فصلنامه دانش پیشگیری و مدیریت بحران/ دورهٔ سیزدهم، شمارهٔ اول، بهار ۱۴۰۲
Disaster Prevention and Management Knowledge (DPMK)
Quarterly, Vol. 13, No.1, Serial 47 (Spring 2023)

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۱/۲۴
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۳/۲۷

The effect of architectural variables on the crowd evacuation in emergencies

Mahdi Rismanian[1] & Zahra Torkaman[2]
1- Asisstant Professor of Architecture, Faculty of Civil Engineering and Architecture, Malayer University, Malayer, Iran (Corresponding Author) m.rismanian@malayeru.ac.ir
2- Asisstant Professor of Architecture, Faculty of Civil Engineering and Architecture, Malayer University, Malayer, Iran. zahra.torkaman@malayeru.ac.ir

Abstract

Background and objective: emergency evacuation is one of the first stages of crisis management, and reducing the time of complete evacuation has a great effect on reducing casualties caused by accidents. The purpose of this research is to evaluate the effect of architectural design factors as well as the effect of changes in the initial plan during construction and operation on the evacuation time of mosques.
Method: The research method is applied in nature, descriptive, analytical, and results are explanatory. This study has been carried out by using the agent-based model to simulating the emergency evacuation, by making changes in the state of corridors and exits, with the aim of reducing the evacuation time and reducing the population density during evacuation. Therefore, Malayer University Mosque was selected as a case study and in four different scenarios, the crowd evacuation was simulated based on the initial plan of the consultant, the existing situation, the proposed 1 and 2 plans.
Findings: The evacuation time and the population density in corridors and exits were investigated and compared in four different scenarios. The comparison of complete evacuation time and average evacuation time in proposed plans 1 and 2 shows that creating two exit doors (with a width equal to one door in other options) in the main courtyard of the mosque in proposed plan 2 does not help much to reduce the overall evacuation time of the building. The average distance traveled in the proposed plan 1 has decreased by 23% and 36.6% compared to the original plan and the existing situation, respectively. The average distance in the proposed plan 2 has also decreased by 32.7% and 44.5% compared to the original plan and the existing situation, respectively. The average distance traveled in proposed plan 2 has also decreased by 12.4% compared to proposed plan 1.
Conclusion: The results obtained from the simulation of four different scenarios indicated that the current situation due to the blocking of the main exit of the people on the south side of the building, has the worst time for the complete evacuation of the building among the four different scenarios, which shows the importance of managing buildings and gathering centers in especially the changes of exit routes during operation. By using the change in architectural variables (which includes the increase of exit doors and the average distance traveled), the complete evacuation time of the building can be reduced by 67.2%. Comparing the average distances traveled shows that although the increase in the number of doors in the courtyard of the mosque has not helped much in reducing the time of complete evacuation of the building; but reducing the distance traveled can play an important role in preventing more people from bumping into each other and also preventing fatigue, especially for the elderly, disabled and children.
Keywords: Architectural variables, Crowd evacuation, Emergency, Agent-based model
▶**Citation (APA 6th ed.):** Rismanian M, Torkaman Z. (2023, Spring). The effect of architectural variables on the crowd evacuation in emergencies. *Disaster Prevention and Management Knowledge Quarterly (DPMK), 13*(1),50-61.

تأثیر متغیرهای معماری بر روند تخلیه جمعیت در شرایط اضطراری

مهدی ریسمانیان[1] و زهرا ترکمن[2]
۱- استادیار دانشکده عمران و معماری، دانشگاه ملایر، ملایر، ایران. (نویسنده مسئول).m.rismanian@malayeru.ac.ir
۲- استادیار دانشکده عمران و معماری، دانشگاه ملایر، ملایر، ایران.zahra.torkaman@malayeru.ac.ir

چکیده

هدف و زمینه: تخلیه اضطراری از نخستین مراحل مدیریت بحران است و کاهش زمان تخلیه کامل تأثیر زیادی در کاهش خسارات جانی ناشی از وقوع حادثه دارد. هدف از این پژوهش ارزیابی تأثیر عوامل طراحی معماری هم‌چنین تأثیر تغییرات در طرح اولیه به هنگام ساخت و بهره‌برداری بر زمان تخلیه مساجد است.
روش: روش پژوهش از نظر ماهیت کاربردی و از نوع توصیفی تحلیلی و نوع نتایج تبیینی است. این مطالعه با استفاده از سیستم عامل‌محور جهت مدل‌سازی خروج اضطراری، با ایجاد تغییراتی در وضعیت مسیرهای ارتباطی و خروجی‌ها و با هدف کاهش زمان تخلیه و کاهش تراکم افراد در هنگام تخلیه صورت گرفته است. براین اساس مسجد دانشگاه ملایر به‌عنوان نمونه موردی انتخاب و در چهار سناریوی متفاوت، تخلیه خروج بر مبنای طرح اولیه مشاور مربوطه پروژه، وضع موجود، طرح پیشنهادی ۱ و طرح پیشنهادی ۲ شبیه‌سازی شده است.
یافته‌ها: زمان تخلیه جمعیت و تراکم افراد در راهروها و خروجی‌ها در چهار سناریوی مختلف مورد بررسی و مقایسه قرار گرفت. مقایسه زمان تخلیه کامل و میانگین زمان تخلیه در طرح‌های پیشنهادی ۱ و ۲ مشخص می‌کند که ایجاد دو درب خروجی (با عرضی معادل با یک درب در سایر گزینه‌ها) در صحن اصلی مسجد در طرح پیشنهادی ۲ کمک چندانی به کاهش زمان تخلیه کلی ساختمان نمی‌کند. میانگین مسافت طی شده در طرح پیشنهادی ۱ نسبت به طرح اولیه و وضع موجود به‌ترتیب ۲۳٪ و ۳۶,۶٪ کاهش پیدا کرده است. طرح پیشنهادی ۲ نیز نسبت به طرح اولیه و وضع موجود به‌ترتیب ۳۲,۷٪ و ۴۴,۵ درصد کاهش پیدا کرده است. میانگین مسافت طی شده در طرح پیشنهادی ۲ نیز ۱۲,۴٪ نسبت به طرح پیشنهادی ۱ کاهش یافته است.
نتیجه‌گیری: نتایج حاصل از شبیه‌سازی چهار سناریوی مختلف مشخص نمود که وضع موجود به‌دلیل مسدودنمودن خروجی اصلی آقایان در سمت جنوب بنا، بدترین زمان تخلیه کامل ساختمان در میان چهار سناریوی مختلف را داراست که بیانگر اهمیت مدیریت ساختمان‌ها و مراکز تجمعی در خصوص تغییرات مسیرهای خروج در هنگام بهره‌برداری است. با استفاده از تغییر در متغیرهای معماری (که شامل افزایش درب‌های خروجی و میانگین مسافت‌های طی شده است)، می‌توان زمان تخلیه کامل ساختمان را تا ۶۷,۲٪ کاهش داد. مقایسه میانگین مسافت‌های طی شده نشان می‌دهد که اگرچه افزایش تعداد درب‌ها در صحن مسجد کمک چندانی به کاهش زمان تخلیه کامل ساختمان نکرده است؛ اما کاهش مسافت طی شده می‌تواند به‌عنوان عاملی جهت جلوگیری از برخورد بیش‌تر افراد با یکدیگر و هم‌چنین جلوگیری از عامل خستگی بخصوص برای افراد مسن، کم‌توان و کودکان نقش مهمی ایفا کند.
کلیدواژه:متغیرهای معماری، تخلیه جمعیت، شرایط اضطراری، مدل عامل‌محور
◄ **استناد فارسی (شیوه APA، ویرایش ششم ۲۰۱۰):** ریسمانیان، مهدی؛ ترکمن، زهرا. (بهار، ۱۴۰۲)، تأثیر متغیرهای معماری بر روند تخلیه جمعیت در شرایط اضطراری. *فصلنامه دانش پیشگیری و مدیریت بحران، ۱۳* (۱)، ۵۰-۶۱.

مقدمه

سکونتگاه‌های انسانی همواره در معرض مخاطرات ناشی از حوادث طبیعی و غیرطبیعی اعم زلزله، طوفان، آتش‌سوزی، جنگ و نشت مواد شیمیایی قرار دارد و در چنین شرایطی تأمین ایمنی افراد تحت بحران اهمیت زیادی دارد. در این شرایط یکی از عوامل تعیین‌کننده ایمنی افراد تخلیه ایمن و به‌موقع از محل حادثه و انتقال آن‌ها به یک مکان امن است. با وجود افزایش پژوهش‌ها در حوزه تخلیه اضطراری، تعداد محدودی از آن‌ها به تأثیر عناصر معماری پرداخته‌اند (ریسمانیان، ضرغامی و آزاد ارمکی[1]، ۲۰۲۲ ؛ ناتاپو، پاروش، لوفر و فیشر[2]، ۲۰۲۲). پژوهش‌هایی بر نقش طراحی و عناصر معمارانه بر کنترل و غلبه در شرایط اضطراری پرداخته شده است (ککلوند، آندره، بنگستون، ویلاندر و سیره[3]، ۲۰۱۲؛ گیس[4]، ۲۰۰۰؛ آیسو، چی چای و دینو[5]، ۲۰۱۳) و فرایند تخلیه، رفتار افراد در طی این فرایند و پیداکردن مسیر را متأثر از خوانایی معماری ساختمان (ویسمن،[6] ۱۹۸۱؛ کاپلان[7]، ۱۹۸۲) هم‌چنین شکل، طراحی و لایه‌بندی فضا (نیلوفر و چویتی[8]، ۲۰۱۹؛ کوبیس[9] و همکاران، ۲۰۱۰؛ ناتاپو، کولیگا، کونروی، هولشر[10]، ۲۰۲۰؛ لیو[11] و همکاران، ۲۰۱۴) می‌دانند. در فرایند تخلیه جمعیت از یک بنا، فضاهای عمومی جمعی که چگالی جمعیت در آن‌ها زیاد است؛ مانند سالن‌های تئاتر، فضاهای آموزشی، ایستگاه‌های مترو و مراکز تجمع مذهبی اهمیت بیش‌تری می‌یابند. پژوهش‌هایی که در این حوزه صورت گرفته بر انواع مختلفی از کاربری‌ها تمرکز کرده‌اند. به‌عنوان نمونه موضوع امنیت دانش‌آموزان در کاربری آموزشی موضوع بحث پژوهش‌های بسیاری از محققان در این حوزه بوده است (ضرغامی و ریسمانیان[12]، ۲۰۲۰؛ تقوایی و جوزی، ۱۳۹۷ خاکی، ۱۴۰۱؛ لزنار[13]، ۲۰۲۲؛ اوداس، کولیس و آندریادیس[14]، ۲۰۱۰ ؛ ژو، یانگ و شی[15]، ۲۰۱۶؛ انگ، چن، جیو و شانگ[16]، ۲۰۱۵ ؛ لیو، یانگ، فانگ و لی[17]، ۲۰۰۹؛ یانگ، لیو، لی، ژو و فانگ[18]، ۲۰۰۹؛ ژانگ، سانگ و سو[19]، ۲۰۰۸؛ هلبینگ، ایزاب، ناگاتانی و تاکی موتو[20]، ۲۰۰۳). لیو و همکارانش در یک پژوهش نقش میزان تراکم افراد در اطراف درب‌های خروجی بر رفتار افراد حاضر در کلاس در شرایط اضطراری را بررسی نمودند (لیو، یانگ، فانگ و لی: ۲۰۰۹: ۱۹۲۱). ژو و همکاران به بررسی موانع موجود در کلاس نظری، ردیف صندلی‌ها و هم‌چنین راهروهای کنار میز و صندلی‌ها در تخلیه پرداختند و دریافتند که برخورد دانش‌آموزان با یکدیگر بیش‌تر در راهروها اتفاق می‌افتد نه در کنار درهای ورودی (ژو، یانگ و شی: ۲۰۱۶). ضرغامی و ریسمانیان با استفاده از یک مدل عامل محور برای مدل‌سازی خروجی اضطراری یک کلاس درس ۴۲ نفره دریافتند که جهت کشیدگی کلاس کمترین تأثیر و تعداد درب‌های خروجی بیش‌ترین تأثیر را در کاهش زمان تخلیه دارد و کشیدگی کلاس تنها زمانی تأثیر دارد که تراکم اطراف درب‌های خروجی با استفاده از عوامل دیگر معماری به حداقل رسیده باشد (ضرغامی و ریسمانیان، ۲۰۲۰: ۵۹). خاکی در مقاله خود تأثیر دو عامل ارتفاع و کشیدگی ساختمان را بر زمان تخلیه بررسی کرده است. پژوهش وی نشان داد که افزایش ارتفاع به‌مراتب تأثیر بیش‌تری بر افزایش زمان تخلیه دارد تا افزایش کشیدگی ساختمان؛ لذا وی پیشنهاد می‌کند که به‌منظور افزایش ظرفیت مدارس به‌جای فرم‌های مرتفع از فرم‌های کشیده استفاده شود (خاکی، ۱۴۰۱: ۱۴۹).

برخی از پژوهشگران نیز به موضوع تخلیه جمعیت در کاربری‌های تجاری نظیر بازارها و مراکز خرید (وی، یائو، لی، چن، وانگ[21]، ۲۰۲۰؛ وانگ[22]، ۲۰۱۷؛ لی و وانگ[23]، ۲۰۱۹؛ ژانگ[24]، ۲۰۱۸؛ ارژنگی، ۱۳۹۸؛ ریسمانیان و ضرغامی، ۱۴۰۱؛ لو، ونگ،

1. Rismanian, Zarghami & Azadarmaki
2. Natapov, Parush, Laufer and Fisher-Gewirtzman
3. Kecklund, Andree, Bengtson, Bengtson, Willander & Sire
4. Geis
5. Aysu, Chimay J, and Dino Bouchlaghem
6. Weisman
7. Kaplan
8. Nilufar & Choiti
9. Kobes
10. Kobes, Margrethe, Helsloot, Ira, De Vries, Bauke, Post, Jos, Oberije, Nancy, Groenewegen & Karin
11. Liao
12. Rismanian & Zarghami, 2020
13. Leznar
14. Georgoudas, Sirakoulis & Andreadis
15. Zhu, Yang & Shi
16. Tang, T. Q., Chen, L., Guo, R. Y., & Shang
17. Liu, Yang, Fang & Li
18. Yang, Liu, Li, Zhu & Fang
19. Zhang, Song, & Xu
20. Helbing, Isobe, Nagatani, & Takimoto
21. Wei, Yao, Li, Chen & Wang
22. Wang
23. Li & Wang
24. Zhang

ژانگ، یانگ[1]، ۲۰۲۲؛ سونگ[2]، ۲۰۱۹؛ ها و لیکوترافیتیز[3]، ۲۰۱۲) پرداخته و مسائل و چالش‌های آن در شرایط اضطراری را مورد بررسی قرار داده‌اند. ارژنگی در رساله دکترای خود با بررسی بازار تبریز و استانبول به دنبال یافتن مقولات موردنیاز در تخلیه اضطراری بازارهای تاریخی است و ویژگی‌های محیطی-انسانی و عوامل روان‌شناختی-انسانی را به‌عنوان دو عامل کلیدی در شبیه‌سازی تخلیه بازارها می‌داند (ارژنگی، ۱۳۹۸: ۱۰۱). لو و همکارانش نقش تأثیر طراحی خروجی‌های ایمن و نحوه قفسه‌بندی در سوپرمارکت‌های بزرگ را بر روند تخلیه بررسی کرده‌اند و به این نتیجه رسیده‌اند که مورد اول تأثیر بیش‌تری بر روند و کاهش زمان تخلیه دارد. هم‌چنین دریافتند که ترتیب پراکندگی خروجی‌ها لزوماً منجر به بهبود روند تخلیه نمی‌شود (لو، ونگ، ژانگ، یانگ، ۲۰۲۲: ۱۶۳). مساجد و نمازخانه‌ها یکی از کاربری‌هایی هستند که در کشورهای اسلامی و ایران به‌صورت مستقل وجود داشته و به‌دلیل وجود جمعیت زیاد، تخلیه آن در شرایط اضطراری واجد اهمیت است هم‌چنین در کلیه کاربری‌ها اعم از آموزشی، فرهنگی، تجاری و اداری نیز به‌صورت جداگانه و یا پیوسته با مجموعه وجود دارند. حوادث متعددی در سال‌های اخیر در مساجد ایران رخ داده است و به دلایل مختلف موجب آسیب‌های جدی و مرگ و میر نمازگزاران شده است که از آن جمله می‌توان به بمباران هوایی مسجد جامع عتیق اصفهان ۱۳۶۳، حادثه آتش‌سوزی مسجد ارگ تهران ۱۳۸۳، آتش‌سوزی حسینیه مهدیه تهران ۱۳۹۲ و حوادث تروریستی مساجد سیستان و بلوچستان اشاره کرد. زمان تخلیه اولیه کوتاه، حضور فراوان جمعیت نمازگزار در یک‌زمان مشخص، ردیف نمازگزاران به‌عنوان مانع حرکت، عدم تعبیه خروجی‌های اضطراری ازجمله ویژگی‌هایی است که تخلیه یک نمازخانه را متفاوت از سایر عملکردها و کاربری‌ها و حائز اهمیت می‌کند. جمعیت حاضر در یک فضا صرفاً زمان کوتاهی جهت تخلیه دارند که زمان طلایی تخلیه[4] نامیده می‌شود. وقتی زمان تخلیه ممکن[5] از زمان تخلیه موردنیاز[6] بیش‌تر باشد، جمعیت می‌تواند به یک جای امن برسد (باک و لی[7]، ۲۰۱۵؛ وان، لی، شین و لی[8]، ۲۰۱۸؛ لین و وو[9]، ۲۰۱۸). زمان کل موردنیاز تخلیه شامل مجموع زمان آگاهی از خطر، زمان قبل حرکت و زمان تخلیه است (لین و وو[10]، ۲۰۱۸؛ چو[11]، ۲۰۰۷؛ چو، سان، وانگ و چن[12]، ۲۰۰۶؛ ژانگ، هانگ ژو و یوان[13]، ۲۰۱۷؛ لی[14]، ۲۰۲۰). زمان تخلیه شامل مجموع زمان حرکت و سکون در طی فرایند تخلیه است (دنگ[15]، ۲۰۲۲، ۲۰۴). افراد متفاوت واکنش‌های متفاوتی نسبت به موقعیت خطر نشان می‌دهند. این رفتارها بستگی به تفاوت‌های سنی، جنسیتی، فرهنگی، توانمندی جسمانی و تجربیات گذشته دارد(هلبینگ، فارکاس و ویسک، ۲۰۰۰[16]؛ ریسمانیان و ضرغامی، ۲۰۲۱). یافته‌های سیم، پروکلس و فاحی نشان می‌دهد که زمان قبل از حرکت تأثیر بسیار زیادی بر زمان تخلیه کامل ساختمان‌ها دارا است (به نقل از ارژنگی، ۱۳۹۸: ۱۰۳). در یک نمازخانه به‌دلیل باورهای مذهبی زمان طلایی تخلیه اولیه یا زمان قبل از حرکت کوتاه است؛ چرا که اگر سانحه در زمان ادای فریضه نماز اتفاق افتد، معمولاً افراد از اصطلاحاً شکستن نماز و حرکت به سمت جای امن امتناع می‌ورزند و این امر زمان طلایی تخلیه را کوتاه و شرایط تخلیه اضطراری را متفاوت از سایر کاربری‌ها می‌کند. یکی دیگر از عوامل تأثیرگذار بر تخلیه ایمن فضا، موانعی است که بر سر راه افراد قرار دارد. موانعی مانند ردیف صندلی‌های یک کلاس و یا ردیف قفسه‌های یک فروشگاه یا یک کتابخانه که به‌صورت ردیفی در فضا قرار دارند، مسیر تخلیه را محدود به فضای بین خودشان و یا مسیر بین مانع و دیوارها می‌کنند. مطالعاتی در خصوص نقش این موانع در تخلیه ایمن افراد انجام شده و شکل، اندازه و فاصله این موانع از خروجی اضطراری مورد بررسی قرار گرفته است (وو، دینگ و ونگ[17]، ۲۰۲۱؛ لو[18]، ۲۰۲۱ ؛ سان[19]، ۲۰۱۸). تفاوتی که در ازاین‌حیث در یک نمازخانه وجود دارد این است که این

1. Lu, L.; Ji, J.; Zhai, C.; Wang, S.; Zhang, Z.; Yang, T
2. Quang Hong Cung
3. Vi Ha, George Lykotrafitis
4. Golden Evacuation Time
5. TASE
6. T RSE
7. Baek D.S. & Lee
8. Wan K.T., Lee S.K., Shin D.M. & Lee
9. Lin & Wu
10. Lin C.S. & Wu M.E.
11. Chow W.K.
12. Chu G.Q., Sun J., Wang Q. & Chen S
13. Zhang G.W., Huang D., Zhu G. & Yuan G
14. Ley
15. Qing Deng
16. Helbing, Farkas & Vicsek
17. Wu, H.; Ding, Y.C.; Weng
18. Luo
19. Sun

موانع، ردیف نمازگزاران هستند که به‌صورت ثابت نیستند و بر اثر حرکت جمعیت تغییر می‌کنند. تغییر این ردیف‌ها هم قابل‌پیش‌بینی نیست و تحت‌تأثیر رفتار جمعیت قرار دارد.

بسیاری از محققان بر این باورند که داشتن یک استراتژی به‌منظور مدیریت تخلیه مناسب می‌تواند زمان تخلیه را کاهش دهد و از ازدحام در ورودی‌ها و مسیرهای باریک جلوگیری کند. الکساندروف[1] در مطالعات خود نشان داد که استراتژی‌های مدیریت تخلیه نقش مهمی در طراحی ایمنی هر ساختمان برای تخلیه همه افراد در کوتاه‌ترین زمان ممکن ایفا می‌کنند (الکساندروف، ۲۰۱۸). مدیریت ساختمان باید ابتدا با بررسی طراحی ساختمان، چگونگی وقوع حادثه و هم‌چنین مشخصات ساکنین، احتمال خطر و به‌وجودآمدن وضعیت بحرانی خطر را بررسی نماید. هم‌چنین برای رسیدن به شرایط ایمن، تمهیدات و برنامه‌هایی را به مرحله اجرا درآورد تا میزان خطر تا حد قابل‌قبولی کاهش یابد. مدیریت تخلیه جمعیت عموماً بر موضوعاتی نظیر تخلیه مرحله‌ای افراد، مدیریت مسیرهای خروج، اولویت‌بندی خروج بر اساس میزان توانایی‌های فیزیکی افراد، آموزش‌های شهروندی و برگزاری مانورهای تخلیه برای دستیابی به یک تخلیه ایمن‌تر و سریع‌تر متمرکز است.

هدف از این پژوهش بررسی تأثیر عوامل و عناصر طراحی معماری بر بهبود روند تخلیه یک مسجد به‌عنوان یک کاربری تجمعی با زمان تخلیه اولیه کوتاه است. پرسش‌هایی که در راستای هدف مقاله مطرح می‌گردند عبارت‌اند از: ۱-تغییرات در معماری در هنگام ساخت، چگونه بر روند تخلیه فضا در شرایط اضطراری بنا (در اینجا مسجد) تأثیر می‌گذارند؟ ۲-متغیرهای معماری اعم از تعداد و محل و عرض خروجی‌های اضطراری چه تأثیری بر روند تخلیه مسجد دارند؟ براین‌اساس و به‌منظور پاسخ به پرسش‌های مذکور روند تخلیه مسجد دانشگاه ملایر با گنجایش ۱۲۵۹ نفر نمازگزار واقع در دانشگاه ملایر به‌وسیله مدل‌سازی کامپیوتری و به روش عامل‌محور و با استفاده از الگوریتم A* مورد بررسی قرار گرفت (روش عامل‌محور و الگوریتم A* در بخش روش پژوهش تشریح شده‌اند) و تأثیر متغیرهای معماری اعم از تعداد، موقعیت و عرض درب‌های خروج بر زمان تخلیه کامل افراد از نمازخانه و مسافت طی شده توسط آن‌ها در سناریوهای مختلف بررسی و مقایسه شد. نتایج حاصل از این تحقیق می‌تواند در بهبود روند تخلیه کلیه فضاهای نمازخانه‌ای مورداستفاده قرار گیرد و مقدمه‌ای بر مطالعه روند تخلیه اضطراری در سایر فضاهای عبادی از جمله شبستان مساجد و کلیساها باشد.

روش

در این پژوهش از سیستم عامل‌محور جهت مدل‌سازی خروج اضطراری از یک مسجد استفاده شده است. سیستم‌های عامل‌محور که در سطح مدل‌های خردنگر قرار دارند به‌اختصار ABM (Agent Based Models)نامیده شده و برای شبیه‌سازی موقعیت‌هایی که شامل عوامل و عناصر پویا هستند مورداستفاده قرار می‌گیرد (باندینی و مانزونی[2]، ۲۰۰۶؛ وانگ و لئو[3]، ۲۰۰۵؛ ضرغامی و ریسمانیان، ۲۰۱۹). در مدل‌های عامل‌محور کلیه عوامل هوشمند بر اساس مجموعه‌ای از قوانین سامان‌یافته شبیه‌سازی توانایی ادراک و ارزیابی محیط را داشته و می‌توانند تصمیم‌گیری‌های مستقل و معقولانه در خصوص انتخاب مسیرهای کوتاه‌تر و کاهش زمان تخلیه، متناسب با موقعیت‌های موجود اتخاذ نمایند (فنگ و لیانگ، ۲۰۰۳[4]؛ ترول و کوپر[5]، ۲۰۰۶).

مدل‌های عامل‌محور اگرچه در طراحی موقعیت و ویژگی‌های فردی صرف زمان زیادی را می‌طلبد اما می‌توان این مدل را واقع‌گرایانه‌ترین مدل موجود برای شبیه‌سازی تخلیه جمعیت تلقی نمود. دلایل این برتری می‌تواند پیش‌بینی دقیق جریان جمعیت و زمان سفر در مسیرهای باریک، شبیه‌سازی جریان‌های متقاطع و ضد جریان در حرکات جمعیت، استفاده دقیق از فضا، تراکم و سرعت به‌عنوان تابع زمان، ارزیابی‌های واقع‌گرایانه‌ای از اندازه و شکل صف در نقاط بارگیری، شبیه‌سازی ادغام جریان‌های جمعیتی در طول حالت‌های تخلیه، ضبط پدیده‌ها یا حوادث و اقداماتی که از تعاملات عوامل فردی ناشی می‌شود، از قبیل گرفتگی جمعیت، زمانی که اعضای گروه سعی می‌کنند در جهت مخالف حرکت کنند، انعطاف‌پذیربودن یعنی تغییر قوانین اساسی برای آزمایش

1. Aleksandrov

2. Bandini & Manzoni, 2006
3. Wong & Luo, 2005
4. Feng & Liang, 2003
5. Treulle & Cooper, 2006

شرایط مختلف، مانند تغییر رفتار عامل‌ها برای بررسی حالت‌های مختلف تخلیه و نیز ارائه یک توصیف طبیعی از سیستم، یعنی یک نمایش واقعی‌تر از محیط باشند. یکی از خصوصیات اصلی و مهم در مدل‌های عامل‌محور که موجب گزینش این مدل جهت شبیه‌سازی در این پژوهش شده است، توانایی عوامل مستقل در تصمیم‌سازی‌های جدید به هنگامی است که تراکم جمعیت افزایش می‌یابد (دینگ، یونچان، لیژانگ، فالو، ژیژیان و پینگ، [1]۲۰۱۵). این بدان معنی است که افراد حادثه‌دیده اگر در حین فرار و انتخاب نزدیک‌ترین مسیر به یک موقعیت با تراکم بالا رسیدند که تخلیه به‌کندی صورت می‌گیرد بتوانند تصمیم خود را تغییر داده و از مسیرهای طولانی‌تر اما با تراکم کمتر فرار کنند. این خصوصیت رفتاری را در شبیه‌سازی، انطباق می‌نامند. بنابیو[2] (۲۰۰۲) معتقد است که شبیه‌سازی با مدل‌های عامل‌محور می‌تواند در شرایط زیر بسیار سودمند واقع شود:

- جمعیت‌های ناهمگن، یعنی زمانی که افراد جمعیت از خصوصیات و ویژگی‌های فیزیکی و روانی گوناگونی برخوردار هستند (در برخی کاربری‌ها مانند مدارس که عموم افراد ساکن دارای ویژگی‌های فیزیکی نسبتاً یکسانی هستند برای ساده‌سازی مسئله، جمعیت همگن فرض می‌شود).
- رفتارهای پیچیدهٔ افراد مانند یادگیری یا انطباق

برای دستیابی به این منظور از یک الگوریتم استفاده شده است که از اطلاعات محلی مربوط به افراد و ساکنین و اطلاعات مربوط به کل ساختمان استفاده می‌نماید. در این مدل فرض بر این است که افراد، اطلاعات و شناخت کافی از فضایی پیرامون خود دارند. هم‌چنین مدل فرض می‌کند که افراد قادرند فاصلهٔ خود از درب‌ها و خروجی‌ها را تخمین زنند. پس از انتخاب اولین خروجی و یا هدف مناسب توسط هر فرد، مسیر دستیابی به آن هدف توسط الگوریتم A* محاسبه می‌شود (بلادستروم[3]، ۲۰۱۷). الگوریتم A* که اولین‌بار در سال ۱۹۶۸ به‌عنوان الگوریتم بهینهٔ Dijkstra مطرح شد (آنگلوف، [4]۲۰۱۱). برای یافتن کم‌هزینه‌ترین مسیر مورداستفاده قرار می‌گیرد. هزینه‌های سفر از یک مسیر می‌توانند خطرات موجود در مسیر، زمان، فاصله یا هر چیز دیگری تعریف شوند (استات[5]، ۱۹۹۷). در این رویکرد هر گره موجود در محیط بر اساس فرمول f(n) = g(n) + h(n) رتبه‌بندی و ارزش‌گذاری می‌شود: که در آن f(n) هزینهٔ گرهٔ n، g(n) هزینهٔ رسیدن به گرهٔ n و h(n) هزینهٔ رسیدن به هدف از گرهٔ n با درنظرگرفتن تخمین اکتشافی است.

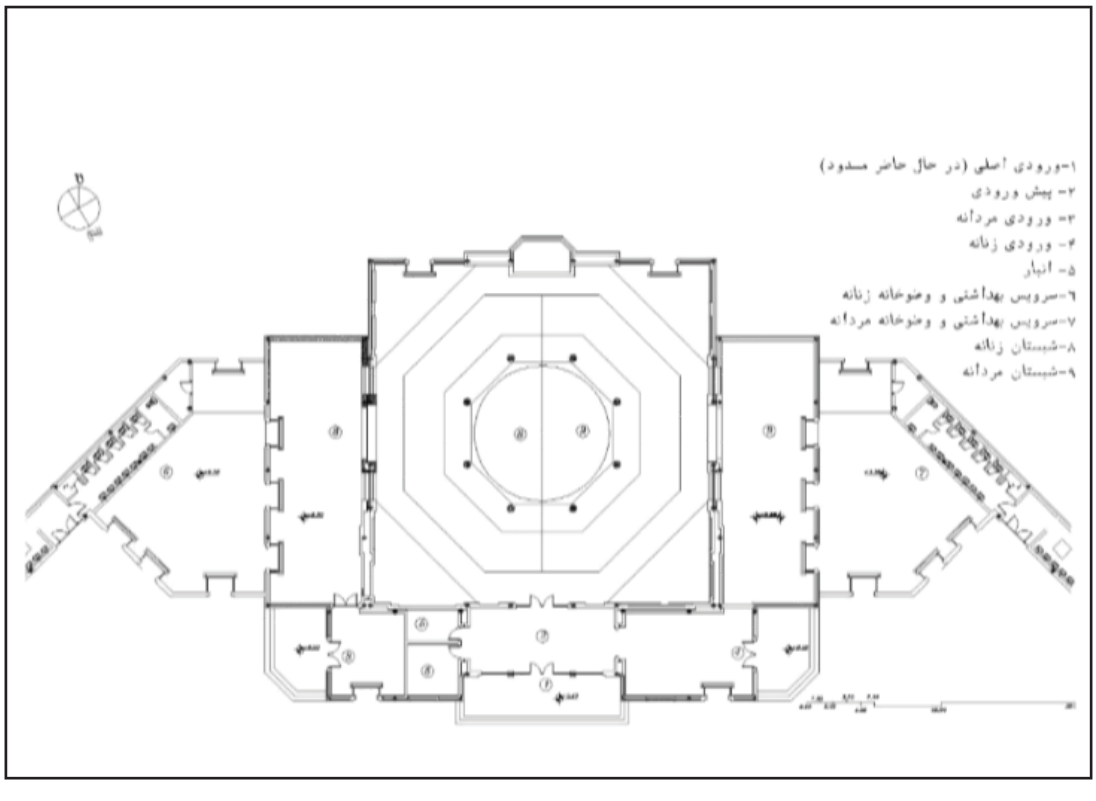
جهت مشخص نمودن کیفیت تحقیق، تجزیه‌وتحلیل دو جنبه اساسی پژوهش یعنی اعتبار نتایج و پایایی ضروری است. در لندن، سازمان بین‌المللی دریانوردی[6] دستورالعمل‌هایی را برای تجزیه‌وتحلیل تخلیه مسافران جدید و موجود (۲۰۰۷) بر اساس کارهای گالی تهیه کرد. هدف آن اعتبارسنجی و تأیید ابزارهایی است که می‌توانند فرایند تخلیه را شبیه‌سازی کنند. چنین راهنمایی باهدف ایجاد یک روش برای انجام یک تجزیه‌وتحلیل پیشرفته تخلیه به‌منظور ایجاد سیستم‌های منسجم توانایی امور زیر را دارد. در پژوهش حاضر از آزمایش حفظ سرعت پیاده‌روی تنظیم شده در یک راهرو مطابق با دستورالعمل سازمان بین‌المللی دریایی برای اعتبارسنجی مدل پیشنهادی استفاده شده است. مطابق با آزمایش تعریف شده در راهنمای سازمان بین‌المللی دریانوردی که سرعت یک عامل واحد را هنگام حرکت در یک محیط شناخته شده خاص تأیید می‌کند ما راهرویی به عرض ۲ و طول ۱۰ متر طراحی نمودیم و یک عامل را که با سرعت ۱ متر بر ثانیه از چپ به راست حرکت می‌کنند شبیه‌سازی کردیم. معیارهای موفقیت این آزمون فرض می‌کند که نماینده باید ۱۰ متر در ۱۰ ثانیه راه برود. پس از ده شبیه‌سازی جداگانه، باتوجه‌به سرعت متوسط ۱ متر بر ثانیه میانگین سرعت فردی به‌دست‌آمده ۱٫۰۵ متر بر ثانیه با انحراف معیار ۰/۰۳ متر بر ثانیه بود. میانگین مسافت پیاده‌روی ۱۰٫۱۶ متر (انحراف معیار ۰/۰۹متر) و زمان ۹٫۵۵ ثانیه (انحراف معیار ۰/۳۱ ثانیه) بود. باتوجه‌به مشخصات سازمان بین‌المللی دریانوردی مشاهده می‌کنیم که مدل طراحی جمعیت پیشنهادی با موفقیت به این معیارها دست می‌یابد.

مسجد دانشگاه ملایر به‌عنوان نمونه موردی در پژوهش حاضر مورد بررسی و مطالعه قرار گرفته است (شکل ۱). این مسجد

1. Ding, Yuanchun, Lizhong Yang, Falu Weng, Zhijian Fu & Ping Rao, 2015
2. Bonabeau, 2002
3. Bladstrom, 2017
4. Anguelov B., 2011
5. Stout B., 1997
6. IMO

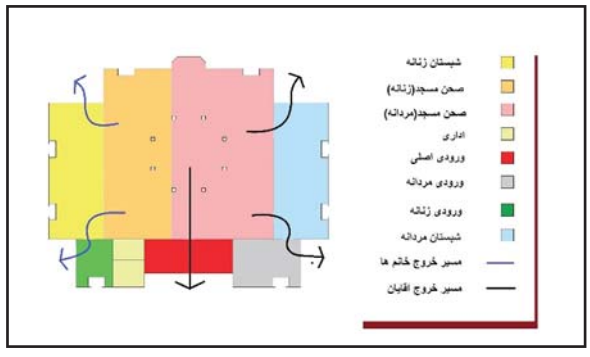
دارای مساحت ناخالص ۱۱۵۰ مترمربع است که شامل گنبدخانه در صحن اصلی مسجد و دو شبستان زنانه و مردانه در طرفین آن است. گنبدخانه در ضلع جنوبی بنا قرار گرفته است که توسط دیوار موقت به دو قسمت زنانه و مردانه تقسیم شده است (شکل ۲).

شکل ۱. به‌ترتیب از سمت راست: فرم کلی مسجد، ورودی اصلی و وودی زنانه، منبع: نگارندگان

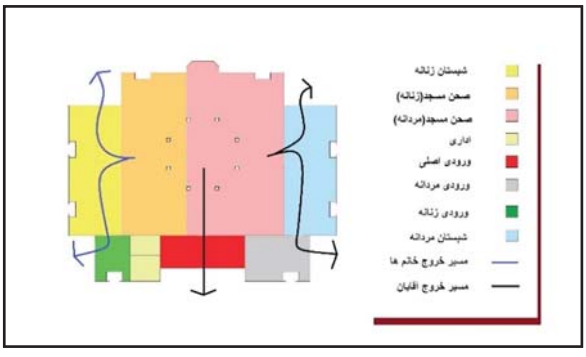


شکل ۲. پلان مسجد دانشگاه ملایر

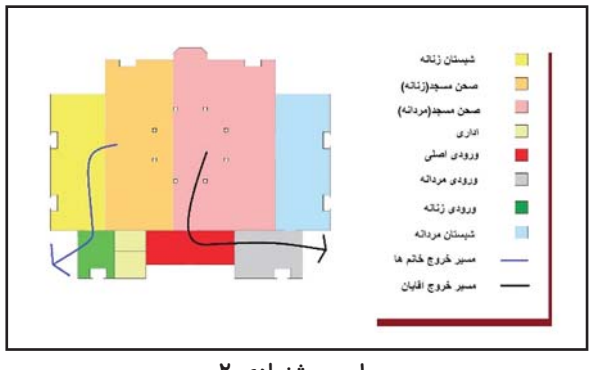
در طرح اصلی مشاور بنا، ورودی اصلی مسجد در ضلع شمالی آن در نظر گرفته شده است که در هنگام بهره‌برداری مسدود شده است. براین‌اساس چهار سناریوی متفاوت تخلیه خروج بر مبنای طرح اولیه مشاور، وضع موجود، طرح پیشنهادی ۱ و طرح پیشنهادی ۲ ارائه شده است (شکل ۳). سناریوهای پیشنهادی ارائه شده در این پژوهش با ایجاد تغییراتی در وضعیت مسیرهای ارتباطی و خروجی‌ها و باهدف کاهش زمان تخلیه و کاهش تراکم افراد در هنگام تخلیه صورت‌گرفته است.



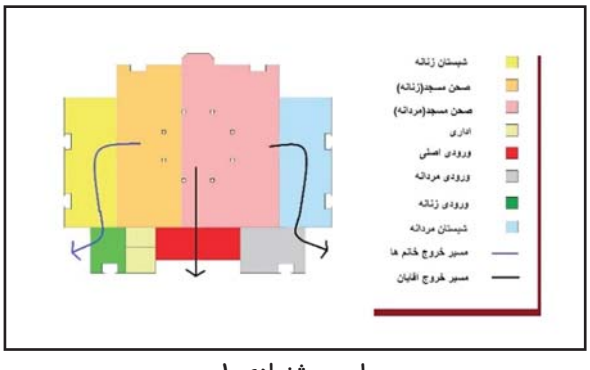
وضع موجود



طرح اولیه مشاور



طرح پیشنهادی ۲



طرح پیشنهادی ۱

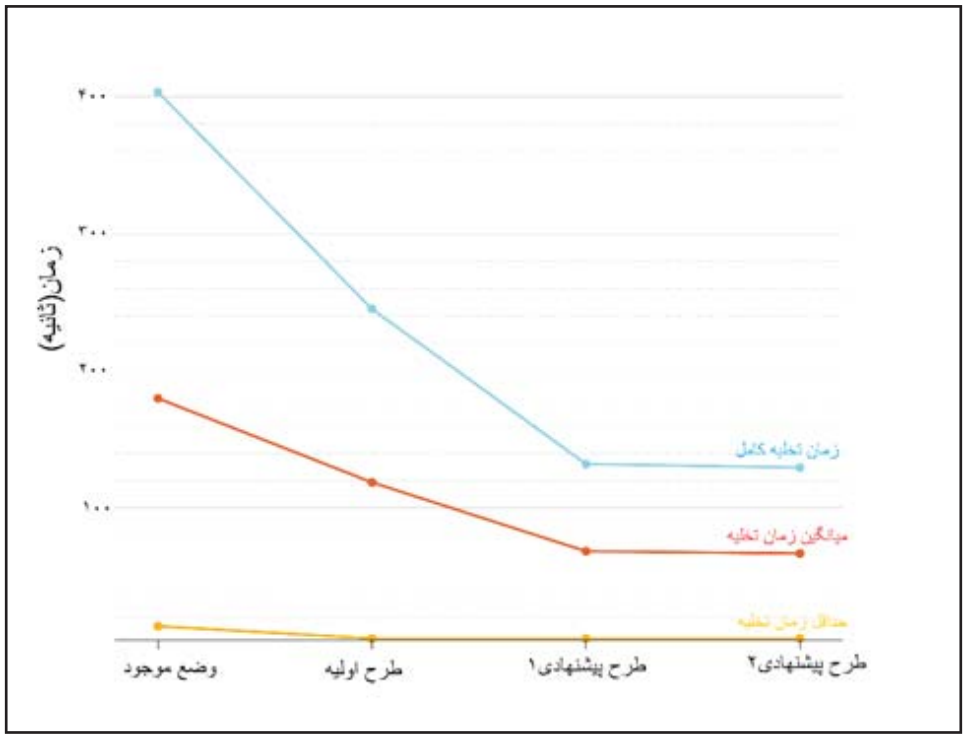
شکل ۳. مسیرهای خروجی درنظر گرفته شده برای سناریوهای مختلف. مسیرهای خروج در وضع موجود با مسیرهای خروج در طرح اولیه مشاور کاملا متفاوت هستند. در طرح پیشنهادی یک، دو درب خروجی از شبستان‌ها به محوطه ایمن حیاط در نظر گرفته شده است. هم‌چنین در طرح پیشنهادی دو بعلت تراکم بالای جمعیت حاضر در صحن و منتظر ورود به شبستان‌ها، دو درب با عرض معادل درب طرح پیشنهادی ۱ مدل شده است.

تعداد افراد ساکن در مسجد بر اساس ضوابط حاکم بر مبحث سوم مقررات ملی ساختمان ایران محاسبه شده است (احمدی و انصاری، ۱۳۹۷). در تمامی سناریوها تعداد کل افراد در داخل ساختمان ۱۲۵۹ هستند که تعداد ۷۶۴ نفر آقا و ۴۹۵ نفر خانم درنظر گرفته شده است. سرعت حرکت افراد بر اساس مطالعات صورت گرفته و پیشنهاد انجمن مهندسین حفاظت حریق[1] ۱٫۱۹ متر بر ثانیه لحاظ شده است (هارلی و دیگران، ۲۰۱۵[2]).

یافته‌ها

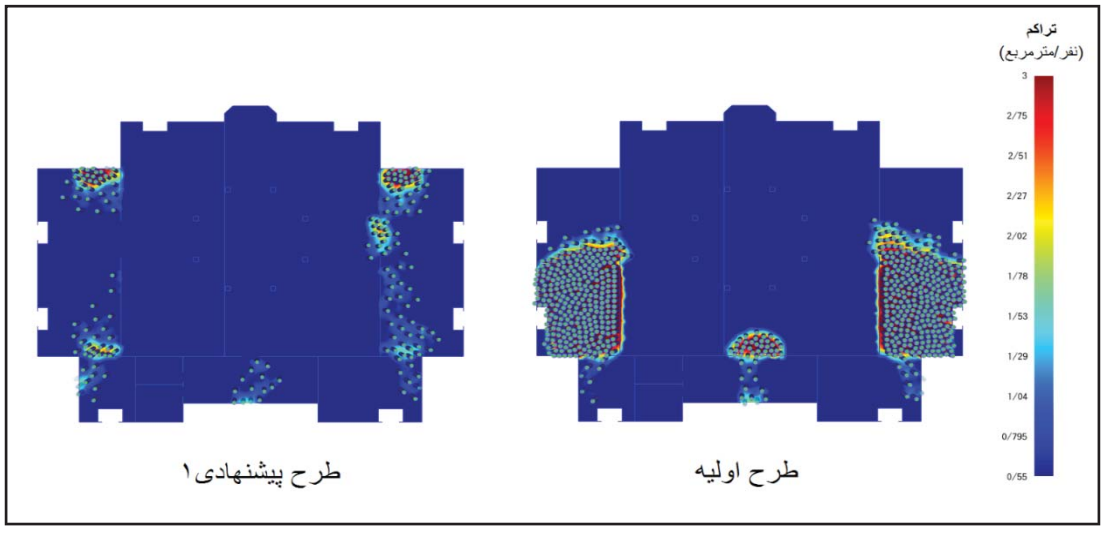
نتایج حاصل از شبیه‌سازی چهار سناریوی مختلف مشخص نمود که وضع موجود بدترین زمان تخلیه کامل (۴۰۳٫۳ ثانیه) ساختمان در میان چهار سناریوی مختلف را داراست (شکل ۴). این در حالی است که اگر طرح اولیه مشاور برای خروج افراد رعایت می‌شد زمان تخلیه کامل ساختمان ۳۹٪ کاهش پیدا می‌کرد. این موضوع به‌دلیل مسدودنمودن خروجی اصلی برای آقایان در قسمت جنوبی ساختمان است. زمان تخلیه کامل ساختمان در طرح پیشنهادی ۱ و ۲ نیز به‌ترتیب ۶۷٫۲٪ و ۶۷٫۸٪ نسبت به وضع موجود کاهش پیدا کرده است که یک‌میزان قابل‌توجه برای افزایش ایمنی ساختمان است. باتوجه‌به زمان زیاد تخلیه شبستان‌های مردانه و زنانه و ایجاد تراکم در ناحیه خروجی آنها، در طرح پیشنهادی ۱ برای این شبستان‌ها یک درب خروجی با ابعاد درب قبلی ولی در قسمت شمالی شبستان پیشنهاد شده است که هم باعث کاهش زمان تخلیه کامل و هم باعث کاهش تراکم در ناحیه خروجی و درنتیجه کاهش صدمات ناشی از فشار و هل‌دادن افراد خواهد شد. شکل ۵ تراکم جمعیت در ثانیه ۱۱۰ از شروع حرکت افراد در دو سناریوی طرح پیشنهادی و طرح اولیه مشاور و کاهش تراکم در طرح پیشنهادی را نمایش می‌دهد.

1. Society of Fire Protection Engineers
2. Hurley, et al, 2015



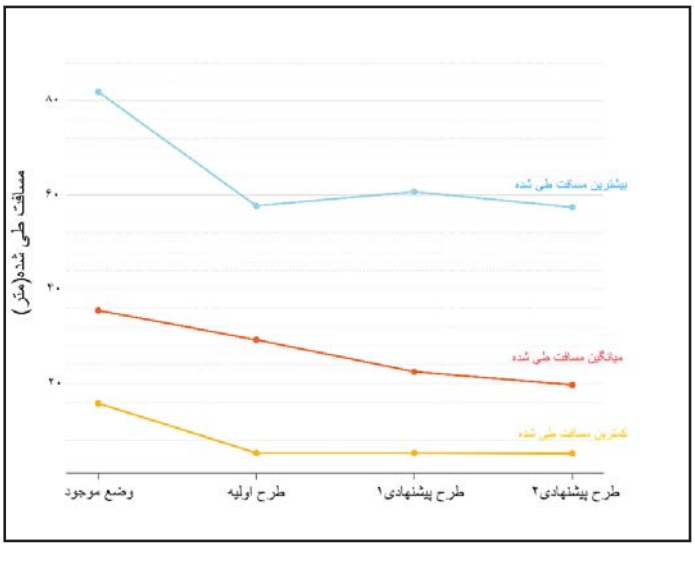
شکل ۴. مقایسه زمان تخلیه کامل، زمان میانگین تخلیه و حداقل زمان تخلیه در چهار سناریوی مختلف

میانگین زمان تخلیه افراد از ساختمان نیز می‌تواند به‌عنوان یک شاخص میزان ایمنی مورد بررسی قرار گیرد. مقایسه این پارامتر در چهار سناریوی مختلف یافته‌های قبلی در خصوص زمان تخلیه کامل را تأیید می‌کند. میانگین زمان تخلیه افراد در طرح اولیه مشاور ۳۴٪ کمتر از میانگین زمان تخلیه در وضع موجود است. این پارامتر در طرح پیشنهادی ۱ نسبت به طرح اولیه و وضع موجود به‌ترتیب ۴۲٫۲٪ و ۶۱٫۸٪ کاهش داشته است. مقایسه زمان تخلیه کامل و میانگین زمان تخلیه در طرح‌های پیشنهادی ۱ و ۲ مشخص می‌کند که ایجاد دو درب خروجی (با عرضی معادل با یک درب در سایر حال‌ها) در صحن اصلی مسجد در طرح پیشنهادی ۲ کمک چندانی به کاهش زمان تخلیه کلی ساختمان نمی‌کند.



شکل ۵. تراکم افراد در دو حالت طرح اولیه مشاور و طرح پیشنهادی ۱ در ثانیه ۱۱۰ از شروع حرکت افراد.

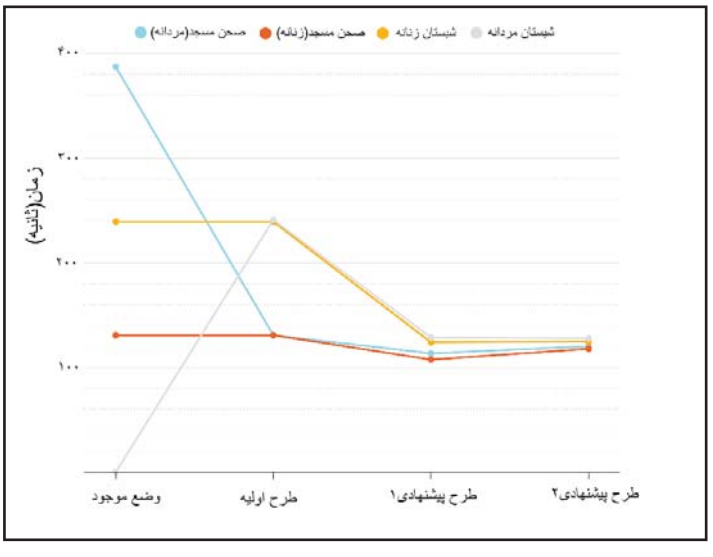
مسافت طی شده توسط افراد در یک ساختمان در شرایط تخلیه اگرچه معمولاً با زمان تخلیه ارتباط مستقیم دارد؛ اما همواره این‌گونه نیست؛ چرا که گرفتگی در خروجی‌ها، راه‌پله‌ها، راهروهای باریک و سایر فضاهای معماری می‌تواند تأثیر مسافت طی شده بر زمان تخلیه را تحت‌تأثیر قرار دهد. شکل ۶ نتایج مرتبط با مسافت طی شده در حالت‌های مختلف شبیه‌سازی را نمایش می‌دهد. این نتایج تا حدود زیادی ارتباط مستقیم بین زمان تخلیه و مسافت طی شده را تأیید می‌کنند. میانگین مسافت طی شده در طرح پیشنهادی ۱ نسبت به طرح اولیه و وضع موجود به‌ترتیب ۲۳٪ و ۳۶٫۶٪ کاهش پیدا کرده است. طرح پیشنهادی ۲ نیز نسبت به طرح اولیه و وضع موجود به‌ترتیب ۳۲٫۷٪ و ۴۴٫۵ درصد کاهش پیدا کرده است. میانگین مسافت طی شده در طرح پیشنهادی ۲ نیز ۱۲٫۴٪ نسبت به طرح پیشنهادی ۱ کاهش یافته است. این بدان معنی است که اگرچه افزایش تعداد درب‌ها در صحن مسجد کمک چندانی به کاهش زمان تخلیه کامل ساختمان نکرده است؛ اما با کاهش مسافت طی شده می‌تواند عاملی جهت جلوگیری از برخورد بیش‌تر افراد با یکدیگر و هم‌چنین جلوگیری از عامل خستگی بخصوص برای افراد مسن، کم‌توان و کودکان نقش مهمی ایفا کند.



شکل ۶. مقایسه بیش‌ترین، میانگین و کمترین مسافت طی شده در چهار سناریوی مختلف

در شکل ۷ زمان تخلیه فضاهای اصلی مسجد شامل صحن و شبستان‌های زنانه و مردانه به‌صورت مجزا در سناریوهای مختلف نمایش داده شده است. تقریباً در تمامی فضاهای مورد بررسی زمان تخلیه در طرح‌های پیشنهادی بهتر از زمان تخلیه در طرح اولیه و وضع موجود است.

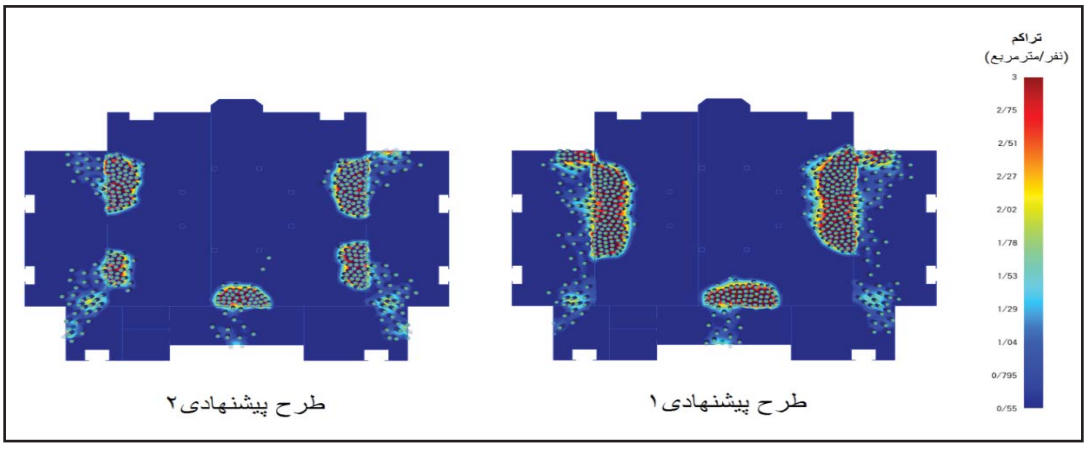
نکته قابل‌تأمل اختلاف زمان تخلیه صحن مسجد (زنانه و مردانه) در طرح پیشنهادی ۱ و ۲ است. در طرح پیشنهادی ۲ بجای یک درب با عرض ۳٫۸۰ متر برای عبور به سمت شبستان دو درب مجزا هر یک با ابعاد ۱٫۹۰ متر طراحی و لحاظ شده است. نتایج پژوهش نشان می‌دهند که این ایده نه‌تنها زمان تخلیه صحن مسجد را کاهش نداده است؛ بلکه به میزان اندکی سبب افزایش آن شده است. از سویی دیگر باید در نظر داشت در مواقعی که دو طرح متفاوت دارای زمان‌های تخلیه نزدیک به هم هستند موضوع تراکم افراد در اولویت قرار خواهد گرفت. بررسی کانتورهای تراکم افراد در دو طرح پیشنهادی ۱ و ۲ نشان می‌دهند که تراکم افراد در طرح پیشنهادی ۲ کمتر از طرح پیشنهادی ۱ است (شکل ۸).



شکل ۷. زمان تخلیه قسمت‌های زنانه و مردانه صحن و شبستان مسجد در سناریوهای مختلف

نتیجه‌گیری

باتوجه‌به اهمیت فرایند تخلیه جمعیت در مکان‌های تجمعی در شرایط اضطراری، پژوهش حاضر به بررسی زمان تخلیه، مسافت طی شده در هنگام حادثه و تراکم جمعیت در نمونه موردی مسجد دانشگاه ملایر پرداخته است. برای رسیدن به این منظور از روش عامل محور جهت شبیه‌سازی فضای ساختمان و حرکت افراد ساکن در آن در چهار سناریوی متفاوت استفاده شده است. در سناریوی اول وضع موجود مسجد شبیه‌سازی و در سناریوی دوم طرح اولیه مشاور شبیه‌سازی شدند. دو سناریوی پیشنهادی نیز تحت عناوین طرح پیشنهادی ۱ و ۲ نیز با برخی تغییرات معماری در مسیرهای خروج ارائه شد.



شکل ۸. تراکم افراد در طرح‌های پیشنهادی ۱ و ۲ در ثانیه ۸۰ از شروع تخلیه

نتایج این پژوهش مشخص کرد که تغییرات ساختمان در وضع موجود نسبت به طرح اولیه مشاور پروژه زمان تخلیه کامل ساختمان و میانگین زمان تخلیه را به‌ترتیب ۶۴٫۴٪ و ۵۱٫۵٪ افزایش داده است. این موضوع بیانگر اهمیت مدیریت ساختمان‌ها و مراکز تجمعی در خصوص تغییرات مسیرهای خروج در هنگام بهره‌برداری است. در سناریوی دیگری (طرح پیشنهادی ۱) باتوجه‌به تجمع و ازدحام افراد در شبستان‌های جانبی صحن اصلی یک خروجی جدید با فاصله زیاد نسبت به خروجی قبلی ایجاد شد. این تغییر در مسیر خروج افراد باعث کاهش ۶۷٫۲٪ زمان تخلیه کامل ساختمان، کاهش ۶۱٫۸٪ میانگین زمان تخلیه و کاهش ۳۶٫۶٪ میانگین مسافت طی شده افراد نسبت به وضع موجود شده است. در طرح پیشنهادی دوم باتوجه‌به وجود یک درب بزرگ به عرض ۳٫۸ متر و ازدحام زیاد در جلوی آن، فرضیه ایجاد دو درب مجزا با ابعاد درب قبلی مورد سنجش قرار گرفت که این سناریو اگرچه تأثیر چندانی در کاهش زمان تخلیه نداشت، اما تراکم و ازدحام در خروجی را کاهش داده و از خطرات ناشی از آن را کاهش می‌دهد (شکل ۸). مقایسه چهار سناریو نشان می‌دهد که کاهش مسافت طی شده بیش از افزایش تعداد درب‌های خروجی بر کاهش زمان تخلیه تأثیرگذار است. بدیهی است نتایج این پژوهش می‌تواند در طرح‌های معماری و مدیریت بهره‌برداری ساختمان‌ها و مراکز تجمعی بخصوص مساجد و نمازخانه‌ها مورداستفاده قرار گرفته و موجب افزایش ایمنی و حفظ جان انسان‌ها شود.

منابع

- احمدی، محمدتقی؛ انصاری، محمدرضا (۱۳۹۷). مبحث سوم مقررات ملی ساختمان. سوم. مرکز تحقیقات راه مسکن و شهرسازی.
- ارژنگی، سولماز؛ (۱۳۹۸). به‌سوی تدوین چارچوب عملیاتی شبیه‌سازی تخلیه اضطراری جمعیت بازارهای تاریخی هنگام آتش‌سوزی. صفه. ۸۶ (۲۹)، ۱۰۲-۱۱۹.https://www.sid.ir/paper/525783/fa
- تقوایی، مسعود؛ جوزی، خمسلویی علی (۱۳۹۷). مدیریت بحران شهری و تخلیه اضطراری جمعیت در مدارس ناحیه دو آموزشی کلان‌شهر اصفهان. فصلنامه مطالعات مدیریت شهری. ۳۴ (۱۰). ۲۷-۴۴.
https://www.sid.ir/paper/199274/fa
- خاکی، علی (۱۴۰۱). بررسی نقش ویژگی کالبدی ساختمان‌های آموزشی در مدت‌زمان تخلیه اضطراری هنگام حوادث. دوفصلنامه علمی‌پژوهشی مدیریت بحران. شماره ۲۱، ۱۴۹-۱۶۱.
https://www.sid.ir/paper/1018511/fa

Aleksandrov, Mitko. 2018. “Optimisation of Evacuation Process in Tall Buildings.”

Anguelov, B. (2011). Video Game Pathfinding and Improvements to Discrete Search on Gridbased Maps.

Aysu Sagun, Chimay J. Anumba and Dino Bouchlaghem, (2013), Designing Buildings to Cope with Emergencies: Findings from Case Studies on Exit Preferences,Buildings, 3, 442-461

Bladström, Kristian. (2017). Route Choice Modelling in Fire Evacuation Simulators. Lund University.

Bonabeau, E. (2002). Agent-Based Modeling: Methods and Techniques for Simulating Human Systems. Proc. Natl. Acad. Sci. USA.

Chow, W.K. (2007). ‘Waiting time’ for evacuation in crowded areas. Build. Environ.. 42. 3757-3761.

Chu, G.Q., Sun, J., Wang, Q., Chen, S. (2006). Simulation study on the effect of pre-evacuation time and exit width on evacuation. Chin. Sci. Bull. 51. 1381-1388.

circulation typology and wayfinding: Design, spatial analysis, and anticipated wayfinding difficulty of circulation types. Architect. Sci. Rev. 63 (1), 34-46. https:// doi.org/10.1080/00038628.2019.1675041

Fire Department in Dormitory far from Fire Station. Fire Sci. Eng. 2015, 29, 65-69

Liao, W., Zheng, X., Cheng, L., Zhao, Y., Cheng, Y., Wang, Y., 2014. Layout effects of multi-exit ticket-inspectors on pedestrian evacuation. Safety Sci. 70, 1–8

Liu, S., Yang, L., Fang, T., & Li, J. (2009). Evacuation from a classroom considering the

occupant density around exits. Physica A: Statistical Mechanics and its Applications, 388(9),1921-1928

Lu, L.; Ji, J.; Zhai, C.; Wang, S.; Zhang, Z.; Yang, T. (2022). Research on the Influence of Narrow and Long Obstacles with Regular Configuration on Crowd Evacuation Efficiency Based on Tri-14 Model with an Example of Supermarket. Fire, 5, 164.

Luo, Q. Effect of obstacle on crowd dynamics in corridors: An experimental and simulation. MA Thesis, Southwest Jiaotong University, Chengdu, China, 2021

M. Wong, K. H. L. and Luo. (2005). Computational Tool in Infrastructure Emergency Total Evacuation Analysis. Pp. 536–42 in International Conference on Intelligence and Security Informatics.

Natapov, A., Kuliga, S., Conroy Dalton, R., Holscher, ¨ C., 2020. Linking buildingcirculation typology and wayfinding: Design, spatial analysis, and anticipated wayfinding difficulty of circulation types. Architect. Sci. Rev. 63 (1), 34–46

Natapov Asya, Parush Avi, Laufer Leslie and Fisher-Gewirtzman Dafna, (2022), Architectural features and indoor evacuation wayfinding: The starting point matters, Safety Science 145, 105483, 1-12

Nilufar, F., Choiti, S.S. (2019). July. Morphological properties of the spatial layout of

factories - A key determinant in setting the emergency escape routes for evacuation. In: 12th International Space Syntax Symposium conducted at the 12th International Space Syntax, Beijing Jiaotong University, Beijing.

R. Feng, L. and Liang. (2003). Intelligent Crowd Simulation. Pp. 462–71 in International Conference on Computational Science and Its Applications.

Rismanian, Mahdi and Esmaeel Zarghami. (2021). ,Investigating the Effect of Crowd Behavioral Patterns on the Safe Evacuation in High-Rise Residential Buildings., Disaster Prevention and Management Knowledge (Quarterly) 11(3):287–98.

Rismanian, Mahdi & Esmaeil, Zarghami. (2022). Evaluation of Crowd Evacuation in High-Rise Residential Buildings with Mixed-Ability Population; Combining an Architectural Solution with Management Strategies. International Journal of Disaster Risk Reduction. 103068.

Rismanian, Mahdi & Esmaeil Zarghami, and Marzieh Azadarmaki. (2022). Architectural Design and Emergencies in Double Staircase High-Rise Buildings: The Effect of Geometric Shape Parameters on Travel Time. Architectural Science Review 1–30.

S. Bandini, S. and Manzoni. (2006). Towards Affective Situated Cellular Agents. Pp. 686–89 in International Conference on Cellular Automata.

Stout, B. (1997). Smart Moves: Intelligent Pathfinding. Game

Cung, Quang Hong, (2019), "THE EVACUATION PROBLEM IN MULTI-STORY BUILDINGS". Masters Theses. 737. https:// scholarworks.umass.edu/masters_theses_2/737

Ding, Yuanchun, Lizhong Yang, Falu Weng, Zhijian Fu, and Ping Rao. (2015). "Investigation of Combined Stairs Elevators Evacuation Strategies for High Rise Buildings Based on Simulation." Simulation Modelling Practice and Theory 53:60–73.

D. Helbing, I. Farkas, T. Vicsek. (2000). Simulating dynamical features of escape panic, Nature 407. 487-490.

E.Zarghami & M.Rismanian. (2019). Assessing crowd evacuation models in buildings and comparing the phenomenon of congestion In Fluid dynamic models and Agent-based models. Journal og safe city 5:(2)

Geis, D.F. (2000). By design: The disaster resistant and quality-of-life community. Nat. Hazards Rev.. 1. 151-160.

Georgoudas, I. G., Sirakoulis, G. C., & Andreadis, I. T. (2010). An anticipative crowd

management system preventing clogging in exits during pedestrian evacuation

processes. IEEE Systems Journal, 5(1), 129-141.

Helbing, D., Isobe, M., Nagatani, T., & Takimoto, K. (2003). Lattice gas simulation of experimentally studied evacuation dynamics. Physical review E, 67(6), 067101

Hurley, Morgan J., Daniel T. Gottuk, John R. Hall Jr, Kazunori Harada, Erica D. Kuligowski, Milosh Puchovsky, John M. Watts Jr, and Christopher J. Wieczorek. (2015). SFPE Handbook of Fire Protection Engineering. Springer.

Kaplan, S. & Kaplan, R. (1982). Cognition and environment: Functioning in an uncertain world. Praeger.

Kobes, Margrethe, Helsloot, Ira, de Vries, Bauke, Post, Jos G., Oberijé, Nancy,Groenewegen, Karin. (2010). Way finding during fire evacuation: An analysis of unannounced fire drills in a hotel at night. Build. Environ. 45 (3), 537-548. https:// doi.org/10.1016/j.buildenv.2009.07.004.

Kecklund, L., Andrée, K., Bengtson, S., Willander, S., Siré, E. (2012). How do people with disabilities consider fire safety and evacuation possibilities in historical buildings?—A Swedish case study. Fire Technol. 48, 27-41.

Lin, C.S., Wu, M.E. (2018). A study of evaluating an evacuation time. Adv. Mech. Eng. 10, 1687814018772424.

Baek, D.-S., Lee, S.-C. (2015). A Study on Introduction of Student Volunteer Fire Department in Dormitory far from Fire Station. Fire Sci. Eng. 29, 65-69.

Li, C.Y., Wang, B.S. (2019). Personnel evacuation in fire of comprehensive supermarket based on numerical simulation. Fire Sci. Technol. 38, 1237-1240.

Leznar, Adam.H, (2022), Evacuation from an Academic Building in Concentrated and Non-Concentrated Occupant Configurations Considering the Influence of Obstacles, A thesis presented to the faculty of the Russ College of Engineering and Technology of Ohio University

Lin, C.S.; Wu, M.E. A study of evaluating an evacuation time. Adv. Mech. Eng. 2018, 10, 1687814018772424. [CrossRef] Baek, D.-S.; Lee, S.-C. A Study on Introduction of Student Volunteer

Wu, H.; Ding, Y.C.; Weng, F.L. Study on the influence of obstacles on personnel evacuation in shopping mall. Sci. Technol. Innov. 2021, 2, 37–41

Yang, L., Liu, S., Li, J., Zhu, K., & Fang, T. (2009). Information-based evacuation experiment and its cellular automaton simulation. International Journal of Modern Physics C, 20(10), 1583-1596

Zhang, G.W., Huang, D., Zhu, G., Yuan, G. (2017). Probabilistic model for safe evacuation under the effect of uncertain factors in fire. Saf. Sci93, 222-229.

Zhang, Y. (2018). Study on the Planning of Fire Evacuation in Large Life Supermarket. MA Thesis, Tianjin University of Technology, Tianjin, China.

Zhang, J., Song, W., & Xu, X. (2008). Experiment and multi-grid modeling of evacuation

from a classroom. Physica A: Statistical Mechanics and its Applications, 387(23), 5901-5909.

Zhu, K., Yang, Y., & Shi, Q. (2016). Study on evacuation of pedestrians from a room with

multi-obstacles considering the effect of aisles. Simulation Modelling Practice and Theory, 69, 31-42.

Developer Magazine.

Sun, J. Research on the influence of passageway obstacle on crowd evacuation in shopping mall. MA Thesis, South China University of Technology, Guangzhou, China, 2018

Vi Ha, George Lykotrafitis, 2012, Agent-based modeling of a multi-room multi-floor building emergency evacuation, Physica A 391, 2740–2751

Wan, K.T.; Lee, S.K.; Shin, D.M.; Lee, S.P. Service Scenario Development for Customized Evacuation Route Guidance Service in Regular Building. J. Serv. Res. Stud. 2018, 8, 13-29.

Wang, Z.J. (2017). Numerical simulation of fore and evacuation of personnel in a large supermarket. MA Thesis, Anhui University of Science and Technology, Huainan, China,.

Weisman, J., (1981). Evaluating architectural legibility: Way-finding in the built environment. Environ. Behav. 13 (2), 189-204. https://doi.org/10.1177/ 0013916581132004.

Wei, X.G., Yao, H.W., Li, L.F., Chen, H.W., Wang, X.F., Li, F.F. (2020). Research on emergency evacuation in large supermarket based on family group movement observation. Fire Sci. Technol. 39, 1075–1078.