مطالعات محیطی هفت حصار شماره پنجاه و چهارم/ سال چهاردهم/ زمستان ۱۴۰۴
صفحات ۲۶-۱۹

تبیین مؤلفه‌های رفتاری، کالبدی و مدیریتی بر ایمنی جمعیت در شرایط اضطراری مبتنی بر رویکرد عامل‌محور در فضاهای پرجمعیت

علی صفری‌فرد*، محمدرضا منصوری، لیلی کریمی‌فرد*****

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۳/۷/۹
تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۳/۱۰/۱۹

چکیده

در طراحی ساختمان‌هایی با کاربردهای پیچیده و فضاهای پرشمار، طراحان به‌منظور تحقق ایمنی جمعیت در شرایط اضطراری، اغلب به استانداردهای موجود اکتفا می‌کنند. در همهٔ این ضوابط، موضوع تخلیهٔ کامل جمعیت در اولویت نخست قرار دارد. بااین‌حال، استانداردهای موجود الزاماً همسو با رفتار جمعیت‌های گوناگون، تعاملاتشان با محیط کالبدی، راهبرد مدیریت تخلیه کارآمد و برهم‌کنش چنین موضوعاتی نیست. در این راستا پرسش‌هایی از این دست مطرح می‌شود که آیا رفتارهای ناشی از وابستگی‌های خانوادگی و یا مانند آن، بر مدت‌زمان تخلیه تأثیرگذار است؟ هراس و وحشت‌زدگی زائران به چه میزان بر مدت‌زمان تخلیه کامل در شرایط اضطراری مؤثر خواهد بود؟ تخلیهٔ مرحله‌ای جمعیت، چه میزان بر مدت‌زمان تخلیهٔ اضطراری تأثیرگذار است؟ هدف از انجام این تحقیق، ارزیابی و تبیین مؤلفه‌های مؤثر بر مدت‌زمان تخلیه اضطراری و فراهم ساختن شبیه‌سازی‌های آینده‌نگر از فرایند تخلیه اضطراری جمعیت، به‌منظور تصمیم‌سازی مدیران می‌باشد. روش تحقیق حاضر، به لحاظ ماهیت، کاربردی و از نوع توصیفی-تحلیلی و نتایج آن، تبیینی است. در این مقاله، با بهره‌گیری از رویکرد عامل محور جهت شبیه‌سازی خروج اضطراری جمعیت، بر اساس سناریوهای محتمل؛ اقدام به ارزیابی و تبیین مؤلفه‌های مؤثر بر مدت‌زمان تخلیه اضطراری جمعیت در شرایط اضطراری شده است. این تحقیق در سه حوزه‌ی انسانی، کالبدی، مدیریتی و با متغیرهای خویشاوندی (وابستگی)، هراس (وحشت)، تخلیه‌ی مرحله‌ای جمعیت، تاثیر افزایش چگالی جمعیت، تعریض درگاه ها و همسوسازی پله‌های برقی مخالف، بیانگر آن بوده است که تمام مؤلفه ها، بر مدت‌زمان تخلیه کامل جمعیت مؤثرند. مشاهده شد که با شناسایی مؤلفه‌های مؤثر و محتمل و مدیریت آگاهانه آن‌ها، امکان کاهش مدت‌زمان تخلیه و درنتیجه کاهش آسیب‌ها و تلفات انسانی در شرایط اضطراری وجود دارد.

واژگان کلیدی

تخلیه ایمن جمعیت، شرایط اضطراری، مدل‌سازی مبتنی بر عامل، شبیه‌سازی، فضاهای پرجمعیت.

* گروه معماری، معماری، دانشکده هنر، معماری و شهرسازی، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران emdadmemariiran@gmail.com
** گروه معماری، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران، (نویسنده مسئول) archmansoori@yahoo.com
*** گروه معماری، معماری، دانشکده هنر، معماری و شهرسازی، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران leila.karimifard@gmail.com

مقاله پژوهشی- مورد پژوهی
©: IAUH
ISSN: 2322-5602

مقدمه

شرایط اضطراری، بخشی جدایی‌ناپذیر از مجموعه حوادثی است که انسان‌ها در طول زندگی تجربه می‌کنند. آنچه در شرایط اضطراری در اولویت است، حفظ جان انسان‌ها است. در این شرایط، تأمین ایمنی انسان‌ها وابسته به تخلیه ایمن و به‌هنگام آن‌ها و دور شدن از کانون حادثه است. ابنیه پرجمعیت مذهبی نیز مانند هر بنای دیگری می‌تواند در معرض خطر قرار گیرد. آنچه که در اینجا می‌تواند چشمگیر باشد، حضور جمعیت پرشمار در این نوع ساختمان‌ها است، چراکه هر حادثه‌ای می‌تواند به تلفات بسیاری از انسان‌ها منجر شود. در سال ۱۳۸۳ خورشیدی، به هنگام برگزاری یک مراسم دینی، مسجد ارک تهران دچار آتش‌سوزی شد. در این حادثه نزدیک به هشتاد تن بر اثر حریق و یا ازدحام مردم در زمان فرار کشته شدند. در سال ۲۰۱۵ میلادی، هم‌زمان با انجام یک مراسم دینی در مسجدالحرام در شهر مکه، باد و توفان درگرفت و موجب سقوط جرثقیل یک شرکت ساختمانی بر روی مردم شد. در این حادثه بیش از ۱۰۰ تن کشته شدند. در سال ۱۳۹۴ خورشیدی و در زمان راهپیمایی رمی جمرات در منطقه منا، ازدحام جمعیت و تداخل در حرکت پیاده‌ها، موجبات مرگ بیش از ۷۰۰ تن را فراهم ساخت. در سال ۱۳۹۸ خورشیدی، در حین برگزاری مراسم دویدن در فضای بین‌الحرمین شهر کربلا در روز عاشورا، بیش از ۳۰ تن کشته شدند. نگاهی به حوادثی از این دست روشنگر آن است که فضاها و مجموعه‌های دینی و مذهبی که معمولاً برای انجام مراسم پذیرای جمعیت بسیاری هستند، همواره قابلیت بروز حوادث تلخ را در خود دارند. مرور این حوادث بر اهمیت و ضرورت انجام پژوهش‌هایی به منظور کاهش تلفات و آسیب‌های انسانی تأکید می‌کند. در زمینه فضاهای مذهبی شاخص، مطالعات انگشت‌شماری در ایران و یا کشورهای دیگر اسلامی صورت گرفته است. مهم‌ترین مسئله این پژوهش، در ناسازگاری و تناقض موجود بین «شناخت» و «واقعیت» نهفته است: شناخت و ادراک طراحان با واقعیت‌های نهفته در رفتار جمعیت. هدف این پژوهش، جستجو و معرفی روشی است که بتوان با آن به درک بهتری از تاثیرات مولفه‌های رفتاری، کالبدی و مدیریتی در یک بنای بزرگ و پرجمعیت مذهبی در شرایط اضطراری دست یافت. بدیهی است که صرف اتکا به رعایت کدها و استانداردهای منتشرشده و تساهل در درک رفتارهای پیچیده جمعیتی، عواقب نامطلوبی در پی خواهد داشت. از این‌رو، طرح توسعه حرم حضرت امام حسین(ع) که به نام صحن عقیله بنی‌هاشم(س) شناخته می‌شود، به‌عنوان نمونه موردی در نظر گرفته شده است. این پروژه که در حال حاضر در مجاورت حرم حضرت امام حسین(ع) در حال ساخت است، از وسعتی بیش از ۲۰۰ هزار مترمربع برخوردار بوده و شامل صدها فضا با کاربری‌های گوناگون است که برای بهره‌برداری توسط میلیون‌ها زائر از ده‌ها کشور طراحی شده است. مهم‌ترین راهبرد برای تأمین ایمنی این مجموعه، سهولت هدایت جمعیت حاضر برای فرار و تخلیه امن از درون ساختمان به بیرون آن است. ارزیابی و سپس دستیابی به کوتاه‌ترین زمان تخلیه امن جمعیت در این مجموعه، بر اساس شبیه‌سازی‌های انحصاری و شناسایی مؤلفه‌هایی که موجبات کاهش زمان تخلیه را فراهم می‌کنند و درک تعاملات کالبدی، رفتاری و مدیریتی به‌منظور کاستن از مدت‌زمان تخلیه و افزایش تعداد نجات‌یافتگان، هدف اختصاصی این پژوهش می‌باشد. در این پژوهش، پس از مرور پیشینه ادبیات موضوع و تبیین روش تحقیق مدنظر نویسندگان، به شبیه‌سازی تخلیه اضطراری جمعیت پرداخته می‌شود. بدین منظور، به هنگام ورود داده‌های موردنیاز به برنامه، به تفکیک، برخی از مؤلفه‌های انسانی، محیطی و مدیریتی مورد توجه قرار خواهد گرفت. سپس یافته‌های حاصله جمع‌بندی شده و به بحث پرداخته می‌شود. نتایج حاصل از این پژوهش می‌تواند به ترسیم نقشه راه مدیران مجموعه‌های پرشمار مذهبی به‌منظور اتخاذ بهترین تصمیم‌ها برای کاهش مدت‌زمان تخلیه جمعیت و کاهش آسیب‌ها و تلفات انسانی در زمان بروز شرایط اضطراری یاری رساند.

با در نظر گرفتن سلسله‌مراتب منطقی بحث در این نوشتار پرسش‌های زیر مطرح می‌شود:

مدت‌زمان تخلیه کامل جمعیت در شرایط غیر بحرانی چقدر است؟ تأثیر رفتارهای ناشی از وابستگی‌های اجتماعی بر مدت‌زمان تخلیه به چه میزان است؟ تأثیر مؤلفه‌های کالبدی مانند بهره‌گیری از پله‌های برقی مخالف و همسوسازی آن‌ها با جهت خروج بر مدت‌زمان تخلیه جمعیت چگونه است؟ تاثیر مولفه‌های مدیریتی مانند تخلیه مرحله‌ای جمعیت چه میزان بر مدت تخلیه جمعیت موثر است؟

این تحقیق بر این فرضیات استوار است که:

مجموعه مذهبی عقیله بنی‌هاشم(س) پس از آغاز بهره برداری پذیرای جمعیتی ناهمگن خواهد بود. مناسک مذهبی گوناگونی در آن صورت خواهد گرفت و جمعیت مفروض، از شهرها و کشورهای مختلف آمده و دارای وابستگی‌های قبیله‌ای و خانوادگی خاص خود می‌باشند. بر مبنای مفروضات مذکور و به‌منظور یافتن پاسخ پرسش‌های مطروحه، روند تخلیه طرح توسعه حرم واقع در شهر کربلا با گنجایش ۱۴۵۱۶ نفر زائر، نمازگزار و کارمند به روش شبیه‌سازی رایانه‌ای و با رویکرد عامل محور و در چارچوب E&E مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. بدین منظور تأثیر متغیر وابستگی اجتماعی (رفتاری)، متغیر مربوط به پله‌برقی (کالبدی) و متغیر تخلیه مرحله‌ای(مدیریتی) بر مدت‌زمان تخلیه کامل و ایمن جمعیت در سناریوهای گوناگون مورد بررسی و ارزیابی قرار می‌گیرد. بدیهی است که متغیرهای بیشتری نیز امکان انتخاب و اعمال در روند شبیه‌سازی وجود دارد که به دلیل پرهیز از گستردگی بیش‌ازحد پژوهش و دشواری در کنترل نتایج، از آنان صرف‌نظر شد.

مبانی نظری

الف. تعریف شرایط اضطراری: شرایط اضطراری به‌طور کلی به وضعیتی اشاره دارد که در آن یک تهدید فوری و جدی برای زندگی، سلامت یا امنیت افراد وجود دارد و نیاز به پاسخ سریع و مؤثر دارد. این وضعیت می‌تواند ناشی از حوادث طبیعی یا حوادث انسانی باشد. (FEMA, 2023)

ب. رفتار جمعیت: تخلیه بهینه فضاهای پرجمعیت تأثیر چشم‌گیری در کاهش آسیب‌ها و تلفات انسانی داشته و به رفتار جمعیت وابسته است. در چنین مواقعی ساکنان می‌باید از ساختمان خارج شده و به مکانی امن برسند.(Haghani & Sarvi, 2016) لی و همکاران به منظور بررسی تأثیر رفتارها بر تخلیه جمعیت با انجام شبیه‌سازی دریافتند که در شرایط اضطراری، رفتار ایثارگرانه می‌تواند تأثیر مثبتی بر کارایی تخلیه داشته باشد؛ اما باید در نظر گرفته شود که این رفتار باید در حدّ معقولی باشد. افزایش بیش از حد در تلاش برای کمک به دیگران می‌تواند منجر به اختلال در روند تخلیه شده و افزایش مدت زمان تخلیه شود. (Li et al., 2024) نی و همکاران با انجام یک مانور انسانی دریافتند که عوامل روان‌شناختی فردی مانند ویژگی‌های شخصیتی و عوامل بیرونی مانند دید محیطی، به طور قابل توجهی بر تمایل به رفتار گله‌ای در میان جمعیت تأثیر می‌گذارند. (Ni et al., 2024) لیو و همکاران به منظور بررسی تأثیر رفتار انسانی و صدمات ساختمانی بر روند تخلیه اضطراری، از روش شبیه‌سازی روند تخلیه و سنجش مدت زمان تخلیه استفاده کردند و دریافتند که رفتار اجتماعی در حین تخلیه در زمان وقوع زمین‌لرزه نقش مهمی ایفا می‌کند. (Liu et al., 2018) گرگوس و همکاران با انجام نظرسنجی و مصاحبه با ساکنان یک ساختمان، دریافتند که افراد تمایل دارند قبل از تخلیه در زمان وقوع حریق، از دیگران سؤال کنند و با اعضای خانواده و بستگان خود به صورت گروهی اقدام به خروج نمایند. (Gerges et al., 2017) در عرصه رفتار جمعیت (فرد، گروه، جمعیت)، مؤلفه‌های فراوانی دیگری نیز وجود دارند که شامل ابعاد بدن، سن و جنسیت، سطح تحصیلات (Chakrabarty et al., 2020) تجربه قبلی ، وضعیت سلامت و آشنایی با محیط، سرعت حرکت (Chen et al., 2021) و مانند آن می‌شود.

پ. محیط کالبدی: شکل و طرح هر ساختمانی می‌تواند بر تخلیه اضطراری جمعیت حاضر در آن تأثیرگذار باشد. مولفه‌هایی مانند: ابعاد راهروها، درگاه‌ها، پله‌ها، آسانسورها، پد بالگرد، فضای امن و طبقه پناهگاه از این جمله اند. (Salankar, 2021) توپراکلی و ساتیر به منظور ارزیابی خطرهای تخلیه اضطراری در مساجد تاریخی، رویکردی یکپارچه به صورت کمّی و کیفی با عنوان HMERI پیشنهاد نمودند. در این چارچوب، معیارهای کمّی (سه عنوان) و معیارهای کیفی (هفده عنوان) از طریق ارزیابی میدانی، امتیازبندی می‌شوند. مؤلفه‌هایی مانند تعداد درگاه‌های خروج، موقعیت قرارگیری جاکفشی‌ها و پیچیدگی طرح‌های معماری از جمله معیارهای کمّی در این چارچوب می‌باشد. (Toprakli & Satir, 2024) الفخری و یحیی به منظور ارزیابی تخلیه امن در شرایط آتش‌سوزی و حملات تروریستی در یک مسجد، با شبیه‌سازی روند تخلیه جمعیت در مسجد با نرم‌افزار Pathfinder دریافتند که درگاه‌های خروج کنونی که در مقابل جهت قبله قرار دارند، پاسخگوی تخلیه امن نبوده و با طراحی خروجی‌های اضطراری جایگزین در دیوارهای جانبی یا دیوار قبله، می‌توان به روند تخلیه امن یاری رساند. (Alfakhry & Yahya, 2022) عالیقدر و فلاحی به منظور ارزیابی تخلیه نمازگزاران یک مسجد در شرایط حریق و زمین‌لرزه، با روش عناصر متمایز به شبیه‌سازی پرداختند. نتایج پژوهش ایشان نشان داد که عرض و تعداد خروجی‌ها به طور قابل توجهی بر رفتار تخلیه تأثیر می‌گذارد. (Alighadr & Fallahi, 2017) سلیم و همکاران به منظور ارزیابی حرکت جمعیت بر روی بر روی پله‌ها و تأثیر آن بر مدت زمان تخلیه جمعیت، پس از شبیه‌سازی دریافتند که طراحی پله‌ها تأثیر قابل توجهی بر مدت زمان تخلیه دارد. همچنین، استفاده از آسانسورها و وجود فضاهای پناهگاه در کنار پله‌های اضطراری به ایمنی روند تخلیه یاری می‌رساند. (Selim et al., 2024) ازکور و اورال به منظور ارزیابی تخلیه جمعیت در مساجد ترکیه، با انتخاب نمونه‌هایی و شبیه‌سازی جمعیت نمازگزار دریافتند که در وضعیت کنونی، مهلت تخلیه ۴ برابر فرصت تخلیه می‌باشد. با اصلاح موقعیت پله‌ها به منظور جلوگیری از پدیده صف و تعریض پله‌ها می‌توان مدت زمان تخلیه را به میزان قابل توجهی کاهش داد. (Azkur & Oral, 2022) کوتانی و همکاران بر روی ظرفیت مساجد ژاپن برای خدمت به‌عنوان پناهگاه اضطراری برای مسلمانان در زمان بروز بلایا مطالعه کردند و پیشنهادهایی برای بهبود عملکرد مساجد به‌عنوان پناهگاه مطرح ساختند. (Kotani et al., 2021) آصف و اوتابرتا نیز در پژوهشی مشابه به نقش مساجد به‌عنوان پناهگاه اضطراری در زمان بروز بلایای طبیعی پرداختند. (Asif & Utaberta, 2019) یامان و کورتای در پژوهش مشترک خود به بررسی سناریوهای تخلیه بر اساس ویژگی‌های مسجد پرداختند. آنان دریافتند که در مساجدی که دارای طبقات فوقانی هستند، مدت زمان تخلیه متأثر از جمعیت حاضر در آن طبقات می‌باشد. (Yaman & Kurtay, 2021)

ت. مدیریت تخلیه: در حال حاضر، هیچ راهبرد شناخته‌شده‌ای برای راهبرد تخلیه ابنیه‌های مذهبی وجود ندارد. برنامه‌ریزی مؤثر اضطراری می‌تواند این اطمینان را به وجود آورد که فرایند تخلیه یک ساختمان مذهبی، به‌صورت ایمن، روان و قابل مدیریت انجام شود. آموزش‌های

شهروندی و تعیین استراتژی‌های مدیریت تخلیه، تأثیر فراوانی بر کاهش مدت‌زمان تخلیه ساختمان‌ها و افزایش ایمنی در شرایط اضطراری خواهد داشت.(Chen & Liu, 2022) ریسمانیان و ضرغامی با شبیه‌سازی روند تخلیه اضطراری جمعیت ساکن و تحلیل نتایج، توانستند راهکارهای معماری و راهبردهای مدیریتی ویژه‌ای ارائه نمایند. در این راهبرد، جمعیت برحسب توانایی‌های بدنی در طبقات توزیع می‌شوند (Rismanian & Zarghami, 2022b). ژانگ و همکاران اقدام به شبیه‌سازی روند تخلیه در زمان بروز حریق با مؤلفه‌هایی مانند تعداد و سرعت جمعیت نمودند. نتایج پژوهش ایشان نشان داد که تعداد جمعیت حاضر در طبقه همکف، عامل اصلی و تأثیرگذار بر مدت زمان تخلیه است. هرچه نسبت جمعیت در طبقه همکف بیشتر باشد، زمان تخلیه کل کوتاه‌تر خواهد بود (Zhang et al., 2024a).

ث. رویکردهای تخلیه اضطراری: سه رویکرد شاخص در حوزه تخلیه اضطراری جمعیت مطرح می‌باشد که عبارتند از کلان‌نگر، میان‌نگر و خردنگر. در سطح کلان نگر، مدل‌های رگرسیون و جریان سیالات قرارگرفته و در رویکرد میان نگر، مدل نیروهای اجتماعی، مدل قانون محور و مدل سلول‌های خودکار قرار دارند. در رویکرد خردنگر نیز مدل عامل محور یا ABM قرار دارد. مدل‌های عامل محور مجموعه‌ای از عناصر مستقل، هوشمند و تصمیم گیرنده تشکیل شده‌اند. این مدل، واقع‌گرایانه‌ترین ابزار شبیه‌سازی به شمار آمده و از این رو می‌توان از آن برای شبیه‌سازی موقعیت‌هایی که از عوامل و عناصر متحرک و ناهمگن تشکیل شده‌اند بهره برد. (Cimellaro et al., 2019) در این مدل‌ها همچنین ویژگی هایی مانند سن، جنسیت، ابعاد بدن و سرعت حرکت عوامل، قابل تنظیم بوده و عامل به اختیار خود می‌توانند رفتار خود را با شرایط محیطی هماهنگ نمایند. (Senanayake et al., 2024) در این پژوهش بر مبنای قابلیت و مزیت‌های رویکرد خردنگر (عامل محور)، از آن برای ارزیابی و شبیه‌سازی روند تخلیه بهره برده می‌شود.

ج. شبیه‌سازی تخلیه‌ی جمعیت: یکی از روش‌های شبیه‌سازی، انجام مانورهای انسانی است. یاری‌گرفتن از مانورهای انسانی، به‌منظور پیش‌بینی تعاملات انسان و محیط کالبدی، اگرچه می‌تواند مفید باشد، اما هزینه‌بر بودن و نمایش رفتار تصنعی از سوی افراد، موجب ایجاد تردید در نتایج حاصله خواهد بود. در چنین حالتی، اقبال پژوهشگران به‌سوی شبیه‌سازی‌های رایانه‌ای است. شبیه‌سازی‌های رایانه‌ای، برای مدل‌سازی مجازی عوامل مستقل به کار می‌رود. در این پوهش به‌منظور شبیه‌سازی از نرم‌افزار Pathfinder-2023.2.0816-x64-en بهره برده می‌شود. Pathfinder یک شبیه‌ساز تخلیه مبتنی بر عامل است که برای مدل‌سازی ساختمان‌های پیچیده‌تر طراحی‌شده و روایایی و پایایی آن با ضوابط سازمان بین‌المللی دریانوردی منطبق است. این شبیه‌ساز، با رویکردی خُردنگرانه، برای شبیه‌سازی جریان جمعیت، مناسب بوده و شامل مجموعه‌ای از عناصر هوشمند و دارای قدرت تصمیم‌گیری است. (Deng er al., 2022)

چ. سنجش ایمنی: کاهش خطرات احتمالی برای جمعیت حاضر در محیط ساخته‌شده، نیازمند طی شدن مراحلی ازجمله مرحله‌ی ارزیابی است. ارزیابی ایمنی جمعیت، با کمک ابزارهای مهندسی مانند مدل‌های رایانه‌ای تخلیه و تعیین نسبت مهلت به فرصت تعیین می‌شود. ایمنی جمعیت در شرایط اضطراری در محیط‌های ساخته‌شده، زمانی به دست می‌آید که زمان خروج ایمن موردنیاز یا مهلت (RSET) از مدت‌زمان خروج ایمن موجود یا فرصت (ASET) کوتاه‌تر باشد. (Kallianiotis, 2018)

ح. چارچوب ابداعی: این پژوهش بر مبنای چارچوبی ابداعی که در اینجا "چارچوب یکپارچه ارزیابی و بهبود تخلیه اضطراری جمعیت" نامگذاری می‌شود که به جهت سهولت می‌توان آن را به اختصار E&E به معنای Evaluating and Evacuation نیز نامید. این چارچوب، توسعه چارچوب ابداعی توپراکی و همکاران است که با عنوان HM-ERI شناخته می‌شود و در بند پ همین فصل به آن اشاره شده است. چارچوب ایشان به طور ویژه برای ارزیابی خطرهای تخلیه جمعیت در مسجدهای ترکیه تدوین شده است. به منظور انطباق و بهره‌گیری از آن، چارچوب مذکور در پژوهش حاضر توسعه داده شده است. چارچوب E&E آمیزه‌ای از داده‌های میدانی، داده‌های منتج از شبیه‌سازی‌ها و قضاوت نخبگان است که در نهایت به تدوین راهبردهای موثر تخلیه ایمن جمعیت و افزایش کارایی و تسریع روند تخلیه جمعیت در شرایط اضطراری می‌انجامد. چارچوب یکپارچه، مجموعه‌ای از مولفه‌های کمّی و کیفی است که امکان تحلیل راهبردی و پوشش نقاط ضعف در حوزه‌های رفتارهای انسانی، طراحی ساختمان و مدیریت را فراهم می‌سازد.

روش تحقیق

روش تحقیق حاضر، به لحاظ ماهیت، کاربردی و از نوع توصیفی است و نتایج آن تبیینی و شامل تحلیل‌های کمی و کیفی است. در این پژوهش، با استفاده از رویکرد عامل‌محور، به شبیه‌سازی خروج اضطراری جمعیت پرداخته شده است. این کار بر اساس سناریوهای محتمل و با ارزیابی مؤلفه‌های رفتاری، کالبدی و مدیریتی مؤثر انجام می‌شود و هدف آن کاستن از مدت‌زمان تخلیه کامل جمعیت است. مجموعه عقیله بنی‌هاشم(س) به عنوان نمونه موردی انتخاب شده و روش تحقیق به کار گرفته شده، به شرح زیر است:

الف. شناخت و تعریف جامعه آماری: شناخت جامعه آماری یکی از مراحل کلیدی در هر تحقیق پژوهشی است. در اینجا، زائران حرم حضرت امام حسین(ع)، جامعه آماری مورد نظر را شکل می‌دهند. این جامعه، ناهمگن بوده و به گروه‌ها و دسته‌های کوچکتری تقسیم می‌شود. همچنین برحسب فصول سال و یا ایام سال، ترکیب جمعیت به‌شدت تغییر می‌یابد. در این پژوهش، ایام مناسبتی، مبنای مطالعه قرار داده‌شده است. در چنین جامعه‌ای، اکثریت با زائران غیربومی و خارجی خواهد بود. این جمعیت از گروه‌های کوچکی با عنوان کاروان تشکیل‌شده‌اند و نسبت زنان به مردان و یا کودکان به بزرگسالان، متغیر است. در زمان انجام مناسک، توجه چندانی به موضوع ایمنی ندارند و امکان آموزش موضوعات ایمنی به ایشان تقریباً وجود ندارد.

ب. گردآوری مستندات ترسیمی: به منظور امکان مدل‌سازی و شبیه‌سازی دقیق، ضروری است که آخرین و معتبرترین نقشه‌ها و مدارک ترسیمی مربوط به موضوع پژوهش، از مشاور مربوطه تهیه شود.

پ. شبیه‌سازی: در آغاز به‌منظور دست‌یابی به نتایج معیار، فرایند تخلیه جمعیت در حالت عادی (غیر اضطراری) و با جمعیت معیار و با لحاظ کردن جمعیت کارمندی (متناسب با مبلمانِ ترسیم‌شده در نقشه‌های معماری) شبیه‌سازی می‌شود. در این سناریو تمام جمعیت همگن فرض می‌شود. پس‌ازآن مجدداً شبیه‌سازی با اعمال متغیرهای رفتاری، کالبدی و مدیریتی صورت گرفته و نتایج حاصله با نتایج معیار، مورد مقایسه و تحلیل قرار می‌گیرد.

ت. سناریوها شبیه‌سازی: به‌منظور ارزیابی مؤلفه‌ی‌های سه‌گانه رفتاری-کالبدی-مدیریتی سناریوهای گوناگونی تعریف شده و بر مبنای آن شبیه‌سازی‌های لازم صورت می‌گیرد. برای ارزیابی مؤلفه وابستگی و خویشاوندی چهار سناریو تعریف می‌شود؛ بدین گونه که در ابتدا ۵٪ از جمعیت حاضر، دارای پیوندهای خویشاوندی و وابستگی در نظر گرفته شده، سپس این مؤلفه، با نسبت‌های ۱۰، ۱۵ و ۲۰ درصدی مورد شبیه‌سازی و ارزیابی قرار می‌گیرد. همچنین به‌منظور ارزیابی تأثیر مؤلفه هراس و وحشت در میان مردم، چهار سناریو تعریف می‌شود به‌گونه‌ای که در ابتدا ۵٪ جمعیت، دچار ترس و وحشت‌زدگی شده و سپس در سناریوهای بعدی، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ درصد جمعیت، به‌صورت وحشت‌زده در نظر گرفته شده و مورد شبیه‌سازی و ارزیابی قرار می‌گیرند. به‌منظور ارزیابی مؤلفه‌های مدیریتی، دو دسته شبیه‌سازی صورت می‌گیرد. دسته نخست به تخلیه مرحله‌ای بخش‌هایی از جمعیت که در شبستان‌ها و طبقات حضور دارند اختصاص داشته و جمعیت موردنظر با تاخیرات ۴۵، ۹۰ و ۱۳۵ ثانیه امکان تخلیه می‌یابند. دسته دیگر به بررسی اثرات افزایش چگالی جمعیت اختصاص داشته و شبیه‌سازی‌ها بر اساس افزایش ۲۰، ۴۰، ۶۰ و ۸۰درصدی جمعیت حاضر در مجموعه صورت خواهد گرفت. برای ارزیابی مؤلفه‌های کالبدی نیز ابتدا در یک سناریو به همسوسازی پله‌های برقی با جریان خروج جمعیت پرداخته خواهد شد و در سناریوی دیگر با تعریض درگاه‌ها، شبیه‌سازی جمعیت صورت می‌گیرد. بدیهی است که این فرایند برای مؤلفه‌هایی دیگر و با سناریوهایی دیگر نیز قابل تکرار خواهد بود که در این نوشتار به‌منظور پرهیز از بسط بیش‌ازحد پژوهش و امکان نتیجه‌گیری‌های محدود، از تکرار چنین شبیه‌سازی‌هایی خودداری می‌شود.

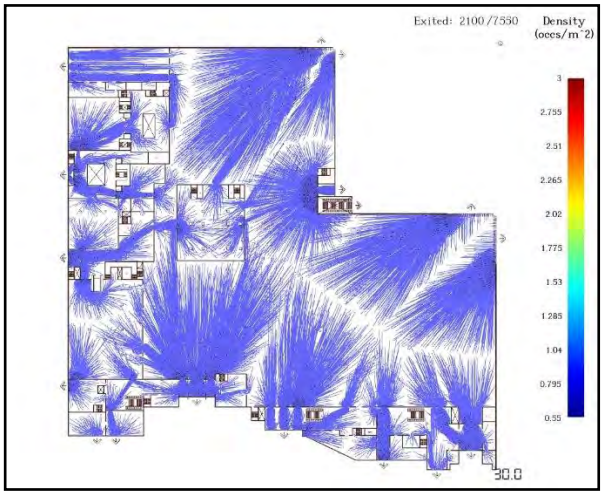
ث. بحث و نتیجه گیری: پس از انجام شبیه‌سازی‌های منطبق با سناریوهای پیش بینی شده، به بحث، تحلیل و نتیجه گیری از خروجی‌های شبیه‌سازی‌ها پرداخته می‌شود. در انتها مدت زمان‌های به دست آمده از این شبیه‌سازی‌ها با مدت زمان معیار (مدت زمان تخلیه جمعیت در شرایط اضطراری) سنجیده می‌شود. در این مرحله اعدادی که کمتر از مدت زمان معیار و یا برابر با آن باشند نشان‌دهنده‌ی خروج ایمن جمعیت خواهند بود و اعدادی که بیشتر از مدت زمان معیار باشند نشان‌دهنده‌ی فرایند تخلیه غیر ایمن جمعیت می‌باشند.

یافته‌های تحقیق

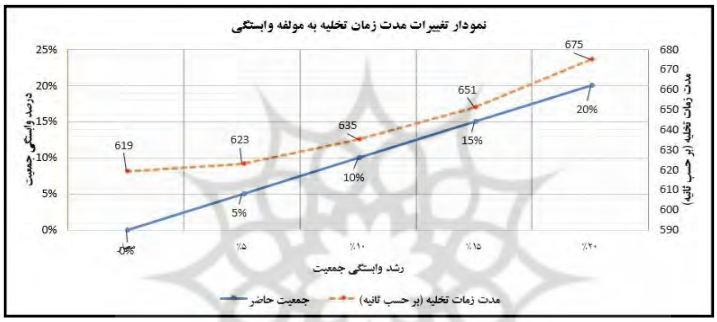
یافته‌های یافته‌های حاصل از شبیه‌سازی‌های صورت گرفته در ترازهای چهارگانه مجموعه عقیله بنی‌هاشم(س) بیانگر آن است که این مجموعه پس از آغاز بهره‌برداری، پذیرای جمعیتی برابر با ۱۶,۵۴۵ نفر خواهد بود. شبیه‌سازی صورت گرفته برای دست‌یابی به مدت‌زمان تخلیه کامل جمعیت در شرایط غیر اضطراری به ۶۱۹ ثانیه منتهی شد. مدت‌زمان به‌دست‌آمده را به‌عنوان (فرصت) و زمان معیار در نظر گرفته و مدت‌زمان‌های حاصله پس از اعمال مؤلفه‌های گوناگون با سناریوهای مختلف، قابل قیاس با این مدت خواهد بود (تصویر۱).

برای ارزیابی مؤلفه وابستگی‌های اجتماعی، عملیات شبیه‌سازی در چهار سناریو، با میزان وابستگی ۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ درصدی جمعیت صورت گرفت. نتایج شبیه‌سازی‌های صورت گرفته به ترتیب نمایانگر افزایش مدت‌زمان تخلیه به ۶۲۳ ، ۶۳۵ ، ۶۵۱ و ۶۷۵ ثانیه نسبت به مدت‌زمان معیار خواهد شد (تصویر ۲).

برای ارزیابی تأثیر مؤلفه‌های مدیریتی، راهبرد تخلیه مرحله‌ای جمعیت مورد شبیه‌سازی قرار گرفت. در این راهبرد نیمی از جمعیت با تأخیر نسبت به نیم دیگر تخلیه می‌شوند. عملیات شبیه‌سازی در سه سناریو، با میزان تأخیرهای ۴۵، ۹۰ و ۱۳۵ ثانیه صورت گرفت. نتایج شبیه‌سازی‌ها نمایانگر افزایش مدت‌زمان تخلیه به ترتیب ۶۲۱ ، ۶۳۲ و ۶۴۷ ثانیه نسبت به مدت‌زمان معیار شد (تصویر ۳).



تصویر ۱. شبیه‌سازی تخلیه جمعیت در تراز همکف و در ثانیه ۳۰



تصویر ۲. تأثیر مؤلفه وابستگی بر مدت‌زمان تخلیه

تصویر ۳. تأثیر راهبرد تخلیه مرحله‌ای بر مدت‌زمان تخلیه

تصویر ۴. تأثیر همسوسازی پله‌های برقی مخالف بر مدت‌زمان تخلیه

برای ارزیابی تأثیر مؤلفه‌کالبدی، تأثیر همسوسازی پله‌های برقی مخالف مورد شبیه‌سازی قرار گرفت. در شبیه‌سازی مربوطه جهت حرکت ۱۰ دستگاه از پله‌های برقی (نیمی از کل پله‌های برقی) به صورت مرحله‌ای با مسیر خروج جمعیت همسو شد تا از ظرفیت خروج آن‌ها بهره‌برداری شود. نتایج شبیه‌سازی صورت گرفته در این مرحله نشان‌دهنده کاهش مدت‌زمان تخلیه به ۵۹۹ ثانیه به ازای همسوسازی ۲ دستگاه پله‌برقی و کاهش مدت‌زمان به ۵۸۲، ۵۸۴، ۵۷۲، ۵۹۹ و ۵۴۲ ثانیه به ازای همسوسازی ۴، ۶، ۸ و ۱۰ دستگاه پله‌برقی مخالف می‌باشد (تصویر ۴).

بحث و نتیجه‌گیری

فرایند طی شده و شبیه‌سازی‌های صورت گرفته در این متن، به‌منظور پاسخ به پرسش‌های تحقیق، بیانگر آن بوده است که مؤلفه‌های وابستگی، تخلیه مرحله‌ای و همسوسازی پله‌برقی‌های مخالف، بر مدت‌زمان تخلیه کامل جمعیت مؤثرند. مؤلفه وابستگی در سناریوهای گوناگون می‌تواند موجب افزایش مدت‌زمان تخلیه از ۶۱۹ ثانیه تا ۶۷۵ ثانیه شود. این مطلب به معنی افزایش مدت‌زمان تخلیه تا ۹٪ می‌باشد. توضیح این‌که افرادی که با یکدیگر خویشاوندی و یا وابستگی اجتماعی دارند، پس از درک خطر و پیش از آن‌که اقدام به خروج نمایند، به جستجوی دوستان و بستگان خود می‌پردازند و سپس به‌صورت گروهی اقدام به خروج می‌نمایند. این موضوع علاوه بر این‌که می‌تواند موجب تأخیر در آغاز تخلیه گروه‌ها شود، موجب تداخل و مزاحمت در جریان تخلیه دیگران نیز خواهد شد. ازآنجاکه در ایام ویژه مذهبی، تعداد گروه‌های اجتماعی که اغلب غیربومی هستند نسبت به زائران بومی کربلا بیشتر خواهد بود، مؤلفه وابستگی پررنگ‌تر خواهد بود و به همین میزان بر مدت‌زمان تخلیه افزوده و از نرخ بقا کاسته خواهد شد. نتایج حاصله در این گام با نتایج پژوهشگران دیگر همسوست. بااین‌حال، نتیجه به‌دست‌آمده الزاماً قابل‌تعمیم به ابنیه دیگر و جمعیت‌های دیگر نمی‌تواند باشد.

در شبیه‌سازی راهبرد تخلیه مرحله‌ای، مشخص شد که اتخاذ چنین راهبردی نه‌تنها کمکی به کاهش مدت‌زمان تخلیه نخواهد داشت، بلکه به مدت‌زمان تخلیه تا ۵ درصد خواهد افزود. ازآنجاکه تراز زیرزمین دوم باوجود داشتن بیشترین بار جمعیتی، تنها به سه درگاه زیرزمینی راه دارد، لذا تأخیر در تخلیه نیمی از جمعیت این طبقه، منطقی به نظر نمی‌رسد و ترجیح این خواهد بود که با تسریع در تخلیه جمعیت حاضر در تراز همکف، بخشی از جمعیت حاضر در ترازهای زیرین به تراز همکف هدایت‌شده و از ظرفیت تخلیه آن بهره برده شود. گذشته از این می‌باید به تبعات اخلاقی و حقوقی پدیده آمده برای جمعیتی که به ناچار با تاخیر اجازه خروج خواهند داشت نیز توجه نمود. نتایج حاصل در این گام قابل‌مقایسه به نتایج پژوهشگران دیگر نبوده و قابل تعمیم به ابنیه دیگر نیست..

در خصوص بهره‌گیری از پله‌های برقی غیرهمسو، از آنجا که در مجموعه مورد مطالعه، ۲۰ دستگاه پله‌برقی طراحی‌شده است که به‌صورت متعارف نیمی از آن‌ها رو به بالا و نیمی دیگر رو به پایین حرکت می‌کنند و تمامی پله‌های برقی در ترازهای زیرزمین جانمایی شده و جمعیت را از همکف به زیرزمین‌ها و برعکس جابجا می‌نمایند؛ نتایج شبیه‌سازی ها نشان‌دهنده آن بوده است که چنانچه از ظرفیت هر ۱۰ دستگاه پله‌برقی غیرهمسو در جریان تخلیه جمعیت بهره برده شود، می‌توان مدت‌زمان تخلیه را تا ۸۸٪ مدت‌زمان معیار یعنی تا ۵۴۲ ثانیه کاهش داد.

جمع‌بندی اینکه برمبنای یافته‌های شبیه‌سازی‌ها و تحلیل‌های مربوطه می‌توان به پرسش‌های مطروحه چنین پاسخ داد: مدت‌زمان تخلیه کامل جمعیت مجموعه عقیله بنی‌هاشم(س) در شرایط عادی و غیر بحرانی ۶۱۹ ثانیه است. رفتارهای ناشی از وابستگی‌های اجتماعی و یا مانند آن (قومی، کاروانی، هم‌زبان بودن، هم‌وطن بودن) موجب افزایش مدت‌زمان تخلیه خواهد بود. تخلیه مرحله‌ای جمعیت نیز موجب افزایش مدت‌زمان تخلیه خواهد شد اما همسوسازی پله‌های برقی مخالف با جریان جمعیت موجب کاهش مدت‌زمان تخلیه خواهد شد.

مدت‌زمان تخلیه اضطراری جمعیت در مجموعه‌های پرجمعیت مذهبی وابسته به مؤلفه‌های متعددی است که در این متن به تعدادی از آن‌ها توجه شد و تأثیرگذاری آن به اثبات رسید. با شناسایی مؤلفه‌های مؤثر و محتمل دیگر و مدیریت آگاهانه آن‌ها، امکان کاهش مدت‌زمان تخلیه و درنتیجه کاهش خسارت انسانی در شرایط اضطراری وجود دارد. لذا توصیه می‌شود تحقیقات دیگری با مؤلفه‌هایی بیشتر در آینده صورت گیرد و تأثیر هرکدام از مؤلفه‌ها و یا برهمکنش آن‌ها در کاهش و یا افزایش مدت‌زمان تخلیه جمعیت در شرایط اضطراری تعیین شود.

منابع

- Asif, N., & Utaberta, N. (2019, July). Evaluating the role of mosque as emergency shelter during natural disasters. In Urban and Transit Planning: A Culmination of Selected Research Papers from IEREK Conferences on Urban Planning, Architecture and Green Urbanism, Italy and Netherlands (2017) (pp. 567-574). Cham: Springer International Publishing.
- Azkur, H. S., & Oral, M. (2022). Evacuation problem in mosque buildings, the case of Konya Hacıveyiszade Mosque. Journal of Architectural Sciences and Applications, 7(1), 235-247.

- Chakrabarty, A., Rahman, M. M., & Ubaura, M. (2020, September). Assessment of emergency evacuation preparedness for seismic hazard in an urban area. In 17th World Conference on Earthquake Engineering, Sendai, Japan (pp. 13-18).
- Chen, C., Sun, H., Lei, P., Zhao, D., & Shi, C. (2021). An extended model for crowd evacuation considering pedestrian panic in artificial attack. Physica A: Statistical Mechanics and its Applications, 571, 125833.
- Chen, S., Fu, H., Qiao, Y., & Wu, N. Q. (2021). Route choice behavior modeling for emergency evacuation and efficiency analysis based on Type-II fuzzy theory. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems.
- Deng, Q., Zhang, B., Zhou, Z., Deng, H., Zhou, L., Zhou, Z., & Jiang, H. (2022). Evacuation time estimation model in large buildings based on individual characteristics and real-time congestion situation of evacuation exit. Fire, 5(6), 204.
- FEMA. (2023). National preparedness goal.
- Haghani, M., & Sarvi, M. (2016). Human exit choice in crowded built environments: Investigating underlying behavioural differences between normal egress and emergency evacuations. Fire Safety Journal, 85, 1-9.
- Kallianiotis, A., Papakonstantinou, D., Arvelaki, V., & Benardos, A. (2018). Evaluation of evacuation methods in underground metro stations. International journal of disaster risk reduction, 31, 526-534.
- Kotani, H., Tamura, M., Li, J., & Yamaji, E. (2021). Potential of mosques to serve as evacuation shelters for foreign Muslims during disasters: a case study in Gunma, Japan. Natural hazards, 109(2), 1407-1423.
- Li, X., Wang, C., Kassem, M. A., & Ali, K. N. (2024). Emergency evacuation of urban underground commercial street based on BIM approach. Ain Shams Engineering Journal, 15(4), 102633.
- Rismanian, M., & Zarghami, E. (2021). Investigating the Effect of Crowd Behavioral Patterns on the Safe Evacuation in High-rise Residential Buildings. Disaster Prevention and Management Knowledge (quarterly), 11(3), 287-298.
- Salankar, S. (2021). Study of critical fire safety parameters and development of an evacuation strategy for high rise buildings (Doctoral dissertation, College of Engineering, UPES, Dehradun).
- Ta, X. H., Longin, D., Gaudou, B., Ho, T., & Nguyen, M. H. (2017). Modeling and simulation of the effects of social relation and emotion on decision making in emergency evacuation. International Journal of Advanced Computer Science and Applications, 8(10), 371-392.
- Yaman, M., & Kurtay, C. (2021). Investigation on evacuation scenarios according to occupant profile in mosques through different fire regulations. A/Z ITU Journal of the Faculty of Architecture, 18(2).
- Zarghami, E., & Rismanian, M. (2020). Impact of architectural variables on evacuation time of a classroom in emergencies. Iauh-Hafthesar YR - 2020, pp. 59-68 K1-: Emergency Evacuation K1-Classroom K. Retrieved from. doi:10.29252/hafthesar.8.30.7
- Zhang, J., & Zhao, J. (2022). Crowd evacuation dynamics: A review of models and applications. Transportation Research Part B: Methodological, 162, 1-20.
- Zhang, J., Huang, D., You, Q., Kang, J., Shi, M., & Lang, X. (2023). Evaluation of emergency evacuation capacity of urban metro stations based on combined weights and TOPSIS-GRA method in intuitive fuzzy environment. International journal of disaster risk reduction, 95, 103864.

Elucidation of behavioral, spatial, and managerial components influencing crowd Safety in emergency conditions based on an agent-oriented approach in high-density spaces

Ali Safarifard, *PhD in Architecture, Department of Architecture, Faculty of Art, Architecture and Urban Planning, Islamic Azad University, Tehran, Iran*
Mohammadreza Mansoori*, *Assistant Professor, Department of Architecture, Technical and Engineering Faculty, Islamic Azad University, Varamin Branch, Tehran, Iran*
Leila Karimifard, *Associate Professor of Architecture Department, Department of Architecture, Faculty of Art, Architecture and Urban Planning, Islamic Azad University, Tehran, Iran*

Received: 2024/9/30 *Accepted: 2025/1/8*

Extended abstract
Introduction: In designing buildings with complex functions and diverse spaces, designers typically rely on existing standards to ensure occupant safety during emergencies. While the primary goal of these standards is the complete evacuation of the population to preserve human life, they do not necessarily account for diverse occupant behaviors, interactions with the physical environment, or effective evacuation management strategies. This study addresses the following questions: Do social dependencies influence evacuation duration? To what extent do fear and panic affect evacuation time in emergencies? What is the impact of phased evacuation strategies on overall evacuation time? The aim of this research is to evaluate and explain the components affecting emergency evacuation time and to provide predictive simulations of evacuation processes in crowded spaces, particularly religious facilities, to support decision-makers in both design and operational phases.
Methodology: The research is applied and descriptive-analytical in nature, yielding explanatory results. By developing the E&E framework and employing an agent-based approach to simulate emergency evacuations under plausible scenarios, the study evaluates and explains the components influencing evacuation duration in emergency situations.
Results: Simulations revealed that the baseline evacuation time under non-emergency conditions was 619 seconds. When behavioral, managerial, and spatial components were applied in various scenarios, different outcomes emerged relative to this baseline. In the behavioral domain, social dependencies at levels of 5%, 10%, 15%, and 20% of the population increased evacuation time up to 675 seconds. In the managerial domain, phased evacuation strategies with delays of 45, 90, and 135 seconds extended evacuation time to 647 seconds. In the spatial domain, aligning escalator movement with evacuation flow reduced evacuation time; synchronization of two escalators reduced the time to 599 seconds, while synchronizing up to ten escalators further reduced the time to 542 seconds.
Discussion: By identifying and consciously managing effective and potential components from the design phase through the operational phase, evacuation time can be reduced, thereby lowering the risk of injuries and casualties in emergency situations.
Keywords: Safe population evacuation, emergency situations, agent-based modeling, simulation, crowded spaces.

* Corresponding Author's E-mail: archmansoori@yahoo.com