Housing and Rural Environment

Print ISSN: 2008 - 4994 Online ISSN: 2588 - 6215

Homepage: https://jhre.ir

Performance evaluation of exit doors in high-rise residential building lobbies based on behavioral patterns; case study: Saman residential towers

Alireza Soltanzadeh[✉1], **Hamed Mazaherian**[2], and **Shahin Heidari**[3]

1. Corresponding Author, Assistant Professor, Department of Architectural Technology, Faculty of Architecture, College of Fine Arts, University of Tehran, Tehran, Iran. Email: soltan.alireza@ut.ac.ir
2. Associate Professor, Department of Architectural Technology, Faculty of Architecture, College of Fine Arts, University of Tehran, Tehran, Iran. Email: mazaheri@ut.ac.ir
3. Professor, Department of Architectural Technology, Faculty of Architecture, College of Fine Arts, University of Tehran, Tehran, Iran. Email: shheidari@ut.ac.ir

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:
Received 27 July 2025
Received in revised form 31 December 2025
Accepted 28 March 2026
Available online 29 March 2026

Keywords:
Emergency Evacuation,
Behavioral Patterns,
High-Rise Residential Complex,
Exit Doors.

ABSTRACT

Objective: One of the neglected aspects of emergency evacuation studies is the relationship between exit design and human behavioral patterns. The primary objective of this research is to identify the most significant behavioral patterns exhibited during emergency evacuation in residential high-rise buildings in Tehran and to optimize exit design in residential tower lobbies based on these behavioral characteristics.

Method: Data collection was conducted using survey research, field investigations, case study analysis, experimental testing, modeling, and simulation techniques. Both quantitative and qualitative methods were employed for data analysis. The independent variables included exit door width, spacing between exit doors, and the number of exit doors, while the dependent variable was the time and quality of complete occupant evacuation (with quality assessed in terms of reduced crowd density near exits). The study was carried out in two main phases. In the first phase, behavioral patterns of residents during evacuation were examined through questionnaires and experimental tests conducted in a case-study building (Saman Residential High-Rise Complex). In the second phase, modeling and simulation techniques were used to analyze and evaluate the performance of emergency exits under different scenarios involving congestion, obstruction, crowd density, and evacuation movement patterns.

Results: The results indicate that insufficient training and limited prior experience contribute to inappropriate occupant behavior during fire emergencies. Key behavioral characteristics observed in Iranian residential high-rise buildings include prolonged pre-evacuation times, reluctance to leave the building, exiting stairwells at different floors, route changes during evacuation, and collective movement patterns with varying distances among different population groups. The findings further demonstrate that introducing staggered evacuation intervals improves both evacuation speed and quality, highlighting the advantages of phased evacuation over total evacuation scenarios. In addition, the presence of elevator lobbies and corridors was found to reduce evacuation efficiency and slow occupant movement.

Conclusions: This study identified the most important behavioral patterns associated with emergency evacuation in residential high-rise buildings. A pre-evacuation time model tailored to Iranian residential conditions was developed and compared with internationally recognized models. Furthermore, an innovative hybrid approach based on fuzzy logic was proposed to estimate occupant movement speeds according to their physical characteristics. The research also evaluated the optimal placement of exit doors within residential lobbies under various scenarios involving population peaks, phased and total evacuation strategies, and different obstacle configurations in front of exits, ultimately providing optimized design solutions for improving evacuation performance.

Cite this article: Soltanzadeh., A. Mazaherian., H. & Heidari., Sh. (2026). Performance evaluation of exit doors in high-rise residential building lobbies based on behavioral patterns; case study: saman residential Towers. ***Housing and Rural Environment***, *45*(193), 107-132. https://doi.org/10.22034/45.193.107

© Author(s) retain the copyright.
Publisher: Natural Disasters Research Institute (NDRI).
DOI: https://doi.org/10.22034/45.193.107

[Downloaded from jhre.ir on 2026-11-23]

[DOI: https://doi.org/10.22034/45.193.107]

Introduction

Previous research and practical experience indicate that emergency response teams can directly manage only a limited portion of a fire incident, estimated at 10–20% of the overall emergency situation (National Research Council, 2006). Therefore, risk reduction can be achieved through two complementary approaches: improving the safety performance of existing buildings and enhancing understanding of occupants' behavioral patterns and their interaction with egress system design.

Given the increasing occurrence of fire incidents associated with inadequate compliance with safety standards, understanding residents' responses during emergencies has become essential for improving evacuation efficiency and life safety in high-rise residential buildings. Accordingly, this study addresses two questions: (1) What are the most significant behavioral patterns exhibited by occupants during the evacuation of high-rise residential buildings in Tehran? and (2) How can egress doors in residential tower lobbies be optimally designed to accommodate these behavioral patterns and improve evacuation performance?

A key factor affecting evacuation performance is **pre-evacuation time**, defined as the interval between the onset of an emergency and the initiation of evacuation. Existing evacuation models often insufficiently account for human behavioral characteristics when estimating this parameter, leading to inaccuracies in total evacuation time calculations. Moreover, most available empirical evidence has been derived from North American and European studies, highlighting the need for context-specific research on evacuation behavior in Iranian high-rise residential buildings.

Method

This study adopted a mixed-methods approach combining survey research, field observations, case-study analysis, empirical experiments, and computer-based modeling and simulation. Both quantitative and qualitative methods were used for data collection and analysis.

The independent variables included egress door width, distance between exit doors, and the number of exits, while the dependent variables were evacuation time and evacuation quality, measured in terms of crowd density and congestion near exits. Evacuation is influenced by both human and environmental factors. Occupants' physical, psychological, and behavioral characteristics affect their responses during emergencies, while building design and spatial configuration influence movement patterns and evacuation efficiency. Time serves as the key link between these human and physical dimensions. Two main approaches were used to evaluate evacuation performance: empirical experimentation and computer simulation. Empirical experiments provide valuable insights into actual human behavior, crowd dynamics, and interpersonal interactions but are limited by practical constraints such as restricted scenario testing, participant awareness, and data-collection challenges. In contrast, computer simulation enables the analysis of numerous scenarios under controlled conditions and offers advantages including flexibility, extensive data analysis, lower cost, and greater efficiency, although it cannot fully capture the uncertainty and complexity of human behavior.

By integrating empirical observations with simulation modeling, the study provides a

[Downloaded from jhre.ir on 2026-11-23]

[DOI: https://doi.org/10.22034/45.193.107]

comprehensive framework for understanding evacuation behavior and evaluating the performance of alternative egress designs in high-rise residential buildings.

Results

The questionnaire findings from approximately 60 participants provide important insights into the demographic characteristics and evacuation behavior of residents in high-rise residential buildings. Most respondents were male (62.5%), and the largest age group was 50–60 years (62.5%). Although 37.5% had previously experienced a fire or evacuation event, most had never received formal emergency training. Regarding **pre-evacuation behavior**, 62.5% estimated that they would require 5–10 minutes before beginning evacuation after becoming aware of a fire. Similarly, 50% believed they could evacuate via stairs within 5–10 minutes, while others anticipated longer evacuation times. The survey also revealed varying attitudes toward **elevator use**. About 75% would consider using an elevator if located above the 15th floor, whereas 25% would use one when above the fifth floor. Despite this, 87.5% stated that they would leave their apartment immediately upon receiving an evacuation warning. During stairwell evacuation, 87.5% reported that they would stop on landings to rest, while 12.5% would temporarily exit the stairwell and rest on intermediate floors. Only 25% indicated that they might attempt to return to their apartment after evacuation had begun.

The analysis identified several critical behavioral patterns affecting evacuation performance in Tehran's high-rise residential buildings, including delayed evacuation initiation, extended pre-evacuation activities (such as gathering family members and belongings), information-seeking behavior, reluctance to use elevators, collective movement as family or neighbor groups, limited experience with fire emergencies, insufficient training and drills, stairwell navigation errors, attempts to re-enter the building, and congestion in lobbies and surrounding areas. Overall, the findings demonstrate that evacuation performance is influenced not only by the physical design of egress systems but also by behavioral, cultural, and social factors. Therefore, these behavioral characteristics should be incorporated into evacuation modeling, emergency planning, and exit design to improve safety and evacuation efficiency.

Conclusions

The findings of this research can be grouped into three main areas:

1. Foundations of Performance-Based Evacuation Design: The study established a framework for data collection, simulation, and performance evaluation of evacuation systems in high-rise residential buildings. An innovative fuzzy logic–based approach was developed to estimate occupant movement speeds according to physical characteristics. In addition, a Protective Action Decision Model was refined for residential towers in Tehran, providing a basis for estimating pre-evacuation, travel, and total evacuation times.

2. Empirical Analysis of Behavioral Patterns: Using questionnaires, interviews, field observations, and evacuation drills, the study identified key behavioral characteristics of residents and calibrated a pre-evacuation time model for the Iranian context. Results showed

[Downloaded from jhre.ir on 2026-11-23]

[DOI: https://doi.org/10.22034/45.193.107]

that pre-evacuation times in Iranian residential towers are considerably longer than those reported internationally, mainly due to limited preparedness, insufficient training, lack of evacuation experience, and cultural factors such as gathering belongings before evacuation.

3. Evaluation of Vertical and Horizontal Egress Components: The analysis identified several behavioral patterns affecting evacuation efficiency, including limited emergency training, unexpected route changes and reverse movement on stairs, collective evacuation by family and social groups, resting on stair landings, and longer evacuation times for groups compared with individuals. The results also demonstrated that staggered evacuation intervals improve evacuation performance, highlighting the advantages of phased evacuation over simultaneous full-building evacuation.

Design Implications

- **Egress Door Configuration:** Multiple exit doors perform better than a single large exit by improving flow distribution and reducing congestion.
- **Phased Evacuation:** Controlled evacuation intervals significantly improve evacuation speed and quality and are preferable to full-building simultaneous evacuation.
- **Lobby and Corridor Design:** Corridors and elevator lobbies can act as bottlenecks and should be designed to facilitate unobstructed movement.
- **Scissor Stair Systems:** Scissor stair configurations reduce total evacuation time by approximately 40–50% compared with conventional stair arrangements, making them an effective solution for high-rise residential buildings.

Funding

This research did not receive any specific grant from funding agencies in the public, commercial, or not-for-profit sectors.

CRediT authorship contribution statement

All authors contributed equally to the conceptualization of the article and writing of the original and subsequent drafts.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Ethical considerations

The authors avoided data fabrication, falsification, and plagiarism, and any form of misconduct.

Data availability statement

Not applicable

Acknowledgements

We would like to express our deepest gratitude to all the residents of the villages in the central part of Ardabil city, especially those who assisted us as a statistical sample.

[Downloaded from jhre.ir on 2026-11-23]

[DOI: https://doi.org/10.22034/45.193.107]

مسکن و محیط روستا
شاپا چاپی: ۴۹۹۴ - ۲۰۰۸ شاپا الکترونیکی: ۶۲۱۵ - ۲۵۸۸
Homepage: https://jhre.ir

بررسی عملکرد درهای خروجی در لابی ساختمان بلند مسکونی بر اساس الگوهای رفتاری؛ مطالعه موردی: برج‌های مسکونی سامان

علیرضا سلطان‌زاده[۱]✉، حامد مظاهریان[۲]، شاهین حیدری[۳]

۱. نویسنده مسئول، استادیار، گروه فناوری معماری، دانشکده معماری، دانشکدگان هنرهای زیبا، دانشگاه تهران، تهران، ایران. رایانامه: soltan.alireza@ut.ac.ir
۲. دانشیار، گروه فناوری معماری، دانشکده معماری، دانشکدگان هنرهای زیبا، دانشگاه تهران، تهران، ایران. رایانامه: mazaheri@ut.ac.ir
۳. استاد، گروه فناوری معماری، دانشکده معماری، دانشکدگان هنرهای زیبا، دانشگاه تهران، تهران، ایران. رایانامه: shheidari@ut.ac.ir

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
مقاله پژوهشی

تاریخچه مقاله:
تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۷/۰۵
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۱۰/۱۰
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۰۱/۰۸
تاریخ انتشار: ۱۴۰۵/۰۱/۰۹

کلیدواژه‌ها:
تخلیه اضطراری،
الگوهای رفتاری،
مجتمع بلند مسکونی،
درهای خروج.

چکیده

هدف: ازجمله حلقه‌های مفقود در بررسی‌های تخلیه اضطراری، ارتباط طراحی اجزای خروج با الگوهای رفتاری است. هدف این پژوهش، به دست آوردن مهم‌ترین الگوهای رفتاری در تخلیه اضطراری برج‌های مسکونی تهران و طراحی بهینه خروجی‌ها باتوجه‌به الگوهای رفتاری در لابی برج‌های مسکونی است.

روش پژوهش: در جایگاه گردآوری داده‌ها از روش پیمایشی، میدانی، پژوهش موردی، آزمایش تجربی و مدل‌سازی و شبیه‌سازی بهره گرفته شده است و در جایگاه ارزیابی داده‌ها از هر دو روش کمی و کیفی استفاده شده است. دو متغیر مستقل در این پژوهش عبارت است از عرض درهای خروجی، فواصل قرارگیری درهای خروجی و تعداد درهای خروجی و متغیر وابسته عبارت است از زمان و کیفیت خروج کامل افراد از ساختمان (کیفیت از جهت تراکم کمتر پشت درها). این پژوهش در دو محور کلی صورت گرفته است. در محور اول ازطریق پرسش‌نامه و آزمایش‌های تجربی در نمونه موردی (مجتمع بلند مسکونی سامان) به بررسی الگوهای رفتاری ساکنان در هنگام تخلیه پرداخته می‌شود. در محور دوم، با مدل‌سازی و شبیه‌سازی به تحلیل و ارزیابی عملکرد درهای خروج اضطراری و بررسی سناریوهای مختلف از جهت انسداد و تراکم جمعیت و نحوه خروج افراد پرداخته می‌شود.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که مسائلی همچون عدم آموزش کافی و تجربیات کم، باعث بروز اشکالاتی در رفتار ساکنان در مواجهه با حریق می‌شود. زمان پیش تخلیه زیاد، عدم تمایل به ترک ساختمان، خروج از دستگاه پله در طبقات مختلف، تغییر مسیر و درنهایت الگوی حرکت جمعی با فاصله از گروه‌های مختلف جمعیتی از ویژگی‌های مهم رفتاری افراد در ساختمان‌های بلند مسکونی در ایران در هنگام تخلیه است. وجود فواصل زمانی متناوب جهت تخلیه افراد، سرعت و کیفیت تخلیه را بهبود می‌بخشد که نمایانگر اهمیت تخلیه مرحله‌ای نسبت به سناریوی تخلیه کامل است. همچنین وجود کریدور و لابی آسانسور باعث کاهش سرعت تخلیه می‌شود.

نتیجه‌گیری: یافته‌های این پژوهش شامل به دست آوردن مهم‌ترین الگوهای رفتاری افراد در هنگام تخلیه اضطراری در ساختمان‌های بلند مسکونی است. همچنین فرمول زمان پیش تخلیه برای شرایط مسکونی ایران مطابق با فرمول‌های بین‌المللی به دست آمد و با نتایج دیگر کشورها مقایسه شد. روش ابتکاری ترکیبی با استفاده از منطق فازی برای به دست آوردن سرعت حرکت افراد مطابق با مشخصات فیزیکی‌شان ارائه گردید. محل بهینه قرارگیری درهای خروج در لابی باتوجه‌به سناریوهای مختلف پیک جمعیتی و تخلیه مرحله‌ای و تخلیه کامل و وجود موانع با ابعاد و شرایط مختلف جلوی درب در سناریوهای طبقه‌بندی‌شده برای رسیدن به جواب بهینه بررسی شد.

استناد: سلطان‌زاده؛ علیرضا، مظاهریان؛ حامد، حیدری؛ شاهین. (۱۴۰۵). بررسی عملکرد درهای خروجی در لابی ساختمان بلند مسکونی بر اساس الگوهای رفتاری؛ مطالعه موردی: برج‌های مسکونی سامان. *مسکن و محیط روستا*، ۴۵ (۱۹۳)، ۱۰۷-۱۳۲. https://doi.org/10.22034/45.193.107

ناشر: مؤسسه پژوهشی سوانح طبیعی.

© نویسندگان.

[Downloaded from jhre.ir on 2026-11-23]
[DOI: https://doi.org/10.22034/45.193.107]

مقدمه

حوادث حریق و تخلیه اضطراری در ساختمان‌های بلند مسکونی باتوجه‌به شرایط ویژه و نحوه استفاده از آن‌ها در زمان‌های مختلف شبانه‌روز با میزان متفاوت هوشیاری، از پیچیدگی‌های زیادی برخوردار است. در کشورهای درحال‌توسعه و زلزله‌خیز مثل ایران این مسئله اهمیت بیشتری پیدا می‌کند. طبق آمار شهرداری تهران در این شهر تا پایان سال ۱۳۹۵، ۹۷۸ سازه بلند (منظور از سازه بلند یعنی ساختمان بالای ۱۲ طبقه) وجود داشته است. از این تعداد ۷۸ درصد دارای اشکالات اساسی در خصوص ایمنی هستند. طبق آمار سازمان آتش‌نشانی شهر تهران سهم ساختمان‌های بلند از حریق ۵۲ درصد است (URL1). بخشی از ساختمان‌های بلند شهر تهران در دهه ۷۰ میلادی ساخته شده‌اند. امکانات این ساختمان‌ها با استانداردهای ایمنی امروزی، فاصله زیادی دارند. بیشتر جمعیت ساکن در این‌گونه از ساختمان‌ها افراد مسن هستند. در بررسی وضع موجود ساختمان باید به بررسی امکان ایجاد تغییرات و ارائه راهکارهای جدید برای کم کردن مخاطرات پرداخت. بسیاری از استانداردهای تخلیه اضطراری که در گذشته برای ساختمان‌ها در نظر گرفته شده بودند تا حدودی ناکارآمد هستند. پیچیدگی‌های هندسی و فرمی ساختمان بلند از جهت وجود متغیرهای متفاوت چالش‌هایی را برای پیش‌بینی وقایع مرتبط با تخلیه در ساختمان به وجود می‌آورد (Gutierrez-Montes et al., 2008, 2009.). تجربیات نشان داده که اگر حادثه حریق به وقوع بپیوندد عملاً نیروهای امدادی ۱۰ الی ۲۰ درصد می‌توانند مسئله را کنترل و مدیریت کنند (National Research Council, 2006). دو راه پیش رو برای مواجهه با این‌گونه از حوادث عبارت‌اند از: تجهیز و بازسازی ساختمان‌های قدیمی و فرسوده و راه دوم بررسی بنیادی الگوهای رفتاری و تأثیر آن بر روی اجزای خروج اضطراری. متأسفانه باوجود شرایط ناپایدار اقتصادی امکان وقوع حوادث حریق در ساختمان‌ها به دلیل رعایت نکردن اصول ایمنی بیشتر می‌شود. این مسئله آمادگی ذهنی و عملی برای مواجهه با این‌گونه از حوادث را بیش‌ازپیش نمایان می‌سازد. پرسش‌های اصلی این پژوهش عبارت‌اند از:

- مهم‌ترین الگوهای رفتاری در تخلیه اضطراری برج‌های مسکونی تهران چه است؟
- طراحی بهینه خروجی‌ها باتوجه‌به الگوهای رفتاری در لابی برج‌های مسکونی به چه صورت است؟

از مهم‌ترین عوامل تخلیه اضطراری می‌توان به مدت زمان آماده شدن برای شروع فرایند تخلیه اشاره کرد. خلأ بزرگی که در تخمین زمان پیش تخلیه وجود دارد در نظر نگرفتن الگوهای رفتاری است که موجب می‌شود تخمین درستی راجع به زمان خروج کامل از ساختمان به دست نیاید. اکثر داده‌ها در خصوص الگوهای رفتاری در هنگام بحران معطوف به نمونه‌هایی از پیش‌فرض‌شده در افرادی از جامعه آماری مشخص در آمریکا و اروپا بوده است. در این پژوهش به بررسی عوامل مؤثر در زمینه الگوهای رفتاری افراد در مواجهه با تخلیه اضطراری در برج بلند مسکونی پرداخته می‌شود.

پیشینه پژوهش

بررسی پژوهش‌های پیشین معطوف به چند قسمت می‌شود: ۱- بررسی تخلیه کامل ساختمان بلند مسکونی ۲- بررسی الگوهای رفتاری افراد ساکن در ساختمان بلند در هنگام حریق. همان‌گونه که افراد بنا بر آموزش‌ها و بستری که در آن قرار گرفته‌اند دارای ویژگی‌ها و رفتارهای متفاوتی هستند، ساختمان‌ها نیز متناسب با مشخصات فیزیکی متفاوتشان دارای ویژگی‌های متمایزی هستند که در اصول طراحی مبتنی بر کارآمدی باید منحصراً با در نظر گرفتن اعضای ساکن در آن‌ها مورد تحلیل قرار گیرند. مدیریت بحران پس از وقوع حادثه در پژوهش‌هایی بررسی شده است (Pourhosseini et al., 2017). بررسی ویژگی‌های رفتاری در تخلیه اضطراری در نمونه‌هایی مثل مدرسه و تأثیر آن روی زمان خروج و ویژگی‌های اجزای خروج در پژوهش میرسعیدی و شمسی (۲۰۱۸) بررسی شد. چهارچوب‌های عملیاتی به جهت شبیه‌سازی تخلیه بناهای تاریخی هم ایجاد شده است (Arzhangi et al., 2019) مدل‌هایی برای زمان قبل و بعد وقوع بحران هم در پژوهش‌هایی ارائه شده است (Habibian & Givehchi, 2025). در این پژوهش تمرکز روی الگوهای رفتاری و اجزای خروج اضطراری در ساختمان بلند مسکونی است.

[Downloaded from jhre.ir on 2026-11-23]
[DOI: https://doi.org/10.22034/45.193.107]

رفتارشناسی، ایمنی و فرهنگ[1]

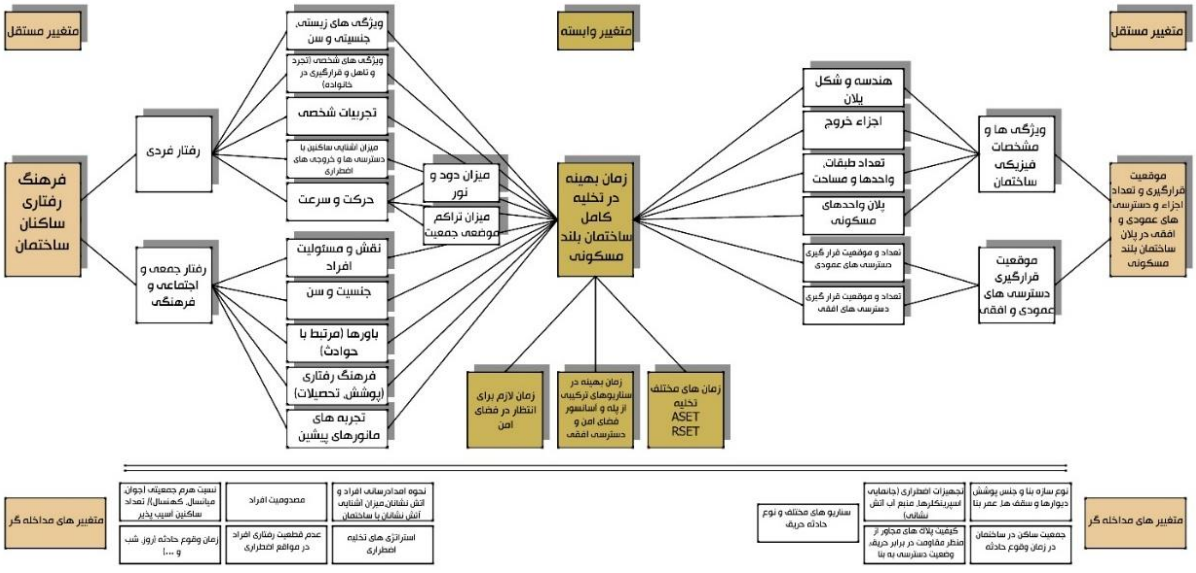
تحقیقات محدودی در مورد تأثیر فرهنگ بر عملکرد تخلیه وجود دارد، یکی از این منابع توسط اوزکایا (۲۰۰۱) تهیه شده است. بااین‌حال، فرض بر این است که فرهنگ می‌تواند بر عواملی مانند وابستگی اجتماعی، نقش و مسئولیت تأثیر بگذارد (Almejmaj et al., 2014). مردم چگونه در مواقع اضطراری واکنش نشان می‌دهند؟ پروژه BESECU (رفتار، امنیت و فرهنگ) بررسی تفاوت‌های بین فرهنگ رفتاری انسان در موقعیت‌های بحرانی به‌منظور تطابق بهتر ارتباطات، دستورالعمل‌ها و رویه‌های مرتبط با امنیت بوده است. بزرگ‌ترین مطالعه چندمرحله‌ای هم‌زمان در زمینه پاسخ انسان به بحران و تخلیه، گروه‌های متخصصین و بازماندگان در یک مطالعه میدانی با فرهنگ‌های مختلف با ۱۱۳۰ بازمانده و ۳۰۱۱ نفر پاسخ‌دهنده در هشت کشور اروپایی با پیشینه فرهنگی متنوع انجام شده است. نتایج نشان می‌دهد که:

۱. داده‌ها امکان تحلیل اینکه آیا فرایندهای تخلیه نسبتی با فرهنگ دارند، را فراهم می‌کند.

۲. مطالعه نشان می‌دهد که اطلاعات شخصی افراد در چه مواردی ضروری است.

۳. داشتن اطلاعات در مورد افراد ساکن در ساختمان به‌منظور شروع یک واکنش اضطراری بسیار مهم است.

۴. مجموعه‌ای از رفتارها و شناخت‌های خاص که منحصربه‌فرد هستند و در بین فرهنگ‌ها متفاوت هستند، مشخص شد، اما شاخص‌های مربوط به تفاوت‌های متقابل فرهنگی به‌عنوان‌مثال در دانش پیشگیری و عادات فرهنگ ایمنی، باقی‌مانده است. الگوها و فرهنگ رفتاری درنهایت بر روی سه عامل: زمان تشخیص، زمان واکنش و زمان طی مسافت، تأثیر می‌گذارند. این سه عامل هم به‌طور مستقیم روی جریان حرکت افراد در حال خروج ازنظر الگوهای حرکتی و ازدحام و زمان رسیدن به لابی و پیک‌های جمعیتی و درنهایت خروج از درها مؤثر خواهد بود. این پژوهش به دنبال ارزیابی و تخمین این زمان‌ها و شبیه‌سازی جریان حرکت خروج و ازدحام در لابی در هنگام خروج افراد از ساختمان در حالت تخلیه کامل است. با بررسی منابع مختلف که روی مسئله تخلیه اضطراری (تئوری‌ها، مانورها و شبیه‌سازی‌ها) کار کرده‌اند، جدول ۱ که چکیده‌ای از مهم‌ترین متغیرهای اثرگذار بر روی تخلیه اضطراری به‌خصوص در ساختمان‌های بلند مسکونی است، ارائه شده است. در مبانی طراحی مبتنی بر عملکرد برخلاف طراحی تجویزی بر اساس کدهای ساختمانی، مشخصات افراد ساکن در ساختمان و الگوهای رفتاری و عملکردی آن‌ها به‌علاوه مشخصات ساختمان باید در طراحی و ایجاد تغییرات در ساختمان‌های موجود، مدنظر قرار گیرد. در شکل ۱، مدل مفهومی این پژوهش آمده است.



شکل ۱. مدل مفهومی پژوهش به همراه متغیرهای مستقل و مداخله‌گر و متغیر وابسته

1. BeSeCu (Behaviour, Security and Culture)

[Downloaded from jhre.ir on 2026-11-23]

[DOI: https://doi.org/10.22034/45.193.107]

جدول ۱. عوامل اثرگذار بر تحلیل رفتار انسان در فرایند تخلیه اضطراری در ساختمان‌های بلند مسکونی

مشخصات انسان و جمعیت[۵]	حرکت و سرعت[۴]	مشخصات رفتار فردی[۳]	مشخصات ساختمان[۲]
سن جنسیت قد وزن عرض شانه موارد مرتبط با توانایی جسمی و شناختی: *وجود معلولیت ذهنی* (اتیسم، سندروم دان، بیش فعالی و ...) *یا جسمی*: معلولیت‌های دائم یا موقت (معلولیت‌های حرکتی، قطع نخاع، فلجی و استفاده از ویلچر، پارکینسون و ...) بیماری‌های زمینه‌ای: بیماری قلبی، ریوی و ... وضعیت ذهنی و روحی روانی، (بیماری‌های روحی روانی: افسردگی و اختلالات دوقطبی و ...)، ترس، ریسک‌پذیری، عجله و شتاب یا کندی ملیت و فرهنگ *	حرکت در شرایط اضطراری، ترس و اضطراب میزان دود میزان نور سطوح مختلف: پله، سطح شیب‌دار تفاوت در انواع کف سازی و کیفیت فضای داخلی فضاهای متفاوت: دهانه‌های وسیع، کریدورها، اتاق‌ها، تعداد درب‌ها در مسیر حرکت طبقه قرارگیری افراد فاصله از محل وقوع حادثه فضاهای تخریب‌شده و به‌هم‌ریخته در اثر سانحه فصول مختلف (سرما و گرما) زمان وقوع حادثه (روز، شب) تمامی پارامترهای مشخصات انسانی و جمعیتی * میزان آشنایی با ساختمان * علائم راهنما * تراکم جمعیت * ترکیب سنی جمعیت	تجربه قبلی آتش‌سوزی یا مانور، آموزش‌های قبلی محل قرارگیری در هنگام حادثه: در داخل ساختمان خارج از واحد مسکونی (مثلاً در پله‌ها یا آسانسور یا لابی و یا فضای مشاع طبقات)، در داخل واحد مسکونی (هال، اتاق‌خواب، آشپزخانه، سرویس بهداشتی یا حمام)، در فضاهای دیگر همانند پارکینگ و ... تغییر مسیر و برگشت به بالا در ساختمان در هنگام تخلیه نوع فعالیت در هنگام وقوع حادثه مسئولیت فرد و تعهد به انجام وظایف خستگی و بروز مسائل جسمی در زمان تخلیه نقش افراد نسبت افراد با هم توانایی‌های اجتماعی و شناختی تردید و عدم شناخت کافی نوع حادثه فرهنگ * میزان آشنایی با ساختمان * انجام رفتارهای پرخطر (همانند روشن کردن سیگار، و وسایل جرقه زا و ...) فرهنگ رفتاری و رفتار فرهنگی افراد	کاربری ساختمان عمر ساختمان ابعاد و تناسبات ساختمان[۶] هندسه و فرم جزئیات معماری: پلان طبقات و تقسیمات فضایی تعداد دسترسی‌های عمودی و افقی مشخصات و ویژگی‌های اجزای خروج اضطراری: راه‌پله‌ها، آسانسورها، طبقه- فضا یا اتاق‌های امن وضعیت ساختمان‌های پلاک‌های مجاور عرض معابر پیرامون ساختمان بلند ویژگی‌ها، مشخصات لابی و تعداد خروجی‌ها سیستم‌های هشدار ضد حریق، اسپرینکلر ها نورپردازی، علامت‌گذاری و سیستم ارتباط صوتی داشتن سیستم کنترل دود: شفت دود، فشار مثبت‌ها، Standpipe، راه‌پله‌های تحت فشار جزئیات اجرایی ساختمان: ویژگی‌های نمای ساختمان، جزئیات اجرایی سقف کاذب نوع سازه و تمهیدات در نظر گرفته‌شده در برابر آتش ایستگاه کنترل مرکزی
زمان موردنیاز و زمان در دسترس برای خروج ایمن[۱۰]	نوع حادثه[۹]	نوع همیاری و کمک به حادثه[۸]	وضعیت در خارج از ساختمان[۷]
ابعاد حادثه، محل وقوع حادثه و مشخصات حادثه زمان پیش تخلیه زمان طی مسافت زمان شناسایی برای فرار زمان هشدار زمان واکنش زمان تشخیص حادثه	آتش‌سوزی ساختمان: تأسیسات، آشپزخانه، محوطه، آتش‌سوزی در طبقات خرابکاری یا حمله تروریستی زلزله آتش‌سوزی بعد از زلزله طوفان سیل	استراتژی انتظار تا رسیدن آتش‌نشانان کمک‌های محلی از همسایگان یا ساختمان‌های مجاور کمک و دفاع در محل توسط ساکنان و تیم مدیریت بحران مستقر در ساختمان ترکیبی از سه مورد بالا	اقلیم و جغرافیای بستر قرارگیری ساختمان * فصل وقوع حادثه * زمان وقوع حادثه * دمای هوا و سرعت و جهت باد مجاورت و موقعیت قرارگیری در بین ساختمان‌ها و فضاهای شهری و خیابان‌ها مشخصات معابر کنار ساختمان توپولوژی زمین قرارگیری برج
استراتژی‌های تخلیه[۱۴]	مشخصات رفتار جمعی[۱۳]	سناریوی آتش‌سوزی[۱۲]	علل به وجود آمدن سانحه برای افراد[۱۱]

2. Building Characteristics
3. Characteristics of individual human behaviors
4. Movement & Speed
5. Human & Population Characteristics
6. Building Aspect Ratio
7. Conditions Outside the Building
8. Type of Assistance to the Accident
9. Incident Type
10. Available & Required Safe Egress Time
11. Causes of accidents
12. Fire Scenarios
13. Characteristics of Human Collective Behaviors
14. Evacuation Strategies

[Downloaded from jhre.ir on 2026-11-23]
[DOI: https://doi.org/10.22034/45.193.107]

تخلیه کامل (Total Evacuation) تخلیه مرحله‌ای (Phased Evacuation) دفاع در محل (Defend-in-Place) تخلیه با تأخیر (Delayed Evacuation)	آسیب دیدن افراد در هنگام تخلیه تغییر مسیر و تغییر رفتار در هنگام کمک کردن به دیگران تغییر مسیر جمعی میزان پیروی از استراتژی‌های تخلیه یا تبعیت از غریزه برای تخلیه ساختمان میزان جمعیت و تراکم * وجود فرهنگ‌های متفاوت * تأثیر رفتار بر روی حادثه: رفتاری که موجب حادثه شده و یا از آن جلوگیری می‌کند. رفتاری که روی آتش تأثیر می‌گذارد. رفتارهایی که صدمات را افزایش یا کاهش می‌دهد.	اولین قدم در انتخاب سناریوهای آتش‌سوزی، در نظر گرفتن همه فعالیت‌های احتمالی صورت گرفته در ساختمان است. تعیین محل آتش‌سوزی نوع یا ویژگی‌های آتش‌سوزی نوع حادثه: زلزله، حریق (اشکالات تأسیساتی، حریق در داخل واحد مسکونی) سیستم‌های فعال و غیرفعال تأثیرگذار در آتش‌سوزی * عملکرد افراد در مواجهه با آتش که بر شدت یا مهار آن اثر می‌گذارد. امکان تسری دود و آتش از یک ساختمان به ساختمان دیگر	آسیب دیدن یا مرگ براثر ازدحام و تراکم جمعیت خفگی ناشی از دود و گازهای سمی زمین خوردن و پرت شدن براثر عجله و اضطرار آسیب ناشی از انفجار سوختگی با درجات مختلف حوادث ناشی از ترس به‌خصوص برای افراد مسن همانند سکته و ایست تنفسی و ... حوادث مرتبط با کودکان و زنان باردار
نوع پوشش افراد[18]	توالی رفتارها در زمان حادثه[17]	اجزای خروج[16]	عدم قطعیت رفتاری[15]
پوشش متفاوت خانم‌ها و آقایان به‌خصوص در فرهنگ‌های شرقی و کشور ایران نوع کفش (از تجربیات مهم در تخلیه اضطراری ساختمان‌های WTC) زمان وقوع حادثه *	قبل از وقوع در حین واقعه، مطلع شدن پیش از تخلیه پس از تصمیم‌گیری در حین تخلیه خروج و رسیدن به نقطه امن	دستگاه پله آسانسور اضطراری یا آسانسور آتش‌نشان Escape Chutes لوله‌های فرار Skybridge پل هوایی Platform Rescue System (PRS) Controlled Descent Devices (CDD) و هلی پد	ازدحام جمعیت کمک به سایرین درخواست توقف توسط امدادرسانان خستگی توقف و مکث مسدود شدن مسیر توسط آوار و افراد

روش‌شناسی پژوهش

در این پژوهش در جایگاه گردآوری اطلاعات و داده‌ها از روش پیمایشی، میدانی، پژوهش موردی، آزمایش تجربی و مدل‌سازی و شبیه‌سازی بهره گرفته شده است و در جایگاه داوری و ارزیابی اطلاعات و داده‌ها از هر دو روش کمی و کیفی بهره برده شده است. دو متغیر مستقل در این پژوهش عبارت است از عرض درهای خروجی، فواصل قرارگیری درهای خروجی و تعداد درهای خروجی و متغیر وابسته عبارت است از زمان و کیفیت خروج کامل افراد از ساختمان (کیفیت از جهت تراکم کمتر پشت درها). همان‌طور که به‌طور مفصل در جدول ۲ شرح داده شده است، تخلیه اضطراری دارای مراحل و جنبه‌های گوناگونی است. از یک‌سو با افراد مختلف با ویژگی‌های متفاوت فیزیکی، ذهنی و شخصیتی طرف هستیم و از طرفی دیگر معماری ساختمان مطرح است. عامل مهم در میان این دو زمان است. بررسی عملکرد تخلیه در حالت کلی به دو صورت آزمایش‌های تجربی و شبیه‌سازی کامپیوتری انجام می‌شود (SFPE, 2019). در آزمایش‌های تجربی محدودیت انجام سناریوهای مختلف، مسئله اطلاع داشتن افراد از مانور تخلیه، محدودیت‌های برداشت اطلاعات و عدم استقبال افراد، ازجمله معایب است. درعین‌حال بزرگ‌ترین مزیت آزمایش‌های تجربی در مشاهده رفتار انسان و نحوه تعامل و برخورد جمعیت در هنگام تخلیه، است. مهم‌ترین ایراد در شبیه‌سازی کامپیوتری عدم امکان در نظر گرفتن کامل مسئله عدم قطعیت و همچنین بازسازی رفتار انسان است. اما بااین‌وجود بزرگ‌ترین مزیت آن هم امکان پیاده‌سازی و تغییرات متنوع در سناریوهای مختلف و انجام تعداد بالایی از مراتب شبیه‌سازی با حالت‌های مختلف است (The American Institute of Aeronautics and Astronautics, 1998, Ronchi et al., 2013). در شبیه‌سازی کامپیوتری تمامی اطلاعات با خطای کمی قابل برداشت و آنالیز است و هزینه و مشکلات بسیار کمی نسبت به آزمایش‌های تجربی دارد (Alianto & Nugroho, 2022; Bilyaz, Buffington, & Ezekoye, 2021; Soltanzadeh et al., 2018, 2021, 2023).

15. Behavioral Uncertainties
16. Egress Components
17. Sequence of behaviors at the time of the accident
18. Type of coverage of people

[Downloaded from jhre.ir on 2026-11-23]
[DOI: https://doi.org/10.22034/45.193.107]

جدول۲. مؤلفه‌های مؤثر بر شبیه‌سازی رفتاری و نحوه جمع‌آوری اطلاعات و ارزیابی داده‌ها

مشخصات انسان و جمعیت[۲۲]	حرکت و سرعت[۲۱]	مشخصات رفتار فردی[۲۰]	مشخصات ساختمان[۱۹]
جمع‌آوری اطلاعات ازطریق مصاحبه پرسش‌نامه استفاده از ویدئوهای ضبط‌شده دوربین مداربسته استفاده از کدهای ساختمانی داخلی و بین‌المللی برگزاری مانور	بخش مهمی از به دست آوردن سرعت مرتبط با تنظیمات Individual characteristics تعیین می‌شود. استفاده از آزمایش‌های تجربی مثل مانورهای با اطلاع قبلی یا بدون اطلاع قبلی استفاده از مشخصات فیزیکی افراد و منطق فازی جهت تخمین سرعت استفاده از سرعت‌های به‌دست‌آمده از پژوهش‌های پیشین و استفاده از evacuation drills و building codes	استفاده از پروفایل‌های مخصوص برای تعریف مشخصات افراد در شبیه‌ساز اولویت‌بخشی و تیپ بندی افراد	مدل‌سازی ساختمان با استفاده از نرم‌افزارهای سه‌بعدی وارد کردن مدل سه‌بعدی در نرم‌افزار شبیه‌ساز عکس‌برداری و فیلم‌برداری از فضای داخل ساختمان و وارد کردن آن در نرم‌افزار به‌منظور ایجاد مدل سه‌بعدی
استراتژی‌های تخلیه اضطراری[۲۶]	ویژگی‌های رفتارهای جمعی انسان[۲۵]	اعتبارسنجی و کالیبره کردن مدل[۲۴]	عدم قطعیت رفتاری[۲۳]
با اجرای سناریوهای مختلف شبیه‌سازی و مقایسه زمان‌های خروج امکان ایجاد تغییرات به‌صورت هم‌زمان در طی سپری شدن پروسه شبیه‌سازی	استفاده از الگوریتم‌های رندوم سازی مثل مونته کارلو برای به دست آوردن ترکیب‌های متفاوتی از قرارگیری افراد در کنار هم و تراکم‌های متفاوت جمعیتی	مراتب اجرای شبیه‌سازی، Converge کردن اعتبارسنجی با نرم‌افزاری دیگر با ساختارهای مشابه یا غیرمشابه اعتبارسنجی با مشاهدات آزمایشگاهی و مانورها اعتبارسنجی با محاسبات دستی	Erik MVA Model (Behavioral BU Uncertainty) OETC (Occupant-Evacuation Time Curve PM)

تنظیمات و پارامترهای شبیه‌سازی تخلیه کامل ساختمان بلند مسکونی

طبق بررسی‌های صورت‌گرفته در فصل نهم راهنمای انجمن حفاظت از آتش برای رفتار انسان در آتش بعد از مقایسه بین ۲۵ مدل مختلف، کارآمدترین روش شبیه‌سازی استفاده از موتورهای SFPE و Steering است. در حالت SFPE طبق فرمول دفترچه جامعه مهندسان حفاظت از آتش آمریکا[۲۷] شبیه‌سازی به‌صورت مدلی از جریان تعریف شده است که سرعت حرکت افراد با تراکم حرکتی آن‌ها در بین عبور از هر فضا به فضای دیگر توسط ابعاد (عرض) در[۲۸] کنترل می‌گردد (Nelson et al., 2002). Steering بر مبنای رفتار فرمان معکوس[۲۹] عمل می‌کند (Heni Ben Amor et al., 2014). در این حالت امکان شبیه‌سازی حالت‌های پیچیده‌تری از رفتار وجود دارد (Craig, 1999). افراد[۳۰] در شبیه‌سازی تنها از ابعاد صف و میزان جریان عبوری از درها مطلع هستند. نرم‌افزار Pathfinder از الگوریتم A^* که بر روی Mesh مثلثی قرار دارد برای راه‌یابی استفاده می‌کند. برای راه‌یابی روی لبه‌های مثلثی مسیر دندانه‌ای[۳۱] از تکنیک String Pulling استفاده می‌کند (Hart et al., 1968).

ویژگی‌های افراد و سناریوها

مشخصات حرکتی و رفتاری افراد در این شبیه‌سازی در سناریوها ثابت است. در جدول ۳، خصوصیات افراد آمده است.

در تحقیقات فاهی و پرولکس (۲۰۰۱) که بر روی سرعت افراد در جنسیت‌ها و سنین مختلف بررسی شده است، محدوده

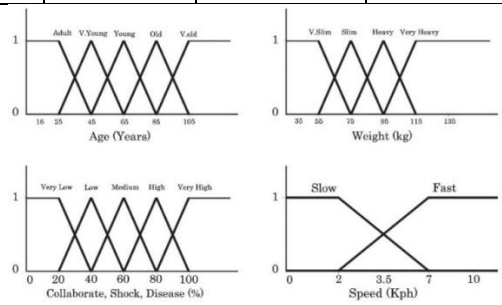
19. Building Characteristics, Egress Components
20. Characteristics of individual human behaviors
21. Movement & Speed
22. Human & Population Characteristics
23. Behavioral Uncertainty
24. Calibration and Validation of Simulations
25. Characteristics of Human Collective Behaviors
26. Evacuation Strategies
27. SFPE: Society of Fire Protection Engineers
28. Door
29. Inverse Steering Behaviour
30 Agents
31. Jagged Path

[Downloaded from jhre.ir on 2026-11-23]
[DOI: https://doi.org/10.22034/45.193.107]

تغییر در این مطالعات حدود ۰/۱۴ تا ۱/۱ متر بر ثانیه است. روابط زیر بر مبنای پژوهش‌های وارالاکشمی (۲۰۰۴) در خصوص به‌کارگیری منطق فازی برای به دست آوردن سرعت بر مبنای سن، وضعیت جسمانی و عواملی همچون بیماری و وضعیت روحی روانی در نظر گرفته شده است. سرعت حرکت افراد با ویلچر چیزی در حدود ۰/۸۱ تا ۱/۲۴ تخمین زده شده و این بازه از ۰/۱ تا ۱/۹۸ نیز با احتساب سرعت افرادی که آن‌ها را کمک می‌کنند متغیر خواهد بود (Tsuchiya & Hasemi, 2007; Pelechano & Malkawi, 2008; Boyce, Shields & Silcock, 1999, 2000, 2009; Li, 2004; Lee et al., 2003; Fruin, 1970, 1971).

جدول ۳. خصوصیات و ویژگی‌های انسانی

Speed	Diameter	Height	Reduction Factor	Initial Rotation	
Based on people's speed table	45.50-60 cm	1.50-1.90 m	0.7	[0.0 °, 360.0 °]	
Current Room Travel Time	Current Queue Time	Global Travel Time	Elevator Wait Time	Current Door Preference	Current Room Distance Penalty
1.0	1.0	1.0	0.0s	35.0%	35.0m
Acceleration Time	Persist Time	Collission Response Time	Slow Factor	Wall Boundary Layer	Comfort Distance
1.1s	1.0s	1.5s	0.1	0.15m	0.08m



شکل ۲. زمان‌بندی خروج اضطراری بر اساس دفترچه راهنمای SFPE

$$weightprop = weighted\,mean = (lo * minisrd + up * maxisrd)/(lo + up) \quad .۱$$
$$weightprop = weighted\,mean = (up * minisrd + lo * maxisrd)/(lo + up)$$

$$Weightprop = \frac{\sum_{i=1}^{n} pw_i * srd_i}{\sum_{i=1}^{n} pw_i} \quad .۲$$

$$\text{DesiredSpeed} = \left(\sum_{i=1}^{n} \text{pw}_i\right) * \text{g}_{\text{eni}} * \text{e}_{\text{mi}} \quad .۳$$

به‌عنوان‌مثال یک فرد ۷۷ ساله با وزن ۸۰کیلوگرم در این محاسبات ۰/۴۵ جوان و ۰/۶۵ پیر محسوب شده و ۰/۳۵ سنگین و ۰/۶۵ سبک در نظر گرفته می‌شود. با این کرانه‌های به‌دست‌آمده پس از اعمال در روابط بالا سرعت هر فرد به دست می‌آید. چند تغییر در Pathfinder ایجاد شد تا سرعت‌های حاصل را در فایل CSV خروجی شبیه‌سازی ازطریق پارامتر MAXWEL وارد کرد. سرعت فرد نمی‌تواند در طول فرایند تخلیه ثابت بماند، زیرا خستگی قطعاً بر سرعت تأثیر می‌گذارد. به‌عنوان‌مثال، اگر خستگی در نظر گرفته شود، سرعت در مسافت ۱۰۰–۲۰۰ متر به ۹۹/۸۵ درصد و در مسافت ۲۰۰–۴۰۰ متر به ۸۹/۴۲ درصد می‌رسد (White et al., 2013). مقادیر ضریب خستگی برای عواملی که از پله‌ها پایین می‌روند اعمال شد.

مدل‌های شبیه‌ساز خروج، اعتبارسنجی و کالیبراسیون

برخی از تنظیمات کلیدی SFPE مانند نرخ جریان در[۳۲]، لایه مرزی[۳۳]، حداکثر تراکم اتاق[۳۴] در جدول ۴ مشخص شده است. سرعت افراد بستگی به بیشترین سرعت V_{max}، تیپولوژی زمین[۳۵]، تراکم افراد، اصلاح‌کننده‌های سرعت[۳۶] مرتبط با نوع مسیر

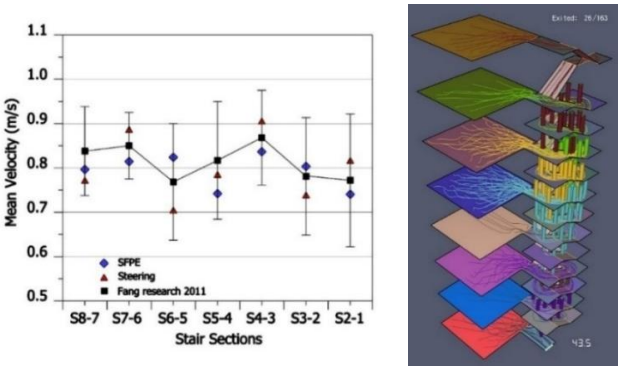
32. Door Flow Rate
33. Boundary Layer
34. Max Room Density
35. Terrain
36. Speed Modifier

[Downloaded from jhre.ir on 2026-11-23]
[DOI: https://doi.org/10.22034/45.193.107]

حرکتی دارد. سرعت پایه[۳۷] V_b به‌عنوان تابعی از نوع زمین، تراکم و speed fraction curve بر اساس دیاگرام SFPE fundamental است. اعمال شرایط خاص (دود، خستگی و حرکت بر روی سطوح مختلف) در شبیه‌سازی که بر روی سرعت افراد تأثیر می‌گذارد، ازطریق استفاده از speed modifier ممکن می‌شود. عبور هر نفر از درب بر حسب specific flow ازطریق رابطه ۵ به دست می‌آید (SFPE, 2019).

$$F_s = (1 - 0.266 * D) * k * D \quad .۵$$

به‌منظور اعتبارسنجی شبیه‌سازی با حالت‌های شبیه‌ساز SFPE و Steering، مدلی از آزمایش تجربی صورت‌گرفته در کشور چین بر روی یک آپارتمان ۸ طبقه در نرم‌افزار Thunderhead engineering pathfinder 2018.3.0730 x64 ایجاد شد. با ایجاد شرایط مشابه پژوهش ما[۳۸] و همکاران (۲۰۱۷) در دو حالت شبیه‌سازی صورت گرفت تا میانگین زمان حرکت افراد بر روی پله‌ها در طبقات مختلف به دست آید. این مانور بر روی یک ساختمان ۸ طبقه انجام شده است. به ترتیب از طبقه ۸ ام تا اول (۱۸–۱۲–۳۶–۴۶–۶–۱۹–۸–۱۸) نفر حضور داشته‌اند که به‌طور هم‌زمان بدون مکث شروع به تخلیه ازطریق پله‌ها می‌کنند. در داخل راه‌پله دوربین به جهت ثبت رفتار و محاسبه سرعت افراد وجود داشته است. باتوجه‌به هندسه پله، ابعاد و اندازه‌ها سرعت افراد به دست آمده است. در نمودار سمت راست در شکل ۳، میانگین سرعت افراد در بین طبقات مختلف در سه حالت: مانور پژوهش (Ma et al., 2017) چیزی در حدود ۰/۸۱ m/s، میانگین سرعت در شبیه‌سازی با استفاده از مدل شبیه‌ساز SFPE ۰/۷۹ m/s و در حالت Steering ۰/۸۰ m/s به دست آمده است. ارتباط بین سرعت و تراکم در دو مدل شبیه‌ساز با مانور قرابت بالایی دارد. نتایج نشان‌دهنده این است که سرعت کلی جمعیت در دستگاه پله با طی مسیر در هر طبقه اختلاف ۰/۱۵+-m/s دارد که این میزان اختلاف در مدل‌های شبیه‌سازی‌شده نیز صادق است.



شکل ۳. مقایسه نتایج آزمایش تجربی صورت‌گرفته در آپارتمانی در چین با شبیه‌سازی دو حالت SFPE و Steering در نرم‌افزار Pathfinder

حالت‌های شبیه‌سازی، تنظیمات و پارامترها

تنظیمات شبیه‌سازی در نرم‌افزار Pathfinder در چهار دسته کلی تقسیم می‌شود. در قسمت اول تنظیمات مرتبط با خصوصیات افراد مثل ویژگی‌های فردی همانند سرعت و ابعاد و قد تنظیم می‌شود. در قسمت دوم، تنظیمات مرتبط با ویژگی‌های حرکتی و تصمیم‌گیری همانند انتخاب مسیر و انتخاب درها تعیین می‌شود. در قسمت سوم تنظیمات مرتبط با نوع حالت‌های شبیه‌سازی و در قسمت چهارم تنظیمات با زمان پیش تخلیه و زمان‌های انتظار در حالت‌های مختلف مثل زمان انتظار برای رسیدن آسانسورها مرتبط است. در خصوص محدوده شبیه‌سازی‌ها، در یک سطح تفاوت تخلیه در روز و شب در زمان آگاهی و در زمان پیش تخلیه است. همچنین عواملی مثل هوشیاری، اضطراب، وحشت، زمان رسیدن امداد و عدم نور کافی بر روی روند تخلیه و کند شدن آن تأثیر می‌گذارد. این مسئله زمان‌های پیش‌فرض را با بازه‌های طولانی‌تری مواجه می‌کند. در این پژوهش شبیه‌سازی‌ها بر پایه شرایط روز با هوشیاری متوسط تا کامل انجام شده است.

37. Base Speed
38. Ma

[Downloaded from jhre.ir on 2026-11-23]
[DOI: https://doi.org/10.22034/45.193.107]

جدول ٤ . مقادیر تعیین‌شده شامل ویژگی‌ها و رفتار افراد، همچنین تنظیمات حالت‌های مختلف شبیه‌سازی

مشخصات انسانی و رفتاری				
میزان کاهش قطر (جمع‌شدگی بدن) در زمان ازدحام	ارتفاع (m)	قطر (cm)	سرعت(m/s)	درجه یا میزان اولویت
انتخاب شده است.	Min: 1/5 Max: 1/8 Mean: 1/65 Stdv: 0/15	Min: 45 Max: 50 Mean: 47/5 Stdv: 1/5	Min: 0/8 Max: 2 Mean: 1/3 Stdv: 0/3	۱. افراد معلول یا ناتوان ۲. افراد عادی
Current room travel time	نیازمندی به کمک برای حرکت	جهت‌گیری اولیه	ضریب کاهش (عامل بدون واحد)	میزان تغییر قطر بدن برای حرکت در هندسه‌های باریک
1/0	Unchecked	0/0°<x<360/0° (Uniform Distribution)	0/7	انتخاب نشده است.
Acceleration time (s)	Current room distance penalty (m)	Current door preference	Global travel time	Current room queue time
1/1	35	35/0%	1/0	1/0
Comfort distance (m)	Wall boundary layer (m)	Slow factor	Collision response time (s)	Persist time (s)
0/1	0/15	0/1	1	1/0
زمان انتظار برای رسیدن آسانسور		رابطه همبستگی استفاده از آسانسور در رابطه با طبقه		زمان پیش تخلیه(s)
1<F<10 5 min 10<F<21 5-10 min F: Floors		0-5th floor 6/14% 5-10th floor 10/59% 10-15th floor 15/54% 15-21th floor 20/99%		Min: 600 Max: 1200 Mean: 900 Stdv: 170
پارامترهای شبیه‌سازی (General, Steering, SFPE)				
Runtime output Freq (s)	CSV output Freq (s)	3D output Freq (s)	Time Stepsize (s)	Time Limit (s)
0/5 (s)	1/0 (s)	0/25 (s)	0/025s	3600<x<4000
Collision Handling	Minimum Flow Rate Factor	Steering Update Interval (s)	Max Agent Radius Trim Error (cm)	Jam Velocity (m/s)
Checked	0/1	0/1s	2/54 cm	0/25 m/s
Snapshot Interval	Flow rates at high density	Door Flow rate Boundary Layer	Minimum Speed Fraction	Max Room Density
120/0 s	Use a calculated specific flow	15 cm	0/15	1/88 (pers/m^2)

توجه: این تنظیمات گاهی در شبیه‌سازهای SFPE و Steering، همان‌طور که در زیر توضیح داده شده است، اصلاح می‌شوند.

منظور از Priority level اولویت داشتن پروفایل افراد نسبت به هم است. در اینجا افراد سالمند و معلول و دارای بیماری‌های زمینه‌ای نسبت به افراد عادی دارای اولویت هستند. افراد برای شبیه‌سازی به دو دسته عادی و دارای ناتوانی تقسیم شده‌اند. در خصوص ویژگی‌هایی همچون سرعت حرکت، قد و عرض شانه باتوجه‌به بخش اول پرسش‌نامه‌ای که از ساکنان تهیه شد، تا میزانی محدوده کمی این ویژگی‌ها به دست آمد. سرعت حرکت افراد به عوامل زیادی بستگی دارد که مهم‌ترین آن ویژگی‌های فردی است. این مسئله در مواجهه با شرایط اضطراری شامل ویژگی‌های ذهنی افراد هم می‌شود. ازجمله دیگر عوامل که شامل مسائل با عدم قطعیت فراوان می‌شود، می‌توان به وقایع رخداده در هنگام تخلیه مثل تراکم جمعیت و میزان آشنایی افراد با اجزای تخلیه[39] اشاره کرد. در برج‌های مسکونی از کودک شیرخوار تا سالمندان بالای ۹۰ سال حضور دارند و تنوع وسیعی از سرعت و واکنش برای افراد باید در نظر گرفته شود. سرعت حرکت بر روی سطوح مختلف متفاوت است. در خصوص پله‌ها و سرعت افراد بر روی آن‌ها در بخش آزمایش‌های تجربی بحث شد. معادلات زیادی برای محاسبه سرعت افراد وجود دارد. در SFPE guide to human behavior فصل هشتم سرعت افراد بر روی سطوح مختلف در پژوهش‌های متفاوت آمده است که از ۰/۲ m/s در پژوهش شیلدز[40] (۲۰۱۸) تا ۱/۳ m/s در پژوهش فوجیاما[41] (Fujiyama et al., 2004) متفاوت است (SFPE, 2019). استفاده

39. Egress Components
40. Shields
41. Fujiyama

[Downloaded from jhre.ir on 2026-11-23]
[DOI: https://doi.org/10.22034/45.193.107]

از منطق فازی به جهت تخمین سرعت افراد می‌تواند تا حد زیادی شبیه‌سازی را به واقعیت نزدیک کند. با داشتن مشخصات فیزیکی و حالات روحی افراد می‌توان حدود سرعت را تخمین زد. در پرسش‌نامه تهیه شده و همچنین دریافت اطلاعات از هیئت‌مدیره ساختمان تا حد زیادی بازه سنی و مشخصات فیزیکی افراد ساکن به دست آمد که با استفاده از این اطلاعات و با استفاده از منطق فازی برای به دست آوردن سرعت افراد (Suganthi, et al., 2015; Varalakshmi, et al., 2004) حدودی از سرعت در سن‌های مختلف به دست آمد که بازه سرعت در جدول بالا مشخص شده است. افراد در شرایط قرارگیری در تراکم بالا به میزان قابل‌توجهی بدن خود را جمع می‌کنند که این مسئله با factor reduction که عددی بین صفر تا یک هست، مشخص می‌شود. تغییر مسیر دادن و استفاده از درب‌های مختلف به‌منظور جابه‌جایی در فضاها با شاخصی از ۰ تا ۱۰۰ درصد مشخص می‌شود که در current door preferences مشخص می‌گردد. ۱۰۰ درصد یعنی به‌هیچ‌عنوان فرد دری را که به‌منظور خروج انتخاب کرده تغییر نخواهد داد. current room distance penalty مرتبط است با انتخاب کوتاه‌ترین مسیر برای خروج که عدد صفر مساوی است با غیرفعال کردن این امکان acceleration time یک پارامتر مختص به موتور شبیه‌ساز steering است که مدت زمان لازم برای رسیدن افراد به حداکثر سرعت از حالت استراحت یا رسیدن به حالت استراحت را مشخص می‌کند. collision response time مرتبط با محاسبه مسافت با دیگران به جهت برخورد با آن‌ها است. با متغیر slow factor حرکت افراد کند و سریع کنترل می‌شود. از متغیر current door preference تا slow factor مطابق با تنظیمات پیش فرض نرم‌افزار در نظر گرفته شده. comfort distance شامل فاصله دلخواهی است که افراد تلاش می‌کنند تا در صف با هم حفظ کنند. این مقدار از معادله ۱۰ به دست می‌آید.

$$C = \frac{2}{\sqrt[4]{12}}\sqrt{a} - d \qquad .۱۰$$

C personal distance است، a مساحت فرد[۴۲]، d هم عرض شانه فرد. عدم قطعیت رفتاری شامل تراکم جمعیت، نرخ جریان، محل اشغال، استفاده از خروجی، زمان‌های صف می‌شود (Smedberg et al., 2021). این عوامل با استفاده از الگوریتم مونته کارلو در شبیه‌سازی‌ها اعمال می‌شود. با اعمال مراتب بالایی از شبیه‌سازی با این الگوریتم تا حد زیادی میانه دقیق زمان خروج به دست می‌آید. در خصوص زمان پیش تخلیه[۴۳] از دهه ۱۹۵۰ میلادی با کار جان برایان[۴۴] (۱۹۷۵ و ۱۹۹۹) پژوهش‌ها شروع شد. در پژوهش پیکاک[۴۵] (۲۰۲۱) که بر روی ساختمان‌های ۶ تا ۳۱ طبقه صورت گرفته، زمان پیش تخلیه بین ۸۹ تا ۲۲۴ ثانیه تخمین زده شده است. همچنین در پژوهش سیمه[۴۶] (۱۹۹۵) برای آپارتمان‌های mid-rise زمان پیش تخلیه چیزی در حدود ۸۰ تا ۵۶۶ ثانیه تخمین زده شده است. برنان[۴۷] (۱۹۹۷) زمان پیش تخلیه را برای ساختمان ۱۸ طبقه در استرالیا با جمعیت۱۰۰–۲۰۰ نفر که اکثراً مسن هستند با شرایط پخش دود بین ۶۰–۱۲۰۰ ثانیه گزارش داده است. در پژوهش پرولکس و فاهی (۱۹۹۷؛ ۱۹۹۵؛ ۱۹۹۴) در خصوص ساختمان‌های ۱۲تا ۱۵ طبقه با تعداد افراد ۱۸۰ تا ۵۰۰ نفر با در نظر گرفتن هوای سرد، زمان پیش تخلیه چیزی در حدود ۱۶۸ تا ۳۱۹ ثانیه در نظر گرفته شده است. باتوجه‌به در نظر گرفتن فرهنگ پوشش لباس در ایران به‌خصوص برای خانم‌ها این مدت زمان بیشتر خواهد بود. طبق برآوردی که انجام شد، آماده شدن و لباس پوشیدن و رعایت حجاب برای خانم‌ها در سریع‌ترین حالت چیزی در حدود ۴–۵ دقیقه زمان می‌برد. در این پژوهش زمان پیش تخلیه از ۶۰۰ تا ۱۲۰۰ ثانیه است (Jönsson, Andersson, & Nilsson, 2012). متغیر max room density که ازجمله متغیرهای حالت شبیه‌ساز SFPE است که وظیفه کنترل تراکم و میزان افراد واردشده به اتاق را بر عهده دارد. هرچقدر این مقدار کمتر باشد، تخلیه سریع‌تر صورت می‌پذیرد. بازه اعداد درنهایت به ۳/۶ تا ۳/۸ $pers/m^2$ می‌رسد که در آن صورت سرعت به‌شدت کاهش می‌یابد. عدد تعیین‌شده برای boundary layer از دو طرف ابعاد درها کم می‌شود و میزان قابل‌عبور را تعیین می‌کند. Flow

42. Occupant
43. Pre-evacuation time
44. Bryan
45. Peacock
46. Sime
47. Brennan

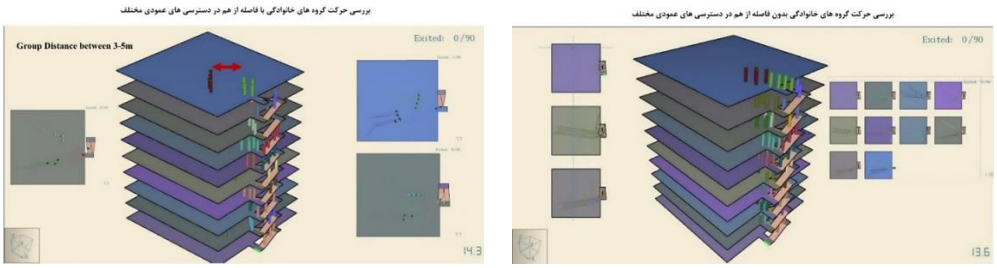
[Downloaded from jhre.ir on 2026-11-23]
[DOI: https://doi.org/10.22034/45.193.107]

rates at high density با یک مثال ساده قابل توضیح است. اگر قرار باشد تا (3 pers/s-m) در حال عبور از دری با ابعاد ۱ متر که 15cm boundary layer دارد باشند عملاً 3 pers/s-m*0.7m=2.1 pers/s در هر ثانیه ۲ نفر از در به‌خصوص عبور خواهند کرد.

یافته‌های پژوهش

بررسی حرکت جمعی و با فاصله مردم از هم در هنگام تخلیه اضطراری از ساختمان

حرکت جمعی افراد در گروه‌های با تعداد مختلف با فواصل متفاوت از هم بررسی شده است. گروه‌های افراد به‌مثابه اعضای خانواده در نظر گرفته می‌شود. در یک نوبت گروه‌های خانوادگی متشکل از تعداد متفاوتی از افراد در جریان حرکت بر روی پله‌ها باهم ادغام می‌شوند و در حالت دیگر گروه‌های افراد با فاصله از هم حرکت می‌کنند. زمان تخلیه در هر دو آزمایش محاسبه شده است. عملکرد حرکتی گروهی افراد با فاصله از هم در طی مسیر پله‌ها مطابق با جدول ۵ نشان می‌دهد که پله‌های قیچی کارایی بالایی در این خصوص دارند، به‌طوری‌که بین ۴۰ تا ۵۰ درصد از زمان تخلیه کاسته می‌شود. این مسئله خود را در فواصل زیاد گروه‌های مختلف حرکتی بیشتر نشان می‌دهد.



شکل ٤. (سمت راست) حرکت با فاصله گروه‌های با تعداد متفاوت از افراد؛ (سمت چپ) نحوه حرکت بدون فاصله گروه‌های مختلف افراد در حالت حرکت ادغامی

جدول ٥. نتایج زمان تخلیه افراد در دو حالت حرکتی

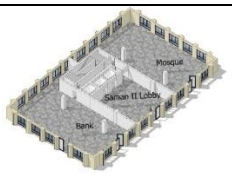
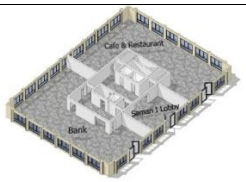
90 Occupants	1 Staircase	Scissor staircase
10Floors_Normal distance	153/0s	142/3s
Group Movement with 2m	371/8s	218/5s
Group Movement with 3m	471/5s	295/8s
Group Movement with 5m	671/0s	357/8s

بررسی برج‌های دوقلوی سامان (STT[48])

در خصوص بررسی ساختمان سامان سه مرحله اصلی طی شد. اول بررسی وضعیت فعلی مجتمع، دوم بررسی سناریوهای تخلیه با در نظر گرفتن تمامی ارکان وضع موجود و سوم بررسی سناریوهای فرضی. پرسش‌نامه‌هایی به‌صورت آنلاین و دستی به جهت دریافت اطلاعات و آمار به‌صورت توصیفی و استنباطی تهیه شد. بر مبنای این پرسش‌نامه‌ها الگوهای رفتاری استخراج شد. در بررسی سناریوهای وضع موجود عملکرد پله‌های قیچی و بررسی لابی و درهای خروجی مورد تحلیل قرار گرفت.

میزان آگاهی و تجربیات قبلی بر روی زمان (اعم از زمان هشدار، آگاهی، پیش تخلیه و فرار) که مهم‌ترین رکن در تخلیه است، اثر زیادی می‌گذارد.

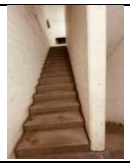
جدول ٦. برج‌های سامان از گذشته تا به امروز

		
ایزومتریک طبقه همکف برج دوم سامان محل قرارگیری هسته مرکزی و لابی مشخص شده است	ایزومتریک طبقه اول برج شماره یک سامان. هسته مرکزی با سازه بتنی در برج اول بزرگ‌تر بوده و نیازی	ماکت برج‌های دوقلو در دفتر هیئت‌مدیره ساختمان

48. Saman Twin Towers

[Downloaded from jhre.ir on 2026-11-23]

[DOI: https://doi.org/10.22034/45.193.107]

	دیگر به طراحی ستون‌ها نبوده است	
		
نمایی از فضای لابی آسانسور برج شماره یک سامان	قرارگیری دو آسانسور در سمت راست و فضای آسانسور سوم در سمت چپ در هسته مرکزی برج شماره یک سامان	لابی STT1
		
پله قیچی بتنی باوجود سازه دیوار برشی[۴۹] در قسمت چشم پله	هر بازوی پله دارای ۱۷ پله به ارتفاع حدودی ۱۷/۷۸ سانتی‌متر است که ارتفاع یک طبقه را طی می‌کند.	دیاگرامی از نحوه قرارگیری پله‌های قیچی در هسته مرکزی برج سامان

مشخصات ساکنان

در STT1 ۱۲۱ واحد وجود دارد که در زمان تنظیم پژوهش ۲۱ واحد تخلیه و ۱۰۰ واحد محل زندگی است. در STT2 ۷۱ واحد وجود دارد که از این میان ۱۶ واحد تخلیه و ۵۵ واحد محل زندگی است. باتوجه‌به اینکه افراد زیادی به‌صورت انفرادی در حال زندگی هستند. طبق گفته هیئت‌مدیره ساختمان می‌توانیم میانگین سکنه را ۱/۵ نفر در ازای هر واحد در نظر بگیریم. پرسش‌نامه‌ای به جهت به دست آوردن اطلاعات ساکنان ساختمان برای شبیه‌سازی تهیه شد. حدود ۲۳۲ نفر ساکن هر دو برج هستند که با استفاده از فرمول کوکران حجم نمونه حدود ۶۸ نفر به دست می‌آید. پرسش‌نامه به دو بخش تقسیم شده است. در قسمت اول اطلاعاتی در خصوص جنسیت، سن، قد، وزن، میزان تحصیلات، طبقه سکونت و خصوصیات فیزیکی افراد پرسیده شده است. در بخش دوم، سؤالات مرتبط با دانسته‌ها و تجربیات افراد مطرح شده است. از نتایج حاصل از پرسش‌نامه در شبیه‌سازی استفاده شده است. در پژوهش فنگ[۵۰] (۲۰۱۲) ۱۰ درصد افراد اعلام کردند که اگر زیر طبقه دهم باشند تمایل به استفاده از آسانسور دارند و اگر بالای طبقه چهلم باشند ۸۰ درصد از آسانسور استفاده می‌کنند. همچنین ۶۶ درصد افراد اعلام کرده بودند که از آسانسور در مواقع اضطراری استفاده نمی‌کنند. ۸۷/۵ درصد قصدی ندارند تا از آسانسور استفاده کنند و ۱۲/۵ درصد قصد دارند تا در شرایط اضطراری از آسانسور استفاده کنند. با استفاده از آمار استنباطی به بررسی متغیرهایی همچون میزان تجربه، آموزش و عادات رفتاری افراد ساکن در این مجتمع پرداخته شده است. به‌منظور بررسی این متغیرها نیاز به تعیین گویه‌های مختلف برای ارزیابی و اندازه‌گیری میزان متغیرهای ذکر شده است. در یک پرسش‌نامه، مجزا از پرسش‌نامه با خروجی اطلاعات توصیفی که در ۲۱ سؤال تنظیم شد، در ده سؤال با پاسخ‌های طیف لیکرتی به بررسی عادات رفتاری پرداخته شد. این ده سؤال به دو قسمت شامل پنج سؤال تقسیم شده است. در بخش اول اطلاعات و دانش پیشین افراد مورد ارزیابی قرار گرفته و در بخش دوم در سه قسمت سؤالاتی در خصوص فاز پیش تخلیه و طی مسیر فرار و پس از ترک ساختمان مطرح شده است. (در پیوست شماره چهار آمده است). همبستگی بین این دو قسمت با استفاده از ضریب همبستگی ساده یا پیرسون مورد ارزیابی قرار گرفت. در این رابطه در زیر آمده است، میزان همبستگی دو متغیر X و Y موردبررسی قرار می‌گیرد. در این پژوهش این دو متغیر شامل میزان آموزش و تجربه قبلی با نوع تصمیم‌گیری و الگوی رفتاری است.

$$r = \frac{n(\sum xy) - (\sum x)(\sum y)}{\sqrt{[n\sum x^2 - (\sum x)^2]\,[n\sum y^2 - (\sum y)^2]}} \qquad .۱۲$$

عدد ضریب پیرسون ۰/۷- به دست می‌آید که نشان‌دهنده همبستگی منفی بین دو متغیر است. یعنی باوجود فقدان آموزش

49. shear wall
50. Fang

[Downloaded from jhre.ir on 2026-11-23]
[DOI: https://doi.org/10.22034/45.193.107]

کافی و تجربیات اندک الگوها و تصمیم‌های غلط بیشتری اتخاذ می‌شود. همچنین، انگاره‌های نادرست ناشی از فقدان تجربه و آموزش است. مقایسه دو متغیر با گرفتن میانگین از پاسخ به پنج سؤال در هر دو بخش و مقایسه میانگین‌ها به دست آمده است. میزان عدد R^2 ۰/۴۹ است که یعنی ۴۹ درصد از تغییرات در میزان تجربه و آموزش بر روی تصمیم‌گیری‌های صحیح افراد اثر می‌گذارد. میزان عدد Significant F هم زیر ۵ درصد بوده و نشان‌دهنده مناسب بودن کلیت آنوا و رگرسیون است.

جدول ۷. محاسبات رگرسیون پرسش‌نامه استنباطی از عادات و الگوهای رفتاری افراد ساکن در ساختمان سامان

					SUMMARY OUTPUT
					Regression Statistics
				0/701334384	Multiple R
				0/491869919	R Square
				0/428353659	Adjusted R Square
				0/510310363	Standard Error
				10	Observations
					ANOVA
Significance F	F	MS	SS	df	
0/023821264	7/744	2/016667	2/016667	1	Regression
		0/260417	2/083333	8	Residual
			4/1	9	Total
Lower 95%	P-value	t Stat	Standard Error	Coefficients	
4/639350914	4/15E-05	8/055805	0/806872	6/5	Intercept
-1/676273475	0/023821	-2/7828	0/329404	-0/91666667	X Variable 1

تأیید، اعتبارسنجی و کالیبراسیون شرایط شبیه‌سازی مدل

تحقیقات قبلی در مورد تخلیه STT

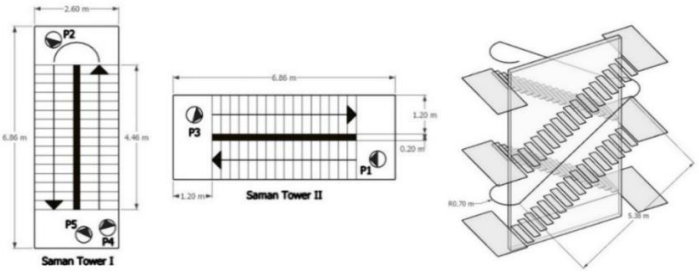
مانورهایی در این ساختمان در گذشته انجام شده است. مصاحبه‌ای با آقای خسروانی مدیریت محترم بحران منطقه شش در این خصوص انجام شد. زمان تخلیه با استفاده از دستگاه پله چیزی در حدود ۲۵ تا ۳۵ دقیقه برای تخلیه کامل هر دو برج توسط مسئولین عنوان شد. حدود یک دهه قبل حادثه حریقی در طبقه ۲۱ ام برج شماره دو رخ می‌دهد که خانمی مسن ساکن آن طبقه بوده‌اند. این حادثه بین ساعت ۱-۲ نیمه‌شب رخ می‌دهد و باتوجه‌به مسدود شدن در واحد توسط دود و حرارت این خانم با پرتاب شی از طبقه ۲۱ ام به پایین سعی در آگاه‌سازی سایر افراد برای نجات می‌کند. حادثه در ابعاد همان واحد باقی مانده و گسترش نمی‌یابد و امداد رسیده و مسئله حل می‌شود.

آزمایش‌های تجربی در STT

برای بررسی عملکرد پله قیچی در STT به همراه اعضای هیئت‌مدیره ساختمان آزمایشی تجربی صورت گرفت. سه نفر از پله‌های STT1 و دو نفر از پله‌های STT2، از بالاترین طبقه تا همکف بدون توقف مسیر را طی کردند. زمان طی مسافت از طبقه ۲۱ ام تا لابی با استفاده از کورنومتر به دست آمد. همچنین زمان رسیدن به طبقات ۱۵، ۱۰، ۵ و لابی برای هر یک از افراد ثبت گردید. مسئله خیلی مهم در این آزمایش روشنایی پله‌ها بود. قرارگیری پله‌ها در داخل باکس بتنی در هسته مرکزی ساختمان باعث شده تا هیچ‌گونه نور طبیعی به داخل آن جریان نداشته باشد. چراغ در راه‌پله‌ها با استفاده از کلید تایمر دار روشن می‌شود و سنسور حرکت برای روشن شدن چراغ‌ها در راه‌پله‌های هر دو برج وجود ندارد. باید در هر طبقه پس از طی مسافت دو بازوی پله یک مرتبه کلید برق را فشار داد. این مسئله به میزان قابل‌توجهی از سرعت افراد می‌کاهد. در شکل ۵ مشخصات دقیق، جهت قرارگیری و هندسه پله‌های قیچی STT آمده است. همچنین محل قرارگیری افراد بر روی پاگرد پله‌ها در بالاترین طبقه هر دو برج به‌منظور یافتن زمان حرکت بر روی پله‌ها در ابتدای آزمایش، مشخص شده است. ازجمله مزایای پله‌ها نیز این است که ساختار قیچی آن با در نظر گرفتن ابعاد محدود می‌تواند تعداد افراد زیادی را تخلیه کند.

[Downloaded from jhre.ir on 2026-11-23]

[DOI: https://doi.org/10.22034/45.193.107]



شکل ۵. مشخصات پله‌های برج‌های سامان به همراه محل قرارگیری افراد به‌منظور شروع حرکت از بالاترین طبقه برج در آزمایش صورت‌گرفته

برای مثال در STT2 شرکت‌کننده شماره ۳ و شماره ۱ در یک تراز در طبقه ۲۱ام در دو پاگرد مختلف قرار گرفته‌اند که به دلیل ماهیت قرارگیری پله‌های قیچی، هیچ دیدی به هم ندارند و در زمان مشخص شروع به پایین رفتن از پله‌ها می‌کنند. مشخصات دقیق افراد شرکت‌کننده در ارزیابی زمان تخلیه در جدول ۸ آمده است.

زمان دقیق رسیدن هریک از افراد به طبقات ۱۵، ۱۰، ۵ و همکف در جدول ۹ آمده است.

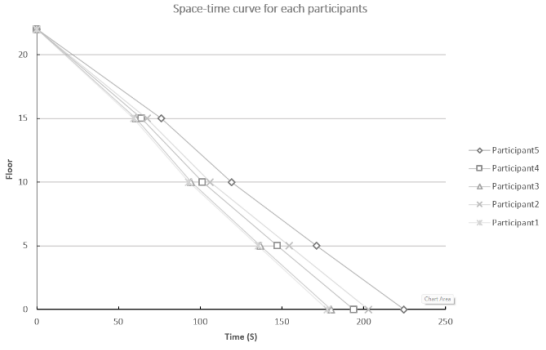
در شکل ۶، منحنی زمان طی مسیر پله‌ها توسط هر یک از مشارکت‌کنندگان مشخص شده است.

جدول ۸. مشخصات فیزیکی افراد شرکت‌کننده در تخلیه با استفاده از پله‌های برج‌های سامان

	مشارکت‌کننده اول (Saman II)	مشارکت‌کننده دوم (Saman I)	مشارکت‌کننده سوم (Saman II)	مشارکت‌کننده چهارم (Saman I)	مشارکت‌کننده پنجم (Saman I)
سن	۳۰	۶۷	۴۱	۶۵	۷۴
جنس	مرد	زن	مرد	مرد	مرد
قد (سانتی‌متر)	۱۷۸	۱۶۰	۱۸۵	۱۶۸	۱۶۶
وزن (کیلوگرم)	۶۰	۷۵	۷۸	۶۷	۶۶

جدول ۹. زمان رسیدن افراد به طبقات مختلف

	زمان (s)				
	مشارکت‌کننده اول (Saman II)	مشارکت‌کننده دوم (Saman I)	مشارکت‌کننده سوم (Saman II)	مشارکت‌کننده چهارم (Saman I)	مشارکت‌کننده پنجم (Saman I)
طبقه ۲۲	۰	۰	۰	۰	۰
طبقه ۱۵	۵۹,۳۶	۶۷,۴۹	۶۰,۶۷	۶۴,۱۹	۷۶,۲۸
طبقه ۱۰	۹۲,۹۹	۱۰۵,۹۶	۹۴,۵۳	۱۰۱,۳۵	۱۱۹,۱۶
طبقه ۵	۱۳۵,۶۵	۱۵۴۵۵	۱۳۶,۹۶	۱۴۷,۳	۱۷۱,۲۶
طبقه همکف	۱۷۷,۷۶	۲۰۲,۹۲	۱۸۰,۰۶	۱۹۳,۹۱	۲۲۴,۶۹



شکل ٦. منحنی زمان رسیدن افراد به طبقات مختلف

به‌منظور به دست آوردن سرعت افراد طول مسافت طی شده بر اساس هندسه پله طبق رابطه ۱۳ به دست می‌آید.

در رابطه ۱۳، D یعنی مسافت طی‌شده بر حسب متر، همچنین منظور از n_s تعداد پله‌ها در هر بازو[51] می باشد.

51. In each stair section

[Downloaded from jhre.ir on 2026-11-23]

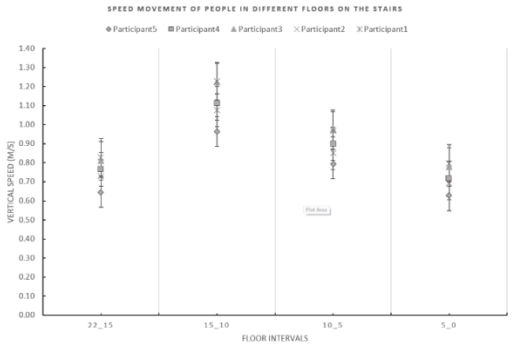
[DOI: https://doi.org/10.22034/45.193.107]

$d_{inclination}$ طول وتر مثلث ساخته‌شده از ارتفاع (۱۷/۶۴ سانتی‌متر) و کف پله (۲۷/۹۰ سانتی‌متر) می‌باشد که مقدار وتر برابر با ۰/۳۳ متر می‌شود. n_f تعداد بازوهای پله است. $d_{landing\ turning}$ هم مسافتی است که بر روی پاگرد افراد به جهت چرخش طی می‌کنند که در اینجا ۲/۱۹۹ متر است.

$$D = n_s d_{inclination} n_f + (n_f + 1) d_{landing\ turning} \quad .۱۳$$

جدول ۱۰. سرعت افراد در بین طبقات مختلف

سرعت حرکت افراد بر روی پله‌ها (m/s)						
	مشارکت‌کننده اول (Saman II)	مشارکت‌کننده دوم (Saman I)	مشارکت‌کننده سوم (Saman II)	مشارکت‌کننده چهارم (Saman I)	مشارکت‌کننده پنجم (Saman I)	میانگین سرعت
طبقات ۱۵–۲۲	۰٫۸۳	۰٫۷۳	۰٫۸۱	۰٫۷۷	۰٫۶۴	۰٫۷۶
طبقات ۱۰–۱۵	۱٫۲۳	۱٫۰۷	۱٫۲۲	۱٫۱۱	۰٫۹۶	۱٫۱۲
طبقات ۵–۱۰	۰٫۹۷	۰٫۸۵	۰٫۹۷	۰٫۹۰	۰٫۷۹	۰٫۹۰
طبقات ۰–۵	۰٫۸۰	۰٫۶۹	۰٫۷۸	۰٫۷۲	۰٫۶۳	۰٫۷۲



شکل ۷. میانه و سرعت حرکت هر یک از افراد در زمان تخلیه بر روی پله

بررسی پله قیچی در پژوهش ژینگ و تنگ[۵۲] (۲۰۱۲) با نرم‌افزار CFAST و Building EXODUS انجام شده و نتایج اثربخش بودن آن به دست آمده است. همچنین در پژوهش نگوین[۵۳] (Nguyen et al., 2021) با بررسی عملکرد تخلیه در زمان انتشار دود در برج بلند لوتوس در سریلانکا تأثیر مثبت پله قیچی مشخص شده است. در شبیه‌سازی برای هر فرد یک پروفایل مجزا تعریف شد و تمام اطلاعات مرتبط با افراد وارد شد تا هر چه بیشتر به واقعیت نزدیک باشد. نتایج مرتبط با سرعت حرکت افراد در بین طبقات مختلف بر روی پله‌ها در جدول ۱۱ آمده است.

میانگین سرعت تمامی افراد در بین طبقات ۱۵–۲۲، ۱۰–۱۵، ۵–۱۰، ۰–۵ در دو حالت شبیه‌سازی و یک حالت آزمایش تجربی به جهت مقایسه در جدول ۱۲ آمده است.

جدول ۱۱. سرعت افراد در بین طبقات مختلف، شبیه‌سازی‌شده با دو موتور شبیه‌ساز SFPE و Steering

سرعت حرکت افراد بر روی پله‌ها (m/s)												
	مشارکت‌کننده اول (Saman II)		مشارکت‌کننده دوم (Saman I)		مشارکت‌کننده سوم (Saman II)		مشارکت‌کننده چهارم (Saman I)		مشارکت‌کننده پنجم (Saman I)		میانگین سرعت	
	Steering	SFPE	Steering	SFPE	Steering	SFPE	Steering	SFPE	Steering	SFPE	Steering	SFPE
طبقات ۱۵–۲۲	۱٫۰۳	۱٫۱۲	۰٫۹۲	۱٫۰۱	۱٫۰۲	۱٫۱۵	۰٫۹۷	۱٫۰۶	۰٫۸۲	۰٫۸۸	۰٫۹۵	۱٫۰۴
طبقات ۱۰–۱۵	۱٫۰۳	۱٫۱۵	۰٫۹۵	۱٫۰۰	۱٫۰۱	۱٫۰۸	۰٫۹۷	۱٫۰۶	۰٫۸۶	۰٫۹۵	۰٫۹۶	۱٫۰۵
طبقات ۵–۱۰	۱٫۰۸	۱٫۱۶	۰٫۹۳	۱٫۰۱	۱٫۰۹	۱٫۱۸	۰٫۹۹	۱٫۰۶	۰٫۸۶	۰٫۹۱	۰٫۹۹	۱٫۰۶
طبقات ۰–۵	۰٫۸۷	۰٫۹۷	۰٫۷۴	۰٫۸۱	۰٫۸۳	۰٫۹۴	۰٫۷۷	۰٫۷۸	۰٫۷۰	۰٫۷۵	۰٫۷۸	۰٫۸۷

52. Xing & Tang
53. Nguyen

[Downloaded from jhre.ir on 2026-11-23]
[DOI: https://doi.org/10.22034/45.193.107]

جدول ۱۲. مقایسه بین نتایج حاصل از شبیه‌سازی با دو حالت Steering و SFPE با نتایج آزمایش تجربی

سرعت (m/s)			
طبقات	مانور و آزمایش تجربی صورت گرفته	Steering	SFPE
۲۲-۱۵	۰,۷۶	۰,۹۵	۱,۰۴
۱۵-۱۰	۱,۱۲	۰,۹۶	۱,۰۵
۱۰-۵	۰,۹	۰,۹۹	۱,۰۶
۵-۰	۰,۷۲	۰,۷۸	۰,۸۷

بیشترین نزدیکی نتایج شبیه‌سازی با آزمایش‌های تجربی مربوط به موتور شبیه‌ساز steering است. همچنین در هر دو حالت شبیه‌سازی مقدار سرعت بیشتر از آزمایش میدانی بوده که علت آن در مکث‌های مکرر به جهت زدن کلید چراغ‌های راه‌پله در طبقات مختلف است که در واقعیت افراد با آن مواجه بودند. در پژوهش فنگ (۲۰۱۲) در خصوص یک ساختمان ۸ طبقه میانگین سرعت حرکت افراد بر روی پله‌های دو بازو معمولی ۰/۸۱ m/s به دست آمد. در دفترچه SFPE هم حدود همین عدد مشخص شده است. در پژوهش ما و همکاران (۲۰۱۲) که بر روی یک برج بالای ۱۱۰ طبقه صورت گرفته ۷۵ درصد افراد میانگین سرعت ۰/۶ m/s داشته‌اند.

شبیه‌سازی تخلیه کامل لابی

یکی از مهم‌ترین قسمت‌های ساختمان بلند به جهت تخلیه اضطراری بعد از پلکان، لابی است. در این محل امکان ازدحام جمعیت و انسداد وجود دارد. حرکت‌های خلاف جهت تخلیه مثل حرکت نیروهای آتش‌نشان و امدادرسان در زمان ازدحام در این فضا رخ می‌دهد. در ابتدا صرفاً با در نظر گرفتن بارهای جمعیتی مختلف به شبیه‌سازی شرایط تخلیه کامل افراد از لابی پرداخته می‌شود. این مسئله با در نظر گرفتن وجود مانع در جلوی درب خروجی ساختمان نیز تکرار می‌شود. همان‌طور که در شکل ۸ مشخص‌شده در STT2 (در سمت راست) دو درب راه‌پله در همکف به یک راهرو با عرض ۱/۳۵ m منتهی می‌شود و ازآنجا ازطریق یک گشودگی به لابی متصل می‌شود. اما در STT1 یک پیش فضا با مساحتی حدوداً معادل لابی جلوی دو درب راه‌پله وجود دارد. ازاین‌جهت تفاوت‌هایی در فواصل و ابعاد فضاها بین لابی دو برج وجود دارد. کار شبیه‌سازی با تعداد افراد ۱۰۰ تا ۵۰۰ نفر با استفاده از گزینه occupants source در نرم‌افزار Pathfinder انجام شده است. محل occupants source در پاگرد پله‌ها در لابی تعیین شده است. بار جمعیتی هر یک از برج‌ها در حال حاضر بیش از ۱۵۰ نفر نمی‌شود اما با در نظر گرفتن بارهای جمعیتی متفاوت به تحلیل حرکت و زمان خروج کامل افراد تا ۵۰۰ نفر از درب پاگرد پله تا درب خروجی پرداخته می‌شود. قسمتی از جدول زمان‌بندی Flow Rate در شکل زیر آمده است؛ نمودار زمان و flow rate در حالت ورود افراد از پاگرد به لابی در زمان‌بندی ۱۰و۱۲ ثانیه (جدول ۱۳).

مقدار میانگین زمان خروج بارهای مختلف جمعیتی با احتساب زمان‌بندی متفاوت حرکتی در ردیف آخر جدول ۱۴ آمده است.

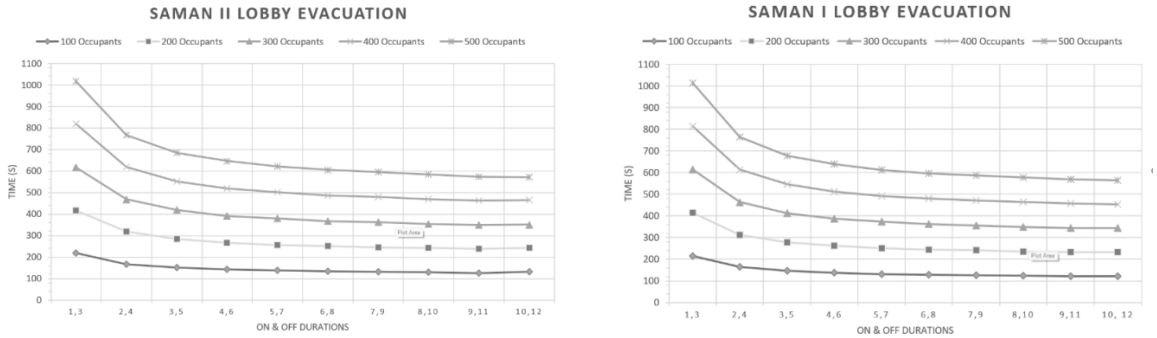
جدول ۱۳. مقادیر زمان خروج بارهای جمعیتی متفاوت از لابی با زمان‌بندی متفاوت ورود افراد از راه‌پله به لابی در STT1

زمان تخلیه لابی سامان اول (S)					
500 Occupants	400 Occupants	300 Occupants	200 Occupants	100 Occupants	Saman I
1013	813/9	614/7	413/4	214/2	1,3
764	613	463/2	312/1	164	2,4
677/2	545/9	413/2	278.4	146/4	3,5
639/6	513	386/3	261/4	137/5	4,6
611	491/7	372.5	251	131/7	5,7
595/7	479/4	363	244/1	128/9	6,8
587/4	471/4	354/9	241/2	126/4	7,9
577/5	463/8	349/3	235/5	124/2	8,10
568/5	458/6	343/8	233/3	121/2	9,11
564	454	343/9	232/6	121/1	10, 12
733/10	589/41	444/98	300/33	157/29	Average

[Downloaded from jhre.ir on 2026-11-23]
[DOI: https://doi.org/10.22034/45.193.107]

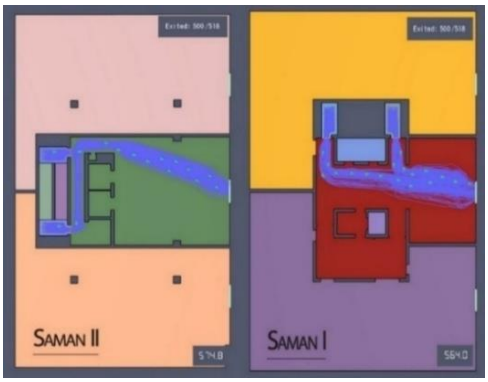
جدول ۱٤. مقادیر زمان خروج بارهای جمعیتی متفاوت از لابی با زمان‌بندی متفاوت ورود افراد از راه‌پله به لابی در STT2

زمان تخلیه لابی سامان دوم (S)					
500 Occupants	400 Occupants	300 Occupants	200 Occupants	100 Occupants	Saman II
1018/3	818/3	616/2	417/3	218/4	1/3
767/2	619/2	467/9	318/8	167/5	2/4
683/7	551/9	418	284/1	151/2	3/5
646/3	519/8	391	266/8	142/6	4/6
622/1	501	379/9	256	137/6	5/7
604/9	486/5	366/5	251/4	134/3	6/8
595/7	478/9	361/8	245	131/6	7/9
584/9	469/2	353/4	241/8	130/2	8/10
573/5	463/4	348/6	238/6	126/2	9/11
572/4	463/7	350/3	241/9	131	10/2
627/86	505/96	381/93	260/49	139/13	Average



شکل ۸. زمان خروج افراد بر حسب میزان بار جمعیتی واردشده در لابی برای جمعیت‌های مختلف در STT1 & STT2

روند تخلیه باتوجه‌به جمعیت‌های متفاوت و میزان مختلفی از بار ورودی به لابی در STT2 بین ۱۰ تا ۱۵ درصد سریع‌تر از STT1 است. در شکل ۹، منظور از مدت زمان روشن و خاموش، مقدار زمانی است که در هر دوره برای تولید ساکنین، که با مقادیر مختلف در محور x مشخص شده است.



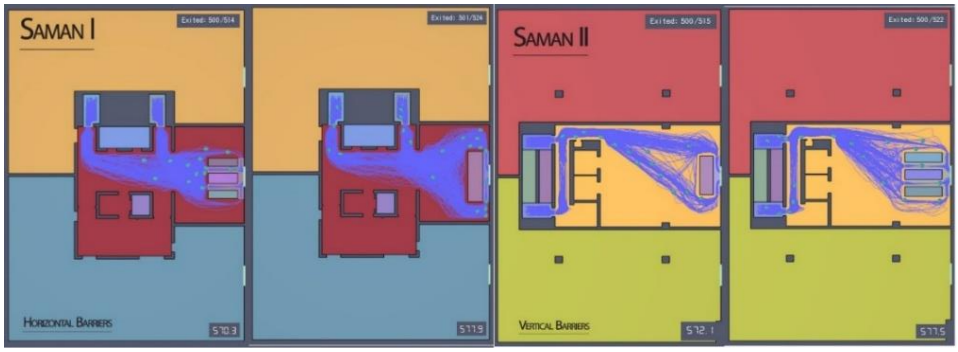
شکل ۹. نحوه حرکت و خروج افراد از لابی STT1 & STT2

نتایج نشان می‌دهد که با اضافه شدن هر مرتبه به میزان ۱۰۰ نفر بار جمعیتی، زمان تخلیه تا بیش از دو دقیقه افزایش می‌یابد. این روند در هر مرحله بار اضافی تقریباً به‌طور ثابت تکرار می‌شود. در شکل ۹، خطوط حرکتی افراد در لابی ۲ ,STT1 نشان داده شده است. زمان تخلیه در لابی STT1 نسبت به STT2 در بارهای مختلفی جمعیتی طولانی‌تر است. هرچقدر تعداد افراد که بیشتر می‌شود این اختلاف زمان نیز بیشتر شده به‌طوری‌که در تخلیه ۱۰۰ نفر S۱۸/۱۶ اختلاف دارند اما در تخلیه ۵۰۰ نفر این اختلاف زمان به S۱۰۵/۲۴ می‌رسد.

در این قسمت در چند حالت موانعی جلوی درب خروجی قرار می‌گیرد. در حالت اول یک مانع به ابعاد ۵*۱/۵ m که از طول در کنار درب خروجی در نظر گرفته می‌شود تا زمان تخلیه افراد باوجود مانع در جلوی درب موردبررسی واقع شود. فاصله مانع با

[Downloaded from jhre.ir on 2026-11-23]
[DOI: https://doi.org/10.22034/45.193.107]

درب خروجی ۰/۶۵ cm است. افراد از دو طرف مانع به سمت در می‌روند. در یک حالت دیگر سه مانع به‌صورت افقی به ابعاد 3*1m کمی بزرگ‌تر از یک برانکارد در جلوی درب ورودی قرار دارد. فرض بر قرارگیری یک تا سه نفر مصدوم در جلوی در خروجی در بدترین حالت ممکن است. این موانع حتی می‌تواند شامل تجهیزات و وسایل آتش‌نشانی و اطفاء حریق باشد. مطابق با تنظیمات قبلی، شبیه‌سازی برای دو حالت با مانع‌های افقی و عمودی انجام می‌شود. موقعیت قرارگیری موانع افقی و عمودی در شکل ۱۰ مشخص شده است. در جدول ۱۵ زمان خروج افراد در تراکم‌های مختلف جمعیتی و نسبت زمانی مشخص از ورود افراد به لابی، مشخص شده است.



شکل ۱۰. خطوط حرکتی افراد در لابی ۲ STT1، باوجود موانع عمودی و افقی

جدول ۱۵. مقادیر زمان خروج بارهای جمعیتی متفاوت از لابی با زمان‌بندی متفاوت ورود افراد از راه‌پله به لابی در STT2

زمان تخلیه لابی با مانع عمودی					
500 Occupants	400 Occupants	300 Occupants	200 Occupants	100 Occupants	Saman I (1,3)
1023/7	817/3	619/1	415/5	217/4	Steering
1022/6	816/4	618/5	415/1	217/2	SFPE
500 Occupants	400 Occupants	300 Occupants	200 Occupants	100 Occupants	Saman I (10,12)
584/3	463/4	355/1	236/8	128/5	Steering
570	459	350/6	237/1	126/1	SFPE
500 Occupants	400 Occupants	300 Occupants	200 Occupants	100 Occupants	Saman II (1,3)
1018/9	820/1	618/5	419/7	220/9	Steering
1017/5	819	617/7	421/9	217/9	SFPE
500 Occupants	400 Occupants	300 Occupants	200 Occupants	100 Occupants	Saman II (10,12)
575/4	461/9	353/3	242/3	131/2	Steering
569/3	457/9	351/7	237/8	131/6	SFPE
زمان تخلیه لابی با موانع افقی					
500 Occupants	400 Occupants	300 Occupants	200 Occupants	100 Occupants	Saman I (1,3)
1015/4	812/3	614/7	414/4	214/1	Steering
1017/8	812	614/5	414/2	214	SFPE
500 Occupants	400 Occupants	300 Occupants	200 Occupants	100 Occupants	Saman I (10,12)
576/6	465/3	354	242/8	129	Steering
563/9	451/1	343/4	233/1	121/1	SFPE
500 Occupants	400 Occupants	300 Occupants	200 Occupants	100 Occupants	Saman II (1,3)
1018/1	819/5	620/8	419/4	220/7	Steering
1016/9	818/4	617/3	418/9	217/7	SFPE
500 Occupants	400 Occupants	300 Occupants	200 Occupants	100 Occupants	Saman II (10,12)
578/3	462/2	351	242/4	131/3	Steering
566/3	458/1	347/3	236/6	125/9	SFPE

منظور از زمان‌بندی S۱/۳ یعنی در زمان S۰/۹۹ بعد از شروع شبیه‌سازی یک نفر از پاگرد پله وارد لابی می‌شود. با گذشت زمان و رسیدن به S۳/۹۹ نفر بعدی وارد می‌شود. برای زمان‌بندی S۱۰/۱۲ نیز در زمان S۹/۹۹ اولین نفر وارد لابی شده و نفر بعدی در S۲۱/۹۹ وارد می‌گردد. در تمامی شرایط، زمان خروج در حالت ورود افراد به لابی با زمان‌بندی S۱/۳ حدود دو برابر

[Downloaded from jhre.ir on 2026-11-23]
[DOI: https://doi.org/10.22034/45.193.107]

زمان‌بندی S۱۰/۱۲ است. این مسئله نشان می‌دهد که عملکرد خروج افراد با وقفه زمانی بیشتر، بهتر خواهد بود. این نتایج بر روی عملکرد مناسب تخلیه مرحله‌ای افراد در سناریو تخلیه کامل از ساختمان، صحه می‌گذارد. در فاز بعدی با تغییر ابعاد درب خروجی زمان تخلیه کامل برای بازه زمانی S۱۰/۱۲ برای ورود افراد به لابی به دست آمده است که در جدول ۱۸ مشخص شده. ابعاد درب در کمترین حالت ۰/۶ m (کمترین میزان برای عبور یک فرد) و در حالت عادی ۱/۸ m در نظر گرفته شده است.

جدول ١٦. زمان خروج افراد با در نظر گرفتن ابعاد مختلف درب خروجی

Door Dimensions					
Saman I (10,12) Steering					
500 Occupants	400 Occupants	300 Occupants	200 Occupants	100 Occupants	Saman I (10,12)
564	454	343/9	232/6	121/1	1.8m
564/4	453/9	343/5	233	122/6	1m
737/2	575/7	428/2	282/8	127/3	0.6m
569/1	457/1	345/1	233/1	122/6	3 doors with dim of 0.6 m
Saman I (10,12) SFPE					
500 Occupants	400 Occupants	300 Occupants	200 Occupants	100 Occupants	Saman I (10,12)
560/6	450/5	340/5	227/5	120/5	1.8m
561/5	452/2	341/5	230/7	121/4	1m
1282	1025/6	772/7	516/3	263/3	0.6m
563/9	453/3	347/1	231/9	122/8	3 doors with dim of 0.6 m
Saman II (10,12) Steering					
500 Occupants	400 Occupants	300 Occupants	200 Occupants	100 Occupants	Saman II (10,12)
572/4	463/7	350/3	241/9	131	1.8m
576	464/3	352/3	242/2	132/5	1m
728/8	573/7	429	279/1	134/4	0.6m
571/5	462/1	350/6	239/1	129/7	3 doors with dim of 0.6 m
Saman II (10,12) SFPE					
500 Occupants	400 Occupants	300 Occupants	200 Occupants	100 Occupants	Saman II (10,12)
566	457/2	346/4	237/7	120/9	1.8m
567/3	457/9	348/5	237/1	125/6	1m
1287/1	1034/1	776/7	523/7	270	0.6m
567/9	458/4	346/8	237/3	127/8	3 doors with dim of 0.6 m

در این قسمت نیز با تغییر دادن ابعاد و تعداد درب‌های خروجی زمان تخلیه محاسبه می‌شود. با در نظر گرفتن عرض ۰/۶ m برای در خروج، پشت در صف ایجاد می‌شود. اختلاف زمانی بین ابعاد 0/6, 1/8m در محاسبات SFPE به 12 دقیقه می‌رسد. خطوط حرکتی و صف ایجادشده از حضور افراد در پشت در لابی در شکل ۱۱ مشخص شده است. اگر تعداد خروجی‌های با عرض 0/6m به سه عدد در فواصل مشخص افزایش پیدا کند در آن صورت زمان خروج با یک درب به عرض 1/8m در وسط جداره نما نزدیک خواهد شد.



شکل ۱۱. مسیرهای حرکت و صف‌بندی افراد پشت در لابی با ابعاد مختلف در و در سمت چپ مسیر حرکتی افراد در STT1,2 با در نظر گرفتن سه درب به ابعاد ٦/٠ متر برای خروج

یافته‌های مرتبط با الگوهای رفتاری ساکنان برج مسکونی سامان

نتایج پرسش‌نامه نشان داد که از حدود ۶۰ نفر پاسخ‌دهنده، ۳۷/۵ درصد زن و ۶۲/۵ درصد مرد بودند. بیشترین پراکندگی سنی پاسخ‌دهندگان با ۶۲/۵ درصد بازه سنی ۵۰ تا ۶۰ سال است. پس‌ازآن بازه ۳۰–۴۰ سال است. ۳۷/۵ درصد تجربه حریق و تخلیه

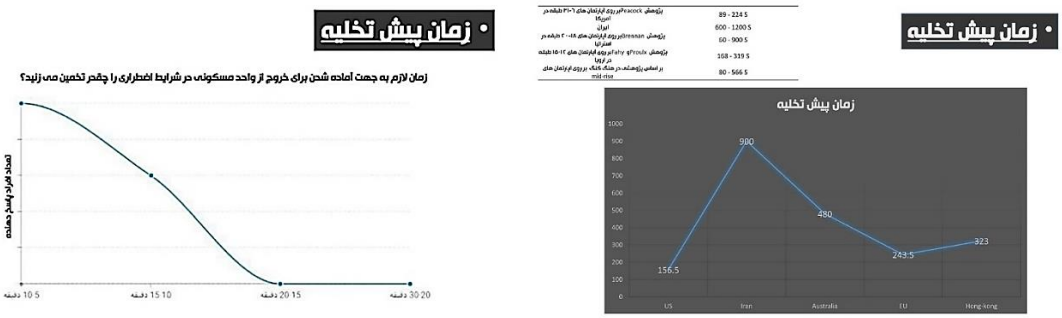
[Downloaded from jhre.ir on 2026-11-23]
[DOI: https://doi.org/10.22034/45.193.107]

اضطراری داشته‌اند و اکثراً اظهار داشتند که آموزشی در خصوص تخلیه اضطراری دریافت نکرده‌اند. ۶۲/۵ درصد pre-evacuation time را چیزی در حدود ۵–۱۰ دقیقه و ۳۷/۵ درصد بین ۵–۱۰ دقیقه تخمین زده‌اند. ۵۰ درصد افراد زمان تخلیه از پله‌ها را در حدود ۵–۱۰ دقیقه پیش‌بینی کردند. ۲۵ درصد افراد این زمان را حدود ۱۰–۱۵ دقیقه و ۱۲/۵ درصد افراد ۱۵–۲۰ دقیقه و ۱۲/۵ درصد دیگر افراد ۲۰–۳۰ دقیقه پیش‌بینی کردند. در خصوص استفاده از آسانسور ۷۵ درصد معتقدند که اگر بالای طبقه ۱۵ ام باشند از آسانسور استفاده می‌کنند و ۲۵ درصد اگر بالای طبقه ۵. ترجیح اکثر افراد یعنی ۸۷/۵ درصد بر این است که بعد از اطلاع از شرایط اضطراری فوراً از واحد مسکونی خارج شوند. ۸۷/۵ درصد افراد اظهار داشته‌اند که برای رفع خستگی بر روی پاگرد پله‌ها توقف خواهند داشت و ۱۲/۵ درصد تمایل دارند تا از دستگاه پله خارج شوند و به یکی از طبقات برای رفع خستگی مراجعه کنند. تنها ۲۵ درصد افراد بعد از خروج از واحد مسکونی تمایل به بازگشت مجدد به واحد را در هنگام فرایند تخلیه ابراز داشته‌اند. مهم‌ترین مسائلی که در سه حوزه داخل آپارتمان یا واحد مسکونی، داخل ساختمان، حرکت بر روی اجزای تخلیه در رفتار ساکنان ساختمان بلند مسکونی در تهران می‌توان نام برد در ذیل آمده است: عدم اعتماد برای ترک واحد مسکونی (جدی نگرفتن علائم هشدار، فقدان آموزش مناسب)، زمان پیش تخلیه زیاد به دلایل فرهنگی (مثل پوشش و جمع‌آوری چیزهای مهم مثل پول و سند)، انتظار در لابی طبقه آپارتمان یا طبقات دیگر برای کسب اطلاعات بیشتر، عدم تمایل به استفاده از آسانسور، در ساختمان‌های مسکونی تمایل به حرکت جمعی (خانوادگی و گروه‌های دوستان و آشنایان) در تمامی فواصل تا تخلیه کامل ساختمان وجود دارد، تجربیات مرتبط با حریق ساختمان‌های بلند مسکونی در ایران کم است، آموزش ناکافی از رسانه‌ها و برگزاری اندک مانورهای با /یا بدون اطلاع قبلی در ساختمان‌های بلند مسکونی، امکان جابه‌جایی بین طبقات ازطریق راه‌پله فرار در زمان تخلیه کامل ساختمان به دلیل آموزش‌های ناکافی رخ می‌دهد، بخشی از افراد تمایل دارند تا بعد از تخلیه کامل ساختمان به واحد مسکونی خود جهت برداشتن وسایل جامانده بازگردند یا تا اتمام کامل اطفاء حریق صبر نمی‌کنند، امکان ایجاد ازدحام در لابی به دلیل ترک نکردن محل وقوع حادثه و کنجکاوی یا عدم اعتماد به مسئولان ذی‌ربط برای حل مسئله. در شکل‌های زیر نتایج ابعاد مختلف تشکیل‌دهنده زمان پیش تخلیه و این زمان در ایران بحث و با نتایج کشورهای دیگر مقایسه شده است.

در شکل ۱۴، مدل توسعه‌یافته تصمیم‌گیری در مورد اقدامات حفاظتی مطابق با یافته‌های مرتبط با ساختمان بلند مسکونی در تهران ایجاد شده است.



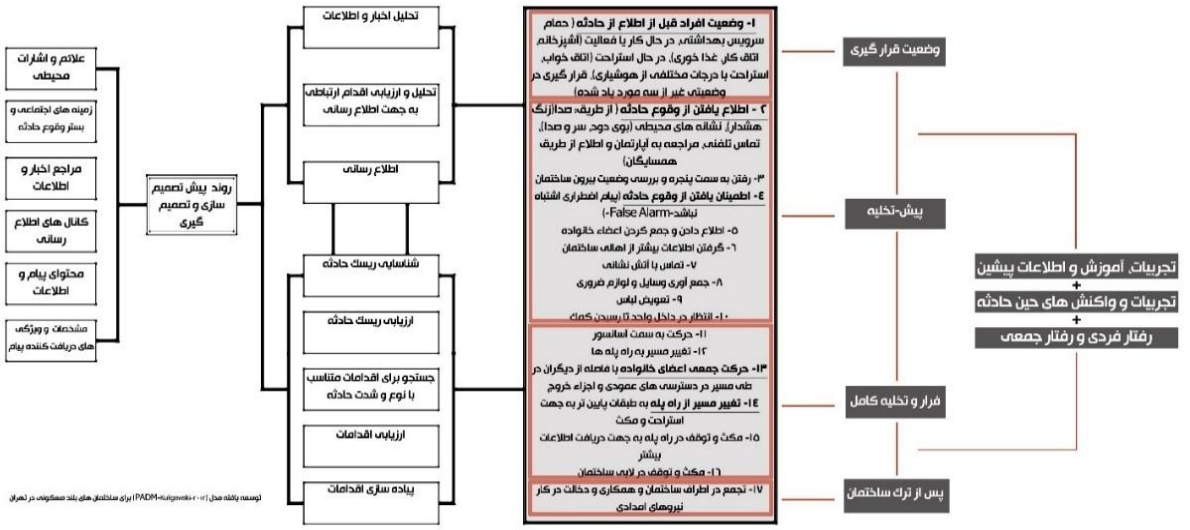
شکل ۱۲. ضرایب فرمول محاسبه زمان پیش تخلیه حاصل‌شده از روابط بالا برای ایران



شکل ۱۳. مقایسه زمان پیش‌تخلیه در ایران و جهان و زمان تخمین زده‌شده توسط افراد در پرسش‌نامه

[Downloaded from jhre.ir on 2026-11-23]

[DOI: https://doi.org/10.22034/45.193.107]



شکل ۱۴. مدل توسعه‌یافته تصمیم‌گیری در مورد اقدامات حفاظتی برای ساختمان بلند مسکونی در تهران

نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش را می‌توان در سه حوزه طبقه‌بندی کرد. قسمت اول در خصوص مبانی طراحی مبتنی بر عملکرد است که در این خصوص به تبیین مؤلفه‌ها و متغیرهای مؤثر بر نحوه جمع‌آوری داده‌ها و شبیه‌سازی ایجاد سناریوهای مختلف و ارائه چهارچوبی برای تحلیل داده‌ها برای حل مسائل مرتبط با تخلیه اضطراری ساختمان بلند پرداخته شد. همچنین مؤلفه‌های مؤثر بر تحلیل الگوهای رفتاری در فرایند تخلیه ساختمان بلند مسکونی ارائه گردید. به‌منظور هرچه نزدیک‌تر کردن شبیه‌سازی به واقعیت با استفاده از منطق فازی به‌صورت ابتکاری، سرعت حرکت افراد باتوجه‌به مشخصات فیزیکی آن‌ها به دست آمد. قسمت دوم با استفاده از پرسش‌نامه، مصاحبه، مشاهدات میدانی و انجام مانور، زمان پیش تخلیه و الگوهای رفتاری ساکنان به دست آمد. ضرایب مرتبط با فرمول تعیین زمان پیش تخلیه برای ایران تعیین شد و به دلیل آموزش‌های ناکافی، تجربیات کم در خصوص انجام مانورهای مختلف و آمادگی لازم و مسائلی از قبیل فرهنگ پوشش، این زمان به‌مراتب بالاتر از تجربیات صورت گرفته در دیگر کشورها است. از دیگر نتایج قسمت اول نیز می‌توان به ایجاد و توسعه مدل تصمیم‌گیری در مورد اقدامات حفاظتی برای ساختمان بلند مسکونی در تهران اشاره کرد. این مدل برای پژوهش‌های آتی می‌تواند راهگشا باشد و جهت ارزیابی و محاسبه مسائلی همچون زمان‌های مختلف پیش تخلیه و زمان فرار و تخلیه کامل مورداستفاده قرار گیرد. در قسمت سوم به بررسی اجزای مختلف دسترسی‌های عمودی و افقی خروج اضطراری ساختمان بلند مسکونی و عملکرد آن‌ها در هنگام تخلیه با در نظر گرفتن الگوهای مختلف رفتاری بررسی شد. نتایج نشان می‌دهد که:

- عدم دریافت آموزش و تجربیات اندک در خصوص نحوه برخورد با مسئله تخلیه
- تمایل به تغییر مسیر ناگهانی در هنگام خروج اضطراری، حرکت رو به عقب روی پله‌ها
- تمایل به حرکت جمعی به‌صورت گروه‌های خانوادگی، همسایگی و چند نفره در راه‌پله‌ها و مسیرهای خروج
- استراحت و توقف در طبقات و پاگرد پله‌ها
- افراد در حالت گروه‌های چند نفری در مقایسه با حالت حرکت انفرادی دیرتر تخلیه می‌شوند.
- خروج افراد با ایجاد وقفه زمانی بهتر خواهد بود. تخلیه مرحله‌ای افراد نسبت به تخلیه کامل ارجحیت دارد.

نتایج نشان داد که وجود درب‌های متعدد بهتر از یک در بزرگ برای تخلیه بار جمعیتی بالا است. همچنین وجود فواصل زمانی متناوب جهت تخلیه افراد، سرعت و کیفیت تخلیه را بهبود می‌بخشد که نمایانگر اهمیت تخلیه مرحله‌ای نسبت به سناریوی تخلیه کامل است. از دیگر نتایج به‌دست‌آمده در خصوص شبیه‌سازی عملکرد اجزای تخلیه در لابی ساختمان بلند و

[Downloaded from jhre.ir on 2026-11-23]
[DOI: https://doi.org/10.22034/45.193.107]

درهای خروج می‌توان به این نکته اشاره کرد که وجود یک کریدور و لابی آسانسور باعث کاهش سرعت تخلیه می‌شود. در خصوص پله‌های قیچی نتایج نشان داد که کارایی بالایی دارند، به‌طوری‌که بین ۴۰ تا ۵۰ درصد از زمان تخلیه کاسته می‌شود. درنهایت نتایج نشان می‌دهد که اکتفا کردن به مقررات ملی ساختمان کافی نیست و باید الگوهای رفتاری استفاده‌کنندگان از بنا و مشخصات و ویژگی‌های خاص هر ساختمان موردتوجه قرار گیرد.

[Downloaded from jhre.ir on 2026-11-23]

[DOI: https://doi.org/10.22034/45.193.107]

References

[URL1] The most important safety defects of Tehran towers, https://www.eghtesadnews.com/fa/tiny/news-161049, Accessed: July, 2026.

Alianto, B., & Nugroho, Y. S. (2022). Numerical Study on the Effect of Single and Multi-injection Pressurized Fan in Enclosed Stairwell of High-Rise Building. *In Sustainable Architecture and Building Environment* (pp. 99-105). Springer, Singapore. https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-981-16-2329-5_12

Almejmaj, M., Meacham, B. J. & Skorinko, J. (January 2014), "The Effects of Cultural Differences between the West and Saudi Arabia on Emergency Evacuation - Clothing Effects on Walking Speed," *Fire and Materials*, vol. 39, no. 4, pp. 353–370, 21. https://ur.booksc.org/book/23643006/28467b

Arzhangi, S. (2019). Towards an Operational Framework of Crowd Evacuation Simulation in Historic Bazaars in Fire Disasters. *Soffeh*, *29*(3), 101-119. doi: 10.29252/soffeh.29.3.101 .(In Persian)

Bilyaz, S., Buffington, T., & Ezekoye, O. A. (2021). The effect of fire location and the reverse stack on fire smoke transport in high-rise buildings. *Fire Safety Journal*, 126, 103446. https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2021.103446

Boyce, K.E., Shields, T.J., Silcock, G.W.H. (1999) Toward the characterization of building occupancies for fire safety engineering: capabilities of disabled people moving horizontally and on an incline. *Fire Technology*; 35:51–67. https://link.springer.com/article/10.1023/A:1015339216366

Brennan, P. (1997). Timing human response in real fires. *Fire Safety Science*, *5*, 807-818. https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.905.6473&rep=rep1&type=pdf

Bryan, J. L. (1957). *A Study of the Survivors Reports on the Panic in the Fire at the Arundel Park Hall in Brooklyn*, Maryland on January 29, 1956. University of Maryland.

Bryan, J. L. (1999). Human behaviour in fire: the development and maturity of a scholarly study area. *Fire and Materials*, *23*(6), 249-253. https://doi.org/10.1002/(SICI)1099-1018(199911/12)23:6%3C249::AID-FAM696%3E3.0.CO;2-K

Craig, W. R. (1999) *"Steering Behaviors for Autonomous Characters." Proceedings of the Game Developers Conference*, Miller Freeman Game Group, San Francisco, California, pp. 763-782. https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.86.636&rep=rep1&type=pdf

Fahy, R.F., Proulx, G. (2001). towards creating a database on delay times to start evacuation and walking speeds for use in evacuation modeling. In: *Proceedings of the second international symposium on human behavior in fire*, 26/28 March 2001, Massachusetts Institute of Technology, USA. Interscience Communications (London, UK), pp175– 179. https://www.researchgate.net/profile/Rita_Fahy/publication/44082840_Toward_creating_a_database_on_delay_times_to_start_evacuation_and_walking_speeds_for_use_in_evacuation_modeling/links/5968c687aca2728ca67be538/Toward-creating-a-database-on-delay-times-to-start-evacuation-and-walking-speeds-for-use-in-evacuation-modeling.pdf

Fang, Z. M., Song, W. G., Li, Z. J., Tian, W., Lv, W., Ma, J., & Xiao, X. (2012). Experimental study on evacuation process in a stairwell of a high-rise building. *Building and environment*, *47*, 316-321.

Fruin, J. J. (1970). Designing for pedestrians a level of service concept. Polytechnic University. https://onlinepubs.trb.org/Onlinepubs/hrr/1971/355/355-001.pdf.

Fruin, J. J. (1971). *Pedestrian planning and design* (No. 206 pp).

Fujiyama, T., & Tyler, N. (2004). *Pedestrian speeds on stairs: an initial step for a simulation model*. https://discovery.ucl.ac.uk/id/eprint/1241

Gutierrez-Montes, C., Rein, G., Sanmiguel-Rojas, E., Viedma, A. (2009). Smoke and fire dynamics in atria and large enclosures: An overview. In: Soggard I, Krogh H (eds), *Fire Safety*. Hauppauge, NY, USA: Nova Science Publishers. http://hdl.handle.net/10317/8417

Gutierrez-Montes, C., Sanmiguel-Rojas, E., Kaiser, A.S., Viedma, A. (2008). Numerical model and validation experiments of atrium enclosure fire in a new fire test facility. *Building and Environment*, 43: 1912–1928. https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2007.11.010

Habibian, M., Givehchi, S. (2025). Modeling and providing a model to examine the challenges of

[Downloaded from jhre.ir on 2026-11-23]

[DOI: https://doi.org/10.22034/45.193.107]

relief organizations before and after a crisis. *JHRE*. 44 (191), 101-114. doi: https://doi.org/10.22034/44.191.101 (In Persian)

Hart, P. E., Nilsson, N. J., Raphael, B. (1968). A Formal Basis for the Heuristic Determination of Minimum Cost Paths. *IEEE Transactions on Systems Science and Cybernetics (SSCA)*. SSC-4 (2). pp. 100-107. https://doi.org/10.1109/TSSC.1968.300136

Heni Ben Amor, Jan Murray, and Oliver Obst, "Fast, Neat, and Under Control: Arbitrating Between Steering Behaviors," *AI Game Programming Wisdom 3*, ed. S. Rabin. pp. 221-232. https://lup.lub.lu.se/student-papers/search/publication/4522757

Jönsson, A., Andersson, J., & Nilsson, D. (2012). A risk perception analysis of elevator evacuation in high-rise buildings. In *Fifth International Symposium on Human Behaviour in Fire* (pp. 398-410). Interscience Publications.

Lee, D., Kim, H., Park, J.H., Park, B.J. (2003). The current status and future issue in human evacuation from ships. *Safety Science* 2003; 41:861–76. https://doi.org/10.1016/S0925-7535(02)00046-2

Li, Y.Q. (2004). Building fire protection engineering. Beijing: Chemistry Industry Press.

Ma, J., Song, W. G., Tian, W., Lo, S. M., & Liao, G. X. (2012). Experimental study on an ultra high-rise building evacuation in China. *Safety science*, *50*(8), 1665-1674. https://doi.org/10.1016/j.ssci.2011.12.018

Ma, Y., Li, L., Zhang, H., & Chen, T. (2017). Experimental study on small group behavior and crowd dynamics in a tall office building evacuation. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 473, 488-500. https://doi.org/10.1016/j.physa.2017.01.032

Mirsaeedie L, Shamsi A. Identifying the Effective Factors on Emergency Evacuation the Buildings in the case of Fire. Disaster Prev. Manag. Know. 2018; 8 (1) :42-53 URL: http://dpmk.ir/article-1-171-fa.html (In Persian)

Mirsaeedie, L., Shamsi, A. (2018) Identifying the Effective Factors on Emergency Evacuation the Buildings in the case of Fire. *Disaster Prev. Manag. Know*. 2018; 8 (1): 42-53. (In Persian)

National Research Council. (2006). Facing hazards and disasters: Understanding human dimensions. National Academies Press.

Nelson, H. E., & Mowrer, F. W. (2002). "*Emergency Movement.*" The SFPE Handbook of Fire Protection Engineering Ed. DiNenno, P., and Walton, D. W. National Fire Protection Association 2002. 3-367 - 3-380. https://ci.nii.ac.jp/naid/20001554261/

Nguyen, K. T. Q., Mendis, P., & Fernando, S. (2019). Novel modelling approach for evacuation strategies of tall towers-A case study of Lotus Tower. Journal of Building Engineering, 25, 100763. https://doi.org/10.1016/j.jobe.2019.100763

Ozkaya, A. (2001). "A Qualitative Approach to Children of Developing Countries from Human Behaviour in Fire Aspect," in *Proceeding of the Second International Symposium on Human Behaviour in Fire*, London, U.K. http://karina.gen.tr/Files/ChildrenBehaviourInFire.pdf

Peacock, R. D., Hoskins, B. L., & Kuligowski, E. D. (2012). Overall and local movement speeds during fire drill evacuations in buildings up to 31 stories. *Safety Science*, *50*(8), 1655-1664. https://doi.org/10.1016/j.ssci.2012.01.003

Pelechano, N., & Malkawi, A. (2008). Evacuation simulation models: Challenges in modeling high rise building evacuation with cellular automata approaches. *Automation in construction*, *17*(4), 377-385. https://doi.org/10.1016/j.autcon.2007.06.005

Peng, L., Ni, Z., & Huang, X. (2013). Review on the fire safety of exterior wall claddings in high-rise buildings in China. *Procedia Engineering*, 62, 663-670. https://doi.org/10.1016/j.proeng.2013.08.112

Pourhosseini, Samira, Rabiei, Ali (2017), "*Crisis Management, Concepts, Patterns and Planning Methods in Natural Disasters*", Tisa Publications. (In Persian)

Proulx, G. (1994, October). T*he time delay to start evacuating upon hearing a fire alarm. In Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting* (Vol. 38, No. 14, pp. 811-815). Sage CA: Los Angeles, CA: SAGE Publications.

[Downloaded from jhre.ir on 2026-11-23]

[DOI: https://doi.org/10.22034/45.193.107]

https://doi.org/10.1177%2F154193129403801403

Proulx, G. (1995). Evacuation time and movement in apartment buildings. *Fire safety journal*, *24*(3), 229-246. https://doi.org/10.1016/0379-7112(95)00023-M

Proulx, G., & Fahy, R. F. (1997). The time delay to start evacuation: review of five case studies. *Fire Safety Science*, *5*, 783-794. https://web.archive.org/web/20180721073702id_/http://www.iafss.org/publications/fss/5/783/view/fss_5-783.pdf

Ronchi, E., Kuligowski, E. D., Reneke, P. A., Peacock, R. D., & Nilsson, D. (2013). "The Process of Verification and Validation of Building Fire Evacuation Models," *National Institute of Standards and Technology*, Gaithersburg, MD. https://doi.org/10.6028/NIST.TN.1822

Shields, T. J., Boyce, K. E., & McConnell, N. (2009). The behaviour and evacuation experiences of WTC 9/11 evacuees with self-designated mobility impairments. *Fire Safety Journal*, 44(6), 881-893. https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2009.04.004

Shields, T.J., Boyce, K.E. (2000). A study of evacuation from large retail stores. *Fire Safety Journal* 2000; 35:25–49.

Sime, J. D. (1995). Crowd psychology and engineering. *Safety science*, *21*(1), 1-14. https://doi.org/10.1016/0925-7535(96)81011-3

Smedberg, E., Carlsson, G., Gefenaite, G., Slaug, B., Schmidt, S. M., & Ronchi, E. (2021). Perspectives on egressibility of older people with functional limitations. *Fire Safety Journal*, 103509. https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2021.103509

Smedberg, E., Kinsey, M., & Ronchi, E. (2021). Multifactor Variance Assessment for Determining the Number of Repeat Simulation Runs in Evacuation Modelling. *Fire Technology*, 1-27. https://doi.org/10.1007/s10694-021-01134-w

Society of Fire Protection Engineers. (2019). *SFPE Guide to Human Behavior in Fire*. Springer International Publishing. https://www.springer.com/gp/book/9783319946962

Soltanzadeh, A., Alaghmandan, M., & Soltanzadeh, H. (2018). Performance evaluation of refuge floors in combination with egress components in high-rise buildings. *Journal of Building Engineering*, *19*, 519-529. https://doi.org/10.1016/j.jobe.2018.05.029

Soltanzadeh, A., Mazaherian, H., & Heidari, S. (2021). Optimal Solutions to Vertical Access Placement Design in Residential High-Rise Buildings Based on Human Behavior. *Journal of Building Engineering*, 102856. https://doi.org/10.1016/j.jobe.2021.102856

Soltanzadeh, A., Mazaherian, H., & Heidari, S. (2023). The effects of cultural behavior on the evacuation of the first residential towers built in Iran (case study: Saman twin towers from the 1970s in Tehran). *Journal of Building Engineering*, *76*, 107231. https://doi.org/10.1016/j.jobe.2023.107231

Soltanzadeh, A., Mazaherian, H., Heidari, S., & Andaji, A. (2021). Placing Egress Components and Smoke Shafts in the Core Structure of Residential High-rise Buildings for Emergency Evacuation. *Space Ontology International Journal*, 10(1), 21-30. https://dx.doi.org/10.22094/soij.2021.1923540.1404

Suganthi, L., Iniyan, S., & Samuel, A. A. (2015). Applications of fuzzy logic in renewable energy systems–a review. *Renewable and sustainable energy reviews*, *48*, 585-607. https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.04.037

The American Institute of Aeronautics and Astronautics, "*AIAA Guide for the Verification and Validation of Computational Fluid Dynamics Simulations*," Reston, VA, 1998. ISBN 1-56347-285-6. https://doi.org/10.2514/4.472855.001

Tsuchiya, S., Hasemi, Y. (2007). Evacuation characteristics of group with wheel chair users. *In: Proceedings of 7th Asia-Oceania Symposium*, Hong Kong. https://www.iafss.org/publications/aofst/7/117/

Varalakshmi, V., Suseela, T.N., Sundaram, T.G.G., Ezhilarasi, T.S., Indrani, T.B. (2004). Statistics Higher Secondary – First Year. https://docplayer.net/3467441- Statistics-higher-secondary-first-year-untouchability-is- a-sin-untouchability-is-a-crime-untouchability-is- inhuman.html, accessed

[Downloaded from jhre.ir on 2026-11-23]

[DOI: https://doi.org/10.22034/45.193.107]

on 2 May 2019. https://doi.org/10.48550/arXiv.1912.01629

White, N., Delichatsios, M., Ahrens, M., & Kimball, A. (2013). Fire hazards of exterior wall assemblies containing combustible components. In *MATEC Web of Conferences* (Vol. 9, p. 02005). *EDP Sciences*. http://theriveroflife.com/wp-content/plugins/White-Delichatsios-RF-Fire-Hazards-of-ExteriorWallAssembliesContainingCombustibleComponents.pdf

Xing, Z., & Tang, Y. (2012). Simulation of fire and evacuation in high-rise building. *Procedia Engineering*, *45*, 705-709. https://doi.org/10.1016/j.proeng.2012.08.227

DOI: https://doi.org/10.22034/45.193.107

[Downloaded from jhre.ir on 2026-11-23]

[DOI: https://doi.org/10.22034/45.193.107]