فصلنامه دانش پیشگیری و مدیریت بحران/ دورهٔ دوازدهم، شمارهٔ چهارم، زمستان ۱۴۰۱
Disaster Prevention and Management Knowledge (DPMK)
Quarterly, Vol. 12, No.4, Serial 46 (Winter 2023)

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۹/۲۶
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۰/۱۹

Evaluation model for emergency evacuation time of population in crowded places

Mohammad Ali Nekooie[1], Parviz jafari fesharaki[2] & Mohadeseh hamedi[3*]

1. Assistant Professor of Crisis Management, Faculty of Passive Defense , Malek Ashtar University of Technology, Tehran, Iran - Mohammad Ali Nekooie@yahoo.com
2. Assistant Professor of Crisis Management, Faculty of Passive Defense , Malek Ashtar University of Technology, Tehran, Iran - parvizjafari2004@yahoo.com
3.PhD Student, Crisis Management Department of Crisis Management, Faculty of Passive Defense, Malek Ashtar University of Technology, Tehran, Iran (Corresponding Author) - mmoh.h000 @yahoo.com

Abstract

Background and objective: Emergency evacuation is one of the first stages of crisis management, which should be done in the shortest possible time and can have a great effect in reducing the death rate caused by the occurrence of danger. So the purpose of this article is to evaluate the emergency evacuation time of Mehrabad Airport in emergency situations through the simulation of emergency population evacuation strategies.

Method: The research method is descriptive-analytical, in terms of solving the combined problem and the type of explanatory results. Collecting field and documentary information has been done. The statistical population includes 53 specialists, academic staff and graduate students. Random sampling and Cochran's formula were used. After conducting the interview and completing the questionnaire, the scenarios with a maximum of two incompatible factors were obtained from the Wizard software, and then the fifth scenario and two modes A and B were modeled in the Any Logic software.

Findings: The simulation results have shown. The evacuation time in the fifth scenario is higher than the other scenarios because the inspection room itself has a gate that reduces the speed of people leaving and increases the time required for people to leave. The results show that in case B, the time has increased compared to case A, in fact, in case A, 3600 people leave the place in 98 minutes, and in case B, the same number of people leave the place in 105 minutes. The reason for the increased time in mode B is because only the obstacles on the path are removed and the door is not added.

Conclusion: It can be concluded that only removing the obstacles is not an efficient method to reduce the evacuation time and the emergency door should also be added to the model. Also, according to the fifth scenario, the resilience of airport hall number 2 is not suitable in emergency situations because in the event of a crisis and an increase in congestion, the level of fear and speed is very high. In fact, in the event of a crisis, the airport in question is able to safely evacuate when the number of people exceeds 1000, since the number of people in normal conditions is 2000. Unlike the previous researches that had a one-dimensional look at the issue of emergency evacuation, this article has a mixed approach.

Keywords: crisis, scenario wizard, emergency evacuation, simulation, Any Logic.

▶**Citation (APA 6th ed.):** Nekooie M, Jafari fesharaki P, Hamedi M. (2023, Winter). Evaluation model for emergency evacuation time of population in crowded places. *Disaster Prevention and Management Knowledge Quarterly (DPMK), 12*(4),455-470.

مدل ارزیابی زمان تخلیه اضطراری جمعیت در اماکن پر ازدحام

محمدعلی نکویی[۱]، پرویز جعفری فشارکی[۲] و محدثه حامدی[۳*]

۱. استادیار گروه مدیریت بحران دانشکده پدافند غیرعامل دانشگاه صنعتی مالک اشتر، تهران، ایران Mohammad Ali Nekooie@yahoo.com

۲. استادیار گروه مدیریت بحران دانشکده پدافند غیرعامل دانشگاه صنعتی مالک اشتر، تهران، ایران parvizjafari2004@yahoo.com

۳. دانشجوی دکتری مدیریت بحران دانشگاه صنعتی مالک اشتر، تهران، ایران (نویسنده مسئول) mmoh.h000 @yahoo.com

چکیده

زمینه و هدف: تخلیه اضطراری از نخستین مراحل مدیریت بحران به‌شمار می‌رود که باید در کم‌ترین زمان ممکن انجام شود و می‌تواند تأثیر به‌سزایی در کاهش مرگ و میر ناشی از وقوع مخاطره داشته باشد. لذا هدف این مقاله، ارزیابی زمان تخلیه اضطراری فرودگاه مهرآباد در شرایط اضطراری از طریق شبیه‌سازی استراتژی‌های تخلیه اضطراری جمعیت می‌باشد.

روش: روش پژوهش از نوع توصیفی- تحلیلی، از نظر حل مسأله، ترکیبی و نوع نتایج، تبیینی می‌باشد. جمع‌آوری اطلاعات میدانی و اسنادی انجام گرفته است. جامعه آماری شامل ۵۳ نفر از متخصصان، هیأت علمی و دانشجویان تحصیلات تکمیلی می‌باشند. از نمونه‌گیری تصادفی و از فرمول کوکران استفاده شده است. بعد از انجام مصاحبه و تکمیل پرسشنامه، ۸ سناریو با حداکثر دو عامل ناسازگار از نرم افزار ویزارد حاصل شده است و از این ۸ سناریو، سناریوی پنجم به دلیل اینکه عامل بحرانی در آن بیشتر تعریف شده است، شبیه‌سازی شده است. سپس شبیه‌سازی عامل بنیان (انی لاجیک) در سناریوی پنجم در دو حالت الف و ب انجام شده است.

یافته‌ها: سناریو پنجم با ارزش سازگاری ۱- و عدد توصیفی ۱ و تأثیر کلی ۶۰ و وجود حالت بحرانی بیشتر در بررسی وضعیت عوامل به تفکیک هر سناریو، نسبت به سناریوهای دیگر در شرایط بحرانی‌تری قرار دارد، زیرا خود اتاق بازرسی دارای گیت است که از سرعت خروج افراد می‌کاهد و زمان مورد نیاز خروج افراد را افزایش می‌دهد. زمان کل تخلیه در سناریوی پنجم، ۸۴ دقیقه و زمان شبیه‌سازی۷,۹۳ دقیقه می‌باشد. در حالت الف، ۳۶۰۰ نفر در ۹۸ دقیقه محل را ترک می‌کنند و در حالت ب نیز، همین تعداد نفر در ۱۰۵ دقیقه محل را ترک می‌نمایند.

نتیجه گیری: سناریوی پنجم در بین سناریوها در شرایط بحرانی‌تری قرار دارد. در حالت ب زمان نسبت به حالت الف افزایش یافته است. در واقع، افزایش زمان در حالت ب به این دلیل است که فقط موانع مسیر برداشته شده و درب اضافه نشده است. از این رو می‌توان نتیجه گرفت که تنها رفع موانع، روش کارآمدی برای کاهش زمان نمی‌باشد و باید درب اضطراری نیز به مدل اضافه شود. همچنین با توجه به سناریوی پنجم، تاب‌آوری سالن شماره ۲ فرودگاه در شرایط اضطراری مناسب نمی‌باشد. در سناریوی پنجم و به تبع آن مدل‌های الف و ب، تراکم در نظر گرفته شده ۲۰۰۰ نفر (تراکم معمول روزانه فرودگاه) می‌باشد، که با ایجاد بحران و مسدود شدن مسیرها، گره‌های جمعیتی در مدل مشاهده می‌گردد و صرفاً زمانی که تعداد افراد از ۱۰۰۰ نفر بیشتر نباشد را می‌تواند به طور ایمن تخلیه نماید. برخلاف پژوهش‌های پیشین -که نگاهی تک بُعدی به موضوع تخلیه اضطراری داشته‌اند، این مقاله رویکردی ترکیبی دارد و این از مزایای این تحقیق نسبت به تحقیقات گذشته است که از تکنیک تصمیم‌گیری آثار متقابل برای شناسایی سناریوها و متغیرهای وزن‌دار در کنار تکنیک شبیه‌سازی بهره برده است و به مسأله پرداخته است.

کلیدواژه‌ها: بحران، سناریو ویزارد، تخلیه اضطراری، شبیه‌سازی، عامل بنیان.

◄ **استناد فارسی (شیوه APA، ویرایش ششم ۲۰۱۰):** نکویی، محمدعلی؛ جعفری فشارکی، پرویز؛ حامدی، محدثه. (زمستان، ۱۴۰۱)، مدل ارزیابی زمان تخلیه اضطراری جمعیت در اماکن پر ازدحام. *فصلنامه دانش پیشگیری و مدیریت بحران، ۱۲* (۴)،۴۵۵-۴۷۰.

مقدمه

شرایط اضطراری و (یا بحرانی) به هرگونه وضعیت پیش‌بینی نشده که موجب مرگ، آسیب و صدمه به انسان‌ها، جامعه، محیط زیست و یا بروز خسارت‌های مالی عمده گردد، گفته می‌شود (طوقی، ۱۳۹۴). اولین اقدام در شرایط بحران، تخلیه مکان بحران زده و رفتن به مکان ایمن می‌باشد. در این گونه شرایط، سعی می‌کنند در سریع‌ترین زمان ممکن و بدون توجه و کمک به دیگران محل را تخلیه کنند و در نتیجه، رفتار با شرایط عادی متفاوت خواهد بود. هلبینگ[1] (۲۰۰۲)؛ تخلیه اضطراری پاسخ فوری و هماهنگ به بلایا می‌باشد. پری و لیندن[2](۲۰۰۹)؛ تخلیه اضطراری در واقع از نخستین مراحل مدیریت بحران به شمار می رود که باید در کم ترین زمان ممکن انجام شود؛ چرا که سرعت در جا به جا کردن آسیب دیدگان، می‌تواند تأثیر به‌سزایی در کاهش مرگ و میر ناشی از وقوع مخاطره داشته باشد. ازدامر و یی[3](۲۰۰۷)؛ عامل مؤثّری که بر نتایج یک طرح شبیه‌سازی تخلیه اضطراری تأثیرگذار می‌باشد، زمان است. ها و لیکوترافیتیس[4](۲۰۱۸)؛ آمار و ارقام به‌دست 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 می‌باشد. ترس و هراس ایجاد شده در میان مردم در مواقع اضطراری می‌تواند پیامدهای منفی بر روی خروج جمعیت از یک ساختمان و زمان تخلیه داشته باشد.

مشاهدات میدانی نشان می‌دهد که زمانی‌که چنین احساساتی در میان مردم شایع می‌شود، مردم یک‌دیگر را هُل می‌دهند یا پامال می‌کنند. همان‌گونه که اکثر مردم برای خروج یک‌باره از ساختمان تلاش دارند، این موضوع سبب مسدود شدن مسیرهای خروجی و ایجاد ازدحام در جلوی درب‌ها می‌گردد. در طول شرایط اضطراری، به دلیل فشار زمان و فقدان اطلاعات، یک فرد به طور طبیعی دچار ترس و وحشت می‌شود و این موضوع در تخلیه و سرعت حرکت وی تأثیر می‌گذارد. به عبارت دیگر، صرف نظر از ماهیت شرایط اضطراری، حالات و عواطف فرد، بستگی به درک وضعیت و محیط دارد، حتی اگر چنین تصور شود که این درک، نادرست یا گمراه کننده باشد. برداشت‌های مختلف توسط یک فرد در یک موقعیت اضطراری در احساسات و سطح استرس روانی وی تأثیرگذار می‌باشد که به نوبه خود باعث اتخاذ تصمیم‌های متفاوت توسط فرد خواهد شد. حتی در شرایط اضطراری، رفتارهای مخرب جمعیت می‌تواند رخ دهد و سبب بر انگیختگی وضعیت احساسات و عواطف بالا در میان جمعیت شود. هشدار اشتباه، مبارزه با گروه‌ها، رویارویی بین یک جمعیت خشمگین و پلیس و قطع برق و غیره باعث ایجاد رعب و وحشت در بین جمعیت می‌شود (مانلی[5]، ۲۰۰۲).

فانگو و تویل در مقاله‌ای تحت عنوان مدل رهبر- پیرو برای شبیه‌سازی عامل رفتار جمعی اجتماعی در حین خروج[6] (۲۰۱۶) به این نتیجه رسیدند که بایستی در بسیاری از شبیه‌سازها جنبه‌های استرس در نظر گرفته شود. پلاچینو و تربولاتو[7](۲۰۱۵)؛ در موارد اضطراری، رفتار جمعیت در برخی از موارد خاص دارای ویژگی‌های مشترک و با هم همسو می باشند. در این موارد مشاهده شده که افراد جهت نجات جان خود به طرف درب‌های خروجی هجوم می‌آورند و سبب فشار آوردن به هم‌دیگر می‌شوند. شارما و لهاگونکار[8] (۲۰۱۷) و بوگاسی و شین[9] (۲۰۱۷)؛ استراتژی‌های تخلیه بهینه در کاهش تلفات مهم است. وانگ و ایکسیو[10] (۲۰۲۱)؛ ظرفیت فضای طراحی شده یکی از مهم‌ترین عامل‌های تأثیرگذار 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. به نظر می‌رسد که عوامل بروز بحران‌های جمعیتی منشأ مدیریتی، کالبدی فضایی، و رفتاری دارند. حرکت، مفهومی کلیدی در شناخت این مخاطره است و پاسخ به پرسش‌های؛ آیا فضای کافی برای جمعیت وجود دارد؟ آیا فضای مورد نظر مناسب است یا خیر؟ (ارژنگی و عسگری،

1. Helbing
2. perry & Lindell,2003
3. Yi & ozderma,2007
4. ha & Lykotrafitis,2018
5. Manelly
6. fang & Tawil,2016
7. plachino & Tribulato,2015
8. sharma & Lohgaonkar, 2017
9. basougi & Shin,2017
10. wang & Xu,2021

۱۳۹۸)، مسیرهای مناسب جهت تخلیه اضطراری جمعیت وجود دارد؟ (بهرامی، ۱۳۹۹)، کمک شایانی در کاهش مخاطره ازدحام جمعیت می‌کند.

برنامه‌ریزی سناریو یکی از تکنیک‌های آینده‌نگاری استراتژیک است که از دیگر فنون متفاوت می‌باشد، چرا که به بررسی عدم قطعیت می‌پردازد نه ریسک. تسوکاس و شفرد بیان می‌کنند که برنامه‌ریزی سناریو با آن دسته از عوامل محیطی سر و کار دارد که ذخیره دانشی‌اش برای شناخت اقدام و پایه‌اش جهت پیش‌بینی وقایع مهم در مقایسه با دیگر فنون آینده‌نگاری مانند پیش‌بینی، استدلال قیاسی و برنامه‌ریزی اقتضایی، ناچیز است (اسلاتر[1]،۱۹۹۳).

مکان‌های پُر تراکم به دلیل رفتارهای اجتماعی جاری در آن و کاربری خاصشان با مسائل پیچیده‌ای در هنگام تخلیهٔ اضطراری مواجه می‌گردند که به عنوان نمونه در رخداد آتش‌سوزی، نصب کپسول‌های اطفای حریق به تنهایی نمی‌تواند منجر به پاسخ‌گویی مؤثر و کاهش تلفات و مجروحان در هنگام بحران و تخلیه ایمن شود. تعامل ویژگی‌های 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 پُر 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 در اماکن پُر تراکم، حادثه‌ای بزرگ‌تر را ایجاد می‌نماید. در این صورت، بحران ناشی از ازدحام افراد تشدید می‌گردد و تلفات بیشتری رخ می‌دهد. لذا، تخلیه اضطراری امن با کمترین میزان مرگ و میر 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. تخلیه اضطراری امن در اماکن پُر تراکم از مهم‌ترین و اصلی‌ترین برنامه‌های مدیریت بحران است. تخلیه اضطراری در در اماکن پُر تراکم می‌تواند منجر به بحران ازدحام گردد و تخلیه ایمن بدون در نظر گرفتن مخاطرات ناشی از گره‌های جمعیتی مقدور نمی‌باشد. یکی از تأثیرگذارترین عوامل، ترس و اضطراب ناشی از ویژگی‌های شخصیتی افراد است. تفاوت میان رهبران و دنبال کنندگان در هنگام وقوع بحران و فرار افراد از مکان، اولین تمایز ویژگی‌های شخصیتی افراد است. دومین ویژگی مهم، میزان تاب‌آوری افراد در برابر ترس است. افزایش ترس گنجایش جمعیت را جهت پردازش مناسب اطلاعات از بین می‌برد و افراد را با وضعیت ناآشنا مواجه می‌سازد. سومین ویژگی، اعتقاد به اثربخشی و میزان آشنایی هر فرد از محیط پیرامون است که بر انتخاب‌ها و تلاش‌های افراد در هنگام فرار از مکان حادثه تأثیرگذار است.

هدف از انجام پژوهش حاضر عبارت است از :

۱- شناسایی متغیرهای مؤثر در تخلیه اضطراری در شرایط اضطراری

۲- شناسایی سناریوهای مؤثر و بررسی تأثیر اضافه نمودن درب‌های اضطراری و حذف موانع در سالن شماره دو فرودگاه در شرایط تخلیه اضطراری

در این تحقیق با رویکردی گسترده به بررسی حالات گوناگون مسأله در حالات فعلی و بهینه، سناریوهای منتخب را شبیه‌سازی نموده‌ایم و این از مزایای این تحقیق نسبت به تحقیقات گذشته است که از ابعاد گوناگون به مسأله پرداخته است. پژوهش‌های پیشین با نگاه تک بعدی مسأله را بررسی نموده اند. برای انتخاب راه‌کارها و سناریوها از تکنیک‌های تصمیم‌گیری استفاده نموده‌ایم و این دیدگاه را با شبیه‌سازی ترکیب کرده‌ایم.

مطالعات در حیطه شبیه‌سازی در سه دسته کلان، متوسط و جزئی تقسیم‌بندی می‌گردند. این شبیه‌سازی‌ها پویا هستند و مدلی بصری از رفتار و حرکت جمعیت را نشان می‌دهند. مدل‌های شبیه‌سازی جمعیت در دو دسته مدل‌های در مقیاس بزرگ (کلان نگر) و مقیاس کوچک (خرد نگر) تقسیم می‌شوند که با روش‌های نوین با رایانه شبیه‌سازی می‌گردند. مدل در واقع نمایشی هدفمند است و به منظور حل مسأله و پاسخ به سئوالات 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

1. Slaughter,1993

رفتاری را در پاسخ به تغییرات پیش‌بینی کند. مدل‌های کلان‌نگر متمرکز بر کل سیستم و رفتارهای کلانی جمعیت می‌باشند. درعوض، مدل‌های میکروسکوپیک مبین سطوح فردی رفتارها، عمل‌ها و تصمیمات افراد و تعاملاتشان با یکدیگر است. در تحقیقات موجود، استفاده هم‌زمان مدل‌های کلان و خرد توصیه می‌شود؛ زیرا اطلاعات ارزشمندی درباره الگوی رفتاری افراد قابل استخراج است که منجر به ظهور پدیده خاصی در کل سیستم می‌شود. به بیان دیگر، مدل سازی نحوه حرکت و رفتار هر عامل کمک می‌کند که اطلاعات حرکت کل جمعیت را به دست آوریم. یکی دیگر از دسته بندی‌هایی که در این مورد و برای انتخاب مسیر خروج انجام شده است شامل سریع‌ترین و بهترین مسیر، کوتاه‌ترین مسیر، مسیر تعریف شده کاربر و مسیر مشروط می‌باشد؛ به عنوان نمونه، در شرایط آتش‌سوزی یا رفتار دیگر ساکنان، این انتخاب مسیر معمولاً دارای یک تابع است که اجازه می‌دهد تا اشخاص، اگر نیاز است، تغییر مسیر خود را انتخاب کنند. در شبیه‌سازی برای توصیف و تحلیل رفتار سیستم واقعی به طرح سئوالاتی در قالب «اگر اتفاقی بیفتد چه شرایطی پیش خواهد آمد؟» پرداخته می‌شود و در نهایت، به بهبود سیستم‌های موجود و طراحی سیستم‌های جدید می انجامد. در تحقیق هلیوارا و کارونن[1](۲۰۱۹)؛ شبیه‌سازی فرآیند طراحی مدل سیستم واقعی و انجام آزمایش برای درک رفتار و ارزیابی استراتژی‌های مختلف در محدوده مجموعه معیارهای بررسی شده انجام گرفته است (کیم و کو[2]،۲۰۱۲). در دنیا نرم‌افزارهای بسیاری برای شبیه‌سازی تخلیه اضطراری وجود دارد که هر یک ویژه مطالعه وجه خاصی از تخلیه است. به طور نمونه، پیشگامان در شبیه‌سازی تخلیه اضطراری بیشتر تمرکزشان بر محدودیت‌های فضایی ثابت محیط ساختمان با هدف بهینه سازی حرکت تخلیه شوندگان و به حداقل رساندن زمان تخلیه است. این تمرکز به ویژه برای مدل‌هایی مانندExit .Sim EVACNET 4 و EESAPE است که در آن‌ها ساختار اتصال ساختمان به مثابه یک شبکه ثابت طراحی شده‌اند. با این حال، این فرض که دسترسی فضایی درون ساختمان‌ها می‌تواند به‌راحتی در یک وضعیت اضطراری آتش‌سوزی تخریب شود، همچنان باقی می‌ماند. به طور نمونه خروجی‌ها یا مسیرها ممکن است به دلیل شرایط خاص (مانند دود یا شعله‌های آتش) مسدود شوند. در مدل‌هایی مانند STEPS و Evac در دسترس بودن پویای خروجی‌ها یا مسیرها در شرایط اضطراری مورد نظر است. به علاوه، برای نشان دادن شرایط محیطی قابل اعتماد، شبیه‌سازهای آتش با مدل تخلیه همراه شده‌اند. در پایان قرن بیستم، تفسیر ایمنی ساختمان از فناوری به دیدگاه رفتاری تغییر یافت. یکی از این نرم‌افزارها که در شبیه‌سازی قابلیت عمل تحت مقولات کالبدی و رفتاری را دارد، نرم افزار شبیه‌سازی انی لاجیک است. این نرم افزار قدرتمند شبیه‌سازی در زمینه‌های مختلف استفاده می‌شود و بر روی سامانه عامل‌های Mac OS Windows ، Linux، قابل نصب است. در دنیای مدرن شبیه‌سازی، سه روش مشخص برای مدل‌سازی مبتنی بر شبیه‌سازی وجود دارد که در هر روش، سطح خاصی از خلاصه‌سازی استفاده می‌شود. این سه روش، که با نرم افزار انی لاجیک نیز پشتیبانی می‌شوند، شامل پویایی سیستم، گسسته پیشامد و عامل بنیان است. نرم افزار Any Logic قابلیت استفاده و ترکیب روش‌های مدل‌سازی را ارائه نموده است تا بتوان اجتماعی از نقش‌ها را در فضای واحدی بررسی و تحلیل کرد (ژو ،یانگ و شی[3]، ۲۰۱۶). مردم برای آن‌که خردمندانه عمل کنند، باید نسبت به پیامدهای اقدامات خود و دیگران آگاهی و شناخت کافی داشته باشند (حسینی و مظفری، ۱۳۹۵). سناریو چهرهٔ آینده است و پیشگویی نیست؛ هدف سناریو سازی، گسترش تفکر دربارهٔ آینده و عریض‌تر کردن طیف بدیل‌هایی است که می‌تواند مورد نظر باشد (زیاری، ربانی و موچشی،۱۳۹۶). ممکن‌ها است که در آن، کارایی سیاست‌های اتخاذ شده در برابر چالش‌های آینده در بوتهٔ آزمایش قرار می‌گیرند (عابدی جعفری و همکاران). سناریو ویزارد برای انجام محاسبات پیچیده سناریو نویسی طراحی شده است و هدف آن بهینه‌سازی و قابل اطمینان کردن سناریوهای انتخاب شده است (زالی ،۱۳۹۰). سناریو نویسی روشی بسیار مؤثر برای برنامه‌ریزی میان مدت و بلند مدت در شرایط عدم قطعیت است (علی زاده، وحیدی مطلق و ناظمی، ۲۰۱۸). نرم‌افزار سناریو ویزارد[4] برای انجام محاسبات پیچیده سناریو نویسی طراحی شده است . تکنیک تحلیلی این نرم افزار به CIB معروف است و هدف

1. helivara & Korhonen,2019
2. Kim & KOO, 2012
3. Zhu, Yang & Shi,2016
4. wizard

آن بهینه‌سازی سناریوها و قابل اطمینان کردن سناریوهای انتخاب شده است. سناریو ویزارد جهت پردازش اطلاعات کیفی است و در این راستا نظرات کارشناسان که داده‌هایی از نوع کیفی هستند، در پروژه‌های آینده‌نگاری استفاده می‌شوند. مبنا بر اساس ماتریس‌های تحلیل تأثیر متقاطع (Cross-Impact Balances) می‌باشد. این ماتریس برای استخراج نظرات کارشناسان در زمینه تأثیر احتمال وقوع حالتی از توصیف‌گر بر توصیف‌گر دیگر است و با محاسبه تأثیرات حالت‌ها، سناریوهای سازگار به‌دست می‌آیند. اهمیت سناریوها در این است که خود را نسبت به اینکه چه اتفاقاتی ممکن است در آینده به وقوع بپیوندد تطبیق می‌دهد (زالی،۱۳۹۰). کیا و همکاران[1] (۲۰۲۲) در مقاله‌ای تحت عنوان بهینه‌سازی چند هدفه تطبیقی برای تخلیه اضطراری در ایستگاه‌های مترو به بررسی اثربخشی و کاربرد رویکرد متا مدل مبتنی بر Light GBM پرداخته‌اند و از الگوریتم‌های بهینه‌سازی یکپارچه Light GBM و NSGA-III برای ارزیابی خودکار تخلیه در شرایط خاص استفاده نموده‌اند. نتایج نشان داده است که ایستگاه مترو مورد مطالعه در زمانی که حجم مسافر کم است می‌تواند با موفقیت مسافران را تخلیه کند. لیکن در صورت وجود حجم بالاتر (بیش از ۱۰۰۰)، احتمال شکست آن بسیار زیاد است. جاهد نیا و همکاران (۲۰۲۲)، در مطالعه‌ای به بررسی تأثیر حجم بار همراه مسافران در زمان کل تخلیه اضطراری در یک ایستگاه راه آهن پرداختند. در این مقاله، شبیه‌سازی ایستگاه راه‌آهن با استفاده از مدل اتوماتای سلولی توسعه‌یافته (CA) انجام شده است. در این مدل، مسافران دارای چمدان و مسافران بدون چمدان به ترتیب به عنوان گروه‌های دو سلولی و یک سلولی تعریف می‌شوند. پارامتر سرعت برای مسافران دارای چمدان استفاده می‌شود. همچنین حجم هر گروه مسافر در شلوغ‌ترین زمان ساعات کاری عادی ایستگاه به دلیل برنامه‌های راه آهن از اسکنرهای وای فای استخراج می‌شود. شبیه‌سازی با استفاده از زبان برنامه‌نویسی پایتون انجام شده است. ۱۴ سناریو از نظر تأثیر بر سه عامل زیرساخت‌های ایستگاه، تجهیزات ایستگاه و رویکردهای مدیریتی ارائه شده است. تجزیه و تحلیل نشان می‌دهد که اگر چمدان در نظر گرفته نشود، فقط ۲۸٪ از مسافران یا ۲۳۶ مسافر در بازه زمانی پیش‌بینی شده توسط شبیه‌سازی تخلیه می‌شوند. حذف فروشگاه‌های خرده‌فروشی در راهروها، زمان تخلیه اضطراری را تا ۶٫۳ درصد کاهش می‌دهد. خرابی در دو پله برقی سبب افزایش ۹٫۴ درصدی زمان تخلیه اضطراری می‌شود و به ترتیب باعث مسدود شدن مسیر ۲۸ و ۴۶ مسافر می‌شود. نتایج نشان می‌دهد اگر دومین کریدور ورودی راه آهن ایجاد گردد، باعث نجات ۶۷ مسافر و کاهش ۹٫۵ درصدی زمان تخلیه خواهد شد. وانگ و همکاران[2](۲۰۲۰) ، بر اساس الگوریتم پیشنهادی، شبیه‌سازی آتش‌سوزی را در فرودگاه بین‌المللی بایون گوانگ ژو چین با تعداد افراد متعدد و درب‌های مختلف، انجام دادند و زمان تقریبی تخلیه را تعیین نمودند و هدفشان ارزیابی ظرفیت تخلیه بوده است. در نهایت 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 وجود دارند (۰ تا ۱۵۰ نفر)، تفاوت در زمان تخلیه زیاد نمی‌باشد. زمانی که تعداد افراد زیادی وجود دارند، تفاوت زمان تخلیه آشکار می‌باشد. وقتی تعداد افراد ۴۰۰ تا ۵۰۰ نفر باشد، طرح اصلاح شده زمان تخلیه طرح اولیه را نزدیک به ۵ ثانیه کوتاه می‌کند. زو و همکاران[3](۲۰۱۶)، با مدل سازی یک کلاس درس مشتمل بر ۹۸ دانشجو به بررسی تأثیر موانع موجود در کلاس و راهروی کنار میزها و صندلی‌ها در یکی از کلاس‌های درسی دانشگاه مرکزی چین بر روند تخلیه پرداختند و دریافتند برخورد دانشجویان با یکدیگر اغلب در محل تقاطع راه‌روها اتفاق می‌افتد نه جلوی درب خروجی کلاس درس. تانگ و همکاران[4] (۲۰۱۵) به بررسی اثر خصوصیات فردی در فرایند تخلیه کلاس با دو خروجی با لحاظ نمودن رفتارهای منطقی و غیر منطقی با مدل اتوماتای سلولی پرداختند. نتایج نشان داد تعداد افراد با رفتارهای غیرمنطقی، تأثیر قابل ملاحظه‌ای در نتیجه فرایند تخلیه دارد. لیم و همکاران[5](۲۰۲۲) در مقاله‌ای با استفاده از مدل اتوماتای سلولی[6]

1. Kia et al,2022

2. Wang & Chen,2020
3. Zhu et al,2016
4. Tang et a,2015
5. lim et al,2022
6. Cellar automaton

به بررسی شبیه‌سازی تخلیه با موانع پرداخته‌اند. یک اتوماتای سلولی شامل یک شبکه منظم از سلول‌ها می‌باشد که هر کدام از آن‌ها در یکی از حالات از مجموعه حالات متناهی امکان‌پذیر قرار دارد. طراحی مدل براساس توزیع جمعیت و موقعیت درب و موانع برای به‌دست آوردن بهترین موقعیت درب انجام شده است. نتایج نشان می‌دهد موقعیت بهینه برای خروجی جهت کاهش زمان، در مرکز رستوران فرودگاه بین المللی توکیو قرار دارد. زمان تخلیه با یک درب خروجی در مقایسه با دو درب زمان افزایش می‌یابد. وان و همکاران[1] (۲۰۱۱)، در مطالعه‌ای به بررسی تخلیه در ترمینال فرودگاه با مدل‌های تخلیه[2] پرداخته‌اند. هر دو مدل برای مطالعه تخلیه در فضاهای بزرگ و پیچیده هندسی با تراکم بالا به کار گرفته می‌شوند. چهار سناریو در مناطق شلوغ ارزیابی شد تا زمان تخلیه در آتش‌سوزی و شرایط عادی مشخص شود. نتایج نشان داده است گره‌های جمعیتی در اطراف پله ورودی رخ داده است. درب‌های خروجی با عرض مناسب روشی برای کاهش زمان می‌باشد. وسایلی مانند علائم خروج باید در قسمت‌های خرده‌فروشی و سالن ورود ارائه شود. گیورگداس و همکاران[3] (۲۰۱۵)، در آزمایشی که در یک کلاس درس انجام دادند یک سیستم پیش‌بینی کننده را مطرح نمودند که در طی فرایندهای تخلیه عابرین پیاده عمل می‌کند و مانع از شکل‌گیری فضاهایی با تراکم بالا می‌گردد. ژانگ و همکاران[4](۲۰۲۰)، فرایند تخلیه دانش‌آموزان کلاس را با مدل‌سازی مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها برخی ویژگی‌های حرکت مانند سرعت در صف حرکتی را مطالعه نمودند. ضرغامی و ریسمانیان (۱۳۹۸)، در مطالعه‌ای به بررسی تخلیه یک کلاس درس تربیت شهید رجایی تهران در شرایط اضطراری به‌وسیله مدل‌سازی رایانه‌ای به روش عامل محور و با استفاده از الگوریتم A* پرداختند و تأثیر متغیرهای معماری عرض درب خروجی، تعداد درب‌های خروج و جهت کشیدگی کلاس بر زمان تخلیه کامل افراد از اتاق با یکدیگر را بررسی نمودند. آن‌ها به این نتیجه رسیدند افزایش تعداد درب‌ها تأثیر به‌سزایی در کاهش زمان دارد و در صورت افزایش یک درب به دو درب، زمان تخلیه از ۳۲ به ۴۷ درصد کاهش می‌یابد. میرسعیدی و شمسی (۱۳۹۸) به تبیین عوامل مؤثر بر تخلیه اضطراری ساختمان در آتش‌سوزی پرداختند. در این پژوهش، ویژگی‌های انسانی مؤثر بر تخلیه اضطراری شامل سرعت، شیوه تصمیم‌گیری و ... بررسی شده‌اند. همچنین عوامل ساختمانی و طراحی تأثیرگذار بر تخلیه اضطراری در دو دسته ابعاد فضاها و موقعیت فضاها قرار گرفته‌اند که هریک بر اساس استانداردها دارای ویژگی‌هایی می‌باشند. درجه عملکرد پاسخ به آتش در جریان آتش‌سوزی در یک ساختمان به عواملی چون ویژگی‌های انسانی، ویژگی‌های آتش و ویژگی‌های ساختمان وابسته است. نتایج نشان می‌دهد درجه عملکرد پاسخ به آتش در جریان آتش‌سوزی در یک ساختمان به عواملی چون ویژگی‌های انسانی، ویژگی‌های آتش و ویژگی‌های ساختمان وابسته است. ارژنگی (۱۳۹۸) به تدوین چارچوب عملیاتی شبیه‌سازی تخلیهٔ اضطراری جمعیت بازارهای تاریخی هنگام آتش‌سوزی پرداخته است. نتایج، مدلی را ارائه داده است که محور اصلی آن را زمان تشکیل می‌دهد و مؤلفه‌های انسانی و فضایی در آن در طول زمان تخلیه مد نظر است. هدف از انجام پژوهش حاضر عبارت است از ارزیابی زمان تخلیه اضطراری در بحران‌های احتمالی در سالن شماره دو فرودگاه مهر آباد تهران با توجه به متغیرها و راه‌کارهای ارائه شده در این پژوهش. همچنین پاسخ به دو پرسش؛ «آیا فضای کافی برای جمعیت وجود دارد؟»و «آیا فضای موردنظر مناسب است یا خیر؟» کمک شایانی در کاهش مخاطره ازدحام جمعیت می‌کند.

روش

رویکرد پژوهشی این پژوهش کمّی و کیفی می‌باشد. براساس هدف کاربردی، از نظر زمان جزء پژوهش‌های آینده‌گرا، از نوع پیمایشی و در سطح اکتشافی انجام می‌گیرد، زیرا به دنبال شناسایی سناریوهای ممکن برای آن هستیم و می‌خواهیم بر مبنای سناریوی سازگار به بررسی حالت‌ها و راه‌کارهای تخلیه اضطراری فرودگاه بپردازیم. در روش میدانی بنا به موضوع از فنون مختلفی مانند مصاحبه، پنل خبرگان و توزیع پرسشنامه بین نخبگان حیطهٔ تخلیه اضطراری و استادان دانشگاهی به عنوان جامعه آماری استفاده شده است. داده‌های

1. Wan,2011
2. SIMULE, BuildingEXODUS
3. Georgoudas et a,2015
4. Zhang et al,2020

کیفی از طریق پرسشنامه باز و مصاحبه و بررسی منابع و داده‌های کمّی و وزن‌دهی پرسشنامه دلفی بدست آمده است و در پردازش داده‌ها از تکنیک دلفی، تحلیل اثرات متقابل و سناریو نویسی و در تحلیل داده‌های کیفی از سناریو ویزارد[1] استفاده شده است. روش پژوهش در ۲ گام زیر ارائه می‌گردد:

- گام اول: تدوین شاخص‌ها و تدوین سناریوها با رویکرد تحلیل تأثیرات متقابل

در ابتدا مؤلفه‌های تأثیرگذار بر تخلیهٔ اضطراری بر اساس مرور ادبیات و پیشینه شناسایی شده است. به دلیل این که شاخص‌های شناسایی شده در مبانی نظری زیاد و پراکنده است، به منظور شناسایی متغیرهای اصلی، ادغام و غربال‌گری برای کاهش مؤلفه‌ها و بومی‌سازی آن‌ها، بر اساس نظر خبرگان به واسطه اعمال محدودیت‌های وزنی انجام می‌شود. بدین منظور پرسشنامه‌ای (سئوالات حاوی متغیرهای مؤثر بر تخلیهٔ اضطراری در شرایط اضطراری) طراحی شد و ۵۴ پرسشنامه در اختیار نخبگان حیطهٔ تخلیهٔ اضطراری و استادان دانشگاهی در حوزه مدیریت بحران و پدافند غیرعامل قرار گرفت. همه پرسش‌ها به صورت کیفی و بر اساس طیف ۵ گزینه‌ای لیکرت از فوق‌العاده با اهمیت تا بی‌اهمیت مرتب شده است. در نظرسنجی مرحله نخست، مدل مفهومی ارائه شده همراه با زیرمعیارهای مؤثر، به اعضای گروه خبره ارسال شد و میزان موافقت آن‌ها با هرکدام از عوامل و نظراتشان لحاظ گردید. سپس پرسشنامه دوم تهیه و همراه با دیدگاه قبلی هر فرد و میزان اختلاف آن‌ها با دیدگاه سایر خبرگان مجدداً به اعضای گروه خبره ارسال شد. در مرحله دوم، اعضای گروه خبره با توجه به دیگر اعضا به سئوالات پاسخ دادند. با توجه به دیدگاه‌های ارائه شده در مرحله اول و مقایسه آن با نتایج این مرحله، در صورتی‌که اختلاف بین نظرات خبرگان در دو مرحله کمتر از حد آستانه ۰/۲درصد بود، فرآیند نظرسنجی متوقف شد. همچنین از بین عوامل اشاره شده، آن‌هایی که میانگین غیرفازی شده نظرات خبرگان برای آن‌ها کمتر از ۸ بود، از مدل مفهومی تحقیق حذف شد. در این مرحله ۱۴ عامل مردود و متوقف شد و ۶ عامل باقی ماند. با توجه به نتایج حاصل از پرسشنامه سوم، میزان اختلاف نظر خبرگان در مرحله دوم و سوم کمتر از ۰/۲درصد بوده است و لذا نظرسنجی در این مرحله از خبرگان متوقف شد و از آن‌جا که میانگین غیرفازی شده نظرات خبرگان بالاتر از ۸ به دست آمد، همه متغیرهای باقیمانده مورد پذیرش قرار گرفت. بنابراین در طی ۳ مرحله نظرسنجی از ۲۰ شاخص، ۱۴ شاخص از مدل مفهومی سنجش حذف و مدل نهایی با ۶ شاخص مؤثر (جدول۱)، ارائه شد. پس از شناسایی و تدوین شاخص‌ها و پارامترهای تخلیه نیز، پرسشنامه اثرات متقابل طراحی گردید.

با توجه به اینکه از نرم‌افزار میک‌مک و سناریو ویزارد[2] برای تجزیه و تحلیل داده‌ها استفاده می‌شود، نوع پرسشنامه به صورت ماتریس اثرات متقابل و به پیمایش نظرات کارشناسان و متخصصان می‌باشد. برای شناسایی عوامل کلیدی توسط نرم‌افزار میک‌مک، پس از شناسایی عوامل تأثیرگذار در تخلیهٔ اضطراری، پرسشنامه تأثیرات متقابل طراحی شد. در واقع پس از انتخاب عوامل کلیدی، هریک از عوامل به وضعیت‌های مختلف طبقه‌بندی شده و این وضعیت‌ها برای تمام عوامل کلیدی به صورت ماتریسی در اختیار متخصصان قرار گرفته است. روایی آن توسط اساتید گروه مدیریت بحران به صورت مصاحبه‌ای انجام شد. جامعه آماری تحقیق، ۵۴ نفر از کارشناسان و متخصصان حوزه مدیریت بحران و پدافند غیرعامل است. وزن‌دهی این پرسشنامه به صورت مقایسه‌ای زوجی و میزان ارتباط متغیرها با اعداد، بین صفر تا سه سنجیده می‌شود. پس از تکمیل پرسشنامه توسط جامعه آماری، از ۵۴ پرسشنامه مذکور، میانگین‌گیری شد و در قالب یک فایل اکسل وارد نرم‌افزار میک‌مک گردید و عوامل کلیدی استخراج شد، سپس وضعیت‌های احتمالی مختلفی برای هرکدام از عوامل کلیدی در نظرگرفته شد و در قالب پرسشنامه، اثرات متقابل طراحی گردید (وزن‌دهی این پرسشنامه به صورت مقایسه‌ای زوجی و میزان ارتباط متغیرها به صورت طیفی از اعـداد ۳ تـا ۳- سنجیده می‌شود). روایی این پرسشنامه نیز توسط اساتید به صورت مصاحبه‌ای انجام گرفت و سپس پرسشنامه به‌وسیله جامعه آماری تکمیل شد و از طریق قابلیت Ensemble در نرم‌افزار سناریو ویزارد، پرسشنامه‌ها در نرم‌افزار وارد شد.

1. wizard

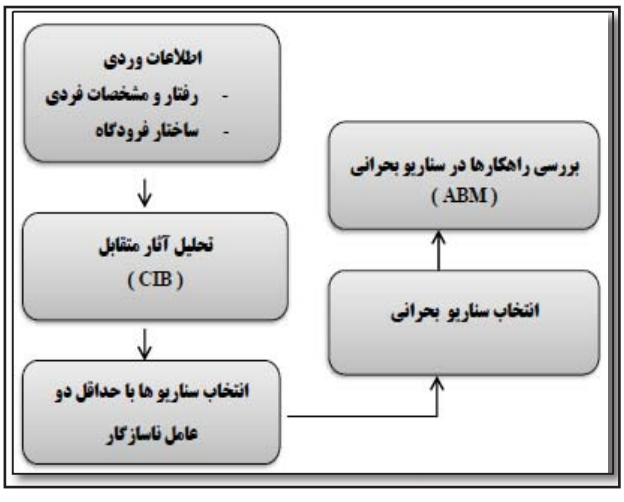
2. wizard

در این نوع پرسشنامه، وضعیت‌ها می‌توانند تأثیرگذاری منفی را نشان دهند و اعداد بین ۳الی ۳- می‌باشد. در نهایت ماتریس تأثیر متقابل در نرم افزار Wizard تکمیل می‌گردد و سپس از بین سناریوهای سازگار، سناریوی بحرانی‌تر برای مدل‌سازی در نظر گرفته می‌شود.

- گام دوم : شبیه‌سازی سناریوی سازگار پنجم و شبیه‌سازی در سناریوی پنجم در دو حالت الف و ب در نرم افزار عامل بنیان:

جامعه پژوهش در این مدل شامل دو گروه جنسیتی از افراد (زن و مرد) درسه طیف کودکان، بزرگسالان و سالخوردگان می‌باشد. این شبیه‌سازی، رفتار افراد را از آغاز شروع بحران تا تخلیه کامل جمعیت با سرعت‌های مختلف برای سنجش «رفتار» جمعی نشان می‌دهد.

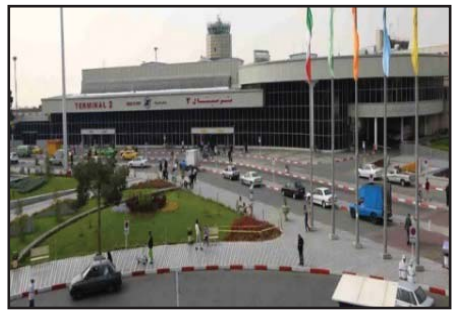
در این مرحله سناریوی پنجم با توجه به ارزش سازگاری ۱- و عدد توصیفی ۱ و تأثیر کلی ۶۰ و وجود حالت بحرانی بیشتر در بررسی وضعیت عوامل به تفکیک هر سناریو نسبت به سناریوهای دیگر در شرایط بحرانی‌تری استفاده می‌گردد. در سناریوی بحرانی‌تر، دو حالت الف و ب مدل‌سازی می‌گردد. از طریق مصاحبه‌های عمیقی که با متخصصان و دست‌اندرکاران و برداشت‌های میدانی انجام شده است، در حالت الف، حذف موانع و در حالت ب، افزودن ۲ درب خروجی و حذف موانع در ضلع شمالی نقشه ساختمان پیشنهاد شده است. ازآن‌جا که هدف نهایی، مقایسه زمان تخلیه در سناریوهای الف و ب می‌باشد و زمان پیش از حرکت تأثیری بر مقایسه نتایج ندارد، لذا زمان پیش از حرکت، صفر در نظر گرفته شده است. در شرایط بحران مانند زلزله یا آتش‌سوزی متوسط سرعت راه رفتن هر شرکت کننده به عنوان ضریب خاموشی است و ضریب کاهش دید و یا سرعت به دلیل بحران و یا دود می‌باشد. براساس مطالعات برای کودکان، بزرگسالان و سالخوردگان، سرعت حرکتی میانگینی که باید متناسب با حرکت این افراد باشد به ترتیب ۶/. و ۰/ ۸ و ۴۵/. در نظر گرفته شده است (فریدلوف و رانچی[1]،۲۰۱۳). در شرایط عادی با بررسی آمار پروازها و تعداد مسافران در حالت معمول، تراکم مسافران در مدل ۲۰۰۰ هزار نفر در هر ساعت در نظر گرفته شده است و در این دو حالت، تراکم ۲۰۰۰ نفر درنظرگرفته شده است. در این مرحله با توجه به نتایج شبیه‌سازی و مقایسه زمان‌های کل تخلیه، سناریوی بحرانی‌تر مشخص و زمان‌های تخلیه فرودگاه در حالات مختلف بررسی می‌شود. نوآوری این تحقیق نسبت به تحقیقات گذشته این است که از دیدگاه تکنیک تصمیم‌گیری، تحلیل آثار متقابل به شناسایی سناریوها پرداخته است و این تکنیک را با تکنیک شبیه‌سازی عامل بنیان همراه نموده است. پژوهش‌های پیشین با نگاه تک بعدی مسأله را بررسی نموده‌اند. تخلیه اضطراری جمعیت در فرودگاه‌ها نیز از موضوعاتی است که چندان به آن پرداخت نشده است. در شکل ۱ مدل پژوهش ارائه شده است.



شکل ۱ . مدل پژوهش

فرودگاه مهرآباد یکی از بزرگترین فرودگاه‌های کشور است که در غرب تهران واقع شده است. محدوده مطالعه این پژوهش، سالن شماره دو فرودگاه مهرآباد است. به دلیل وجود مرکزیت سیاسی و بیشترین تعداد ادارات، حجم زیادی از مسافران در شهر تهران تردد می‌کنند. فرودگاه مهرآباد دارای ۴ ترمینال است و با انتقال ۱۸ میلیون نفر مسافر در سال، بالاترین رتبه را در کشور دارد. با بررسی آمار پروازهای این فرودگاه در۲۴ ساعت، حدود ۵۰۰۰۰ هزار نفر مسافر جابه‌جا می‌شوند که در هر ساعت ۲۰۰۰ نفر می‌باشد. در بررسی کالبدی سالن شماره دو مشخص شد که بعضی از راه‌روها و پله‌های فرودگاه، بسیار باریک است و دارای دو درب ورود و دو درب خروجی می‌باشد. موانع در نظر گرفته شده سالن شماره ۲ فرودگاه شامل صندلی‌های مجاور به درب‌های ورودی و خروجی و گیت‌های بازرسی، فروشگاه‌های باز و گلدان‌های بزرگ می‌باشد. در شکل ۲، جزئیات سالن شماره دو فرودگاه مهر آباد تهران نشان داده شده است.

1. Fridolf & Ronchi ,2013



(الف)

(ب)

(ج)

شکل ۲. سالن فرودگاه شماره دو: (الف) نمای هوایی از فرودگاه. ب) تراکم جمعیت، ج) موانع اعم صندلی‌های مجاور درب خروجی، گلدان‌ها و فروشگاه‌ها.

یافته‌ها

تجزیه و تحلیل یافته‌های پژوهش در دو مرحله شامل: الف - نتایج تحلیل نرم افزار سناریو ویزارد، ب- نتایج شبیه سازی سناریو سازگار پنجم و دو حالت الف و ب در نرم افزار شبیه‌ساز عامل بنیان انی لاجیک، ارائه شده است.

الف - نتایج تحلیل در نرم افزار سناریو ویزارد

نتایج تحلیل نرم‌افزار سناریو ویزارد در ۵ مرحله به طور دقیق بیان شده است.

تدوین وضعیت‌های محتمل پیشران‌های کلیدی

در سناریو نویسی بر مبنای عوامل پیشران، به تعریف وضعیت‌های محتمل برای تبیین آینده تخلیه اضطراری جمعیت نیاز است. تحلیل دقیق شرایط پیش رو و تعریف وضعیت‌های احتمالی لازمهٔ اصلی تدوین سناریوها می‌باشد. جدول ۱، وضعیت‌های محتمل هر یک از عوامل کلیدی در تخلیه اضطراری جمعیت را نشان می‌دهد که با نظرسنجی روش دلفی به دست آمده است. حد استاندارد در اینجا مطابق با آمارهای تردد روزانه معمول افراد (در ساعت ۲۰۰۰ نفر) در فرودگاه مهر آباد در نظر گرفته شده است.

جدول ۱. عوامل کلیدی در بهبود تخلیه اضطراری جمعیت

نام اختصاری	عوامل کلیدی	وضعیت‌های محتمل
A	تراکم جمعیت	A1:کم‌تر از حد استاندارد
		A2:در حد استاندارد
		A3: بیش تر از حد استاندارد
B	وضعیت پله‌ها	B4:استفاده از راه پله، پله برقی و آسانسور
		B5:استفاده از راه پله، پله برقی
		B6:استفاده از راه پله
C	موانع مسیر	C7 : افزودن یک درب خروجی
		C8: همه ورودی و خروجی‌ها باز
		C9: یکی از خروجی‌ها یا اتاق کنترل بسته
D	سن افراد	D10 : بزرگسال
		D11 : خردسال
		D12: کهنسال
E	ترس و وحشت	E13 : احتیاط
		E14 : سرعت
		E15 : برخورد به دیگران
F	جنسیت	F16: مرد
		F17 : زن
		F18 : معلول

مأخذ: مطالعات نویسندگان- Bernardini، ۲۰۱۹) (Liu، ۲۰۲۰) (wang، ۲۰۲۱)(Zhu، ۲۰۱۱) (wan، ۲۰۱۱)

تهیه و تحلیل سبد سناریوهای احتمالی در آینده

۱۶ وضعیت محتمل برای ۶ عامل پیشران طراحی شده است. تعداد وضعیت‌های محتمل هر عامل بر اساس میزان پیچیدگی شرایط در ۳ حالت تعریف شده است. با طراحی وضعیت‌ها و تهیه ماتریس متقاطع، پرسشنامه فراهم شد و متخصصان این حوزه مشارکت در پُر کردن آن نمودند. آنان با طرح این سئوال که اگر هر یک از ۱۶ حالت رخ دهد چه تأثیری بر وقوع و یا عدم وقوع سایر حالت‌ها خواهد گذاشت، به

تکمیل پرسشنامه بر اساس وزن دهی بین ۳ تا ۳- پرداختند و میزان تأثیرگذاری هر کدام از وضعیت‌ها را بر سیستم مشخص کردند. بر اساس داده‌های وارد شده، سناریوهای زیر استخراج شده است:

۲ سناریو با سازگاری زیاد، ۸ سناریو با حداکثر دو عامل ناسازگار (سناریوهای باور کردنی) و ۵۱ سناریو با سازگاری ضعیف از نرم‌افزار سناریو ویزارد حاصل شد. از آنجا که ۲ سناریو با بیشترین سازگاری (بسیارقوی) همیشه در عمل اتفاق نمی‌افتند، ۸ سناریو با حداکثر دو عامل ناسازگار در نظر گرفته شده است. آن‌چه به نظر منطقی می‌رسد و میان سناریوهای با وضعیت محدود شده قوی و سناریوهای گسترده ضعیف قرار دارد، سناریو با عدد سازگاری ۱ است. فاصله عدد ۱ نشان‌گر گسترش محدوده سناریوهای قوی به میزان ۱ به جهت سناریوهای ضعیف می‌باشد.نرم‌افزار سناریو ویزارد از میان وضعیت‌های محتمل و متعدد آینده تخلیه اضطراری سالن شماره ۲ فرودگاه مهرآباد، احتمال وقوع ۸ سناریو را بیش از سایر سناریوها دانسته است و احتمال وقوع سایر سناریوها را خیلی کم ارزیابی کرده است. سناریوها از ارتباط دو سویه بین حالت‌های عوامل در ارتباط با حالت‌های عوامل دیگر استخراج شده است. بررسی اولیه سناریوهای ۸ گانه حاکی از سیطره نسبی تعداد وضعیت‌های ایستا)ادامه روند موجود(در تخلیه اضطراری سالن شماره ۲ فرودگاه مهرآباد است. در ادامه برای تحلیل وضعیت‌های تخلیه اضطراری، همه سناریوهای محتمل مورد تحلیل قرار می‌گیرد. در جدول ۲، مفهوم خاص صفحه سناریوها از طریق تبدیل حالت‌ها با عنوان‌های مطلوب تا بحرانی انجام گرفته است تا وضعیت تخلیه اضطراری را برای هر سناریو و پارامترهای مهم به صورت واضح نشان دهد.

جدول۲. وضعیت عوامل به تفکیک هر سناریو براساس طیف ۳ گانه از مطلوب تا بحرانی

عدد سناریو	تراکم جمعیت	وضعیت پله‌ها	موانع مسیر	سن افراد	ترس و وحشت	جنسیت
۱	بحرانی	مطلوب	مطلوب	مطلوب	بحرانی	مطلوب
۲	بحرانی	مطلوب	بینابین	مطلوب	بحرانی	مطلوب
۳	بحرانی	بینابین	بینابین	مطلوب	بحرانی	مطلوب
۴	بحرانی	بینابین	بحرانی	مطلوب	بحرانی	مطلوب
۵	بحرانی	مطلوب	بحرانی	مطلوب	بحرانی	مطلوب
۶	بحرانی	مطلوب	بینابین	مطلوب	بحرانی	مطلوب
۷	بحرانی	مطلوب	بینابین	مطلوب	بحرانی	مطلوب
۸	بحرانی	مطلوب	بحرانی	مطلوب	بحرانی	مطلوب

تفسیر سناریوهای منتخب و محتمل تخلیه اضطراری با حداکثر ۲ عامل ناسازگار

با توجه به تدوین پیشران‌های کلیدی، جهت تدوین سناریوهای تخلیه اضطراری با استفاده از پیشران‌های مشخص شده، از سناریو ویزارد استفاده شده است. این نرم‌افزار بر اساس ارتباط آینده محتمل پیشران‌ها با یکدیگر، آینده‌های مختلفی را بر اساس روش سناریونگاری و با انجام محاسبات پیچیده مشخص می‌نماید و در سنجش ارتباط آینده‌های محتمل از یک ماتریس استفاده می‌شود. سئوال محوری در هنگام پُر کردن ماتریس این است که اگر پیشران الف در آینده اتفاق بیافتد چه تأثیری بر وقوع و یا عدم وقوع وضعیت پیشران ب خواهد گذاشت.

شکل شماره۱، ماتریس تأثیرات در نرم‌افزار سناریو ویزارد را نشان می‌دهد که بر اساس این روش (تأثیر آینده‌های محتمل بر یکدیگر) با استفاده از پیشران‌های معرفی شده به نرم افزار سناریو ویزارد مشخص گردیده است. به این ترتیب بر اساس تأثیرات مثبت و منفی آینده‌های محتمل بر یکدیگر، سناریوهای مختلف محتمل الوقوع شناسایی شده‌اند و بر اساس ارتباطات مثبت و منفی آینده‌ها با یکدیگر به هر سناریو امتیازاتی ب راساس مجموع امتیازات مثبت و منفی داده شده است. برابر نتایجی که از امتیازات محاسبه شده در نرم افزار به دست آمد، ۸ سناریو که در جدول شماره ۳ ارائه شده‌اند به عنوان سناریوهای دارای بیشترین امتیاز در این سنجش مشخص گردیده است و سناریوی اول بر اساس جمع امتیازها و سازگاری‌ها با امتیاز (۶۰) به عنوان سناریوی برتر معرفی و انتخاب شده است. از این سناریوی محتمل‌الوقوعِ مطلوب در ارائه راه‌کارها استفاده خواهد شد. سناریوی پنجم به دلیل دارا بودن بالاترین امتیاز به همراه بالا بودن بیش‌ترین حالت بحرانی، بحرانی‌ترین سناریو می‌باشد.

گروه بندی و تحلیل سناریوهای منتخب

سناریوهای گروه اول: حاکم بودن بهترین شرایط ممکن

سناریوی اول بهترین و مطلوب‌ترین شرایط ممکن برای تخلیه اضطراری جمعیت می‌باشد. در این سناریو حالت بحرانی از همه سناریوها کم‌تر و عامل متمایزکنندهٔ آن‌ها تفاوت در میزان حالات مطلوب و ایستا است. به علاوه، از نظر فراوانی، بیشترین تعداد

جدول۳. سناریوهای منتخب برگرفته از نرم افزار Wizard

عدد سناریو	ارزش سازگاری	عدد توصیفی	تأثیر کلی	وضعیت پله‌ها	موانع مسیر
۱	-۲	۱	۶۰	امکان استفاده از راه پله، پله برقی و آسانسور	عدم وجود مانع در ورودی‌ها و خروجی‌ها و اتاق کنترل سالم
۲	۰	۰	۵۷	امکان استفاده از راه پله، پله برقی و آسانسور	عدم وجود مانع در ورودی‌ها و خروجی‌ها و اتاق کنترل سالم
۳	-۱	۱	۴۶	امکان استفاده از راه پله، پله برقی و آسانسور	عدم وجود مانع در ورودی‌ها و خروجی‌ها و اتاق کنترل سالم
۴	-۱	۱	۵۳	امکان استفاده از راه پله، پله برقی و آسانسور	درب‌های خروجی مسدود شده، تخلیه افراد تنها از طریق اتاق‌های کنترل و بازرسی (ورودی) امکان پذیر است
۵	-۱	۱	۶۰	امکان استفاده از راه پله، پله برقی و آسانسور	خروجی به صورت کامل تخریب و مسدود شده است. تخلیه افراد تنها از طریق اتاق‌های کنترل و بازرسی (ورودی) امکان‌پذیر است (تنها ورودی‌ها بازشو قابل تردد می‌باشند)
۶	۰	۰	۵۶	امکان استفاده از راه پله، پله برقی و آسانسور	درب‌های خروجی مسدود شده است، تخلیه افراد تنها از طریق اتاق‌های کنترل و بازرسی (ورودی) امکان پذیر است.
۷	-۱	۱	۴۵	امکان استفاده از راه پله، پله برقی و آسانسور	عدم وجود مانع در ورودی‌ها و خروجی‌ها و اتاق کنترل سالم
۸	-۱	۲	۵۰	امکان استفاده از راه پله، پله برقی و آسانسور	اتاق‌های کنترل و بازرسی مسدود شده و یک در خروجی افزوده شده است.

وضعیت مطلوب را در بین سناریوهای دیگر دارد. تفاوت سناریوی اول با دیگر سناریوها در افزودن یک درب خروجی اضطراری می‌باشد. دراین سناریو مانعی در ورودی‌ها و خروجی‌ها نمی‌باشد و اتاق کنترل سالم است.

سناریوهای گروه دوم: روند تغییرات بسیار کند و آرام، حفظ وضع موجود

در این گروه ۷ سناریو مشاهده می‌شود که شامل سناریوهای دوم تا هشتم است. در این گروه، عوامل متمایز کننده سناریوها با سناریوی اول، تفاوت در میزان حالت‌های مطلوب، ایستا و بحرانی می‌باشد. مقایسهٔ درصد فراوانی حالت مطلوب و بحران این گروه با سناریوی اول نشان دهندهٔ وضعیت تقریباً ایستا در آینده تخلیه اضطرار جمعیت است.

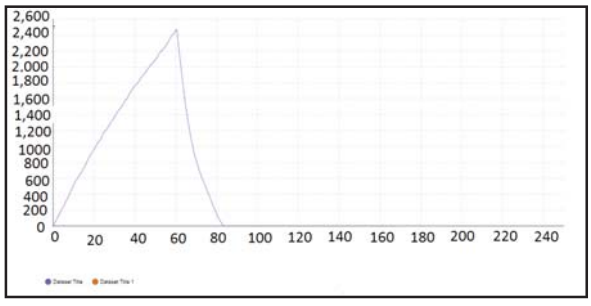
ب- نتایج شبیه‌سازی سناریوی سازگار پنجم و دو حالت الف و ب در نرم افزار شبیه‌ساز عامل بنیان

دراین بخش هیستوگرام‌های درصد تخلیه افراد و نمودارهای خطی ارائه می‌گردد. نتایج شبیه‌سازی سناریوی پنجم و سناریوها در ۲ حالت الف- حذف موانع و حالت ب - افزودن ۲ درب خروجی و حذف موانع در ضلع شمالی نقشه ساختمان در محیط نرم افزار شبیه‌ساز عامل بنیان، در ادامه به ترتیب ارائه می‌شود. از آن‌جایی که حالت‌های بحرانی سناریوی پنجم نسبت به وضعیت عوامل، به تفکیک، در بین دیگر سناریوها بیش‌تر است و حالت حادتری از فاجعه را در صورت وقوع بحران دارد، برای شبیه‌سازی انتخاب شده است. در مورد هر سناریو، اجزاء محیط شبیه‌سازی شده، نمای محیط شبیه‌سازی شده، هیستوگرام درصد افراد تخلیه شده بر حسب زمان

پس از شروع بحران، و نمودار خطی مربوط به تعدد افراد تخلیه شده از زمان شروع بحران به همراه توضیحات مربوطه ارائه می‌گردد. در تمام نمودارهای هیستوگرام ارائه شده در این پژوهش، محور افقی، زمان بر حسب دقیقه (مدت زمان شروع بحران تا خروج مسافر) و محور عمودی، درصد افراد تخلیه شده از زمان شروع بحران را نشان می‌دهد. در نمودارهای خطی نیز محور افقی زمان بر حسب دقیقه (زمان شبیه‌سازی) و محور عمودی تعداد افراد تخلیه شده از زمان شروع بحران را نشان می‌دهد. برای بررسی وضعیت سناریوها، ابتدا مدل، ۶۰ به مدت دقیقه اجرا می‌شود تا مسافران وارد فرودگاه شوند و وضعیت فرودگاه به حالت یک روز عادی در آید. پس از گذشت ۶۰ دقیقه از اجرای مدل، بحران ایجاد می‌گردد و وضعیت خروج مسافران و زمان لازم برای خروج آن‌ها در سناریوهای مختلف مورد بررسی قرار می‌گیرد.

مدل سازی تخلیه اضطراری در سناریوی پنجم

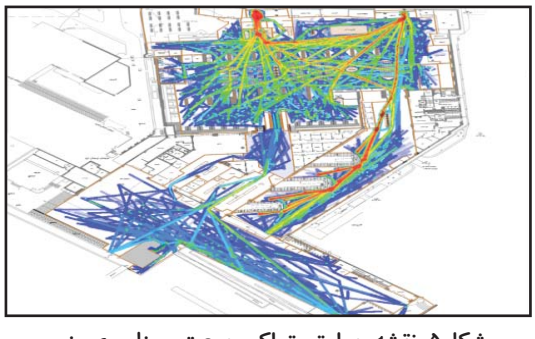
شکل (۱) نمودار تعداد افراد تخلیه شده بر حسب زمان بعد از شروع بحران و شکل (۲)، هیستوگرام درصد تخلیه افراد بر حسب زمان بعد از شروع بحران در سناریوی پنجم طبقه همکف را نشان می‌دهد. این سناریو همانند سناریوی چهارم می‌باشد و برابر شکل، درب‌های خروجی کاملاً مسدود شده‌اند و خروج، تنها از طریق درب‌های ورودی بازشوی اتاق کنترل و بازرسی امکان‌پذیر است. در این سناریو موانع سبب تشکیل ۵ نقطه جمعیتی می‌شود. بیشترین تمرکز جمعیت همانند سناریوی چهارم، جلوی درب ورودی و اتاق بازرسی می‌باشد. این زمان نسبت به سناریوهای دیگر بالاتر است، زیرا خود اتاق بازرسی دارای گیت است که از سرعت خروج افراد می‌کاهد و زمان مورد نیاز خروج افراد را افزایش می‌دهد. نقشه حرارتی در شکل (۳) و وضعیت اجزای مدل مربوط به سناریوی پنجم در طبقه همکف در شکل (۴) نشان داده شده است، که در این شکل، درب‌های ورودی و خروجی با فلش مشخص گردیده‌اند که بر حسب سناریو، همه درب‌های ورودی و خروجی سالم می‌باشند و تراکم جمعیت، برابر مقدار واقعی روزمره فرودگاه (۲۰۰۰ نفر در هر ساعت) است و سرعت برای سه رده سنی سرعت در شرایط وقوع بحران است تا با بررسی نتایج میزان تاب‌آوری فرودگاه از بُعد ظرفیت تخلیه و زمان خروج افراد سنجیده شود.



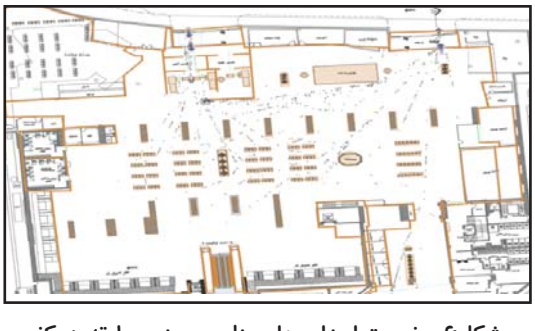
شکل ۳. نمودار خطی سناریوی پنجم

شکل ۴. هیستوگرام سناریوی پنجم (زمان تخلیه: ۷,۹۳ دقیقه)

در این سناریو تعداد خروج افراد در دقیقه ۶۰، ۲۶۰۰ نفر؛ زمان مورد نیاز جهت کامل خروج همه افراد از سالن شماره دو، ۸۴ دقیقه و زمان شبیه‌سازی ۹۳/ ۷ دقیقه می‌باشد. شکل نقشه حرارتی تراکم جمعیتی را نشان می‌دهد (رنگ قرمز نقاط بسیار پُرتراکم و پُرخطرجمعیتی را نشان می‌دهد). شکل ۶، وضعیت اجزاء مدل سناریوی پنجم طبقه همکف را نشان می‌دهد.



شکل۵. نقشه حرارتی تراکم جمعیتی سناریوی پنجم



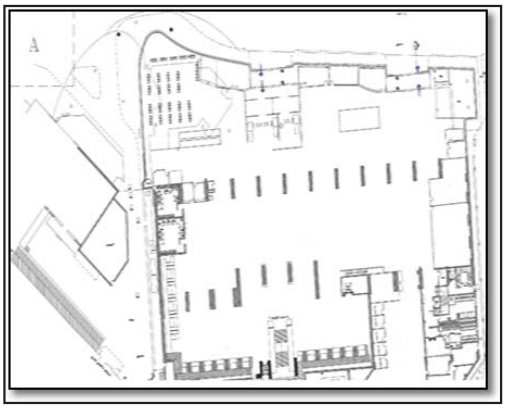
شکل۶. وضعیت اجزاء مدل سناریوی پنجم طبقه همکف

این سناریو همانند سناریوی چهارم می‌باشد و مطابق شکل، درب‌های خروجی کاملاً مسدود شده‌اند و خروج، تنها از طریق درب‌های ورودی بازشوی اتاق کنترل و بازرسی امکان‌پذیر است. در این سناریو موانع سبب تشکیل ۵ نقطه جمعیتی می‌شود. بیشترین تمرکز جمعیت همانند سناریوی چهارم، جلوی درب ورودی و اتاق بازرسی است. این زمان نسبت به سناریوهای دیگر بالاتر است، زیرا خود اتاق بازرسی دارای گیت است که از سرعت خروج افراد می‌کاهد و زمان مورد نیاز خروج افراد را افزایش می‌دهد. با توجه به این سناریو، تاب آوری سالن شماره ۲ جهت ظرفیت مسافران و تخلیه اضطراری در شرایط بحران در حالت ترس و سرعت حرکتی بالا، با وجود تراکم روزانه ۲۰۰۰ نفر مناسب نمی‌باشد.

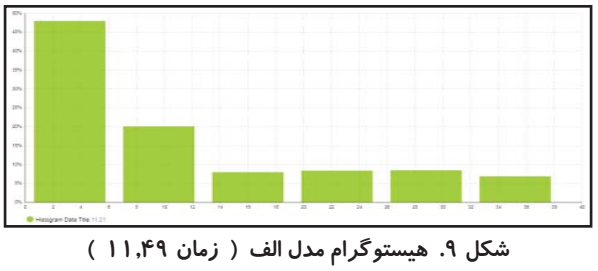
مدل سازی تخلیه اضطراری در حالت الف و ب

در حالت الف، مدل با وجود گیت بازرسی بررسی شده است. دو درب اضطراری در ضلع شمالی ساختمان و بین اطلاعات پرواز و اتاق پلیس در نظر گرفته شده است. همچنین موانعی مانند فروشگاه‌های موجود در مسیر و گلدان‌ها -که مانع از تخلیه مسافرین در زمان بحران می‌شود- حذف شده‌اند. در بخش روش‌شناسی بیان شده است که تراکم جمعیت و زمان متفاوت در همه آزمایش‌ها بررسی شده است. در این بخش به تأثیر متغیرهای تجربی، افزودن درب اضطراری و رفع موانع پرداخته شده است. از جدول ۴ می‌توان نتیجه گرفت که در حالت ب، زمان نسبت به حالت الف افزایش یافته است. در واقع در حالت الف، ۳۶۰۰ نفر در ۹۸ دقیقه محل را ترک می‌کنند و در حالت ب نیز همین تعداد نفر در ۱۰۵ دقیقه محل را ترک می‌نمایند. افزایش زمان در حالت ب به این دلیل است که فقط موانع مسیر برداشته شده و درب اضافه نشده است. از این رو می‌توان نتیجه گرفت که تنها رفع موانع، روش کارآمدی برای کاهش زمان نمی‌باشد و باید درب نیز به مدل اضافه شود. اما نکته مهم در اینجا این است که زمان سناریوی پنجم در مقایسه با دو سناریوی الف و ب با وجود عدم وجود درب اضافی و وجود موانع، کمتر است، زیرا به احتمال زیاد، مکان درب‌های پیشنهادی در مدل، نامناسب است و باید در محل دیگری از سالن نصب شود. در تحقیقات آتی می‌توان یکی از کابین‌های پلیس در کنار ورودی اصلی فرودگاه را برداشت و به جای آن دو درب اضطراری را در آن قسمت قرار داد. یا می‌توان این دو در را در کنار کابین پلیس قرار داد. محل قرارگیری این درب‌ها زمان تخلیه را کاهش می‌دهد. در جدول ۱، مقایسه زمان تخلیه در دو حالت الف و ب انجام شده است. در صورت وقوع بحران، فرودگاه مورد نظر قادر است زمانی که حجم افراد از ۱۰۰۰ نفر بیشتر نباشد، افراد را به طور ایمن تخلیه کند.

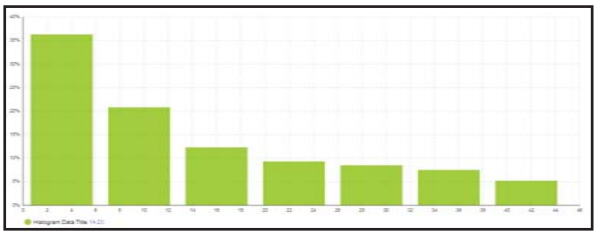
شکل۷ . مدل الف. افزودن ۲ درب خروجی و حذف موانع



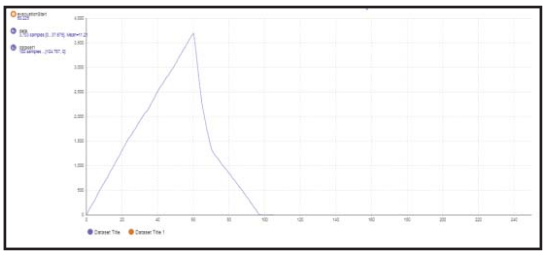
شکل۸ . مدل ب . حذف موانع



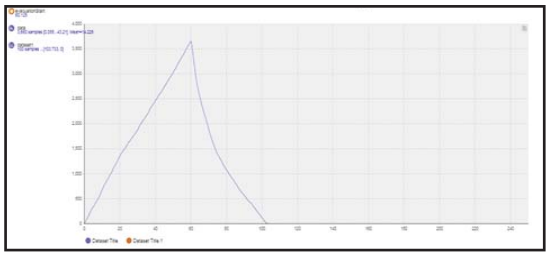
شکل ۹. هیستوگرام مدل الف (زمان ۱۱,۴۹)



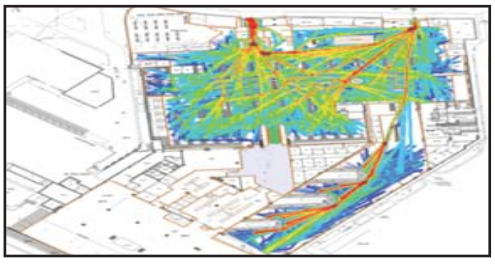
شکل ۱۰. هیستوگرام مدل ب (زمان۱۴,۲۳)



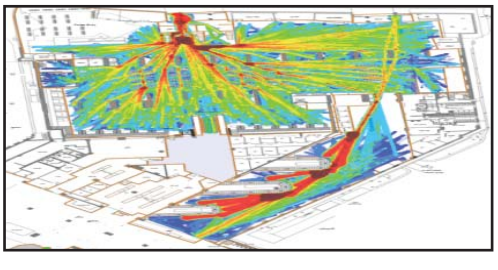
شکل ۱۱. نمودارخطی مدل الف



شکل ۱۲. نمودارخطی مدل ب



شکل ۱۳. نقشه حرارتی تراکم خروج در مدل A



شکل ۱۴. نقشه حرارتی تراکم خروج در مدل B

جدول۴. زمان تخلیه و شبیه‌سازی و تعداد افراد در دو حالت

حالت A			حالت B		
تعداد افراد خارج شده	زمان تخلیه	زمان شبیه سازی	تعداد افراد خارج شده	زمان تخلیه	زمان شبیه سازی
۳۶۰۰	۹۸	۱۱. ۴۹	۳۶۰۰	۱۰۵	۱۴ .۲۳

نتیجه گیری

مقوله تخلیهٔ اضطراری جمعیت در مکان‌های پُر تراکم جمعیتی مانند فرودگاه به دلیل کاربری خاص و نقش حیاتی‌اش در حمل و نقل، بسیار ضروری می‌باشد و پاسخ به این مسأله 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 کمّی‌و کیفی است. در ابتدا با شناسایی متغیرها و به‌دست آوردن سناریوهای مؤثر، سناریوی پنجم در بین سناریوها با زمان تخلیه ۸۴ دقیقه و زمان شبیه‌سازی۹۳ .۷ دقیقه به دلیل داشتن شرایط بحرانی‌تر انتخاب شد و در گام بعد سناریوی ۵ درحالت‌های الف و ب و در نرم‌افزار شبیه‌ساز عامل بنیان به منظور تأثیر بررسی راه‌کارها در کاهش یا افزایش زمان کل تخلیه اضطراری شبیه‌سازی شده است. با توجه به سناریوی پنجم تاب‌آوری، سالن شماره ۲ فرودگاه در شرایط اضطراری مناسب نمی‌باشد. در سناریوی پنجم و به تبع آن مدل‌های الف و ب، تراکم در نظر گرفته شده ۲۰۰۰ نفر می‌باشد که با ایجاد بحران و مسدود شدن مسیرها، گره‌های جمعیتی در مدل مشاهده گردید و صرفاً زمانی که تعداد افراد از ۱۰۰۰ بیشتر نباشد را به طور ایمن می‌تواند تخلیه نماید. نتایج شبیه‌سازی نشان داد که در حالت الف، ۳۶۰۰ نفر در ۹۸ دقیقه محل را ترک می‌کنند و در حالت ب نیز همین تعداد نفر در ۱۰۵ دقیقه محل را ترک می‌کنند. افزایش زمان در حالت ب به این دلیل است که فقط موانع مسیر برداشته شده و درب اضافه نشده است. لذا به منظور ارتقای مدل در راستای کاهش زمان کل تخلیه، بایستی درب اضطراری نیز اضافه گردد و صرفاً حذف موانع کافی نمی‌باشد. این تحقیق با رویکردی گسترده به بررسی حالات گوناگون مسأله پرداخته، سناریو منتخب را شبیه‌سازی نموده است و به بررسی راه‌کارها با استفاده از روش شبیه‌سازی جهت کاهش زمان تخلیه اضطراری پرداخته است. و این از مزایای این تحقیق نسبت به تحقیقات گذشته است که از تکنیک تصمیم‌گیری آثار متقابل برای شناسایی سناریوها و متغیرهای وزن‌دار در کنار تکنیک شبیه‌سازی بهره برده است و به مسأله پرداخته است. هدف مطالعه‌های آتی باید منجر به گسترش روش پیشرفته‌ای باشد که قادر به شبیه‌سازی تخلیه با توجه به برداشت یک حادثه خطرناک خاص و همچنین بررسی تعاملات عوامل با یکدیگر در مسیر فرار باشد.

پیشنهادات

ار آن‌جایی که تخلیه اضطراری می‌تواند تأثیر به‌سزایی در کاهش مرگ و میر ناشی از وقوع مخاطره داشته باشد، لذا به منظور کاهش مدت زمان لازم و افزایش تعداد خروج جهت تخلیه اضطراری

شبیه‌سازی رفتار، راه‌کارهای زیر پیشنهاد می‌گردد:

- علاوه بر متغیرهای مورد بحث مدل‌سازی شده در این پژوهش، می‌توان با استفاده از الگوریتم‌های هوش مصنوعی بهبود یافته، نظریه عدم برخورد عامل‌ها در محیط را که تاکنون در مقالات بررسی نشده است را به منظور بررسی زمان کل تخلیه اضطراری و میزان تاب آوری ارائه داد.
- توسعه رویکرد پیشرفته‌ای که قادر به شبیه‌سازی و بهینه‌سازی تخلیه فرودگاه با در نظر گرفتن تأثیر رویدادهای خطرناک مانند بمب گذاری، حوادث تروریستی و عدم قطعیت‌های خاص باشد .
- می‌توان این مدل‌سازی‌ها را در محیط‌های حساس پُرتراکم دیگری مانند استخرهای شنا به منظور بررسی دقیق زمان کل تخلیه و بررسی تناسب و یا عدم تناسب ظرفیت افراد ورودی به مجموعه انجام داد.

منابع

ارژنگی، سولماز . (۱۳۹۸). به سوی تدوین چارچوب عملیاتی شبیه‌سازی تخلیهٔ اضطراری جمعیت بازارهای تاریخی هنگام آتش‌سوزی، فصلنامهٔ علمی پژوهشی معماری و شهرسازی. ۲۹(۳): ۱۱۹-۱۰۱ . بازیابی از: https://soffeh.sbu.ac.ir/article_100477.html

بهرامی، وحید.، اعتصام، ایرج.، شاهچراغی،آزاده. (۱۳۹۹). بررسی متغیرهای مؤثربر طراحی مسیرهای تخلیه اضطراری ساختمانهای بلند مرتبه در برابرآتش‌سوزی بر اساس روش معادلات ساختاری MICMAC و تحلیل.ANP، فصلنامهٔ علمی پژوهشی معماری شهر پایدار. ۸(۲):۸۰- ۶۷. بازیابی از: https://jsaud.sru.ac.ir/article_1497.html

سینی، سیدرضا .، مظفری،مهدی. (۱۳۹۵). آینده پژوهی، راهکاری برای ارتقای صنعت گردشگری در ایران، چهارمین کنفرانس بین المللی حسابداری و مدیریت (با رویکرد علوم پژوهشی نوین) مرکز همایش‌های سازمان مدیریت صنعتی:۱۱-۱. بازیابی از:/https://civilica.com/doc/547415

زالی، نادر.(۱۳۹۰). آینده نگاری راهبردی و سیاست گذاری منطقه ای با رویکرد سناریونویسی، فصلنامهٔ مطالعات راهبردی، سال چهاردهم، ۱۴ (۴): ۵۴-۳۳ . بازیابی از:https:// www.sid.ir/paper/92674/fa

زیاری، کرامت الله.، ربانی، طاها .، موچشی ، رامین. (۱۳۹۶). آینده پژوهی پارادایمی نوین در برنامه ریزی با تأکید بر برنامه ریزی شهری و منطقه ای. چاپ اول، تهران، انتشارات دانشگاه تهران. بازیابی از: https://www.adinehbook.com/gp/product/9640370266

ضرغامی، اسماعیل.، ریسمانیان، مهدی. (۱۳۹۸). تأثیر متغیرهای معماری بر زمان تخلیه کلاس درس در شرایط اضطراری. مجله مطالعات محیطی هفت حصار.۳۰(۸): ۶۸-۵۹ . بازیابی از:
تأثیر- متغیرهای- معماری -بر زمان- تخلیه- کلاس- درس- در - شرایط-
اضطراری Ensani.ir/fa/article/۴۵۷۰۲۰/ علیزاده، ع.، وحیدی مطلق، و. و نظمی، ع. (۱۳۹۷) کتاب سناریونگاری یا برنامه ریزی بر اساس سناریوها. اتاق فکر آینده، ۲۵۶-۱. بازیابی از: https://www.adinehbook.com/gp/product/6009027439

Bernardini, G., Lovreglio, R., Quagliarini, E. (2019). Proposing behavior-oriented strategies for earthquake emergency evacuation. Italy and Japan. Safety Science, 116 (24) 295–309. Retrieved from: https://www.researchgate.net/publication/332029855_Proposing_behavior-oriented_strategies_for_earthquake_emergency_evacuation_A_behavioral_data_analysis_from_New_Zealand_Italy_and_Japan.

Busogi, M., Shin, D., Ryu, H, Oh, Y. (2017). Weighted affordance-based agent modeling and simulation in emergency evacuation. Saf. Sci , 96: 209-227. Retrieved from: https://www.researchgate.net/publication/316576489_Weighted_affordance-based_agent_modeling_and_simulation_in_emergency_evacuation

Chow, W., Candy, M., Nai, K . (2011). Simulation of emergency evacuation in the arrival hall of a crowded airport. The Hong Kong Polytechnic University, 11 (1): 613-626. Retrieved from: https://research.polyu.edu.hk/en/publications/simulation-of-emergency-evacuation-in-the-arrival-hall-of-a-crowd

Fahy, R., Proulxm, G. (2001). Toward Creating a Database on Delay Times to Start Evacuation and Walking Speeds for Use in Cvacuation Modelling. Human Behavior in fire, 8 ,(6): 175-193 Retrieved from:https://nrc-publications.canada.ca/eng/view/accepted/?id=4fef7a5e-f184-408a-b11f-3ffbf2a61ddf.

Fang, J., Tawil, E. (2016). Leader-follower model for agent based simulation. Safety Science., 83, (1): 40-47. Retrieved from: https://www.researchgate.net/publication/285044787_Leader-follower_model_for_agent_based_simulation_of_social_collective_behavior_during_egress

Fridolf K ; Ronchi E , Nilsson,D., Frantzich,H. (2013). Movement speed and exit choice in smoke tunnels. Fire Safety Journal, 59 (8-23). Retrieved from: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0379711213000660

Gerges, M., Penn, S., Moore, D., Boothman, C., & Liyanage, C. (2018). Multi-storey residential buildings. International Journal of Building Pathology. 22(5), 25-38.

Glenn, Jerome C. (2009). Introduction to the Futures Research Methods Series. Futures Research Methodology.10:32-45. Retrieved from: https://www.millennium-project.org/publications-2/futures-research-methodology-version-3-0.

Georgoudas, I., Sirakoulis, C. Andreadis,I.. (2015). An anticipative crowd management system . IEEE Systems Journal,5(1):129-141.Retrieved from: https://www.researchgate.net/publication/224203208_An_Anticipative_Crowd_Management_System_Preventing_Clogging_in_Exits_During_Pedestrian_Evacuation_Processes

Ha, V., Lykotrafitis, G. (2012). Agent-based modeling of a multi-room multi-floor building. Physica A: Statistical Mechanics and its Applications, 391(8): 2740-2751. Retrieved from: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378437111009708

research, 179: 1177 1193.Retrievedfrom:https://www.researchgate.net/profile/Linet-Ozdamar/publication/4939342_A_Dynamic_Logistics_Coordination_Model_for_Evacuation_and_Support_in_Disaster_Response_Activities/links/59f6db87aca272607e2bdbdb/A-Dynamic-Logistics-Coordination-Model-for-Evacuation-and-Support-in-Disaster-Response-Activities.pdf

Zali, N., F, Atrian. (2016). the development of regional tourism development scenarios based. Journal of Spatial management, 8 (1): 107-131. Retrievedfrom: https://jtcp.ut.ac.ir/article_59147.html?lang=en

Zhang, J., Song, W. (2008). Experiment and multi-grid modeling of evacuation. Physic a A: Statistical Mechanics and its Applications, 387, (23): 5901-5909.

Retrievedfrom:https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S037843710800575X

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, 7, (8): 31- 42.

Retrievedfrom:https://www.researchgate.net/publication/308046797_Study_on_evacuation_of_pedestrians_from_a_room_with_multi-obstacles_considering_the_effect_of_aisles

Liu, Y., Yuan, T. (2020). Analysis and Simulation of crowd in Airport Multiple Transport Modes . International Conference on Aviation Safety and Information Technology .ACM. DL.digital library: 36–41 .Retrievedfrom:https://dl.acm.org/doi/abs/10.1145/3434581.3434587.

Lim, A., Tan., W. (2012). Simulating Evacuations with Obstacles. Journal of Applied Mathematics , 8, (23): 23-34. Retrieved from: https://www.hindawi.com/journals/jam/2012/765270.

Perry, R., Lindell, M. (2003). Preparedness for emergency response: guidelines for the emergency planning. Disasters, 27, (4): 336—350. Retrievedfrom: https://www.semanticscholar.org/paper/Preparedness-for-emergency-response%3A-guidelines-for-Perry-Lindell/b0bd09d0839ef8a3b94a04c71b00e22db49f0790

Wan, C., Candy, M., Nai, K. (2011). Simulation of emergency evacuation. 10th International Symposium on Fire Safety Science - College Park, MD, United States,The Hong Kong Polytechnic University.613-626. Retrieved from: https://research.polyu.edu.hk/en/publications/simulation-of-emergency-evacuation-in-the-arrival-hall-of-a-crowd.

Heliövaara S., Korhonen, T., Hostikka,S., Ehtamo,H (2012). Counter_ow model for agent-based simulation. Building Envi- ron, 48 (1): 165-173. Retrieved from:https://www.researchgate.net/publication/228584151_Counterflow_Model_for_Agent-Based_Simulation_of_Crowd_Dynamics

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, vol. 24, 2012, 71_83. Retrieved from: https://www.researchgate.net/publication/271583972_Estimating_the_impact_of_residents_with_disabilities_on_the_evacuation_in_a_high-rise_building_A_simulation_study

Manley, M., Kim, Y., Christensen,K., Chen,A (2012).Modeling emergency evacuation of individuals with disabilities (exitus): An agent-based public decision support. Expert Syst, Appl, 2206(2206): 32_38.Retrievedfrom:https://www.researchgate.net/publication/235782447_Modeling_Emergency_Evacuation_of_Individuals_with_Disabilities_in_a_Densely_Populated_Airport.

Pluchino, S., Tribulato, G., Caverzan,A (2015). Agent-based model for pedestrians' Evacuation after a blast integrated with a human Behavior Model. in Proc, 39(9): 1506_1517. Retrieved from: https://www.researchgate.net/publication/274640602_AgentBased_Model_for_Pedestrians%27_Evacuation_after_a_Blast_Integrated_with_a_Human_Behavior_Model.

Sharma, S., Lohgaonkar, S. (2010). Simulation of agent behavior in a goal _finding application, in Proc. IEEE SoutheastCon (SoutheastCon), Concord, NC, 8(2): 424_427. Retrieved from: https://ieeexplore.ieee.org/document/5453811

Sheeba, A., Jayaparvathy,. R. (2019). Performance modeling of an intelligent emergency evacuation system in buildings on accidental fire occurrence. Safety Science. 112 (85), 196–205. Retrieved from:

https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0925753518307185.

Stamatopoulou, I., Sakellariou, I., Kefalas,k (2012). Formal Agent-Based Modelling and Simulation of Crowd Behaviour in Emergency Evacuation Plans In2012 IEEE 24th International Conference on Tools with Artificial . 1,: 1133-1138. Retrieved from: https://ieeexplore.ieee.org/document/6495178

Slaughter, R. A. (1993). Future concepts. Future, 25(3), 289-314. Retrieved from:

https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/001632879390138J

Tang, T., Chen, L. (2015). An evacuation model accounting for elementary students' individual properties. Physica A: Statistical Mechanics And its Applications, 440: 49 -56.

Wang, F., Xu, X., Chen,M., Nzige,M., Chong,F. (2021). Simulation Research on Fire Evacuation of LargePublicBuildings Based on Building Information Modeling. Journal of Applied Mathematics 1, (2): 122–130. Retrieved from:https://www.sciopen.com/article_pdf/1453273275338129410.pdf

Yi, W., Özdamar ,W. (2018). A dynamic logistics coordination model for evacuation. European journal of operational