

# ارزیابی معابر پیاده از منظر تخلیه اضطراری

## مطالعه موردی: مجموعه اداری اصفهان

مصطفی طوقی<sup>۱</sup> - کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی حمل و نقل، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران.  
میثم اکبرزاده - استادیار، دانشکده مهندسی حمل و نقل، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران.  
علی صبوحنیان - کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۱۰/۰۷

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۰۳/۱۸

### چکیده

افزایش تراکم جمعیت مناطق شهری در کنار فراهم آوردن مزایایی همچون کوتاه نمودن فاصله‌ها، باعث آسیب‌پذیری بیشتر ساختارهای شهری در هنگام بروز حوادث می‌شود. از جمله، تخلیه اضطراری مجتمع‌های ساختمانی شهری با دشواری‌های زیادی روبه‌رو است که عمدتاً به علت تلاش شمار زیاد افراد برای خروج به موقع با استفاده از راهرو، دستگاہ پله‌ها و خروجی‌های کم‌عرض است. بر این اساس، بررسی چگونگی رفتار جریان پیاده‌ها در شرایط تخلیه اضطراری از اهمیت زیادی برخوردار است. هدف این مقاله، ارزیابی معابر پیاده مجموعه اداری شهر اصفهان - به عنوان نمونه‌ای از مجتمع‌های ساختمانی پر جمعیت و با اهمیت - با استفاده از شبیه‌سازی تردد در شرایط تخلیه اضطراری است. دلیل استفاده از روش شبیه‌سازی نیز آن است که گردآوری داده‌های پیشینی رفتاری و بازتولید شرایط واقعی تخلیه با دقت مناسب، در مواردی غیرممکن و یا اغلب پرهزینه و زمان‌بر است. در نتیجه امروزه پژوهش‌های زیادی مرتبط با موضوع تخلیه، با روش شبیه‌سازی شرایط تخلیه، به تحلیل رفتارها و سناریوهای محتمل می‌پردازند. در این مقاله، ضمن توصیف روش‌های موجود شبیه‌سازی تردد پیاده‌ها، روش مورد استفاده (رویکرد عامل‌مبنا) شرح داده شده است. سپس نرم‌افزار مورد استفاده معرفی و روش تحلیل آن ارائه شده است. در ادامه کلیه تهدیدات و مخاطرات برای مجموعه اداری شهر اصفهان بررسی شده و به منظور تعیین محتمل‌ترین آنها، از نظر کارشناسان این حوزه استفاده شده است. سپس هفت سناریو متناسب با مخاطرات محتمل‌تر تعریف و در نرم‌افزار، شبیه‌سازی شده است. از نتایج اصلی این پژوهش، شناسایی شش معبر بحرانی (گلوگاه تخلیه)، ارزیابی خروجی‌های فعلی و تعیین مکان دقیق احداث یک خروجی جدید در ضلع شرقی مجموعه اداری شهر اصفهان می‌باشد.

**واژگان کلیدی:** معابر پیاده، تخلیه اضطراری، مخاطره‌سنجی، شبیه‌سازی عامل‌مبنا.

### ۵

شماره هفدهم

زمستان ۱۳۹۴

فصلنامه علمی-پژوهشی

مطالعات شهر

ارزیابی معابر پیاده از منظر تخلیه اضطراری

## ۱. مقدمه و شرح موضوع

برای طراحی مناسب معابر شهری لازم است در کنار شرایط عادی روزمره، شرایط بحرانی نیز مورد توجه قرار گیرد. ساکنان شهرها در معرض مخاطرات محتمل فراوانی هستند و نخستین اقدام غریزی پس از وقوع مخاطره (بحران)، دور شدن از محدوده اثر مخاطره است. در شرایطی که نفرت زیادی همزمان تصمیم به دور شدن از محل خطر داشته باشند، ازدحام به چالش اصلی تبدیل می‌شود. این واقعیت، در کنار احتمال قابل توجه وقوع مخاطرات، لزوم توجه به کارکرد معابر پیاده در شرایط تخلیه اضطراری را مشخص می‌کند. مشاهده مستقیم شرایط واقعی، انجام آزمایش‌های کنترل شده (مانور) و شبیه‌سازی، سه روش موجود برای گردآوری و تحلیل رفتار پیاده‌ها در شرایط مختلف است. در حالت وقوع بحران، انجام مشاهده مستقیم به سختی امکان‌پذیر است. انجام مانور، با وجود امکان‌پذیری، دارای خطاهای رفتاری احتمالی است. در اماکن کوچک و کم‌جمعیت می‌توان یک مکان را از نظر تخلیه با برگزاری مانور ارزیابی نمود ولی این قبیل آزمایش‌ها در اماکن بزرگ‌تر و پرجمعیت‌تر قابل اجرا نیستند و در نتیجه برای این‌گونه اماکن از شبیه‌سازی برای پیش‌بینی تأثیر سناریوهای مختلف تخلیه اضطراری استفاده می‌شود (Abdelghany et al., 2014:1-2). بر این اساس، در مقاله حاضر، شبیه‌سازی نرم‌افزاری به عنوان ابزار مطالعه رفتار پیاده‌ها مورد استفاده قرار گرفت. شبیه‌سازی ضمن سهولت کاربست، در صورت استفاده صحیح می‌تواند نتایج دقیقی در اختیار برنامه‌ریزان قرار دهد.

تخلیه کارآمد مراکز جمعیتی، تأثیر مهمی بر کاهش شدت و تعداد

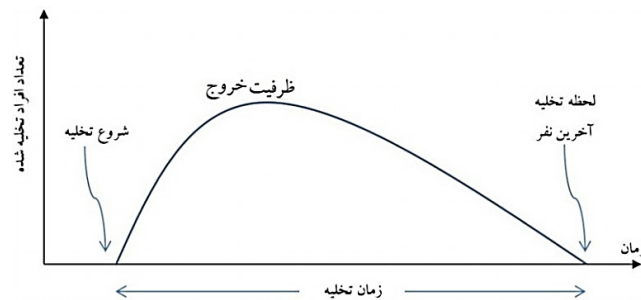
تلفات دارد. غالباً هدف از تخلیه اضطراری، انتقال کلیه افراد در معرض تهدید به منطقه امن در کمترین زمان ممکن و با کمترین تلفات ممکن است. مدت زمان طی شده از زمان بروز تهدید تا رسیدن آخرین نفر به منطقه امن، به عنوان زمان تخلیه کل تعریف می‌شود. در نتیجه این زمان وابسته به زمان تخلیه آخرین نفر است که احتمالاً از افراد کم‌توان می‌باشد. تصویر شماره ۱ فرآیند یک تخلیه را برحسب زمان نشان می‌دهد.

معمولاً مدتی پس از شروع تخلیه، نرخ تخلیه به بیشینه مقدار خود (ظرفیت خروج) می‌رسد. ظرفیت خروج به عواملی همچون ظرفیت عبوردهی خروجی‌ها، معابر دسترسی به خروجی‌ها و ویژگی‌های حرکتی تخلیه‌شوندگان وابسته است.

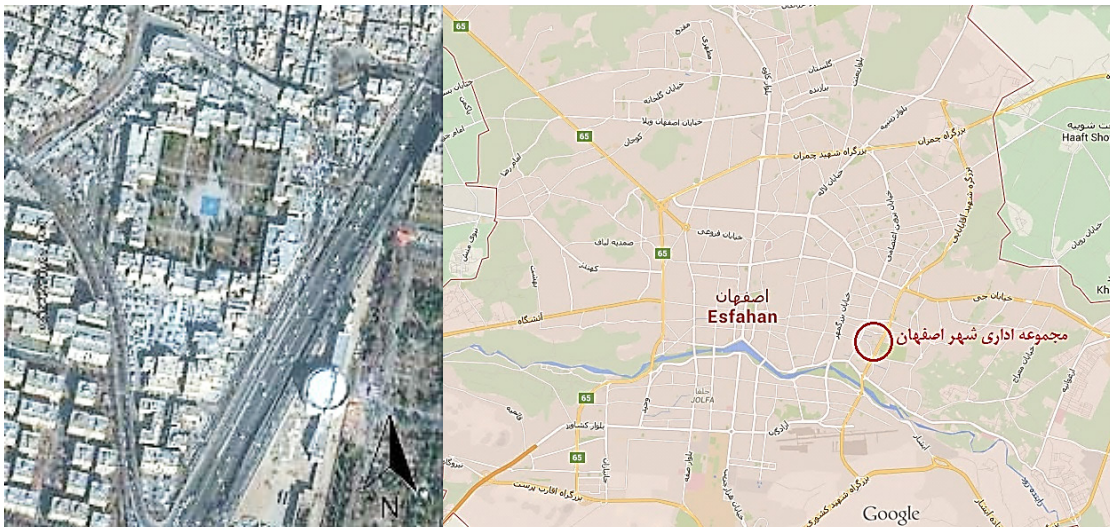
### ۱.۱. مجموعه اداری اصفهان

مطالعه موردی این مقاله، در مجموعه اداری غدیر شهر اصفهان واقع در خیابان ۲۲ بهمن انجام شده است. این مجموعه دارای مساحتی حدود ۹۰ هزار مترمربع، محیطی حدود یک هزار و ۴۰۰ متر و شامل تقریباً ۳۵ ساختمان است. ادارات مهمی همچون ثبت احوال، دارایی، فرمانداری، دادگستری، بازرسی کل و اداره کل صنعت، معدن و تجارت در این مجموعه واقع شده‌اند. تصویر شماره ۲ نقشه موقعیت کلی مجموعه در شهر اصفهان را نشان می‌دهد.

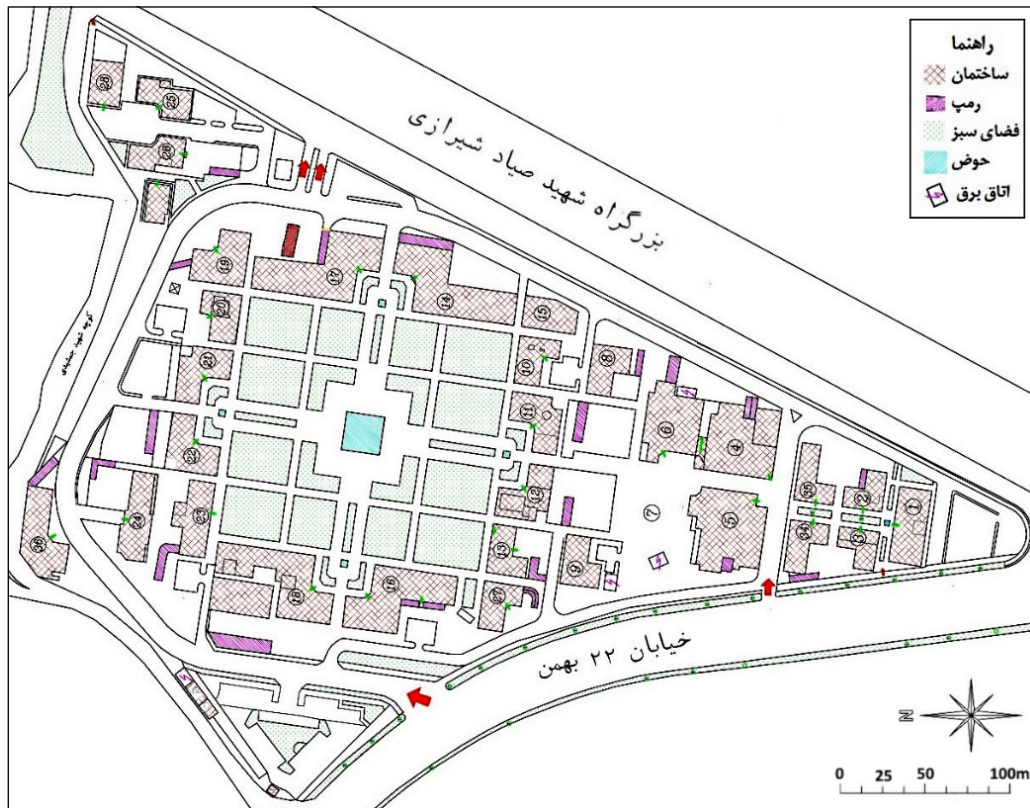
این مجموعه دارای سه ورودی/خروجی ماشین‌رو و دو ورودی/خروجی نفر رو می‌باشد. در نقشه شماره ۱، پلان کلی و دسترسی‌های مجموعه مشخص شده است. اطلاعات مکانی براساس نقشه و بازدید میدانی و اطلاعات جمعیتی با آماربرداری برداشت گردیده است.



تصویر شماره ۱: فرآیند یک تخلیه بر حسب زمان



تصویر شماره ۲: نقشه موقعیت کلی مجموعه اداری غدیر در شهر اصفهان



نقشه شماره ۱: پلان مجموعه اداری شهر اصفهان

## ۲. پیشینه تحقیقی مقاله

پیشینه تحقیقی شامل بررسی انواع مدل‌های توصیفی و روش‌های شبیه‌سازی است.

### ۲.۱. انواع مدل‌های توصیفی

مدل‌های توصیف حرکت پیاده‌ها را می‌توان براساس مقادیر موجه متغیرها، قطعیت مدل و مقیاس تحلیل دسته‌بندی کرد. مدل‌ها از لحاظ مقادیر مجاز متغیرهای مورد استفاده به دو دسته گسسته و پیوسته تقسیم می‌شوند. براساس میزان قطعیت متغیرهای مورد استفاده، می‌توان مدل‌ها را به دو دسته قطعی<sup>۱</sup> و تصادفی<sup>۲</sup> تقسیم نمود. اگر متغیرهای موجود در مدل همگی غیرتصادفی باشند، مدل قطعی و در غیراین صورت تصادفی است.

براساس مقیاس تحلیل، مدل‌ها به سه دسته خردنگر<sup>۳</sup>، میان‌نگر<sup>۴</sup> و کلان‌نگر<sup>۵</sup> تقسیم می‌شوند (Florian, Mahut and Tremblay, 2001). در مدل‌های خردنگر، مقیاس تحلیل، افراد و خصوصیات رفتاری آنان مانند سرعت و نحوه تعامل با سایر پیاده‌ها می‌باشد. مدل‌های کلان‌نگر پیاده‌ها را به صورت جمعی بررسی می‌کنند. در این نوع مدل‌ها، شاخص‌هایی همچون چگالی (تعداد نفر بر واحد سطح)، سرعت متوسط (متوسط سرعت نفرات حاضر در یک محدوده مشخص) و نرخ جریان (تعداد افراد عبورکننده از یک

مقطع مشخص در واحد زمان) مورد توجه قرار می‌گیرند. مدل‌های میان‌نگر جمعیت را براساس ویژگی‌های فردی به چند زیرمجموعه تقسیم کرده و هر زیرمجموعه را مورد تحلیل کلان‌نگر قرار می‌دهند.

### ۲.۲. روش‌های شبیه‌سازی

روش‌های اصلی شبیه‌سازی حرکت پیاده‌ها شامل سه دسته اتوماتای سلولی<sup>۶</sup>، نیروی اجتماعی<sup>۷</sup> و مدل‌های عامل‌مبتنا<sup>۸</sup> هستند (Zheng, Zhong and Liu, 2009: 438) که در ادامه مورد بررسی قرار می‌گیرند.

در روش اتوماتای سلولی، فضای حرکت پیاده‌ها به شکل شبکه‌ای از سلول‌هایی با ابعاد مشخص در نظر گرفته می‌شود. ابعاد سلول‌ها به گونه‌ای فرض می‌شوند که در حالت شلوغی، هر نفر در یک زمان فقط در یک سلول حضور داشته باشد. در نتیجه هر سلول می‌تواند وضعیت پر یا خالی را به خود بگیرد. ابعاد استاندارد سلول‌های فرضی در بسیاری از مطالعات ۴۰×۴۰ سانتی‌متر لحاظ شده است. هر نفر در هر بازه زمانی می‌تواند از سلول خود به یکی از سلول‌های مجاز مجاور حرکت کند. مجموعه سلول‌های مجاز برای حرکت فرد براساس جهت مطلوب حرکت، وضعیت موانع و حرکت سایر افراد تعیین می‌شود. وضعیت یک سلول در گام‌های زمانی مختلف بر طبق مجموعه‌ای از قوانین از پیش تعیین شده و وضعیت سلول‌های واقع در همسایگی آن در یک مرحله قبلتر تغییر می‌کند (Von Neumann, 1966).

- 6 Cellular automaton
- 7 Social Force
- 8 Agent-based model

- 1 Deterministic
- 2 Stochastic
- 3 Microscopic
- 4 Mesoscopic
- 5 Macroscopic

مدل اتوماتای سلولی در تحلیل جریان پیاده‌ها در دو وضعیت عادی و بحرانی (تخلیه اضطراری جمعیت) مورد استفاده قرار گرفته است. داولیانگ و همکاران (۲۰۰۵) مدل تصادفی اتوماتای سلولی را برای مطالعه تخلیه اضطراری به کار بردند و به نتایج جالب توجهی رسیدند. از جمله این‌که در فضاهای دارای دو در خروجی، حالت بهینه از منظر تخلیه آن است که خروجی‌ها در پلان متقارن باشند و فاصله بین آنها خیلی کم یا خیلی زیاد نباشد. همچنین آنان نشان دادند که متوسط نرخ جریان از یک در خروجی (نفر بر ثانیه) تابعی غیرخطی از عرض در خروجی با شیب کاهنده است (Daoliang, Lizhong and Jian, 2006: 503-508).

واراس و همکاران (۲۰۰۶) از مدل اتوماتای سلولی برای شبیه‌سازی روند تخلیه یک اتاق در دو حالت با و بدون مانع استفاده کردند و با مقایسه جریان تردد از درهای مختلف به این نتیجه رسیدند که استفاده از یک در دوگانه به جای دو در مجزا تخلیه را بهبود نمی‌بخشد. همچنین با افزایش عرض خروجی تا حدود سه متر، زمان تخلیه کاهش یافت (Varas (et al.), 2007: 637-639).

روش نیروی اجتماعی برای فرض مبتنی است که پیاده‌ها تلاش می‌کنند با سرعت مطلوب خود و در راستای کوتاه‌ترین مسیر ممکن به مقصد برسند؛ اما سرعت، جهت و شتاب حرکت آنها وابسته به برآیند نیروی محرک فرد برای رسیدن به مقصد، نیروهای وارد شونده بر او از سوی سایر پیاده‌ها و نیروهای وارد شونده از سوی عوامل محیطی می‌باشد. عموماً نیروی وارد از سوی سایر پیاده‌ها و دیواره‌ها و موانع، دافعه فرض می‌شوند. جذابیت‌های احتمالی موجود در کناره‌های مسیر (به عنوان نماینده فروشگاه‌ها و...) و پیاده‌های همراه (دوست، فرزند و...) به صورت نیروی جاذبه وارد محاسبات می‌گردند (Helbing and Molnár, 1995). مدل نیروی اجتماعی برای مطالعات مربوط به تخلیه اضطراری جمعیت نیز مورد استفاده قرار گرفته است. پارسی و دوسو (۲۰۰۵) از سرعت مطلوب حرکت تخلیه‌شوندگان به عنوان شاخص میزان وحشت استفاده کردند و با استفاده از مدل نیروی اجتماعی، رفتار تخلیه‌شوندگان را مورد بررسی قرار دادند. از جمله نتایج آنان این بود که با افزایش سرعت مطلوب تخلیه‌شوندگان از حدی خاص، زمان تخلیه کلی نیز افزایش می‌یابد. این پدیده به پدیده "سرعت زیاد باعث تأخیر بیشتر است" معروف است (Parisía and Dorso, 2007).

روش عامل مبنا مکان پیوسته، زمان‌گسسته و دارای مقیاس تحلیل خردنگراست. از این روش برای تحلیل موقعیت‌های رفتار رقابتی<sup>۱</sup>، رفتار صف‌بندی<sup>۲</sup> و رفتار توده‌وار<sup>۳</sup> مانند تخلیه اضطراری استفاده شده است. در این روش ابتدا مبادی و مقاصد مشخص، سپس با توجه به معابر موجود و موقعیت خروجی‌ها، مسیرهای حرکت به سمت هر مقصد تعیین می‌گردد. آنگاه فضاها با توجه به همگنی عموماً از لحاظ کارکرد معماری-قسمت‌بندی شده و

برای هر قسمت ظرفیتی معادل تعداد بیشینه افرادی که می‌توانند همزمان در آن قسمت قرار گیرند، تعیین می‌شود. مقدار این ظرفیت در شرایط مختلف متفاوت است به عنوان مثال در شرایط تخلیه اضطراری، بیشترین تراکم نفرات و در نتیجه بیشترین ظرفیت ممکن برای هر قسمت در نظر گرفته می‌شود. آنگاه در هر گام زمانی، هر فرد را از موقعیت اولیه خود (مبدأ) به سوی مقصد حرکت می‌دهند. حرکت فرد از یک قسمت به قسمت بعدی منوط به وجود فضای آزاد در آن قسمت می‌باشد. فضای آزاد موجود در یک قسمت از مقایسه ظرفیت و حجم موجود در گام زمانی قبلی به دست می‌آید (Zheng, Zhong and Liu, 2009: 443). یاماموتو به مطالعه تخلیه ساختمانهای چند طبقه در زمان وقوع زلزله و آتش با مطالعه موردی ساختمانی ۱۲ طبقه از یک دانشگاه پرداخت. در این مطالعه، ساختار ساختمان (پلان، موقعیت دستگاه پله‌ها، وضعیت کاربری اتاق‌ها، توزیع جمعیت و...) و اطلاعات مشاهده شده تخلیه نفرات در شبیه‌سازی سناریوهای محتمل در زمان بحران (مسدود شدن یک دستگاه پله در طبقات و...) مورد استفاده قرار گرفت (Yamamoto, 2013: 376-379). لو (۲۰۱۱) به بررسی تخلیه ساختمان مدرسه‌ای پنج طبقه پرداخته است. ساختمان دارای دستگاه پله با عرض ۲/۵-۲ متر است. کلاس‌ها شامل ۷۰ نفر دانش‌آموز با دو در خروج و تخلیه با تقسیم مساوی میان دو در صورت پذیرفته است. از نتایج به دست آمده این‌که سن تخلیه شوندگان با سرعت تخلیه برای بازه سنی دوره ابتدایی- رابطه مستقیمی دارد و هرچه سن بیشتر شود، زمان تخلیه کل کاهش می‌یابد (LU, 2011: 123-127).

### ۳. روش پژوهشی مقاله

مراحل انجام پژوهش به شرح زیر است:

۱. اطلاعات مکانی و جمعیتی مجموعه اداری شامل نقشه پلان ساختمان‌ها، موقعیت ورودی و خروجی‌ها، تعداد کارکنان و مراجعان هر ساختمان، موقعیت پارکینگ‌ها، فضای سبز، پیاده‌روها و ورودی و خروجی‌های مجموعه برداشت شد.
  ۲. با استفاده از نظر فنی و کارشناسی، مخاطرات محتمل برای مجموعه اداری فهرست شد.
  ۳. سناریوهای اصلی بحران-تخلیه در محیط شبیه‌سازی تعریف و نتایج تحلیل نرم‌افزاری برای هر یک استخراج شد.
  ۴. موقعیت معابر بحرانی و زمان تخلیه برای هر سناریو به دست آمد.
  ۵. با ارزیابی چیدمان خروجی‌های مجموعه، موقعیت مکانی ایجاد یک خروجی جدید محاسبه و پیشنهاد شد.
- برداشت اطلاعات (گام نخست) با انجام مشاهدات مستقیم در طی چند روز کاری و شمارش نفرات حاضر، ورودی و خروجی به هر یک از ساختمان‌های مجموعه اداری انجام شد. در گام دوم، مطالعه تهدیدات محتمل برای مجموعه انجام گرفت. تهدیدات و مخاطرات به دو نوع طبیعی و بشرساز دسته‌بندی شدند (Maher Alnaghsh, 2013). از جنبه تهدیدات طبیعی، کلیه تهدیدات محتمل شهر اصفهان برای مکان مورد مطالعه نیز

- 1 Faster is slower
- 2 Competitive behavior
- 3 Queuing behavior
- 4 Herding behavior

ممکن خواهد بود. طبق نقشه پهنه‌بندی خطر نسبی زلزله، شهر اصفهان در دسته شهرهای با خطر نسبی متوسط قرار می‌گیرد (Building Research Center, 1997). پدیده زلزله را می‌توان به دو صورت زلزله شدید (با بزرگی بیش از ۷ ریشتر) و زلزله با قدرت تخریب متوسط لحاظ نمود. وقوع زلزله شدید باعث ویرانی کلی ساختمان‌ها خواهد شد و از موضوع بحث این مقاله خارج است. وقوع زلزله متوسط باعث خرابی جزئی ساختمان‌های با اسکلت ضعیف‌تر و ایمنی کمتر در تأسیسات می‌شود. در نتیجه آتش‌سوزی ناشی از زلزله‌های خفیف و نیز سقوط تأسیسات آویزان در نما همچون کولرهای آبی و آنتن‌های مخابراتی واقع در پشت‌بام‌های تعدادی از مراکز مورد بررسی قرار گرفت. از جنبه تهدیدات بشرساز، آتش‌سوزی در تأسیسات ساختمانی و تهدیدات تروریستی است. به علت عدم وجود سابقه وقوع بحران در مجموعه‌های مشابه در اصفهان، شناسایی محتمل‌ترین تهدیدات و میزان خطر آفرینی تأسیسات با انجام نظرسنجی با ده نفر از کارشناسان سازمان مدیریت بحران استانداری اصفهان صورت گرفت. بر این اساس محتمل‌ترین مخاطرات مجموعه اداری به ترتیب احتمال وقوع عبارتند از آتش‌سوزی، تهدیدات تروریستی و زلزله. از نظر احتمال وقوع خسارت، اتاق‌های برق، تأسیسات گازرسانی و موتورخانه‌ها آسیب‌پذیرترین هستند. از نظر شعاع تخریب، تأسیسات گازرسانی، موتورخانه‌ها و اتاق‌های برق بیشترین آسیب‌زایی را خواهند داشت. در گام سوم، شبیه‌سازی با استفاده از نرم‌افزار Pathfinder انجام شد. رویکرد شبیه‌سازی مورد استفاده، عامل مبنا با مقیاس تحلیلی میان‌نگر و محیط زمان و مکان پیوسته بود. مسیریابی با استفاده از الگوریتم مسیریابی \*A با شبکه‌بندی مثلثی استفاده شد. در واقع، محیط داخلی و بیرونی مجموعه اداری با ترسیم خطوطی بین گوشه‌های فضاهای موجود، مثلث‌بندی شد. الگوریتم مسیریابی \*A از جستجوی بهترین ابتدا استفاده می‌کند و کوتاه‌ترین مسیر بین دو گره مبدأ و مقصد را به وسیله گره‌های دیگر می‌یابد. این روش، گره بعدی هر گام حرکت را با ترکیب دو پارامتر "هزینه رسیدن به گره" و "تخمین هزینه رسیدن از آن گره تا نقطه هدف" ارزیابی می‌کند. سپس مسیر حاصل با در نظر گرفتن امتیاز رؤس مثلث‌های واقع در مسیر تعیین میگردد. این امتیازات نقطه هدف محلی (گره‌های میانی در الگوریتم \*A) قرار دادن محدوده رأس این مثلث‌ها است. همچنین انتخاب در خروجی براساس دو شاخص کوتاه‌ترین مسیر و کمترین زمان تخلیه انجام می‌شود (Pathfinder Group, 2014). در تحلیل حاضر، وزن شاخص کوتاه‌ترین مسیر دو برابر شاخص کمترین زمان تخلیه لحاظ شد. افراد بر حسب توانایی حرکتی به دو گروه عادی و کم‌توان تقسیم شدند. گروه نخست شامل ۸۰ درصد و گروه دوم شامل ۲۰ درصد کل افراد تخلیه‌شونده تعریف شد. گروه نخست نماینده افراد جوان و میان‌سال است که توان حرکتی مناسبی دارند. سرعت حرکت بیشتر برای آنها چهار متر بر ثانیه و شتاب افزایشی ۱/۵ متر بر مجذور ثانیه منظور شد. گروه دوم شامل افراد کم‌توان با بیشترین سرعت حرکت ۲/۲ متر بر ثانیه و شتاب افزایشی ۰/۷۷ متر بر مجذور ثانیه

بود. عرض بدن افراد هر دو گروه تابع توزیع نرمال با متوسط ۵۰ سانتی‌متر و انحراف معیار دو سانتی‌متر فرض شد که شامل مقادیری بین ۴۵ تا ۵۵ سانتی‌متر می‌باشد (Kuligowski and Peacock, 2005).

### ۳.۱. سناریوهای اصلی

با انجام مشاهدات میدانی و جمع‌بندی نظرات کارشناسی، سناریوهای اصلی محتمل وقوع بحران در مجموعه مشخص گردید. این سناریوها عبارتند از آتش‌سوزی در موتورخانه و اتاق برق و وقوع زلزله با آسیب جزئی که موجب مسدود شدن تعدادی از پیاده‌روها و خروجی تعدادی از ساختمان‌ها خواهد شد. در مجموع هفت سناریو مورد بررسی قرار گرفته است؛ سناریوهای ۱ تا ۳ مربوط به تهدید آتش‌سوزی و سناریوهای ۴ تا ۷ مربوط به وقوع زلزله است که به دلیل غیرقطعی بودن سقوط تأسیسات و مسدود شدن پیاده‌روها و همچنین بررسی بحرانی‌ترین حالت‌ها و شناخت تأثیر هر یک به صورت مستقل، سناریوهای مربوط به زلزله به صورت جداگانه لحاظ شده است. در نقشه شماره ۲ مکان دقیق عامل بحران را مربوط به هر سناریو نمایش داده شده است.

### ۳.۲. تحلیل و مقایسه نتایج سناریوها

در سناریوهای ۱ تا ۳ (ناشی از آتش‌سوزی) کل افراد حاضر مجموعه (۲۳۴۰ نفر) تخلیه می‌شوند. در سناریوهای ۴ تا ۷ که مربوط به زلزله است، فرض بر محبوس شدن افراد واقع در ساختمان مورد نظر است. در نتیجه تعداد تخلیه‌شوندگان، به اندازه نفرات حاضر در ساختمان مورد تهدید، نسبت به سناریوهای مربوط به آتش‌سوزی کمتر است. نتایج تحلیل نرم‌افزاری کلیه سناریوها در جدول شماره ۱ ارائه شده است.

نتایج نشان می‌دهند که در حالت وقوع زلزله، زمان تخلیه بیشتر از حالت وقوع آتش‌سوزی است. علت این امر، غیرقابل استفاده بودن تعدادی از معابر حیاتی مجموعه در این شرایط است.

### ۳.۳. ارزیابی معابر

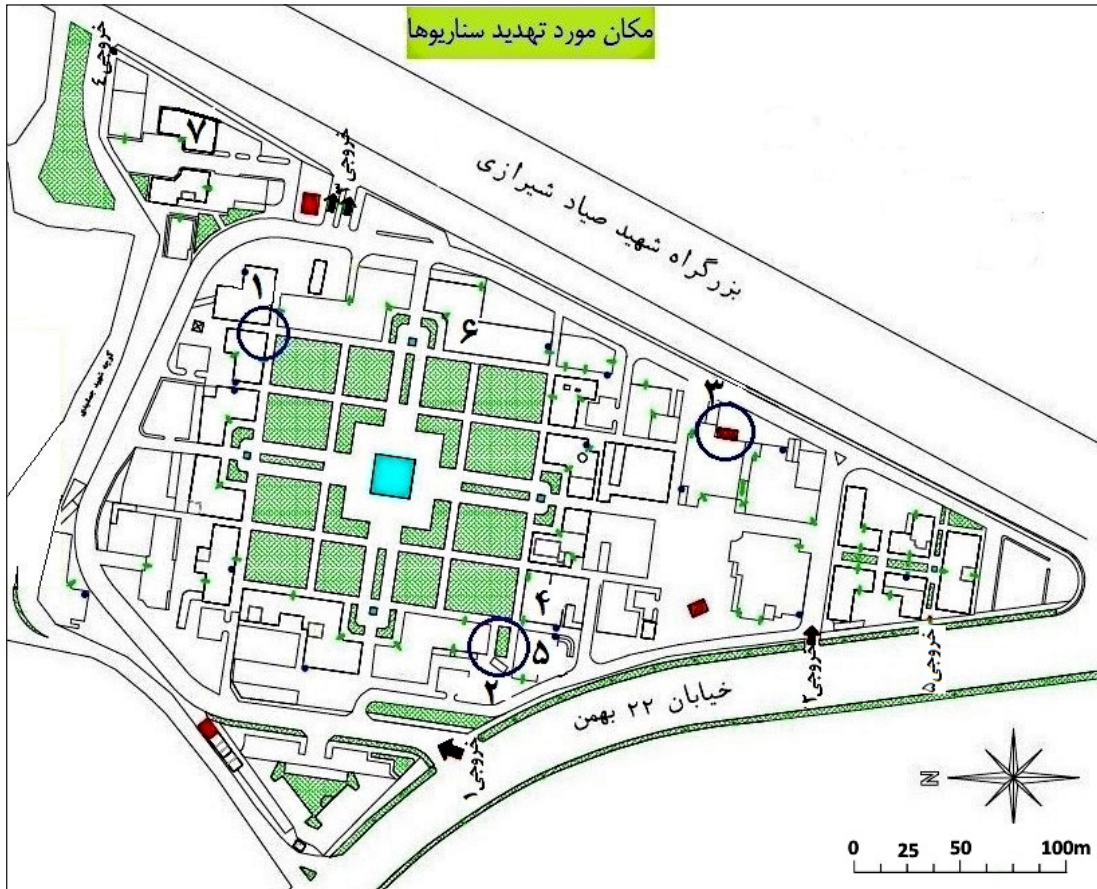
از جمله خروجی‌های شبیه‌سازی، امکان نمایش سه بعدی تخلیه‌شوندگان و مشخص کردن مسیرهای تردد افراد می‌باشد که با استفاده از آن، پیاده‌روهای با تردد زیاد (تراکم خطوط مسیر افراد) مشخص گردیده است. پیاده‌روهای پرتردد (بحرانی) در تمام سناریوها، مطابق جدول شماره ۲ است (پیاده‌رو در این سناریو پرتردد بوده  $(\sqrt{X})$  و یا نبوده  $(X)$ ).

نقشه شماره ۳ موقعیت پیاده‌روهای بحرانی را نشان می‌دهد.

### ۳.۴. نتایج معابر بحرانی

با استفاده از تعداد کل نفرات عبورکننده از هر پیاده‌رو برای سناریوهای بحرانی، بحرانی‌ترین سناریو برای هر پیاده‌رو به دست آمد. نتایج حاصل از تحلیل معابر بحرانی به صورت جدول شماره ۳ است:

پیاده‌روهای ۴، ۲ و ۱ به دلیل محل قرارگیری، گلوگاه دسترسی به خروجی‌ها محسوب شده و به ترتیب بیشترین تردد را داشته‌اند. همچنین پیاده‌رو ۶ به علت عرض کمتر و تردد تعداد زیادی از تخلیه‌شوندگان به طور همزمان، بیشترین چگالی را داشته است.



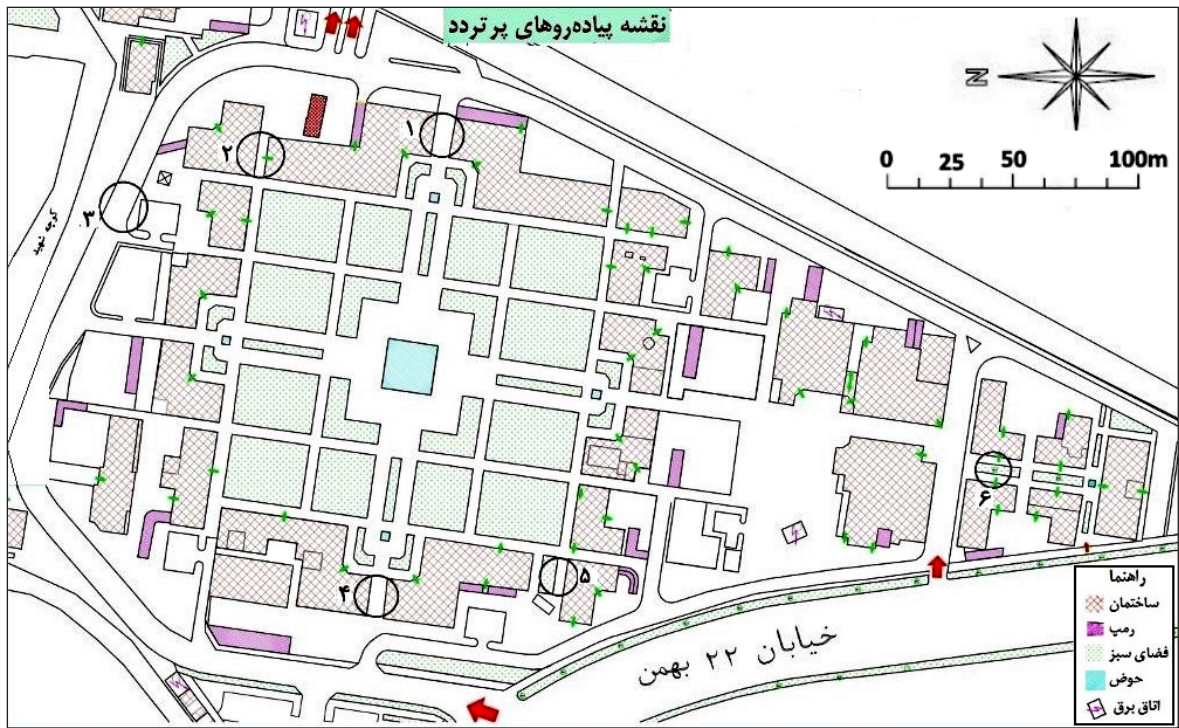
نقشه شماره ۲: مکان عامل بحران زا در هر سناریو

جدول شماره ۱: نتایج تحلیل کلیه سناریوها

سناریو شماره	تعداد تخلیه شوندگان (نفر)	زمان تخلیه کل (ثانیه)	متوسط زمان تخلیه (ثانیه)	انحراف معیار (ثانیه)	وضعیت خروجی ها				
					۱	۲	۳	۴	۵
۱	۲۳۴۰	۲۱۷	۸۸/۴	۴۳/۹	باز	باز	بسته	باز	بسته
۲	۲۳۴۰	۲۴۴	۸۹/۳	۴۶/۳	بسته	باز	باز	باز	بسته
۳	۲۳۴۰	۲۱۵/۱	۸۱/۸	۳۸/۴	باز	بسته	باز	باز	بسته
۴	۲۱۹۳	۳۱۰/۵	۱۱۸/۸	۵۹/۶	بسته	بسته	باز	باز	بسته
۵	۲۲۷۹	۳۴۷/۵	۱۴۱/۵	۷۰/۸	بسته	بسته	باز	باز	بسته
۶	۲۲۵۹	۲۵۹/۳	۹۲/۴	۵۰/۸	باز	باز	بسته	باز	بسته
۷	۲۲۸۳	۲۱۶/۹	۹۲/۴	۴۶/۶	باز	باز	بسته	بسته	بسته
مانور	۲۳۴۰	۲۱۴/۲	۷۲/۹	۳۸	باز	باز	باز	باز	باز

جدول شماره ۲: معابر پرتردد

پایه رو	عرض (متر)	سناریوها						
		۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷
۱	۷/۰	X	✓	✓	✓	✓	X	X
۲	۳/۸	X	✓	✓	✓	✓	X	X
۳	۵/۸	X	✓	X	✓	✓	X	X
۴	۶/۸	✓	X	✓	✓	✓	✓	✓
۵	۴	✓	X	X	X	X	✓	✓
۶	۳/۴	✓	✓	✓	X	X	✓	✓



نقشه شماره ۳: موقعیت معابر بحرانی

جدول شماره ۳: نتایج تحلیل معابر بحرانی

پداده رو	عرض (متر)	سناریو بحرانی	تعداد کل عبور کرده	متوسط نرخ عبور (نفر بر ثانیه)	بیشترین نرخ جریان (نفر بر ثانیه)	تراکم حداکثر (نفر بر مترمربع)
۱	۷/۰	۵	۵۱۸	۲/۶۶	۶/۷	۰/۳۵
۲	۳/۸	۴	۵۳۱	۲/۰۱	۴/۱	۰/۶۲
۳	۵/۸	۵	۲۴۴	۱/۷۴	۴/۱	۰/۳۵
۴	۶/۸	۱	۶۵۳	۴/۰۴	۷/۲	۰/۴
۵	۴	۱	۹۷	۰/۹۲	۲/۵۵	۰/۱۵
۶	۳/۴	۶	۲۰۶	۲/۴	۴/۲۵	۰/۷۱

### ۳.۵. ارزیابی خروجی‌ها

به منظور به دست آوردن کوتاه‌ترین مسیر خروجی هر ساختمان تا بیرون محوطه مجموعه اداری و در نتیجه ارائه پیشنهاد برای اضافه نمودن خروجی جدید، حصار اطراف مجموعه که امکان تعبیه در را داشته - به صورت در مدل شد. نتایج حاصل به صورت تصویر شماره ۳ است.

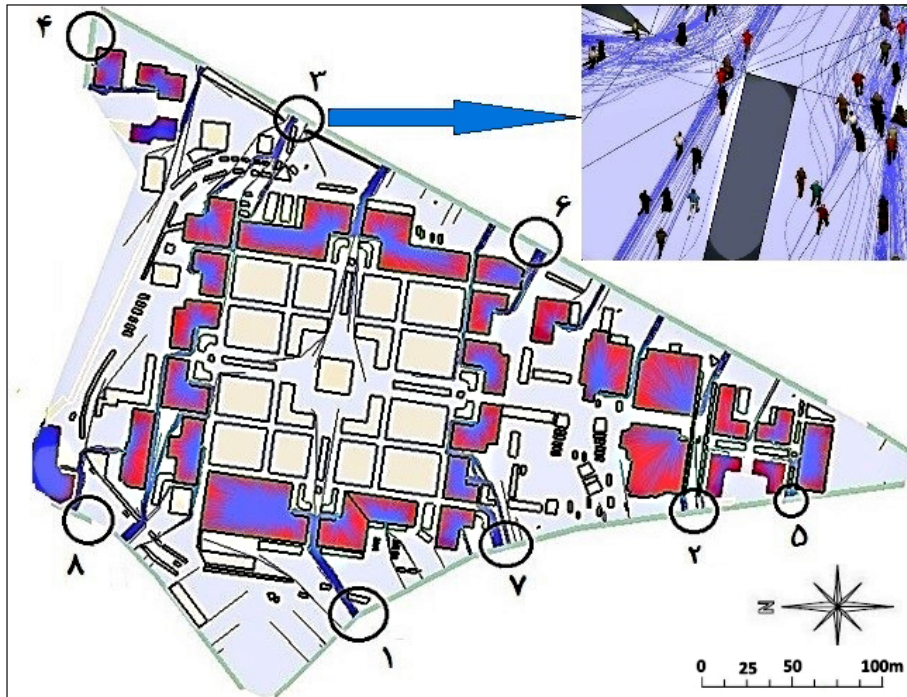
خروجی‌های مجموعه، براساس میزان تردد افراد (تقاضای عبور) ارزیابی شدند. مطابق تصویر شماره ۳، خروجی‌های ۱، ۳، ۴ و ۵ در مکان‌های بهینه تعبیه شده‌اند اما به نظر می‌رسد خروجی ۲ در مکان مناسبی قرار ندارد. عرض خروجی ۵ نسبت به تقاضا، بسیار کم است. با توجه به نتایج، معابر بحرانی ۱، ۲ و ۳ به علت استفاده تعداد زیاد افراد از خروجی شماره ۳ پدید آمده و این امر به دلیل عدم وجود خروجی کافی برای ساختمان‌های شمالی مجموعه است. در نتیجه ضلع شمالی بهترین مکان برای تعبیه

خروجی محسوب می‌شود که متأسفانه به دلیل ساخت مراکز جدید، امکان ایجاد خروجی جدید را ندارد. همچنین در ضلع شرقی مجموعه، با توجه به تردد تعداد زیادی از افراد (حدود ۲۵ درصد کل تقاضا) نیاز به احداث یک خروجی جدید در محل ۶ است که محل دقیق آن با روش وزندهی مطابق با تصویر شماره ۴ و جدول شماره ۵ محاسبه شده است. همچنین در محل‌های ۷ حدود ۸ درصد و در محل ۸ نیز حدود ۱۰ درصد افراد خارج شده‌اند.

جزئیات روش وزندهی برای تعیین محل دقیق به صورت جدول شماره ۴ است:

در نتیجه مرکز قرارگیری از مبدا (تصویر شماره ۴) به صورت رابطه (۱) محاسبه می‌شود:

$$X = \frac{\sum_{i=1}^6 (n_i \cdot X_i)}{\sum_{i=1}^6 n_i} = 156 \text{ متر}$$



تصویر شماره ۳: نتایج تحلیل کوتاه‌ترین مسیر مراکز به خارج از مجموعه



تصویر شماره ۴: تعیین محل در جدید در ضلع شرقی

جدول شماره ۴: تعیین محل خروجی جدید با روش وزن دهی

شماره	تعداد تردد یافته ( $n_i$ )	فاصله تا مبدا ( $X_i$ )	تعداد * فاصله ( $n_i \cdot X_i$ )
۱	۵۲	۰	۰
۲	۶۶	۴۴	۲۹۰۴
۳	۱۸	۸۲	۱۴۷۶
۴	۱۰۲	۱۲۲	۱۲۴۴۴
۵	۹۳	۱۵۸	۱۴۶۹۴
۶	۲۶۴	۲۳۴	۶۱۷۷۶
جمع	$\sum_{i=1}^6 n_i = ۵۹۵$	-	$\sum_{i=1}^6 (n_i \cdot X_i) = ۹۳۲۹۴$



#### ۴. نتیجه‌گیری

عملکرد معابر پیاده در شرایط عادی و بحرانی همچنین میزان اهمیت هر معبر در شرایط عادی و بحرانی لزوماً یکسان نمی‌باشند. در مقاله حاضر، معابر مجموعه اداری غدیر اصفهان در شرایط تخلیه اضطراری بررسی شد و معابر پیاده و خروجی‌ها به عنوان مؤثرترین عوامل در متوسط زمان تخلیه مورد ارزیابی قرار گرفت. همچنین موقعیت خروجی‌های مجموعه ارزیابی شد و مکان دقیق پیشنهادی برای احداث محاسبه گردید.

به علت نبود سابقه بروز بحران در مجموعه‌های مشابه، تعیین سناریوهای محتمل براساس نظر کارشناسی انجام شد. با این وجود، در صورت تغییر این نظرات، کلیه مراحل تحلیل قابل تطبیق با وضعیت جدید می‌باشد.

با توجه به نتایج شبیه‌سازی و همچنین بازدیدهای میدانی مکان مورد مطالعه از دیدگاه تخلیه اضطراری دارای نقاط ضعیفی همچون عدم وجود درهای خروج اضطراری برای ساختمان‌ها (تعدادی از ساختمانها تنها یک در خروج دارند)، عدم وجود تابلوهای راهنمای خروج اضطراری برای ساختمان‌ها و محوطه، عدم وجود افراد آموزش دیده در مجموعه اداری برای کمک‌رسانی در زمان بحران، پارک‌های حاشیه‌ای و غیرمجاز، تأسیسات آویزان در نما و تعدد آنتن‌های مخابراتی و وجود کنتورهای گاز در نزدیکی درهای خروج تعدادی از ساختمان‌ها می‌باشد. همچنین در کلیه سناریوهای مورد بررسی، درصد بسیار بالایی (حدود ۹۰ درصد) از افراد توسط خروجی‌های ۱، ۲ و ۳ خارج شده‌اند؛ این در حالی است که این خروجی‌ها میان پیاده و خودرو مشترک می‌باشند و هر لحظه امکان مسدود شدن آنها توسط خودرو وجود دارد.

براساس نتایج پژوهش، راهکارهایی شامل تعبیه در اضطراری مخصوص خروج اضطراری برای ساختمان‌های موجود، تعریض خروجی‌های فعلی مجموعه خصوصاً درهای نفررو، ایجاد خروجی‌های ویژه پیاده در ضلع شرقی، نصب تابلوهای راهنمای خروج اضطراری، نگهداری و بازدیدهای دوره‌ای به منظور ارتقای ایمنی تأسیسات، تعبیه تجهیزات امدادرسانی همچون شیرهای فشارقوی اطفای حریق در محوطه مجموعه، کاهش تعداد موانع ثابت (همچون نرده‌ها و میله گیت و زنجیرهای پارکینگ‌های اختصاصی) و جایگزین آنها با موانع پلاستیکی و منقطع و مدیریت پارک‌های حاشیه‌ای و ایجاد فضای عبور کافی برای خودروهای امدادی و کنترل پارک خودرو در نزدیکی ورودی پیاده‌روهای اصلی پیشنهاد می‌شود.

#### Reference:

- Abdelghany, A., Abdelghany, Kh., Mahmassani, H. and Alhalabi, W., (2014) "Modeling Framework for Optimal Evacuation of Large-Scale Crowded Pedestrian Facilities", *European Journal of Operational Research* 237, pp. 1105–1118.
- Building Research Center, Iranian code for seismic resistant design of buildings, 1997. [in Persian]

- 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.
- Florian, M., Mahut, M., & Tremblay, N. (2001). A hybrid optimization-mesoscopic simulation dynamic traffic assignment model. In *Intelligent Transportation Systems*, 2001. Proceedings. 2001 IEEE, pp. 121-118.
- Helbing, D. (1991) "A mathematical model for the behavior of pedestrians", *Behavioral science*, No.36(4), pp. 298-310.
- Helbing, D., & Molnar, P. (1995) "Social force model for pedestrian dynamics", *Physical review E*, No. 51(5), pp. 4282.
- Kuligowski E. D., Peacock, R. D., (2005) "A Review of Building Evacuation Models", US Department of Commerce, National Institute of Standards and Technology.
- LU, C. (2011) "The Evacuation Training Problems of an Earthquake in China. In: *Pedestrian and Evacuation Dynamics*", Springer US, pp. 121-127.
- Maher Alnaghsh, A., crisis simulation, Publications Jihad Esfahan University of Technology, 2013. [in Persian]
- Parisi, D. R., & Dorso, C. O. (2007) "Morphological and dynamical aspects of the room evacuation process", *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, No. 385(1), pp. 343-355.
- Pathfinder Group, (2014) "Technical Reference Pathfinder", [www.thunderheadeng.com](http://www.thunderheadeng.com).
- Varas, A., Cornejo, M. D., Mainemer, D., Toledo, B., Rogan, J., Munoz, V., & Valdivia, J. A (2007) "Cellular automaton model for evacuation process with obstacles", *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, No. 382(2), pp. 631-642.
- Von Neumann, J. (1966). *Theory of Self-Reproducing Automata*. University of Illinois Press.
- Yamamoto, F. (2013) "Investigation of an agent-based modeling on crowd evacuation and its application to real buildings", In *Digital Human Modeling and Applications in Health, Safety, Ergonomics, and Risk Management*. Healthcare

and Safety of the Environment and Transport, pp. 373-382.

- Zhang, Q., Zhao, G., & Liu, J. (2009) “Performance-based design for large crowd venue control using a multi-agent model”, Tsinghua Science & Technology, No. 14 (3), pp. 352-359.
- 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.

۱۴

شماره هفدهم

زمستان ۱۳۹۴

فصلنامه  
علمی-پژوهشی

مطالعات  
سازمان

ارزیابی معیارپایه از منظر تخریب اضطراری