

## Research Paper

## The Effect of Selected Physical and Behavioral Factors on the Duration of Complete Crowd Evacuation in Emergencies: A Case Study of Bani Hashem Shrine

Ali Safarifard<sup>1</sup> , \*Mohammadreza Mansoori<sup>2</sup> , Leila Karimifard<sup>1</sup> 

1. Department of Architecture, Faculty of Art, Architecture and Urban Planning, Islamic Azad University, South Tehran Branch, Tehran, Iran.

2. Department of Architecture, Technical and Engineering Faculty, Islamic Azad University, Varamin Branch, Tehran, Iran.



**Citation** Safarifard, A., Mansoori, M., & Karimifard, L. (2025). [The Effect of Selected Physical and Behavioral Factors on the Duration of Complete Crowd Evacuation in Emergencies: A Case Study of Bani Hashem Shrine (Persian)]. *Disaster Prevention and Management Knowledge*, 15(1):2-15. <https://doi.org/10.32598/DMKP.15.1.877.1>

 <https://doi.org/10.32598/DMKP.15.1.877.1>

## ABSTRACT

**Background and objective** The primary goal in emergencies is the complete evacuation of the crowd to save lives, but the behaviors of the crowd, their interactions with the physical environment, and the use of evacuation management strategies can affect its time, particularly in religious places. In this study, we aim to evaluate the impact of the crowd's social dependencies and fear and the use of a phased evacuation strategy on the duration of emergency crowd evacuation in Bani Hashem Shrine.

**Method** This is a descriptive-analytical study using the agent-oriented approach and the integrated framework for crowd evaluation and evacuation. The pilgrims to the holy shrine of Bani Hashem on special days, such as Muharram and Arbaeen, constituted the study population. Based on plausible scenarios, crowd evacuation in emergency and non-emergency situations was simulated using Pathfinder software to evaluate the effects of social dependency, fear, and the use of a phased evacuation strategy on the duration of crowd evacuation.

**Results** To evaluate the effect of social dependency, simulations were conducted in four scenarios, with dependency rates of 5, 10, 15, and 20% of the population. The results showed an increase in the evacuation time by 623, 635, 651, and 675 seconds, respectively. To evaluate the impact of the fear factor, simulations were conducted in four scenarios, with fear rates of 5, 10, 15, and 20% of the population. The results showed that fear increased the evacuation time by 644, 675, 749, and 854 seconds, respectively. To assess the impact of phased evacuation strategy use, the simulation was carried out in three scenarios with evacuation delays of 45, 90, and 135 seconds. The results showed an increase in the evacuation time by 621, 632, and 647 seconds, respectively.

**Conclusion** The duration of the complete crowd evacuation of the Bani Hashem shrine in normal and non-emergency conditions is 619 seconds. The crowd's behaviors resulting from social dependencies and fear and the use of a phased evacuation strategy can increase the evacuation duration.

**Keywords** Crowd evacuation, Emergency evacuation, Agent-based modeling

## Article Info:

Received: 10 Aug 2024

Accepted: 13 Jan 2025

Available Online: 01 Apr 2025

## \* Corresponding Author:

Mohammadreza Mansoori, Assistant Professor.

Address: Department of Architecture, Technical and Engineering Faculty, Islamic Azad University, Varamin Branch, Tehran, Iran.

Tel: +98 (912) 1712674

E-mail: [dr.mohammadrezamansoori@iau.ac.ir](mailto:dr.mohammadrezamansoori@iau.ac.ir)

Copyright © 2025 The Author(s) by "authors retain the copyright and full publishing rights"

This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (CC-BY-NC: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/legalcode.en>), which permits use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited and is not used for commercial purposes.

## Extended Abstract

### Introduction

**E**mergency situations are an integral part of the series of events that humans experience throughout their lives. In emergency situations, the priority is to save lives, and the easiest way to ensure human safety is to move away from the scene. In recent years, numerous studies have been conducted in the field of safe emergency evacuation. This study is based on the integrated framework for evaluating and improving emergency crowd evacuation. We aim to investigate the possibility of measuring the impact of behavioral and physical factors on the duration of complete and safe emergency crowd evacuation and also to provide solutions to reduce this duration. In this study, by using the Shrine of Bani Hashem as a case study, we want to answer the following questions: Do behaviors resulting from social dependencies affect the duration of the emergency evacuation of pilgrims? To what extent does pilgrims' fear affect the duration of a complete emergency evacuation? To what extent does phased evacuation of the pilgrims affect the duration of emergency evacuation?

### Methods

This is a descriptive/analytical study using the agent-oriented approach. The pilgrims to the holy shrine of Imam Hussein on special days, such as Muharram and Arbaeen, when the majority include non-native and foreign pilgrims, constitute the study population. Maps of the Bani Hashem shrine, which is being designed and constructed on a five-hectare land with an area of nearly 200,000 square meters near the shrine of Imam Hussein, were prepared. In order to achieve benchmark results, the evacuation process was simulated in a normal (non-emergency) state with a benchmark population and taking into account the employee population. In this scenario, the entire population was assumed to be homogeneous. After that, the simulation was repeated by applying behavioral and physical variables (social dependence, fear, and phased evacuation), and the results were compared with the benchmark results. Pathfinder software was used for simulation.

### Results

The findings from the simulations showed that the duration of complete crowd evacuation in non-emergency conditions was 619 seconds. To evaluate the effect of social dependency, simulations were conducted in four

scenarios, with dependency rates of 5, 10, 15, and 20% of the population. The results of the simulations showed an increase in the evacuation time by 623, 635, 651, and 675 seconds, respectively. To evaluate the impact of the fear factor, simulations were conducted in four scenarios, with fear rates of 5, 10, 15, and 20% of the population. The results of the simulations showed that fear increased the evacuation time by 644, 675, 749, and 854 seconds, respectively. To assess the impact of management components, a phased crowd evacuation strategy was simulated. In this strategy, half of the population was evacuated with a delay and the other half without a delay. The simulation was carried out in three scenarios, with delays of 45, 90, and 135 seconds. The simulation results showed an increase in the evacuation time by 621, 632, and 647 seconds, respectively, compared to the benchmark duration.

### Conclusion

The duration of the complete crowd evacuation of the Bani Hashem shrine in normal and non-emergency conditions is 619 seconds. Behaviors resulting from social dependencies and fear and the use of a phased evacuation strategy can increase the duration of the evacuation. The social dependency variable increases the complete crowd evacuation time by up to 9% in various scenarios. People with social dependencies search for friends and relatives before leaving, which will delay the start of group evacuation and disturb the evacuation process. The fear variable increases complete crowd evacuation time by up to 38%. Panicked people move faster, causing themselves and others to evacuate more slowly, especially during religious ceremonies. Moreover, adopting a phased evacuation strategy not only would not help reduce the crowd evacuation time, but would also increase the evacuation time by up to 5%.

### Ethical Considerations

#### Compliance with ethical guidelines

All ethical principles were considered.

#### Funding

This research is extracted from the thesis of Ali Safarifar. This research did not receive any specific grant from funding agencies in the public, commercial, or not-for profit sectors.



### Authors' contributions

Conceptualization, resources, writing, visualization: Ali Safarifard; Data analysis: Ali Safarifard and Leila Karimifard; Investigation: Ali Safarifard and Mohammadreza Mansoori; Editing and review, validation: Leila Karimifard; Supervision and project management: Mohammadreza Mansoori; And Leila Karimifard; Methodology: All authors

### Conflicts of interest

This article has no conflicts of interest.

### Acknowledgments

The authors would like to thank Dr. Seyed Rahman Eghbali and Dr. Sahand Sarioletlagh Fard, for their assistance.



## مقاله پژوهشی

## تأثیر عوامل منتخب فیزیکی و رفتاری بر مدت زمان تخلیه کامل جمعیت در شرایط اضطراری: مطالعه موردی حرم بنی هاشم

علی صفری فرد<sup>۱</sup>، \*محمد رضا منصوری<sup>۲</sup>، لیلی کریمی فرد<sup>۱</sup>

۱. گروه معماری، دانشکده هنر، معماری و شهرسازی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران جنوب، تهران، ایران.

۲. گروه معماری، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد ورامین، تهران، ایران.

Use your device to scan  
and read the article online

**Citation** Safarifard, A., Mansoori, M., & Karimifard, L. (2025). [The effect of Physical-behavioral Components on Safety in Emergency, Based on the Agent-oriented Approach in Crowded Spaces (Persian)]. *Disaster Prevention and Management Knowledge*, 15(1):2-15. <https://doi.org/10.32598/DMKP.15.1.877.1>

**doi** <https://doi.org/10.32598/DMKP.15.1.877.1>

## چکیده

**زمینه و هدف:** در طراحی ساختمان‌هایی با کاربردهای پیچیده و فضاهای متنوع، طراحان برای تأمین ایمنی جمعیت در شرایط اضطراری معمولاً به استانداردهای موجود تکیه می‌کنند. اگرچه هدف اصلی این استانداردها، تخلیه کامل جمعیت به‌منظور حفظ جان انسان‌هاست، اما این ضوابط لزوماً با رفتارهای مختلف جمعیت، تعاملات آن‌ها با محیط فیزیکی و استراتژی‌های مؤثر مدیریت تخلیه همخوانی ندارند. در این راستا، پرسش‌های زیر مطرح می‌شود: آیا رفتارهای ناشی از وابستگی‌های اجتماعی بر مدت‌زمان تخلیه تأثیر می‌گذارد؟ ترس و وحشت جمعیت تا چه اندازه بر زمان تخلیه کامل در شرایط اضطراری مؤثر خواهد بود؟ تأثیر تخلیه مرحله‌ای جمعیت بر زمان تخلیه اضطراری چه میزان است؟ هدف این تحقیق، ارزیابی و تبیین مؤلفه‌های مؤثر بر زمان تخلیه اضطراری جمعیت و ارائه شبیه‌سازی‌های آینده‌نگر از فرآیند تخلیه اضطراری از فضاهای پرجمعیت، به‌ویژه فضاهای مذهبی، به‌منظور کمک به تصمیم‌گیری مدیران در فرایند طراحی تا بهره‌برداری است.

**روش:** روش تحقیق حاضر، از لحاظ ماهیت، کاربردی و از نوع توصیفی تحلیلی و نتایج آن تبیینی است. در این مقاله، با ابداع چارچوب E&E و با بهره‌گیری از رویکرد عامل‌محور جهت شبیه‌سازی خروج اضطراری جمعیت براساس سناریوهای محتمل، به ارزیابی و تبیین مؤلفه‌های مؤثر بر مدت‌زمان تخلیه اضطراری جمعیت در شرایط اضطراری پرداخته شده است.

**یافته‌ها:** فرایند طی شده و شبیه‌سازی‌های صورت گرفته، بیانگر آن است که مؤلفه‌های وابستگی اجتماعی، وحشت‌زدگی و تخلیه مرحله‌ای جمعیت بر مدت‌زمان تخلیه کامل جمعیت مؤثرند.

**نتیجه‌گیری:** با شناسایی مؤلفه‌های مؤثر و محتمل و مدیریت آگاهانه آن‌ها، از مرحله طراحی تا مرحله بهره‌برداری امکان کاهش مدت‌زمان تخلیه جمعیت و در نتیجه کاهش آسیب‌ها و تلفات انسانی در شرایط اضطراری وجود دارد.

**کلیدواژه‌ها:** تخلیه ایمن جمعیت، شرایط اضطراری، مدل‌سازی مبتنی بر عامل

## اطلاعات مقاله

تاریخ دریافت: ۲۰ مرداد ۱۴۰۳

تاریخ پذیرش: ۲۴ دی ۱۴۰۳

تاریخ انتشار: ۱۲ فروردین ۱۴۰۴

## \* نویسنده مسئول:

دکتر محمد رضا منصوری

نشانی: تهران، واحد ورامین، دانشگاه آزاد اسلامی، دانشکده فنی و مهندسی، گروه معماری.

تلفن: +۹۸ (۹۱۲) ۱۷۱۲۶۷۴

پست الکترونیکی: [dr.mohammadrezamansoori@iau.ac.ir](mailto:dr.mohammadrezamansoori@iau.ac.ir)

Copyright © 2025 The Author(s) by "authors retain the copyright and full publishing rights"

This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (CC-BY-NC: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/legalcode.en>), which permits use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited and is not used for commercial purposes.



## مقدمه

را دارند. بیشترین توجه این جمعیت به انجام مناسک مذهبی معطوف خواهد بود تا ایمنی. نویسندگان این پژوهش در نظر دارند امکان سنجش تأثیر مؤلفه‌های رفتاری و کالبدی را بر مدت زمان خروج کامل و ایمن جمعیت در شرایط اضطراری بررسی کنند و همچنین راهکارهایی برای کاهش این مدت زمان ارائه دهند.

### پیشینه تحقیق

#### موضوعات رفتاری

لی و همکاران به منظور بررسی تأثیر رفتارها بر تخلیه جمعیت با انجام شبیه‌سازی دریافتند در شرایط اضطراری، رفتار ایثارگرانه می‌تواند تأثیر مثبتی بر کارایی تخلیه داشته باشد، اما باید در نظر گرفته شود که این رفتار در حد معقولی باشد. افزایش بیش از حد تلاش برای کمک به دیگران می‌تواند به اختلال در روند تخلیه منجر شده و افزایش مدت زمان تخلیه شود (لی و همکاران، ۲۰۲۴). نی و همکاران با انجام یک مانور انسانی دریافتند عوامل روان‌شناختی فردی مانند ویژگی‌های شخصیتی و عوامل بیرونی مانند دید محیطی، به‌طور قابل توجهی بر تمایل به رفتار گله‌ای در میان جمعیت تأثیر می‌گذارند (نی و همکاران، ۲۰۲۴).

لیو و همکاران به منظور بررسی تأثیر رفتار انسانی و صدمات ساختمانی بر روند تخلیه اضطراری، از روش شبیه‌سازی روند تخلیه و سنجش مدت زمان تخلیه استفاده کردند و دریافتند که رفتار اجتماعی در حین تخلیه در زمان وقوع زمین‌لرزه نقش مهمی ایفا می‌کند (لیو و همکاران، ۲۰۱۸). گرگوس و همکاران با انجام نظرسنجی و مصاحبه با ساکنان یک ساختمان، دریافتند افراد تمایل دارند قبل از تخلیه در زمان وقوع حریق، از دیگران سؤال کنند و با اعضای خانواده و بستگان خود به‌صورت گروهی به خروج اقدام کنند (گرگوس و همکاران، ۲۰۱۷). در عرصه رفتار جمعیت (فرد، گروه و جمعیت)، مؤلفه‌های فراوانی دیگری نیز وجود دارند که شامل ابعاد بدن، سن و جنسیت، سطح تحصیلات (چاکرابتی و همکاران، ۲۰۲۰)، تجربه قبلی، وضعیت سلامت و آشنایی با محیط، سرعت حرکت (چن و همکاران، ۲۰۲۱) و مانند آن می‌شود.

#### موضوعات کالبدی

توپراکلی و ساتیر به منظور ارزیابی خطرهای تخلیه اضطراری در مساجد تاریخی، رویکردی یکپارچه به‌صورت کمی و کیفی با عنوان شاخص ریسک تخلیه مسجد تاریخی<sup>۲</sup> HMERI پیشنهاد کردند. در این چارچوب، معیارهای کمی (۳ عنوان) و معیارهای کیفی (۱۷ عنوان) از طریق ارزیابی میدانی، امتیازبندی می‌شوند. مؤلفه‌هایی مانند تعداد درگاه‌های خروج، موقعیت قرارگیری جاکفشی‌ها و پیچیدگی طرح‌های معماری از جمله معیارهای کمی در این چارچوب می‌باشد (توپراکلی و ساتیر، ۲۰۲۴).

شرایط اضطراری بخشی جدایی‌ناپذیر از مجموعه حوادثی است که انسان‌ها در طول زندگی تجربه می‌کنند. بیشتر انسان‌ها، شرایط اضطراری را برابر با آتش‌سوزی می‌دانند. این موضوع، شاید به فراوانی تجربه این حادثه نسبت به حوادث دیگر بازگردد. آنچه در شرایط اضطراری در اولویت قرار دارد حفظ جان انسان‌ها است. سهل‌ترین راه برای تأمین ایمنی انسان‌ها در شرایط اضطراری، دور شدن و گریز از کانون حادثه است. چنانچه فرد یا افرادی در محیط‌های باز و بیرون از ساختمان‌ها باشند؛ امکان گریز از کانون حادثه آسان‌تر بوده و احتمال نجات آنان بیشتر خواهد بود. اگر حادثه در درون ساختمان رخ دهد، می‌تواند به فاجعه انسانی ختم شود. به تعبیری دیگر، کالبد فضا و یا محیط ساخته‌شده می‌تواند عامل تشدیدکننده حادثه باشد. شدت این موضوع، به محیط ساخته‌شده، مصالح به‌کاررفته، سیستم‌های اعلام و اطفاء، مدیریت ساختمان و الگوی رفتاری انسان‌ها وابسته است. هرچه این موارد با یکدیگر سازگارتر و هماهنگ‌تر باشد، احتمال نجات انسان‌های بیشتری، زیاد خواهد بود. در سال‌های اخیر، انجام پژوهش‌های مرتبط با تخلیه اضطراری جمعیت، به‌منظور پیش‌بینی مدت زمان تخلیه جمعیت، رو به افزایش بوده است. متن حاضر نیز در چنین حوزه‌ای نگاشته شده است. به‌منظور امکان تبیین و ارزیابی فرایند تحقیق، طرح توسعه حرم حضرت امام حسین (ع) که در حال حاضر در مرحله ساخت بوده و با نام مجموعه مذهبی عقيله بنی‌هاشم (س) شناخته می‌شود، به‌عنوان نمونه موردی برگزیده شده و تمام شبیه‌سازی‌ها و مطالعات بر این پایه صورت گرفته است. با در نظر گرفتن سلسله‌مراتب منطقی بحث، پرسش‌های اصلی پژوهش بدین قرار می‌باشند:

۱. آیا رفتارهای ناشی از وابستگی‌های خانوادگی و یا مانند آن، بر مدت زمان تخلیه تأثیر گذار است؟

۲. هراس و وحشت‌زدگی زائران به چه میزان بر مدت زمان تخلیه کامل در شرایط اضطراری مؤثر خواهد بود؟

۳. تخلیه مرحله‌ای جمعیت، چه میزان بر مدت زمان تخلیه اضطراری جمعیت تأثیر گذار است؟

این پژوهش بر مبنای چارچوبی نوآورانه به نام «چارچوب یکپارچه ارزیابی و بهبود تخلیه اضطراری جمعیت»<sup>۱</sup> می‌باشد. به‌منظور سهولت، می‌توان این چارچوب را به اختصار E&E (به معنای Evaluating and Evacuation) نامید. فرض بر این است که پس از گشایش، مجموعه مذهبی عقيله بنی‌هاشم (س) پذیرای جمعیتی ناهمگن خواهد بود و مناسک مذهبی متنوعی در آن برگزار خواهد شد. این جمعیت از شهرها و کشورهای مختلف آمده‌اند و وابستگی‌های اجتماعی و خانوادگی خاص خود

1. Integrated Framework for Evaluating and Improving Emergency Crowd Evacuation

2. Historical Mosque Evacuation Risk Index (HMERI)



## روش

روش تحقیق متن حاضر، از لحاظ ماهیت، کاربردی و از نوع توصیفی تحلیلی و نتایج آن، تبیینی است. در این مقاله، با بهره‌گیری از رویکرد عامل‌محور جهت مدل‌سازی و شبیه‌سازی خروج اضطراری جمعیت، براساس سناریوهای محتمل، با ارزیابی مؤلفه‌های رفتاری، کالبدی و مدیریتی مؤثر، با هدف کاستن از مدت‌زمان تخلیه کامل جمعیت، صورت گرفته است. در این مقاله، مجموعه عقیده بنی‌هاشم (س) که هم‌اینک در مجاورت بارگاه اصلی و به‌عنوان طرح توسعه حرم امام حسین (ع) در حال طراحی و ساخت است، به‌عنوان نمونه موردی، انتخاب و در وضعیت گوناگون بر مبنای مفروضات مشاور طراح پروژه و فرایند تخلیه اضطراری جمعیت، شبیه‌سازی شده است. روش تحقیق به‌کار گرفته‌شده، مطابق با گام‌های زیر بوده است:

### شناخت و تعریف جامعه آماری

در این پژوهش، زائران حرم حضرت امام حسین (ع) جامعه آماری موردنیاز را تشکیل می‌دهند. این جامعه، ناهمگن بوده و به گروه‌ها و دسته‌های کوچک‌تری تقسیم می‌شود. همچنین، ترکیب جمعیت برحسب فصول سال و ایام مختلف به‌شدت تغییر می‌یابد. در روزهای غیرمناسبتی، غالب جمعیت زائران را اهالی شهر کربلا تشکیل می‌دهند، اما در ایام مناسبتی، مانند ایام محرم و اربعین حسینی، اکثریت جمعیت را زائران غیربومی اعم از عراقی و خارجی تشکیل می‌دهند. در این مقاله، ایام مناسبتی مبنای مطالعه قرار داده شده است. در چنین جامعه‌ای، اکثریت زائران غیربومی و خارجی خواهند بود. این جمعیت از گروه‌های کوچکی با عنوان کاروان تشکیل شده و نسبت زنان به مردان و همچنین نسبت کودکان به بزرگسالان متغیر است. در زمان انجام مناسک، زائران توجه چندانی به موضوع ایمنی ندارند و امکان آموزش موضوعات ایمنی به آن‌ها تقریباً وجود ندارد.

### گردآوری مستندات ترسیمی

نقشه‌ها و مدارک ترسیمی مربوط به مجموعه عقیده بنی‌هاشم (س)، از مشاور مربوطه تهیه شد. این پروژه، در زمینی به مساحت ۵ هکتار و با زیربنایی نزدیک به ۲۰۰ هزار مترمربع، در مجاورت حرم امام حسین (ع) در حال طراحی و ساخت است (تصاویر شماره ۱، ۲).

### شبیه‌سازی

در ابتدا، به‌منظور دستیابی به نتایج معیار، فرایند تخلیه جمعیت در حالت عادی (غیراضطراری) و با جمعیت معیار (اختصاص ۱ متر و نیم برای هر زائر در فضاهای شبستانی) و با لحاظ کردن جمعیت کارمندی (متناسب با مبلمان ترسیم‌شده در نقشه‌های

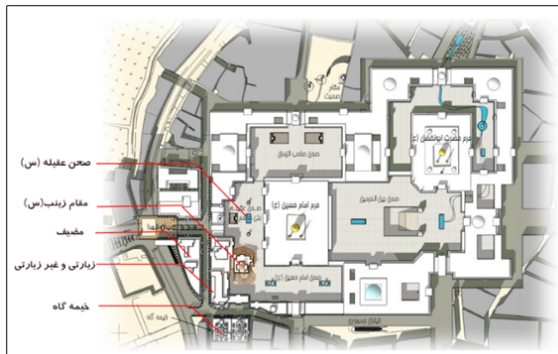
الفخری و یحیی به‌منظور ارزیابی تخلیه امن در شرایط آتش‌سوزی و حملات تروریستی در یک مسجد، با شبیه‌سازی روند تخلیه جمعیت در مسجد با نرم‌افزار Pathfinder دریافتند که درگاه‌های خروج کنونی که در مقابل جهت قبله قرار دارند، پاسخگوی تخلیه امن نبوده و با طراحی خروجی‌های اضطراری جایگزین در دیوارهای جانبی یا دیوار قبله، می‌توان به روند تخلیه امن یاری رساند (الفخری و یحیی، ۲۰۲۲).

عالیقدر و فلاحی به‌منظور ارزیابی تخلیه نمازگزاران یک مسجد در شرایط حریق و زمین‌لرزه، با روش عناصر متمایز به شبیه‌سازی پرداختند. نتایج پژوهش نشان داد عرض و تعداد خروجی‌ها به‌طور قابل توجهی بر رفتار تخلیه تأثیر می‌گذارد (عالیقدر و فلاحی، ۲۰۱۷). سلیم و همکاران به‌منظور ارزیابی حرکت جمعیت بر روی پله‌ها و تأثیر آن بر مدت‌زمان تخلیه جمعیت، پس از شبیه‌سازی دریافتند طراحی پله‌ها تأثیر قابل توجهی بر مدت‌زمان تخلیه دارد. همچنین، استفاده از آسانسورها و وجود فضاهای پناهگاه در کنار پله‌های اضطراری به ایمنی روند تخلیه یاری می‌رساند (سلیم و همکاران، ۲۰۲۴). ازکور و اورال به‌منظور ارزیابی تخلیه جمعیت در مساجد ترکیه، با انتخاب نمونه‌هایی و شبیه‌سازی جمعیت نمازگزار دریافتند که در وضعیت کنونی، مهلت تخلیه ۴ برابر فرصت تخلیه می‌باشد. با اصلاح موقعیت پله‌ها به‌منظور جلوگیری از پدیده صف و تعریض پله‌ها می‌توان مدت‌زمان تخلیه را به میزان قابل توجهی کاهش داد (ازکور و اورال، ۲۰۲۲).

کوتانی و همکاران بر روی ظرفیت مساجد ژاپن برای خدمت به‌عنوان پناهگاه اضطراری برای مسلمانان در زمان بروز بلایا مطالعه کردند و پیشنهادهایی برای بهبود عملکرد مساجد به‌عنوان پناهگاه مطرح ساختند (کوتانی و همکاران، ۲۰۲۱). آصف و اوتابرتا نیز در پژوهشی مشابه به نقش مساجد به‌عنوان پناهگاه اضطراری در زمان بروز بلایای طبیعی پرداختند (آصف و اوتابرتا، ۲۰۲۰). یامان و کورتای در پژوهش مشترک خود به بررسی سناریوهای تخلیه براساس ویژگی‌های مسجد پرداختند. آنان دریافتند در مساجدی که دارای طبقات فوقانی هستند، مدت‌زمان تخلیه متأثر از جمعیت حاضر در آن طبقات می‌باشد (یامان و کورتای، ۲۰۲۱).

### راهبردهای مدیریتی

ریسمانیان و ضرغامی با شبیه‌سازی روند تخلیه اضطراری جمعیت ساکن و تحلیل نتایج، توانستند راهکارهای معماری و راهبردهای مدیریتی ویژه‌ای ارائه کنند. در این راهبرد، جمعیت برحسب توانایی‌های بدنی در طبقات توزیع می‌شوند (ریسمانیان و ضرغامی، ۲۰۲۲). ژانگ و همکاران اقدام به شبیه‌سازی روند تخلیه در زمان بروز حریق با مؤلفه‌هایی مانند تعداد و سرعت جمعیت کردند. نتایج پژوهش نشان داد تعداد جمعیت حاضر در طبقه همکف، عامل اصلی و تأثیرگذار بر مدت‌زمان تخلیه است. هرچه نسبت جمعیت در طبقه همکف بیشتر باشد، زمان تخلیه کل طبقات کوتاه‌تر خواهد بود (ژانگ و همکاران، ۲۰۲۴).



تصویر ۲. جانمایی فضاهای مجموعه عقیده بنی هاشم (س)

خروج مبتنی بر عامل است که برای مدل سازی ساختمان های پیچیده تر طراحی شده و روایی و پایایی آن با ضوابط سازمان بین المللی دریاوردی منطبق است. این شبیه ساز، با رویکردی خردنگرانه، برای شبیه سازی جریان جمعیت، مناسب بوده و شامل مجموعه ای از عناصر هوشمند و دارای قدرت تصمیم گیری است (حقانی و سروی، ۲۰۱۹). در این مدل، ویژگی های فردی جمعیت مانند سن، جنسیت، کم توانی و مانند آن قابل درج است (دنگ و همکاران، ۲۰۲۲) و عوامل قادر به درک محیط کالبدی هستند و امکان نمایش افزایش چگالی جمعیت نیز وجود دارد (کولیگوفسکی و همکاران، ۲۰۲۳). این تحقیق بر بهره گیری از رویکرد عامل محور برای درک بهتر اثر مؤلفه های رفتار جمعیت و کالبد فضا متمرکز است، چراکه با تجزیه و تحلیل عوامل و مؤلفه های مؤثر بر رفتار و حرکت جمعیت، می توان به راهبردهایی برای پیشگیری از صدمات و تلفات احتمالی انسانی دست یافت.

### مبانی نظری

#### تعریف شرایط اضطراری

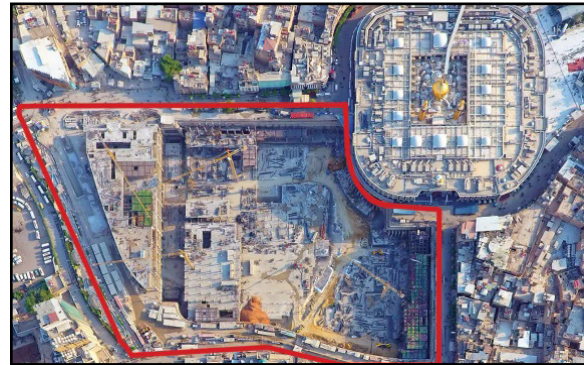
شرایط اضطراری به طور کلی به وضعیتی اشاره دارد که در آن یک تهدید فوری و جدی برای زندگی، سلامت یا امنیت افراد وجود دارد و به پاسخ سریع و مؤثر نیاز دارد. این وضعیت می تواند ناشی از حوادث طبیعی یا حوادث انسانی باشد (فما، ۲۰۲۳).

#### تخلیه جمعیت

تخلیه بهینه فضاهای پرجمعیت تأثیر چشمگیری در کاهش آسیب ها و تلفات انسانی دارد. در چنین مواقعی ساکنان می باید از ساختمان خارج شوند و به مکانی امن برسند (حقانی و سروی، ۲۰۱۶).

#### محیط کالبدی

شکل و طرح هر ساختمانی می تواند بر تخلیه اضطراری جمعیت حاضر در آن تأثیرگذار باشد. مؤلفه هایی مانند ابعاد راهروها، درگاه ها، پله ها، آسانسورها، پد بالگرد، فضای امن و طبقه پناهگاه از این موارد می باشند (سالانکار، ۲۰۲۱).



تصویر ۱. محدوده ی طرح توسعه

معماری شبیه سازی شد. در این سناریو، تمام جمعیت همگن فرض شد. پس از آن، مجدداً شبیه سازی با اعمال متغیرهای رفتاری و کالبدی صورت گرفت و نتایج حاصله با نتایج معیار، مقایسه و تحلیل شد. از آنجاکه شبیه سازی کامل طرح توسعه موضوع اصلی نبوده و نویسندگان در پی تبیین مؤلفه های مؤثر بر تخلیه جمعیت بوده اند، به شبیه سازی در ترازهای زیرزمین دوم و همکف که با یکدیگر متفاوت اند، بسنده شد. این توضیح لازم است که از لحاظ طرح معماری، در شرایط اضطراری، جمعیت حاضر در زیرزمین اول به زیرزمین دوم حرکت کرده و سپس تخلیه می شوند. همچنین، جمعیت حاضر در طبقه اول نیز به ناچار به طبقه همکف منتقل شده و سپس تخلیه می شوند.

### سناریوها شبیه سازی

به منظور ارزیابی مؤلفه وابستگی و خویشاوندی، چهار سناریو تعریف شد. در ابتدا، ۵ درصد از جمعیت حاضر دارای پیوندهای خویشاوندی و وابستگی در نظر گرفته شد. سپس این مؤلفه با نسبت های ۱۰، ۱۵ و ۲۰ درصدی مورد شبیه سازی و ارزیابی قرار گرفت. همچنین، به منظور ارزیابی تأثیر مؤلفه هراس و وحشت در میان مردم، چهار سناریو تعریف شد. بدین صورت که در ابتدا ۱۰ درصد از جمعیت دچار ترس و وحشت زدگی فرض شدند و سپس در سناریوهای بعدی، ۲۰، ۳۰ و ۴۰ درصد جمعیت به صورت وحشت زده در نظر گرفته شده و مورد شبیه سازی و ارزیابی قرار گرفتند. در نهایت، به منظور ارزیابی مؤلفه تخلیه مرحله ای جمعیت در تراز همکف، یکی از دو شبستان موجود در زیرزمین دوم، دو شبستان از چهار شبستان موجود، با فواصل زمانی ۶۰، ۱۲۰ و ۱۸۰ ثانیه ای تخلیه شده و فرایند تخلیه جمعیت مورد شبیه سازی و ارزیابی قرار گرفت.

### نرم افزار

به منظور شبیه سازی از نرم افزار Pathfinder-2.0.816-x64-en بهره برده شد. در میان برنامه هایی که برای مدل سازی عامل محور نوشته شده است، Pathfinder بیش از دیگر برنامه ها مورد اقبال قرار گرفته است. این برنامه، یک شبیه ساز



## مدیریت تخلیه

## سنجش ایمنی

کاهش خطرات احتمالی برای جمعیت حاضر در محیط ساخته شده، نیازمند طی شدن مراحل از جمله مرحله ارزیابی است. ارزیابی ایمنی جمعیت با کمک ابزارهای مهندسی مانند مدل های رایانه ای تخلیه و تعیین نسبت مهلت به فرصت تعیین می شود. ایمنی جمعیت در شرایط اضطراری در محیط های ساخته شده، زمانی به دست می آید که زمان خروج ایمن مورد نیاز یا مهلت (RSET) از مدت زمان خروج ایمن موجود یا فرصت (ASET) کوتاه تر باشد (کالیانیوس و همکاران، ۲۰۱۸).

## چارچوب ابداعي

این پژوهش بر مبنای چارچوبی ابداعي که در اینجا «چارچوب یکپارچه ارزیابی و بهبود تخلیه اضطراری جمعیت»<sup>۴</sup> نام گذاری می شود که به جهت سهولت می توان آن را به اختصار E&E به معنای Evaluating and Evacuation نیز نامید.

این چارچوب، توسعه چارچوب ابداعي توپراکی و همکاران است که با عنوان HM-ERI شناخته می شود و در بخش پیشینه پژوهش به آن اشاره شده است. چارچوب ایشان به طور ویژه برای ارزیابی خطرهای تخلیه جمعیت در مسجدهای ترکیه تدوین شده است. به منظور انطباق و بهره گیری از آن، چارچوب مذکور در پژوهش حاضر توسعه چارچوب ابداعي توپراکی و همکاران است که با عنوان HM-ERI شناخته می شود و در بخش پیشینه پژوهش به آن اشاره شده است. چارچوب ایشان به طور ویژه برای ارزیابی خطرهای تخلیه جمعیت در مسجدهای ترکیه تدوین شده است. به منظور انطباق و بهره گیری از آن، چارچوب مذکور در پژوهش حاضر توسعه داده شده است. چارچوب E&E آمیزه ای از داده های میدانی، داده های منتج از شبیه سازی ها و قضاوت نخبگان است که در نهایت به تدوین راهبردهای مؤثر تخلیه ایمن جمعیت و افزایش کارایی و تسریع روند تخلیه جمعیت در شرایط اضطراری می انجامد. چارچوب یکپارچه، مجموعه ای از مؤلفه های کمی و کیفی است که امکان تحلیل راهبردی و پوشش نقاط ضعف در حوزه های رفتارهای انسانی، طراحی ساختمان و مدیریت را فراهم می سازد (تصویر شماره ۳).

## یافته ها

یافته های حاصل از شبیه سازی های صورت گرفته در ترازهای چهارگانه مجموعه عقيله بنی هاشم (س) بیانگر آن است که این مجموعه پس از آغاز بهره برداری، پذیرای جمعیتی برابر با ۱۶،۵۴۵ نفر خواهد بود. شبیه سازی صورت گرفته برای دستیابی به مدت زمان تخلیه کامل جمعیت در شرایط غیر اضطراری به ۶۱۹ ثانیه منتهی شد. مدت زمان به دست آمده را به عنوان (فرصت) و زمان معیار در نظر گرفته و مدت زمان های حاصله پس از اعمال مؤلفه های گوناگون با سناریوهای مختلف، قابل قیاس با این مدت خواهد بود (تصویر شماره ۴).

در حال حاضر، هیچ راهبرد شناخته شده ای برای راهبرد تخلیه ابنیه های مذهبی وجود ندارد. برنامه ریزی مؤثر اضطراری می تواند این اطمینان را به وجود آورد که فرایند تخلیه یک ساختمان مذهبی، به صورت ایمن، روان و قابل مدیریت انجام شود. آموزش های شهروندی و تعیین استراتژی های مدیریت تخلیه، تأثیر فراوانی بر کاهش مدت زمان تخلیه ساختمان ها و افزایش ایمنی در شرایط اضطراری خواهد داشت. (چن و لیو، ۲۰۲۲).

## رویکردهای تخلیه اضطراری

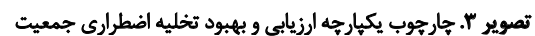
سه رویکرد شاخص در حوزه تخلیه اضطراری جمعیت مطرح می باشد که عبارت اند از کلان نگر، میان نگر و خرد نگر. در سطح کلان نگر، مدل های رگرسیون و جریان سیالات قرار گرفته و در رویکرد میان نگر، مدل نیروهای اجتماعی، مدل قانون محور و مدل سلول های خود کار قرار دارند. در رویکرد خرد نگر نیز مدل عامل محور<sup>۲</sup> یا (ABM) قرار دارد. مدل های عامل محور مجموعه ای از عناصر مستقل، هوشمند و تصمیم گیرنده تشکیل شده اند. این مدل، واقع گرایانه ترین ابزار شبیه سازی به شمار می رود و از این رو می توان از آن برای شبیه سازی موقعیت هایی که از عوامل و عناصر متحرک و ناهمگن تشکیل شده اند بهره برد (سیمارو و همکاران، ۲۰۱۹). در این مدل ها همچنین ویژگی هایی مانند سن، جنسیت، ابعاد بدن و سرعت حرکت عوامل، قابل تنظیم بوده و عامل به اختیار خود می تواند رفتار خود را با شرایط محیطی هماهنگ کنند (سنایاک و همکاران، ۲۰۲۴). در این پژوهش بر مبنای قابلیت و مزیت های رویکرد خرد نگر (عامل محور)، از آن برای ارزیابی و شبیه سازی روند تخلیه بهره برده می شود.

## شبیه سازی تخلیه جمعیت

یکی از روش های شبیه سازی، انجام مانورهای انسانی است. یاری گرفتن از مانورهای انسانی، به منظور پیش بینی تعاملات انسان و محیط کالبدی، اگرچه می تواند مفید باشد، اما هزینه بر بودن و نمایش رفتار تصنعی از سوی افراد، موجب ایجاد تردید در نتایج حاصله خواهد بود. در چنین حالتی، اقبال پژوهشگران به سوی شبیه سازی های رایانه ای است. شبیه سازی های رایانه ای برای مدل سازی مجازی عوامل مستقل به کار می روند. در این پژوهش به منظور شبیه سازی از نرم افزار Pathfinder بهره برده می شود. Pathfinder یک شبیه ساز تخلیه مبتنی بر عامل است که برای مدل سازی ساختمان های پیچیده تر طراحی شده و روایی و پایایی آن با ضوابط سازمان بین المللی دریانوردی منطبق است. این شبیه ساز با رویکردی خردنگرانه برای شبیه سازی جریان جمعیت مناسب بوده و شامل مجموعه ای از عناصر هوشمند و دارای قدرت تصمیم گیری است (دنگ و همکاران، ۲۰۲۲).

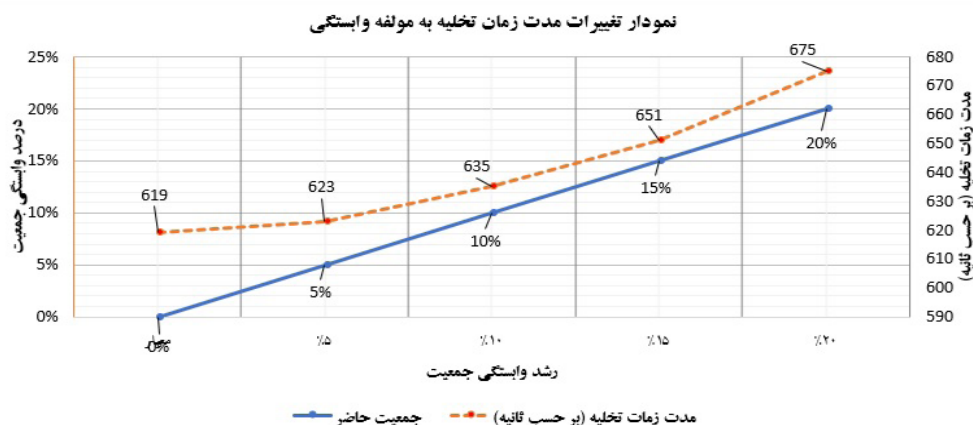
## 3. Agent-Based Modeling (ABM)

## 4. Integrated Framework for Evaluating and Improving Emergency Crowd Evacuation

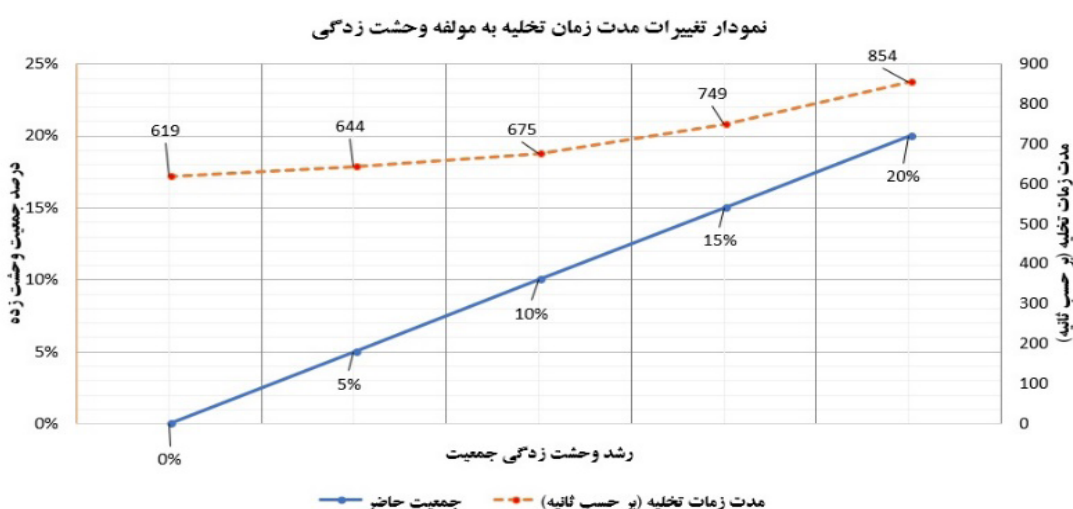


شبیه‌سازی‌های صورت گرفته با مؤلفه‌های وابستگی، هراس و تخلیه مرحله‌ای، حاکی از مؤثر بودن این مؤلفه‌ها بر مدت‌زمان کل تخلیه جمعیت مؤثر بوده است. برای ارزیابی مؤلفه وابستگی (خوبشاوندی)، عملیات شبیه‌سازی در چهار سناریو، با میزان وابستگی ۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ درصدی جمعیت صورت گرفت. نتایج شبیه‌سازی‌های صورت گرفته به‌ترتیب نمایانگر افزایش مدت‌زمان تخلیه به ۶۲۳، ۶۳۵، ۶۵۱ و ۶۷۵ ثانیه نسبت به مدت‌زمان معیار خواهد شد (تصویر شماره ۵).

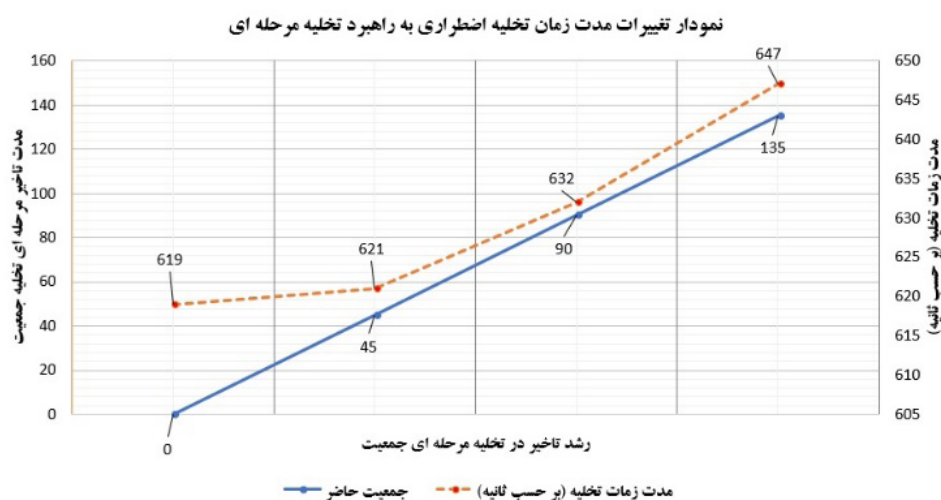




تصویر ۵. تأثیر مؤلفه وابستگی بر مدت زمان تخلیه



تصویر ۶. تأثیر مؤلفه هراس بر مدت زمان تخلیه



تصویر ۷. تأثیر راهبرد تخلیه مرحله ای بر مدت زمان تخلیه



افراد مسن و یا کم‌توان در جریان جمعیت، موجب بر زمین افتادن سلسله‌وار مردم شده و شرایط را بسیار خطرناک خواهد کرد. آموزش‌های مرتبط به تخلیه امن به خادمان و زائران مجموعه و ایجاد آمادگی روانی در میان آنان پیش از آنکه حادثه‌ای بروز کند، می‌تواند کمک مؤثری به کاهش سطح وحشت‌زدگی جمعیت شده و از میزان تلفات و آسیب‌های احتمالی بکاهد. نتایج به‌دست‌آمده در این گام با نتایج پژوهشگران دیگر همخوانی دارد.

در شبیه‌سازی راهبرد تخلیه مرحله‌ای، مشخص شد اتخاذ چنین راهبردی نه‌تنها کمکی به کاهش مدت‌زمان تخلیه نخواهد داشت، بلکه به مدت‌زمان تخلیه تا ۵ درصد خواهد افزود. از آنجا که تراز زیرزمین دوم با وجود داشتن بیشترین بار جمعیتی، تنها به سه درگاه زیرزمینی راه دارد، بنابراین تأخیر در تخلیه نیمی از جمعیت این طبقه، منطقی به نظر نمی‌رسد و ترجیح این خواهد بود که با تسریع در تخلیه جمعیت حاضر در تراز همکف، بخشی از جمعیت حاضر در ترازهای زیرین به تراز همکف هدایت شده و از ظرفیت تخلیه آن بهره‌برده شود. گذشته از این، می‌باید به تبعات اخلاقی و حقوقی پدیده‌آمده برای جمعیتی که به ناچار با تأخیر اجازه خروج خواهند داشت نیز توجه کرد. نتایج حاصل در این گام قابل‌مقایسه به نتایج پژوهشگران دیگر و قابل‌تعمیم به ابنیه دیگر نیست.

### نتیجه‌گیری

بر مبنای یافته‌های شبیه‌سازی‌ها و تحلیل‌های مربوطه می‌توان به پرسش‌های مطرح‌شده چنین پاسخ داد: مدت‌زمان تخلیه کامل جمعیت مجموعه عقیده بنی‌هاشم (س) در شرایط عادی و غیربحرانی ۶۱۹ ثانیه است. رفتارهای ناشی از وابستگی‌های اجتماعی و یا مانند آن (قومی، کاروانی، هم‌زبان بودن، هم‌وطن بودن) موجب افزایش مدت‌زمان تخلیه خواهد بود. مؤلفه هراس و مؤلفه تخلیه مرحله‌ای جمعیت نیز موجب افزایش مدت‌زمان تخلیه خواهد شد.

مدت‌زمان تخلیه اضطراری جمعیت در مجموعه‌های پر جمعیت مذهبی به مؤلفه‌های متعددی وابسته است که در این متن به سه مؤلفه وابستگی، هراس و تخلیه مرحله‌ای توجه شد و تأثیرگذاری آن اثبات شده است. با شناسایی مؤلفه‌های مؤثر و محتمل دیگر و مدیریت آگاهانه آن‌ها، امکان کاهش مدت‌زمان تخلیه و در نتیجه کاهش خسارت انسانی، در شرایط اضطراری وجود دارد. بنابراین توصیه می‌شود تحقیقات دیگری با مؤلفه‌هایی بیشتر در آینده صورت گیرد و تأثیر هر کدام از مؤلفه‌ها و یا برهمکنش آن‌ها در کاهش و یا افزایش مدت‌زمان تخلیه جمعیت در شرایط اضطراری تعیین شود.

برای ارزیابی تأثیر مؤلفه‌های مدیریتی، راهبرد تخلیه مرحله‌ای جمعیت شبیه‌سازی شد. در این راهبرد نیمی از جمعیت با تأخیر نسبت به نیم دیگر تخلیه می‌شوند. عملیات شبیه‌سازی در سه سناریو، با میزان تأخیرهای ۴۵، ۹۰ و ۱۳۵ ثانیه صورت گرفت. نتایج شبیه‌سازی‌ها نمایانگر افزایش مدت‌زمان تخلیه به ترتیب ۶۲۱، ۶۳۲ و ۶۴۷ ثانیه نسبت به مدت‌زمان معیار شد (تصویر شماره ۷).

### بحث

مؤلفه وابستگی در سناریوهای گوناگون می‌تواند موجب افزایش مدت‌زمان تخلیه از ۶۱۹ ثانیه تا ۶۷۵ ثانیه شود. این مطلب به معنی افزایش مدت‌زمان تخلیه تا ۹ درصد می‌باشد. توضیح اینکه افرادی که با یکدیگر خویشاوندی و یا وابستگی اجتماعی دارند، پس از درک خطر و پیش از آنکه به خروج اقدام کنند، به جست‌وجوی دوستان و بستگان خود می‌پردازند و سپس به‌صورت گروهی به خروج اقدام می‌کنند. این موضوع علاوه بر اینکه می‌تواند موجب تأخیر در آغاز تخلیه گروه‌ها شود، موجب تداخل و مزاحمت در جریان تخلیه دیگران نیز خواهد شد. از آنجا که در ایام ویژه مذهبی، تعداد گروه‌های اجتماعی که اغلب غیربومی هستند نسبت به زائران بومی کربلا بیشتر خواهد بود، مؤلفه وابستگی پررنگ‌تر خواهد بود و به همین میزان بر مدت‌زمان تخلیه افزوده و از نرخ بقا کاسته خواهد شد. نتایج حاصله در این گام با نتایج پژوهشگران دیگر همسواست. با این حال، نتیجه به‌دست‌آمده الزاماً قابل‌تعمیم به ابنیه دیگر و جمعیت‌های دیگر نمی‌تواند باشد.

مؤلفه هراس و وحشت نیز موجب افزایش مدت‌زمان تأخیر می‌شود. مناسب با افزایش افراد وحشت‌زده‌ای که در میان‌شان حضور دارند، مدت‌زمان تخلیه نیز افزایش می‌یابد، به گونه‌ای که چنانچه جمعیت وحشت‌زده به ۲۰ درصد کل جمعیت برسد، مدت‌زمان تخلیه تا ۳۸ درصد افزوده شده و به ۸۵۴ ثانیه خواهد رسید. توضیح اینکه انسان‌ها به‌صورت طبیعی به خطرات ادراک‌شده واکنش نشان می‌دهند. این خطرات ممکن است واقعی باشند، مانند حریق و تهدید تروریستی و یا غیرواقعی باشند، مانند شایعات و تصورات.

انسان‌ها برای فرار از تهدید درک‌شده، به‌سرعت حرکت می‌کنند که این موضوع به آشفتگی، آسیب و تلفات انسانی منجر می‌شود. در چنین شرایطی، افراد وحشت‌زده با حرکت تندتر، موجب تخلیه کندتر خود و دیگران شده و در نتیجه موجب تخلیه ناکارآمد جمعیت خواهند شد. آنچه این شرایط را می‌تواند وخیم‌تر کند، انجام مراسم پر تحرک مذهبی است. شناخته‌شده‌ترین مراسم این دست در شهر کربلا به قبیله طویرج بازمی‌گردد. در این مراسم، این قبیله به‌صورت هروله (دوان‌دوان) حرکت می‌کنند و شعارهای مذهبی می‌دهند. جریان سریع جمعیت و غوغای شعارها، موجب اختلال در درک و اطلاع‌رسانی خطر می‌شود. بروز پدیده دومینویی نیز در این شرایط محتمل است. بر زمین افتادن



## ملاحظات اخلاقی

### پیروی از اصول اخلاق پژوهش

هرگونه اصول اخلاقی و حقوقی که مربوط به شرکت کنندگان است، رعایت شده است.

### حامی مالی

این مطالعه برگرفته از پایان نامه علی صفری فرد است و هیچ گونه کمک مالی از سازمان های دولتی، خصوصی و غیرانتفاعی دریافت نکرده است.

### مشارکت نویسندگان

مفهوم سازی، منابع، نگارش پیش نویس و بصری سازی: علی صفری فرد؛ تحلیل: علی صفری فرد و لیلی کریمی فرد؛ تحقیق و بررسی: علی صفری فرد و محمدرضا منصوری؛ ویراستاری و نهایی سازی نوشته، اعتبارسنجی: لیلی کریمی فرد؛ نظارت، مدیریت پروژه: محمدرضا منصوری و لیلی کریمی فرد؛ روش شناسی: همه نویسندگان.

### تعارض منافع

بنابر اظهار نویسندگان، این مقاله تعارض منافع ندارد.

### تشکر و قدردانی

از راهنمایی های بی دریغ آقای دکتر سید رحمان اقبالی و آقای دکتر سهند سریع الاطلاق که بی یاری ایشان، آغاز و انجام این تحقیق ناممکن بود؛ بی نهایت سپاسگزاری می شود.



## References

- Alfakhry, A. A., & Yahya, L. M. (2022). A simulation study to suggest an emergency exits in Mosul's Mosques in case of emergency. *International Journal of Safety and Security Engineering*, 12(5), 569-575. [DOI:10.18280/ijssse.120504]
- Alighadr, S., & Fallahi, A. (2016). DEM evaluation of evacuation behavior: a case study of. *Journal of Seismology and Earthquake Engineering*, 18(1), 47-58. [Link]
- Asif, N., & Utberta, N. (2020). Evaluating the role of mosque as emergency shelter during natural disasters. In H. Bougdah, A. Versaci, A. Sotoca, F. Trapani, M. Migliore, & N. Clark (Eds.), *Urban and transit planning* (pp. 49). *Advances in Science, Technology & Innovation*. Cham: Springer. [DOI:10.1007/978-3-030-17308-1\_49]
- Azkur, H. S., & Oral, M. (2022). Evacuation problem in mosque buildings: The case of Konya Hacıvezizade Mosque. *Journal of Architectural Sciences and Applications*, 7(1), 235-247. [DOI:10.30785/mbud.1051154]
- Chakrabarty, A., Rahman, M. M., & Ubaura, M. (2020). Assessment of emergency evacuation preparedness for seismic hazard in an urban area. Paper presented at: *17th World Conference on Earthquake Engineering*, Sendai, Japan, 13-18 September, 2020. [Link]
- Chen, C., Sun, H., Lei, P., Zhao, D., & Shi, C. (2021). An extended model for crowd evacuation considering pedestrian panic in artificial attack. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 571, 125833. [DOI:10.1016/j.physa.2021.125833]
- Cimellaro, G. P., Mahin, S., & Domaneschi, M. (2019). Integrating a human behavior model within an agent-based approach for blasting evacuation. *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*, 34(1), 3-20 [DOI:10.1111/mice.12364]
- Deng, Q., Zhang, B., Zhou, Z., Deng, H., Zhou, L., & Zhou, Z., et al. (2022). Evacuation time estimation model in large buildings based on individual characteristics and real-time congestion situation of evacuation exit. *Fire*, 5(6), 204. [DOI:10.3390/fire5060204]
- Gerges, M., Mayouf, M., Rumley, P., & Moore, D. (2017). Human behaviour under fire situations in high-rise residential building. *International Journal of Building Pathology and Adaptation*, 35(1), 90-106. [DOI:10.1108/IJBPA-09-2016-0022]
- Haghani, M., & Sarvi, M. (2016). Human exit choice in crowded built environments: Investigating underlying behavioural differences between normal egress and emergency evacuations. *Fire Safety Journal*, 85, 1-9. [DOI:10.1016/j.firesaf.2016.07.003]
- Haghani, M., & Sarvi, M. (2019). Simulating dynamics of adaptive exit-choice changing in crowd evacuations: Model implementation and behavioural interpretations. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 103, 56-82. [DOI:10.1016/j.trc.2019.04.009]
- Kallianiotis, A., Papakonstantinou, D., Arvelaki, V., & Benardos, A. (2018). Evaluation of evacuation methods in underground metro stations. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 31, 526-534. [DOI:10.1016/j.ijdrr.2018.06.009]
- Kotani, H., Tamura, M., Li, J., & Yamaji, E. (2021). Potential of mosques to serve as evacuation shelters for foreign Muslims during disasters: A case study in Gunma, Japan. *Natural Hazards*, 109, 1407-1423. [DOI:10.1007/s11069-021-04883-7]
- Kuligowski, E. D., Gwynne, S. M., Xie, H., Westbury, A., Antonellis, D., & Pongratz, C. (2023). Simulating evacuation of humanitarian settlements. *Fire Technology*, 1-31. [Link]
- Li, J., Wang, C., Chen, J. Q., & Khan, H. T. (2024). The role of altruistic behavior in emergency evacuation: A simulation study. *Journal of Infrastructure, Policy and Development*, 8(10), 8184. [DOI:10.24294/ijpd.v8i10.8184]
- Liu, B., Liu, H., Zhang, H., & Qin, X. (2018). A social force evacuation model driven by video data. *Simulation Modelling Practice and Theory*, 84, 190-203. [DOI:10.1016/j.simpat.2018.02.007]
- Ni, M., Xia, L., Li, C., Wei, Y., Deng, F., & Liu, Z., et al. (2024). Herd behavior influence on decision-making during evacuation process: An empirical analysis from building evacuation experiments. *Current Psychology*, 43, 33390-33405. [DOI:10.1007/s12144-024-06806-8]
- Rismanian, M., & Zarghami, E. (2022). Evaluation of crowd evacuation in high-rise residential buildings with mixed-ability populations: Combining an architectural solution with management strategies. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 77, 103068. [DOI:10.1016/j.ijdrr.2022.103068]
- Selim, A. M., Salama, E. A., & Gaber, H. M. (2024). Optimizing safe evacuation using pathfinder: Emergency strategies in high-rise and super high-rise complex buildings in the new administrative capital. *HBRC Journal*, 20(1), 385-413. [DOI:10.1080/16874048.2024.2320621]
- Senanayake, G. P. D. P., Kieu, M., Zou, Y., & Dirks, K. (2024). Agent-based simulation for pedestrian evacuation: A systematic literature review. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 111, 104705. [DOI:10.1016/j.ijdrr.2024.104705]
- Toprakli, A. Y., & Satir, M. S. (2024). Assessing evacuation risks in prominent historical mosques: An integrated quantitative and qualitative approach via the HM-ERI framework. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 113, 104866. [DOI:10.1016/j.ijdrr.2024.104866]
- Yaman, M., & Kurtay, C. (2021). Investigation on evacuation scenarios according to occupant profile in mosques through different fire regulations. *A/Z ITU Journal of the Faculty of Architecture*, 18(2), 477-489. [Link]
- Zhang, X., Liu, Y., Jia, S., Ma, J., Du, Y., & Xu, J., et al. (2024). Evacuation simulation for multi-storey public building considering initial crowd distribution. [DOI:10.2139/ssrn.4783154]

This Page Intentionally Left Blank