بررسی پیکربندی فضاهای کارا با رویکرد تخلیه ایمن ساختمان در هنگام حادثه
(مطالعه موردی: خوابگاه دانشجویی)

محمدتقی نظرپور*: استادیار دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، Email:iran-m_nazarpour@sbu.ac.ir
علی خاکی: استادیار گروه معماری، دانشکده فنی و حرفه‌ای انقلاب اسلامی، تهران، ایران
پیمان بهرامی دوست: کارشناس ارشد مهندسی معماری، دانشگاه شهید رجایی، تهران
احمد حیدری: کارشناس ارشد مهندسی معماری، دانشگاه شهید بهشتی، تهران

تاریخ دریافت: ۹۸/۰۳/۲۳
تاریخ پذیرش: ۹۹/۰۶/۲۹

چکیده

در سال‌های اخیر گسترش مراکز آموزش عالی و دانشگاه‌ها، رشد روزافزون تعداد دانشجویان و خوابگاه‌های دانشجویی را به دنبال داشته است. با توجه به تعداد زیاد دانشجویان در خوابگاه آتش‌سوزی و حادثه در این محیط‌ها به‌عنوان یک تهدید جدی به شمار می‌رود. در همین راستا اقدامات متعددی جهت محدودسازی و کاهش آسیب در محیط‌های خوابگاهی هنگام حادثه انجام‌شده که اقدامات سازه‌ای و غیر سازه‌ای را شامل می‌گردد. این اقدامات در ابتدا ایمنی را فراهم نموده و سپس پتانسیل محیطی را جهت تخلیه‌ی سریع (روز هنگام حادثه) ارتقا می‌دهد. لذا پژوهش‌های متعددی با شبیه‌سازی تخلیه‌ی اضطراری بر کاهش مدت‌زمان تخلیه متمرکزشده‌اند. بدین منظور در این مقاله شبیه‌سازی تخلیه انسانی در خوابگاه دانشجویی بلوک ۱ دختران دانشگاه شهید بهشتی (با شبیه‌سازی ۱۷۸ دانشجو) هنگام حادثه در نرم‌افزار Pathfinder صورت پذیرفت. همچنین تحلیل عمق فیزیکی و عمق بصری با مبنا قرار دادن ورودی با نرم‌افزار Depth map جهت کاهش سلسله‌مراتب فضایی و دسترسی سریع‌تر، مورد سنجش قرار داده شد. نتایج شبیه‌سازی نشان داد که بهینه‌سازی مقدماتی خوابگاه با مبلمان و تجهیزات (اقدامات غیر سازه‌ای) شرط لازم برای ایمن‌سازی خوابگاه جهت تخلیه بوده، اما با توجه به تأثیر ناچیز آن در مدت‌زمان تخلیه (از ۲۲۳٫۷ ثانیه به ۲۱۹٫۸ ثانیه)، کافی نیست. ازاین‌رو بعد از بهینه‌سازی با مبلمان و تجهیزات، خوابگاه با دو روش بهینه‌سازی با مداخله‌ی سازه‌ای (احداث پله‌ی اضطراری با دو درب خروج) و کاهش جمعیت استفاده‌کنندگان نیز مورد ارزیابی قرار گرفت. درروش اول با مداخله‌ی سازه‌ای، مدت‌زمان تخلیه از ۲۱۹٫۸ ثانیه به ۱۵۰٫۵ ثانیه کاهش یافت و در روش دوم نیز با کاهش جمعیت استفاده‌کنندگان در طبقات دوم و سوم از ۴ نفر به ۳ نفر، زمان تخلیه از ۲۱۹٫۸ ثانیه به ۱۷۸٫۸ ثانیه- کاسته شد که به‌عنوان روشی کم‌هزینه‌تر پیشنهاد گردید. در پایان نیز روشی جهت کارا نمودن ساختمان خوابگاه با توجه به پیکربندی فضایی جهت تخلیه اضطراری ارائه شد.

واژه‌های کلیدی: *پیکربندی فضایی، تخلیه‌ی ایمن، حادثه در ساختمان، آتش‌سوزی، خوابگاه دانشجویی*

Investigating the configuration of efficient spaces with the safe evacuation approach of the building during the accident
Case Study: Student Dormitory

Mohammad Taghi Nazarpour*[1], Ali Khaki[2], Peyman BahramiDoost[3], Ahmad heidari[4]

Abstract

In recent years, the expansion of higher education centers and universities has led to a growing number of students and student dormitories. Due to the large number of students in the dormitories, fires and accidents in these areas are considered as a serious threat. In this regard several measures have been taken to limit and reduce injury in dormitories in the event of an accident involving both structural and non-structural measures. These measures first provide safety and then enhance the environmental potential for rapid evacuation (i+n the event of an accident). Therefore, several studies have focused on reducing evacuation duration by simulating emergency evacuation. For this purpose, this paper simulates the human evacuation in the student dormitory of Block 1 of Shahid Beheshti University (with 178 students simulated) during the accident in Pathfinder software. In addition, physical depth and visual depth were analyzed by input-based Depth map software to reduce spatial hierarchy and faster access. The simulation results showed that preliminary optimization of the dormitory with furniture and equipment (non-structural measures) was a prerequisite for dormitory immunization to be evacuated, but due to its negligible effect on evacuation time (from 223.7 seconds to 219.8 seconds) it is not enough. Therefore, after optimization with furniture and equipment, the dormitory was evaluated with two methods of structural intervention (construction of emergency stairs with two exit doors) and reduction of the population of users. In the first method, with the structural intervention, the evacuation time was reduced from 219.8 seconds to 150.5 seconds, and in the second method by reducing the population of users in the end of second and third floors from 4 to 3 persons, evacuation time decreased from 219.8 seconds to 178.8 seconds which was suggested as a less expensive method. In the end, a method was proposed to make the dormitory work efficient with respect to the spatial configuration for emergency evacuation.

Keywords: *Spatial configuration, safe evacuation, accident in building, fire, student dormitory*

1 Assistant Professor of Architecture, Faculty of Architecture and Urban Planning, ShahidBeheshti University, Tehran
2 Assistant Professor, Department of Architecture, Faculty of Enghelab-e Eslami Technical College, Tehran, Iran
3 Assistant Professor of Architecture, Faculty of Architecture and Urban Planning, ShahidBeheshti University, Tehran
4 Master of Architecture Engineering, Faculty of Architecture and Urban Planning, ShahidBeheshti University, Tehran

مقدمه

یکی از مهم‌ترین وظایف در طراحی سامانه‌های حفاظت آتش‌نشانی، تخلیه است. این موضوع به‌خصوص برای ساختمان‌های مسکونی و سایر ساختمان‌ها با تعداد بالای سکنه، مانند مدارس، بیمارستان‌ها، هتل‌ها و خوابگاه‌ها بیشتر اهمیت دارد [۱]. در این میان خوابگاه‌های دانشجویی هم محل استراحت و هم محل زندگی دانشجویان به شمار می‌رود و معمولاً با توجه به تعداد زیاد افراد و فضاهای کوچک قابل‌استفاده، دارای تراکم بالای استفاده‌کنندگان هستند [۲]. این تراکم زیاد، هنگام بروز حوادثی مانند آتش‌سوزی، زلزله و ... مشکلات فراوانی را ایجاد نموده که تخلیه افراد از ساختمان حادثه‌دیده یکی از مهم‌ترین آن‌ها است. ازاین‌رو پژوهش‌های متعددی به تخلیه ایمن دانشجویان از محیط خوابگاهی متمرکزشده‌اند [۳،۲]. به همین جهت اقداماتی برای محدودسازی آثار ناگوار مخاطرات طبیعی یا غیرطبیعی و کاهش آسیب‌های ناشی از آن انجام می‌شود که به اقدامات سازه‌ای و غیر سازه‌ای تقسیم می‌شود. پژوهش‌های متعددی با اقدامات غیر سازه‌ای جهت کاهش آسیب در محیط خوابگاه انجام شده است [۴]. لذا در این پژوهش ابتدا ساختمان خوابگاه بلوک [۱] خواهران در دانشگاه شهید بهشتی با اقدامات غیر سازه‌ای جهت تخلیه اضطراری ایمن شده و سپس مدت‌زمان لازم جهت تخلیه در نرم‌افزار پث‌فایندر به‌دست‌آمده و نتایج در هر دو حالت مقایسه شده است. در گام بعد، با انجام مداخلات سازه‌ای (احداث پله اضطراری و درب خروجی دیگر) مدت‌زمان تخلیه در این حالت نیز به دست آمد. همچنین در روشی جدید، با کاهش جمعیت استفاده‌کنندگان به‌ویژه در طبقات فوقانی، مدت‌زمان تخلیه در این حالت نیز حاصل آمده و با سایر نتایج مقایسه شده است. در پایان نیز روشی جهت کارا نمودن ساختمان خوابگاه جهت تخلیه اضطراری ارائه شده است. به‌طورکلی این پژوهش درصدد پاسخگویی به این سؤال است که اقدامات سازه‌ای و غیر سازه‌ای با توجه به پیکربندی فضای ساختمان‌ها تا چه میزان در کاهش مدت‌زمان تخلیه اضطراری مؤثر بوده و مفیدترین راهکارها جهت تخلیه ایمن خوابگاه هنگام حریق کدام‌اند؟

۱ - مبانی نظری

تخلیه اضطراری

تخلیه اضطراری به حرکت شتابان و اضطراری افراد از محل‌های خطرناک که به علت تهدید و یا وقوع یک حادثه فاجعه‌آمیز مانند آتش‌سوزی، زلزله، بمباران و ... صورت پذیرفته است [۵]. برخی از حوادث طبیعی و غیرطبیعی شرایطی را به وجود می‌آورند که بعضاً تخلیه اضطراری یک منطقه را اجتناب‌ناپذیر می‌سازند [۶]. درهرصورت، رسیدن سریع به محل امن اولین اولویت در مسئله تخلیه اضطراری است [۷].

شبیه‌سازی تخلیه ایمن کاربران در نرم‌افزار پث‌فایندر:

با توجه به آن‌که مؤسسه ملی استاندارد و فناوری[۱] نرم‌افزار شبیه‌ساز پویایی آتش[۲] را در فوریه ۲۰۰۰ منتشر کرد، شبیه‌سازی عددی کامپیوتری تبدیل به روش اصلی جهت استفاده محققان در مطالعه انواع فرایندهای آتش‌سوزی و تخلیه اضطراری در فضای داخلی و خارجی ساختمان‌ها شده است [۱۰،۸،۹،۲]. ازاین‌رو، چی[۳] (۲۰۱۴) خطرات آتش‌سوزی و طرح‌های تخلیه ایمن کارکنان را در هتلی در تایپه بررسی نمود [۱۱] و گلازاو همکاران[۴] (۲۰۱۳) نیز به مدل‌سازی آتش‌سوزی در سینما پرداخته و نشان دادند که خطرناک‌ترین مکان درسالن سینما در قسمت اول و سمت چپ (در طول دقایق ابتدایی آتش‌سوزی) بوده و سقف منحنی برای تماشاگران خطرناک‌تر است [۱۲]. برای مطالعه بر روی تخلیه اضطراری افراد در هنگام آتش‌سوزی و حادثه نیز، موسسه ملی استاندارد و فناوری یک نرم‌افزار شبیه‌ساز را به نام پث‌فایندر برای شبیه‌سازی حرکت کارکنان توسعه داد. بسیاری از نتایج مهم در پژوهش‌ها با استفاده از شبیه‌سازی این نرم‌افزار به‌دست‌آمده است. در همین راستا Bao (۲۰۱۱) به بررسی تخلیه ایمن در سالن‌های مهمانی بزرگ زیرزمینی پرداخت [۱۳]. پاپاکونستانتینو[۵] در فضاهای بزرگ معماری شهری نیز با استفاده از این نرم‌افزار به بررسی تخلیه افراد در مترو پرداخت [۱۴]. فَنگ و همکاران[۶] (۲۰۱۳) نیز اثرات طراحی پله‌ها را بر تخلیه افراد در طراحی پروژه‌های معماری با استفاده از شبیه‌سازی عددی Pathfinder ارائه نمودند [۱۵]. ژاوو و سانگ[۷] به تحقیق در مورد شبیه‌سازی تخلیه ایمن ساختمان‌های خوابگاه دانشجویی بر اساس نرم‌افزار Pathfinder پرداخته و نشان دادند که زمان تخلیه با تعداد خروجی‌های تخلیه در یک رابطه خطی مطابقت دارند [۱۶].

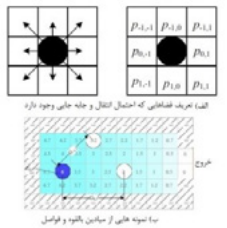
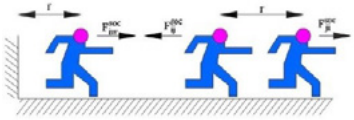
لانگ[۸] و همکاران نیز (۲۰۱۷) با شبیه‌سازی خوابگاه دانشجویی در نرم‌افزار Pathfinder نشان دادند که بهترین مدت‌زمان جهت تخلیه تمام افراد از ساختمان ۱۶۴/۸ ثانیه است. همچنین برای ایجاد امنیت جهت تخلیه دانشجویان، عرض درب خروجی نباید کمتر از ۳ متر و عرض پله نباید کمتر از ۱/۷۵ متر باشد [۳]. شکل ۱ خوابگاه موردمطالعه که در نرم‌افزار شبیه‌سازی‌شده است را نشان می‌دهد. بشیری و خواجه‌ای نقشه‌های تخلیه‌ی اضطراری و اقدامات پیشگیرانه را جهت کاهش آسیب‌پذیری اجزای غیر سازه‌ای (مانند مبلمان داخلی، اسباب، اثاثیه و جداکننده‌های داخلی و سطوح خارجی و الحاقات نما) ارائه نمودند [۴]. فلاحی نیز با اقدامات غیر سازه‌ای، در پژوهش خود نشان داد که چیدمان مبلمان در مسیرهای حرکتی دانشجویان[۹]، موجب تغییر در عرض راهروها شده و حرکت دانشجویان را هنگام خروج مختل نموده است. این امر منجر به افزایش تلفات دانشجویان خوابگاه هنگام حادثه می‌شود [۱۷]. با توجه به آن‌که در پژوهش‌های ذکر شده تنها به ارزیابی محیط کالبدی پرداخته و جنبه‌های بهینه‌سازی محیط با انواع اقدامات ایمن‌سازی کمتر مورد توجه قرار گرفته است، ازاین‌رو این پژوهش با استفاده از انواع اقدامات سازه‌ای و غیر سازه‌ای سعی بر بررسی کاهش زمان خروج کاربران در هنگام حادثه نموده است.

شبیه‌سازی حرکت افراد و پیکربندی فضایی

روش‌های شبیه‌سازی حرکت پیاده را می‌توان در سه دسته تقسیم‌بندی نمود که عبارت‌اند از: اتوماتای[۱۰] سلولی، نیروی اجتماعی و مدل‌های عامل مبنا [۱۸]. در اتوماتای سلولی فضای

شکل ۱. خوابگاه بلوک ۱ دخترانه شهید بهشتی، شبیه‌سازی شده در نرم‌افزار پث‌فایندر

جدول ۱. انواع روش‌های شبیه‌سازی حرکت پیاده

	روش شبیه‌سازی اتوماتای سلولی	روش شبیه‌سازی عامل مبنا	روش شبیه‌سازی نیروی اجتماعی
شمایل			
	نحوه جهت‌گیری و حرکت در شبیه‌سازی اتوماتای سلولی	شبیه‌سازی عامل در نرم‌افزار FDS+Evac و نرم‌افزار Pathfinder (نگارندگان)	اصطلاح نیروی اجتماعی با استفاده از روش گروه هلبینگ[۱۲]
منبع	[۲۷]	کورهونن [۲۳]، به نقل از؛ گری گوراس [۲۶]	[۲۵،۲۴]

حرکت پیاده به شکل شبکه‌ای از سلول‌هایی با ابعاد مشخص است (۴۰×۴۰ سانتی‌متر بوده و می‌تواند بسته به شرایط پُر یا خالی باشد). هر پیاده می‌تواند از سلول خود به یکی از سلول‌های مجاور بر اساس، جهت مطلوب حرکت، وضعیت موانع و حرکت سایر افراد جابه‌جا شود. این مدل در دو وضعیت عادی و بحرانی (تخلیه اضطراری جمعیت) قابل استفاده است [۱۹].

عابران با توجه به قواعد رفتاری خاص از مبدأ به سمت اهداف حرکت کرده و هر سلول تنها می‌تواند توسط یک عابر یا یک مانع و یا یک مقصد اشغال شود [۲۰]. از این روش دائولیانگ و همکاران[۱۱] (۲۰۰۶) برای مطالعه تخلیه اضطراری استفاده نموده و نشان دادند که در فضاهای دارای دو درب خروجی حالت بهینه جهت تخلیه زمانی رخ می‌دهد که خروجی‌ها در پلان متقارن بوده و فاصله بین آن دو خیلی کم یا خیلی زیاد نباشد. همچنین متوسط مقدار جریان عبوری از یک در خروجی تابعی غیرخطی از عرض خروجی درب با شیب کاهنده است [۲۱] از روش عامل مبنا[۱۲] برای تحلیل موقعیت‌های رفتار رقابتی، رفتار صف‌بندی و رفتار توده‌وار (شبیه زمان تخلیه اضطراری) قابل‌استفاده می‌باشد. این روش در گام اول مبادی و مقاصد تعیین‌شده و با توجه به مسیرهای عبوری موجود و موقعیت خروجی‌ها، مشاع حرکتی به سمت هر مقصد مشخص می‌شود. سپس فضاها با توجه به همگنی (از منظر عملکرد معماری) تقسیم‌بندی شده و برای هر قسمت ظرفیتی معادل تعداد بیشینه افرادی که هم‌زمان در آن فضا قرار می‌گیرند، در نظر گرفته می‌شود [۲۲]. هنگام تخلیه اضطراری، بیشترین تراکم نفرات و به عبارتی بیشترین ظرفیت ممکن لحاظ می‌گردد. روش گروه هلبینگ[۱۳] به‌عنوان نقطه شروع الگوریتم حرکتی عامل FDS+Evac استفاده شد که در آن به‌اصطلاح از «نیروی اجتماعی» برای حفظ فاصله معقول عامل نسبت به دیوارها و سایر عوامل دیگر به‌کار رفته است. در این روش، هر عامل زیر معادله حرکت خود را دنبال می‌کند. این روش، هر یک از عوامل را به‌عنوان ترکیبی از سه حلقه در حال حرکت دریک پلان دوبعدی بررسی می‌نماید و به‌طور پیش‌فرض، سرعت، حرکت پیوسته و ابعاد مختلف عامل را از پیش تعیین نموده که در نرم‌افزار شبیه‌ساز به کار می‌بندد [۲۳].

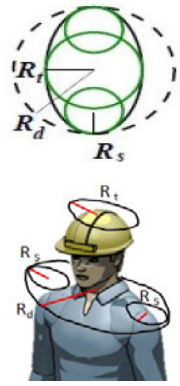
تمام مدل‌های تخلیه به اطلاعات در مورد ویژگی‌های ساکنین، اقدامات آن‌ها در طول تخلیه، تأخیری که ممکن است رخ دهد و سرعت حرکت انواع مختلف ساکنین نیاز دارند. جدول۲ سرعت و ابعاد مختلف عامل شبیه‌سازی شده را در نرم‌افزارهای شبیه‌سازی نشان می‌دهد.

نحوهٔ پیکربندی فضایی در ایجاد تردد عبوری (حرکت طبیعی) بسیار اهمیت دارد، زیرا نحوهٔ چیدمان فضا ساختار تردد را شکل می‌دهد [۳۰]. به عبارتی پیکربندی فضایی در شکل‌گیری الگوهای رفتاری، مانند الگوی حرکتی تأثیرگذار است. لذا در این پژوهش، با توجه به نقش پراهمیت پیکربندی فضایی در الگوهای حرکتی و جهت‌گیری ساکنین در فضا جهت تخلیه اضطراری، از نرم‌افزار تخصصی نحو فضا[۱۴] استفاده شد. ازاین‌جهت در تحلیل ترتیب فضایی و سلسله‌بندی فضا نیز مفهوم عمق بیشتر از مفهوم

جدول ۲. ابعاد و استانداردهای بدن افراد جهت شبیه‌ساز تخلیه در نرم‌افزارهای شبیه‌ساز تخلیه [۲۹]

سمت راست: شکل هندسی بدن انسان، شکل بدن انسان تقریباً ترکیبی از سه حلقه همپوشانی شده است [۲۶]

نوع بدن کاربر	Rd	R_d/R_s	Rd/ds	Rd/Rt	سرعت پیاده‌روی
	برحسب متر (m)	بدون واحد (-)	بدون واحد (-)	بدون واحد (-)	متر بر ثانیه (m/s)
کودکان	۰/۲۱۰±۰/۰۱۵	۰/۳۳۳۳	۰/٦٦٦٧	./٥٧١٤	۰/۹۰±۰/۳۰
بزرگ‌سالان	۰/۲۵۵±۰/۰۳۵	۰/۳۷۲۵	۰/٦۲۷۵	۰/٥٨٨۲	۱/۲۵±۰/۳۰
آقایان	۰/۲۷۰±۰/۰۲۰	۰/۳۷۰٤	۰/٦۲۹٦	۰/٥۹۲٦	۱/۳۵±۰/۲۰
خانم‌ها	۰/۲٤۰±۰/۰۲۰	۰/۳۷۵۰	۰/٦۲۵۰	۰/٥٨۳۳	۱/۱۵±۰/۲۰
سالخوردگان	۰/۲۵۰±۰/۰۲۰	۰/۳٦۰۰	۰/٦٤۰۰	۰/٦۰۰۰	۰/۸۰±۰/۳۰



R_s شعاع دایره‌ای شانه کاربر Rd شعاع عرض بدن کاربر R_t شعاع سر کاربر ds=Rd-Rs

فاصله مصداق پیدا می‌کند. تحلیل عمق بصری (Step depth) و عمق متریک (Metric step) پژوهشگران را در عرصه بندی بصری و فیزیکی در فضاهای معماری مختلف یاری رسانده است [۳۱]. لذا جهت بررسی پیکربندی فضایی مناسب جهت تخلیه اضطراری با مبنا قرار دادن فضای ورودی، به تحلیل هر یک از پلان‌ها اقدام شد.

عمق[۱۵]: به‌منظور بررسی دسترسی فیزیکی بین دو فضا از شاخصه‌ی عمق استفاده می‌شود. از عمق به‌عنوان تعداد قدم‌هایی که برای گذر از یک نقطه به نقاط دیگر باید طی شود. به عبارتی، عمق به تعداد فضاهایی گفته می‌شود که از آن عبور کرده تابه فضای موردنظر برسیم [۳۲]. هر چه میزان عمق بیشتر باشد، فضا دارای سلسله‌مراتب فضایی بیشتری بوده و مدت‌زمان بیشتری طول می‌کشد تا به آن فضا دست پیدا نمود.

عمق بصری[۱۶]: عمق بصری، مدت‌زمان بیشتری طول می‌کشد تا به آن فضا دست پیدا نمود. عمق بصری در تعیین نحوه حرکت فرد در محیط ساختمان مفید است [۳۳] به این صورت که هر چه عمق بصری بیشتر شود، فضا کمتر در معرض دید بوده و شانس کمتری را جهت انتخاب به‌عنوان مسیر دسترسی دارا می‌باشد [۳۴]. در عمق بصری، به این دلیل که از ویژگی‌های بینایی هنگام پیمایش در محیط استفاده می‌شود، درنتیجه فضاهایی را که ازنظر فیزیکی قابل‌دسترس نبوده اما از طریق چشم قابل‌تشخیص هستند را شامل شده لذا محدوده‌ی دسترسی بصری از دسترسی فیزیکی بیشتر است؛ لذا محدوده دسترسی بصری از دسترسی فیزیکی بیشتر است [۳۵]. بیشتر بودن مقدار عددی عمق بصری در هر فضا، حاکی از تشخیص سریع‌تر و جهت‌گیری بهتر است.

عمق متریک[۱۷]: عمق متریک (عمق قابل پیمایش) به معنی بررسی بخشی از محیط بوده که به‌وسیله حرکت در فضا برای افراد قابل پیمایش بوده و با مبنا قرار دادن هر قسمت از محیط قابل‌سنجش است. هرچه فضا عمیق‌تر شود میزان مسافت لازم برای پیمایش توسط کاربر افزایش خواهد یافت [۳۶]. با توجه به اهمیت زمان در تخلیه اضطراری، هرچه عمق متریک فضا کمتر شود، میزان راندمان عملکردی در رابطه با شاخص عمق افزایش خواهد یافت.

۱-۳ مباحث و مقررات مربوط به حفاظت ساختمان‌ها در برابر حریق:

جهت ارتقای سطح ایمنی ساختمان‌ها و پیشگیری از آتش‌سوزی در ایران نیز ضوابطی توسط سازمان‌های ذی‌ربط تبیین شده است. این ضوابط و مقررات عبارت‌اند از: حفاظت ساختمان‌ها در برابر حریق [۳۷]، راهنمای مبحث سوم حفاظت ساختمان‌ها

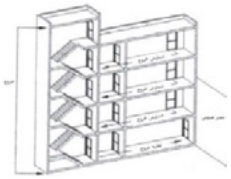
در برابر حریق [۳۸]، آیین‌نامه محافظت ساختمان‌ها در برابر آتش [۳۹]، راهنمای آیین‌نامه محافظت ساختمان‌ها در برابر حریق [۴۰]. جدول ۳ به مقایسه‌ی بین وضعیت خوابگاه دانشجویی موردمطالعه با ضوابط و مقررات مربوط به حفاظت خوابگاه‌ها در برابر حریق پرداخته است.

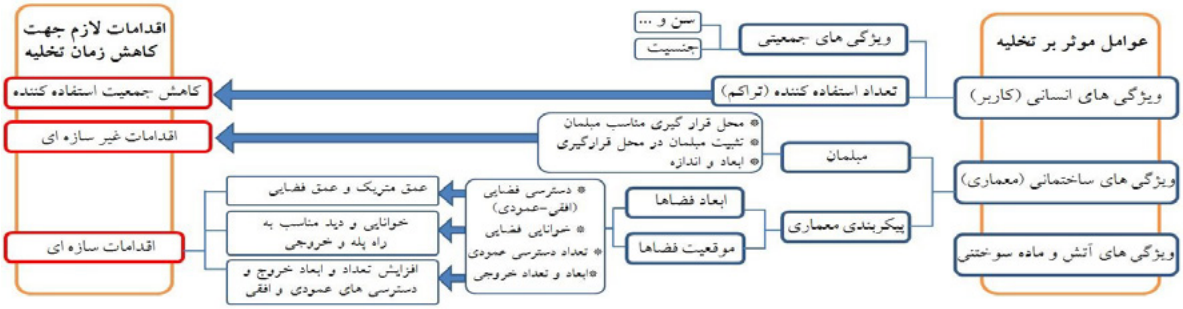
میر سعیدی و شمس درجه عملکرد پاسخ به آتش در جریان آتش‌سوزی را به عواملی چون ویژگی‌های انسانی (شامل سرعت، شیوه تصمیم‌گیری، سن، جنس و...)، ویژگی‌های آتش و ویژگی‌های ساختمانی (طراحی تأثیرگذار بر تخلیه اضطراری که در دودسته ابعاد فضاها و موقعیت فضاها قرارگرفته‌اند) تقسیم‌بندی نمودند [۲۲] (تصویر ۲).

محیط‌های خوابگاهی و حادثه‌خیزی

بررسی‌ها در ایالات‌متحده حاکی از آن است که آتش‌سوزی در ساختمان‌ها سبب زخمی شدن بیش از ۱۴۰۰۰ نفر و مرگ‌ومیری بالای ۲۷۰۰ نفر تنها در سال ۲۰۰۶ شده است [۴۴]. در بین این ساختمان‌ها، خوابگاه‌های دانشجویی حادثه‌خیزترین ساختمان‌ها هستند. به‌طوری‌که بین سال‌های ۲۰۰۴ تا ۲۰۰۸ بیش از ۳۸۰۰ آتش‌سوزی و از سال ۲۰۱۱ تا ۲۰۱۵ نیز بیش از ۴۱۰۰ حریق در خوابگاه‌ها رخ‌داده که به‌طور متوسط باعث کشته شدن ۷ نفر در سال شده است [۴۵]. همچنین تحقیقات نشان می‌دهد که بیشترین آتش‌سوزی در خوابگاه‌ها، هنگام عصر و بین ساعت‌های

جدول ۳. مقایسه بین وضعیت خوابگاه دانشجویی مورد مطالعه با ضوابط و مقررات مربوط به حفاظت خوابگاه‌ها در برابر حریق

تعاریف / وضعیت مورد مطالعه	نوع بنا	بیشترین مسیر پیمایش (متر)	بیشترین طول بن‌بست (متر)	بیشترین طول مسیر مشترک (متر)	بیشترین واحد تصرف به ازای هر نفر	کمترین ظرفیت راه خروج (میلی-متر)	تعداد و ابعاد خروجی اصلی (عدد)	تعداد راه‌پله تخلیه (عدد)	توضیحات
طول دسترس خروج بدون شبکه بارنده[1]	بنای جدید	۵۳	۷/۱۰	۷/۱۰	-	-	-	-	
	بنای موجود	۵۳	۱۵	۷/۱۰					
طول دسترس خروج با شبکه بارنده	بنای جدید	۹۹	۷/۱۰	۷/۱۰	-	-	-	-	
	بنای موجود	۹۹	۱۵	۷/۱۰					
خوابگاه ایمن در برابر حریق	بنای پیشنهادی	۵۳	۱۵	۱۰/۷	۳=۱۸/۶	۷۵۰ میلی‌متر	۲ (با فاصله مناسب[2])	۲ عدد	
خوابگاه دخترانه شهید بهشتی	وضع موجود در خوابگاه	۳۰/۶۲ متر	۱۴/۶۵ متر	۸/۷۵ متر	۵۳۷/۲۵۶ = ۲/۰۹۵	۱۰۰۰ میلی‌متر (مبلمان نامناسب)	۱ عدد	۱ عدد	*واحد تصرف به ازای هر نفر در فضای خوابگاه: مساحت هر طبقه/ تعداد ساکنان هر طبقه. *حداکثر طول راه تخلیه خروج از انتهای پلکان خروج تا معبر عمومی نباید از ۳۰ متر بیشتر باشد. * هر خوابگاه با بیش از ۲۵ اتاق باید به تجهیزات روشنایی و اضطراری مجهز باشد. * ظرفیت راه خروج = دسترس خروج + خروج + تخلیه خروج.
خوابگاه دخترانه شهید بهشتی	طرح پیشنهادی	۲۹/۲ متر	۱۴/۶۵ متر	۸/۷۵ متر	۵۳۷/۲۵۶ = ۲/۰۹۵ (در روش کاهش تعداد کاربر) = ۲/۰۹	۱۵۰۰ میلی‌متر (با مبلمان مناسب)	۲ عدد (باقاصله نامناسب = به دلیل کنترل ورود و خروج)	۲ عدد	



شکل ۲. عوامل مؤثر بر تخلیه و راهکارهای اجرایی

۵ عصر تا ۱۱ شب و همچنین در آخر هفته‌ها شایع است [۴۶]. به دلیل آن‌که بسیاری از دانشجویان قبل از ورود به خوابگاه از وسایل آشپزخانه کمتر استفاده نموده‌اند، ازاین‌رو بیش از ۷۵ درصد از آتش‌سوزی‌های خوابگاه، به‌وسیله تجهیزات آشپزخانه صورت می‌گیرد [۴۵]. در ایران نیز همواره حوادث آتش‌سوزی منجر به تحمیل خسارت‌ها و لطمه‌های فراوانی شده است. تا پیش از سال ۸۰ سالانه ۴۴۴۲ مورد آتش‌سوزی (میانگین روزی ۱۲/۲) رخ‌داده که این آمار در سال ۱۳۸۰ به‌روزی ۱۴/۹ افزایش یافته است. در سال ۸۵ تعداد حوادث به ۹۱۵۶ عدد (میانگین روزی ۲۵ حادثه) و در سال ۹۳ تعداد ۲۱۵۸۳ حادثه (روزی ۵۵ آتش‌سوزی) ثبت‌شده است (خبرگزاری مهر، ۱۳۹۵). درسال‌های اخیر در کشور، مراکز آموزش عالی و دانشگاه‌ها توسعه‌ی چشمگیری داشته و به‌تبع آن مراکز اقامتی و خوابگاه‌ها نیز گسترش یافته‌اند. تراکم بالای ساکنان در خوابگاه‌های دانشجویی سبب شده که این ساختمان‌ها هنگام حوادثی مانند آتش‌سوزی و زلزله بیش از سایر ساختمان‌ها در معرض خطر قرار گیرند. ازاین‌رو خوابگاه‌های دانشجویی نیز آتش‌سوزی‌های فراوانی را تجربه نموده که آتش‌سوزی در خوابگاه پسرانه دانشگاه یاسوج، خوابگاه پسرانه فدک در تبریز با دو مصدوم، آتش سوزی خوابگاه دانشجویی در دزفول، در شهر کرمان و نیشابور، خوابگاه دانشجویی دختران دانشگاه علم و صنعت، خوابگاه دخترانه در ارومیه، خوابگاه دخترانه هرمزگان با جراحت شدید ۳ دانشجو، خوابگاه دانشجویی واقع در خیابان کریم‌خان تهران، خوابگاه دانشجویی دانشگاه شهید بهشتی (شکل ۳) فقط تعدادی از این موارد هستند.

۲- روش پژوهش و بررسی نمونه‌ی موردی

این پژوهش، ابتدا به دنبال شناسایی نقاط ضعف در وضعیت موجود خوابگاه و طراحی معماری آن (در ارتباط با مسیرهای دسترسی افقی- عمودی و خروجی‌ها) بوده تا بتواند تدارکات و اقدامات لازم (با اقدامات غیر سازه‌ای در مرحله‌ی اول و سپس اقدامات سازه‌ای) جهت کاهش میزان تلفات در هنگام حادثه را ایجاد نماید. این مهم از طریق کاهش مدت‌زمان تخلیه همه قابل حصول است. به همین منظور ابتدا بلوک ۱ خوابگاه دانشجویی دختران به‌عنوان نمونه مورد مطالعه انتخاب شد. مساحت این

بلوک حدود ۲۷۹۶/۷۰ مترمربع بوده که ۶۴ اتاق خوابگاهی را شامل می‌شود. تعداد کل دانشجویان ساکن در این بلوک ۲۵۶ نفر در ۴ طبقه (۶۴ اتاق ۴ نفرِ) است که هر طبقه دارای ۱۶ اتاق و هر بال (شرقی و غربی) ۸ اتاق ۴ نفرِ، معادل ۳۲ نفر را اسکان داده است. میانگین سنی دانشجویان در این بلوک ۲۳/۵ سال بوده و و تمامیت دانشجویان دختر و در مقطع کارشناسی ارشد مشغول به تحصیل هستند. بر این اساس خوابگاه موردمطالعه، با توجه به مبلمان چیده شده‌ی وضع موجود، در محیط نرم‌افزاری شبیه‌سازی گردید. سپس، بیشترین مدت‌زمان خروج دانشجویان و سایر تحلیل‌های مرتبط با تخلیه اضطراری به دست آمد. با مقایسه حداکثر زمان تخلیه با مقدار زمان استاندارد خروج که ۱۵۰ ثانیه بوده[18]، (لانگ و همکاران عدد ۱۶۵ ثانیه را برای خوابگاه به دست آوردند [۳]) نیاز مبرم به بهینه‌سازی بیش‌ازپیش نمایان شد. در گام بعد جهت بهینه‌سازی مقدماتی (مبلمان و تجهیزات) با حذف موانعی که منجر به تداخل در تخلیه‌شده، مجدداً به بررسی حداکثر زمان خروج اضطراری دانشجویان و عوامل مرتبط با آن اقدام شد. نتایج حاصله، نیاز ساختمان به کاهش اساسی در مدت‌زمان تخلیه با توجه به حجم زیاد استفاده‌کنندگان را نشان داد. بدین منظور برای بار دوم، عمل بهینه‌سازی سازه‌ای (که در این مرحله فقط به تغییر در ابعاد و اندازه اتاق‌ها، درب‌های خروج و یا قرار دادن پله‌های اضطراری بدون تغییر کلی در سازه ساختمان پرداخته می‌شود) صورت پذیرفت. با توجه به تعداد حضور افراد که از طریق پرسش‌نامه، بیشترین میانگین حضور افراد[19] سنجیده شده است، نظرپور [۴۷]، تعداد ۱۷۸ دانشجو با توجه به چیدمان فضایی اتاق‌ها شبیه‌سازی گردید. خروجی داده‌های نرم‌افزاری نشان می‌دهد که بیشترین مدت‌زمان لازم برای خروج تمامی افراد از ساختمان ۲۱۹/۸ ثانیه است. این مقدار نسبت به ۱۵۰ ثانیه که مدت‌زمان استاندارد برای خروج بوده، بسیار بیشتر است که نیاز ساختمان را برای بهینه‌سازی مجدد نشان می‌دهد. به همین علت ابتدا نقاط بحرانی تخلیه با توجه به تحلیل‌های نرم‌افزار تخصصی تخلیه اضطراری (پث فایندر) به‌دست‌آمده و سپس به کارا نمودن محیط اقدام شد (شکل ۴).

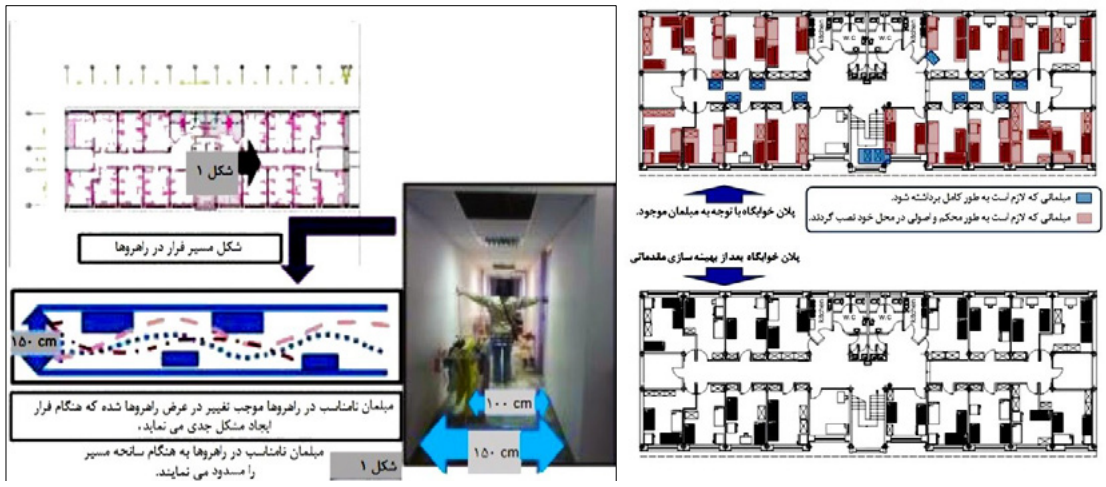
گام‌های بهینه‌سازی در این پژوهش به شرح زیر است (شکل ۵):

سازمان‌دهی فضایی، نحوه چیدمان مبلمان شامل نقشه پلان طبقات، دسترسی‌های افقی-عمودی و موقعیت خروجی‌ها و همچنین ویژگی‌های جمعیتی خوابگاه (مانند سن و تعداد ساکنان) به‌طور دقیق برداشت گردید (مرحله برداشت اطلاعات).

خوابگاه در وضعیت موجود و با توجه به مبلمان برداشت شده، در محیط‌های نرم‌افزاری شبیه‌سازی و نتایج آن مورد تحلیل قرار گرفت.

در صورت نامناسب بودن ساختمان جهت تخلیه اضطراری، با بهره‌گیری از کارشناسان مربوطه، خطرات احتمالی و شرایطی که

شکل ۳. آتش‌سوزی در خوابگاه بلوک ۵ پسران دانشگاه شهید بهشتی تهران در تاریخ ۱۳۹۵/۱۰/۲ (سه تصویر سمت راست) آتش‌سوزی در بلوک خوابگاهی پردیس دانشجویان شهید بهشتی (دو تصویر سمت چپ)



شکل ۴. سمت چپ: مشکلات موجود در محل قرارگیری مبلمان و تجهیزات جهت تخلیه کاربران [۱۷] و سمت راست: انجام بهینه‌سازی مقدماتی با اصلاح قرارگیری مبلمان و تجهیزات (منبع: نگارندگان)

تعداد تلفات را هنگام حادثه افزایش می‌دهد، فهرست شد (این اصلاحات فقط در سطح مبلمان بوده و تغییرات کالبدی را شامل نمی‌گردد).

مجدداً ساختمان ایمن شده از منظر مبلمان و تجهیزات، در نرم‌افزارهای مربوطه، شبیه‌سازی و در صورت بالا بودن زمان تخلیه، موقعیت معابر و فضاهای بحرانی با توجه به تراکم عابران مشخص گردید.

با ارزیابی‌های به‌عمل‌آمده، موقعیت مکانی جدیدی جهت ایجاد یک پله اضطراری و یک خروجی جدید پیشنهاد گردید.

بار دیگر ساختمان با توجه به اصلاحات (کالبدی) صورت گرفته در نرم‌افزارها شبیه‌سازی و مورد تحلیل قرار گرفت.

در صورت ناایمن بودن ساختمان به مرحله ۴ برگشته و بهینه‌سازی و اصلاح تا زمان ایمن شدن ساختمان ادامه می‌یابد.

درصورتی‌که مدت‌زمان خروج در ناحیه امن قرار گرفت، نقشه نهایی جهت اجرا به مجری کار پیشنهاد خواهد شد.

۳- تحلیل‌ها

۳-۱- تحلیل خوابگاه با مبلمان و تجهیزات ثابت (وضع موجود)

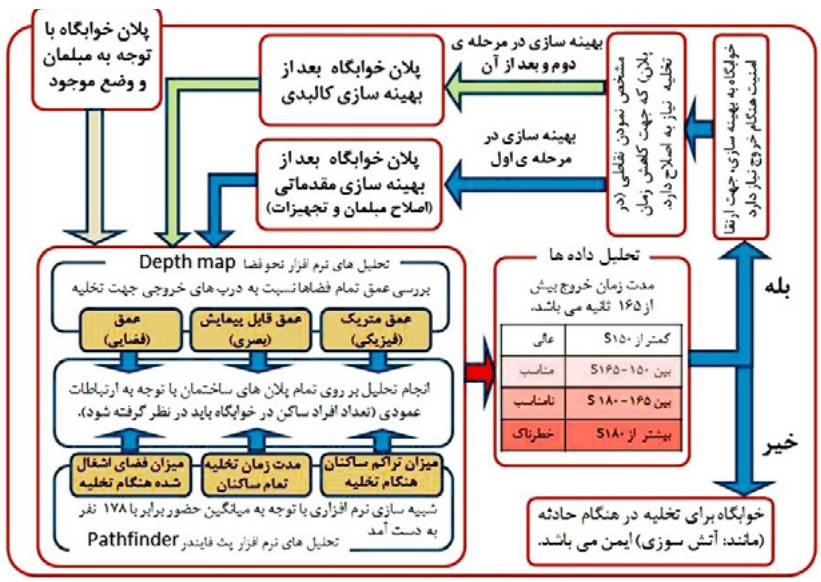
در ابتدا، خوابگاه با مبلمان و وضع موجود برداشت و ویژگی‌های پیکربندی فضایی (عمق) در آن مورد سنجش قرار گرفت. با توجه به جدول ۴، وجود جاکفشی‌ها و بسیاری از مبلمان‌ها سبب افزایش عمق متریک و فضایی شده است که سبب افزایش سلسله‌مراتب فضایی و افزایش مدت‌زمان تخلیه می‌شود. طبق جدول ۵، بیشترین مدت‌زمان تخلیه خوابگاه نیز ۲۲۳/۷ ثانیه بود که جاکفشی‌ها در ورودی هر اتاق بر تراکمِ تخلیه، هنگام حادثه افزوده است. همچنین برخورد دانشجویان به مبلمان می‌تواند سبب اختلال در مسیر خروج دانشجویان شود و مدت‌زمان تخلیه را به‌شدت افزایش دهد. لذا تثبیت و قرارگیری محل مناسب مبلمان از شروط اصلی ایمن‌سازی است.

۳-۲- تحلیل بهینه‌سازی کالبدی (مداخله‌ی سازه‌ای)

۳-۱-۱- تحلیل‌های حاصل از تخلیه‌ی فوری در نرم‌افزار پث فایندر

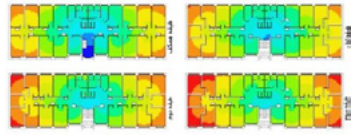
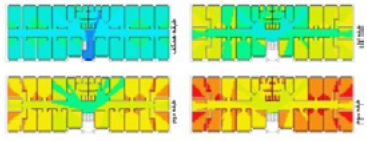
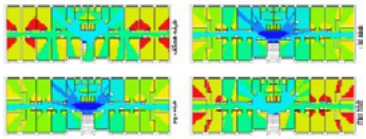
با توجه به آن‌که با بهینه‌سازی مقدماتی (اقدامات غیر سازه‌ای)، شرایط لازم جهت ایمن‌سازی تخلیه دانشجویان فراهم نشد[۲۰]، ناگزیر به ایجاد تغییرات کالبدی (اقدامات سازه‌ای) در پلان ساختمان شدیم که در شکل ۶ نشان داده شده است.

جدول ۶ نشان می‌دهد که در حالت بهینه‌سازی مقدماتی بیشترین تراکم دانشجویان در راه‌پله اصلی و فضای ورودی اصلی بوده که این حجم تراکم سرعت حرکت افراد را کاهش داده و سبب اختلال در رفت‌وآمد بهینه می‌شود که خود عامل اصلی در افزایش مدت‌زمان تخلیه است.

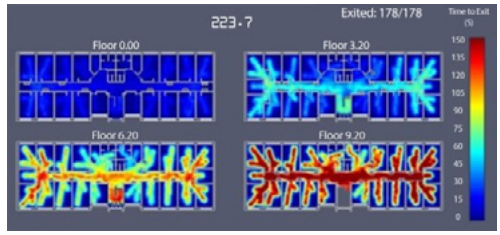
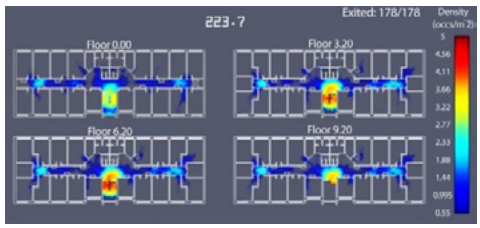
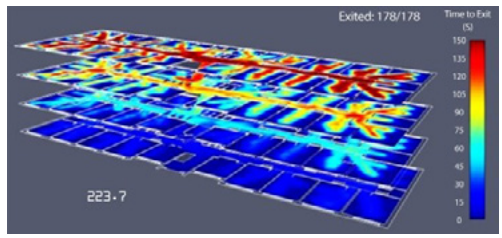
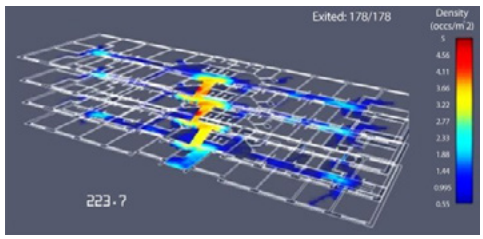


شکل ۵. گام‌های پژوهش

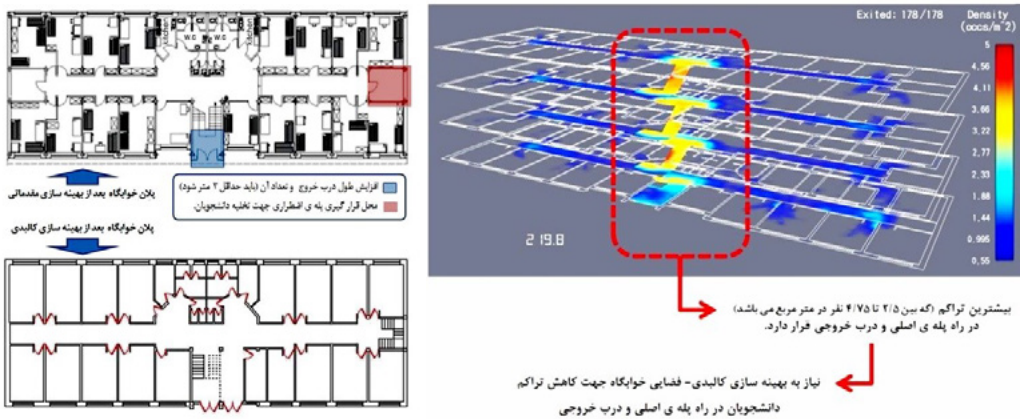
جدول ۴. بررسی انواع عمق در نرم‌افزار تخصصی نحو فضا در خوابگاه با وضع موجود نسبت به خروجی اضطراری (با مبلمان)

عمق متریک (فیزیکی) (Metric Step)			عمق قابل پیمایش (بصری) (Visual Step Depth)			عمق (فضایی) (Mean Depth)		
								
کمترین (متر)	میانگین (متر)	بیشترین (متر)	کمترین (-)	میانگین (-)	بیشترین (-)	کمترین (-)	میانگین (-)	بیشترین (-)
۰	۱۸/۴۳	۳۰/۶۲	۰	٤/۸۰	۸	۳/۰۸۵	۵/۰۸	٦/۹

جدول ۵. بررسی بیشترین مدت خروج و میزان تراکم در خوابگاه با وضع موجود (با مبلمان)

	بیشترین مدت‌زمان خروج در خوابگاه موجود	میزان تراکم در خوابگاه با وضع موجود
پلان‌های مورد تحلیل		
تصاویر سه‌بعدی		

مدت‌زمان خروج کامل افراد (تمام ۱۷۸ نفر)، در وضعیت موجود (با مبلمان ثابت شده) برابر با ۲۲۳ ثانیه است



شکل ۶. سمت راست: انجام بهینه‌سازی کالبدی با اصلاح نقاط پرتراکم در نرم‌افزار پث فایندر (منبع: نگارندگان) و سمت چپ: به دست آوردن نقاط پرتراکم که زمان تخلیه را افزایش می‌دهند (منبع: نگارندگان)

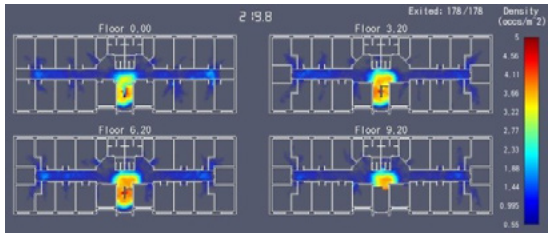
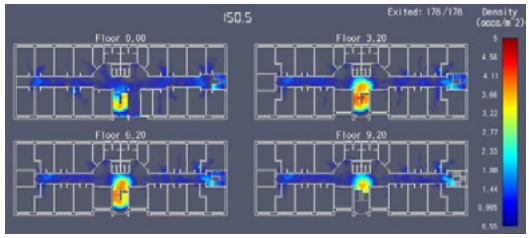
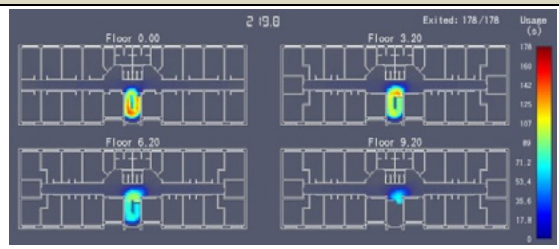
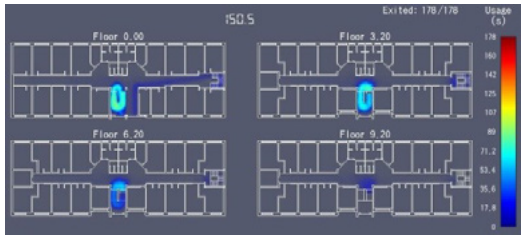
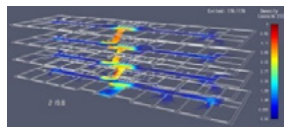
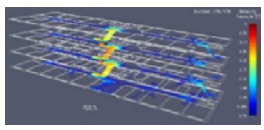
البته در خوابگاهی که بهینه‌سازی کالبدی شده، با توجه به ایجاد پله اضطراری در قسمت شرقی ساختمان، تراکم جمعیت در راه‌پله اصلی کاهش‌یافته و با توجه به افزایش عرض درب‌های خروجی به بیش از ۳ متر، برحسب پژوهش لانگ و همکاران [۳]، شاهد کاهش تراکم و افزایش سرعت عمل کاربران هنگام تخلیه هستیم. همچنین جدول ۶ کاهش تعداد استفاده‌کنندگان را در حالت بهینه‌شده کالبدی (سازه‌ای) نسبت به حالت بهینه مقدماتی به‌وضوح نشان می‌دهد. موارد ذکر شده به‌طور مستقیم بر کاهش زمان خروج تأثیرگذار است.

بررسی مدت‌زمان خروج در هر یک از طبقات نیز بیانگر این مطلب است که ایجاد راه‌پله اضطراری در بخش شرقی ساختمان سبب خروج سریع‌تر افراد در راهروی شرقی شده که این موضوع به‌طور مستقیم بر مدت‌زمان خروج تمام افراد از ساختمان تأثیرگذار است.

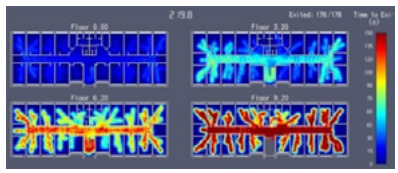
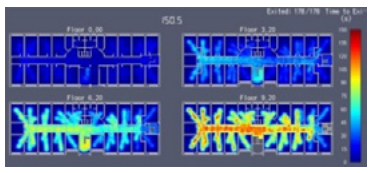
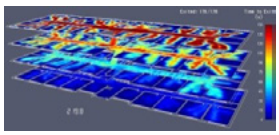
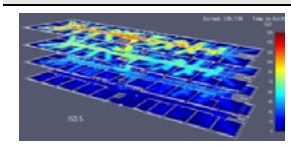
همان‌طور که در تصویر زیر نمایش داده شده در حالت بهینه‌شده‌ی مقدماتی، به‌ویژه در طبقهی دوم و سوم با توجه به آنکه تنها یک‌راه خروج وجود دارد بیشترین زمان ممکن برای تخلیه تمام دانشجویان لازم است (حدود ۲۲۰ ثانیه). از طرف دیگر با بهبود طرح معماری با بهینهسازی کالبدی (سازهای) این مدت‌زمان به حداقل ممکن (حدود ۱۵۰ ثانیه) تقلیل یافته است (جدول ۷).

با توجه به جدول ۸ (سمت راست جدول)، در خوابگاهی که از منظر مبلمان ساماندهی شده و با توجه به آن‌که طول درب خروج نامناسب بوده، بیشترین میزان جریان عبوری دانشجویان برحسب زمان (Pers /S) از خروجی اصلی (که تنها یک درب خروجی وجود داشته و دارای نموداری به رنگ آبی بوده) برابر با ۱/۷۸ نفر بر ثانیه است که در خوابگاه بهینه‌شده کالبدی (سازه‌ای) مقدار عددی بیشینه جریان عبوری (با توجه به افزایش طول و اضافه

جدول ۶. بررسی میزان تراکم حضور دانشجویان هنگام تخلیه‌ی ساختمان در دو حالت خوابگاه

میزان تراکم در خوابگاه بهینه‌سازی مقدماتی	میزان تراکم در خوابگاه بهینه‌سازی کالبدی (سازه‌ای)
	
بیشترین حجم استفاده‌کنندگان از فضا در خوابگاه بهینه‌سازی مقدماتی	**بیشترین حجم استفاده‌کنندگان از فضا خوابگاه بهینه‌سازی کالبدی**
	
سه‌بعدی بهینه‌سازی مقدماتی میزان تراکم افراد در محیط خوابگاه	سه‌بعدی بهینه‌سازی مقدماتی بیشترین حجم استفاده‌کننده از فضا	سه‌بعدی بهینه‌سازی کالبدی میزان تراکم افراد در محیط خوابگاه	سه‌بعدی بهینه‌سازی کالبدی بیشترین حجم استفاده‌کننده از فضا
			

جدول ۷. بررسی مدت‌زمان لازم جهت تخلیه ساختمان در دو حالت خوابگاه مقدماتی و کالبدی (سازه‌ای)

مدت‌زمان خروج، در خوابگاه بهینه‌سازی مقدماتی (غیر سازه‌ای)	مدت‌زمان خروج، در خوابگاه بهینه‌سازی کالبدی (سازه‌ای)	
		
مدت‌زمان خروج کامل افراد، برابر با ۲۱۹٫۸ ثانیه است	مدت‌زمان خروج کامل افراد، برابر با ۱۵۰٫۵ ثانیه است	سه‌بعدی بهینه‌سازی مقدماتی
تعداد دانشجو ۱۷۸ نفر- بیشترین زمان خروج طبقات دوم و سوم	تعداد دانشجو ۱۷۸ نفر، بیشترین زمان خروج در طبقه‌ی سوم	 سه‌بعدی بهینه‌سازی کالبدی

نمودن یک درب خروجی دیگر که در نمودار با رنگ‌های آبی و سبز نمایه شده است)، به ۱/۵۴ نفر بر ثانیه کاهش یافته که بیانگر کاهش تراکم در نزدیک درب خروجی است. سمت چپ جدول ۸ نیز شمار ساکنان خارج‌شده را برحسب زمان نشان می‌دهد.

۳-۲-۲ تحلیل عرصه بندی بصری و فیزیکی از خروجی، جهت تخلیه کاربران در نرم‌افزار نحو فضا

جهت تحلیل عرصه بندی فضاها و پیکربندی بنا، در نرم‌افزار Ucl depth map با مبنا قرار دادن درب اصلی خروجی جهت تخلیهی دانشجویان، نمودار عمق قابل پیمایش (Step depth) و عمق متریک (Metric step) ترسیم‌شده است. تحلیل عمق قابل پیمایش، لایه‌های بصری به هنگام حرکت در فضا را نمایش می‌دهد. از منظر این تحلیل، در خوابگاه بهینه شده مقدماتی در قیاس با خوابگاه بهینه شده کالبدی، با توجه به دسترسی بصری ضعیف خروجی اصلی نسبت به سایر اتاق‌ها و طبقات به‌ویژه در طبقه سوم (که به نظر می‌رسد وجود تنها یک دسترسی عمودی و عرض نامناسب درب خروجی این شرایط را بر فضا تحمیل نموده است)، میزان عمق قابل پیمایش با میانگین عددی ۴/۸ از عمق قابل پیمایش بهینه شده کالبدی (میانگین عددی ۴/۳۱) بیشتر بوده، به‌عبارت‌دیگر در خوابگاه بهینه شده با مبلمان، درب خروجی جهت تخلیه در عرصه بندی بصری عمیق‌تری قرار گرفته است. ازاین‌رو ساکنان اتاق‌ها به‌ویژه در طبقه‌ی سوم سخت‌تر راه‌پله و فضای خروجی را جهت تخلیه تشخیص می‌دهند.

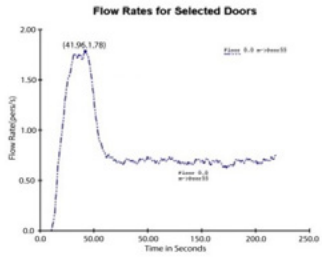
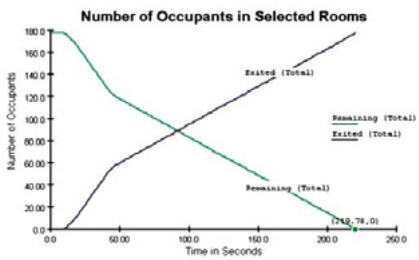
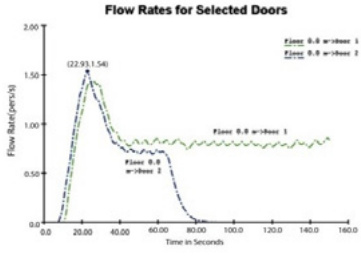
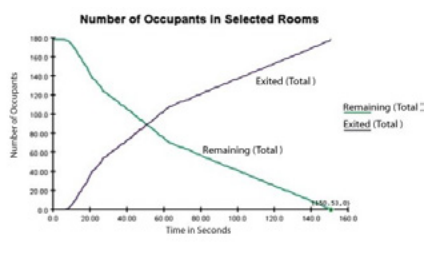
تحلیل عمق متریک نیز بیانگر حریم فیزیکی پیمایش شده است؛ به‌نحوی‌که هر چه مقدار آن بیشتر باشد، لازم است تا میزان مسافت بیشتری جهت رسیدن به سایر فضاها نسبت به فضای مبدأ انتخاب‌شده (که در این پژوهش با توجه به تمرکز بر روی تخلیه‌ی کاربران و فضای خروجی اصلی در نظر گرفته‌شده است) طی شود. نتایج تحلیل‌ها نشان می‌دهد که علاوه بر دسترسی بصری ضعیف‌تر در پیکربندی فضایی موجود در خوابگاه بهینه‌شده از منظر مبلمان (مقدماتی) نسبت به خوابگاه بهینه شده کالبدی، دسترسی فیزیکی پیمایش شده نیز ضعیف‌تر است. به‌عبارت‌دیگر می‌توان بیان نمود که گام متریک ناظر با فرض بر مبدأ بودن فضای خروجی جهت تخلیه در خوابگاه بهینه‌شده مقدماتی بسیار طولانی است (میانگین آن برابر با ۱۸/۲۳ متر است) که با تغییرات اعمال‌شده جهت بهینه نمودن مجدد آن (کالبدی) میزان عمق متریک به ۱۷/۵۷ متر متر کاهش پیدا نموده است (جدول ۹).

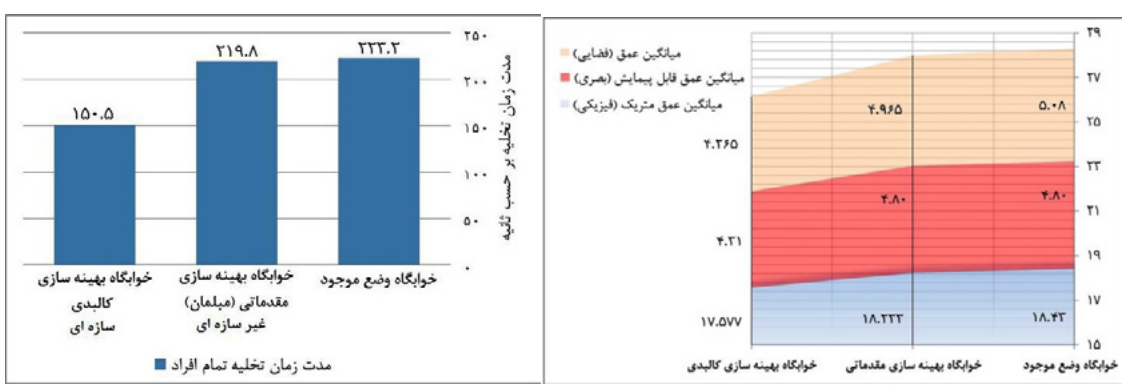
۳-۲-۳ تحلیل‌ها و مقایسه‌ی نتایج

تحلیل‌ها حاکی از آن است که مدت‌زمان تخلیه در خوابگاه ایمن‌سازیِ غیر سازه‌ای ۲۱۹/۸ ثانیه بوده که نسبت به خوابگاه وضع موجود (با ۲۲۳/۳ ثانیه) ۳/۵ ثانیه کاهش زمان داشته، این در حالی است که در خوابگاه بهینه‌سازی کالبدی (سازه‌ای) مدت‌زمان تخلیه ۱۵۰/۵ ثانیه بوده که کاهش ۶۹/۳ ثانیه‌ای را نسبت به غیر سازه‌ای نشان می‌داد (شکل ۷). بررسی پیکربندی فضایی نیز کاهش چشمگیرتر عمق در خوابگاه بهینه‌سازی کالبدی نسبت به مقدماتی را نشان می‌دهد.

در گام بعد با توجه به نقش کلیدی که تعداد افراد ساکن در خوابگاه بر تراکم حضور و مدت تخلیه اضطراری ایفا می‌نماید، به بررسی رابطه بین تعداد افراد ساکن با مدت تخلیه اقدام شد. در نمودار زیر (شکل ۸) ابتدا به میزان مساوی از تعداد دانشجویان خوابگاه در هر طبقه (و با شرایط برابر فاصله اتاق‌ها از خروجی) کاسته و نتایج آن هم‌زمان مورد مقایسه قرار گرفت (بخش خاکستری نمودار)؛ سپس کاهش ۲۵ درصدی تعداد دانشجویان فقط در طبقه سوم صورت گرفت که مدت تخلیه را به ۲۰۰/۵ ثانیه کاهش داد. این مدت‌زمان نیز به علت قرارگیری در محدوده بحرانی، قابل‌قبول واقع نشد (بخش هاشورهای کوچک نمودار). همچنین بار دیگر، با کاهش ۲۵ درصدی تعداد دانشجویان تنها در

جدول ۸. بررسی مدت‌زمان لازم جهت تخلیه ساختمان در دو حالت خوابگاه مقدماتی و کالبدی (سازه‌ای)

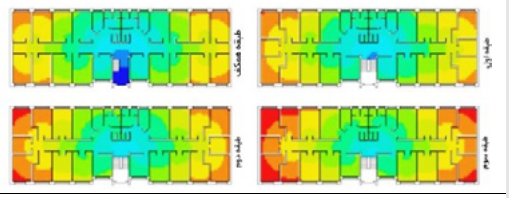
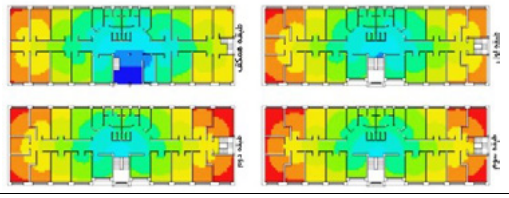
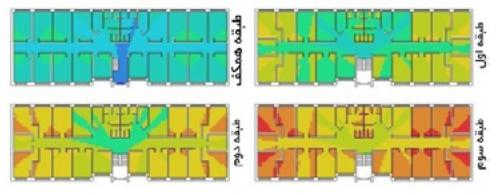
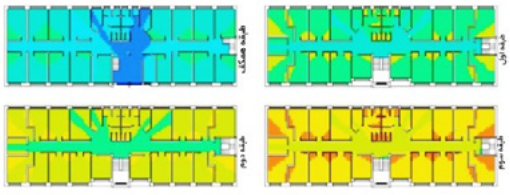
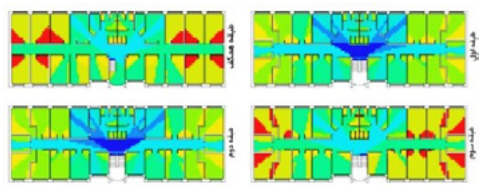
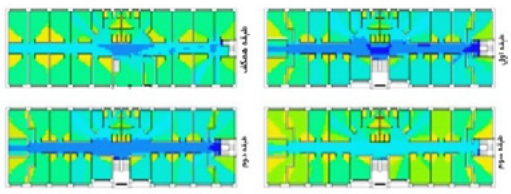
	میزان جریان عبوری از درب‌های خروجی برحسب زمان	شمار ساکنان خارج‌شده از ساختمان برحسب زمان
خوابگاه بهینه‌سازی مقدماتی		
خوابگاه بهینه‌سازی کالبدی		

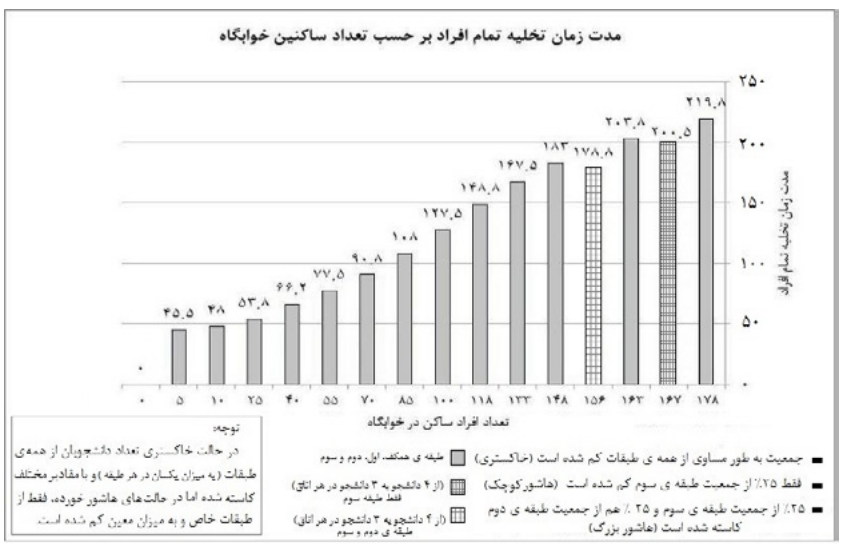


شکل ۷. مقایسه نتایج در خوابگاه با وضع موجود، بهینه‌سازی مقدماتی (غیر سازه‌ای) و بهینه‌سازی کالبدی

طبقه‌ی دوم و سوم، سنجش اعمال شد (بخش هاشورهای بزرگ نمودار). نتایج حاکی از آن است که کاهش دانشجویان ساکن در هر اتاق به کمتر از ۴ نفر سبب کاهش بروز تلفات در هنگام حادثه (به‌ویژه حریق) می‌شود. لذا با توجه به آن‌که بیشترین زمان تخلیه مربوط به طبقات دوم و سوم است، پیشنهاد می‌شود تعداد دانشجویان در طبقات همکف و اول، همان ۴ دانشجو باقی بماند؛ اما در طبقات دوم و سوم از ۴ نفر به ۳ دانشجو در هر اتاق کاهش یابد. در این حالت مدت‌زمان تخلیه از ۲۱۹/۸ ثانیه به ۱۷۸/۸

جدول ۹. بررسی انواع عمق در نرم‌افزار تخصصی نحو فضا در خوابگاه بهینه‌سازی مقدماتی (غیر سازه‌ای) و بهینه‌سازی کالبدی

	خوابگاه بهینه‌سازی مقدماتی (غیر سازه‌ای)			خوابگاه بهینه‌سازی کالبدی (سازه‌ای)		
عمق متریک (فیزیکی) (Metric Step)						
	کمترین (متر)	میانگین (متر)	بیشترین (متر)	کمترین (متر)	میانگین (متر)	بیشترین (متر)
	۰	۱۸/۲۳۳	۳۰/۵۶	۰	۱۷/۵۷۷	۲۹/۲
عمق قابل پیمایش (بصری) (Visual Step Depth)						
	کمترین (-)	میانگین (-)	بیشترین (-)	کمترین (-)	میانگین (-)	بیشترین (-)
	۰	۴/۸	۸	۰	۴/۳۱	۸
عمق (فضایی) (Mean Depth)						
	کمترین (-)	میانگین (-)	بیشترین (-)	کمترین (-)	میانگین (-)	بیشترین (-)
	۳/۰۳۵	۴/۹۶۵	۶/۸۶	۲/۷۱	۴/۲۶۵	۶/۵۱



شکل ۸. مدت‌زمان تخلیه تمام افراد برحسب تعداد ساکنین خوابگاه

ثانیه کاهش می‌یابد (بخش هاشورهای بزرگ نمودار). شکل ۸ زمان تخلیه تمام افراد برحسب تعداد ساکنین خوابگاه را در حالت‌های مختلف نشان می‌دهد.

۴- نتیجه‌گیری

در این پژوهش ابتدا بلوک ۱ خوابگاه دانشجویی دختران در دانشگاه شهید بهشتی تهران به‌عنوان نمونه مورد مطالعه انتخاب شد. بر این اساس خوابگاه مورد مطالعه با توجه به چیدمان مبلمان در وضع موجود، در محیط نرم‌افزاری Path-finder شبیه‌سازی گردید. سپس بیشترین مدت‌زمان خروج دانشجویان و سایر تحلیل‌های مرتبط با تخلیه اضطراری به دست آمد. نتایج شبیه‌سازی نشان داد که بهینه‌سازی مقدماتی خوابگاه با مبلمان و تجهیزات (اقدامات غیر سازه‌ای) شرط لازم برای ایمن‌سازی خوابگاه جهت تخلیه است؛ اما با توجه به تأثیر ناچیز آن در مدت‌زمان تخلیه (از ۲۲۳/۷ ثانیه به ۲۱۹/۸ ثانیه) کافی نیست. ازاین‌رو لازم به نظر می‌رسد که بعد از بهینه‌سازی با مبلمان و تجهیزات، خوابگاه با دو روش بهینه‌سازی با مداخله‌ی سازه‌ای (احداث پله‌ی اضطراری با دو درب خروج) و کاهش جمعیت استفاده‌کنندگان نیز مورد ارزیابی قرار گیرد. روش اول (مداخله سازه‌ای)، به این صورت انجام شد که با توجه به حجم زیاد استفاده‌کنندگان از تک پله موجود در ساختمان خوابگاه (شکل ۶)، دستگاه پله جدیدی در موقعیت مناسبی از پلان ساختمان احداث گردید تا از حجم استفاده‌کنندگان از تک دستگاه پله بکاهد. همچنین با توجه به موقعیت خروجی، تعداد و ابعاد فضای تخلیه کاربران نیز افزایش یافت. تمامی این موارد باعث شد تا مدت‌زمان تخلیه از ۲۱۹/۸ ثانیه به ۱۵۰/۵ ثانیه کاهش یابد. در این میان اهمیت تعداد دستگاه پله جهت ایمن‌سازی نسبت به تعداد و ابعاد فضای تخلیه پررنگ‌تر دیده شد.

روش دوم نیز در مواردی که با توجه به پلان ساختمان و یا اسکلت بنا، امکان مداخلهی سازهای وجود نداشته و یا هزینهی کافی جهت اقدامات ایمن‌سازی در دسترس نیست. این روش با کاهش جمعیت استفاده‌کننده صورت می‌پذیرد. نتایج مطالعات پیشین [۱، ۲۳ و ۴۸] و شبیه‌سازی‌های نگارندگان بیانگر این نکته است که کاهش جمعیت کاربران، اگر از بالاترین طبقات صورت پذیرد، تأثیر چشمگیرتری را بر کاهش مدت‌زمان تخلیه خواهد داشت. ازاین‌رو کاهش جمعیت استفاده‌کننده از طبقه سوم صورت گرفت به‌نحوی‌که تعداد دانشجویان هر اتاق ۲۵٪ کاهش داده شد و از ۴ دانشجو به ۳ دانشجو تقلیل یافت. این امر سبب شد تا بیشترین مدت‌زمان تخلیه از ۲۱۹/۸ ثانیه به ۲۰۰/۵ ثانیه کاهش یابد؛ که البته با توجه به پایین آمدن زمان تخلیه، هنوز در محدوده بحرانی قرار داشت. به همین منظور در گام بعد میزان کاهش جمعیت استفاده‌کننده به طبقه دوم هم رسید. در این راستا تعداد دانشجویان در طبقات دوم و سوم از ۴ نفر به ۳ نفر (کاهش ۲۵٪ هم در طبقه‌ی دوم و هم سوم) رسانده شد. با این عمل مدت‌زمان تخلیه، از ۲۱۹/۸ ثانیه به ۱۷۸/۸ ثانیه تقلیل یافت که به‌عنوان روشی سریع و کم‌هزینه‌تر نسبت به روش اول پیشنهاد گردید (البته با توجه به سیاست‌های دانشگاه، جهت اسکان دانشجویان با شرایط مختلف، مانند؛ فاصله محل اقامت، جنسیت، دوره تحصیلی، مقطع و ...)، همچنین روشی جهت کارا نمودن ساختمان خوابگاه با توجه به پیکربندی فضایی برای تخلیه اضطراری ارائه شد (شکل ۵). علاوه بر موارد مذکور پیشنهاد می‌گردد تا مدیریت امور خوابگاه‌ها (و سایر سازمان‌ها و ادارات مرتبط) جهت پیشگیری از بحران هنگام تخلیه اضطراری، به انجام مانورهای آموزشی مدیریت بحران در کارگاه‌های آموزشی (موجود در خوابگاه)، ویژه سرپرستان خوابگاه و دانشجویان اقدام نموده و نقشه خروج اضطراری از ساختمان را تهیه کرده و در محل اصلی ورود و خروج ساختمان خوابگاه نصب نماید.

پی‌نوشت

1. National Institute of Standards and Technology
2. fire dynamics simulator
3. Chi, J.H
4. Glasa, J., L. Valasek, P. Weisenpacher, and L. Halada
5. Papakonstantinou
6. Fang، Yu&Wang
7. Zhao, J., & Song, S.
8. Long

۹. مانند وجود کفش کن در پیش ورودی اتاق‌ها و مسیر راهروها و همچنین وجود چوب‌لباسی جهت خشک نمودن لباس‌ها در راه‌پله و راهروها که به نظر می‌رسد عدم وجود فضای تراس باعث استفاده از این فضاها شده است.

10. Automatai
11. Daoliang, Z., Lizhong, Y., & Jian, L.
12. Agent movement model

۱۳. برای توصیف بیشتر مقالات گروه Helbing می‌توانید به؛ [۲۵،۲۴] و [۲۸] مراجعه کنید.

14. Ucl depth map

۱۵. محاسبه عمق (Mean Depth) بدین گونه است که با اختصاص مقدار عمق به هر فضا و با توجه به تعداد فاصله از فضای اصلی صورت گرفته که با جمع‌بندی این مقادیر و تقسیم آن بر یکی کمتر از تعداد فضاهای موجود در کل سیستم (تمام فضاهای اصلی) محاسبه می‌شود. در فرمول زیر n تعداد گره است. برای محاسبه شاخص‌ها در نحو فضا، هر فضایی با توجه به ابعاد آن به تعدادی گره تقسیم می‌شود [۴۱].

$$MDn = \frac{\sum_{i=0}^{i=n} di,k}{(n-1)}$$

۱۶. تحلیل Visual Step depth نشان‌دهنده لایه‌های بصری به هنگام حرکت در فضاست. فضای قابل‌رؤیت، بیانگر فضایی است که توسط ناظر (در زاویه‌ای ۳۶۰ درجه) قابل‌مشاهده بوده [۴۲] و فقط خط دید ناظر را بدون جابجایی در فضا بررسی می‌کند؛ اما عمق بصری نشان می‌دهد که بازدیدکنندگان در فضا نیاز به جابجایی داشته و در هر مرحله از جابه‌جایی خود (به‌صورت گام‌به‌گام) بر چه فضاهایی مسلط می‌شوند [۴۳]. ازاین‌رو، نقطه شروع با ارزش عددی صفر بوده و با حرکت به سمت هر فضای جدید قابل‌رؤیتی نسبت به فضای قبلی، یک عدد به عمق بصری افزوده می‌شود.

۱۷. تحلیل Metric Step بیانگر مسیر فیزیکی پیمایش شده است که طول مسیر پیموده شده را از هر مکان مشخصی برحسب متر مورد سنجش قرار می‌دهد.

۱۸. آن بخش از راه خروج که به ورودی یک خروج منتهی می‌شود دسترس خروج گفته شده و به حداکثر میزان مسیر طی شده‌ی آن طول دسترس خروج گفته می‌شود. این طول مسیر یا با شبکه‌های بارنده (Sprinkler) جهت اطفای حریق و یا بدون آن پوشش داده می‌شود [۳۸].

۱۹. معمولاً فاصله‌ی دو درب خروج باید حداقل نصف اندازه بزرگ‌ترین قطر

طبقه باشد (مبحث سوم). لازم به ذکراست که در پژوهش حاضر با توجه به آنکه خوابگاه موردمطالعه مربوط به دختران است ازاین‌رو مسئله کنترل ورود و خروج و امنیت دسترسی حائز اهمیت بوده که این مهم باعث قرارگیری دو درب خروج در فاصله نزدیک به هم و در بخش مرکزی ساختمان شده است، علاوه بر این پژوهشگران در بهینه‌سازی خوابگاه جداگانه نیز به جانمایی درب‌های خروجی از فاصله حداکثری اقدام نموده که تأثیر آن در مدت‌زمان خروج بسیار ناچیز و قابل‌اغماض است.

۲۰. معمول‌ترین عددی که برای زمان فرار به کار گرفته می‌شود ۲/۵ دقیقه است و از این رقم در طراحی استفاده می‌گردد.

۲۱. مطالعات میدانی نشان می‌دهد که حضور دانشجویان در فصل زمستان (با توجه به بارش‌های فصلی و افزایش مخاطرات جاده‌ای) و زمان امتحانات پررنگ‌تر می‌شود. ازاین‌رو بیشترین حالت ممکن حضور برابر با ۱۷۸ دانشجو در نظر گرفته‌شده است.

۲۲. این نوع بهینه‌سازی شرایط لازم و اولیه را فراهم نموده، اما کافی نیست.

منابع

23. Radoje jevtić(2015), simulation of evacuation –the case of electrotechnical school laboratory section, working and living environmental protection vol.12, no 2, 2015, pp. 253 – 260.

24. Gao, R. A.G. Lia, X.P. Hao, W. Lei, Y. Zhao, and B. Deng. 2012. "Fire-induced Smoke Control via Hybrid Ventilation in a Huge Transit Terminal Subway Station. Energy and Buildings 45 (2): 280–289.

25. Long, Zhang & Bo Lou (2017): Numerical simulation of dormitory building fire and personnel escape based on Pyrosim and Pathfinder, Journal of the Chinese Institute of Engineers.

۲۶. بشیری، مهسا و خواجه‌ای، سایما (۱۳۹۲)، کاهش آسیب‌پذیری زلزله و خطر آتش‌سوزی در خوابگاه‌های دانشجویی مطالعه موردی: خوابگاه متأهلین دانشگاه شهید بهشتی، دو فصلنامه علمی و پژوهشی مدیریت بحران، شماره سوم، صص ۱۵-۲۵.

27. Ebrahimi, Samira, (2009), The role of navvab expressway in the evacuation of view of passive defense thesis in the field of civil engineering, Supervisor: Dr. Seyed Behshid Husseini, University of Arts, School of Architecture and Urban Planning.

۲۸. طارقیان، حامدرضا (۱۳۸۳). مدل‌سازی تخلیه اضطراری با رویکرد شبیه‌سازی موازی، مجله دانش و توسعه، (۱۵)، صص ۲۵-۴۶.

۲۹. طالعی محمد، سعادت سرشت محمد، منصوریان علی، احمدیان سمیه (۱۳۹۰)، مسیریابی بهینه در محیط GIS برای تخلیه اضطراری آسیب دیدگان از حوادث ناگهانی، پژوهش‌های جغرافیای طبیعی (پژوهش‌های جغرافیایی)، دوره ۴۳، شماره ۷۸، صص ۸۳-۱۰۰.

30. Wang, Z. L. M. Hua, D. Y. Xu, and X. H. Pan.(2014) "Simulation Research on Human Evacuation in Subway with a Single-point Fire Scenario." Procedia Engineerin 84: 595–602.

31. Ayala, P., A. Cantizano, C. Gutierrez-Montes, and G. Rein. 2013. "Influence of Atrium Roof Geometries on the Numerical Predictions of Fire Tests under Natural Ventilation Conditions." Energy and Buildings 65: 382–390.

32. Tan, L., M. Y. Hu, and H. Lin. (2015) "Agent-Based Simulation of Building Evacuation: Combining Human Behavior with Predictable Spatial Accessibility in a Fire Emergency." Information Sciences 295: 53–66.

33. Chi, J.H. (2014). "Using FDS Program and an Evacuation Test to Develop Hotel Fire Safety Strategy." Journal of the Chinese Institute of Engineers 37 (3): 288–299.

34. Glasa, J., L. Valasek, P. Weisenpacher, and L. Halada. 2013. "Cinema Fire Modelling by FDS." Journal of Physics Conference Series 410 (1): 1–4.

35. Bao, Y. Q. 2011. "Study on Fire Prevention Performance-based Design of a Large Underground Banquet Hall." Applied Mechanics and Materials 94–96: 2065–2069.

36. Papakonstantinou, D., Benardos, A., Kallianiotis, A., & Menegaki, M. (2016). Analysis of the crowd evacuation modeling approaches for the case of urban underground spaces. Procedia Engineering, 165, 602-609.

37. Fang, T.-Y., J.-F. Yu, and J. Wang. (2013). "Study of Staircase Design Effects on Evacuation in Architectural Plane Design." Journal of Applied Fire Science 22 (1): 69–80.

38. Zhao, J., & Song, S. (2016). Research on Safe Evacuation Simulation of University Students' Dormitory Buildings Based on Pathfinder. In Proceedings of 2015 2nd International Conference on Industrial Economics System and Industrial Security Engineering (pp. 493-499). Springer, Singapore.

۳۹. فلاحی علیرضا، (۱۳۹۳)، کاهش آسیب‌پذیری خوابگاه‌های دانشجویی دانشگاه شهید بهشتی در برابر آتش‌سوزی و زلزله، صفه، دوره ۲۴، شماره ۶۷؛ صص ۷۷-۱۰۰.

40. Zheng, X., Zhong, T., & Liu, M., (2009) "Modeling Crowd Evacuation of a Building Based on Seven Methodological Approaches", Building and Environment 44.3, pp. 437– 445

41. Von Neumann, J. (1966). Theory of Self- Reproducing Automata. University of Illinois Press.

42. Kneidl A, Thiemann M, Borrmann A, Ruzika S, Hamacher HW, Köster G, Rank E (2010). Bidirectional Coupling of Macroscopic and Microscopic Approaches for Pedestrian Behavior Prediction, In: Proceedings of the 5th International Conference on Pedestrian and Evacuation Dynamics, Gaithersburg, MD USA, 2010.

43. Daoliang, Z., Lizhong, Y., & Jian, L. (2006) "Exit dynamics of occupant evacuation in an emergency", Physica A: Statistical Mechanics and its Applications, No. 363(2), pp. 501-511.

۴۴. میر سعیدی، لیلا و آزاده شمس، (۱۳۹۶)، تبیین عوامل مؤثر بر تخلیه اضطراری ساختمان در آتش‌سوزی، فصلنامه دانش پیشگیری و مدیریت بحران ۸ (۱)، دوره هشتم، شماره اول، صص ۴۳-۵۳.

45. Korhonen, T.: Fire Dynamics Simulator with Evacuation: FDS+Evac, Technical Reference and User's Guide (FDS 6.1.0, Evac 2.5.0, draft), VTT Technical Research Centre of Finland, 2014.

46. Helbing, D., Farkas, I., Molnár, P., and Vicsek, T., "Simulating of Pedestrian Crowds in Normal and Evacu-

ation Situations", Pedestrian and Evacuation Dynamics, Schreckenberg, M. and Sharma, S.D. (eds.), Springer, Berlin, 2002, pp. 21–58.

47. Helbing, D., and Molnár, P., "Social force model for pedestrian dynamics", Physical Review E 51:4282–4286 (1995).

48. Grigoraş z. c (2014), analysing the human behavior in a fire drill. comparison between two evacuation software: fds+evac and pathfinder, international scientific conference cibv 2014 7-8 november 2014, braşov.

49. Li, D., & Han, B. (2015). Behavioral effect on pedestrian evacuation simulation using cellular automata. Safety science, 80, 41-55.

50. Werner, T., and Helbing, D., "The social force pedestrian model applied to real life scenarios", Pedestrian and Evacuation Dynamics – Proceedings of the Seconnd International Conference, University of Greenwich, London, 2003, pp. 17–26.

51. Lei, W., Li, A., Gao, R., & Wang, X. (2012). Influences of exit and stair conditions on human evacuation in a dormitory. Physica A: Statistical Mechanics and its Applications, 391(24), 6279-6286.

۵۲. پیله‌ور، علی، عطایی، سینا، زارعی، عبدالله (۱۳۹۱). بررسی تأثیر میان‌کنش فضایی بر تعادل فضایی در ساختار شهری بجنورد با استفاده از فن چیدمان فضا، پژوهش‌های جغرافیای انسانی، ۴۴ (۷۹)، صص ۸۷-۱۰۲.

۵۳. کمالی پور، حسام و معماریان، غلامحسین و فیضی، محسن و موسویان، محمد فرید (۱۳۹۱)، ترکیب شکلی و پیکره‌بندی فضایی در مسکن بومی، مقایسه تطبیقی عرصه بندی فضای مهمان در خانه‌های سنتی کرمان. مجله مسکن و محیط روستا، شماره ۳۱، صص ۳-۱۶.

۵۴. یزدان فر، عباس، موسوی، مهناز و هانیه زرگر دقیق. (۱۳۹۱). «تحلیل ساختار فضایی شهر تبریز در محدوده بارو با استفاده از تکنیک اسپیس سینتکس»، ماهنامه بین‌المللی راه و ساختمان، ۶۷، ۶۹-۵۸.

55. Turner, A. (2001, May). A program to perform visibility graph analysis. In Proceedings of the 3rd Space Syntax Symposium, Atlanta, University of Michigan (pp. 31-1).

۵۶. پورمند حسنعلی، طباطبایی ملاذی فاطمه. (۱۳۹۴). الگوی پنهان حاکم بر نظام استقرار فضایی در مسکن ایرانی-اسلامی (بررسی موردی خانه رسولیان یزد)، پژوهش‌های معماری اسلامی، دوره ۳، شماره ۴، صص ۱-۱۷.

57. Griz, C & L, Amorim (2015), when luxury is necessary, Apartment projects in Recife – Brazil, Proceedings of the 10th International Space Syntax Symposium, London.

58. Bustard W (1997). Space Evolution and Function in the Houses of Chaco Canyon, Proceedings of the 1th International Symposium on Space Syntax, London.

۵۹. وزارت راه و شهرسازی، دفتر امور مقررات ملی ساختمان، (۱۳۸۰)، حفاظت ساختمان‌ها در برابر حریق: مبحث سوم مقررات ملی ساختمان، تهران: انتشارات وزارت راه و شهرسازی، دفتر امور مقررات ملی ساختمان.

۶۰. وزارت راه و شهرسازی، دفتر امور مقررات ملی ساختمان، (۱۳۹۲) راهنمای مبحث سوم حفاظت ساختمان‌ها در برابر حریق، تهران: انتشارات وزارت راه و شهرسازی، دفتر امور مقررات ملی ساختمان.

۶۱. مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، (۱۳۸۹). آیین‌نامه محافظت ساختمان‌ها در برابر آتش (پیشنهادی)، تهران: انتشارات مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، نشریه شماره ۴۴۴، چاپ سوم.

۶۲. بختیاری، سعید؛ زمانی، مجید؛ قاسم‌زاده، سهیل؛ تسنیمی، مسعود، (۱۳۸۹). راهنمای آیین‌نامه محافظت ساختمان‌ها در برابر آتش، تهران: انتشارات مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، نشریه شماره ۴۴۵، چاپ دوم.

63. Hillier, B. & Hanson, J. (1984), The Social Logic of Space, Cambridge University Press: Cambridge. pp. 108

۶۴. نظرپور، محمدتقی؛ حیدری، احمد و سلیمی، مرضیه. (۱۳۹۷). تأثیر پیکربندی فضایی خوابگاه‌های دانشجویی بر ترجیحات فضایی دانشجویان معماری و شهرسازی آرمان‌شهر، ۱۱(۲۵)، صص ۲۰۹-۲۲۳.

65. Zhang, T., Hua, W., & Xu, Y. (2019). "Seeing" or "Being Seen": Research on the Sight Line Design in the Lion Grove Based on Visitor Temporal–Spatial Distribution and Space Syntax. Sustainability, 11(16), 4348.

66. U.S. Fire Administration. (USFA). (2007). Firefighter Fatalities in the United States in 2007. By U.s. Department of Homeland Security, Federal Emergency Management Agency.

67. NFPA. (n.d.). (2014). Campus and Dorm Fires. Retrieved from NFPA Safety Information. By Tracy Golinveaux.

68. Flynn, J. (2009). Structure Fires in Dormitories, Frater-nities, Sororities, and Barracks. Quincy, MA: NFPA.

69. Nazarpour, M. T. (2013). The Effect of Physical Space of Student Dormitories on General Health of Students, Faculty of Architecture and Urban Development, Shahid Beheshti University, Ph.D., 2013. (In Persian).

70. Ronchi, E., & Nilsson, D. (2014, February). Modelling total evacuation strategies for high-rise buildings. In Building Simulation (Vol. 7, No. 1, pp. 73-87). Springer Berlin Heidelberg.