Resilience of Hall Number Two of Mehrabad Airport in Possible Crises and Evaluation of Emergency Evacuation Time

M. A. nekoie, P. Jafari Fesharaki, M. Hamedi*

Abstract

The purpose of this article is to investigate the resilience of Mehrabad airport in possible crises such as war and earthquake through the simulation of emergency population evacuation. 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 160 specialists, academic staff and graduate students. Random sampling and Cochran's formula were used. After conducting the interview and completing the questionnaire, compatible scenarios are obtained from Wizard software and then modeling in normal, disaster and optimistic mode with maximum two incompatible factors is considered in Any Logic. The results of the simulation have shown that the fourth scenario is in a more critical condition than the other scenarios with an evacuation time of 125 minutes and a simulation time of 87.19. In scenario 1, normal conditions, since all entry and exit doors are healthy, the percentage of evacuation of people is maximum immediately after the beginning of the crisis, the presence of obstacles has no effect on the creation of a population node, and over time, the population gradually leaves. In the case of a disaster, time Draining is 100 and simulating 59.11 minutes. The resilience of airport hall number 2 is suitable under normal conditions, but in the event of a crisis and an increase in density, fear and speed, it is very low. Unlike the previous studies that have a one-dimensional view of the emergency evacuation issue, this article has a mixed approach.

Key Words: *Emergency Evacuation, Simulation, Sensitivity Analysis Model*

This article is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license.

Publisher: Imam Hussein University © Authors

*Doctor Student, Malek Ashtar University of Technology, Tehran, Iran (mmoh.h000 @yahoo.com)- Writer-in-Charge

نشریه علمی پدافند غیرعامل

سال چهاردهم، شماره ۲، تابستان ۱۴۰۲، (پیاپی ۵۴): صص ۲۹-۱۵

علمی- پژوهشی

تاب‌آوری سالن شماره دو فرودگاه مهرآباد در بحران‌های احتمالی و ارزیابی زمان تخلیه اضطراری

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

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۵/۰۸

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۱/۱۶

چکیده

هدف این مقاله، بررسی تاب‌آوری فرودگاه مهرآباد در بحران‌های احتمالی مانند جنگ و زلزله از طریق شبیه‌سازی تخلیه اضطراری جمعیت است. روش پژوهش از نوع توصیفی– تحلیلی، ازنظر حل مسئله ترکیبی و نوع نتایج تبیینی هست. جمع‌آوری اطلاعات میدانی و اسنادی انجام‌گرفته است. جامعه آماری شامل ۱۶۰ نفر از متخصصان، هیئت‌علمی و دانشجویان تحصیلات تکمیلی است. از نمونه‌گیری تصادفی و از فرمول کوکران استفاده‌شده است. بعد از انجام مصاحبه و تکمیل پرسشنامه، سناریوهای سازگار از نرم‌افزار Wizard حاصل و سپس مدل‌سازی در حالت عادی و فاجعه و خوش‌بین با حداکثر دو عامل ناسازگار در Any Logic در نظر گرفته‌شده است. نتایج شبیه‌سازی نشان داده است زمان در سناریو چهارم بازمان تخلیه ۱۲۵ دقیقه و زمان شبیه‌سازی ۱۹/۸۷ نسبت به بقیه سناریوها بیش‌تر است و در شرایط بحرانی‌تری قرار دارد. در سناریو ۱ شرایط عادی ازآنجایی‌که همه درب‌های ورود و خروج سالم هستند درصد تخلیه افراد بلافاصله پس از شروع بحران حداکثر است، وجود موانع تأثیری در ایجاد گره جمعیتی نداشته و با گذر زمان جمعیت به‌تدریج خارج می‌شوند. در حالت فاجعه، زمان تخلیه ۱۰۰ و شبیه‌سازی ۵۹/۱۱ دقیقه است. تاب‌آوری سالن شماره ۲ فرودگاه در شرایط عادی مناسب است ولی در صورت وقوع بحران و افزایش تراکم، ترس و سرعت، بسیار پایین است. برخلاف پژوهش‌های پیشین که نگاهی تک‌بعدی به مصالح تخلیه اضطراری داشته‌اند؛ این مقاله رویکردی ترکیبی دارد.

کلیدواژه‌ها: تخلیه اضطراری، شبیه‌سازی، مدل تحلیل حساسیت

* این مقاله یک مقاله با دسترسی آزاد است که تحت شرایط و ضوابط مجوز Creative Commons Attribution (CC BY) توزیع شده است.

ناشر: دانشگاه جامع امام حسین (ع)

© نویسندگان

[۱] استادیار گروه مدیریت بحران دانشکده پدافند غیرعامل دانشگاه صنعتی مالک اشتر، تهران، ایران

[۲] استادیار گروه مدیریت بحران دانشکده پدافند غیرعامل دانشگاه صنعتی مالک اشتر، تهران، ایران

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

۱- مقدمه

ازجمله برنامه‌ها و اقدامات مدیریت بحران در فاز کاهش آسیب‌پذیری‌ها عملیات تخلیه است. تخلیه جزء حیاتی پاسخ و مدیریت اضطراری، برای انتقال مردم از مناطق مخاطره آمیز به آنجایی که امن‌تر است [۱]. تخلیه اضطراری درواقع از نخستین مراحل مدیریت بحران به شمار می رود که باید در کمترین زمان ممکن انجام شود [۲].

تخلیه اضطراری جمعیت در بحران‌هایی مانند زلزله در جهت کاهش تلفات انسانی و افزایش سرعت امدادرسانی بسیار حائز اهمیت است [۳]. عامل مؤثر و مهم که بر نتایج یک طرح شبیه‌سازی تخلیه اضطراری تأثیرگذار است، زمان است [۴]. آمار و ارقام به‌دست‌آمده از تحقیقات تجربی نشان می‌دهد که در طول تخلیه اضطراری معمولاً فاجعه اصلی دلیل اصلی تلفات نبوده است و احساس وحشت و نگرانی ایجادشده در انسان ها و رفتار جمعیت براثر ترس، علت اصلی تلفات در حوادث طبیعی است. برای به حداقل رساندن میزان تلفات در بین جمعیت، باید معماران و مهندسان ساختمان طراحی بهینه‌ای برای تخلیه جمعیت ارائه دهند [۵]. به‌این‌علت، در بسیاری از شبیه‌سازی‌ها وحشت و جنبه های استرس در هنگام تخلیه در نظر گرفته شده است [۶]. پیش‌بینی رفتار افراد که دچار وحشت و استرس درزمان حادثه ناگوار می‌شوند، کار مشکلی است. زیرا افراد مختلف عکس العمل متفاوتی را در یک وضعیت یکسان از خود نشان خواهند داد [۷]. مدل وحشت بر این فرض استوار است که افراد نگران حفظ جان خود و در رقابت با یکدیگر برای تخلیه از خروجی‌های محدود می‌باشند [۸]. در بسیاری از شبیه سازی‌ها وحشت و جنبه‌های استرس در هنگام تخلیه در نظر گرفته شده است [۹]. به‌عنوان‌مثال، سه عامل مختلف در میزان وحشت اندازه‌گیری شده است، شامل میزان در معرض دید بودن خروجی‌ها، زمان تخلیه و تراکم افراد در حال فرار [۱۰]. سطح وحشت توسط فاصله افراد به درب‌های خروج، سرعت افراد در مقایسه با سرعت همسایگان به سمت خروجی‌ها و تعداد همسایه‌ها که به دلیل جراحت به‌آرامی در حال حرکت هستند تحت تأثیر قرار می‌گیرد. جنبه‌های دیگر شامل زمان انتظار یا زمان صبر مردم، مدتی قبل از پاسخ به هشدار تخلیه است [۱۱]. ظرفیت فضای طراحی‌شده یکی از مهم‌ترین عامل‌های تأثیرگذار در بحران ازدحام جمعیت است و این بحران معمولاً در شمار به 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 (اشتباه محاسباتی محاسبهٔ فضا و جریان جمعیت)، اطلاعات نادرست (تأثیر اثر خارجی بر رفتار) و مدیریت نادرست رخ می‌دهند. به نظر می‌رسد که عوامل بروز بحران‌های جمعیتی منشأ مدیریتی، کالبدی فضایی و رفتاری دارند ولی خطر ازدحام جمعیت از ترکیب جمعیت و فضا ایجاد می‌شود که با تعداد افراد در مترمربع نشان داده می‌شود. حرکت، مفهومی کلیدی در شناخت این مخاطره است و پاسخ به دو پرسش که آیا فضای کافی برای جمعیت وجود دارد؟ آیا فضای موردنظر مناسب است یا خیر؟ کمک شایانی در کاهش مخاطره ازدحام جمعیت می‌کند [۱۲].

فرودگاه‌های هواپیمایی به‌دلیل رفتارهای اجتماعی جاری در آن و کاربری خاصشان با مسائل پیچیده‌ای در هنگام تخلیهٔ اضطراری مواجه می‌گردند که مثلاً در رخداد آتش‌سوزی نصب کپسول‌های اطفای حریق به‌تنهایی نمی‌تواند منجر به پاسخ‌گویی اثرند 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 به‌اندازهٔ کافی کارآمد نباشند.

مشاهده مستقیم شرایط واقعی، انجام آزمایش‌های کنترل‌شده (مانور) و شبیه‌سازی، سه روش موجود برای گردآوری و تحلیل (مانور) و شبیه‌سازی‌ها است. در حالت مشاهده مستقیم به‌سختی امکان‌پذیر است. انجام مانور دارای خطاهای رفتاری احتمالی است. در اماکن کوچک می‌توان یک مکان را ازنظر تخلیه با برگزاری مانور ارزیابی نمود ولی این آزمایش‌ها در اماکن بزرگ قابل‌اجرا نیستند و باید از شبیه‌سازی برای پیش‌بینی تأثیر سناریوهای مختلف تخلیه استفاده گردد [۲۷ و ۳]. مدل نمایش هدفمند از سیستم واقعی به‌منظور حل مسئله و پاسخ به سؤالات پیرامون یک سیستم یا بخشی از آن ایجاد می‌شود [۱۳]. در شبیه‌سازی برای توصیف و تحلیل رفتار یک سیستم واقعی به طرح سؤالات اگر آنگاه پرداخته می شود و بهبود دستگاه‌های موجود و طراحی دستگاه‌های جدید می‌انجامد [۱۴]. شبیه سازی فرآیند طراحی یک مدل از یک سیستم واقعی و انجام آزمایش برای درک رفتار یک سیستم و یا ارزیابی استراتژی های مختلف در محدوده مجموعه معیارهای بررسی شده برای بهره‌برداری از عملکرد آن سیستم است [۱۵]. با انجام تحلیل حساسیت مشخص می‌شود چقدر مقادیر خروجی مدل به‌وسیله تغییرات در مقادیر ورودی مدل تحت تأثیر قرار می‌گیرند. به‌عبارت‌دیگر تحلیل حساسیت روشی است برای نشان دادن اینکه کدام‌یک از پارامترها تأثیر بیشتری بر نتایج اعمال می‌کند. عدم اطمینان در ورودی‌ها حد اطمینان را در خروجی‌ها

محدود می‌نماید، یعنی نتایج مدل شبیه‌سازی به‌طور بالقوه نادرست هست. این خطاها در آنالیزها عدم قطعیت تعیین‌شده‌اند که خروجی شبیه‌سازی را با عنوان احتمالی به‌جای قطعی تعریف می‌نماید. تحلیل حساسیت به‌وسیله اهمیت، قدرت و ارتباط ورودی‌ها در تعیین تغییرات در خروجی، اولویت‌بندی می‌شود.

هدف از انجام پژوهش حاضر عبارت است از:

- شناسایی متغیرهای مؤثر در تخلیه اضطراری در شرایط اضطراری
- شناسایی سناریوهای مؤثر و میزان تاب‌آوری سالن شماره دو فرودگاه در شرایط اضطراری و مطلوب

در این تحقیق با رویکردی گسترده به بررسی حالات گوناگون مصالح 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 مصالح پرداخته است. پژوهش‌های پیشین با نگاه تک‌بعدی مصالح را بررسی نموده‌اند. برای انتخاب راهکارها و سناریوها از فن‌های تصمیم‌گیری استفاده نموده‌ایم و این دیدگاه را با شبیه‌سازی ترکیب نموده‌ایم.

۲- مبانی نظری و پیشینه پژوهش

تحرک و سکون جمعیت در اماکن پرتراکم 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 پرتراکم 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 حجم تلفات و آسیب‌های وارده از اصلی‌ترین اهداف تخلیه اضطراری در بحران به شمار است. در سناریوهای 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 واصلی‌ترین برنامه‌های مدیریت بحران است. تخلیه اضطراری در اماکن پرتراکم می‌تواند منجر به بحران ازدحام گردد و تخلیه ایمن بدون در نظر گرفتن مخاطرات ناشی از گره‌های جمعیتی مقدور نیست. یکی از تأثیرگذارترین عوامل ویژگی‌های شخصیتی افراد است. تفاوت میان رهبران و دنبال کنندگان در هنگام وقوع بحران و فرار اولین تمایز آن است. دومین ویژگی مهم، میزان تاب‌آوری افراد در برابر ترس است. افزایش ترس گنجایش جمعیت را جهت پردازش مناسب اطلاعات از بین برده و افراد را با وضعیت ناآشنا مواجه می‌سازد. سومین ویژگی، اعتقاد به اثربخشی توسط هر فرد است که بر انتخاب‌ها و تلاش‌های افراد تأثیرگذار است.

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 نشان می‌دهند. مدل‌های شبیه‌سازی جمعیت را در دودسته مدل‌های میکروسکوپی و میکروسکوپی تقسیم می‌شود که با روش‌های نوین با رایانه شبیه‌سازی می‌گردند. مدل درواقع نمایشی هدفمند است و به‌منظور حل مسئله و پاسخ به سؤالات 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 را در پاسخ به تغییرات پیش‌بینی کند. مدل‌های ماکروسکوپیک متمرکز بر کل سیستم و رفتارهای کلانی جمعیت است. در عوض، مدل‌های میکروسکوپی 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 قابل‌استخراج است که منجر به ظهور پدیده خاصی در کل سیستم می‌شود. به‌بیان‌دیگر، مدل‌سازی نحوه حرکت و رفتار هر عامل کمک می‌کند که اطلاعات حرکت کل جمعیت را به دست آوریم [۲۲]. یکی دیگر از دسته‌بندی‌هایی که در این مورد و برای انتخاب مسیر خروج انجام‌شده شامل سریع‌ترین و بهترین مسیر، کوتاه‌ترین مسیر، مسیر تعریف‌شده کاربر و مسیر مشروط هست. به‌طور مثال 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 شبیه سازی برای توصیف و تحلیل رفتار سیستم واقعی به طرح سؤالات اگر آنگاه پرداخته می‌شود و به بهبود دستگاه‌های موجود و طراحی دستگاه‌های جدید می‌انجامد. شبیه‌سازی فرآیند طراحی مدل سیستم واقعی و انجام آزمایش برای درک رفتار و ارزیابی استراتژی های مختلف در محدوده مجموعه معیارهای بررسی‌شده است [۸]. در دنیا نرم‌افزارهای بسیار برای شبیه‌سازی تخلیه اضطراری وجود دارد که هر یک مختص مطالعه وجه خاصی از تخلیه است. به‌طور مثال، پیشگامان در شبیه‌سازی تخلیه اضطراری بیشتر تمرکزشان بر محدودیت‌های فضایی ثابت محیط ساختمان باهدف بهینه‌سازی حرکت تخلیه شوندگان و به حداقل رساندن زمان تخلیه است. این تمرکز به‌ویژه برای مدل‌هایی مانند Sim EVACNET 4، Exit و EESAPE است که

در آن‌ها ساختار اتصال ساختمان به‌مثابه یک شبکه ثابت طراحی‌شده‌اند. بااین‌حال، این فرض که دسترسی فضایی درون ساختمان‌ها می‌توانند به‌راحتی در یک وضعیت اضطراری آتش‌سوزی تخریب شود، همچنان باقی می‌ماند. به‌طور مثال خروجی‌ها یا مسیرها ممکن است به علت 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 موردنظر است. به‌علاوه، برای نشان دادن شرایط محیطی قابل‌اعتماد، 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، نرم‌افزار شبیه‌ساز لا جیک است. این نرم‌افزار قدرتمندترین شبیه‌سازی درزمینه های مختلف استفاده می‌شود و بر روی سامانه عامل‌های Mac OS،Linux، Windows قابل‌نصب است. در دنیای مدرن شبیه‌سازی سه روش مشخص برای مدل‌سازی مبتنی بر شبیه‌سازی هست که در هر روش سطح خاصی از خلاصه‌سازی استفاده می‌شود. این سه روش که با نرم‌افزارانی لا جیک نیز پشتیبانی می‌شوند، شامل پویایی سیستم (SD)، گسسته پیشامد (DE) و عامل بنیان (AB) است نرم‌افزار Any Logic قابلیت استفاده و ترکیب روش‌های مدل‌سازی را ارائه نموده است تا بتوان اجتماعی از نقش ها را در فضای واحدی بررسی و تحلیل کرد [۱۹].

سناریو آینده واقعی‌تری برای تصمیم گیران ترسیم می‌کند و به آن‌ها چگونگی آماده شدن برای مخاطره‌های آینده را می‌آموزد [۱۴]. سناریو چهرهٔ آینده است و پیشگویی نیست؛ هدف سناریوسازی، گسترش تفکر دربارهٔ آینده و عریض‌تر کردن طیف بدیل‌هایی است که می‌تواند موردنظر باشد (زیاری و دیگران، ۱۳۹۶). ممکن‌هایی است که در سناریو کارایی سیاست‌های اتخاذشده در برابر چالش‌های آینده در بوته آزمایش قرار می‌گیرند عابدی جعفری و همکاران سناریو می‌زارد برای انجام محاسبات پیچیده سناریونویسی طراحی‌شده است و هدف آن بهینه‌سازی و قابل‌اطمینان کردن سناریوهای انتخاب‌شده است. سناریونویسی روش بسیار مؤثر برای برنامه‌ریزی میان‌مدت و بلندمدت در شرایط عدم قطعیت است [۲۳]. نرم‌افزار سناریو ویزارد برای انجام محاسبات پیچیده سناریونویسی طراحی‌شده است. فن تحلیلی این نرم‌افزار CIB معروف است و هدف آن بهینه‌سازی سناریوها و قابل‌اطمینان کردن سناریوهای انتخاب‌شده است [۱۶]. سناریو می‌زارد 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 تاثیرمتقاطع (CIB) است. این ماتریس برای استخراج نظرات کارشناسان درزمینه تأثیر احتمال وقوع حالتی از توصیف‌گر بر توصیف‌گر دیگر است و با محاسبه تأثیرات حالت‌ها، سناریوهای سازگار به دست می‌آیند [۱۶]. اهمیت سناریوها در این است که خود را نسبت به اینکه چه اتفاقاتی ممکن است در آینده به وقوع بپیوندد معلوم می‌کند [۱۲]. فرایند تحلیل شبکه (ANP) از مجموعه مدل‌ها و روش‌های تصمیم‌گیری چند معیار هست. کار اصلی این مدل تعیین ارزش و اهمیت معیارها و شاخص‌ها و درنهایت ارزش نهایی گزینه‌های تصمیم‌گیری است. فرایند تحلیل شبکه‌ای به‌عنوان یکی از پرکاربردترین روش‌ها به این منظور توسعه‌یافته است که بدون در نظر گرفتن فرضیاتی درباره رابطه سلسله مراتبی یک‌طرفه بین سطوح تصمیم، شرایط واقعی‌تری را برای تصمیم‌گیری فراهم آورد [۲۵].

لئو و همکاران (۲۰۲۲) در مقاله‌ای به بررسی شبیه‌سازی فرایند تخلیه اضطراری باوجود موانع پرداخته‌اند. طراحی مدل بر اساس توزیع جمعیت و موقعیت درب‌ها و موقعیت موانع برای به دست آوردن بهترین موقعیت مکانی درب‌ها انجام‌شده است. نتایج نشان می‌دهد زمان تخلیه به‌طور مؤثری کاهش‌یافته است، در ثانی موقعیت بهینه برای خروجی جهت کاهش زمان تخلیه در مرکز رستوران‌ها است. زمان تخلیه با یک درب خروجی در مقایسه با دو درب زمان افزایش می‌یابد؛ و انگ و همکاران (۲۰۲۱) در مطالعه‌ای به بررسی الگوی تخلیه در پایانه فرودگاه از مدل‌های تخلیه شامل SIMULE و EXODUS Building پرداخته‌اند. هر دو مدل برای مطالعه تخلیه در فضاهای بزرگ و پیچیده هندسی با سطح ساکنین بالا به کار گرفته می‌شوند. چهار مجموعه سناریو در مناطق شلوغ ارزیابی شد تا زمان تخلیه سرنشینان در شرایط آتش‌سوزی و شرایط عادی مشخص شود. نتایج نشان داده است که گره‌های جمعیتی در اطراف راه‌پله‌های سالن ورودی رخ‌داده است زیرا افراد مجبور بودند بازمان انتظار طولانی در شرایط شلوغ صف بمانند. ارائه درب‌های خروجی بیشتر با عرض مناسب روشی مؤثر برای کاهش زمان انتظار افراد است. وسایل دیگری مانند علائم خروج واضح باید در قسمت‌های خرده‌فروشی و سالن ورود ارائه شود تا اطمینان حاصل شود که افراد می‌توانند به نزدیک‌ترین خروجی‌ها بازمان تخلیه کوتاه‌تر سفر کنند. لیو و همکاران (۲۰۲۰) بر اساس الگوریتم پیشنهادی در مقاله‌ای شبیه‌سازی آتش‌سوزی را در فرودگاه با یون با تعداد افراد متعدد و درب‌های مختلف، انجام داده و زمان تقریبی تخلیه را تعیین نموده‌اند و هدفشان ارزیابی ظرفیت تخلیه فرودگاه بوده است. به این نتیجه رسیده‌اند که توزیع خروجی‌های فرودگاه برای مسافران با تعداد زیاد خطرناک است؛ بنابراین دو خروجی جدید طراحی نموده‌اند. در هر دو سناریو، زمان تخلیه با تعداد افراد

افزایش می‌یابد. تفاوت بین این دو سناریو در این است که وقتی افراد کمی هستند (۰ تا ۱۵۰ نفر)، تفاوت در زمان تخلیه زیاد نیست. زمانی که تعداد زیادی وجود دارد مردم، تفاوت در زمان برای تخلیه آشکار است. وقتی تعداد افراد ۴۰۰ تا ۵۰۰ نفر باشد، طرح اصلاح‌شده زمان تخلیه طرح اولیه را نزدیک به ۵ ثانیه کوتاه می‌کند [۱۸]. زو و همکاران (۲۰۱۶) با مدل‌سازی یک کلاس درس دانشگاهی مشتمل بر ۹۸ دانشجو به بررسی تأثیر موانع موجود در کلاس و راهروی کنار میزها و صندلی‌ها بر روند تخلیه پرداختند و آن‌ها دریافتند برخورد دانشجویان با یکدیگر اغلب در محل تقاطع راهروها اتفاق می‌افتد نه جلوی درب خروجی کلاس‌ها [۱۹]. تانگ و همکاران (۲۰۱۵) به بررسی اثر خصوصیات فردی دانش آموزان در فرایند تخلیه کلاس درس با دو خروجی با لحاظ نمودن رفتارهای منطقی و غیرمنطقی توسط مدل اتوماتای سلولی پرداختند. نتایج آن‌ها نشان داد که تعداد دانش آموزان با رفتارهای غیرمنطقی تأثیر فراوان درنتیجه فرایند تخلیه دارد [۲۰]. گیورگداس و همکاران (۲۰۱۵) در آزمایش‌هایی که در یک کلاس درس انجام دادند یک سیستم پیش‌بینی کننده را مطرح نمودند که در طی فرایندهای تخلیه‌ی عابران پیاده عمل نموده و مانع از شکل‌گیری فضاهایی با تراکم بالا می‌گردد [۲۱]. یاماموتو به مطالعه تخلیه ساختمان‌های چندطبقه در زمان وقوع زلزله و آتش بامطالعه موردی ساختمانی ۱۲ طبقه از یک دانشگاه پرداخت. در این مطالعه، ساختار ساختمان اطلاعات مشاهده‌شده تخلیه نفرات در شبیه‌سازی سناریوهای محتمل در زمان بحران (مسدود شدن یک دستگاه پله) مورداستفاده قرار گرفت [۲۲]. لو (۲۰۱۱) به بررسی تخلیه ساختمان مدرسه‌ای پنج طبقه پرداخته است. کلاس‌ها شامل ۷۰ نفر دانش‌آموز با دو در خروج و تخلیه با تقسیم مساوی میان دو در صورت پذیرفته است. از نتایج به‌دست‌آمده این‌که سن تخلیه شوندگان با سرعت تخلیه رابطه مستقیمی دارد و هرچه سن بیش‌تر می‌شود زمان کل تخلیه، زمان کل تخلیه افزایش پیدا می‌کند [۲۳]. یوسفی و همکاران (۱۳۹۹) به بررسی شناسایی نقش و ظرفیت سامانه مترو در تخلیه اضطراری شهر تهران و ارائه راهکارهای مدیریت بحران پرداخته‌اند. نتایج گویای این است که خطوط مترو ظرفیت لازم را برای تخلیه جمعیت متقاضی ندارند و نیازمند و تمهیدات و ارائه راهکاری در جهت تسریع و افزایش ظرفیت جابه‌جایی مسافران هست و باید به طریقی ظرفیت آن‌ها افزایش یابد [۲۴]. بهرامی و همکاران (۱۳۹۹) به تبیین مؤلفه‌های خوانش مسیریابی در شرایط الزام به تخلیه اضطراری ساختمان‌ها پرداخته‌اند. سه فاکتور اصلی درنگ، درماندگی، تبعیت از علائم خروج اضطراری را استفاده نموده‌اند. نتایج نشان‌دهنده آن است که تمامی افراد حاضر در یک مجموعه ساختمانی توانی ترک بنا را حتی اگر قصد آن را هم داشته باشند ندارد. از این برای بسیاری از حوادث که ممکن است منجر به اعلان خروج اضطراری از ساختمان شود، معماران می‌بایست در گره‌های حرکتی فضاهایی ایمن طراحی کنند تا حداقل برای مدت‌زمانی معینی در برابر حوادث توانایی حفظ جان کاربران ساختمان را داشته باشند [۲۵]. فراهانی و همکاران (۱۳۹۸) به بررسی عوامل مؤثر بر تخلیه اضطراری ایستگاه‌های مترو پرداخته‌اند. شبیه‌سازی الگو تخلیه افراد در سه حالت کم، متوسط و زمان اوج جمعیت در ایستگاه مترو، در حالت‌های مختلف با در نظر گرفتن شرایط سرعت‌های مختلف حرکت افراد، جنسیت، اندازه گروه‌های مختلف انجام‌شده است. همچنین برای برطرف کردن تنگناها و کاهش زمان تخلیه در ایستگاه، الزامات مهندسی با رویکرد پدافند غیرعامل برای تسهیل تخلیه و کاهش زمان تخلیه و آسیب‌پذیری و نجات افراد در ایستگاه‌های مترو ارائه‌شده است. [۲۶]. ضرغامی و ریسمانیان (۱۳۹۸) به مدل‌سازی یک کلاس به بررسی تأثیر تعداد درب‌ها بر فرایند تخلیه دانش آموزان پرداختند. به این نتیجه رسیده‌اند که افزایش تعداد درب‌ها تأثیر بسزایی در کاهش زمان تخلیه دارد و در صورت افزایش یک درب به دو درب زمان تخلیه از ۳۲ درصد به ۴۷ درصد کاهش می‌یابد [۲۷]. میر سعیدی 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 ... بررسی‌شده ا ندر. همچنین عوامل ساختمانی و طراحی تأثیرگذار بر تخلیه اضطراری در دودسته ابعاد فضاها و موقعیت فضاها قرارگرفته ا ندر 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 [۲۸]. ارژنگی (۱۳۹۸) به تدوین چارچوب عملیاتی شبیه‌سازی تخلیهٔ اضطراری جمعیت بازارهای تاریخی هنگام آتش‌سوزی پرداخته است. نتایج مدلی را ارائه داده که محور اصلی آن را زمان تشکیل می‌دهد و مؤلفه‌های انسانی و فضایی در آن در طول زمان تخلیه مدنظر است [۳]. هدف از انجام پژوهش حاضر عبارت است از بررسی میزان مقاومت، تاب‌آوری در بحران‌های احتمالی و

ارزیابی زمان تخلیه اضطراری در بحران‌های احتمالی در سالن شماره دو فرودگاه با توجه به متغیرها و شاخصه‌ای ارائه‌شده در این پژوهش.

۳- روش تحقیق

رویکرد پژوهشی این پژوهش کمی و کیفی است. بر اساس هدف کاربردی، ازنظر زمان جزو پژوهش‌های آینده‌گرا، از نوع پیمایشی و در سطح اکتشافی صورت می‌پذیرد زیرابه دنبال شناسایی و کشف آینده‌ها و سناریوهای ممکن برای آن هستیم و می‌خواهیم بر مبنای سناریوهای سازگار به بررسی تاب‌آوری فرودگاه بپردازیم. درروش میدانی بنا به موضوع از فنون مختلف چون مصاحبه، پنل خبرگان و پرسشنامه (۱۶۰ پرسشنامه بین نخبگان حیطه تخلیه اضطراری و استادان دانشگاهی به‌عنوان جامعه آماری) استفاده‌شده است. داده‌های کیفی از طریق پرسشنامه باز و مصاحبه و بررسی منابع و داده‌های کمی و وزن دهی پرسشنامه دلفی به‌دست‌آمده و در پردازش داده‌ها از فن دلفی، تحلیل اثرات متقابل و سناریونویسی و در تحلیل داده‌های کیفی از سناریو ویزارد استفاده‌شده است. روش پژوهش در ۲ گام زیر ارائه می‌گردد:

الف- گام اول: تدوین سناریوها با رویکرد تحلیل تأثیرات متقابل

بدین ترتیب پس از بررسی مبانی نظری در مورد متغیرهای تحقیق و جمع‌بندی به کمک تحلیل منطقی و استدلال عقلی، گویه های اولیه‌ای از عوامل مؤثر بر تخلیه اضطراری به کمک پرسشنامه ماتریس اثرات متقابل از کارشناسان و متخصصان امر تخلیه اضطراری در هلال‌احمر و آتش‌نشانی و نخبگان دانشگاهی، ماتریس تأثیر متقابل در نرم‌افزار Wizard تکمیل می‌گردد و سپس سناریوهای سازگار برای مدل‌سازی در نرم‌افزار Any Logic در نظر گرفته می‌شوند.

ب - گام دوم: شبیه‌سازی سناریوهای سازگار در نرم‌افزار Any Logic

جامعه پژوهش در این مدل شامل دو گروه جنسیتی از افراد (زن و مرد) در سه گروه کودکان، بزرگسالان و سالخوردگان هست. رفتار افراد را از آغاز شروع بحران تا تخلیه کامل جمعیت با سرعت‌های مختلف برای سنجش «رفتار» جمعی نشان می‌دهد. با توجه نتایج شبیه‌سازی در حالت سناریو عادی و دو سناریو الف- بحرانی (۸ سناریو) و حالت ب- شرایط بسیار عادی (۸ سناریو) آمده است. در حالت فاجعه از طریق مصاحبه‌های عمیقی که با متخصصان و متصدیان و برداشت‌های میدانی انجام‌شده است تراکم ۳۰۰۰ هزار نفر (۵۰ درصد نوسان به بالا) در هر ساعت پیشنهادشده است یعنی تعداد ورود مسافران و تراکم بیشتر شده است و وضعیت نامطلوب است. اکثر مقررات ساختمانی، مسافت فرار را با استفاده از تجربیات گذشته تعیین می‌کنند. معمول‌ترین عددی که برای زمان فرار بکار گرفته می‌شود ۲/۵ دقیقه است [۲۹]. از سوی دیگر طیف سرعت حرکت افراد که در گروه‌های مختلف افراد اعم از کودکان، بزرگسالان و سالخوردگان در آن حضور دارند از ۵۶/. متر بر ثانیه تا ۱/۱۸ در شرایط عادی درنظرگرفته شده است [۳۲]. همچنین متوسط زمان قبل از حرکت برحسب شرایط خطر در محدوده ۰ تا ۵۴۰ ثانیه می‌تواند متغیر باشد و متوسط زمان ۷۳/۳ در نظر گرفته‌شده است که باید به زمان شبیه‌سازی اضافه شود [۳۳]. ازآنجاکه هدف نهایی مقایسه زمان تخلیه در سناریوهای مختلف است و زمان پیش از حرکت تأثیری بر مقایسه نتایج ندارد لذا زمان پیش از حرکت صفر در نظر گرفته‌شده است. در شرایط بحران مانند زلزله یا آتش‌سوزی متوسط سرعت راه رفتن هر شرکت‌کننده به‌عنوان از ضریب خاموشی است و ضریب کاهش دید و یا سرعت به علت بحران و یا دود است. بر اساس مطالعات برای کودکان، بزرگسالان و سالخوردگان سرعت حرکتی میانگینی که باید متناسب با حرکت این افراد باشد به ترتیب ۰/۶ و ۰/۸ و ۴۵/. و در نظر گرفته‌شده است [۳۴]. در حالت بسیار مطلوب گروه سنی مسافران در سه حالت کودکان، بزرگسالان و سالمندان در نظر گرفته‌شده است که درصد افزایش سرعت در نظر گرفته‌شده برای هرکدام در مدل محتمل به ترتیب عبارت بودند از ۱ و ۱/۱۸ و ۵۶؛ که این مقدار در حالت خوش‌بینانه به ترتیب عبارت‌اند از: ۱/۲ و ۱/۳۶ و ۶۳ /. همچنین در تراکم ۱۰۰۰ هزار نفر (۵۰ درصد نوسان به پایین) در هر ساعت پیشنهادشده است یعنی تعداد ورود مسافران و تراکم بیشتر شده است و وضعیت نامطلوب است. 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 گرفته‌شده است و سرعت برای کودکان، بزرگسالان و سالخوردگان از ۵۶/. متر بر ثانیه تا ۱/۱۸ درنظرگرفته شده است. در این مرحله با توجه به نتایج شبیه‌سازی و مقایسه زمان‌های کل تخلیه، سناریو بحرانی‌تر مشخص و میزان تاب‌آوری فرودگاه بررسی می‌شود.

فرودگاه مهرآباد یکی از بزرگ‌ترین فرودگاه‌های کشور است که در غرب تهران واقع‌شده است. محدوده مطالعه این پژوهش سالن شماره دو فرودگاه مهرآباد است. به علت وجود مرکزیت سیاسی و بیشترین تعداد ادارات حجم زیادی از مسافران در شهر تهران تردد می‌کنند. فرودگاه مهرآباد دارای ۴ پایانه است و با انتقال ۱۸ میلیون نفر مسافر در سال بالاترین رتبه را در کشور دارد. با بررسی آمار پروازهای این فرودگاه در ۲۴ ساعت حدود ۵۰۰۰۰ هزار نفر مسافر جابجا می شونده در هر ساعت ۲۰۰۰ است. در بررسی کالبدی سالن شماره دو مشخص شد بعضی از

راهروها و پله‌های فرودگاه بسیار باریک است و دارای دو درب ورود و دو درب خروجی هست. موانع در نظر گرفته‌شده سالن شماره ۲ فرودگاه شامل صندلی‌های مجاور به درب‌های ورودی و خروجی و گیت‌های بازرسی، فروشگاه‌های باز و flower box هست.

۴- نتایج و بحث

تجزیه‌وتحلیل یافته‌های پژوهش در سه مرحله شامل الف- نتایج تحلیل نرم‌افزار سناریو ویزارد، ب- نتایج شبیه‌سازی سناریوهای سازگار در نرم‌افزار Any Logic بیان‌شده است.

الف - نتایج تحلیل در نرم‌افزار سناریو ویزارد

نتایج تحلیل نرم‌افزار سناریو ویزارد در ۵ مرحله به‌طور دقیق بیان‌شده است.

۴-۱- تدوین وضعیت‌های محتمل پیشران‌های کلیدی

در سناریونویسی 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 لازم اصلی تدوین سناریوها است. جدول (۱) وضعیت‌های محتمل هر یک از عوامل کلیدی در تخلیه اضطراری جمعیت را نشان می‌دهد که با نظرسنجی روش دلفی به‌دست‌آمده 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: بیش‌تر از حد استاندارد
B	وضعیت پله‌ها	B4: استفاده از راه‌پله، پله‌برقی و آسانسور
		B5: استفاده از راه‌پله، پله‌برقی
		B6: استفاده از راه‌پله
C	موانع مسیر	C7: افزودن یک درب خروجی
		C8: همه ورودی و خروجی‌ها باز
		C9: یکی ا خروجی‌ها یا اتاق کنترل بسته
D	سن افراد	D 10: 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

۴-۲- تهیه و تحلیل سبد سناریوهای احتمالی در آینده

۱۶ وضعیت محتمل برای ۶ عامل پیشران طراحی‌شده است. تعداد وضعیت‌های محتمل هر عامل بر اساس میزان پیچیدگی شرایط در ۳ حالت تعریف‌شده است. با طراحی وضعیت‌ها و تهیه ماتریس متقاطع پرسشنامه فراهم و متخصصان این حوزه مشارکت در پر کردن آن نمودند. آنان با طرح این سؤال 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- پرداخته و میزان تأثیرگذاری هرکدام از وضعیت‌ها را بر سیستم مشخص کردند. بر اساس داده‌های واردشده، سناریوهای زیر استخراج‌شده است:

۲ سناریو با سازگاری زیاد، ۸ سناریو با حداکثر دو عامل ناسازگار (سناریوهای باورکردنی) و ۵۱ سناریو با سازگاری ضعیف از نرم‌افزار سناریو ویزارد حاصل شد. ازآنجاکه ۲ سناریو با بیشترین سازگاری (بسیار قوی) همیشه در عمل اتفاق نمی‌افتند، ۸ سناریو با حداکثر دو عامل ناسازگار در نظر گرفته‌شده است. آنچه به نظر منطقی می‌رسد و میان سناریوهای با وضعیت محدودشده 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 است.

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 و احتمال وقوع سایر سناریوها را در خیلی کم ارزیابی کرده است. سناریوها از ارتباط دوسویه بین حالت‌های عوامل در ارتباط حالت‌های عوامل دیگر استخراج‌شده است. بررسی اولیه سناریوهای ۸ گا نه حاکی از سیطره نسبی تعداد وضعیت‌های ایستا ادامه روند موجود 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 صورت گرفته است تا وضعیت تخلیه اضطراری را برای هر سناریو و پارامترهای مهم به‌صورت واضح نشان دهد.

جدول (۲): وضعیت عوامل به تفکیک هر سناریو بر اساس طیف ۳ گا نه

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

۴-۳- 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 مشخص‌شده، از سناریو ویزارد استفاده‌شده است، این نرم‌افزار بر اساس ارتباط آینده محتمل پیشران‌ها با یکدیگر، آینده‌های مختلفی را بر اساس روش سناریو نگاری و با انجام محاسبات پیچیده مشخص می‌نماید، در سنجش ارتباط آینده‌های محتمل از یک ماتریس استفاده می‌شود. سؤال محوری در هنگام پر کردن ماتریس این است که اگر پیشران A در آینده اتفاق بیفتد چه تأثیری بر وقوع و یا عدم وقوع وضعیت پیشران B خواهد گذاشت.

شکل (۱)، ماتریس تأثیرات در نرم‌افزار سناریو ویزارد را نشان می‌دهد که بر اساس این روش (تأثیر آینده‌های محتمل بر یکدیگر) با استفاده از پیشران‌های معرفی‌شده به نرم‌افزار سناریو ویزارد مشخص گردیده است. به این ترتیب بر اساس تأثیرات مثبت و منفی آینده‌های محتمل بر یکدیگر سناریوهای مختلف محتمل‌الوقوع شناسایی‌شده و بر اساس ارتباطات مثبت و منفی آینده‌ها با یکدیگر به هر سناریو امتیازاتی بر اساس مجموع امتیازات مثبت و منفی داده‌شده است. طبق نتایجی که از امتیازات محاسبه‌شده در نرم‌افزار به دست آمد ۸ سناریو که در جدول (۳) ارائه شده‌اند به‌عنوان سناریوهای دارای بیشترین امتیاز در این سنجش هستند و سناریوی اول بر اساس جمع امتیازها و سازگاری‌ها با امتیاز (۶۰) به‌عنوان سناریوی برتر معرفی و انتخاب‌شده است. از این سناریو محتمل‌الوقوع مطلوب در ارائه راهکارها استفاده خواهد شد.

جدول (۳): سناریوهای منتخب برگرفته از نرم‌افزار Wizard

عدد سناریو	Consistency value	Incons Descript	Total impact	پله‌ها	موانع
۱	-۲	۱	۶۰	امکان استفاده از راه‌پله، پله‌برقی و آسانسور	عدم وجود مانع در ورودی‌ها و خروجی‌ها و اتاق کنترل سالم
۲	۰	۰	۵۷	امکان استفاده از راه‌پله، پله‌برقی و آسانسور	عدم وجود مانع در ورودی‌ها و خروجی‌ها و اتاق کنترل سالم
۳	-۱	۱	۴۶	امکان استفاده از راه‌پله، پله‌برقی و آسانسور	عدم وجود مانع در ورودی‌ها و خروجی‌ها و اتاق کنترل سالم
۴	-۱	۱	۵۳	امکان استفاده از راه‌پله، پله‌برقی و آسانسور	درب‌های خروجی مسدود شده، تخلیه افراد تنها از طریق اتاق‌های کنترل و بازرسی (ورودی) امکان‌پذیر است
۵	-۱	۱	۶۰	امکان استفاده از راه‌پله، پله‌برقی و آسانسور	خروجی به‌صورت 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 راه‌پله، پله‌برقی و آسانسور	درب‌های خروجی مسدود شده، تخلیه افراد تنها از طریق اتاق‌های کنترل و بازرسی (ورودی) امکان‌پذیر است
۷	-۱	۱	۴۵	امکان استفاده از راه‌پله، پله‌برقی و آسانسور	عدم وجود مانع در ورودی‌ها و خروجی‌ها و اتاق کنترل سالم
۸	-۱	۲	۵۰	امکان استفاده از راه‌پله، پله‌برقی و آسانسور	اتاق‌های کنترل و بازرسی مسدود شده و یک در خروجی افزوده‌شده است

۴-۴- گروه‌بندی و تحلیل سناریوهای منتخب

سناریوهای گروه اول: حاکم بودن بهترین شرایط ممکن

سناریو اول بهترین و مطلوب‌ترین شرایط ممکن برای تخلیه اضطراری جمعیت است. در این سناریو حالت بحرانی از همه سناریوها کم‌تر و عامل متمایزکنندهٔ آن‌ها تفاوت در میزان حالات مطلوب و ایستا است. به‌علاوه، ازنظر فراوانی بیشترین تعداد وضعیت مطلوب را در بین سناریوهای دیگر دارد. تفاوت سناریو اول با دیگر سناریوها در افزودن یک درب خروجی اضطراری هست. در این سناریو مانعی در ورودی‌ها و خروجی‌ها نیست 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 متمایزکننده سناریوها با سناریو اول تفاوت در میزان حالت‌های مطلوب، ایستا و بحرانی است. مقایسه درصد فراوانی حالت مطلوب و بحران این گروه با سناریو اول نشان‌دهندهٔ وضعیت تقریباً ایستا در آینده تخلیه اضطرار جمعیت است. میزان اثرگذاری‌های این اثرگذاری سناریوهای گروه اول دارد.

۴-۵- بررسی وضعیت عوامل کلیدی در ترکیب سناریوها

اگر شرایط مطلوب، ایستا و بحرانی را با امتیازهای طیفی از نمرات ۳ تا ۳- در هر عامل کلیدی و برای کل سناریوهای ۸ گا نه جمع کنیم، میانگین آن‌ها نشان‌دهنده وضعیت کلی هر عامل در آینده تخلیه اضطراری خواهد بود. بر اساس محاسبات انجام‌شده در بین عوامل پیشران که وضعیت بحرانی دارند، عامل تراکم جمعیت و ترس و وحشت با میانگین امتیاز ۳- و ۲/۶- بدترین شرایط در رتبه‌بندی عوامل ۶ گانه پیشران دارد. با افزایش تراکم جمعیت ترس و وحشت افراد در هنگام وقوع بحران تشدید می‌گردد. درواقع در هنگام وقوع رخداد علاوه بر خود بحران عامل تراکم سبب هم‌افزایی وحشت می‌گردد. وضعیت پله‌ها، سن افراد و جنسیت بهترین شرایط و بیش‌ترین اثرگذاری را در تخلیه اضطراری دارد و سپس موانع مسیر. در جدول (۴) رتبه‌بندی عوامل کلیدی بر اساس میزان شرایط مطلوب تا بحرانی و در جدول (۵) تفسیر سناریوها آورده شده است.

جدول (۱): رتبه‌بندی عوامل کلیدی بر اساس شرایط مطلوب تا بحرانی

عامل کلیدی	وضعیت عوامل کلیدی در ترکیب سناریوها	میانگین
تراکم	۱۸-	۳-
وضعیت پله‌ها	۱۸	۳
موانع مسیر	۳	۰/۵
سن افراد	۱۸	۳
جنسیت	۱۸	۳
ترس	۱۶-	۲/۶-

ب- نتایج شبیه‌سازی سناریوهای سازگار در نرم‌افزار Any Logic

در این بخش هیستوگرام‌های درصد تخلیه افراد و نمودارهای خطی ارائه می‌گردد. نتایج شبیه‌سازی سناریو شرایط عادی بدون ایجاد تغییرات در سناریو اول و ۸ سناریو در ۲ حالت الف- فاجعه و حالت ب- مناسب‌تر از شرایط عادی (خوش‌بین) در محیط نرم‌افزارAny Logic در ادامه به ترتیب ارائه می‌شود. در مورد هر سناریو، اجزاء محیط شبیه‌سازی‌شده، نمای محیط شبیه‌سازی‌شده، هیستوگرام درصد افراد تخلیه‌شده برحسب زمان پس از شروع بحران و نمودار خطی مربوط به تعدد افراد تخلیه‌شده از زمان شروع بحران به همراه توضیحات مربوطه ارائه می‌گردد. در تمام نمودارهای هیستوگرام ارائه‌شده در این پژوهش، محور افقی، زمان‌بر حسب دقیقه (مدت‌زمان شروع بحران تا خروج مسافر) و محور عمودی درصد افراد تخلیه‌شده از زمان شروع بحران را نشان می‌دهند. در نمودارهای خطی نیز محور افقی زمان‌بر حسب دقیقه (زمان شبیه‌سازی) و محور عمودی تعداد افراد تخلیه‌شده از زمان شروع بحران را نشان می‌دهد. برای بررسی وضعیت سناریوها، ابتدا مدل ۶۰ دقیقه اجرا می‌شود تا مسافران وارد فرودگاه شوند و وضعیت فرودگاه به حالت یک روز عادی درآید. پس از گذشت ۶۰ دقیقه از اجرای مدل، بحران ایجاد می‌گردد و وضعیت خروج مسافران و زمان لازم برای خروج آن‌ها در سناریوهای مختلف موردبررسی قرار می‌گیرد.

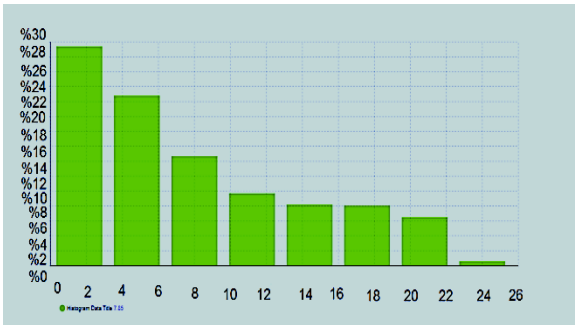
۴-۶- مدل‌سازی تخلیه اضطراری در شرایط الف- عادی، ب- فاجعه و ج- خوش‌بین

۴-۶-۱- مدل‌سازی تخلیه اضطراری در شرایط الف- عادی

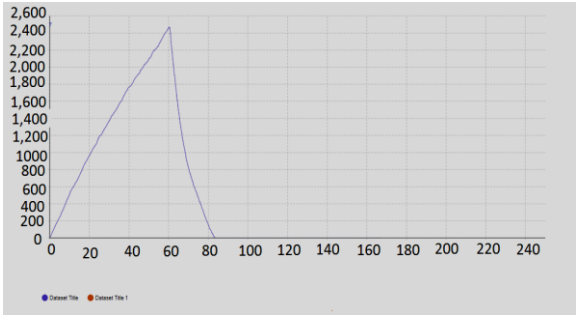
شکل (۱) هیستوگرام درصد تخلیه افراد برحسب زمان بعد از شروع بحران در سناریو اول طبقه همکف و شکل (۲) نمودار تعداد افراد تخلیه‌شده برحسب زمان بعد از شروع بحران در

سناریو اول طبقه همکف را نشان می‌دهد. در این سناریو درب‌های ورودی و خروجی هر دو بدون مانع بوده و برای خروج جمعیت استفاده می‌شوند. درواقع این مدل شرایط معمول روزانه فرودگاه است. وضعیت اجزای مدل مربوط به سناریو اول در طبقه همکف در شکل (۳) و نقشه حرارتی در شکل (۴) نشان داده‌شده است که در این شکل درب‌های ورودی و خروجی با فلش مشخص گردیده‌اند که برحسب سناریو همه درب‌های ورودی و خروجی.

شکل (۱) هیستوگرام درصد تخلیه افراد برحسب زمان بعد از شروع بحران در سناریو اول طبقه همکف و شکل (۲) نمودار تعداد افراد تخلیه‌شده برحسب زمان بعد از شروع بحران در سناریو اول طبقه همکف را نشان می‌دهد. در این سناریو درب‌های ورودی و خروجی هر دو بدون مانع بوده و برای خروج جمعیت استفاده می‌شوند. درواقع این مدل شرایط معمول روزانه فرودگاه است. وضعیت اجزای مدل مربوط به سناریو اول در طبقه همکف در شکل (۳) و نقشه حرارتی در شکل (۴) نشان داده‌شده است که در این شکل درب‌های ورودی و خروجی با فلش مشخص گردیده‌اند که برحسب سناریو همه درب‌های ورودی و خروجی سالم هستند و تراکم جمعیت همان مقدار واقعی روزمره فرودگاه (۲۰۰۰ نفر در هر ساعت) است و سرعت برای سه رده سنی سرعت در شرایط معمول است تا با بررسی نتایج میزان تاب‌آوری فرودگاه از بعد ظرفیت تخلیه و زمان خروج افراد سنجیده شود.



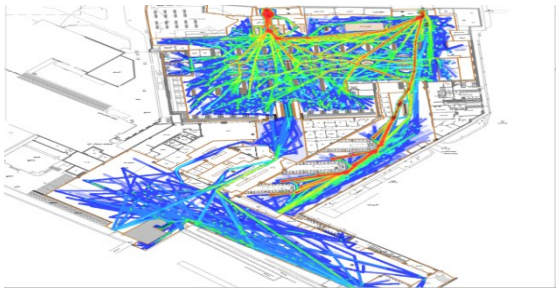
شکل (۱): هیستوگرام سناریو اول، زمان تخلیه ۷۵ دقیقه



شکل (۲): نمودار خطی سناریو اول

در این سناریو تعداد خروج افراد در دقیقه ۶۰، ۲۶۵۰ نفر؛ زمان موردنیاز جهت خروج افراد ۷۵ و زمان شبیه‌سازی ۱۵/ ۵ دقیقه است. شکل وضعیت اجزاء مدل سناریو اول طبقه همکف را نشان می‌دهد و شکل نقشه حرارتی تراکم جمعیتی را نشان می‌دهد. رنگ قرمز نقاط بسیار پرتراکم و پرخطر جمعیتی را نشان می‌دهد.

شکل (۳): وضعیت اجزاء مدل سناریو اول طبقه همکف

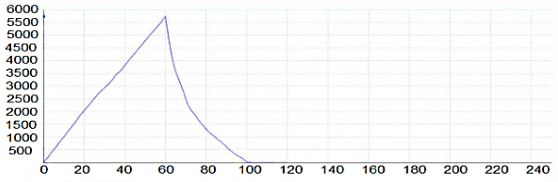


شکل (۴): نقشه حرارتی تراکم جمعیتی سناریو ۱

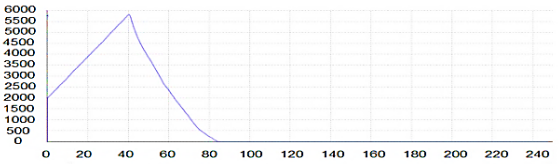
همان‌طور که در نقشه‌ها مشاهده می‌گردد در این سناریو بیشترین تراکم جمعیت در درب ورودی و در مرتبه بعدی در درب خروجی فرودگاه است. سکوهای گیت ازنظر تراکم جمعیت در رده سوم هستند که بخش اعظم این جمعیت برای خروج از درب خروجی استفاده می‌کند و به دلیل بیشترین فاصله تا نقطه خروج، آخرین افرادی هستند که امکان خروج از فرودگاه را در زمان بحران پیدا می‌کنند و درنتیجه بیشترین خطر متوجه جمعیت واقع در این بخش از فرودگاه است. در این سناریو ازآنجایی‌که همه درب‌های ورودی و خروجی سالم هستند به این دلیل میزان درصد تخلیه افراد در زمان بلافاصله پس از شروع بحران حداکثر است وجود موانع تأثیر چندانی در ایجاد گره جمعیتی نداشته و با گذر زمان افراد به‌راحتی و به‌تدریج به بیرون فرودگاه رفته‌اند. یک نقطه در قسمت ورودی درب‌های گیت بازرسی تنها نقطه‌ای است که گره جمعیتی را نشان می‌دهد. در شرایط عادی تاب‌آوری سالن شماره ۲ جهت ظرفیت مسافران و تخلیه اضطراری در شرایط عادی با سرعت‌های شرایط عادی و تراکم روزانه ۲۰۰۰ نفر مناسب است.

۴-۶-۲- مدل‌سازی تخلیه اضطراری در حالت فاجعه و خوش‌بین

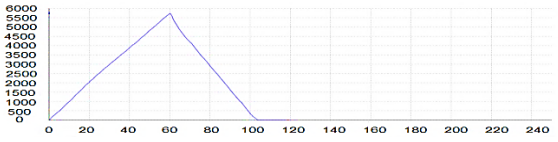
در این مطالعه برای انجام تحلیل حساسیت متغیرهای ورودی از روش تحلیل حساسیت استفاده‌شده است. تقابل درصد تراکم جمعیت، تغییر درصد سرعت و بحران، میزانی را که مردم تمایل به فرار در این قسمت پژوهش ۸ سناریو را در دو حالت فاجعه و مطلوب‌تر از شرایط عادی (خوش‌بین) شبیه‌سازی نموده‌ایم. صلح دارند یا با تحریک آن‌ها شانس تبدیل به گروه تهاجمی رادارند نشان می‌دهد. متغیرها ممکن است با کلیک کردن دکمه (DISASTER) ارائه‌شده توسط یک مثلث در حال اجرا تغییر نمایند. در این حالت، نتایج بلافاصله محاسبه‌شده و در نمودار خطی و هیستوگرام درصد تعداد افراد در زمان تخلیه نشان داده‌شده است. در ادامه به‌منظور بررسی مدل‌سازی تخلیه اضطراری در حالت‌های گوناگون، تحلیل حساسیت را برای دو حالت فاجعه و شرایط بسیار مطلوب انجام داده و نتایج این دو حالت را با یکدیگر و شرایط عادی مقایسه نموده‌ایم. شکل‌های (۶) الی (۳۶) نمودارهای خطی و هیستوگرام دو حالت فاجعه و خوش‌بین شبیه‌سازی‌شده است.



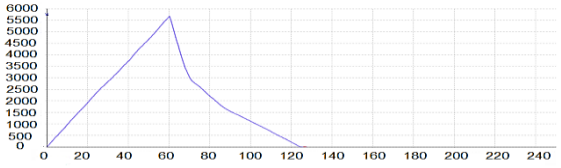
شکل (۵): نمودار خطی سناریو اول در شرایط فاجعه



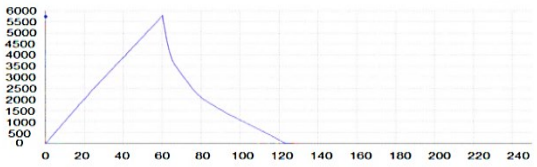
شکل (۶): نمودار خطی سناریو دوم در شرایط فاجعه



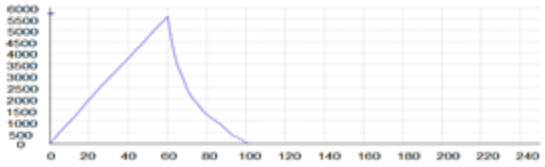
شکل (۷): نمودار خطی سناریو سوم در شرایط فاجعه



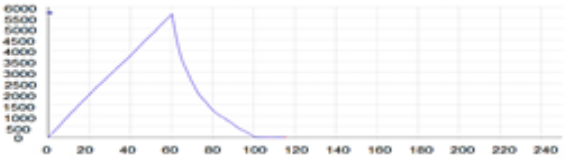
شکل (۸): نمودار خطی سناریو چهارم در شرایط فاجعه



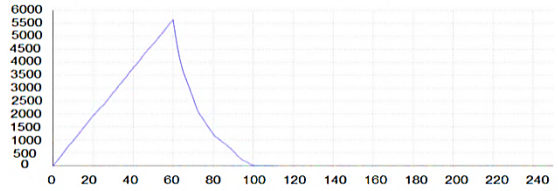
شکل (۹): نمودار خطی سناریو پنجم در شرایط فاجعه



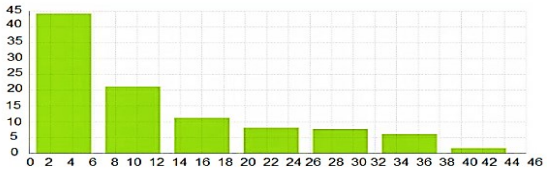
شکل (۱۰): نمودار خطی سناریو ششم در شرایط فاجعه



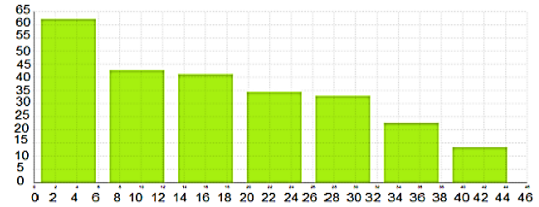
شکل (۱۱): نمودار خطی سناریو هفتم در شرایط فاجعه



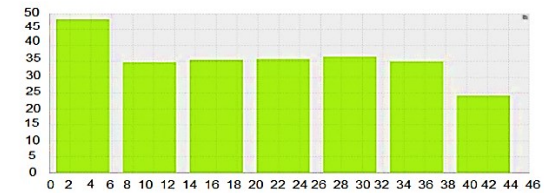
شکل (۱۲): نمودار خطی سناریو هشتم در شرایط فاجعه



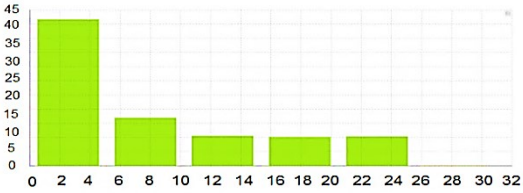
شکل (۱۳): هیستوگرام سناریو اول (زمان شبیه‌سازی ۵۹/۱۱)



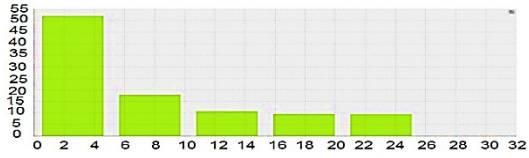
شکل (۱۴): هیستوگرام سناریو دوم (زمان شبیه‌سازی ۱۷/۲۷)



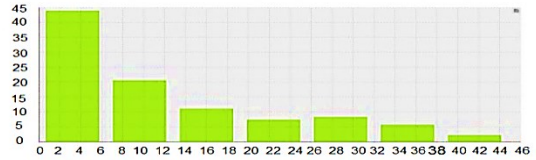
شکل (۱۵): هیستوگرام سناریو سوم (زمان شبیه‌سازی ۱۷/۲۷)



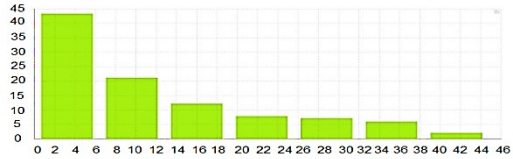
شکل (۱۶): هیستوگرام سناریو چهارم (زمان شبیه‌سازی ۱۹/۸۷)



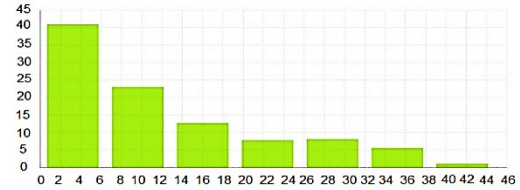
شکل (۱۷): هیستوگرام سناریو پنجم (زمان شبیه‌سازی ۱۸/۸۷)



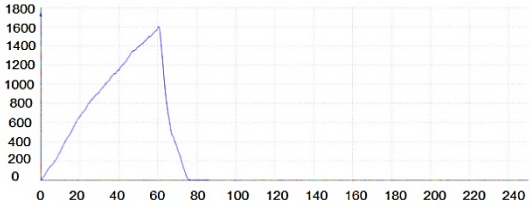
شکل (۱۸): هیستوگرام سناریو ششم (زمان شبیه‌سازی ۱۱/۸۸)



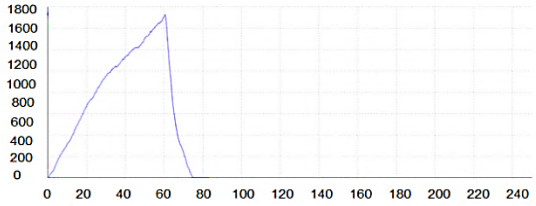
شکل (۱۹): هیستوگرام سناریو هفتم (زمان شبیه‌سازی ۱۱/۸۳)



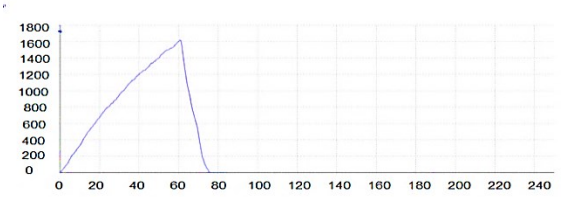
شکل (۲۰): هیستوگرام سناریو هشتم (زمان شبیه‌سازی ۱۱/۹)



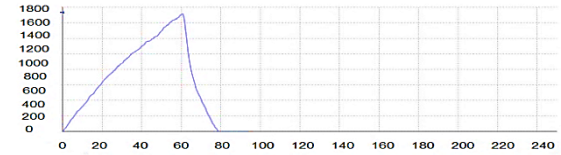
شکل (۲۱): نمودار خطی در سناریو اول در شرایط خوش‌بین



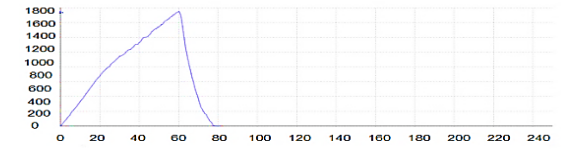
شکل (۲۲): نمودار خطی در سناریو دوم در شرایط خوش‌بین



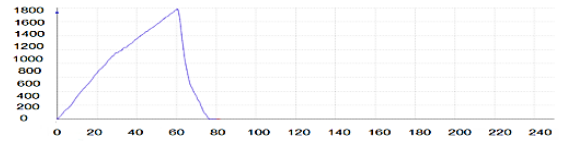
شکل (۲۳): نمودار خطی در سناریو سوم در شرایط خوش‌بین



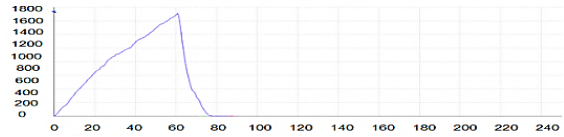
شکل (۲۴): نمودار خطی در سناریو چهارم در شرایط خوش‌بین



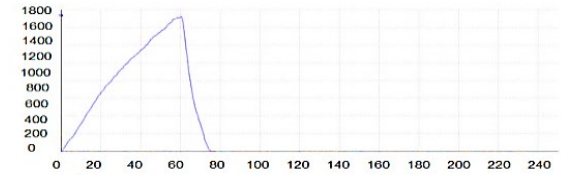
شکل (۲۵): نمودار خطی سناریو پنجم در شرایط خوش‌بین



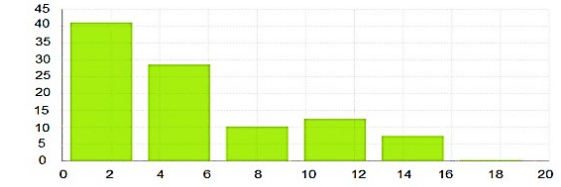
شکل (۲۶): نمودار خطی سناریو ششم در شرایط خوش‌بین



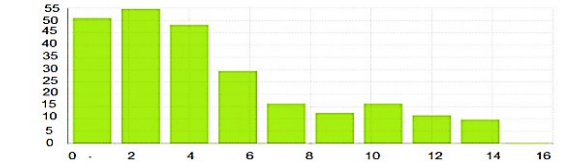
شکل (۲۷): نمودار خطی سناریو هفتم در شرایط خوش‌بین



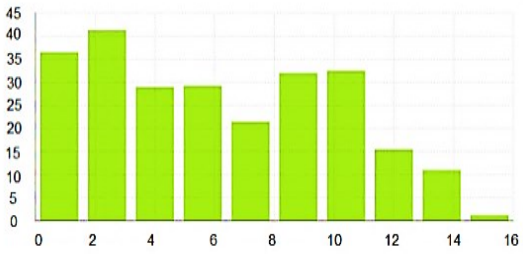
شکل (۲۸): نمودار خطی سناریو هشتم در شرایط خوش‌بین



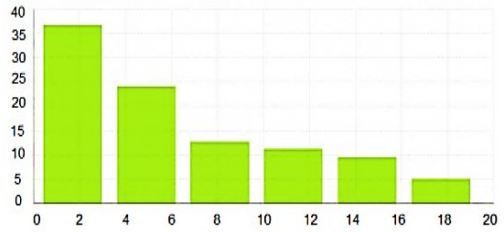
شکل (۲۹): هیستوگرام سناریو اول (زمان شبیه‌سازی ۵/۳۵)



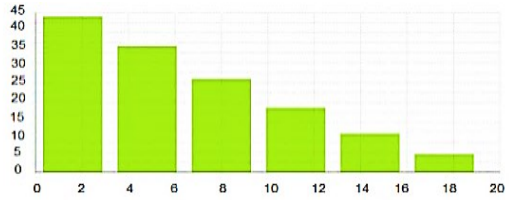
شکل (۳۰): هیستوگرام سناریو دوم (زمان شبیه‌سازی ۴/۵)



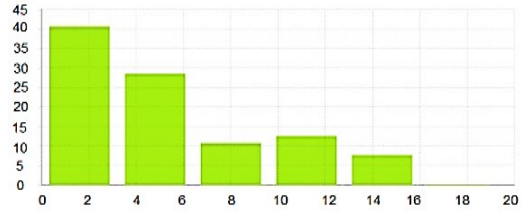
شکل (۳۱): هیستوگرام سناریو سوم (زمان شبیه‌سازی ۶/۱۴)



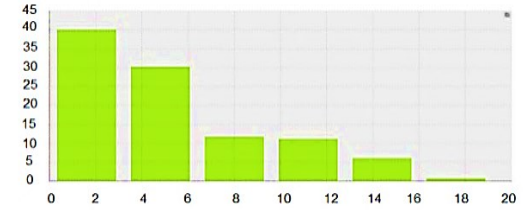
شکل (۳۲): هیستوگرام سناریو چهارم (زمان شبیه‌سازی ۶/۴۲)



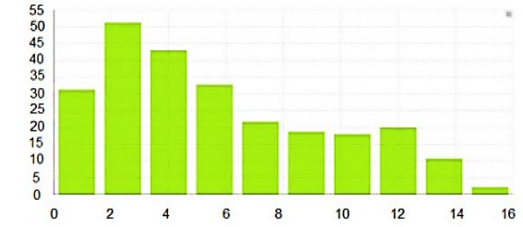
شکل (۳۳): هیستوگرام سناریو پنجم (زمان شبیه‌سازی ۶/۴۱)



شکل (۳۴): هیستوگرام سناریو ششم (زمان شبیه‌سازی ۵/۳۹)



شکل (۳۵): هیستوگرام سناریو هفتم (زمان شبیه‌سازی ۶/۲۸)



شکل (۳۶): هیستوگرام سناریو هشتم (زمان شبیه‌سازی ۵/۷۱)

در جدول (۵) به‌صورت اختصار مقایسه تعداد خروج افراد و زمـان موردنیاز جهت خروج افراد در حالت‌های فاجعه و بسیار مطلـوب آمده است.

جدول (۵): زمان تخلیه و شبیه‌سازی و تعداد افراد در دو حالت

عدد سناریو	حالت فاجعه (بدبین)			حالت بسیار مطلوب (خوش‌بین)		
	تعداد افراد خارج شده	زمان تخلیه	زمان شیخ سازی	تعداد افراد خارج‌شده	زمان تخلیه	زمان شیخ سازی
۱	۵۷۵۰	۱۰۰	۱۱/۵۹	۱۸۰۰	۷۳	۵/۳۵
۲	۵۸۰۰	۱۰۵	۱۷/۲۷	۲۵۴۰	۷۷	۵/۵۳
۳	۵۵۰۰	۱۰۵	۱۷/۲۷	۱۶۰۰	۷۵	۶/۱۴
۴	۵۶۰۰	۱۲۵	۱۹/۸۷	۱۸۰۰	۸۳	۶/۴۲
۵	۵۷۵۰	۱۲۲	۱۸/۶۴	۱۸۰۰	۷۸	۶/۴۱
۶	۵۶۰۰	۱۰۲	۱۱/۸۸	۱۵۹۰	۷۳	۵/۳۹
۷	۵۷۰۰	۱۰۴	۱۱/۸۳	۱۵۰۰	۷۸	۶/۲۸
۸	۵۶۰۰	۱۰۱	۱۱/۹۳	۱۵۰۰	۷۲	۵/۷۱

در حالت بدبینانه زمان خروج نسبت به حالت خوش‌بینانه افزایش‌یافته است. با مقایسه نقشه‌های شرایط عادی و ۸ سناریو شرایط فاجعه این مطلب مشاهده می‌شود در شرایط عادی تاب‌آوری سالن شماره ۲ جهت ظرفیت مسافران و تخلیه اضطراری در شرایط عادی با سرعت‌های شرایط عادی و ترکم روزانه ۲۰۰۰ نفر مناسب است، ولی در صورت بروز بحران‌هایی مانند جنگ و یا زلزله که افراد دچار ترس و وحشت می‌گردند این ظرفیت مناسب نیست و گره‌های جمعیتی ایجاد می‌گردد. در بررسی و مقایسه ۸ سناریو در شرایط فاجعه، سناریو چهارم بازمان تخلیه ۱۲۵ و زمان شبیه‌سازی ۱۹/۸۷ از همه سناریوها در شرایط بدتر و بحرانی‌تر قرار دارد. همان‌طور که قبلاً بیان‌شده است در این سناریو، درب‌های خروجی مسدود شده، تخلیه افراد تنها از طریق اتاق‌های کنترل و بازرسی (ورودی) امکان‌پذیر است. در صورت وقوع بحران و مسدود شدن درب‌های خروجی و افزایش تعداد مسافران، سالن شماره ۲ جهت تخلیه مسافران در زمان کوتاه تاب‌آوری مناسب را ندارد. در سناریو ۱ در شرایط عادی ازآنجایی‌که همه درب‌های ورودی و خروجی سالم هستند به این دلیل میزان درصد تخلیه افراد در زمان بلافاصله پس از شروع بحران حداکثر است وجود موانع تأثیر چندانی در ایجاد گره جمعیتی نداشته و ناگذر زمان افراد به‌راحتی و به‌تدریج به بیرون فرودگاه رفته‌اند ولی در حالت فاجعه باوجوداینکه از بقیه سناریوها شرایط مطلوب‌تری دارد و تمامی دسترسی‌ها جهت عبور و مرور

باز است، زمان تخلیه ۱۰۰ دقیقه و زمان شبیه‌سازی ۵۹/۱۱ دقیقه است و این باوجوداینکه تمامی دسترسی‌ها باز است و صرف افزایش سرعت و ترس و تراکم جمعیت سبب افزایش زمان و گره‌های جمعیتی افراد شده است تاب‌آوری پایین فرودگاه را در هنگام وقوع بحران‌ها نشان می‌دهد. درواقع در شرایط بحرانی فرودگاه ظرفیت تخلیه بیشتر از ۱۰۰۰ نفر را ندارد. زمان خروج در حالت خوش‌بینانه نسبت به حالت فاجعه کم‌تر است و این به دلیل کاهش تراکم جمعیت از حالت معمول و کاهش سرعت و ترس افراد است. حالت خوش‌بینانه صرف به دلیل انجام تحلیل حساسیت و قطعیت مدل انجام‌شده است.

۵- نتیجه‌گیری

فرودگاه‌های هواپیمایی به دلیل رفتارهای اجتماعی جاری در آن و کاربری خاصشان با مسائل پیچیده‌ای در هنگام تخلیهٔ اضطراری مواجه می‌گردند و پاسخ به این مصالح که فضای کافی برای جمعیت وجود دارد و همچنین فضای موردنظر مناسب است یا خیر کمک شایانی در کاهش مخاطره ازدحام جمعیت می‌کند. رویکرد پژوهشی این پژوهش کمی و کیفی است. به‌منظور بررسی تاب‌آوری فرودگاه، در گام اول سناریوها با رویکرد تحلیل تأثیرات متقابل تدوین‌شده و سپس سناریوهای سازگار (۸ سناریو) در حالت‌های خوش‌بین (بسیار مطلوب) و فاجعه در نرم‌افزار Any Logic شبیه‌سازی شده است. در سناریوهای فاجعه زمان خروج نسبت به حالت خوش‌بینانه افزایش‌یافته است. نتایج مدل‌های تحلیل حساسیت نشان می‌دهد که در بین سناریوها، سناریو اول در حالت فاجعه بازمان تخلیه ۱۰۰ و زمان شبیه‌سازی ۱۱/۵۹ دقیقه و در حالت خوش‌بینانه بازمان تخلیه ۷۳ دقیقه و زمان شبیه‌سازی ۵/۳۵ دقیقه در شرایط مطلوب‌تری قرار دارد.

سناریو چهارم در حالت فاجعه بازمان تخلیه ۱۲۵ و زمان شبیه‌سازی ۸۷/۱۹ دقیقه در بین سناریوها شرایط بحرانی‌تری دارد. در حالت مطلوب (خوش‌بینانه) نیز این سناریو بازمان تخلیه ۸۳ و زمان شبیه‌سازی ۶/۴۲ دقیقه در بین سناریوها در شرایط بحرانی‌تری قرار دارد.

با مقایسه نقشه‌های شرایط عادی و ۸ سناریو شرایط فاجعه این مطلب دیده می‌شود در شرایط عادی تاب‌آوری سالن شماره ۲ جهت ظرفیت مسافران و تخلیه اضطراری با سرعت‌های شرایط عادی و تراکم روزانه ۲۰۰۰ نفر مناسب است. در صورت بروز بحران که افراد دچار ترس و وحشت می‌گردند این ظرفیت مناسب نیست و گره‌های جمعیتی ایجاد می‌گردد. درواقع در شرایط بحرانی سالن شماره دو ظرفیت تخلیه بیش‌تر از ۱۰۰۰ نفر را ندارد و می‌توان بیان نمود در صورت وقوع بحران و مسدود شدن درب‌های خروجی و افزایش تعداد مسافران، سالن شماره ۲ جهت تخلیه مسافران در مدت‌زمان کوتاه تاب‌آوری مناسب را ندارد. پژوهش‌های پیشین یا نگاه تک‌بعدی مصالح تخلیه اضطراری را بررسی نموده‌اند. همچنین تعداد محدودی از مقالات به بررسی تخلیه اضطراری پرداخته‌اند مخصوص با رویکرد ترکیبی که در این مقاله استفاده‌شده است. تخلیه اضطراری جمعیت در فرودگاه‌ها نیز از موضوعاتی است که چندان به آن پرداخت‌نشده است. برای تحقیقات آتی می‌توان راهکارهایی را ازلحاظ کالبدی در پلان معماری جهت کاهش زمان تخلیه ایجاد نمود و مجدد در شبیه‌سازی مدل‌های بهینه پیاده نمود و به بررسی تغییرات حاصل از این راهکارها در زمان خروج و تعداد افراد در عملیات تخلیه اضطراری پرداخت. همچنین به‌عنوان پیشنهاد دیگر می‌توان گفت علاوه بر متغیرهای موردبحث مدل‌سازی شده در این پژوهش می‌توان با استفاده از الگوریتم‌های هوش مصنوعی بهبودیافته راهکارهایی را برای عدم برخورد عامل‌ها در محیط و نظریه یادگیری تقویتی را برای مسائل با ویژگی‌های داد. همان‌طور که قابل‌بررسی است تحقیقات زیادی در حوزه تخلیه اضطراری در کشور انجام‌نشده است لذا این نیز پیشنهاد می‌شود که این مدل‌سازی‌ها را در محیط‌های حساس مانند استخرهای شنا و یا کاربری‌هایی مانند آسانسور انجام داد.

۶- مراجع

[1] R. Perry and W. Lindell, "Preparedness for emergency response: guidelines for the emergency planning process Disasters," vol. 27, pp. 336-350, 2013.

[2] W. Yi and L. Özdamar, " A dynamic logistics coordination model for evacuation and support in disaster response activities," European journal of operational research, vol. 179, pp. 1177-93, 2012.

[3] A. Abdelghany, K. Abdelghany, H. Mahmassani, and W. Alhalabi, " Modeling framework for optimal evacuation of large-scale crowded pedestrian facilities," European Journal of Operational Research, vol. 237, pp. 1105-18, 2014.

[4] V. Ha and G. Lykotrafitis, "Agent-based modeling of a multi-room multi-floor building emergency evacu ation." Physica A: Statistical Mechanics and its Applications, , 15;391(8), pp. 40-51. 2012.

[5] Fang, J, El-Tawil, S. and Aguirre,B." Leader-follower model for agent based simulation of social collective behavior during egress.", Saf. Sci,2016, vol. 83, pp. (40_47), Mar.

[6] S. Pluchino, A. Tribulato, A. Caver-zan, G. P. Mc Quillan, Cimellaro, and S. Mahin, "Agent-based model for pedestrians' Evacuation after a blast integrated with a human behavior model," in Proc. Int. Conf. Comput. Sci, pp. 1506-1517, 2012.

[7] X. Che and Y. Niu, "A novel simulation framework based on information asymmetry to evaluate evacuation plan," Vis. Compu, vol. 31, no. 6_8, pp. 853_861, Jun. 2015.

[8] J. Koo, Y. Kim, and B. Kim, “Estimating the impact of residents with disabilities on the evacuation in a high-rise building: A simulation study, Simul. Model”, vol. 24, pp. 71_83,2012.

[9] V. Babrauskas and J. M. Fleming, “a flawed concept for fire safety assessment,” Fire and Materials, vol. 34, p.p. 341-55,2015.

[10] J. Averill, “Five grand challenges in pedestrian and evacuation dynamics. In Pedestrian and evacuation dynamics,” vol.11, pp. 1-11, 2012.

[11] S. Sharma, S. Lohgaonkar, “Simulation of agent behavior in a goal nding application, in Proc”, IEEE Southeast Con (SoutheastCon), vol. 23, pp. 424_427, 2010.

[12] A. Alizadeh, V. Vahidi Motlagh, “ Scripting or planning based on scenarios. Future think tank journalist”, vol. 11, pp. 61-90,2018.

[13] M. Manley, Y. Kim, “Modeling emergency evacuation of individuals with disabilities (exitus): An agent-based public decision support system, vol.39,pp. 8300_8311, 2018.

[14] M. Busogi and D. Shin, “Weighted affordance-based agent modeling and simulation in emergency evacuation”, Saf. Sci, vol. 96, pp. 209-227, 2017.

[15] K. Zhu, Y. Yang, Q. Shi," Study on evacuation of pedestrians from a room with multi-obstacles considering the effect of aisles," Simulation Modelling Practice and Theory, vol. 7, (8), pp. 31- 69, 2016.

[16] T. Tang, L. Chen, "An evacuation model accounting for elementary students individual properties," Physica A: Statistical Mechanics And its Applications, vol. 11(3), pp. 430 -440, 2021.

[17] N. Zali and F. Atrian," The development of regional tourism development scenarios based on the principles of futures studies (case study: Hamadan): Journal of Spatial management. vol. 9 (8), pp. 107-131,2015.

[18] Y. Liu and T. Yuan, “Analysis and Simulation of crowd in Airport Multiple Transport Modes,” International Conference on Aviation Safety and Information Technology .ACM.DL.digital library , pp. 36–41.

[19] F. Yamamoto, “Investigation of an agent- based modeling on crowd evacuation and its application to real buildings”, In Digital Huma Modeling and Applications in Health, Safety, Ergonomics, and Risk Management. Healthcare, vol. 34, pp. 373-382, 2013.

[20] C. LU, “The Evacuation Training Problems of an Earthquake in China. In: Pedestrian and Evacuation Dynamics”, Springer US, vol. 31, pp. 121-127, 2021.

[21] V.Bahrami, I. Etisam, A. Shah Cheraghi," Explanation of the components of routing reading in the conditions of mandatory evacuation of buildings", non-active defense scientific journal, vol. 4(44), pp. 71-59, 2019.

[22] I. Zarghami and I. Rismanian, “the effect of architectural variables on classroom evacuation time in emergency situations”, Haft Hesa r Environmental Studies Journal, vol. 30(8), pp. 59-68, 2018.

[23] G. Jalali and M. Sasani, H. Ahmadyousfi, "Factors affecting the emergency evacuation of subway stations using Pathfinder 2017 simulation software and providing engineering solutions with Passive defense approach", Non-operating defense. vol. 13, pp. 17-32, 2019.

[24] p. Stollard, j. Abrahams," Fire from first principles.a design guide to building fire safety", vol. 13, pp.36-47,1978.

[25] R. Fahy, G. Proulxm, "Toward Creating a Database on Delay Times to Start Evacuation and Walking Speeds for Use in Cvacuation Modelling”, in Human Behaviour in Fire, vol. 32, pp.175-193, 2001.

[26] I. Stamatopoulou, I. Sakellariou, " Formal agent-based ehavior and simulation of crowd ehavior in emergency evacuation plans. International Conference on Tools with Artificial Intelligence,".vol. 1, pp. 1133-1138, 2012.

[27] K. Fridolf, E. Ronchi," Movement speed and exit choice in smoke tunnels," Fire Safety Journal, vol. 59, pp. 8-21, 2018.