مقیاس اثر همرفتی است.

2. Increase Density of Occupant and Fuel Load
3. Tharmarajan, 2007

به وقوع می‌پیوندد، مطلع نباشند (کولومبوس (اوهایو). بخش آتش‌سوزی. دفتر پیشگیری از آتش‌سوزی، ۲۰۱۰).

۵. **سرویس‌های خدماتی پیچیده با توزیع عمودی:**[1] مانند شبکه پیچیده لوله، داکت‌ها، کابل‌ها و مجراهای آب در ساختمان‌های بلند وجود دارند که هم به علت بروز جرقه و اتصال کوتاه می‌توانند عامل بروز آتش‌سوزی باشند و هم می‌توانند به عنوان مجراهایی برای انتقال دود و شعله عمل کنند. از طرف دیگر آسیب‌دیدن این اجزا در ساختمان نیز می‌تواند باعث تشدید اثرات آتش‌سوزی، انتقال اثرات به سایر طبقات و بروز مشکلات جدید شود (ریچاردسون، ۲۰۰۲).

۶. **مجموعه مشکلات آتش‌سوزی:**[2] به علت اینکه ساختمان‌های بلندمرتبه، سازه‌هایی منفرد محسوب نشده و غالباً در نزدیکی مراکز خرید و دیگر کاربری‌های تجاری ساخته می‌شوند. از آنجا که هر نوع کاربری مسائل و مشکلات منحصر به خود را در رابطه ایمنی در برابر آتش دارد، هنگامی که کاربری‌های مختلف کنار هم قرار می‌گیرند، نیاز به راه‌حل‌های مهندسی شده ویژه‌ای برای حصول اطمینان از ایمنی ساکنان وجود دارد. از طرف دیگر به گزارش اداره کل آتش‌نشانی ایالات‌متحده (USFA) [3] در سال ۲۰۰۲ تعداد تلفات ناشی از آتش‌سوزی در ساختمان‌های بلند از کل تلفات آتش‌سوزی‌ها (به‌ویژه در اداره آتش‌نشانی ایالات متحده آمریکا ساختمان‌های کوتاه‌تر) درصد کوچک‌تری دارد؛ اما پرسش مطرح عبارت است از اینکه چرا باید اقدامات ایمنی آتش در ساختمان‌های بلند انجام پذیرد؟ اداره‌کل آتش‌نشانی ایالات متحده دلایل زیر را برای این امر بر می‌شمارد (برکمن، ۲۰۰۴):[4]

۱. با توجه به تعریف ساختمان بلندمرتبه به عنوان ساختمان‌های بالاتر از ۵ طبقه، آتش‌سوزی‌های رخ‌داده در این گروه سالانه میلیون‌ها دلار خسارت مالی وارد می‌کنند.

۲. اگرچه نرخ مرگ و میر و تلفات در ساختمان‌های بلند نصف نرخ تلفات کلی است، اما میزان جراحات در اثر آتش‌سوزی در این ساختمان‌ها بسیار بالاست. اداره کل آتش‌نشانی ایالات متحده، نرخ پایین مرگ و میر را در نتیجه وجود هشدارهای دود می‌داند که بیشتر در ساختمان‌های بلند مسکونی نصب می‌شوند تا ساختمان‌های کوتاه.

۳. سه چهارم آتش‌سوزی ساختمان‌های بلند در ساختمان‌های مسکونی رخ می‌دهند.

۴. آتش‌سوزی‌هایی که در طبقات بالاتر اتفاق می‌افتند، باعث ایجاد تلفات چشمگیرتری می‌شوند.

۵. به دلیل ویژگی‌های کالبدی در ساختمان‌های بلندمرتبه اطفاء آتش‌سوزی برای خدمات آتش‌نشانی در مقایسه با انواع دیگر ساختمان‌ها دشوارترند.

۶. پس از حادثه ۱۱ سپتامبر حساسیت و توجه عمومی به سانحه در ساختمان‌های بلند افزایش یافته و این امر زمینه بهتری را برای آموزش در چنین کالبدهایی فراهم آورده است.

از دیدگاه پدافند غیرعامل، موارد زیر به عنوان عوامل و عناصر مستعد خطر در اثر آتش‌سوزی در ساختمان‌های بلندمرتبه عنوان شده‌اند (سوجات‌میکو، هرمن وان، سوئی‌جیجانتو و سولامی، ۲۰۱۲):[5]

۱. بازشوها و مجاری مستطیل شکل با ضریب تهویه بالا

۲. سایه‌بان‌های بین بازشوها اگر طبق استاندارد و با طول حداقل ۱۰۰ سانتیمتر ساخته نشوند، کارکرد مانع حریق نخواهند داشت.

۳. درها از جنس چوبی و فاقد پوشش‌های مقاوم حریق و خود بسته شو باشند. درهای باز می‌توانند به آسانی دود را به راهرو هدایت کنند.

۴. موقعیت قرارگیری بازشوها و داکت‌های تأسیساتی چه افقی و چه عمودی در نزدیکی راهرو می‌تواند باعث گسترش دود و شعله شود.

۵. ردیاب‌ها (دتکتورها) و هشداردهنده‌ها تمام سطح زیربنای ساختمان را پوشش نداده و دارای نقاط کور باشند.

۶. سیستم آبپاش (اسپرینکلر) به‌صورت موضعی در ساختمان نصب شده باشد.

1. complex vertical utility services
2. integrated fire problems
3. United States Fire Administration (USFA)
4. Berkman, 2004
5. Sujatmiko, Hermanwan, Soegijanto & Soelami, 2012

با توجه به مجموعه چالش‌های پیش‌روی ساختمان‌های بلندمرتبه در هنگام شرایط بحرانی به‌ویژه بروز آتش‌سوزی‌ها، می‌توان نتیجه گرفت که تأمین ایمنی با توجه به هریک از ویژگی‌های ذکر شده در ساختمان‌های بلند، نیازمند به حل مشکلات مربوط در آن زمینه است. علیرغم اینکه آئین‌نامه‌های ساختمانی راه‌حل‌های کلی را برای فائق آمدن بر این مشکلات ارائه می‌دهند (ریچاردسون، ۲۰۰۲)، برای نیل به هدف تأمین ایمنی نباید تنها به آئین‌نامه‌های ساخت‌وساز محدود شد. به همین دلیل است که در گرایش‌های دانش روز دنیا جهت حل و فصل مسائل مرتبط با بحران در ساختمان‌های بلند موضوعات زیر را از زمان شروع طراحی، فرایند ساخت‌وساز و هنگام بهره برداری موردتوجه قرار می‌دهد:

- محاسبه زمان تخلیه برای طراحی مسیر تخلیه
- به‌کارگیری آسانسورها در فرآیند تخلیه اضطراری
- عدم تخلیه و محافظت در محل با احداث فضاهای پناه‌گیری در هر طبقه و ساخت طبقات پناه.

◀ **محاسبه زمان تخلیه برای طراحی مسیر تخلیه:** آتش‌سوزی به عنوان یکی اصلی‌ترین سوانح تهدیدکننده ساختمان‌های بلندمرتبه شناخته می‌شود، ازاین‌رو پژوهش در زمینه بحران‌های ناشی از آن شامل مباحثی پیچیده، گسترده و میان رشته‌ای می‌شوند که موضوع تخلیه اضطراری و زمان تخلیه یکی از آن‌هاست (مو و همکاران، ۲۰۱۳).[1] مفهوم طراحی مبتنی بر عملکرد آتش[2] توسط انجمن ملی حفاظت در برابر آتش ایالات متحده امریکا (NFPA)[3] پیشنهادشده است (سوجاتمیکو، دیپوجونو و سولمی[4]، ۲۰۱۴). ویرایش ۲۰۱۲ آئین‌نامه NFPA ۱۰۱ در نظر گرفتن سناریوهای مختلف آتش‌سوزی که ممکن است در ساختمان رخ دهد و اینکه آن‌ها چگونه می‌توانند بر قابلیت سکونت در ساختمان اثر بگذارند و یا چه مدت زمانی جهت تخلیه ایمن افراد از ساختمان مورد نیاز است را برای ساختمان‌های بلند ضروری می‌داند (انجمن ملی حفاظت در برابر آتش، ۲۰۱۲).[5] عدم قطعیت و وجود ابهام در مورد زمان خروج ایمن مشکل اصلی در هنگام طراحی مبتنی بر عملکرد آتش است. ازاین‌رو همواره ارائه یک روش مناسب جهت محاسبه زمان تخلیه موضوع مورد پژوهش بسیاری از دانشمندان بوده است. این روش می‌تواند برای افزایش درجه دقت و درستی پیش بینی‌ها در طراحی ایمن مقابل آتش ازیک‌طرف و برای نهادهای ناظر در کمک به پذیرش میزان ایمنی در طراحی‌های انجام شده، مفید و مؤثر باشد (پنگ، زو، لیو، ژانگ و لی، ۲۰۱۱).[6] پیش‌بینی حرکت افراد در تخلیه اضطراری بخش مهمی از تحلیل‌ها و طراحی مبتنی بر عملکرد است (سوجات‌میکو و همکاران، ۲۰۱۴). تخلیه فرآیندی است که در آن ساکنان ساختمان متوجه آتش‌سوزی شده و در نتیجه آن به سمت یک محل امن در داخل ساختمان یا خارج از آن انتقال می‌یابند. این فرآیند تخلیه توسط سه فعالیت در سه مرحله اصلی مشخص می‌گردد (اُکانر، ۲۰۰۵؛ پرسر و بن‌سیلوم، ۲۰۰۱):[7]

- آگاهی یافتن از خطر توسط یک محرک خارجی (دوره اعتبار سنجی نشانه‌ها)
- تأیید و پاسخ به شاخص‌های خطر (دوره تصمیم‌گیری) [دو مرحله اعتبارسنجی نشانه‌ها و تصمیم‌گیری با هم به عنوان دوره پیش از حرکت شناخته می‌شوند.]
- حرکت به سمت محل امن یا پناه‌گیری در یک مکان امن (دوره حرکت)

با توجه به تعریف فوق در هنگام رخداد آتش‌سوزی، ایمنی افراد تخلیه شونده زمانی تأمین می‌شود که مقدار زمان مورد نیاز برای خروج (RSET)[8] از مقدار زمان موجود برای خروج (گریز) (ASET)[9] یا کمتر باشد (مو و همکاران، ۲۰۱۳). در هنگام انجام طراحی مبتنی بر عملکرد آتش، به منظور محاسبه زمان RSET باید به تمامی مؤلفه‌های مؤثر در ایمنی و نیز مقدار عدم قطعیت و احتمالات توجه نمود. در محاسبه این زمان باید عواملی چون تراکم جمعیت، سرعت حرکت افراد، ضریب جریان خروج، زمان پیش از تخلیه، عرض خروجی‌ها و مسیرها و مواردی از این قبیل را در نظر گرفت. ازآنجا که تعیین مقدار دقیق هرکدام از عوامل فوق بسته

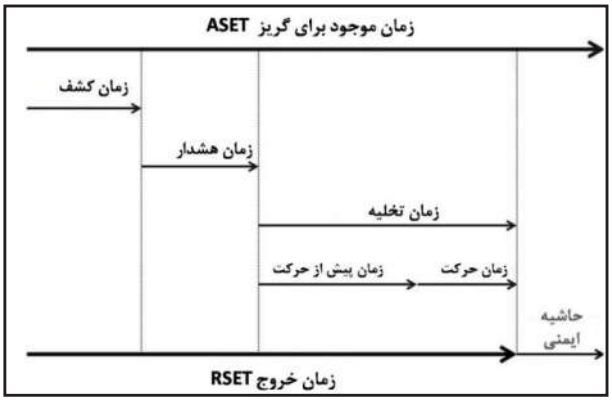
1. Mu et al., 2013
2. Performance-based Fire Desig
3. National Fire Protection Association (NFPA)
4. Sujatmiko, Dipojono & Soelami, 2014
5. National Fire Protection Association [NFPA], 2012
6. Peng, Zhou, Liu, Zhang & Li, 2011
7. O Connor, 2005; Purser & Bensilum, 2001
8. Required Safe Egress Time (RSET)
9. Available Safe Egress Time (ASET)

به شرایط ممکن است امکان‌پذیر نباشد، در محاسبات از مقدارهای تقریبی تعریف شده در بازه‌های عددی استفاده می‌شود. وجود چنین عدم قطعیت و کاربست احتمالات در محاسبه زمان تخلیه، همان چالشی است که در صحت نتیجه حاصل در روش طراحی مبتنی بر عملکرد اثرگذار است (پنگ و همکاران، ۲۰۱۱)، ولی در حالت کلی پس از برآورده ساختن استانداردهای ایمنی، مقدار محاسبه شده برای زمان ASET باید بیشتر از RSET باشد تا از حفظ جان ساکنان و افراد حاضر در ساختمان اطمینان حاصل گردد. بازه‌های زمانی در RSET عبارت‌اند از (سوجات‌میکو و همکاران، ۲۰۱۴):

- مرحله اکتشاف (مدت زمان از شروع جرقه تا هنگامی که حریق قابل تشخیص شود).
- مرحله آگاه‌سازی (مدت بین اکتشاف تا هشداردهی)
- مرحله پیش از تخلیه (مدت بین هشدار تا شروع حرکت و تخلیه)
- مرحله تخلیه (زمان بین شروع حرکت تا رسیدن به نقطه امن)

زمان شروع تخلیه یا Ts تأثیر مستقیمی در مقدار RSET دارد. نتیجه پژوهش‌های محققان نشان می‌دهد که در هنگام آتش‌سوزی زمان Ts تحت تأثیر عوامل مختلفی قرار دارد و به همین جهت مقدار عددی ثابتی برای آن نمی‌توان در نظر گرفت، ولی با توجه به مجموعه عوامل می‌توان اظهار داشت که مقدار آن رابطه نزدیکی با نوع عکس‌العمل‌های افراد شامل شرایط روانی آن‌ها پیش از تخلیه دارد. علاوه بر این فاکتور پیش‌زمینه فرهنگی نیز در تعیین مقدار Ts بسیار اثرگذار است (مو و همکاران، ۲۰۱۳). نتیجه مطالعات نشان می‌دهد که پس از انجام محاسبات، زمان تخلیه باید در یک ضریب ایمنی که در مقادیر متفاوت ۱/۲ یا ۱/۵ و در موارد بدبینانه حتی ۲ در نظر گرفته می‌شود، ضرب گردد (پنگ و همکاران، ۲۰۱۱). در تعریفی دیگر گرازیلا و کونکا در مقاله خود دو عامل T_{se} یا همان ASET و T_{ex} یا زمان خروج[1] که به عنوان RSET نیز شناخته می‌شود را مطابق تصویر ۲ نمایش داده و رابطه میان آن‌ها را به شرح زیر توضیح می‌دهند.

تصویر ۲. زمان‌های ASET و RSET در تخلیه*



*منبع: کونکا و ویجنولو، ۲۰۱۲، ص ۳,[2]

زمان موجود برای گریزی امن باید بیش از زمان مورد نیاز برای تخلیه باشد. افزایش میزان تفاوت میان این دو زمان، درجه ایمنی ساختمان را بالا می‌برد. زمان خروج یا T_{ex} از مجموع زمان‌های کشف آتش (T_{det})، زمان هشدار (T_a)، زمان پیش از حرکت (T_{pre}) و زمان حرکت (T_{trav}) تشکیل می‌شود. زمان تخلیه (T_{ev}) به طور خاص به مجموع زمان‌های پیش از حرکت و زمان حرکت اطلاق می‌گردد. (کونکا و ویجنولو، ۲۰۱۲) حاشیه ایمنی نیز اختلاف زمان محاسبه شده و مورد نیاز برای تخلیه و کل زمان موجود جهت انجام تخلیه ساختمان است (چو و ان. جی.، ۲۰۰۶).[3]

حاشیه ایمنی=ASET– RSET

$$T_{trav} + T_{pre} + T_a + T_{det} = T_{ev} + T_a + T_{det} = T_{ex} < T_{se}$$

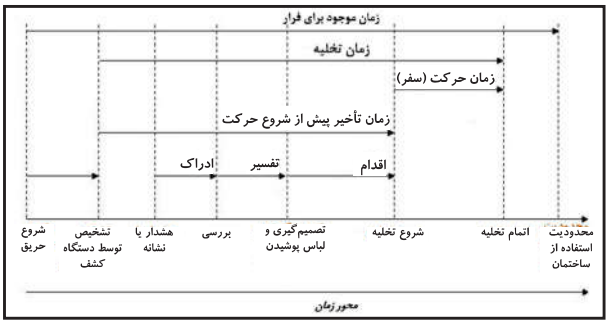
موضوع حائز اهمیت این است که اغلب مدل‌های شبیه ساز تخلیه فضای هندسی ساختمان و مسیر خروج را بازسازی می‌نمایند (با توجه به عواملی چون طول و عرض راهروها و پله ها)، متغیرهای مربوط به خود ساکنان در انجام تخلیه اغلب نادیده انگاشته می‌شوند. به منظور محاسبه صحیح زمان کلی برای تخلیه ساختمان، اجزایی چون زمان هشدار و زمان پیش از حرکت ساکنان نیز باید در نظر گرفته شوند. نباید تصور نمود که به محض به صدا درآمدن زنگ هشدار، خروج افراد از ساختمان آغاز می‌گردد چرا که غالباً یک تأخیر زمانی میان شنیدن صدای هشدار توسط ساکنان و شروع فرآیند تخلیه وجود دارد که غالباً در مدل‌ها محاسبه نمی‌گردد

1. Exodus Time

2. Conca & Vignolo, 2012, p.3
3. Ng C.M. & Chow, 2006

(پرولوکس و فاهی، ۱۹۹۷).[1] علاوه بر این در گزارش‌های بسیاری آمده است که افراد پس از شنیدن صدای هشدار از فعالیت‌های روزانه خود دست نکشیده اند (هاسکین، ۳۲۰۱).

تصویر ۳. توالی زمانی وقایع در تخلیه*



* منبع: کو، ۲۰۰۳، ص ۶،[2]

به منظور محاسبه ASET نیز باید گسترش آتش در ساختمان موردمطالعه قرار گیرد. برای انجام این کار نیاز به شناخت هندسه ساختمان، بار حریق، مجاری تهویه و جهت گردش هوا در ساختمان و مواردی از این قبیل وجود دارد. نرم‌افزارهایی همچون FIRM[3] و CFAST[4] با استفاده از این اطلاعات شرایط گسترش آتش‌سوزی، جهت پیشروی آن در ساختمان و میزان درجه حرارت و گازهای سمی را در ساختمان مدل‌سازی می کنند (سوجات‌میکو و همکاران، ۲۰۱۴).

◀ **به‌کارگیری آسانسورها در فرآیند تخلیه اضطراری:** با وجود اینکه استفاده از راه پله‌ها رویکردی آزموده‌شده برای تخلیه هستند، هنوز نوآوری و تغییراتی در مورد به‌کارگیری آن‌ها در ساختمان‌ها وجود دارد. امروزه بیشتر توجه برای تخلیه در ساختمان‌های بلند، بر استفاده از آسانسورها استوار است. با توجه به این موضوع که در صورت الزام به پایین آمدن از ۴۰ تا ۵۰ رشته پله، افراد حتی بدون مشکلات سلامتی نیز ممکن است پریشان و مضطرب شوند و در چنین وضعیت وحشت و اضطرابی احتمال بروز سکته‌های قلبی وجود دارد (باربر و ون مرکشتین، ۲۰۰۳).[5] و نیز با توجه به زمان‌بر بودن تخلیه تنها با اتکا بر راه پله ساختمان، استفاده از آسانسور در کمک به امر تخلیه در شرایط اضطراری یکی از بحث برانگیزترین موضوعات در طول چند سال اخیر بوده است. با وجود ساخت‌وسازهای بلندتر و مخاطرات همراه با آن‌ها، نیاز به اندیشیدن به راه‌های گوناگون تخلیه در شرایط بحرانی به وجود آمده است که در برگیرنده مقوله استفاده از آسانسور در تسریع بخشیدن به امر تخلیه و یا به منظور تخلیه کامل ساختمان و یا در کمک به خارج کردن افراد ناتوان جسمی از ساختمان می‌شود. ایده استفاده کردن از آسانسور برای کمک به تخلیه جدید نیست، ولی اجرا و کاربرد آن در واقعیت جدید است. در حالی که ایده استفاده همزمان از آسانسور و راه پله به منظور انجام تخلیه در تئوری امکان‌پذیر به نظر می‌رسد، پیاده‌سازی این روش در عمل با دشواری‌هایی همراه خواهد بود. به عنوان مثال، به منظور استفاده از آسانسورهای موجود در ساختمان برای تخلیه، نیاز به تغییرات اساسی در نحوه کارکرد و سطح ایمنی آسانسورها وجود دارد (باربر و ون مرکشتین، ۲۰۰۳).

به منظور به‌کارگیری راهبرد تخلیه اضطراری‌ای که آسانسور در آن نقش مهمی ایفا می‌کند، علاوه بر تغییرات و اصلاحات در سیستم‌های سخت‌افزاری برای ایمن سازی آسانسورها، برنامه‌ای برای آموزش ساکنان و کارکنان ساختمان در مورداستفاده صحیح از سیستم تخلیه لازم است. سرپرست‌ها و مدیریت نیز نیازمند آموزش‌های اساسی به منظور کسب مهارت لازم در هدایت چنین فرآیندهایی هستند. ساکنان ساختمان ممکن است آسانسور را وسیله‌ای امن در شرایط سانحه ندانند، در نتیجه آموزش مجدد به آن‌ها ضروری است چراکه سال‌هاست به ساکنان ساختمان‌ها توصیه‌شده است که «در شرایط آتش‌سوزی از پله‌ها استفاده کرده و از آسانسور استفاده نکنند» علاوه بر آن سیستم ارتباطی مناسب نیز باید فراهم گردد تا ساکنان ساختمان هدایت شوند که چه زمانی از آسانسورها استفاده کنند و آسانسورها در کجا قرار دارد (کیلی، ۲۰۰۸). با توجه به آئین‌نامه EN-72 اروپا، ساختمان‌های بلندتر از ۳۰ متر و با توجه به آئین‌نامه BS 5588 [6] ساختمان‌های دارای ۱۸ متر ارتفاع بالاتر و ۹ متر پایین‌تر از سطح تراز دسترسی اصلی، ملزم به داشتن آسانسور آتش‌نشانی هستند (سیکونن، بارلوند و کنتوری، ۲۰۰۳).[7] تعداد و موقعیت این آسانسورها با توجه به

1. Fahy & Proulx, 1997
2. Ko, 2003, p. 6
3. Fire Investigation and Recruitment Method (FIRM)
4. The Consolidated Model of Fire and Smoke Transport (CFAST)- http://www.nist.gov/el/fire_research/cfast.cfm
5. Barber & Van Merkestein, 2003
6. British Standard (BS)
7. Siikonen, Barlund & Kontturi, 2003

قوانین ملی در هر کشور تعیین می‌گردد. تنها این نوع آسانسورها با کنترل دستی در شرایط اضطراری که سایر آسانسورها از کارکرد خارج شده اند، قابل استفاده هستند. الزامات اساسی آسانسورهای آتش‌نشانی عبارت‌اند از (بارنی، ۲۰۰۳؛ لی، ۲۰۰۷).[1]

- باید به تمامی طبقات ساختمان سرویس‌دهی کنند.
- طول زمان انتقال از پایین‌ترین به بالاترین طبقه نباید از ۶۰ ثانیه تجاوز کند.
- باید بتوانند بار وزنی ۶۳۰ کیلوگرم (۸ نفر) را تحمل نماید.
- باید دارای لابی و اتاقک محافظت شده در برابر آتش، با پایداری حداقل ۲ ساعته باشند.
- تجهیزات آن‌ها باید در برابر آب محافظت شوند.
- باید مجهز به منبع ثانویه تأمین نیرو (برق اضطراری) و سیستم ارتباطی باشند.
- درب اضطراری در اتاقک باید تعبیه شده باشد.
- سازه هسته آسانسورها باید بتنی (یا پرشده از بتن یا دیافراگم فولادی) باشد.
- مطابق آئین‌نامه انگلیسی BSEN 81-72 آسانسورها باید دارای منبع برق اضطراری و ثانویه، سیستم‌های ضد آب و سازوکارهای پیشرفته کنترل باشند.

ازجمله وظایف مهم آسانسورهای آتش‌نشانی انتقال وسایل و ادوات آتش‌نشانی به طبقه محل سانحه و انتقال افراد ناتوان است. آسانسورها باید توانایی حمل ۲۵ فرد ناتوان را به محل امن در طول نیم ساعت و در شرایطی که یک آتش‌نشان کنترل آسانسور را در دست دارد، داشته باشد. نکته مهم این است که آسانسور آتش‌نشانی به نیازهای تخلیه افراد عادی در ساختمان رسیدگی نمی‌نماید (بارنی، ۲۰۰۳).

یکی از مدل‌های پیشنهاد شده جهت تخلیه با استفاده از آسانسور، مدل تخلیه مرحله III[2] است. تخلیه مرحله III به کمک آسانسور از طریق ایجاد ارتباط مابین سیستم کنترل آسانسور و پانل هشدار آتش کار می‌کند. در طول اجرای مرحله III درخواست‌های ارسال آسانسور از هر طبقه نادیده گرفته شده و آسانسور بلافاصله تنها به طبقه مورد آتش‌سوزی و ۲ طبقه بالاتر آن می‌رود. پیش از سال ۱۹۷۳، در ایالات متحده آمریکا، آسانسورها در آتش‌سوزی‌ها فعال باقی می‌ماندند که منجر به رسیدن اتاق آسانسور پرجمعیت به طبقه آتش‌سوزی و بروز نتایج فاجعه بار می‌شد. به علت این شرایط خطرناک، مرحله I فراخوانی اضطراری آسانسورها تحت آئین نامه ایمنی آسانسور و پله برقی‌ها ملزم به اجرا شد. مرحله I همزمان با کشف آتش و دود در لابی آسانسور و یا به صورت دستی با کلید امنیتی توسط اداره آتش‌نشانی از لابی طبقه همکف آغاز می‌شود و به موجب آن، همه آسانسورهای ساختمان به یک طبقه خروج تعیین شده فراخوانده شده و از سرویس دهی خارج می‌شوند (انجمن مهندسان مکانیک آمریکا، ۱۹۸۱).[3] همین آئین نامه، مرحله II را نیز ملزوم می‌دارد که عبارت از عملکرد اضطراری داخل اتاقک است، که اداره آتش نشانی را قادر می‌سازد تا از آسانسورها برای مقاصد اطفای حریق یا در امر تخلیه استفاده نمایند. مرحله II تنها زمانی اجرا می‌شود که چاه آسانسور خالی از دود و آب بوده و منبع نیروی قابل اطمینان نیز برای کارکرد آسانسور موجود باشد. در این رابطه آتش نشانان با آسانسور به دوطبقه پایین‌تر از محل اصلی آتش عزیمت می‌کنند تا عملیات اطفای حریق را انجام دهند (انجمن مهندسان مکانیک آمریکا، ۱۹۸۱). در ایالات متحده آمریکا سیستم‌های کنترل آسانسور به پانل هشدار آتش متصل هستند تا در زمان مقتضی مرحله I را اجرا کنند. این اتصال توانایی کارکردهای بیشتر از تنها فراخوانی آسانسورها به طبقه همکف را دارد. با دریافت سیگنال‌های مشخص کنترل‌گر آسانسور قادر به آگاهی از محل دقیق بروز دود و شعله خواهد بود. در مرحله III تخلیه با کمک آسانسور، با استفاده از این ورودی، آسانسور می‌تواند نقشی حیاتی را در تخلیه زودهنگام افراد در معرض خطر انجام دهد. پیش از فعال‌شدن مرحله I یا II و پیش از ورود دود به لابی آسانسور، اتاقک‌های آسانسور می‌تواند به عنوان ابزاری جهت خارج کردن حتی افراد با ناتوانایی‌های حرکتی عمل نمایند (آلن، ۲۰۰۳).[4]

هنگامی که دود کشف می‌شود، بدون توجه به محل هشدار، ابتدا

1. Barney, 2003; Lay, 2007

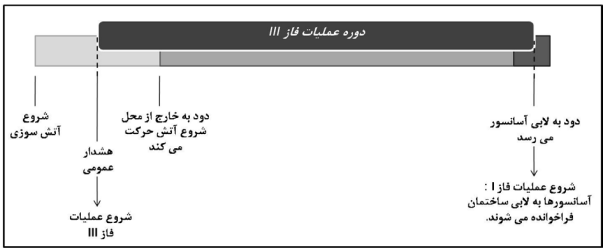
۲. برگرفته از طرح پیشنهادی تخلیه مرحله III به کمک آسانسور، آلن در کنفرانس ساختمان‌های بلندمرتبه و زیستگاه شهری CTBUH در کوالالامپور، ۲۰۰۳- http://www.ctbuh.org/Events/Conferences/ConferenceArchive/KualaLumpur2003/tabid/512/language/en-GB/Default.aspx

3. American Society of Mechanical Engineers (ASME), 1981

4. Allen, 2003

آسانسورها مسافران را بلافاصله به اولین طبقه خروجی رسانده و از آن به بعد آماده تخلیه می‌شوند. محدوده تخلیه اضطراری (عبارت از طبقه محل آتش‌سوزی، طبقه پایین آن و دو طبقه بالای آن) اولین طبقاتی هستند که آسانسورها برای تخلیه به آن‌ها اعزام می‌شوند. در طول اجرای مرحله III سیگنال‌های دریافتی جهت فراخوانی آسانسور به سایر طبقات به نفع محدوده تخلیه اضطراری نادیده انگاشته شده و آسانسورها به صورت خودکار به طبقات محدوده تخلیه اضطراری عزیمت کرده و افراد را به محل‌های امن که شامل چندین طبقه پایین‌تر از این محدوده می‌باشند، می‌برند. با پیشروی و گسترش آتش، کنترل‌گر آسانسور با دریافت سیگنال‌های کاشف دود از سایر طبقات محدوده عملیاتی آسانسورها را گسترش می‌دهد تا زمانی که دود در لابی آسانسور تشخیص داده شده و آسانسور طبق قوانین مرحله I به طبقه همکف فراخوانده شود. با ارسال اطلاعات عملیات تخلیه انجام شده توسط آسانسور از پانل کنترل‌گر به اداره آتش‌نشانی از هنگامی که آتش نشانان به محل آتش‌سوزی می‌رسند از موقعیت آتش، میزان گسترش آن و وضعیت تخلیه ساکنان ساختمان باخبر خواهند بود.

تصویر ۴. طرح پیشنهادی برای عملیات مرحله (فاز) III*



***منبع:** آلن، ۲۰۰۳، ص ۲۲۹.

ازآنجایی‌که عملیات مرحله III تنها برای مدت زمان محدودی قابل کارکرد خواهد بود. ساکنان ساختمان باید بلافاصله به آژیر هشدار توجه نموده و به سمت آسانسورهایی که انتظارشان را می‌کشند، حرکت نموده و به دیگر افراد نیازمند کمک، جهت رسیدن به آسانسور یاری نمایند. به همین منظور آموزش‌های مجدد جهت واکنش مناسب ساکنان به آتش‌سوزی باید داده شود تا اولین صدای آژیر را جدی بگیرند؛ چرا که برای همه افراد، به‌ویژه برای آنان که دارای محدودیت‌های حرکتی هستند زمان بسیار حیاتی است. مطالعات موجود نشان می‌دهد که ساکنان ساختمان هنگامی که در شرایط دشوار اضطراری قرار می‌گیرند به عادت‌ها و رفتارهای همیشگی شان بر می‌گردند. بدین معنی که برای رفتن به طبقات پایین‌تر به جای پله از آسانسور استفاده می‌کنند و حتی توجهی به علامت نصب شده تحت عنوان «از آسانسور در هنگام آتش‌سوزی استفاده نکنید»، نمی‌نمایند. مرحله III تخلیه به کمک آسانسور از این خصلت رفتاری مردم بهره برده و به کمک افراد در معرض بیشترین خطر می‌شتابد (آلن، ۲۰۰۳). البته باید توجه داشت که مرحله III تنها زمانی که شرایط برای استفاده از آسانسور ایمن است کارکرده و پس از آن مراحل I و II فعال می‌شوند.

درهرصورت پیش از وضع قوانین و الزامات به‌کارگیری آسانسورها جهت انجام تخلیه باید شاخص‌های تعداد طبقات و نوع کاربری ساختمان در ارتباط با سنجه‌های زیر در رابطه فایده – هزینه به قرار زیر درجه‌بندی شوند:

۱. اثر خستگی در پایین آمدن از پله‌ها
۲. میزان فضا و زیربنای ذخیره شده در صورت جایگزینی آسانسور با پله
۳. پیچیدگی‌های مدیریتی مورد نیاز برای کنترل تخلیه با آسانسور
۴. نیاز به آموزش‌های بیشتر با افزایش تعداد کاربران
۵. شرایطی که کنار هم ماندن گروه‌هایی از افراد مختلف در برخی محل‌ها را ایجاب نماید.

◀ **عدم تخلیه و محافظت در محل با ساخت فضاهای پناه‌گیری در هر طبقه و ساخت طبقات پناه:** با توجه به طول مسیر حرکت مجاز تعیین شده در کدهای ساختمانی از هر نقطه در طبقه تا راه پله، معمولاً ساختمان‌های بلند با داشتن ۲ یا ۳ دستگاه پله، صرف‌نظر از اینکه بناهایی ۲۰ یا ۵۰ و یا حتی ۱۰۰ طبقه باشند، الزامات آئین‌نامه‌ای را برآورده می‌کنند. با توجه به رویکردهای جهانی بسیار محتمل است که در آینده آسانسورها نیز سهم بسزایی در تخلیه اضطراری ساختمان بلند داشته باشند. بااین‌وجود، بنا بر دلایل متعددی راه پله و آسانسور به تنهایی نمی‌توانند برای تأمین نیازهای تمامی ساکنان و افراد حاضر در ساختمان در طول فرآیند تخلیه جزئی یا کامل کافی باشند. برخی از این دلایل به شرح زیر هستند (کلاوسون و اُکانر، ۲۰۱۱):[1]

1. Clawson & O Connor, 2011

۱. ساختمان‌های بلند با تعداد نفرات زیاد حاضر در آن با زمان‌های تخلیه طولانی ۱ تا ۳ ساعته مواجه خواهند شد.
۲. حرکت طولانی به سمت پایین در راه پله نیاز به استقامت بدنی دارد و ممکن است برخی از افراد در اثر چنین حرکتی دچار خستگی شوند توانایی ادامه حرکت نداشته باشند.
۳. افراد دارای ناتوانایی‌های دائمی (مانند معلولیت و مشکلات تنفسی) و یا موقت (مانند بارداری یا بیماری) نمی‌توانند از طریق پله از ساختمان خارج شوند.
۴. ممکن است تخلیه کامل ساختمان موردنیاز و یا حتی عملی نباشد و تنها جابجایی افراد تحت تأثیر حادثه و یا در نزدیکی محدوده اضطراری به محلی امن کافی باشد.
۵. ممکن است به علت باز ماندن درب راه پله برای ورود افراد، فضای پله به دود و گازهای سمی آلوده شده باشد.

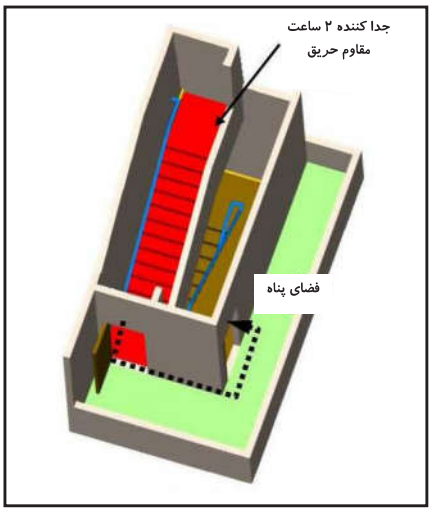
هریک از دلایل فوق و یا مجموعه آن‌ها می‌تواند لزوم وجود فضاهای پناه‌گیری یا طبقات پناه را در ساختمان‌های بلند نشان دهد. در نگاه جهانی به موضوع فضاهای پناه‌گیری دو رویکرد مهم وجود دارد: در رویکرد اول وجود فضاهای امن در تمام طبقات لازم است در حالی که در دیدگاه دوم وجود تنها چندطبقه منتخب که چنین فضایی را تأمین کند، کافی دانسته می‌شود. رویکرد اول که آن را به نام روش «پراکنده»[1] نیز می‌شناسند، در بین کشورهای اروپایی، خاورمیانه و در امریکای شمالی رایج است. روش دوم که به نام رویکرد «یکپارچه»[2] شناخته می‌شود، بر تجمیع همه افراد در چند طبقه پناه تمرکز دارد و بیشتر در کشورهای آسیایی بکار گرفته می‌شود. افراد می‌توانند در حین تخلیه در طبقات پناه استراحت نموده و پس از بازیابی توان خود مجدداً حرکت را ادامه دهند یا اینکه در آنجا متوقف شوند و منتظر دستورالعمل‌های بعدی یا رسیدن امداد بمانند (کلاوسون و اُکانر، ۲۰۱۱).

نوع طراحی مسیر حرکتی به نحوی که قطع مسیر در طبقات پناه انجام گیرد و افراد ملزم به ترک دستگاه پله، ورود به فضای پناه و در صورت تمایل به ادامه حرکت وارد بخش بعدی پلکان شوند (تصویر ۵)، می‌تواند در جلوگیری از عملکرد دودکشی پله بسیار مؤثر باشد.

در صورتی که طبق محاسبات درجه ایمنی برای ساختمان و الزام کدهای ساختمانی، نیاز به ساخت طبقات پناه وجود داشته باشد، موارد زیر در آن‌ها باید تعبیه شوند (کلاوسون و اُکانر، ۲۰۱۱):

۱. سرویس بهداشتی و آب آشامیدنی
۲. امکانات نشستن (مبلمان یا کف‌سازی نرم)
۳. برق اضطراری برای روشنایی و مطبوع کردن فضا
۴. محافظت تشدید شده از طبقه در برابر افزایش یا انتشار اثرات آتش‌سوزی
۵. این طبقه باید کاملاً خالی و بدون کاربری باشد.
۶. طراحی گرمایش، تهویه و تهویه مطبوع[3] تهویه / HVAC برای مدت زمان‌های پیش بینی شده حضور افراد

تصویر ۵. نمونه‌ای از پیکربندی مناطق پناه‌گیری برج خلیفه دبی*



***منبع:** اوانسون و وانی، ۲۰۰۸، ص ۴،[4]

در منابع دیگری نیز ذکر شده است که فضاهای پناه‌گیری باید به میزان کافی بزرگ باشند تا افراد در آن‌ها احساس راحتی نمایند و اگر ترجیح دادند تا به جای انتظار در این فضا از طریق راه پله از ساختمان خارج شوند، این امکان برایشان فراهم باشد. شروط لازم برای تأمین این ویژگی‌ها در فضاهای پناه عبارت‌اند از (لی، ۲۰۰۷):

۱. فضا به ازای هر فرد نباید کمتر از ۰/۵ مترمربع باشد. (فضای مورد نیاز برای جلوگیری از ایجاد حس ترس و وحشت، فضای لازم جهت حرکت افراد در پناهگاه و نیز دسترسی آتش‌نشانان

1. dispersed
2. consolidated
3. HVAC (heating, ventilating, and air conditioning)
4. Evenson & Vanney, 2008, p. 4

جهت انجام اقدامات خود)

۲. فضای پناه باید به‌وسیله سازه با مقاومت ۱۲۰ دقیقه‌ای در برابر نفوذ آتش از سایر قسمت‌ها جدا شده باشد. (درهای منتهی به لابی با مقاومت ۶۰ دقیقه‌ای و باید همراه با درزبندهای دود گیر باشند)

۳. فضای پناه باید مجهز به سیستم تهویه دود باشد.

۴. سیستم‌های ارتباطی باید در فضای پناه قرارگرفته باشند تا از طریق آن‌ها امکان برقراری ارتباط ساکنان با مرکز کنترل بحران ساختمان وجود داشته باشد.

۵. فضای پناه باید هم به آسانسورهای تخلیه و هم به جعبه اصلی راه پله متصل باشد.

۶. فضای پناه باید مطابق استانداردهای جدید مورد بازبینی و اصلاحات قرار گیرد.

شاید از میان تمام موارد فوق موضوع تهویه مطبوع مهم‌ترین دغدغه طراحی و هزینه‌های اجرایی طبقات پناه باشد، چرا که هم باید هوای کافی و مطبوع برای تعداد زیاد افرادی که در چنین فضایی جمع می‌شوند تهیه شود و هم احتمال ورود دود و گازهای سمی به داخل این محل به صفر برسد (چاو و چاو، ۲۰۰۹).

در دیدگاهی دیگر، راهنمایی ساکنان ساختمان‌های مسکونی و هتل‌ها به ماندن در آپارتمان‌ها و اتاق‌های خودشان، از طرف اغلب مراکز آتش‌نشانی به عنوان مؤثرترین راه برای نجات یافتن از آتش در یک ساختمان بلند عنوان شده است. این راهکار به منظور جلوگیری از بروز تلفات در اثر استنشاق گازهای سمی وارد شده به راهروها و راه پله‌ها است (کوبس، پست، هلسلوت و وریس، ۲۰۰۸).[1] ممکن است در ساختمان بلند مسکونی شرایطی به وجود آید که ساکنان قادر به تخلیه ساختمان نباشند. برای تأمین ایمنی در این شرایط از راهکاری تحت اصطلاح «دفاع در محل»[2] استفاده می‌گردد (کیلی، ۲۰۰۸). ازآنجا که سیستم خروجی ساختمان باید یک تخلیه ایمن را پیش از آنکه دود به سطوح مرگ آفرین برسد و به کسانی که هنوز در ساختمان باقی مانده اند صدمه برساند، فراهم آورد (ریچاردسون، ۲۰۰۲) و با توجه به زمان طولانی تخلیه، ساختمان‌های بلند اغلب نیاز به رویکرد دفاع در محل برای ایمنی در برابر آتش دارند (کیلی، ۲۰۰۸). قدم اولیه برای رسیدن به این مقصود این است که اطمینان حاصل شود که این راهکارها بخشی از برنامه ایمنی در برابر آتش ساختمان هستند. بدین منظور جداسازی‌هایی برای دود و آتش برای مدت زمان کافی فراهم می‌شوند. فراهم آوردن چنین فضاهایی غالباً در ساختمان‌های با سیستم آب‌پاش و سیستم‌های کنترل دود امکان‌پذیر خواهد بود تا اطمینان حاصل گردد که فضاهای محافظت شده تا میزان ممکن عاری از دود و آتش باقی خواهند ماند. در این روش از بالکن‌ها و تراس‌های ساختمان به عنوان مکان‌های امن استفاده می‌شود و بااین‌وجود این روش تا زمانی قابل اطمینان است که علاوه بر جلوگیری از گسترش آتش به اتاق‌ها و آپارتمان‌های مجاور، ساختمان ازلحاظ سازه‌ای به‌قدری مقاوم باشد تا پیش از آنکه همه افراد به محل امنی انتقال یابند فرو نریزد (کوبس و همکاران، ۲۰۰۸).

با وجود اینکه آئین‌نامه‌های مختلف وجود فضاها یا طبقات پناه‌گیری را به عنوان بخشی از راهکار تخلیه ساختمان‌های بلند الزامی می‌دانند و این فضاها به عنوان مناطقی ایمن در ساختمان برشمرده می‌شوند، پس از حادثه ۱۱ سپتامبر مردم فکر می‌کنند که انتظار کشیدن برای دریافت دستورالعمل‌های بعدی تنها شانس آن‌ها را برای فرار کاهش می‌دهد؛ بنابراین بسیاری از آئین‌نامه‌ها در کاربرد طبقات پناه با توجه به آنچه در برج‌های مرکز تجارت جهانی رخ داد باید بازبینی‌هایی انجام دادند، چرا که دیگر مردم تمایلی به توقف در این طبقات و انتظار کشیدن برای نجات یافتن ندارند. از این‌رو روش‌های جایگزین طبقات امن باید بررسی شوند. آئین‌نامه ساختمانی نیوزلند به جای طبقات پناه از «فضاهای پناه» نام می‌برد و آن‌ها را در راه پله ساختمان‌های بلند بالاتر از ۵۸ متر می‌داند. این گونه فضاهای امن به‌وسیله بزرگ‌تر کردن اندازه پاگرد راه پله‌ها هر ۳ طبقه یک‌بار به وجود می‌آیند. فضاهای امن امکان استراحت ساکنان را در طول مسیر حرکت به سمت پایین و عبور افراد با سرعت بیشتر از آن‌ها که آهسته‌تر حرکت می‌کنند را فراهم می‌آورد. در آئین‌نامه NFPA 110 فضاهای امن به عنوان مکانی برای افراد دارای ناتوانی ذکر شده است. وجود فضاهای پناه کوچک مانند پاگردهای بزرگ در راه پله توسط NFPA 110 و آئین‌نامه ساختمانی نیوزلند به عنوان مکان‌هایی جهت استراحت در حین حرکت و پناهگاهی موقت توصیه شده‌اند (باربر و ون مرکشتین،

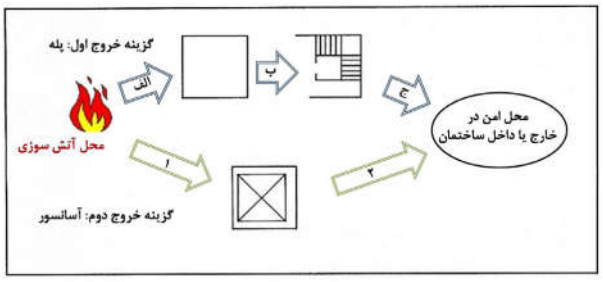
1. Kobes, Post, Helsloot & de Vries, 2008
2. Defend-in-Place

۲۰۰۳). ایجاد مناطق پناه‌گیری باهدف فراهم آوردن فضاهایی برای آسایش و یا استراحت تخلیه‌کنندگان در شرایط آتش‌سوزی است که با اهداف آتش‌نشانی هم از آن استفاده می‌شود. علاوه بر این چنین فضاهایی به عنوان نقطه فرماندهی کارکنان امداد برای کمک منظم به تخلیه ساختمان و مکانی برای انتظار افراد معلول یا دارای ناتوانایی‌های کلی یا جزئی جسمی برای امداد جهت انتقال به مکانی کاملاً ایمن مورداستفاده قرار می‌گیرد.

بحث و نتیجه‌گیری

با توجه به موارد عنوان شده جهت بهبود شرایط تخلیه اضطراری در ساختمان‌های بلند در شرایط آتش‌سوزی نباید تنها به استفاده از یک روش اکتفا نموده و همواره می‌بایست در پی تلفیق و کاربرد همزمان روش‌های مناسب بود. به عنوان مثال با تجهیز حداقل یکی از آسانسورهای ساختمان مطابق ضوابط آسانسورهای آتش‌نشانی می‌توان از آن‌ها به عنوان گزینه پشتیبان راهروها و یا راه پله‌های دود بند شده و ایمن بهره گرفت. از طرف دیگر می‌توان با اضافه نمودن فضای پناه به برنامه مسیر تخلیه با استفاده از راه پله، ابتدا از نجات جان افراد در این فضا اطمینان به دست آورده و سپس آن‌ها را به داخل فضای امن داخل یا خارج ساختمان هدایت نمود.

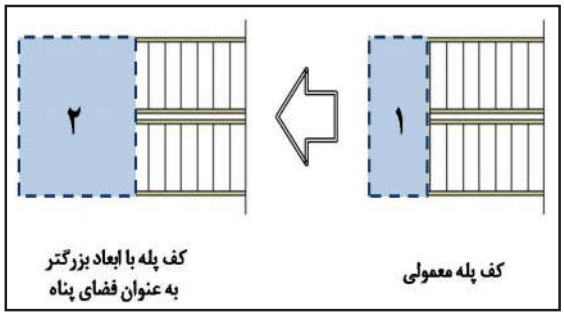
تصویر ۶. راهکار پیشنهادی برنامه تخلیه دوگزینه‌ای



مطابق تصویر ۶ پیشنهاد می‌شود برای هر ساختمان بلندمرتبه دو گزینه تخلیه اضطراری برنامه‌ریزی شود. در گزینه اول با استفاده از مسیر الف– ب– ج ابتدا افراد از محل آتش‌سوزی وارد نزدیک‌ترین فضای پناه یا راهرو امن شوند، سپس به‌واسطه اتصال فضای پناه و یا راهرو امن با راه پله محافظت شده برای تخلیه اضطراری از طریق پله به سمت محل امن پیش بینی شده در داخل یا خارج ساختمان انتقال یابند. در گزینه دوم نیز با استفاده از مسیر ۱–۲ نیز افراد از محل آتش‌سوزی خود را به نزدیک‌ترین آسانسور آتش‌نشانی که برای تخلیه اضطراری پیش بینی شده برسانند و سپس از طریق آن به سمت محل امن بروند.

در راهکار دوم مطابق تصویر ۷ پیشنهاد می‌شود به دلیل محدودیت‌های موجود ازنظر اختصاص فضای لازم برای مناطق پناه، پاگردهای راه‌پله بزرگ‌تر از ابعاد استاندارد مرسوم که به اندازه طول پله است ساخته شوند تا بدین ترتیب افرادی که به دلیل ناتوانی‌های جسمی قادر به انجام تخلیه نیستند یا افرادی که بنا به شرایط بحرانی پیش‌آمده از ادامه مسیر تخلیه بازمانده اند و نیازمند امداد هستند، بدون ایجاد وقفه و تداخل درروند خروج سایر ساکنان قادر به استقرار در آن محل باشند.

تصویر ۷. راهکار پیشنهادی کف پله بزرگ به عنوان فضای پناه



نتیجه‌گیری: به رغم وجود پتانسیل بالای خطر در ساختمان‌های بلند و تأثیر یک سانحه بر تعداد افراد زیاد که می‌تواند منجر به تبدیل یک حادثه به یک بحران شود، با شناخت همه جانبه ابعاد خطر و پیش بینی شرایطی که احتمال وقوع آن‌ها وجود دارد می‌توان اثرات نامطلوب حوادث را کاهش داد. یکی از پرچالش‌ترین مسائل در زمینه ساختمان‌های بلندمرتبه نحوه خروج ایمن افراد و رساندن آن‌ها به محلی امن در شرایطی است که ساختمان دچار شرایط بحرانی شده است. رویکرد طراحی مبتنی بر عملکرد آتش به پیش‌بینی احتمال وقوع حوادث در ساختمان و اثرات آن‌ها و متقابلاً شناسایی ابعاد جمعیتی حاضر در بنا و نیاز آن‌ها به مجراهای حرکتی در طی بازه‌های محدود زمانی تأکید دارد تا با نقض کلیشه‌های مرسوم ساخت‌وساز به طراحی آنچه برای ساختمان واقعاً کارکرد دارد و ایمنی را تأمین می‌کند پرداخته شود. این طراحی‌ها می‌تواند از ابعاد راهروها و پله‌ها گرفته تا ساخت فضاهای خاص در هر طبقه و

یا در رویکردی جامع‌تر طبقات منحصر برای پناه‌گیری در زمان شرایط اضطراری و تدارک تجهیزات و امکانات خاص برای چنین فضاهایی را شامل شود. از طرف دیگر با دیدگاه هزینه – فایده و برای کاهش اختصاص سطح زیربنای ساختمان به مجاری حرکتی و فضاهای امن می‌توان از دانش و فناوری روز بهره جست و بامطالعه و بروزرسانی قوانین ساخت‌وساز کشور از همگرایی امکانات موجود در ساختمان مانند آسانسورها، سیستم‌های ارتباطی و سیستم‌های کاشف دود و شعله در راستای تسهیل و تسریع تخلیه اضطراری استفاده نمود. علاوه بر تمامی موارد فوق به نظر می‌رسد شناخت و لحاظ کردن مسائل مرتبط با ایمنی از زمان شروع فرآیند طراحی و ساخت ابنیه بلندمرتبه و نیز تشکیل تیم مدیریت بحران در هنگام بهره برداری برای برنامه‌ریزی‌های مداوم در مدیریت ایمنی ساختمان و بازرسی‌های دوره‌ای و آموزش کارکنان و ساکنان ساختمان برای بروز عکس‌العمل صحیح در هنگام اعلام شرایط اضطراری و تخلیه می‌تواند در افزایش راندمان و بهبود عملکرد ساختمان در هنگام شرایط بحرانی بسیار مؤثر باشد.

منابع

منابع فارسی:

جزایری‌فارسانی، سید عباس؛ ابراهیمی، محسن (۱۳۷۴). *طرح جامع مدیریت بحران کشور جمهوری اسلامی ایران* (تهران: دومین کنفرانس بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله). بازیابی از http://www.ensani.ir/storage/Files/20101205162012-27838.pdf

سازمان آتش‌نشانی و خدمات ایمنی شهر تهران (۱۳۹۳). *ضوابط ملاک عمل ایمنی معماری*. تهران: معاونت حفاظت و پیشگیری از حریق. بازیابی از http://125.tehran.ir/LinkClick.aspx?fileticket=i9HJpWkUcgs%3D&tabid=71&mid=795&forcedownload=true

سازمان شهرداری‌ها ودهیاری‌های کشور (۱۳۸۵). *آشنایی با مدیریت بحران با تأکید بر نقاط روستایی*. تهران: پژوهشکده علوم انسانی و اجتماعی جهاد دانشگاهی. بازیابی از rural.ostan-es.ir/Dorsapax/userfiles/Sub35/Modiryat_Bohran.pdf

شبکه اطلاع‌رسانی راه (۲۴ آذر ۱۳۹۳). آتش‌سوزی مهار شد / ساختمان منطقه ویژه پارس جنوبی در آتش سوخت. *شبکه اطلاع‌رسانی راه*. بازیابی از http://www.dana.ir/News/192151.html

شبکه خبر (۲۴ آذر ۱۳۹۳). *آتش‌سوزی مهیب در بزرگ‌ترین ساختمان اداری عسلویه*. بازیابی از http://www.irinn.ir/news/74815

فلاحی، علیرضا (۱۳۸۸). *ارزیابی سانحه، خطرپذیری، آسیب‌پذیری و خسارت*. تهران: مؤسسه آموزش عالی علمی – کاربردی هلال ایران.

منابع انگلیسی:

Allen, T. (2003). *Phase – Elevator evacuation operation*. CIB-CTBUH Conference, Kuala Lumpur, Malaysia. Retrieved from www.gbv.de/dms/tib-ub-hannover/375281053.pdf

American Society of Mechanical Engineers (ASME). (1981). *Safety code for elevators and escalators* (A17.1). New York, NY: American Society of Mechanical Engineers (ASME). Retrieved from https://law.resource.org/pub/us/code/ibr/asme.a17.3.2002.pdf

Barber, D. & Van Merkestein, R. (2003). *Will occupants of tall buildings obey instructions from wardens in staged evacuations?-The design dilemma post September 11. CIB REPORT, 61-70*. Retrieved from http://global.ctbuh.org/resources/papers/download/1536-will-occupants-of-tall-buildings-obey-instructions-from-wardens-in-staged-evacuations-the-design-dilemma-post-september-11.pdf

Barney, G. (2003). Vertical transportation in tall buildings. *Elevator World, 51* (5), 66-75. Retrieved from http://www.highrisefire.co.uk/docs/alllifts.pdf

Berkman, B. (2004). *Developing a high-rise residential fire safety program, leading community risk reduction.* Brooklyn, NY: New York City Fire Department (FDNY). Retrieved from http://www.usfa.fema.gov/pdf/efop/efo37436.pdf

Chow, C. L., & Ki Chow, W. (2009). Fire safety aspects of refuge floors in supertall buildings with computational fluid dynamics. *Journal of Civil Engineering and Management, 15*(3), 225-236. http://dx.doi.org/10.3846/1392-3730.2009.15.225-236

Clawson, K., O Connor, D.J. (2011). *Considerations and challenges for refuge areas in tall buildings*. CTBUH 2011 Seoul Conference. Retrieved from http://global.ctbuh.org/resources/papers/download/2344-considerations-and-challenges-for-refuge-areas-in-tall-buildings.pdf

National Fire Protection Association (NFPA). (2012). *NFPA 101 life safety Code*. Quincy, Massachusetts: National Fire Protection Association. USA. Retrieved from http://www.nfpa.org/codes-and-standards/document-information-pages?mode=code&code=101

Columbus (Ohio). Division of Fire. Fire Prevention Bureau. (2010). *Safety program and emergency procedures for high-rise/high-risk buildings*. Columbus, Ohio: Division of Fire. Retrieved from file:///C:/Users/Majid/Downloads/Safety%20Program%20Emergency%20Procedures%20for%20High-Rise%20Buildings.pdf

Conca, A., & Vignolo, M. G. (2012). Pedestrian flow analysis in emergency evacuation. *In of the Euro Working Group on Transportation International Scientific Conference*. Retrieved from http://www.lvmt.fr/ewgt2012/compendium_161.pdf

Evenson, J., Vanney, A. (2008). *Burj Dubai: Life safety and crisis response planning enhancement*. CTBUH 8th World Congress, Dubai. Retrieved from global.ctbuh.org/paper/1300

Hoskins, B. (2013). *Evacuation of tall buildings. Fire Protection Engineering*. Retrieved from http://magazine.sfpe.org/content/evacuation-tall-buildings

Kealy, M. (2008). *Fire engineering super-tall: A new approach to*

Proulx, G., & Fahy, R. F. (1997). The time delay to start evacuation: review of five case studies. *Fire Safety Science, 5*, 783-794. doi:10.3801/IAFSS.FSS.5-783

Purser, D. A., & Bensilum, M. (2001). Quantification of behaviour for engineering design standards and escape time calculations. *Safety science, 38* (2), 157-182. http://dx.doi.org/10.3801/IAFSS.FSS.5-783

Richardson, K. (2002). *Fire safety in high-rise apartment buildings. Canada Mortgage and Housing Corporation*. Retrieved from http://cmhc-schl.gc.ca/en/inpr/bude/himu/coedar/upload/Fire-Safety-in-High-Rise-Apartment-Buildings.pdf

Siikonen, M. L., Bärlund, K., & Kontturi, R. (2003, December). Transportation design for building evacuation. In ASME *Workshop to Focus on Elevator Emergencies in High-Rise Buildings*. New York.

Sujatmiko, W. Hermanwan KD, Soegijanto, FXN Soelami. (2012), *Problematic of high-rise building flats in Indonesia based on thermal comfort and fire safety perspectives*. Preceding the 3th international seminar on tropical eco-settlements. Bandung: RIHS. P. 275-284.

Sujatmiko, W., Dipojono, H. K., & Soelami, F. N. (2014). Performance-based fire safety evacuation in high-rise building flats in Indonesia–A case study in Bandung. *Procedia Environmental Sciences, 20*, 116-125. http://dx.doi.org/10.1016/j.proenv.2014.03.016

Tavares, R. M. (2009). An analysis of the fire safety codes in Brazil: Is the performance-based approach the best practice? *Fire Safety Journal, 44*(5), 749-755. http://dx.doi.org/10.1016/j.firesaf.2009.03.005

Tharmarajan, P. (2007). *The essential aspects of fire safety management in high-rise buildings* (Master dissertation), Universiti Teknologi Malaysia, Faculty of Civil Engineering, Malaysia. Retrieved from http://hsajb.moh.gov.my/versibaru/uploads/jkkp/garispanduan8.pdf

escape. CTBUH 8th World Congress, Dubai. Retrieved from global.ctbuh.org/paper/1265

Ko, S. Y. (2003). *Comparison of evacuation times using Simulex and EvacuatioNZ based on trial evacuations* (Doctoral dissertation). University of Canterbury, , Department of Civil Engineering, New Zeland. Retrieved from http://www.civil.canterbury.ac.nz/fire/pdfreports/sko03.pdf

Kobes, M., Post, J., Helsloot, I., & de Vries, B. (2008, May). *Fire risk of high-rise buildings based on human behavior in fires*. In Conference Proceedings FSHB (pp. 07-09). Retrieved from http://www.researchgate.net/profile/Margrethe_Kobes/publication/228586908_Fire_risk_of_high-rise_buildings_based_on_human_behavior_in_fires/links/0deec525d9d2d5d744000000.pdf

Lay, S. (2007). Alternative evacuation design solutions for high-rise buildings. *The Structural Design of Tall and Special Buildings, 16*(4), 487-500. Retrieved from http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/tal.412/pdf

Mu, H. L., Wang, J. H., Mao, Z. L., Sun, J. H., Lo, S. M., & Wang, Q. S. (2013). Pre-evacuation human reactions in fires: An attribution analysis considering psychological process. *Procedia Engineering, 52*, 290-296. http://dx.doi.org/10.1016/j.proeng.2013.02.142

Ng, C. M., & Chow, W. K. (2006). A brief review on the time line concept in evacuation. *International Journal on Architectural Science, 7* (1), 1-13.). Retrieved from http://www.bse.polyu.edu.hk/researchCentre/Fire_Engineering/summary_of_output/journal/IJAS/V7/p1-13.pdf

O Connor, D.J. (2005). Integrating human behavior factors into design. *Fire Protection Engineering*, pp. 8-20. Retrieved from http://magazine.sfpe.org/fire-protection-design/integrating-human-behavior-factors-design

Peng, H., Zhou, J., Liu, W. L., Zhang, X. Y., & Li, Y. Q. (2011). Study on the Determination of Safety Factor in Calculating Building Fire Evacuation Time. *Procedia Engineering, 11*, 343-348. http://dx.doi.org/10.1016/j.proeng.2011.04.667