فصلنامه مطالعات دفاعی استراتژیک
سال بیست و یکم، شماره ۹۲، تابستان ۱۴۰۲
مقاله هفتم، از صفحه ۱۳۹ تا ۱۶۰

مقاله پژوهشی: شبیه‌سازی سناریوهای تخلیه اضطراری جمعیت در اماکن پر ازدحام به هنگام وقوع بحران

محمد علی نکویی[۱]، پرویز جعفری فشارکی[۲]، محدثه حامدی[۳]

دریافت مقاله: ۱۴۰۱/۱۱/۲۸ پذیرش مقاله: ۱۴۰۲/۰۲/ ۰۷

چکیده

هدف این مقاله، شناسایی عوامل موثر بر تخلیه اضطراری، بررسی وضعیت فعلی فرودگاه، شناسایی گلوگاه‌های خطرزا و ارزیابی تاثیر گلوگاه‌ها در زمان تخلیه جمعیت می‌باشد. جامعه آماری شامل ۵۳ نفر از متخصصان بوده و روش پژوهش ازنوع توصیفی– تحلیلی است. از نظر حل مساله ترکیبی و از نظر نوع نتایج تبیینی می‌باشد. روش نمونه‌گیری تصادفی و از فرمول کوکران استفاده و تحلیل داده‌ها بر اساس نرم افزارهای Any Logic و Anp انجام شده است. بعد از انجام مطالعات اسنادی و کتابخانه‌ای، مصاحبه و تکمیل پرسشنامه عوامل موثر بر تخلیه اضطراری شناسایی شده و سپس شبیه‌سازی دو مدل A وB در نرم افزار Any Logic با توجه به شرایط فعلی و شناسایی نقاط گلوگاهی خطر پذیر در نقاط C،D وE انجام گرفته است. با مقایسه بین دو مدل متوجه می‌شویم که زمان در مدل A با زمان تخلیه کل ۵۲ دقیقه و زمان شبیه سازی۳/۱۷ دقیقه به نسبت مدلB با زمان تخلیه کل۶۲ دقیقه و زمان شبیه سازی ٤/۲۳ دقیقه کاهش بیشتری دارد و می‌توان در راهبردهای حذف موانع، حذف گیت‌های ورودی را در اولویت اول و حذف اتاقک های دفاتر هواپیمایی در راهروی مسیر تردد در ضلع شمالی ساختمان را در اولویت دوم قرار داد. در بررسی نتایج Anp دو پارامتر استفاده از دو درب اضطراری و حذف موانع از رتبه‌بندی بالایی به ترتیب با وزن‌های ۰/۲۸۷ و ۰/۲۶۲ بالاترین رتبه را اختصاص داده است. پژوهش های پیشین یا نگاه شرایط فعلی به مساله تخلیه وارد شده‌اند

واژگان کلیدی: تخلیه اضطراری، سیستم‌های چند عاملی، شبیه‌سازی.

۱. استادیار گروه مدیریت بحران دانشکده پدافند غیرعامل دانشگاه صنعتی مالک اشتر تهران
۲. استادیار گروه مدیریت بحران دانشکده پدافند غیرعامل دانشگاه صنعتی مالک اشتر تهران
۳. دانشجو دکتری گروه مدیریت بحران دانشکده پدافند غیرعامل دانشگاه صنعتی مالک اشتر تهران
Email: mmoh.h000@yahoo.com

مقدمه

از جمله تهدیدهایی که همواره جامعه را مورد هدف قرار داده است، وقوع حوادث و رخدادهای طبیعی است. این موضوع لزوم توجه ویژه به نحوه طراحی و پیاده‌سازی مدیریت بحران را نمایان می‌کند(خانکه و همکاران،۱۳۹٦). تخلیه بهینه و موثر اماکن پر ازدحام جمعیتی به عنوان یکی از مراحل مدیریت بحران، تاثیر مهم و اساسی در کاهش اثر آسیب‌ها دارد. اگر بخشی از جمعیت به جهت شرایطی مانند مسدود شدن مسیرها و یا عدم انتخاب خروجی مناسب نتوانند به موقع موقعیت پر خطررا ترک کنند، ممکن است بر اثر پیامدهای بحران دچار آسیب جدی شوند. در کنار خسارت مستقیم تهدید، پیش‌بینی‌های لازم برای تخلیه اضطراری در طراحی و ارزیابی بسیاری از سازه‌های عمومی نیز مورد توجه مناسب و کافی قرار نگرفته است؛ لذا بایستی مراکز عمومی پر جمعیت طراحی مناسب و موثری جهت تخلیه داشته باشند(ژانگ[1] و همکاران، ۲۰۰۹). دفاع غیرعامل یکی از موثرترین، پایدارترین و کم هزینه‌ترین روش‌های دفاع در مقابل تهدیدات، همواره مورد توجه کشورهای جهان قرار داشته است و عنصری مهم در مدیریت بحران است. بنابراین برنامه‌ریزی در خصوص تخلیه و اسکان اضطراری در زمان جنگ و بحران‌هایی مانند زلزله از اهمیت بالایی برخوردار است(کاملی وهمکاران،۱۳۹۵). دفاع غیرعامل مجموعه اقدام‌های غیرمسلحانه‌ای است که موجب افزایش بازدارندگی، کاهش آسیب‌پذیری، تداوم فعالیت‌های ضروری، ارتقای پایداری ملی و تسهیل مدیریت بحران در مقابل تهدیدها و اقدامات نظامی دشمن می‌شود(جلالی و همکارن، ۱٤۰۱). در اماکن کم ازدحام می‌توان کارایی یک طرح تخلیه را با آزمایش عملی بررسی نمود ولی در اماکن پرجمعیت تر قابل اجرا نیستند و لذا برای این گونه اماکن از مدل‌سازی برای پیش‌بینی تاثیر سناریوهای مختلف تخلیه اضطراری استفاده می‌شوند (کوجولسکی[2]،۲۰۱٤). عامل مؤثّری که بر نتایج یک طرح شبیه‌سازی تخلیه اضطراری تأثیر گذار است، زمان است(ها و لیکوترافیتیس،[3]۲۰۱۸). آمار و ارقام بدست آمده از تحقیقات تجربی نشان می‌دهد که در طول تخلیه اضطراری معمولاً فاجعه دلیل اصلی تلفات نبوده است و احساس وحشت ایجاد شده علت اصلی تلفات است(فانگ، تویل وآگویر[4]، ۲۰۱٦). به همین علت، در بسیاری از شبیه سازها، جنبه‌های مرتبط با استرس در نظر گرفته شده است. ترس و هراس ایجاد

---

1 . Zhang et al.2009
2 .Kuligowski,2014
3 ha et al,2018
4 .fang et al ,2016

شده در میان مردم در مواقع اضطراری می‌تواند پیامدهای منفی برروی خروج جمعیت از یک ساختمان و زمان تخلیه داشته باشد(پلاچینو و تریبولاتو[1]،۲۰۱۵). در موارد اضطراری، رفتار جمعیت در برخی از موارد خاص دارای ویژگی‌های مشترک بوده و با هم همسو می‌باشند. در این موارد مشاهده شده که افراد جهت نجات جان خود به طرف درب‌های خروجی هجوم آورده و باعث فشار آوردن به هم دیگر می‌شوند. (شارما و لهاگونکار[2]،۲۰۱۷) (باسوگی و شین[3] ،۲۰۱۷). استراتژی‌های تخلیه بهینه در کاهش تلفات مهم است(وانگ و ایکسیو[4]،۲۰۲۱). ظرفیت فضای طراحی شده یکی از مهم ترین عامل‌های تاثیرگذار در بحران ازدحام جمعیت است و این بحران معمولاً در شمار بحران‌های با منشأ انسانی طبقه‌بندی می‌شوند. استیل در بررسی‌های خود سه دلیل را برای بحران‌های ازدحام جمعیت شناسایی کرده است. بر این اساس، بحران‌ها به سبب طراحی نادرست فضا اطلاعات نادرست و مدیریت نادرست رخ می‌دهند. خروجی‌ها از عوامل مهم ساختمانی در تخلیه اضطراری هستند. در خروجی‌ها آنچه بسیار بااهمیت است، خروج موثر و در دسترس بودن گذرگاه‌های خروجی است. وجود گوشه و زاویه در مسیرهای عبوری بر سرعت حرکت افراد اثر منفی گذارده و سرعت حرکت افراد را کند می‌نماید. به عنوان نمونه، دایاس و همکاران معتقدند که نرخ جریان جمعیت افراد در مسیری با پیچ ۹۰ درجه، ۲۱ درصد کاهش می-یابد. ساکنان یک ساختمان بیشتر از مسیرهای آشنا و ملموس و ورودی‌های اصلی استفاده می-کنند. گلوگاه‌ها و تنگناها بر جریان حرکت جمعیت افراد اثر می‌گذارند و در واقع سرعت حرکت افراد ارتباطی معکوس با عرض‌های معابر دارد. پس از عبور افراد از تنگناها، سرعتشان زیادتر می-شود. حرکت گروه‌های افراد قبل، درون و بعد از تنگناها متفاوت است(دیاس[5] و همکاران، ۲۰۱۲). حرکت، مفهومی کلیدی در شناخت این مخاطره است و پاسخ به دو پرسش که آیا فضای کافی برای جمعیت وجود دارد؟ آیا فضای مورد نظر مناسب است یا خیر؟ کمک شایانی در کاهش مخاطره ازدحام جمعیت می‌کند(ارژنگی و عسگری، ۱۳۹۸). مکان‌های پر تراکم به دلیل رفتارهای اجتماعی جاری در آن و کاربری خاصشان با مسائل پیچیده‌ای در هنگام تخلیهٔ اضطراری مواجه می‌گردند؛ مثلا در رخداد آتش‌سوزی، نصب کپسول‌های اطفای حریق به تنهایی نمی‌تواند منجر به

[1] .plachino et al ,2015
[2]. sharma et al, 2017
[3] .Busogi et al ,2017
[4] .wang et al ,2021
[5] . Dias et a,2012

پاسخ‌گویی اثرمند و کاهش تلفات و مجروحان در هنگام بحران و تخلیه ایمن شود. تعامل ویژگی-های انسانی با محیط است که نحوهٔ تخلیه پس از رخداد بحران را رقم می‌زند و در نظر نگرفتن ویژگی‌های کالبدی و رفتاری و تعامل این دو با یکدیگر در هنگام فرار پس از حادثه در برنامه‌های تخلیه سبب می‌شود تا مدل‌های موجود به اندازهٔ کافی کارآمد نباشند. تحرک و سکون جمعیت در اماکن پر تراکم ممکن است منجر به آسیب‌های ایمنی و امنیتی به تخلیه اضطراری هنگام وقوع حوادث گردد؛ لذا نادیده گرفتن ابعاد خطرزا، اعم از ساختاری و رفتار افراد در اماکن پر تراکم، حادثه‌ای بزرگتر را ایجاد می‌نماید. در این صورت، بحران ناشی از ازدحام افراد تشدید می‌گردد و تلفات بیشتری رخ می‌دهد. تخلیه اضطراری امن با کمترین حجم تلفات و آسیب‌های وارده از اصلی‌ترین اهداف تخلیه اضطراری در بحران به شمار می‌رود. در سناریوی‌های بحران، دو متغیر محیط و رفتار در دنیای واقعی وجود دارد. این دو عامل از مهمترین عوامل در شبیه‌سازی تخلیه اضطراری هستند که بر یکدیگر اثرگذار می‌باشند؛ لذا در ابتدا تخلیه و رفتار افراد در هنگام فرار و ویژگی‌های محیطی بررسی می‌گردد. تخلیه اضطراری امن در اماکن پرتراکم، از مهمترین و اصلی-ترین برنامه‌های مدیریت بحران است. تخلیه اضطراری در در اماکن پر تراکم می‌تواند منجر به بحران ازدحام گردد و تخلیه ایمن بدون در نظر گرفتن مخاطرات ناشی از گره‌های جمعیتی مقدور نیست. برنامه‌ریزی برای مدیریت بحران و سوانح احتمالی با تاکید بر رویکردهای بنیادینی مانند تخلیه اضطراری جمعیت در اماکن فرودگاهی به عنوان مراکز حمل و نقل، دارای اهمیت بسیار بالا است. غفلت از این مراکز در امور مربوط به مدیریت مخاطرات در بخش‌های مختلف می‌تواند خسارات جبران ناپذیری را برجای بگذارد. بنابراین، اولویت‌بندی و نگاه ویژه مدیران و برنامه‌ریزان به این مراکز در طرح‌های خرد و کلان مدیریت بحران مساله بسیار حساس و با اهمیت است. از سوی دیگر با توجه به قرار گرفتن شهر تهران در زمره شهرهایی که امکان بروز و تاثیرات مخرب بحران‌هایی همچون زلزله، آتش‌سوزی و ... در آنها زیاد است، ایمنی فرودگاه‌های آن نیز یکی از مولفه‌هایی است که ارتباط تنگاتنگی با توسعه پایدار دارد. شناسایی موانع در مسیر تخلیه اضطراری و ارزیابی این وضعیت، تاثیر گلوگاه-ها در مسیر خروج، محاسبه زمان تخلیه مسافرین، عوامل موثر بر تخلیه اضطراری، و شرایط تخلیه اضطراری، از ضروریات جهت تامین و ایمنی فرودگاه‌ها بوده و از اهداف کلی این تحقیق می‌باشد. به طور خلاصه می-توان گفت که هدف از انجام پژوهش حاضر عبارت است از:

۱- شناسایی متغیرهای مؤثر در تخلیه اضطراری در شرایط بحرانی

۲- بررسی سناریو در شرایط فعلی، شناسایی گلوگاه‌های موجود و نقاط خطرپذیر در شرایط تخلیه اضطراری
۳- بررسی مدل‌های خروج جمعیت در حالت حذف گیت‌های ورودی و اثر آن در کاهش یا افزایش زمان تخلیه اضطراری
۳- اولویت‌بندی راهکارهای کاهش زمان تخلیه اضطراری در شرایط بحرانی و مقایسه آن با راهکارهای پیاده‌سازی شده بر اساس شناسایی نقاط خطرپذیر

لذا در این تحقیق با رویکردی گسترده به بررسی حالات گوناگون مساله در حالت شرایط فعلی بدون ایجاد تغییرات در ساختار فرودگاه و سناریوهای گوناگون و مقایسه با شرایط فعلی با رویکرد شبیه‌سازی شده و این از مزایای تحقیق حاضر نسبت به تحقیقات گذشته است که از ابعاد شرایط فعلی و سناریوسازی‌های گوناگون به مساله پرداخته و صرفاً نگاه محضی به موضوع تخلیه اضطراری ندارد.

مبانی نظری

–پیشینه شناسی:

شوچا[1] و همکاران (۲۰۲۲) در مقاله‌ای، تخلیه عابران پیاده ناهمگن را در شرایط حمله تروریستی بررسی نموده‌اند که در آن پژوهش زمان تخلیه و تلفات در سناریوهای مختلف، تجزیه و تحلیل شده است. نتایج نشان می‌دهد که عابران پیاده باید هنگام اجتناب از حملات تروریستی به صورت مناسب به سمت خروجی‌ها حرکت و فرار کنند. رفتارهای توده‌وار و غیر اصولی، تأثیری منفی بر تخلیه دارد که احتمالاً تلفات زیادی را نیز به همراه خواهد داشت. با توجه به الگوی معمولی فرار عابران پیاده تحت حمله تروریستی، عملکرد تخلیه زمانی که گذرگاه‌های خروجی در وسط تاسیسات باشد، بهتر از گوشه‌ها است. علاوه بر این، عرض خروجی تاثیر بسیاری بر تخلیه مطلوب دارد. تعداد و سرعت تروریست‌ها تاثیر بسزایی در مرگ عابران پیاده دارد. تلفات عابران پیاده نیز ارتباط نزدیکی با مواضع اولیه تروریست‌ها دارد. ایکسیا[2] و همکاران (۲۰۲۲) درمقاله‌ای با هدف سناریوی تخلیه مسافران در ایستگاه مترو در شرایط آتش سوزی‌های متعدد، یک روش برنامه‌ریزی مسیر، مبتنی بر بهینه‌سازی با چند هدف را ضمن استفاده از الگوریتم NSGA-II و Pathfinder بررسی نموده‌اند. این روش می‌تواند برای هدایت تخلیه مسافران در ایستگاه‌های مترو تحت چندین منبع خطر و بهبود شاخص ایمنی افراد استفاده شود. وانگ[3] و همکاران (۲۰۲۱)، بر

1 . Shuchao et al,2022
2 . Xiaoxia et al,2022
3 . Wang et al,2021

اساس الگوریتم پیشنهادی شبیه‌سازی آتش سوزی را در فرودگاه بایون با تعداد افراد متعدد و درب‌های مختلف، انجام داده و زمان تقریبی تخلیه را تعیین نموده و هدفشان ارزیابی ظرفیت تخلیه بوده است. آنان به این نتیجه رسیده‌اند که توزیع خروجی‌های فرودگاه با تعداد زیاد افراد خطرناک است؛ بنابراین دو خروجی جدید طراحی نموده‌اند. در هر دو سناریو، زمان تخلیه با تراکم بالا افزایش می‌یابد. تفاوت بین این دو سناریو در این است که وقتی افراد کمی هستند (۱۰ تا ۱۵۰ نفر)، تفاوت در زمان تخلیه زیاد نیست. زمانی که تعداد افراد زیاد است، تفاوت زمان تخلیه آشکار است. وقتی تعداد افراد ٤٠٠ تا ۵۰۰ نفر باشد، طرح اصلاح شده زمان تخلیه طرح اولیه را نزدیک به ۵ ثانیه کوتاه می‌کند. ژو[1] و همکاران (٢٠١٦)، با مدل‌سازی یک کلاس درس مشتمل ۹۸ دانشجو به بررسی تاثیر موانع موجود در کلاس و راهروی کنار میز ها و صندلی‌ها بر روند تخلیه پرداختند و دریافتند که برخورد دانشجویان با یکدیگر اغلب در محل تقاطع راهروها اتفاق می‌افتد، نه جلوی درب خروجی. گیورگداس[2] و همکاران (۲۰۱۵)، در آزمایشی که در یک کلاس درس انجام داده‌اند، یک سیستم پیش‌بینی کننده را مطرح نموده که در طی فرآیند تخلیه عابرین پیاده عمل نموده و مانع از شکل‌گیری فضاهایی با تراکم بالا می‌گردد. تانگ[3] و همکاران (۲۰۱۵) به بررسی اثر خصوصیات فردی دانش آموزان در فرآیند تخلیه کلاس درس با دو خروجی با لحاظ نمودن رفتارهای منطقی و غیرمنطقی توسط مدل اتوماتای سلولی پرداخته‌اند. نتایج آنها نشان داد که تعداد دانش آموزان با رفتارهای غیرمنطقی، تاثیر قابل ملاحظه‌ای در نتیجه فرآیند تخلیه دارد. ارژنگی (۱۳۹۸) به تدوین چارچوب عملیاتی شبیه‌سازی تخلیهٔ اضطراری جمعیت بازارهای تاریخی هنگام آتش‌سوزی پرداخته است. نتایج بدست آمده، مدلی را ارایه داده که محور اصلی آن را زمان تشکیل می‌دهد و مؤلفه‌های انسانی و فضایی در آن در طول زمان تخلیه مد نظر است. ضرغامی و ریسمانیان (۱۳۹۸) که به مدلسازی یک کلاس به بررسی تاثیر تعداد درب‌ها بر فرآیند تخلیه دانش اموزان پرداخته‌اند، به این نتیجه رسیده‌اند که افزایش تعداد درب‌ها تاثیر بسزایی در کاهش زمان تخلیه دارد و در صورت افزایش یک درب به دو درب، زمان تخلیه بیش از ۲۰ درصد کاهش می‌یابد. مردانی و همکاران (۱۳۹۷) در مقاله‌ای تحت عنوان بـه کارگیری شـبیه‌سازی در ارزیابی تخلیه اضطراری ایستگاه مترو مشهد پرداخته‌اند. نتایج این تحقیق نشان داده است که زمان

[1] . Zhu et al,2016
[2] . Georgoudas et al,2015
[3] . Tang et al.2015

تخلیه این ایستگاه حداکثرپانزده دقیقه است و نیاز است شرایط به گونه‌ای مهیا گردد که طی این پانزده دقیقه امکان تخلیه ایمن برای مسافران ایستگاه فراهم شود و یا بخشی به عنوان رفوژ تعبیه گردد.

هدف از انجام پژوهش حاضر عبارت است از تبیین مدل ارزیابی مدیریت تخلیه اضطراری جمعیت در سالن شماره دو فرودگاه با توجه به بررسی سناریو شرایط فعلی و بررسی مدل حذف گیت‌های ورود و حذف اتاق‌های دفاتر هواپیمایی در این پژوهش؛ همچنین پاسخ به دو پرسش که آیا در شرایط فعلی بدون ایجاد تغییرات در ساختار فرودگاه، فضای کافی برای عبور جمعیت از گیت‌های ورودی و مسیرها وجود دارد؟ آیا در فضای مورد نظر گلوگاه‌های ایجاد کننده گره‌های جمعیتی وجود دارد و یا خیر؟ (می‌تواند کمک شایانی در کاهش مخاطره ازدحام جمعیت نماید؟)

مفهوم شناسی:

مدل

مدل، نمایش هدفمندی از سیستم واقعی به منظور حل مسئله و پاسخ به سوالات پیرامون یک سیستم یا بخشی از آن ایجاد می‌شود و تدوین مدل به پژوهشگر یاری می‌دهد تا بتواند چگونگی کارکرد سیستم را توضیح داده و الگوهای رفتاری سیستم را در پاسخ به تغییرات پیش‌بینی کند(مانلی و همکاران[1]،۲۰۱۸). در شبیه‌سازی برای توصیف و تحلیل رفتار یک سیستم واقعی به طرح برخی سوالات پرداخته می‌شود و به بهبود سیستم‌های موجود و طراحی سیستم‌های جدید می‌انجامد. به‌طور کلی می‌توان هر دو سیستم‌های واقعی و مفهومی را در فضای شبیه‌سازی مدل نمود(هلیوارا و همکاران[2]، ۲۰۱۹).

تخلیه اضطراری

تخلیه بهینه مراکز پر ازدحام جمعیتی، تاثیر مهمی در کاهش آسیب‌ها دارد. اگر بخشی از جمعیت بر اثر شرایطی مانند مسدود شدن مسیر و یا عدم انتخاب خروجی مناسب نتوانند به موقع محل حادثه را ترک کنند، ممکن است بر اثر پیامدهای بحران آسیب ببینند. در کنار عامل تهدید، رفتار وحشت‌زده جمعیت نیز به نوبه خود می‌تواند باعث تلفات شود؛ البته هرج و مرج در تخلیه تا حدودی امری طبیعی است(ژانگ[3]،۲۰۰۹). درکنار خسارت مستقیم بحران، پیش بینی‌های لازم برای تخلیه اضطراری در طراحی و ارزیابی بسیاری از مکان‌های عمومی مورد توجه و دقت

1 . manely et al,2018
2 . helivara et al,2019
3 . Zhang et al,2009

مناسب قرار نگرفته است؛ لذا بسیاری بایستی مراکز عمومی پر جمعیت از طراحی مناسبی جهت تخلیه دارا باشند. یک طرح تخلیه مناسب باید به خوبی به استفاده کنندگان شامل مدیریت، کارکنان و مراجعه کنندگان متناسب با نقشی که در فرآیند تخلیه دارند، آموزش داده شود. برنامه‌ریزی تخلیه اضطراری قبل از وقوع بحران انجام می‌شود(کاتر[1]،۲۰۰۳).

شبیه سازی تخلیه اضطراری

مطالعات در حیطه شبیه‌سازی در سه دسته کلان، متوسط و جزئی تقسیم بندی می‌گردند. این شبیه‌سازی‌ها پویا هستند و مدلی بصری از رفتار و حرکت جمعیت را نشان می‌دهند. مدل‌های شبیه‌سازی جمعیت را در دو دسته مدل‌های ماکروسکوپی و میکروسکوپی تقسیم می‌شود که با روش‌های نوین با رایانه شبیه‌سازی می‌گردند. مدل‌سازی به نحوه حرکت و رفتار هر عامل کمک می‌کند که اطلاعات حرکت کل جمعیت را به دست آوریم(هلیوارا و همکاران[2]،۲۰۱۹).

شبیه‌سازی، فرآیند طراحی مدل سیستم واقعی و انجام آزمایش برای درک رفتار و ارزیابی استراتژی‌های مختلف در محدوده مجموعه معیارهای بررسی شده است (کیم و همکاران[3]،۲۰۱۲).

فرآیند تحلیل شبکه ای

فرآیند تحلیل شبکه‌ای(ANP) از مجموعه مدل‌ها و روش‌های تصمیم‌گیری در چند معیار هست. کار اصلی این مدل، تعیین ارزش و اهمیت معیارها و شاخص‌های موجود در گزینه‌های تصمیم‌گیری (در صورت وجود) است. بیشتر روش‌های تصمیم‌گیری، چند معیار با فرض استقلال معیارها، بنا شده‌اند، ولی این مورد همیشه به واقعیت نزدیک نیست. بنابراین در صورت استفاده، ممکن است انحرافی در نتیجه به دست آمده ایجاد شده و منجر به ارزیابی‌ها و تحلیل‌های نادرست گردد. بنابراین فرآیند تحلیل شبکه‌ای (ANP) که به وابستگی بین معیارها تأکید دارد، انتخاب می‌شود(نیوپانی[4]،۲۰۰٦).

روش‌شناسی تحقیق

رویکرد پژوهشی در این تحقیق، کمی و کیفی است. براساس هدف کاربردی، از نظر زمان جزء پژوهش‌های آینده‌گرا، از نوع پیمایشی و در سطح اکتشافی صورت می‌پذیرد؛ زیرا به دنبال شناسایی و کشف آینده‌ها و سناریوهای ممکن برای آن هستیم و می‌خواهیم بر مبنای سناریوهای

---

[1] . Cutter,2003
[2]. helivara et al,2019
[3] . Kim et al, 2012
[4] . Neaupane Neaupane,2006

ممکن به بررسی تاب‌آوری فرودگاه بپردازیم. در روش میدانی بنا به موضوع از فنون مختلف چون مصاحبه، پنل خبرگان و پرسشنامه (۵۳ پرسشنامه بین نخبگان حیطهٔ تخلیه اضطراری و استادان دانشگاهی به عنوان جامعه آماری) استفاده شده است.

داده‌های کیفی از طریق پرسشنامه باز و مصاحبه و بررسی منابع و داده‌های کمی و وزن‌دهی پرسشنامه دلفی بدست آمده و در پردازش داده‌ها از تکنیک دلفی استفاده شده است. روش پژوهش در ۳ مرحله زیر ارایه می‌گردد:

- شناسایی و تدوین عوامل مؤثر بر تخلیه اضطراری

پس از بررسی مبانی نظری در مورد متغیرهای تحقیق و جمع بندی به کمک تحلیل منطقی و استدلال عقلی، گویه‌های اولیه‌ای از عوامل مؤثر بر تخلیه اضطراری شناسایی و برای برای مدل سازی در نرم افزار Any Logic در نظر گرفته می‌شوند.

- شبیه‌سازی در مدل شرایط فعلی (سناریو اول) و دو مدل A و B در نرم افزار Any Logic

جامعه پژوهش در این مدل شامل دو گروه جنسیتی از افراد (زن و مرد) درسه طیف کودکان، بزرگسالان و سالخوردگان می‌باشد. رفتار افراد را از آغاز شروع بحران تا تخلیه کامل جمعیت با سرعت‌های مختلف برای سنجش «رفتار» جمعی نشان می‌دهد و با توجه نتایج شبیه‌سازی در دو مدل A و مدل B آمده است. در مدل A از طریق مصاحبه‌های عمیقی که با متخصصان و دست اندرکاران و برداشت‌های میدانی انجام شده است، رفع گیت‌های ورود و حذف اتاق‌های دفاتر هواپیمایی در دو نقطه D و C درمسیر حرکت افراد تازه از هواپیما پیاده شده پیشنهاد می‌گردد. این دو نقطه، گلوگاهایی در مسیر تردد افراد می‌باشند. وجود گوشه و زاویه در مسیر حرکت بر جریان و سرعت حرکت اثر می‌گذارد و سرعت حرکت را کند می‌کند. حرکت جمعیت قبل، درون و بعد از گلوگاه‌ها متفاوت است.

از آنجا که هدف نهایی مقایسه زمان تخلیه در سناریوهای شرایط فعلی و دو مدل A و B است و زمان پیش از حرکت تاثیری بر مقایسه نتایج ندارد، لذا زمان پیش از حرکت صفر در نظر گرفته شده است. در شرایط بحران مانند زلزله یا آتش سوزی متوسط، سرعت راه رفتن هر شرکت کننده به عنوان از ضریب خاموشی است و ضریب کاهش دید و یا سرعت به علت بحران و یا دود

است. براساس مطالعات برای کودکان، بزرگسالان و سالخوردگان سرعت حرکتی میانگینی که باید متناسب با حرکت این افراد باشد به ترتیب ۰/٦ و ۰/۸ و ۰/٤٥ درصد در نظر گرفته شده است(فریدلوف و رانچی[1]،۲۰۱۳).

در شرایط عادی با بررسی آمار پروازها و تعداد مسافران در مدل معمول تراکم مسافران در مدل ۲۰۰۰ هزار نفر در هر ساعت در نظر گرفته شده است. در این مرحله با توجه به نتایج شبیه‌سازی و مقایسه زمان‌های کل تخلیه، سناریو بحرانی‌تر مشخص و زمان‌های تخلیه فرودگاه در حالات مختلف بررسی می‌شود.

- **رتبه بندی راهکارهای تخلیه اضطراری در نرم افزار Anp**

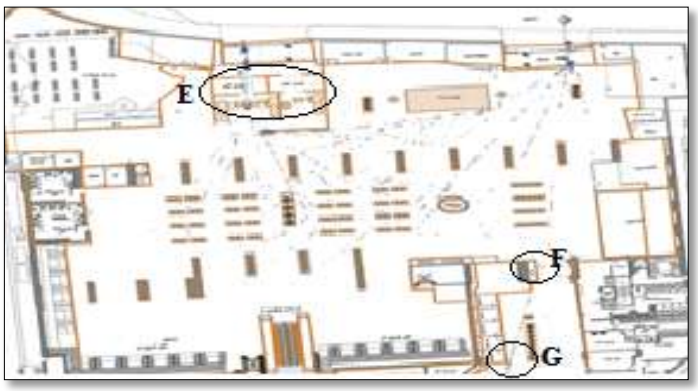
به منظور کاهش مدت زمان وافزایش تعداد خروج افراد، راهکارهای تخلیه اضطراری در نرم افزار Anp رتبه بندی می‌گردد و به صورت پرسشنامه‌ای بر اساس نظر کارشناسان و متخصصان امر تخلیه اضطراری در هلال احمر و آتشنشانی و نخبگان دانشگاهی صورت می‌گیرد و از روش نمونه‌گیری تصادفی و از فرمول کوکران استفاده شده است. محدوده مورد مطالعه سالن شماره دو فرودگاه مهرآباد می‌باشد.

تجزیه و تحلیل داده‌ها و یافته‌های تحقیق

در ابتدا سناریو شرایط فعلی (سناریو اول) برای مدل‌سازی در نرم افزار Any Logic به کار رفته شده که مدل حاصل در ادامه ارائه می‌شود. در این سناریو در صورت وقوع بحران، امکان استفاده از راه پله، پله برقی و آسانسور وجود دارد، مانعی در ورودی‌ها و خروجی‌ها وجود ندارد و اتاق کنترل سالم است. این سناریو بهترین و مطلوب‌ترین شرایط ممکن برای تخلیه اضطراری جمعیت است، زیرا در این سناریو مدل بحرانی در نظر گرفته نشده است. در این مرحله با توجه به نتایج شبیه‌سازی، سناریو اول (شرایط فعلی) نقاط گلوگاهی در نقشه مشخص می‌گردد. بعد از شناسایی نقاط گلوگاهی و پرخطر آنها را در مدل مجددا اصلاح نموده تا به بررسی تغییرات و افزایش و یا کاهش اثر آن در زمان تخلیه می‌پردازیم. با توجه نتایج شبیه‌سازی نقاط پرخطر، شامل گیت ورود (E) و اتاق‌های دفاتر هواپیمایی در دو نقطه D و C در مسیر حرکت افرادی است که تازه از هواپیما پیاده شده‌اند. این دو نقطه، نقاط گلوگاهی در مسیر تردد افراد می‌باشند، زیرا وجود گوشه و زاویه در مسیر حرکت بر جریان و سرعت حرکت اثر می‌گذارد، سرعت حرکت را کند

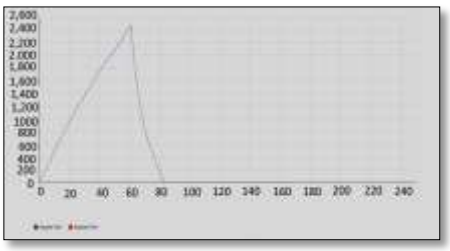
[1] . Fridolf Neaupane,2013

می‌کند و حرکت جمعیت قبل، درون و بعد از گلوگاه‌ها متفاوت است. شکل ۱ وضعیت اجزاء مدل سناریو شرایط فعلی طبقه همکف را نشان می‌دهد. در این شکل درب‌های ورودی و خروجی با فلش مشخص گردیده که بر حسب سناریو همه درب‌های ورودی و خروجی سالم هستند و تراکم همان مقدار واقعی روزمره (۲۰۰۰ نفر در هر ساعت) است.



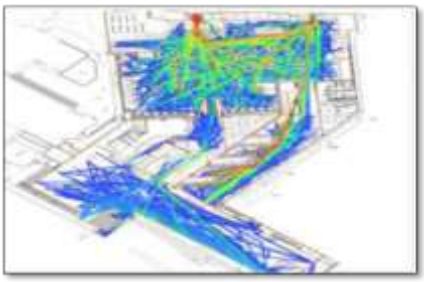
شکل۱- وضعیت اجزاء مدل شرایط فعلی طبقه همکف با نمایش نقاط گیت ورودی(E) وفروش بلیط (G و F)

شکل (۲) هیستوگرام درصد تخلیه افراد بر حسب زمان بعد از شروع بحران، شکل (۳) نمودار تعداد افراد تخلیه شده بر حسب زمان بعد از شروع بحران را نشان می‌دهد.

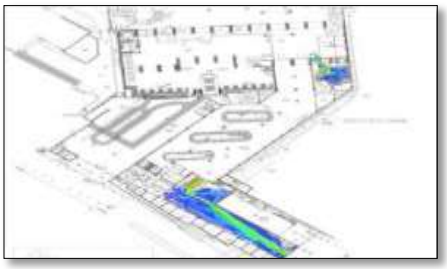


شکل ۲- نمودار خطی سناریو شرایط فعلی شکل ۳- هیستوگرام سناریو شرایط فعلی (زمان تخلیه ۵,۱۵ دقیقه)

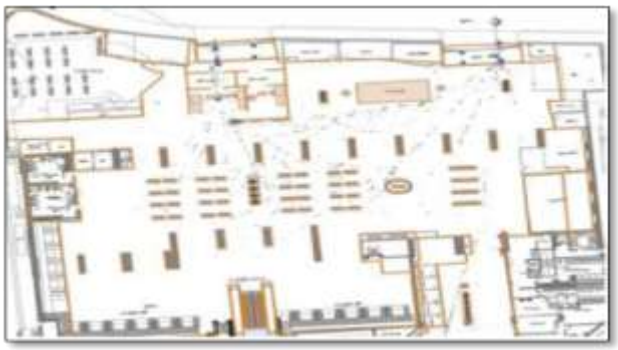
در این سناریو تعداد خروج افراد در دقیقه ٦۰، ۲٦۵۰ نفر برآورد شده، زمان مورد نیاز جهت خروج افراد ۷۵ دقیقه و زمان شبیه سازی ۵/۱۵ دقیقه است. نقشه حرارتی در شکل (٤) و(۵) ودر شکل ۷ وضعیت اجزاء مدل بدون مشخص نمودن نقاط پرخطر در سناریو فعلی بدون ایجاد تغییرات در طبقه همکف آمده است. در نقشه حرارتی رنگ قرمز نقاط پرتراکم را نشان می‌دهد.



شکل ٤- نقشه حرارتی (شمای کلی فرودگاه)



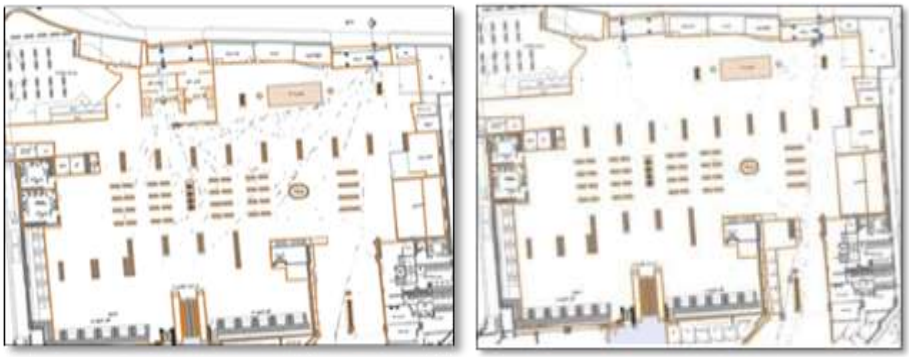
شکل ٥- نقشه حرارتی (مسافران از هواپیما پیاده شده)



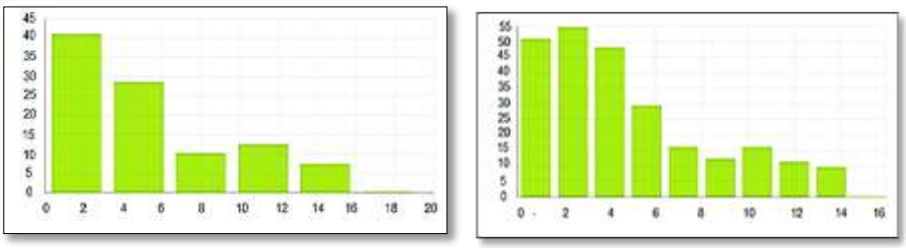
شکل ۷ - وضعیت اجزاء مدل سناریو شرایط فعلی طبقه همکف

در ادامه به مدل سازی تخلیه اضطراری در مدل A وB پرداخته شده است. در این بخش به تأثیر متغیرهایی اعم از، رفع گیت های ورود(مدل A) و حذف اتاق های دفاتر هواپیمایی در دو نقطه D و C (مدل B) پرداخته شده است. از جدول ٤ می توان نتیجه گرفت که در مدل A زمان نسبت به A^1 (مدل بدون تغییرات) کاهش یافته است، در واقع در مدل A، ۲٤٥۰ نفر در ۵۲ دقیقه محل را ترک می‌کنند و در مدل A^1 نیز همین تعداد نفر در ۷۵ دقیقه محل را ترک می‌کنند. دلیل افزایش زمان در مدل A^1 به این دلیل است که گیت‌های ورود حذف نشده است. همچنین در مدل B زمان نسبت به B^1 (مدل بدون تغییرات) کاهش یافته است، در واقع در مدل B، ۲٤٥۰ نفر در ٦۲ دقیقه محل را ترک می‌کنند و در مدل B^1 نیز همین تعداد نفر در ۷۵ دقیقه محل را ترک می‌کنند. دلیل افزایش زمان در مدل B^1 به این دلیل است که اتاق های دفاتر هواپیمایی در دو نقطه D و C حذف نشده است. این دو نقطه با توجه به شکل مشهود است نقاط گلو گاهی در مسیر تردد افراد است و گره های جمعیتی در این نقاط ایجاد شده است؛ زیرا وجود گوشه و زاویه در مسیر حرکت بر جریان و سرعت حرکت اثر می‌گذارد و سرعت حرکت را کند می‌کند وحرکت جمعیت قبل، درون و بعد از گلوگاه‌ها متفاوت است. درشکل ۸ و ۹ جزییات مدل A و مدل B، شکل ۱۰ و ۱۱

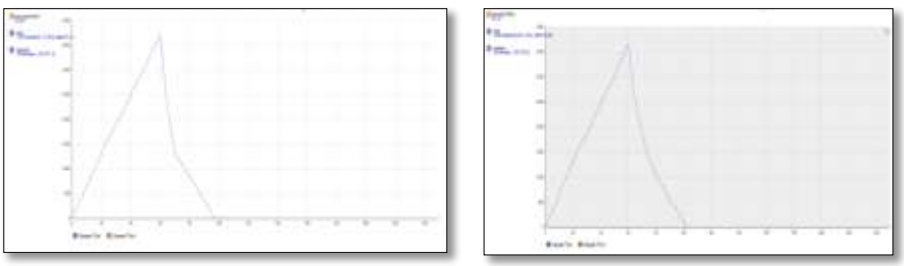
هیستوگرام‌ها، شکل ۱۲ و ۱۳ نمودارهای خطی و در شکل ١٤ و ۱۵ نقشه‌های حرارتی آمده است. در جدول ۱ مقایسه زمان تخلیه در دو مدل A، B انجام شده است.



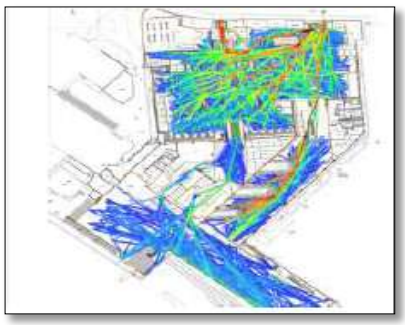
شکل۸ – مدل A . حذف گیت ورودی **شکل۹- مدل B. حذف اتاق های دفاتر هواپیمایی در دو نقطه C وD**



شکل ۱۰ - هیستوگرام مدل A (زمان ۳/۱۷) **شکل ۱۱- هیستوگرام مدل B (زمان ٤,۲۳)**



شکل ۱۲: نمودار خطی مدل A



شکل ۱۳: نمودار خطی مدل B

شکل۱٤: نقشه حرارتی تراکم خروج درمدل A شکل۱۵: نقشه حرارتی تراکم خروج در مدل B

جدول۱: زمان تخلیه و شبیه‌سازی و تعداد افراد در ۳ مدل شرایط فعلی A , B

سناریو ها / پارامترها	سناریو شرایط فعلی	مدل A	سناریو شرایط فعلی	مدل B
تعداد افراد خارج شده	۲٤٥۰	۲٤٥۰	۲٤٥۰	۲٤٥۰
زمان تخلیه	۷٥	٥۲	۷٥	٦۲
زمان شبیه سازی	٥/۱٥	۳/۱۷	٥/۱٥	٤/۲۳

در ادامه به منظور کاهش مدت زمان لازم و افزایش تعداد خروج افراد جهت تخلیه اضطراری شبیه‌سازی رفتار تخلیه راهکارهایی را با تکنیک تحلیلی Anp به منظور رتبه‌بندی استفاده خواهیم نمود. پردازش داده‌ها در این مرحله در دو سطح انجام گرفته که عبارتند از: توصیف داده‌ها و تحلیل و تبیین آنها، در مرحله توصیف داده‌ها، جامعه مورد مطالعه با توجه به متغیرهای مورد نظر توصیف شده و تصویری از وضع موجود ارائه می‌گردد، در این بخش تنـها متغـیرهای زمینه‌ای و اصلی تحقیق توصیف می‌شوند، در قسمت تحلیل داده‌ها از آمار استنباطی به منظور بررسی متغیرها، یافته‌ها و نتایج مربوط به ارائه مدل تخلیه اضطراری جمعیت در اماکن پرازدحام، در قالب تحلیل فرضیات پرداخته می‌شود. برای تحلیل داده‌ها از نرم افزار SPSS و مـدل تصمیم‌گیری ANP از نرم افزار Super Decision استفاده شده است. مقادیر شاخص‌های توصیفی برای معیارهای اصلی تخلیه اضطراری جمعیت در جدول ۲ آورده شده است.

جدول۲: مقادیر شاخص‌های توصیفی در خصوص متغیرهای موثر بر تخلیه اضطراری

متغیر	تعداد	میانگین	میانه	مد	انحراف معیار	مینیمم	ماکزیمم
اضافه نمودن درب ها	۱٦۰	٤/۳۱	٤/٥	٥	۰/۷٤	۲	٥
برداشتن موانع مسیر	۱٦۰	۳/٥	۳/۷٥	٤	۰/۸	۲	٥

طراحی مناسب مسیرها	۱٦۰	۳/۲۷	۳	۳	۰/۸٦	٤/٦۷
اعلام به موقع تخلیه	۱٦۰	۳/۲۲	۳	۲/٦۷	۰/۸٤	۵
وجود تجهیزات ویژه	۱٦۰	۳/۱۳	۳/۲۵	۳/۲۵	۰/۷۵	۵

با توجه به نتایج مشاهده می‌شود که میزان میانگین متغیرهای مربوط به تخلیه اضطراری در حد متوسط و بیشتر از متوسط ارزیابی شدند. در این تحقیق، ارزیابی و اولویت بندی عوامل موثر بر تخلیه اضطراری، از روش ANP و با استفاده از نرم افزار سوپر دسیژن انجام می‌شود. در جدول ۵ معیارها و زیرمعیارهای موثر بر تخلیه اضطراری جمعیت و در جدول ۳ گزینه‌های مربوط به عوامل موثر بر تخلیه اضطراری جمعیت در اماکن پر ازدحام، آورده شده است:

جدول۳: معیارها و زیرمعیارهای مربوط به عوامل موثر بر تخلیه اضطراری جمعیت

علامت اختصار	معیارها	زیرمعیارها	علامت اختصار
A	زمان	زمان فرار در راهروها و پله ها	a1
		زمان فرار در سالن انتظار	a2
		زمان پاسخ برای شروع طرح اضطراری	a3
B	هزینه	بعد اجرایی هزینه	b1
		کاهش خسارات مالی	b2
		کاهش خسارات جانی	b3
C	قابلیت اجرا	توانایی نظارت و پیشگیری از خطرات احتمالی	c1
D	قابلیت تشخیص	قابلیت هدایت عملیات نجات	c2
		قابلیت تشخیص در حین حادثه	d1
E	دسترسی آسان	دسترسی آسان حین حادثه	e1
F	وسعت فضایی حادثه	وسعت فضایی حادثه	f1
G		خسارت	g1
H	سطح آمادگی	سطح آمادگی	h1
I	اطمینان فرد	اطمینان فرد	i1
J	تاثیرات محیطی	تاثیر بر روی ترافیک	j1
		تاثیر بر عموم	j2

جدول٤: گزینه‌های مربوط به عوامل موثر بر تخلیه اضطراری جمعیت در اماکن پرازدحام

گزینه ها	علامت اختصار
اضافه نمودن درب ها	alt1

برداشتن موانع مسیر	alt2
طراحی مناسب مسیرها	alt3
اعلام به موقع تخلیه	alt4
وجود تجهیزات ویژه	alt5

در نهایت جدول مقایسه تمام معیارها و زیرمعیار ها و گزینه ها با توجه به هدف در زیر نشان داده شده است:

جدول۵: وزن معیارها و زیرمعیارها و گزینه‌ها با توجه به هدف

نام	وزن نرمال در هر شاخه	وزن کلی
زمان	./١٦٤٢٣	/٥٢٢٧٣
هزینه	/٤٦٢٦	/١٤٧٢٣
قابلیت اجرا	/٢٣٧٧٦	/٧٥٦٧٦.
قابلیت تشخیص	/١١٧٣٨	/٠٣٧٣٦١
دسترسی آسان	/١٠٩٧٩	٠/٣٤٩٤٥.
وسعت فضایی حادثه	/٠٤٤٥١	/٠١٤١٦٨
خسارت	/٠٣٣٥٦	/٠١٠٦٨٢
سطح آمادگی	/١١٦٧٨	/٠٣٧١٧
اطمینان فرد	/٠٦٤٩٧	/٠٢٠٦٧٩
تاثیرات محیطی	/٠٣٢٣٢	/٠١٠٢٨٦
ضمانت تردد	/٠٣٢٤٤	/٠١٠٣٢٦
زمان فرار در راهروها و پله‌ها	/٦٥٤٩٦	/٠٠٤٤٣١١
زمان فرار در سالن انتظار	/١٢٩٠٥	/٠٠٨٧٣١
زمان پاسخ برای شروع طرح اضطراری	/٢١٥٩٨	/٠٤٦١١٢
بعد اجرایی هزینه	/٦٠٨٤٤	/٠٠٨٩٥٨
کاهش خسارات مالی	/٠٨١٠٣	/٠٠١١٩٣
کاهش خسارات جانی	/٣١٠٥٣	/٠٠٤٥٧٢
توانایی نظارت و پیشگیری از خطرات احتمالی	/٩٩٤٩	/٠١٦١٠١
قابلیت هدایت عملیات نجات	/٨٠٠٥١	/٠٦٤٦٠٨
قابلیت تشخیص در حین حادثه	١	/٤١٣٨٧
دسترسی آسان حین حادثه	١	/٠٤٥٢٩٢
وسعت فضایی حادثه	١	/٠١٤١٦٨
خسارت	١	/٠١٠٦٨٢
سطح آمادگی	١	/٠٣٧١٧

اطمینان فرد	۱	./۰۲۰٦۷۹
تاثیر بر روی ترافیک	./۲٤۹۰۹	./۰۰۳۰۲۵
تاثیر بر عموم	./۷۰۵۹۱	./۰۰۷۲٦۱
وضعیت جریان ترافیک	./۲٤۳۵۱	./۰۰۵۰۳٤
وضعیت مدیریت ترافیک	./۷۵٦٤۹	./۰۱۵٦۳۹
اضافه نمودن درب ها	./۲۸۷۲	./۹۱۳۵٦
برداشتن موانع مسیر	./۲٦۲۹۱	./۸۳٦۸
طراحی مناسب مسیرها	./۲۵۸۵۸	./۸۲۳۰۲
اعلام به موقع تخلیه	./۱۳۷۹۹	./٤۳۹۲
وجود تجهیزات ویژه	./۰۵۳۵۱	./۱۷۰۳۱

همانطور که در جدول ۵ مشاهده می‌شود، معیار قابلیت اجرا و زمان به ترتیب با وزن‌های ۰/۲۳۷ و ۰/۱٦٤ بالاترین رتبه را بین معیارها به خود اختصاص داده است و معیارهای ضمانت تردد و تاثیرات محیطی هر دو با وزن ۰/۰۳۲ پایین ترین رتبه را گرفته‌اند. همچنین با توجه به مقایسه گزینه‌ها مشاهده می‌شود که اضافه نمودن درب‌ها و برداشتن موانع مسیر به ترتیب با وزنهای ۰/۲۸۷ و ۰/۲٦۲ بالاترین رتبه را به خود اختصاص دادند و از طرفی وجود تجهیزات ویژه با وزن ۰/۰۵۳ کمترین رتبه را دارد. بنابراین می‌توان گفت اضافه نمودن درب‌ها و برداشتن موانع مسیر بیشتر در تخلیه اضطراری جمعیت در اماکن پر ازدحام تاثیر می‌گذارند. از طرفی با توجه به وزن های نرمال شده در زیر معیارها مشاهده می‌شود که در معیار زمان، زیر معیار زمان فرار در راهروها و پله ها (با وزن ۰/٦۵)، در معیار هزینه، زیر معیار بعد اجرایی هزینه (با وزن ۰/٦۰۸)، در معیار قابلیت اجرا، زیر معیار قابلیت هدایت عملیات نجات (با وزن ۰/۸)، در معیار تاثیرات محیطی، زیرمعیار تاثیر بر عموم (با وزن ۰/۷۰۵) و در معیار ضمانت تردد، زیر معیار وضعیت مدیریت ترافیک (با وزن ۰/۷۵٦) بالاترین رتبه را به خود اختصاص داده‌اند و این عوامل بیشتر در تخلیه اضطراری جمعیت در اماکن پرازدحام تاثیر دارند. با توجه به شکل ۱۹ نیز مشاهده می‌شود که گزینه اول یعنی اضافه نمودن درب ها با وزن نرمال ۰/۲۸۷ بالاترین رتبه را به خود اختصاص داده است و گزینه ۵ یعنی وجود تجهیزات ویژه با وزن نرمال ۰/۰۵۳ پایین ترین رتبه را دارد.

نتیجه‌گیری و پیشنهاد:

الف–نتیجه گیری

فرودگاه‌های هواپیمایی به دلیل رفتارهای اجتماعی جاری در آن وکاربری خاصشان با مسائل پیچیده‌ای در هنگام تخلیهٔ اضطراری مواجه می‌گردند و پاسخ به این مساله که فضای کافی برای جمعیت وجود دارد و همچنین فضای مورد نظر مناسب است یا خیر، کمک شایانی در کاهش

مخاطره ازدحام جمعیت می‌کند. رویکرد پژوهشی این پژوهش کمی و کیفی است. تعامل ویژگی‌های انسانی با محیط است که نحوهٔ تخلیه پس ازوقوع بحران را شکل می‌دهد و در نظر نگرفتن ویژگی و رفتاری و تعامل این دو با یکدیگر در هنگام فرار پس از بحران سبب می‌گردد مدل های تخلیه مناسب نباشند. ازاین رو این پژوهش به دنبال ارایه مدلی است که بتواند فضا و جریان جمعیت را شبیه‌سازی نماید و اهداف پژوهش اعم از شناسایی متغیرهای مؤثر در تخلیه اضطراری و بررسی سناریو شرایط فعلی و مدل حذف گیت‌های ورود و حذف اتاق‌های دفاتر هواپیمایی را برآورده نماید. با استفاده از نتایج می‌توان عملکرد فضا را در تخلیه و تنگناهای تخلیه را شناسایی نمود. به منظور بررسی تاب‌آوری فرودگاه، در گام اول هر یک از عوامل کلیدی در تخلیه اضطراری به دست آمده است. سناریو شرایط مطلوب سناریو با دسترسی‌های فعلی برای شبیه سازی در نرم افزار در نظر گرفته شده و سپس با دو مدل شبیه سازی شده A و B مقایسه گردیده است. در سناریو شرایط مطلوب در صورت وقوع بحران امکان استفاده از راه پله، پله برقی و آسانسور وجود دارد و همچنین مانعی در ورودی‌ها و خروجی‌ها وجود ندارد و اتاق کنترل سالم است. این سناریو بهترین و مطلوب‌ترین شرایط ممکن برای تخلیه اضطراری جمعیت است. زیرا در این سناریو مدل بحرانی درنظر گرفته نشده است. در مدل A زمان نسبت به A^1 (مدل بدون تغییرات) کاهش یافته است، در واقع در مدل A، ۲٤٥۰ نفر در ۵۲ دقیقه محل را ترک می کنند و در مدل A^1 نیز همین تعداد نفر در ۷۵ دقیقه محل را ترک می‌کنند. دلیل افزایش زمان در مدل A^1 به این دلیل است که گیت‌های ورود حذف نشده است. همچنین در مدل B زمان نسبت به B1 (مدل بدون تغییرات) کاهش یافته است، در واقع در مدل B، ۲٤٥۰ نفر در ٦۲ دقیقه محل را ترک می‌کنند و در مدل B1 نیز همین تعداد نفر در ۷۵ دقیقه محل را ترک می کنند. دلیل افزایش زمان در مدل B^1 به این دلیل است که اتاق‌های دفاتر هواپیمایی در دو نقطه D و C حذف نشده است. با مقایسه بین دو مدل A و B متوجه می‌شویم که زمان در مدل A کاهش بیشتری دارد و می‌توان حذف گیت‌های ورودی را در اولویت اول راهبردهای تخلیه اضطراری در سالن شماره دوم فرودگاه قرار داد و بعد از آن حذف اتاقک‌های دفاتر هواپیمایی در راهروی مسبر تردد مسافران تازه از هواپیما پیاده در ضلع شمالی ساختمان مد نظر است. دربررسی خروجی‌های صورت گرفته از تکنیک Anp دو پارامتر استفاده از دو درب اضطراری و حذف موانع از رتبه‌بندی بالایی به ترتیب با وزن های ۰/۲۸۷ و ۰/۲٦۲ بالاترین رتبه را به خود اختصاص داده است. بنابراین می‌توان گفت اضافه نمودن درب‌ها و برداشتن موانع مسیر بیشتر در تخلیه اضطراری جمعیت در اماکن پرازدحام تاثیر می‌گذارند. پیشنهاد برای تحقیقات آتی این است که می‌توان راهکار اضافه نمودن درب‌های تخلیه اضطراری را که از Anp بدست

آمده را مجدد در نرم افزارهای شبیه سازی پیاده‌سازی نمود و تاثیر آن را در زمان تخلیه اضطراری و خروج تعداد افراد مورد بررسی قرار داد. اکثر پژوهش‌های پیشین صرفاً یا نگاه شرایط فعلی به مساله تخلیه اضطراری در بررسی مبحث تاب‌آوری وارد شده‌اند؛ لذا این پژوهش به سناریوسازی‌های گوناگون از حالات مختلف پرداخته است. همچنین تعداد محدودی از مقالات به بررسی تخلیه اضطراری پرداخته‌اند، مخصوصا با رویکرد ترکیبی که در این مقاله استفاده شده است. مدل این پژوهش که محور اصلی آن را زمان تشکیل می‌دهد و مولفه‌های انسانی و فضایی در آن در طول زمان تخلیه مد نظر است، می‌تواند مدلی مناسب برای تخلیهٔ اضطراری اماکن پر ازدحام مانند فرودگاه‌ها باشد. این مدل‌ها، بسته به اهداف شبیه‌سازی و موضوع، امکان توسعه و تغییر دارد.

ب– پیشنهادها

به منظور کاهش مدت زمان لازم و افزایش تعداد خروج جهت تخلیه اضطراری شبیه ازی رفتار، با توجه به نتایج پژوهش راهکارهای زیر را می توان پیشنهاد نمود:

– عدم تناسب عرض درب ورود و خروج با ظرفیت انتقال دبی ورودی و خروجی افراد سبب ایجاد گره‌های جمعیتی و انسداد مسیر می گردد. بـــه طوری که با ایجاد ترافیـک جمعیتی در درب‌ها سبب تلفات انسانی علی الخصوص در کودکان و سالمندان و کند شـدن زمـان تخـلیه می‌گردد؛ لذا عریض‌تر نمودن گیت‌های ورودی متناسب با حجم مسافران، می‌تواند از آسیب‌ها جلوگیری نماید.

– طراحی دو مسیر خروجی و دو مسیر ورودی برای تقسیم جمعیت به چند گروه.

– قرار گرفتن عناصر غیرسازه‌ای در مواقع بحران در مسیر عبـور و تمایـل افـراد به خروج سریع، سبب کندی درحرکت و ایجاد گره‌های جمعیتی می‌گردد. در بررسی صورت گرفته از سالن شماره دو می‌توان پیشنهاد نمود اتاقک‌های دفاتر هواپیمایی را در نقاط C وD در مسیر ارتباطی و تردد افراد تازه از هواپیما پیاده شده جهت خروج از سالن شماره دو فرودگاه مهرآباد حذف نمود، یا می‌توان در طراحی جدید این اتاقک‌ها را طوری طراحی نمود تا با ایجاد عقب‌نشینی مناسب در مسیر رفت و آمد افراد نباشد.

– انتقال اتاقک ها به نقاط کم تردد سالن و دور از موانع و صندلی‌ها (مانند ضلع شمالی ساختمان) که در مسیر عبوری افراد نباشد.

– برای همگن نمودن سرعت افراد و در نظر گرفته ویژگی‌های رفتاری و حرکتی افراد گوناگون می‌توان مسیرهای خروجی افراد جوان و افراد مسن و ناتوان را تفکیک نمود.

فهرست منابع:

الف– منابع فارسی

- ارژنگی، سولماز(۱۳۹۸)، به سوی تدوین چارچوب عملیاتی شبیه سازی تخلیهٔ اضطراری جمعیت بازارهای تاریخی هنگام آتش سوزی، فصلنامهٔ علمی پژوهشی معماری و شهرسازی؛ سال بیست و نهم، شمارهٔ۸٦ :۱۱۹-۱۰۱.
- جلالی فراهانی، غلامرضا، نکویی، محمدعلی، آب پرور، احمد.(۱٤۰۱). تاب آوری زیرساختهای آب شرب کشوربا رویکرد پدافندغیرعامل، فصلنامه مطالعات دفاعی استراتژیک سال ۲۰، شماره۹۰، مقالهٔ ششم: ۱۳٦–۱۱۵.
- خانکه، حمیدرضا، حسینی، سیدتیمور.(۱۳۹٦). انتخاب مدل برتر مدیریت بحران ناشی از حوادث طبیعی در کشورهای هدف بر اساس مدل تصمیم‌گیری چند معیاره، فصلنامه مطالعات دفاعی استراتژیک سال پانزدهم، شماره ۷۰، شماره ۱۳: ۳۲۰–۳۰۱.
- ضرغامی، اسماعیل و ریسمانیان، مهدی(۱۳۹۸). تأثیر متغیرهای معماری بر زمان تخلیه کلاس درس در شرایط اضطراری . مجله مطالعات محیطی هفت حصار/شماره سی ام /سال هشتم :٦۸–۵۹.
- کاملی، محسن، حسینی امینی، حسن، حسینی، سید بهشید و حسینی، سیدباقر(۱۳۹۵).تبیین معیارهای پدافند غیر عامل در تخلیه و اسکان اضطراری شهرهای بزرگ با استفاده از روش دلفی، دو فصلنامه پژوهش‌های بوم شناسی شهری، سال هفتم، شماره، ۲ پیاپی۱٤: ۱۲٤– ۱۱۳.
- مردانی، سهیل، نوری، علیرضا، منافی، سمیه(۱۳۹۷). به کارگیری شبیه‌سازی نرم‌افزاری در ارزیابی تخلیه اضطراری ایستگاه مترو اولین همایش بین‌المللی و چهارمین همایش بین‌المللی آتش نشانی و ایمنی.

ب – منابع انگلیسی

- Busogi, M., Shin, D. (2017).Weighted Affordance-Based Agent Modeling and Simulation in Emergency Evacuation,'' Saf. Sci., 96:209-227.
- Cutter, SL. (2003). GI Science, Disasters, and Emergency Management. Transactions in GIS, 7(4):439-46.
- Dias, C., Sarvi, N., Shiwakoti , M. (2012). Turning Angle Effect on Emergency Egress. In Transportation Research Record. Journal of the Transportation Research Board, 23(12) 120-127.
- Fang , J., Tawil, El., Aguirre, B. (2016).Leader-Follower Model for Agent Based Simulation of Social Collective Behavior During Egress,'' Saf. Sci., 83:209-227. From a Classroom. Physica A: Statistical Mechanics and its Applications, 387(23).
- Fridolf, K., RonchiJuly, E. (2013). Movement Speed and Exit Choice in Smoke-Filled Rail Tunnels. Fire Safety Journal 59:8-21.
- Georgoudas, I., Sirakoulis, C. (2015). An Anticipative Crowd Management System Preventing Clogging in Exits During Pedestrian Evacuation Processes. IEEE Systems Journal, 5(1).
- Ha, V., Lykotrafitis, G. (2018). Agent-Based Modeling of A Multi-Room Multi-Floor Building Emergency Evacuation. Physica A: Statistical Mechanics and its Applications. 15; 391(8):40-51.
- Heliövaara, S., Korhonen, T., Hostikka, S. (2012).Counterow Model for Agent-Based Simulation of Crowd Dynamics,'' Building Envi- ron, 48.
- koo , J. Kim , Y., and Kim , B.-I.(2012). Estimating the Impact of Residents With Disabilities on the Evacuation in A High-Rise Building: A Simulation Study, Simul. Model.". Pract. Theory, 2012 , 24: 71_83.
- Kuligowski, E. (2016). Computer Evacuation Models for Buildings, in SFPE Handbook of Fire Protection Engineering. NewYork,9:2152-2180.
- Manley, M., Kim Y. S. (2018). Modeling Emergency Evacuation of Individuals With Disabilities (Exitus): An Agent-Based Public Decision Support System,'' Expert Syst. Appl., vol. 39, no. 9**:** 8300_8311**.**
- Neaupane, K., Piantanakulchai, M. (2006). Analytic Network Process Model for Landslide Hazard Zonation, Engineering. 48 (85): 281–294.
- Pluchino, S., Tribulato, G .A., Caver-Zan, A .(2015). Agent-Based Model for Pedestrians' Evacuation after A Blast Integrated With A Human Behavior Model,'' In Proc. Int. Conf. Comput. Sci. 1506_1517.
- Sharma, S., Lohgaonkar, S. (2010).Simulation of Agent Behavior in A Goal application, in Proc. IEEE Southeast Con (SoutheastCon), Concord, NC, USA, Mar: 424_427.
- Shuchao, C., Jialong, Q. Xiaolian, L. & Jie, Ni. (2020). Evacuation Simulation Considering the Heterogeneity of Pedestrian under Terrorist Attacks. International Journal of Disaster Risk Reduction, 79 (6): 56-69.
- Tang, T., Chen, L. (2015). An Evacuation Model Accounting for Elementary

Students' Individual Properties. Physica A: Statistical Mechanics. And its Applications, 440.

- Wang, F .Xu, X. Chen, M .(2021).Simulation Research on Fire Evacuation of Large Public Buildings Based on Building Information Modeling "ISSNll2096-9929 04/06. 1, 2: 122–130.
- Xiaoxia, Y., Rui, Z. & Yongxing, L .(2022). Passenger Evacuation Path Planning in Subway Station Under Multiple Fires Based on Multiobjective Robust Optimization.IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 23 (6): 96-109.
- Zhang, J., Song, W., Xu, X. (2009). Multi-Grid Modeling of Evacuation. Physica A: Statistical Mechanics and its Applications 387(23):5901-5909.
- Zhu, K. Yang, Y. Shi, Q. (2016). Study on Evacuation of Pedestrians from A Room With Multi-Obstacles Considering the Effect of Aisles. Simulation Modelling Practice and Theory, 31- 69.