



Investigating of Policies of the Use of Tehran Metro Stations Capacity as Emergency Shelters with a Crowd Management Approach

Solmaz Arzhangi^{1*} | Masoud Naddafan²

1. Corresponding Author, Ph.D, Department of landscape architecture and reconstruction, faculty of architecture and urban planning, Shahid Beheshti University (SBU), Tehran, Iran. Email: s_arzhanghi@sbu.ac.ir

2. Head of Tehran Municipality Institute of Applied Science and University Lecturer, Tehran, Iran. Email: M.naddaffan@gmail.com

ARTICLE INFO

Article type:
Research Paper

Article History:

Received 05 April 2025

Revised 05 May 2025

Accepted 01 July 2025

Published Online 11 September 2025

Keywords:

Tehran Metro,
Crowd Management,
Emergency Shelter,
DIM-ICE,
Safety.

ABSTRACT

Due to its underground location and robust structure, the metro has a high capacity to become a safe shelter in critical situations such as military attacks or natural disasters. However, the effective exploitation of this potential has faced several challenges, including difficulties in managing crowding, lack of health facilities, and safety restrictions. On the other hand, the metro, as one of the main pillars of the public transportation system in a metropolis like Tehran, plays a vital role in reducing traffic congestion and facilitating the movement of citizens. However, this same important function can become a threatening factor in times of crisis and with an unexpected increase in the number of individuals; because severe congestion in stations not only jeopardizes the safety of these spaces, but also significantly increases the likelihood of unfortunate accidents due to crowding. Focusing on the feasibility of using Tehran metro stations as emergency shelters with a crowd management approach, this research seeks to assess existing capacities and provide practical solutions to optimize metro performance in crisis situations. The main research questions include examining the structural and operational readiness of stations, identifying crowd management challenges, and providing solutions to improve safety and efficiency. The innovation of the research lies in combining passive defense analysis with intelligent crowd management and applying the DIM-ICE analytical method to assess crowding challenges. The findings of this study can help urban policymakers in planning to improve metro safety and reduce the risks of crowding in crisis situations.

Cite this article: Arzhanghi, S. & Naddafan, M. (2026). Investigating of Policies of the Use of Tehran Metro Stations Capacity as Emergency Shelters with a Crowd Management Approach. *Urban Development Policy Making*, 2 (4), 491-509. DOI: <http://doi.org/10.22034/judpm.2025.535569.1055>



© Solmaz Arzhanghi, Masoud Naddafan

DOI: <http://doi.org/10.22034/judpm.2025.535569.1055>

Introduction

As a public transport infrastructure with its own characteristics, the metro has a high potential to become a safe haven in crisis situations. These characteristics make the metro a suitable option for citizens to take refuge in emergencies, especially when other places are at serious risk. However, challenges such as crowd management and provision of health and safety facilities can become serious problems in crisis situations.

Methodology

This research uses qualitative analytical methods and field observations to investigate the structural and operational readiness of metro stations in Tehran. It also uses the DIM-ICE method to identify and

assess the challenges caused by crowd congestion. By analyzing the collected data, solutions for crowd management and improving safety and efficiency are presented.

Results

The results of this study show that metro stations are structurally and operationally challenging to use as emergency shelters, and there is a need for improvements in crowd management and safety resourcing. Also, smart solutions are proposed to optimize metro performance in crisis situations as emergency shelters.

Conclusion

This research identifies the weaknesses and challenges of metro systems specifically in Tehran and provides solutions to improve their performance in crisis situations as emergency shelters. The results of this study can help plan for increasing metro safety and provide models for other metropolises seeking to improve their infrastructure in the face of crises.



بررسی سیاست‌های استفاده از ظرفیت ایستگاه‌های متروی تهران به عنوان پناهگاه با رویکرد مدیریت ازدحام جمعیت

سولماز ارژنگی^{۱*} | مسعود ندافان^۲

۱. نویسنده مسئول، دکتری معماری، دانشکده معماری و شهرسازی، گروه معماری منظر و بازسازی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران. رایانامه: s_arzhangi@sbu.ac.ir

۲. سرپرست مؤسسه آموزش عالی علمی - کاربردی شهرداری تهران و مدرس دانشگاه، تهران، ایران. رایانامه: M.naddaffan@gmail.com

اطلاعات مقاله

چکیده

نوع مقاله:

پژوهشی

تاریخ‌های مقاله:

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۱/۱۶

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۰۲/۱۵

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۳/۱۱

تاریخ انتشار: ۱۴۰۴/۰۶/۲۰

کلیدواژه:

متروی تهران،

مدیریت ازدحام جمعیت،

پناهگاه اضطراری،

DIM-ICE

ایمنی.

مترو به دلیل موقعیت زیرزمینی و ساختار مقاوم خود، از ظرفیت بالایی برای تبدیل شدن به پناهگاهی امن در شرایط بحرانی نظیر حملات نظامی یا سوانح طبیعی برخوردار است. با این حال، بهره‌برداری مؤثر از این پتانسیل با چالش‌های متعددی از جمله دشواری‌های مدیریت ازدحام جمعیت، کمبود امکانات بهداشتی و محدودیت‌های ایمنی روبه‌رو بوده است. از سوی دیگر، مترو به عنوان یکی از ارکان اصلی سیستم حمل‌ونقل عمومی در کلان‌شهری مانند تهران، نقش حیاتی در کاهش تراکم ترافیک و تسهیل جابه‌جایی شهروندان ایفا می‌کند. اما همین کارکرد مهم در مواقع بحرانی و با افزایش غیرمنتظره تعداد مسافران، می‌تواند به عاملی تهدیدکننده تبدیل شود؛ چرا که ازدحام شدید در ایستگاه‌ها نه تنها ایمنی این فضاها را به خطر می‌اندازد، بلکه احتمال بروز سوانح ناگوار ناشی از تراکم جمعیت را به میزان قابل توجهی افزایش می‌دهد. این پژوهش با تمرکز بر امکان‌سنجی استفاده از ایستگاه‌های متروی تهران به عنوان پناهگاه اضطراری با رویکرد مدیریت ازدحام جمعیت، به دنبال ارزیابی ظرفیت‌های موجود و ارائه راهکارهای عملی برای بهینه‌سازی عملکرد مترو در شرایط بحران است. پرسش‌های اصلی پژوهش شامل بررسی میزان آمادگی ایستگاه‌ها از نظر ساختاری و عملیاتی، شناسایی چالش‌های مدیریت ازدحام، و ارائه راهکارهای بهبود ایمنی و کارایی می‌شود. نوآوری پژوهش در ترکیب تحلیل پدافند غیرعامل با مدیریت هوشمند ازدحام و به‌کارگیری روش تحلیلی DIM-ICE برای ارزیابی چالش‌های تراکم جمعیتی است. یافته‌های این مطالعه می‌تواند به سیاست‌گذاران شهری در برنامه‌ریزی برای ارتقای ایمنی مترو و کاهش مخاطرات ناشی از ازدحام در شرایط بحرانی کمک کند.

استناد: ارژنگی، سولماز و ندافان، مسعود (۱۴۰۴). بررسی سیاست‌های استفاده از ظرفیت ایستگاه‌های متروی تهران به عنوان پناهگاه با رویکرد مدیریت ازدحام جمعیت. *سیاستگذاری پیشرفت شهری*، ۲(۴) ۴۹۱-۵۰۹.

DOI: <http://doi.org/10.22034/judpm.2025.535569.1055>

© سولماز ارژنگی، مسعود ندافان

DOI: <http://doi.org/10.22034/judpm.2025.535569.1055>



۱. مقدمه

مترو یکی از زیرساخت‌های مهم شهری است که به واسطه تسریع و تسهیل حمل‌ونقل، نقشی حیاتی و بنیادی را در شهرها ایفا می‌کند. تحقیقات اخیر بر اهمیت زیرساخت‌های زیرزمینی شهری برای حفاظت از غیرنظامیان طی درگیری‌ها تأکید می‌کند. ایستگاه‌های مترو ثابت کرده‌اند که پناهگاه‌های قابل اعتمادی هستند و شرایط بهتری نسبت به پناهگاه‌های سنتی بمب ارائه می‌دهند [۱]، اما تصمیم‌گیری‌ها همواره نمی‌توانند به موفقیت منجر شوند. از قدیمی‌ترین ایستگاه‌هایی که تصمیم گرفته شد به عنوان پناهگاه از آن استفاده شود، ایستگاه متروی ورشو لهستان است. سیستم متروی ورشو طی جنگ سرد با هدف دوگانه طراحی شد: حمل‌ونقل عمومی و پناهگاه جنگی. در مرحله اول، مترو نمادی از مدرنیته لهستان تازه‌استقلال یافته بود، اما در مرحله دوم، با پارانویای جنگ سرد، تونل‌های عمیق برای استفاده به عنوان پناهگاه هسته‌ای طراحی شدند. محدودیت‌های زمین‌شناسی پیشرفت را متوقف کرد و سلطه سیاسی، مانند کاخ فرهنگ و علم استالین، بر پروژه تأثیر گذاشت. پس از سرکوب جنبش همبستگی و با حمایت برژنف، پروژه در دهه ۱۹۸۰ احیا شد، اما خط اول مترو پس از کمونیسم و با کمک مالی اتحادیه اروپا افتتاح شد. این خطوط کم‌عمق، به خلاف طرح اولیه، عملکرد پناهگاه نداشتند. متروی ورشو روایتی از جاه‌طلبی‌های متوقف‌شده، تحت تأثیر استراتژی‌های نظامی و ژئوپلیتیک، و نمادی از آرمان‌های مدرنیته و ملی‌گرایی لهستان است [۲]. از دیگر سو، اقامت طولانی‌مدت در این فضاها می‌تواند چالش‌برانگیز باشد و نیاز به بهبود امکانات را افزایش می‌دهد [۱ و ۳]. یکی از نقدهای مهمی که بر این رویکرد گرفته می‌شود، این است که هرچند ایستگاه‌های مترو و مراکز خرید زیرزمینی می‌توانند به عنوان پناهگاه‌های غیرنظامیان جنگی مورد استفاده قرار گیرند، اما استفاده طولانی‌مدت از آن‌ها مستلزم رسیدگی به مسائل بهداشتی و سایر موارد است [۴]. با وجود آنکه ایستگاه‌های مترو ممکن است از نظر مقاومت سازه‌ای و عمق مورد نیاز برای مقابله با حملات موشکی و جنگی به‌خوبی مناسب‌سازی شده باشند، یکی از موضوعات مهمی که هنگام استفاده از این فضاها به عنوان محل پناهگیری باید مورد توجه قرار گیرد، مدیریت ازدحام جمعیت است. بی‌توجهی به این مقوله، به‌ویژه در بافت‌های متراکم شهری، می‌تواند خطر بروز آسیب به افراد در فرایند پناهگیری را افزایش دهد و حتی تمام اقدامات انجام‌شده برای تبدیل ایستگاه‌های مترو به پناهگاه را بی‌اثر کند.

سیستم حمل‌ونقل عمومی در کلان‌شهرهایی مانند تهران، به دلیل جمعیت بالای آن، اهمیت بیشتری پیدا می‌کند. در تهران، مترو به عنوان یک راه‌حل مؤثر برای کاهش ترافیک و تسهیل دسترسی به دورترین نقاط شهر، همواره مورد استقبال شهروندان قرار می‌گیرد. به طوری که در بیشتر ساعت‌های روز، به‌ویژه در ساعت‌های اوج تردد، ایستگاه‌های مترو با ازدحام شدید و تراکم جمعیتی بالایی مواجه می‌شوند. این موضوع نشان‌دهنده اهمیت مترو به عنوان یکی از ارکان اصلی حمل‌ونقل عمومی در تهران است. با این حال، بررسی روزهای ویژه سال، به‌ویژه روزهایی که تقاضای حمل‌ونقل عمومی به طور غیرمعمولی افزایش می‌یابد، بیانگر این نکته است که ازدحام بسیار زیاد، سطح ایمنی در ایستگاه‌های مترو را به شدت کاهش می‌دهد. در این شرایط، ریسک بروز سوانح ناشی از ازدحام جمعیت افزایش می‌یابد و می‌تواند به حوادث ناگوار منجر شود. به عنوان مثال، در مواقعی که تعداد مسافران به طرز غیرمنتظره‌ای افزایش می‌یابد، عدم توانایی در مدیریت جمعیت می‌تواند مشکلاتی مانند فشار جسمی بر افراد، اضطراب و حتی آسیب‌های فیزیکی را به همراه داشته باشد.

از دیگر سو، در شرایط بحرانی مانند جنگ، حملات موشکی یا سوانح طبیعی، نیاز به پناهگاه‌های امن و قابل دسترس برای حفاظت از جان شهروندان بیش از پیش اهمیت می‌یابد. شهر تهران، به عنوان پایتخت ایران و یکی از کلان‌شهرهای پرجمعیت خاورمیانه، با چالش‌های متعددی در زمینه مدیریت بحران مواجه است. متروی تهران، با شبکه گسترده‌ای شامل ۷ خط فعال و ۱۶۰ ایستگاه، روزانه بیش از ۲/۵ میلیون نفر را جابه‌جا می‌کند و به دلیل موقعیت زیرزمینی و ساختار نسبتاً مقاوم خود، پتانسیل بالایی برای استفاده به عنوان پناهگاه در شرایط اضطراری برخوردار است. با این حال، در کنار مسئله مقاومت سازه‌ای که باید به طور کارشناسی مورد بررسی قرار بگیرد، استفاده از ایستگاه‌های مترو به عنوان پناهگاه با چالش‌هایی نظیر مدیریت ازدحام جمعیت، کمبود امکانات بهداشتی و محدودیت‌های ایمنی همراه است. این پژوهش با تمرکز بر امکان‌سنجی استفاده از ایستگاه‌های متروی تهران به عنوان پناهگاه در شرایط بحرانی و با رویکرد مدیریت ازدحام جمعیت، به دنبال ارائه راهکارهایی برای مناسب‌سازی این زیرساخت‌ها در راستای پدافند غیرعامل و مدیریت بحران است و با هدف بررسی وضعیت ایستگاه‌های

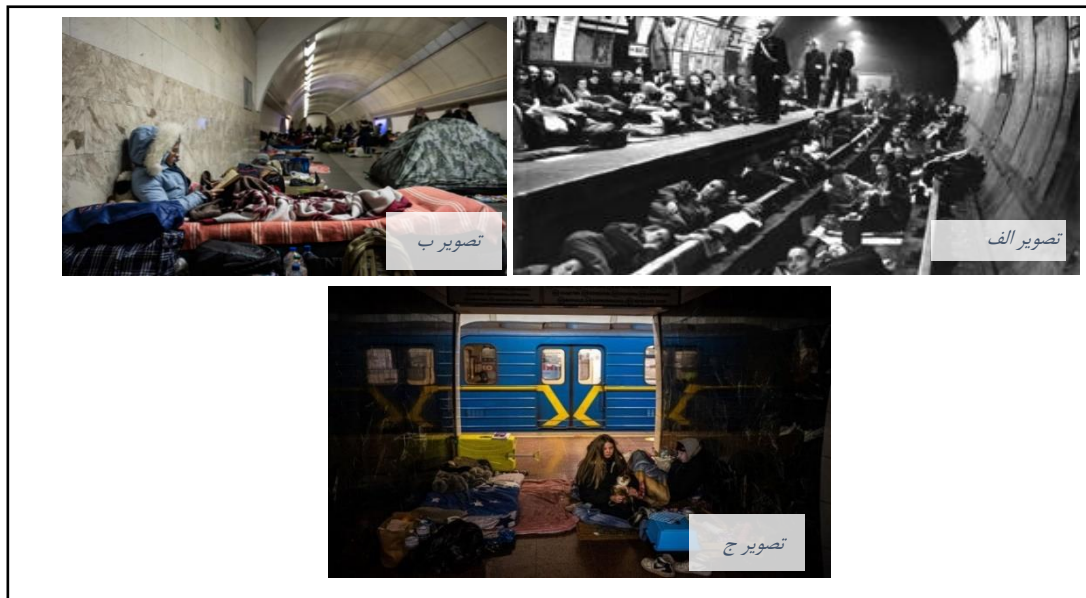
مترو تهران از منظر مدیریت ازدحام جمعیت در شرایط پناهگیری انجام شده است. بنابراین، هدف اصلی این پژوهش، ارزیابی ظرفیت‌های ایستگاه‌های مترو تهران برای استفاده به عنوان پناهگاه در شرایط بحرانی و ارائه راهکارهای عملی برای کاهش خطرات ناشی از ازدحام جمعیت هنگام پناهگیری است. در راستای هدف تبیین شده، پرسش‌های زیر تعریف می‌شود:

- ایستگاه‌های متروی تهران تا چه حد از نظر ساختاری و عملیاتی برای استفاده به عنوان پناهگاه در شرایط بحرانی مناسب هستند؟
- چه چالش‌هایی در مدیریت ازدحام جمعیت در ایستگاه‌های مترو به عنوان پناهگاه وجود دارد؟
- چه راهکارهایی برای بهبود ایمنی و کارایی ایستگاه‌های مترو به عنوان پناهگاه می‌توان ارائه داد؟

این مطالعه به دنبال شناسایی قوت‌ها و ضعف‌های زیرساختی و مدیریتی مترو و ارائه پیشنهادهایی برای بهبود عملکرد آن در شرایط اضطراری است. نوآوری این پژوهش در رویکرد یکپارچه آن به بررسی امکان‌سنجی استفاده از مترو به عنوان پناهگاه با تأکید ویژه بر مدیریت ازدحام جمعیت است. به خلاف مطالعات پیشین که عمدتاً بر جنبه‌های سازه‌ای یا پدافند غیرعامل تمرکز داشتند، این پژوهش با بهره‌گیری از شناخت ویژگی‌های ازدحام و تحلیل داده‌های میدانی، به بررسی ایستگاه‌های مترو در شرایط اضطراری می‌پردازد. همچنین، استفاده از روش DIM-ICE که روشی تحلیلی در بررسی چالش‌های ازدحام در فضاهای جمعیتی در ارائه راهکارهای عملی است، این مطالعه را از سایر پژوهش‌های مشابه متمایز می‌کند. این پژوهش می‌تواند به سیاست‌گذاران و مدیران شهری کمک کند تا با برنامه‌ریزی مناسب، زیرساخت‌های موجود را برای حفاظت از شهروندان در شرایط بحرانی در حالی که خطرات ناشی از ازدحام جمعیت را به حداقل برسانند، مناسب‌سازی کنند.

۲. پیشینه تحقیق

استفاده از ایستگاه‌های مترو به عنوان پناهگاه در زمان جنگ در زمینه‌های مختلفی از جمله مورد بررسی قرار گرفته است. در ورشو^۱، برنامه‌هایی برای تونل‌های عمیق مترو که می‌توانستند به عنوان پناهگاه‌های هسته‌ای عمل کنند، در دوران جنگ سرد توسعه یافتند [۵]. همچنین لندنی‌ها طی جنگ جهانی دوم از ایستگاه‌های متروی شهر برای پناه گرفتن در برابر حملات هوایی آلمان استفاده می‌کردند [۶]. در کیف، اوکراین^۲، ایستگاه‌های مترو که برخی از آن‌ها در دوران شوروی با هدف استفاده دوگانه ساخته شده بودند طی حملات موشکی روسیه به پناهگاه‌های حیاتی برای غیرنظامیان تبدیل شدند [۷].



شکل ۱. استفاده از ایستگاه‌های مترو به عنوان پناهگاه در زمان جنگ

منبع تصویر ب و ج [۱۴]؛ منبع تصویر الف [۱۵]

به طور کلی، تجربه‌های اخیر در اوکراین نیز نشان داد ایستگاه‌های مترو طی دوره‌های طولانی درگیری، یکی از گزینه‌های مطمئن تأمین‌کننده حفاظت مردم بودند، هرچند که امکانات مناسب برای ماندن طولانی‌مدت را نداشتند [۴]. برای حل این مشکل، پژوهشگران طراحی‌هایی برای پناهگاه‌های زیرزمینی متصل به ایستگاه‌های مترو پیشنهاد کرده‌اند که شامل مناطق خواب، مراکز پزشکی و خدمات ضروری است [۸]. در استراتژی‌های ارائه‌شده پیشنهاد شد که مکان‌های پناهگاه در نزدیکی سکوها‌ی سوار شدن ایستگاه‌های مترو قرار داده شوند که آن‌ها را با گذرگاه‌ها، وسایل رفت و آمد به طبقات پایین و بالا و یک شبکه حمل‌ونقل متصل می‌کند و مناطقی برای اقامت طولانی‌مدت مردم، مناطق خواب و غذاخوری، حمام، پزشکی، خرید و دیگر بلوک‌های ضروری فراهم می‌کند [۹]. مناطق خواب باید به صورت جداگانه و در چندین طبقه در طول دیوارهای پناهگاه ساخته شوند.

این چیدمان مبلمان زیرزمینی امکان ایجاد یک مجموعه یکپارچه (اشیای پناهگاه و ایستگاه مترو) را فراهم می‌آورد، هزینه کلی ساخت پناهگاه را کاهش می‌دهد، سرعت تخلیه افراد را در صورت وقوع سوانح طبیعی، انسان‌ساخت یا حملات هوایی افزایش می‌دهد و اقامت طولانی‌مدت راحت برای افراد را تضمین می‌کند [۸]. از طرفی، پژوهش‌ها در مورد ظرفیت پناهگاه شهری و دسترسی به آن، اهمیت توجه به توزیع جمعیت پویا را هنگام برنامه‌ریزی پناهگاه‌های اضطراری تأکید می‌کند. در پناهگاه باید شبکه‌های ایستگاه راه‌آهن زیرزمینی به تأمین برق، آب و فاضلاب، تهویه و سرمایه‌ش متصل باشد و همچنین، باید به گونه‌ای طراحی شوند که برای چند ساعت یا چند روز کافی باشند [۱۰].

هرچند کاربرد متروها به عنوان پناهگاه‌های شهری بارها طی جنگ از زوایای مختلف مورد بررسی قرار گرفته، اما کمتر این موضوع از منظر خطر ازدحام جمعیت و ایمن بودن جمعیت هنگام پناهگیری در ایستگاه‌های مترو به‌ویژه هنگام ورود و خروج مورد بررسی قرار گرفته است. ازدحام جمعیت به صورت ذاتی بگرنج و پیچیده هستند و با فرار دسته‌جمعی، ترس، وحشت، اضطراب و قرار داشتن در وضعیت استرس‌زا همراه هستند. شروع سانحه ازدحام جمعیت معمولاً با وارد آمدن فشار، زیر دست و پا افتادن و لهیدگی افراد همراه است. در مجموع، برخی عوامل رفتاری مانند هجوم، فرار، ترس می‌تواند به بروز سانحه ازدحام جمعیت منجر بشوند یا شرایط به‌وجودآمده را تشدید کند [۱۱].

ازدحام جمعیت در ایستگاه‌های مترو به عنوان پناهگاه در شرایط اضطراری ناشی از جنگ یا تهدیدهای مشابه، می‌تواند پیامدهای جدی و خطرناک به همراه داشته باشد. هنگامی که افراد پس از درک خطر وارد مرحله عمل می‌شوند و ساکنان یک منطقه به سمت ایستگاه‌های مترو می‌دوند که در آن‌ها پناه بگیرند، پدیده پاسار^۱ و ازدحام جمعیت بسیار محتمل است. جمعیت در حالت وحشت‌زده و در حالی که تهدیدهای جنگ ادامه دارد، خواستار ورود سریع به پناهگاه هستند. در چنین شرایطی که وحشت جمعی بر ساکنان سایه افکنده، هدایت هدمند افراد به‌ویژه از ورودی‌ها و به سمت لایه‌های زیرین ایستگاه‌های مترو با در نظر گرفتن اقدامات کاهنده ریسک ازدحام جمعیت امری دشوار است. هرچقدر ایستگاه‌های مترو در مناطق شلوغ‌تر شهر واقع شده باشند، ریسک سوانح ناشی از ازدحام جمعیت افزایش می‌یابد، زیرا افزایش تراکم بخشی مهم از فرایند بروز این دست از سوانح است. از این‌رو، نخستین چالش در شرایط بحرانی مانند جنگ، وجود جمعیت زیاد شهری در محدوده خدماتی ایستگاه‌های مترو و تخلیه سریع این جمعیت به مکان‌های امن است. این موضوع به‌ویژه در مواقع اضطراری که نیاز به خروج فوری از محل تحت خطر است، می‌تواند به خطرات جانی منجر شود. از این‌رو، در مرحله نخست هجوم جمعیت به سمت ایستگاه‌های مترو و ازدحام در ورودی‌ها وقتی هشدار حمله یا خطر اعلام می‌شود و مردم به صورت خودجوش به سمت ایستگاه‌های مترو هجوم می‌آورند خطرناک‌ترین لحظه از نظر ایجاد ازدحام کشنده است. در چنین شرایطی، عوامل تشدیدکننده‌ای نظیر قفل بودن درب‌های ورودی و ظرفیت کم ورودی‌ها سبب می‌شود جمعیت در بیرون ایستگاه‌های مترو تجمع می‌کنند و در معرض خطر مستقیم (مثلاً حملات موشکی و بمباران) قرار می‌گیرند. در ضمن اینکه به دلیل فشارهای تهدید احتمال بروز رفتارها و رفتارهای خشن در خارج از ایستگاه افزایش یافته که این خود یکی از عوامل مهم تحریک‌کننده در شروع یک سانحه ناشی از ازدحام است. رفتارهای غیرمنطقی مانند زمانی که برخی افراد برای ورود سریع‌تر ممکن است دیگران را هل دهند می‌تواند به سقوط دسته‌جمعی و آسیب‌های دومینویی منجر شوند.

مرحله دوم، حرکت در راهروها و پله‌ها به سمت نقاط امن است. بعد از ورود به مترو، مردم باید از راهروها، پله‌ها و احتمالاً تونل‌های باریک عبور کنند تا به مناطق امن زیرزمینی برسند. در این مرحله هم ازدحام می‌تواند به فاجعه منجر شود. گرفتار شدن در راهروهای باریک به‌ویژه اگر جمعیت در یک مسیر باریک تجمع کند، ممکن است حرکت را کاملاً متوقف کند و افراد بر اثر فشار آسیب ببینند. در صورت ازدحام، عده‌ای ممکن است تعادل خود را از دست بدهند و از ارتفاع سقوط کنند. اگر مسیر اصلی مسدود شود، ممکن است مردم نتوانند به مناطق امن برسند یا در صورت نیاز خارج شوند.

مرحله سوم، تجمع در سالن‌ها و سکوها (فضای اصلی پناهگاه) است. وقتی مردم به نقاط اصلی پناهگاه می‌رسند، ممکن است به دلیل تراکم بالا، سالن‌ها و سکوها بیش از حد پر شوند. کمبود اکسیژن در فضای بسته اگر سیستم تهویه کار نکند، ممکن است سطح اکسیژن در محل را کاهش دهد و به بروز مشکلاتی برای جمعیت منجر شود. در صورت قطع برق و عدم تهویه، دما به سرعت افزایش می‌یابد و گرم‌زدگی و استرس گرمایی احتمال بروز رفتارهای غیرعقلایی را افزایش می‌دهد. همچنین عدم دسترسی به سرویس‌های بهداشتی در صورت طولانی شدن پناهگیری خود به مقوله‌ای چالش‌برانگیز بدل می‌شود. در چنین حالتی و زمانی که مردم در پناهگاه حضور دارند، صدای بلند یا شایعه ممکن است باعث وحشت جمعی، هرج‌ومرج و دویدن بی‌هدف مردم و بروز سانحه ناشی از ازدحام جمعیت شود.

مرحله چهارم این فرایند تلاش برای خروج پس از اتمام تهدید است. وقتی وضعیت به حالت عادی بازمی‌گردد، مردم به سمت خروجی‌ها هجوم می‌آورند که خطرات جدیدی ایجاد می‌کند. ممکن است مانند ورودی‌ها، ازدحام در خروجی‌ها و فشار جمعیتی ایجاد شود. همچنین، در صورت آسیب دیدن ساختمان مترو، خروج ممکن است با موانع فیزیکی روبه‌رو شود. برخی نیز ممکن است برای خروج سریع‌تر یا دسترسی به کمک‌های اولیه با هم درگیر شوند و جمعیت را با چالش مواجه سازند. بنابراین، ازدحام در ایستگاه‌های مترو در فرایند پناهگیری در چهار مرحله اصلی خطرآفرین است:

- هجوم به ورودی‌ها
- حرکت در راهروها و پله‌ها و سیرکولاسیون فضای داخلی
- تجمع در سالن‌های مترو
- خروج پس از اتمام خطر

۳. روش‌شناسی

این پژوهش از نظر هدف، کاربردی و از نظر ماهیت، توصیفی - تحلیلی با رویکرد کیفی است. در مرحله اول، مطالعات اسنادی و کتابخانه‌ای انجام شد و منابع علمی داخلی و بین‌المللی، اسناد بالادستی مرتبط با پدافند غیرعامل، آیین‌نامه‌ها و دستورالعمل‌های مدیریت ازدحام جمعیت، و تجربه‌های جهانی استفاده از زیرساخت‌های حمل‌ونقل زیرزمینی به عنوان پناهگاه مورد بررسی قرار گرفت. هدف این مرحله، شناسایی شاخص‌ها و معیارهای ارزیابی ظرفیت ایستگاه‌های مترو از منظر ساختاری، ایمنی، و مدیریتی بود. سپس، تعدادی از ایستگاه‌های متروی تهران بر اساس معیارهایی نظیر حجم تردد روزانه، موقعیت مکانی در شبکه، عمق و ساختار کالبدی، و سطح برخورداری از امکانات ایمنی و بهداشتی انتخاب و مورد بررسی قرار گرفتند. در مرحله بعد برای شناسایی و اولویت‌بندی چالش‌های ازدحام جمعیت در شرایط پناهگیری، از روش تحلیلی DIM-ICE استفاده شد. این روش، با بررسی سه بُعد کلیدی مدیریت جمعیت (طراحی، اطلاعات، مدیریت)، چارچوبی جامع برای تحلیل عوامل مؤثر در بروز ازدحام در ورودی‌ها، فضای گردش و خروجی‌ها ایجاد و راهکارهای عملی برای مسائل شناسایی شده، فراهم می‌کند. در پایان بر اساس تحلیل‌های انجام‌شده، راهبردهای کاهش خطر سوانح ناشی از ازدحام جمعیت هنگام پناهگیری افراد در شرایط بحران در ایستگاه‌های مترو تدوین شد.

۳-۱. مدل ارزیابی ریسک DIM-ICE

مدل ریسک DIM-ICE^۱ چارچوبی است که به منظور ارزیابی و مدیریت ایمنی جمعیت در رویدادها استفاده می‌شود و نخستین بار توسط دکتر کیت استیل برای مدیریت رویدادهای جمعیتی استفاده شد [۱۲]. این مدل با هدف رفع پیچیدگی‌های

1. DIM - ICE : Design, Information, Management - Ingress, Circulation, Egress

موجود در شبیه‌سازی و تسهیل فرایند تحلیل ازدحام جمعیت توسعه یافته است و بر سه حوزه کلیدی تمرکز دارد: طراحی، اطلاعات و مدیریت، در سه مرحله از یک رویداد: ورود، گردش و خروج. این مدل قادر است خطرات بالقوه سوانح ازدحام جمعیت را شناسایی کرده و استراتژی‌هایی برای کاهش آن‌ها تدوین و محیطی امن‌تر برای شرکت‌کنندگان ایجاد کند. با استفاده از فرامدل DIM-ICE، بررسی‌ها در شرایط عادی و اضطراری به صورت کیفی تکمیل می‌شوند و بسته به اهمیت مسئله تدابیری برای حل آن اندیشیده می‌شود. به بیان دیگر، این مدل تکنیکی تحلیلی برای پاسخ‌های تاکتیکی و استراتژیک به مسائل مربوط به جمعیت است.

در این روش، اطلاعات در قالب جدول 3×3 دسته‌بندی می‌شوند. گزاره‌های مرتبط با هزینه، ریسک، نرخ جریان و غیره را می‌توان به هر خانه جدول اختصاص داد و این می‌تواند بینش مفیدی در مورد استفاده و استقرار بهتر منابع ارائه دهد. این رویکرد نه تنها توجه را بر عناصر کلیدی خطرات مرتبط با زمان متمرکز می‌کند، بلکه آنچه را که اکثر برنامه‌های مدیریت جمعیت از پرداختن به آن غافل می‌شوند را نیز مورد تأیید قرار می‌دهد. اینکه حوادث می‌توانند طی ورود، میانه رویداد و هنگام خروج رخ دهند. معمولاً، طرح برگزاری رویداد جمعیتی فقط بر موارد اضطراری طی یک رویداد تمرکز می‌کند، اما تجربه‌های ناشی از ازدحام جمعیت نشان می‌دهد اکثر حوادث جمعیتی یا طی ورود یا خروج رخ می‌دهند [۱۲].

در جدول تشکیل شده گزاره‌هایی که ریسک کمتری ایجاد می‌کنند، با رنگ سبز مشخص می‌شوند که راهبردی برای اصلاح آن در نظر گرفته نمی‌شود. گزاره‌هایی که ریسک متوسط برای آن‌ها ارزیابی می‌شود، با رنگ زرد شناسایی می‌شوند که اغلب یا همواره باید پایش شوند یا اصلاحاتی برای آن در نظر گرفت. همچنین، گزاره‌هایی که به عنوان ریسک بالا شناسایی می‌شوند، رنگ قرمز برای آن در نظر گرفته می‌شود که نیاز است راهبردها و اقدامات اصلاح‌بخش مشخصی برای آن‌ها در نظر گرفت. جدول ۱ می‌کوشد تا سه بعد مدیریت جمعیت از جمله طراحی، اطلاعات و مدیریت را در فضاهای سه‌گانه مترو مورد توضیح قرار دهد.

جدول ۱. DIM-ICE: معیارهای قابل سنجش با رویکرد ارزیابی سوانح ناشی از ازدحام جمعیت

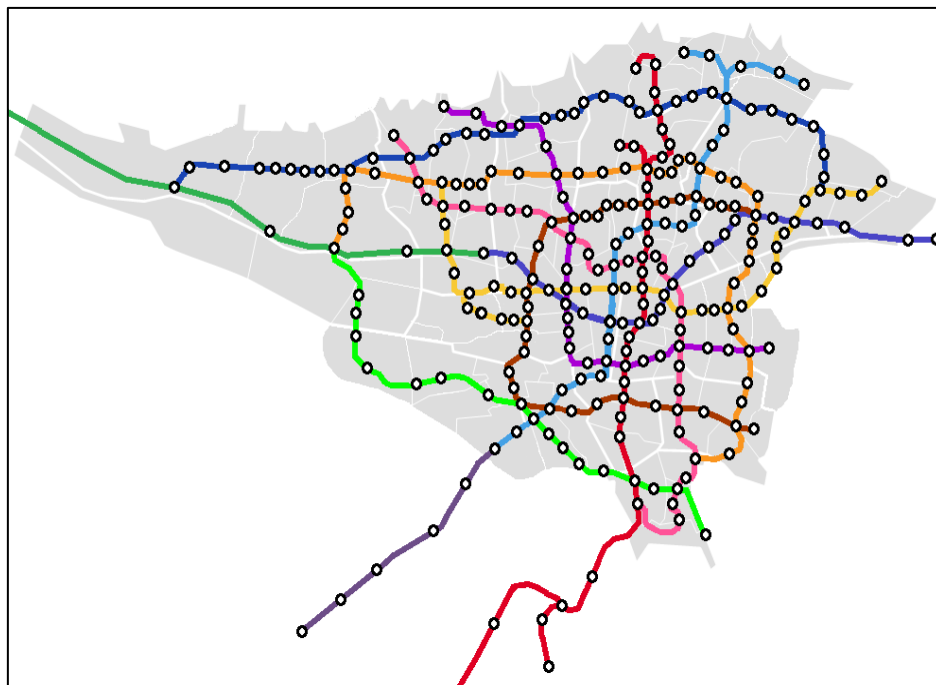
شرایط نرمال / شرایط اضطراری	ورود Ingress	سیر کولاسیون Circulation	خروج Egress
طراحی Design	نحوه ورود افراد به ایستگاه‌های مترو از منظر طراحی و ویژگی‌های کالبدی مورد بررسی قرار می‌گیرد.	نحوه گردش و حرکت افراد در ایستگاه‌های مترو در این بخش از منظر طراحی و ویژگی‌های کالبدی مورد بررسی قرار می‌گیرد.	نحوه خروج افراد از ایستگاه‌های مترو پس از بازگشت شرایط به حالت عادی در این بخش از منظر طراحی و ویژگی‌های کالبدی مورد بررسی قرار می‌گیرد.
اطلاعات Information	اطلاع‌رسانی به افراد هنگام ورود به ایستگاه‌های مترو در این بخش مورد بررسی قرار می‌گیرد.	اطلاع‌رسانی به افراد هنگام حرکت در ایستگاه‌های مترو در این بخش مورد بررسی قرار می‌گیرد.	اطلاع‌رسانی به افراد هنگام خروج از ایستگاه‌های مترو در این بخش مورد بررسی قرار می‌گیرد.
مدیریت Management	ورود افراد به ایستگاه‌های مترو از منظر مدیریتی در این بخش مورد بررسی قرار می‌گیرد.	سیر کولاسیون و حرکت افراد در ایستگاه‌های مترو از منظر مدیریتی در این بخش مورد بررسی قرار می‌گیرد.	خروج از ایستگاه‌های مترو در این بخش از منظر مدیریتی مورد بررسی قرار می‌گیرد.

همان‌طور که در جدول ۱ DIM-ICE مشخص است، کلیه معیارهای قابل سنجش با رویکرد ارزیابی سوانح ناشی از ازدحام جمعیت در ایستگاه‌های مترو تعریف شده‌اند. در ادامه این روش برای بررسی استفاده از ایستگاه‌های متروی تهران در شرایط بحرانی به عنوان پناهگاه با رویکرد مدیریت ازدحام جمعیت استفاده می‌شود.

۳-۲. بررسی استفاده از ایستگاه‌های متروی تهران به عنوان پناهگاه در شرایط بحرانی

در کلان‌شهری مانند تهران که همواره در معرض مخاطرات طبیعی و انسانی (از جمله زلزله، سیل، یا حملات احتمالی) قرار دارد، شناسایی و مناسب‌سازی فضاهای امن عمومی به‌ویژه در مواقع بحرانی، از اولویت‌های مدیریت شهری محسوب می‌شود. ایستگاه‌های مترو به دلیل موقعیت زیرزمینی، ساختار نسبتاً مقاوم و گستردگی شبکه، می‌توانند به عنوان پناهگاه‌های ایمن در شرایط اضطراری عمل کنند. در حال حاضر، در شهر تهران هفت خط مترو به همراه ۱۶۰ ایستگاه در مناطق بیست و دو گانه

تهران در حال خدمات‌رسانی به شهروندان هستند. با این حال، یکی از چالش‌های اساسی در استفاده از این فضاها، مدیریت ازدحام جمعیت است که در صورت عدم برنامه‌ریزی صحیح، خود می‌تواند به عاملی تهدیدکننده تبدیل شود. شکل ۲، پخشایش ایستگاه‌های مترو را در شهر تهران نشان می‌دهد.



شکل ۲. پراکنش مناسب ایستگاه‌های مترو در شهر تهران

این پژوهش با انجام مشاهدات میدانی تصادفی در ایستگاه‌های متروی تهران و با به‌کارگیری روش DIM-ICE، به تحلیل مؤلفه‌های حیاتی شامل نظام ورودی‌ها، خروجی‌ها و الگوی گردش جمعیت در فضای داخلی ایستگاه‌ها از منظر ایمنی در شرایط ازدحام می‌پردازد. این چارچوب به طور خاص بر سه محور تمرکز دارد:

- طراحی (Design): بررسی ساختار کالبدی ایستگاه‌ها.
- اطلاعات (Information): نقش سیستم‌های هشدار و راهنمایی مسیر در کاهش سردرگمی.
- مدیریت (Management): پروتکل‌های کنترل جمعیت و هماهنگی بین نهادهای مسئول.

۳-۲-۱. بررسی ورودی و خروجی‌های ایستگاه‌های مترو

ورودی‌ها و خروجی‌های ایستگاه‌های مترو به عنوان اولین نقطه تماس جمعیت با فضای زیرزمینی، نقش حیاتی در مدیریت جریان تردد و پیشگیری از ازدحام دارند. طراحی نامناسب این فضاها می‌تواند به سرعت به گلوگاه‌های امنیتی تبدیل شود، به‌ویژه در شرایط اضطراری که نیاز به تخلیه سریع وجود دارد. عرض نامتناسب درگاه‌ها در مقایسه با ظرفیت جمعیت‌پذیری خود چالشی کلیدی محسوب می‌شوند. بسیاری از ایستگاه‌های متروی تهران با عرض محدود درگاه‌های ورود/خروج (کمتر از ۲/۵ متر برای دوطرفه) مواجه هستند که در شرایط بحرانی می‌تواند سبب ایجاد صف‌های طولانی و افزایش خطر فشردگی جمعیت شوند. به عنوان مثال، همان‌طور که در تصویر ۳-ج و تصویر ۳-چ مشاهده می‌شود، گشودگی ورودی‌ها در ایستگاه‌های تجریش و نواب صفوی در شرایط بحران می‌تواند چالش‌برانگیز باشد.

پله‌های ورودی ایستگاه‌های مترو به عنوان اولین عنصر کاهنده سرعت در جریان حرکت جمعیت، نقش تعیین‌کننده‌ای در مدیریت ازدحام دارند. اگرچه طراحی این پله‌ها اغلب با ملاحظات ایمنی در برابر آب‌های سطحی (مانند جلوگیری از نفوذ سیلاب)

صورت می‌گیرد، اما عدم توجه به اصول ارگونومی^۱ و روانشناسی حرکت جمعیت می‌تواند به کاهش کارایی تخلیه اضطراری و افزایش خطرات ناشی از فشردگی منجر شود. طراحی پله‌های ورودی مترو باید ترکیبی از ملاحظات هیدرولیکی و انسانی باشد که نه تنها از یک سو، با ارتفاع و شیب مناسب از نفوذ آب جلوگیری کند، بلکه از سوی دیگر، با رعایت ابعاد ارگونومیک و چیدمان هوشمند، از تبدیل شدن به نقطه بحرانی در ازدحام بپرهیزد. به عنوان مثال، تصویر ۳-ب و تصویر ۳-پ دو نوع ساختار متفاوت پله ورودی/خروجی را نشان می‌دهد یکی به طور مستقیم به معبر پیاده و دیگری به واسطه گشایشی به گذرگاه متصل می‌شود. همچنین، همان‌طور که در تصاویر مشخص است، هندسه پله‌های ورودی متفاوت است.

تصویر ۳-الف نمونه مناسب‌تری از ورودی مترو را نمایش می‌دهد که در آن، تناسب دقیقی بین گشودگی ورودی، پله‌ها و راهروهای دسترسی به سطوح زیرین برقرار شده است. این طراحی هوشمندانه از ایجاد گلوگاه‌های حرکتی جلوگیری کرده و جریان روان تردد را تضمین می‌کند. انتخاب مصالح به‌کاررفته در ورودی‌ها و خروجی‌های ایستگاه‌های مترو از اهمیت راهبردی برخوردار است. به‌کارگیری مواد کم‌مقاومت و شکننده می‌تواند در شرایط تراکم جمعیت یا وضعیت‌های اضطراری، چالش‌های امنیتی جدی ایجاد کند. همان‌گونه که تصاویر ۳-ت و ۳-ح به‌وضوح این مسئله را مستندسازی کرده‌اند. طراحی ورودی‌ها و خروجی‌های ایستگاه باید به گونه‌ای باشد که بازشوهای آن‌ها مستقیم به معبر اصلی منتهی نشوند، چرا که این امر موجب اختلال در جریان حرکت جمعیت می‌شود. همچنین، تأمین فضای باز کافی در جلوی درب‌ها نقش حیاتی در کاهش خطر ازدحام دارد. تصاویر ۳-خ و ۳-د به‌وضوح تأثیر این طراحی را در مدیریت جریان جمعیت نشان می‌دهند.

ورودی‌های مترو از نظر موقعیت مکانی و انعطاف‌پذیری طراحی به دو گروه اصلی مستقل تصویر ۳-ذ و تلفیقی تصویر ۳-ث تقسیم می‌شوند. ورودی‌های مستقل دارای موقعیت آزاد در معابر عمومی و اتصال مستقیم به فضای شهری هستند و مزیت اصلی آن انعطاف‌پذیری بالا در طراحی و امکان اعمال تغییرات آتی و در نتیجه، امکان مناسب‌سازی آسان برای مدیریت جریان جمعیت است. ورودی‌های تلفیقی با سایر کاربری‌های شهری ادغام شده و محدودیت بازطراحی دارند. چالش‌های حقوقی ناشی از مالکیت مشترک، محدودیت‌های فنی در اصلاح ساختار و نیاز به هماهنگی بین‌سازمانی برای هرگونه تغییر امکان محدود در اعمال تغییرات و مناسب‌سازی ایجاد می‌کنند.

در مجموع، این تفاوت‌های ساختاری تأثیر مستقیمی بر قابلیت‌های مدیریت جمعیت از طریق امکان توسعه و مناسب‌سازی آتی دارد. از جمله عوامل تأثیرگذار بر کارایی ورودی‌های مترو، وجود موانع فیزیکی نابه‌جا و عناصر مزاحم در حریم دسترسی است که عمدتاً شامل موانع سنگی یا بتنی پیاده‌رو، پایه‌های روشنایی و تیرهای چراغ‌برق، دست‌فروشان و سازه‌های تبلیغاتی محیطی است. این عناصر مزاحم موجب کاهش عرض مؤثر مسیرهای تردد، ایجاد گلوگاه‌های حرکتی، اختلال در جریان روان پیاده‌روها، کاهش ظرفیت عبور و مرور، افزایش احتمال ازدحام و ایجاد خطرات ایمنی در شرایط اضطراری می‌شوند.

به نظر می‌رسد مدیریت ازدحام جمعیت و اطلاع‌رسانی در ورودی و خروجی‌های مترو به طور مؤثری وجود ندارد و این نقص می‌تواند در شرایط اضطراری مشکلات جدی‌تری را ایجاد کند. نبود سیستم‌های مناسب برای هدایت و کنترل جمعیت در این فضاهای شلوغ، باعث می‌شود که افراد در مواقع بحرانی نتوانند به‌سرعت و به طور مؤثر به نقاط ایمن دسترسی پیدا کنند. همچنین، نبود اطلاعات دقیق و به‌موقع در مورد وضعیت مترو و مسیرهای خروجی، موجب سردرگمی و افزایش استرس جمعیت می‌شود، که این امر می‌تواند تبعات ناگواری در شرایط اضطراری به همراه داشته باشد. در نتیجه، بهبود مدیریت ازدحام و ارتقای سیستم‌های اطلاع‌رسانی در مترو ضروری است تا ایمنی و رفاه افراد در مواقع بحرانی تضمین شود.

۳-۲-۲. فضای گردش ایستگاه‌های مترو

بررسی چالش‌های فضاهای گردش ایستگاه‌های مترو از ابعاد مختلف در بروز سانحه ازدحام جمعیت، یک موضوع بسیار مهم و پیچیده است. در ادامه، به تشریح این چالش‌ها پرداخته می‌شود و عوامل مختلف مؤثر در بروز سانحه ازدحام جمعیت در فضاهای گردش مورد بررسی قرار می‌گیرد. وجود موانع یکی از چالش‌های مهم فضای گردش است. موانع فیزیکی مانند دیوارها، ستون‌ها،

نرده‌ها می‌توانند مسیرهای عبور را محدود کنند و باعث ازدحام شوند. وجود موانع غیرضروری مانند تابلوهای بزرگ یا دکورهای مزاحم و نه‌چندان کاربردی و مهم فضای حرکت را تنگ‌تر می‌کنند. در چنین حالتی، مسافران در مواقع شلوغی نمی‌توانند به راحتی مسیرهای خروجی را پیدا کنند و این می‌تواند به ایجاد فضاهای شلوغ و خطرناک منجر شود.



تصویر پ



تصویر ب



تصویر الف



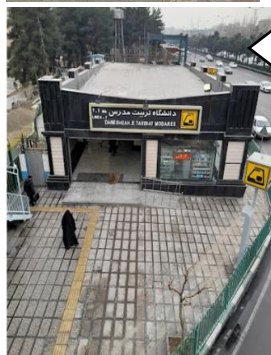
تصویر ج



تصویر ث



تصویر ت



تصویر ح



تصویر



ج

تصویر

ح



تصویر د



تصویر ذ

شکل ۳. تصاویر ورودی/ خروجی‌های مترو برخی از ایستگاه‌های مترو تهران

تصویر ۴- ص دال بر این موضوع است. گیت‌ها و سیستم‌های امنیتی نیز از دیگر موارد درخور توجه است. تعداد زیاد یا ناکافی گیت‌ها می‌تواند باعث ایجاد صف‌های طولانی و ازدحام شود. زمان بر بودن فرایند عبور از گیت‌ها ممکن است موجب تجمع جمعیت در نقاط خاصی شود. (تصاویر ۴- س و ۴- ش) در مواقع اضطراری، این تجمع می‌تواند به تأخیر در خروج مسافران و افزایش خطرات منجر شود. ابهام در فضا نیز چالشی مهم در گردش جریان جمعیت در ایستگاه‌های مترو محسوب می‌شود. نبود نشانه‌گذاری واضح و خوانا و طراحی نامناسب فضا که جریان حرکت را به‌درستی هدایت نمی‌کند، می‌تواند باعث سردرگمی جمعیت شود، افراد ندانند به کدام سمت بروند و این می‌تواند به تجمع در نقاط خاص در ایستگاه‌های مترو و افزایش خطر ازدحام منجر شود.

به‌علاوه، کمبود سیستم اطلاع‌رسانی مناسب یا سیستم‌های اطلاع‌رسانی ناکارآمد و اطلاعات به‌روز درباره وضعیت ایستگاه‌ها و زیرساخت‌های مرتبط با آن‌ها در کنار کمبود تابلوهای راهنما و اعلام وضعیت از شرایط ازدحام به صورت صوتی یا تصویری از مهم‌ترین چالش‌های اطلاعاتی در فضاهای گردش محسوب می‌شوند. عدم اطلاع‌رسانی به‌موقع از تغییرات ازدحام در بخش‌های مختلف می‌تواند باعث ایجاد نگرانی و تجمع جمعیت در نقاط خاص شود. از سوی دیگر، عواملی مانند شایعات و اطلاعات نادرست نیازمند ارائه اطلاعات صحیح و دقیق هستند تا بتوان آثار منفی آن‌ها را کاهش داد و این امر نیز بر لزوم اطلاع‌رسانی درست تأکید می‌کند. تصویر ۴- ز نبود سیستم‌های مؤثر اطفای حریق در فضاهای عمومی و مسیرهای خروج را نشان می‌دهد که بر چالش‌های ازدحام به‌ویژه در شرایط اضطراری می‌افزاید. کارایی کمتر سیستم اطفای حریق و در صورت بروز حریق یا بحران، نبود این سیستم‌ها می‌تواند به وحشت و ازدحام جمعیت منجر شود. نبود تیم‌های هدایتگر ازدحام جمعیت و نبود افراد آموزش‌دیده برای هدایت و مدیریت ازدحام در مواقع شلوغی یا بحران نیز بر خطر بروز سوانح ناشی از ازدحام جمعیت در شرایط اضطراری می‌افزاید، به طوری که در مواقع اضطراری، نبود هدایتگر می‌تواند به بدتر شدن وضعیت و افزایش خطر منجر شود. به‌علاوه، نبود تیم‌های اورژانس یا نجات در ایستگاه‌ها نیز به‌ویژه در شرایط ویژه ریسک جراحات و تلفات را افزایش می‌دهد. نورپردازی ناکافی یا نامناسب می‌تواند دید را کاهش دهد و موجب ایجاد حس ترس و سردرگمی شود. همچنین، نورپردازی خیره‌کننده یا ناهماهنگ می‌تواند تأثیر منفی روی جمعیت به‌ویژه هنگام فرار بگذارد. به عنوان مثال در شرایط نوری ضعیف، جمعیت نمی‌تواند به راحتی مسیر خروج را پیدا کند و این می‌تواند خطرات ازدحام را افزایش دهد. تصویر ۴- ر وجود پله‌های تنگ و کم‌عرض که باعث کندی حرکت جمعیت می‌شود نیز می‌تواند تأثیری منفی بر گردش جمعیت در ایستگاه‌های مترو به‌ویژه هنگام فرار و پناه گرفتن بگذارد. تجمع جمعیت در نقاطی که پله یا پله برقی وجود دارد می‌تواند خطر ازدحام را افزایش دهد. در این میان، نبود پله برقی یا آسانسور در مکان‌های مناسب برای افراد با محدودیت حرکتی بر مسائل می‌افزاید (تصویر ۴- ژ).

در شرایط ازدحام، هوای تازه به‌سختی وارد فضا می‌شود. سیستم تهویه نامناسب و عدم گردش هوای کافی می‌تواند باعث ایجاد احساس ناراحتی و اضطراب در جمعیت پناهجو شود و احتمال بروز سوانح ناشی از ازدحام جمعیت را افزایش می‌دهد. عدم آموزش کافی پرسنل در زمینه مدیریت بحران و رفتار در شرایط اضطراری مقوله‌ای چالش‌برانگیز است. نبود اطلاعات کافی درباره چگونگی هدایت جمعیت و برقراری نظم در مواقع ازدحام نیز بر ابعاد مسئله می‌افزاید. در مواقع بحرانی، پرسنل نمی‌توانند به‌درستی رفتار کنند و این ممکن است به ایجاد هرج و مرج و خطرات بیشتر منجر شود. بنابراین، چالش‌های متعدد در فضاهای گردش ایستگاه‌های مترو می‌توانند به بروز حوادث ناگوار و ازدحام جمعیت منجر شوند. توجه به طراحی مناسب، بهبود سیستم‌های اطلاع‌رسانی، آموزش پرسنل، و ایجاد سازوکارهای مناسب برای مدیریت جمعیت می‌تواند به کاهش این خطرات کمک کند و تجربه بهتری برای مسافران فراهم آورد.

۴. تحلیل DIM_ICE و راهکارها

برای ارائه راهکارها ابتدا جدول DIM-ICE ایستگاه‌های مترو در شرایط اضطراری تدوین می‌شود. در این جدول تلاش بر این است تا چالش‌های ازدحام جمعیت از سه دریچه طراحی، اطلاعات و مدیریت در سه موضع ورودی، خروجی و فضای داخلی ایستگاه‌های مترو استخراج شود (جدول ۲).



تصویر ژ



تصویر ز



تصویر ر



تصویر ص



تصویر ش



تصویر س

شکل ۴. تصاویر مترو و فضاهای گردش

جدول ۲. تحلیل DIM-ICE برای ایستگاه‌های مترو

خروج Egress	سیر کولاسیون Circulation	ورود Ingress	شرایط اضطراری
خروجی اغلب ایستگاه‌های مترو با ورودی یکسان است، بنابراین تعداد و عرض آن‌ها متناسب با جمعیت خروجی نیست.	در مسیرهای حرکت افراد و جمعیت در داخل ایستگاه‌های مترو موانع ضروری و غیرضروری از جمله فضاهای تجاری و خدماتی وجود دارند.	اغلب ایستگاه‌های متروی تهران دارای ورودی‌های محدود و با عرض نامناسب به نسبت جمعیت هستند.	طراحی Design
در بسیاری از ایستگاه‌ها، خروجی متروها به مسیرهای و خیابان‌های شلوغ شهری باز می‌شوند.	در مسیرها حرکت جمعیت و سالن بلیت، گیت‌های موجود مانع از حرکت روان جمعیت می‌شود.	در ورودی تعدادی از ایستگاه‌ها بساط دست‌فروشان مانع از تردد روان می‌شود.	
در بسیاری از ایستگاه‌ها خروجی متروها به معابر و خیابان‌های شلوغ شهری باز می‌شوند.	ابهام در طرح‌بندی برخی ایستگاه‌ها بر پیچیدگی مسیرهای دسترسی و فضا می‌افزاید و فرایند تصمیم‌گیری هنگام وقوع شرایط اضطراری را با مشکل مواجه می‌سازد.	در بسیاری از ایستگاه‌ها ورودی متروها به مسیرهای و خیابان‌های شلوغ شهری باز می‌شوند.	
در خروجی ایستگاه‌های مترو در سطح شهر پله‌های متعدد و غیر خطی با ارگونومیک غیرساده وجود دارد.	کمبود و نبود نشانه‌گذاری واضح و خوانا مسیریابی را هنگام بروز شرایط اضطراری دشوار می‌کند.	در ورودی ایستگاه‌های مترو در سطح شهر پله‌های متعدد و غیر خطی با ارگونومیک غیرساده وجود دارد.	
احتمال بسته بودن برخی خروجی‌ها وجود دارد.	سیستم اطفای حریق در شرایطی که ایستگاه مترو مملو از جمعیت است کمتر کارآمد و مؤثر است.	فاصله ورودی مترو اغلب ایستگاه‌های مترو با شروع پله‌های تعریف‌شده در سطح شهر بسیار کم است.	
عرض برخی درگاه‌ها به نسبت نرخ خروج جمعیت در شرایط اضطراری نامناسب است.	گاه مسیرها و کریدورهای حرکتی چرخش دارند یا زاویه‌دار هستند که می‌تواند جریان روان جمعیت را در شرایط اضطرار تحت تأثیر قرار دهد.	درب‌های ورودی مترو در ساعت غیرکاری بسته هستند.	
برخی ایستگاه‌های مترو دارای گشودگی جلوی خروجی‌ها است.		عرض نامناسب برخی درگاه‌ها به نسبت جمعیت	

ادامه جدول ۲.

شرایط اضطراری	ورود Ingress	سیر کولاسیون Circulation	خروج Egress
	برخی ایستگاه‌های مترو دارای گشودگی جلوی ورودی هستند.	نورپردازی در مسیرها، سالن بلیت و سالن بلیت در برخی ایستگاه‌ها ناکافی یا نامناسب هستند.	مصالح و متریال برخی از خروجی‌ها شکننده و ترکش‌شونده هستند.
	مصالح و متریال برخی از ورودی‌ها شکننده و ترکش‌شونده هستند.	پله‌ها در برخی از ایستگاه‌ها از عرض نامناسب برخوردار هستند.	طراحی امکان تداخل جریان‌های خروجی با جریان‌های گذرگاهی را ایجاد می‌کند.
	طراحی امکان تداخل جریان‌های ورودی با جریان‌های گذرگاهی را ایجاد می‌کند.	سالن بلیت امکان پناه دادن جمعیت در طولانی‌مدت را ندارند.	برخی از درگاه‌های خروجی مستقل طراحی شده‌اند.
	برخی از درگاه‌های ورودی مستقل طراحی شده‌اند.	تهویه هوا در برخی از ایستگاه‌های مترو نامناسب است.	برخی درگاه‌های خروجی تلفیقی (در پیوست و کنار سایر اینیه) طراحی شده‌اند و به واسطه سایر عناصر کالبدی محدود شده‌اند.
اطلاعات Information	نبود سیستم اطلاع‌رسانی مناسب و سیستم‌های اطلاع‌رسانی ناکارآمد و نبود ورودی‌ها	نبود سیستم اطلاع‌رسانی مناسب و سیستم‌های اطلاع‌رسانی ناکارآمد و نبود اطلاعات به‌روز در مسیری گردش	نبود سیستم اطلاع‌رسانی مناسب و سیستم‌های اطلاع‌رسانی ناکارآمد و نبود اطلاعات به‌روز در خروجی‌ها
	اطلاعات کافی از میزان و نرخ ورود جمعیت به هر ایستگاه مترو در محلات شهری برای پناهگیری وجود ندارد.	ظرفیت ایستگاه‌های مترو برای پناهگیری جمعیت در بازه‌های زمانی کوتاه‌مدت، میان‌مدت و بلندمدت بررسی نشده و اطلاعات کافی در این زمینه وجود ندارد.	
مدیریت Management	تابلوهای راهنما و تجهیزات اعلام وضعیت در لحظه به صورت صوتی یا تصویری در ورودی‌ها، خروجی‌ها و داخل ایستگاه‌های مترو وجود ندارد.		
	در شرایط اضطراری دست‌فروشان و جمعیت خدماتی اطراف ایستگاه‌های مترو برای پناهگیری به ازدحام ملحق می‌شوند.	مدیریت پخشایش ایمن ازدحام پس از ورود جمعیت به فضای باز و سالن بلیت مترو بعد از پناهگیری وجود ندارد.	مدیریت و برنامه مدونی برای تخلیه جمعیت بعد از بازگشت شرایط به حالت عادی وجود ندارد.
	بساط دستفروشان و اتومبیل‌های تاکسی در معابر و دسترسی‌ها رها شده‌اند و تردد را دشوار می‌کنند.	دسترسی به خدمات و سرویس بهداشتی دشوار است.	بساط دستفروشان و اتومبیل‌های تاکسی در معابر و دسترسی‌ها رها شده‌اند و تردد را دشوار می‌کنند.
	تیم‌های هدایتگر ازدحام جمعیت و افراد آموزش‌دیده برای هدایت و مدیریت ازدحام وجود ندارد.		
	مردم آموزش کافی برای رفتار در ازدحام هنگام پناهگیری در شرایط اضطراری را دریافت نکرده‌اند.		
	تیم‌های اورژانس یا نجات در ایستگاه‌های مترو به‌ویژه در شرایط اضطراری برای کمک‌رسانی در صورت نیاز وجود ندارد.		
	مرکز مدیریت بحران ازدحام جمعیت که شامل شبکه‌ای با در نظر گرفتن اقدامات متناظر با سطح ریسک ازدحام جمعیت باشد در ایستگاه‌های مترو وجود ندارد.		

در ادامه از تحلیل انجام‌شده، راهکارهایی برای تبدیل متروها به پناهگاه‌های کارآمد ارائه می‌شود که در عین حفظ ایمنی، از تبدیل شدن به دام‌های مرگبار در مواقع بحران و هنگام پناهگیری هنگام جنگ جلوگیری شود. در راستای بررسی‌های انجام‌شده، راهکارهایی به قرار زیر ارائه می‌شود:

- آموزش، افزایش آگاهی عمومی و آماده‌سازی: آموزش‌های عمومی درباره رفتار در شرایط بحران و نحوه پناهگیری می‌تواند به افراد کمک کند تا در مواقع اضطراری بهتر عمل کنند. در این راستا، تولید و توزیع منابع آموزشی امری سودمند است. انتشار بروشورها، ویدئوها و اطلاعات آنلاین درباره اقدامات لازم در شرایط جنگ و پناهگیری در راستای دوری از ازدحام می‌تواند به افزایش آگاهی عمومی کمک کند. همچنین، شهروندان باید در مورد روش‌های دسترسی به ایستگاه‌ها در شرایط بحرانی و نحوه رفتار در شرایط اضطراری و ازدحام آگاه باشند. این موضوع می‌تواند به کاهش سوانح ناشی از ازدحام و بهبود مدیریت بحران کمک کند. ارتقا و آموزش کارکنان نیز امری ضروری است. کارکنان ایستگاه باید در مورد نحوه مدیریت جمعیت و همچنین، عملکرد گیت‌ها در شرایط اضطراری، به‌ویژه در مواقعی که گیت‌ها به‌درستی

کار نمی‌کنند آموزش‌های لازم را دریافت کنند. همچنین، کارکنان مترو باید بتوانند تا ازدحام را در ورودی و خروجی‌ها مدیریت کنند. آموزش کارکنان در ایجاد ارتباط اصلاح با پناهگیران و شهروندان و همچنین، ارتباط با نهادهای مرتبط، شناسایی سریع رفتارهای مشکوک و پرخطر و مدیریت هرگونه شرایط پیچیده اضطراری آموزش‌های لازم را دریافت کنند. به‌علاوه، انتظار می‌رود تعداد کارکنان در ایستگاه‌های مترو برای کمک به شرایط اضطراری افزایش یابد و کارکنان مترو بتوانند درباره نحوه استفاده از تجهیزات آموزش ببینند. برگزاری تمرین‌های شبیه‌سازی برای آزمایش واکنش‌های جمعیت و کارکنان به شرایط اضطراری و بررسی کارایی ایستگاه‌های مترو هنگام پناهگیری از دیگر اقدامات مهم است.

- بازطراحی در صورت امکان و بهبود زیرساخت‌ها: افزایش نقاط خروجی و ورودی باید مورد توجه قرار بگیرد. طراحی و ساخت خروجی/ ورودی‌های بیشتر و واضح‌تر در ایستگاه‌های مترو در صورت امکان می‌تواند به کاهش ازدحام کمک کند. افزایش تعداد ورودی‌ها و خروجی‌ها: طراحی و ساخت ورودی‌ها و خروجی‌های اضافی در ایستگاه‌های مترو می‌تواند به تسهیل جریان جمعیت کمک کند. طراحی ورودی و خروجی نیز می‌تواند به فراخور جریان و نرخ جمعیت مورد انتظار بهبود یابد. ورودی‌ها باید به گونه‌ای طراحی شوند که بتوانند به سرعت و به راحتی مورد استفاده قرار گیرند. ایجاد مسیرهای خروجی اضطراری مشخص و قابل دسترسی در ایستگاه‌ها می‌تواند در شرایط بحرانی کمک کند تا افراد بتوانند به سرعت از ایستگاه خارج شوند. لازم است سیستم‌های ارتباطی و اطلاع‌رسانی در ایستگاه‌های مترو در هدایت اثربخش جمعیت ارتقا پیدا کند. استفاده از سیستم‌های هشداردهنده و پیام‌رسانی برای اطلاع‌رسانی به مردم درباره وضعیت‌های اضطراری و راه‌های امن پناهگیری راهکاری کارآمد است. نیاز است که اطلاع‌رسانی در ایستگاه‌های مترو پیوسته باشد. ایجاد کانال‌های ارتباطی برای ارائه اطلاعات در لحظه و دقیق در مورد وضعیت‌های بحرانی و مکان‌های امن اقدامی درخور توجه است. علائم و نشانه‌های واضح در اطراف گیت‌ها و مسیرهای خروجی برای هدایت افراد و کاهش سردرگمی در زمان اضطراری لازم است. همچنین، باید اطلاعات دقیق و شفاف در مورد وضعیت‌های اضطراری، به‌ویژه درباره شایعاتی که ممکن است ایجاد وحشت کنند، ارائه شود. در این راستا، قرار دادن نمایشگرهای دیجیتال در نقاط کلیدی ایستگاه‌ها که اطلاعات مربوط به وجود آب، غذا، و دیگر امکانات را به صورت زنده و به‌روز نمایش دهند، اقدامی اثربخش است. برخی فروشگاه‌ها در سالن بلیت ایستگاه‌های مترو نه تنها از فضای پناهگیری می‌کاهند، بلکه جریان روان جمعیت را مختل می‌کنند.

نیاز است سیستم‌های پیامک و اپلیکیشن‌های موبایلی که اطلاعات حیاتی به‌ویژه در شرایط اضطراری را به افراد ارسال کنند، توسعه یابند. پخش ویدئوهای آموزشی در ایستگاه‌ها که نحوه دسترسی به امکانات و رفتار در شرایط اضطراری را به جمعیت آموزش می‌دهند نیز بر ارتقای آگاهی افراد و کاهش رفتارهای پرخطر اثرگذار است. طراحی مجدد، بهبود امکانات و افزایش کارایی فضاهای مترو نیز باید در دستور کار قرار بگیرد. این راهبرد می‌تواند کمک کند تا در شرایط اضطراری تعداد بیشتری از افراد به صورت ایمن در ایستگاه‌ها پناه بگیرند. از دیگر راهکارهای اثربخش ایجاد مراکز پناهگاه موقت در کنار ایستگاه‌های مترو است. به‌علاوه، ایجاد مراکز پناهگاه موقت در نقاط مختلف شهر می‌تواند به توزیع بهتر جمعیت و کاهش فشار بر ایستگاه‌ها کمک کند. ایجاد فضای باز و بدون موانع اقدامی مهم در راستای عدم ایجاد ازدحام است. طراحی فضا به گونه‌ای که موانع فیزیکی چالش‌برانگیز در آن وجود نداشته باشد به‌ویژه در ورودی و خروجی متروها و ایجاد مسیرهای عبور واضح و مشخص برای دسترسی به ایستگاه‌ها می‌تواند به تسهیل حرکت افراد کمک کند. نصب علائم راهنما و روشنایی مناسب در ایستگاه‌ها و پیرامون آن‌ها می‌تواند به هدایت افراد در شرایط اضطراری کمک کند و از ایجاد سردرگمی جلوگیری کند.

- مدیریت جمعیت و نظارت: استفاده از نیروهای امنیتی و امدادی در شرایط بحرانی، و حضور آن‌ها می‌تواند به هدایت جمعیت و جلوگیری از ایجاد وحشت کمک کند. فراهم کردن تجهیزات ضروری از جمله غذا، آب، دارو و امکانات بهداشتی مورد نیاز پناهگاه‌ها در ایستگاه‌های مترو برای اطمینان از رفاه پناهجویان باید مورد توجه قرار بگیرد. توسعه برنامه‌های روانشناختی نیز بعد دیگری از اقدامات مرتبط با مدیریت ازدحام جمعیت است. ارائه خدمات مشاوره و حمایت روانی به افرادی که در شرایط بحرانی قرار دارند، می‌تواند به کاهش اضطراب و وحشت کمک کند. همچنین، آموزش

تکنیک‌های مدیریت استرس و آرامش به افراد می‌تواند به آن‌ها در کنترل احساسات خود در شرایط بحرانی و جلوگیری از ازدحام ایجادشده به واسطه استرس و وحشت‌زدگی کمک کند. ایجاد مرکز مدیریت عملیات و راه‌اندازی مرکز مدیریت عملیات در ایستگاه‌ها که قادر به هماهنگی سریع و مؤثر بین نیروها و مدیریت بحران باشد. همکاری با نهادها و سازمان‌های مرتبط وجه مهم دیگری از مدیریت ازدحام جمعیت است. همکاری با نهادهای ایمنی و مدیریت بحران، نهادهای محلی، آتش‌نشانی، اورژانس و پلیس برای طراحی و اجرای برنامه‌های مدیریت بحران و ایمنی در ایستگاه‌های مترو ضروری است. لازم است اطاق فرماندهی و تجهیز آن به امکانات مورد نیاز در هر یک از ایستگاه‌های مترو در نظر گرفته شود. استفاده از داوطلبان آموزش دیده نیز می‌تواند فرایند پناهگیری را تسهیل کند. ایجاد برنامه‌هایی برای جذب داوطلبان و آموزش آن‌ها می‌تواند در شرایط اضطراری به عنوان نیروی کمکی عمل کنند.

- تکنولوژی و سیستم‌های مدیریت جمعیت: استفاده از سیستم‌های هوشمند از جمله نصب دوربین‌های نظارتی و سیستم‌های مدیریت جمعیت می‌تواند به شناسایی نقاط تراکم و هدایت افراد به سمت مکان‌های امن یا خروجی‌های مناسب در شرایط اضطرار کمک کند. ایجاد سیستم‌های هشداردهنده و در وضعیت‌های اضطراری و مکان‌های خروجی می‌تواند به کاهش زمان واکنش افراد کمک کند.
- تنظیم و نگهداری گیت‌ها: تنظیم خودکار گیت‌ها: توسعه سیستم‌های خودکار برای تنظیم گیت‌ها به گونه‌ای که در شرایط اضطراری به سرعت و به آسانی باز شوند اقدامی مهم در کنترل ازدحام در ایستگاه‌های مترو هنگام هجوم جمعیت به نقاط مختلف ایستگاه برای پناهگیری است. این می‌تواند شامل حسگرهایی باشد که به محض شناسایی ازدحام یا وضعیت اضطراری، گیت‌ها را به طور خودکار باز کنند. انجام بررسی‌های دوره‌ای و نگهداری منظم روی گیت‌ها به منظور اطمینان از عملکرد صحیح آن‌ها و جلوگیری از بروز مشکلات در زمان‌های بحرانی ضروری است.
- ارتقای ایمنی، امنیت و نظارت: نصب دوربین‌های مداربسته در نقاط کلیدی ایستگاه‌ها برای نظارت بر رفتار جمعیت و شناسایی نقاط خطرناک و ارائه اطلاعات در لحظه به مرکز پیشگیری و مدیریت بحران ضروری است. نیاز است نیروهای امنیتی در ایستگاه‌ها به‌ویژه در زمان‌های پناهگیری، شلوغ و شرایط اضطراری، برای ایجاد حس امنیت و مدیریت وضعیت مستقر شوند. استفاده از تکنولوژی‌های شناسایی چهره یا دیگر سیستم‌های شناسایی افراد به منظور شناسایی افراد مشکوک و تهدیدهای امنیتی نیز اقدامی مؤثر است. تأمین کپسول‌های اطفای حریق: نصب و نگهداری کپسول‌های اطفای حریق در نقاط کلیدی ایستگاه‌های مترو، به‌ویژه در مکان‌هایی که احتمال آتش‌سوزی بیشتر است، اقدامی لازم است.
- ایجاد پست‌های پزشکی و امدادی: اهمیت ایجاد پست‌های امدادی و پزشکی در ایستگاه‌های مترو انکارناپذیر است. تأسیس پست‌های پزشکی در ایستگاه‌های کلیدی مترو که به تجهیزات اولیه پزشکی و کادر پزشکی متخصص مجهز باشند به‌ویژه در شرایط بحران‌های ناشی از جنگ ضروری است. این پست‌ها باید به گونه‌ای برپا شوند که به راحتی قابل دسترس باشند. همچنین، فراهم کردن تجهیزات پزشکی ضروری مانند دستگاه‌های تنفس مصنوعی، دستگاه شوک قلبی، و داروهای اولیه در این پست‌ها نباید مورد مسامحه قرار بگیرد. استخدام پرسنل پزشکی و امدادی در ایستگاه‌های مترو که در شرایط بحران بتوانند در مکان حاضر باشند و به منظور ارائه خدمات فوری در مواقع ضروری باید مد نظر قرار بگیرد. همچنین، لازم است دوره‌های آموزشی برای کارکنان ایستگاه‌های مترو درباره کمک‌های اولیه و نحوه پاسخ‌گویی به وضعیت‌های اضطراری پزشکی برگزار شود. ایجاد همکاری نزدیک با خدمات اورژانس محلی به منظور تسهیل در انتقال سریع بیماران و مصدومان به بیمارستان‌ها باید صورت گیرد. همچنین، پروتکل‌های مشخص برای کارکنان ایستگاه‌های مترو و پرسنل پزشکی در خصوص نحوه برخورد با وضعیت‌های اضطراری و هماهنگی با خدمات اورژانس باید تدوین شود.
- بهبود خدمات و تأمین نیازهای اولیه و اضطراری شهروندان: افزایش تعداد سرویس‌های بهداشتی و تأمین بهداشت آن‌ها در ایستگاه‌های مترو به‌ویژه برای شرایط پناهگیری که نیاز است زمان بیشتری جمعیت در ایستگاه بماند، امری ضروری است. لذا لازم است سرویس‌های جدید در صورت امکان طراحی و ساخته شوند. از فضاهای غیرقابل استفاده یا کم‌کاربرد

در ایستگاه‌ها برای ایجاد سرویس‌های بهداشتی اضافی می‌توان بهره برد. به‌علاوه، در شرایط اضطراری، می‌توان از سرویس‌های بهداشتی موقت (مانند توالت‌های سیار) استفاده کرد تا نیازهای جمعیت را برآورده کند. نصب نشانه‌ها و علائم راهنما در ایستگاه‌ها برای هدایت مسافران به سمت نزدیک‌ترین سرویس بهداشتی نباید مغفول واقع شود. در نظر گرفتن آب آشامیدنی به تعداد کافی، اغذیه برای شرایط اضطراری طولانی‌مدت، پتو، کپسول‌های اطفای حریق به تعداد کافی نیز از دیگر موارد مورد نیاز در ایستگاه‌های مترو است. لازم است انبارهای ذخیره‌سازی آب آشامیدنی و غذا در ایستگاه‌های مترو به منظور تأمین نیازهای مسافران در شرایط اضطراری ایجاد شود. تأمین منابع برق اضطراری کافی نیز باید مورد توجه قرار بگیرد. باید اطمینان حاصل شود که سیستم‌های برق اضطراری ظرفیت کافی برای تأمین نیازهای تجهیزات در شرایط بحرانی را دارند. لازم است سیستم‌های پشتیبان برای تأمین برق در صورت بروز نقص در سیستم اصلی نصب شوند. نظارت بر تهویه و کیفیت هوا و اطمینان از اینکه سیستم‌های تهویه هوای ایستگاه‌ها به‌درستی کار می‌کنند و قادر به تأمین هوای تازه و مناسب در شرایط اضطراری هستند. حسگرهای کیفیت هوا برای نظارت بر شرایط هوایی و ارائه اطلاعات به کارکنان نصب و در صورت امکان، از امکانات گرمایشی و سرمایشی موقت برای حفظ دمای مناسب در ایستگاه‌های مترو بهره برده شود.

- برنامه‌ریزی برای جابه‌جایی اضطراری جمعیت در صورت ازدحام با قطار: قطارها باید آماده برای جابه‌جایی افراد در صورت خراب شدن بناهای روی زمین مترو و مسدود شدن ورودی‌ها باشند. طرح‌های جابه‌جایی اضطراری که شامل مسیرهای جایگزین، ایستگاه‌های موقت و روش‌های جابه‌جایی به مکان‌های امن باشد باید توسعه یابند. در این راستا لازم است شناسایی ایستگاه‌های امن و مناطق باز در مناطق اطراف که می‌توانند به عنوان نقاط تخلیه یا پناهگاه عمل کنند، شناسایی شوند. نصب تجهیزات ایمنی و امکاناتی مانند جعبه‌های کمک‌های اولیه، آب آشامیدنی و مواد غذایی در قطارها به منظور حمایت از افراد در شرایط اضطراری نیز اقدامی کمک‌کننده است. همچنین، لازم است سازوکار همکاری شبکه‌ای با سایر ایستگاه‌های مترو ایجاد شود.

۵. نتیجه‌گیری

مترو، به عنوان یکی از عناصر حیاتی حمل‌ونقل عمومی در کلان‌شهرهایی همچون تهران، نه تنها نقش کلیدی در جابه‌جایی روزمره شهروندان ایفا می‌کند، بلکه در شرایط بحران و تهدیدهای امنیتی، نظیر حملات موشکی و حوادث جنگی، می‌تواند به عنوان پناهگاهی ایمن و قابل‌اعتماد عمل کند. با این حال، یافته‌های این پژوهش نشان می‌دهد صرف اتکا به ویژگی‌های فیزیکی مترو، نظیر عمق قرارگیری و مقاومت سازه‌ای، برای تضمین ایمنی پناهجویان کافی نیست. عوامل متعددی همچون ازدحام شدید جمعیت، محدودیت ورودی‌ها و خروجی‌ها، وجود موانع کالبدی در مسیرهای تردد، ناکارآمدی سیستم‌های اطلاع‌رسانی، و کمبود زیرساخت‌های امدادی و پزشکی، می‌توانند کارکرد ایستگاه‌های مترو را به عنوان پناهگاه به‌شدت تضعیف کرده و حتی آن را به فضایی بالقوه خطرناک تبدیل کنند.

بررسی‌ها حاکی از آن است که مدیریت اثربخش ازدحام جمعیت در ایستگاه‌های مترو نیازمند رویکردی جامع، چندسطحی و بین‌سازمانی است که هم اصلاحات کالبدی و تجهیزاتی را در بر گیرد و هم ارتقای مهارت‌ها و آمادگی‌های انسانی را شامل شود. راهکارهای پیشنهادی این پژوهش طیفی از اقدامات کوتاه‌مدت و بلندمدت را پوشش می‌دهد که از بهبود طراحی فیزیکی ایستگاه‌ها، افزایش ظرفیت ورودی و خروجی، نصب و ارتقای سامانه‌های اطلاع‌رسانی و هشدار، ایجاد پست‌های امدادی و پزشکی، تا توسعه فناوری‌های هوشمند نظارت و کنترل جمعیت را در بر می‌گیرد. در کنار این اقدامات، آموزش کارکنان و آگاهی‌بخشی به شهروندان در خصوص رفتار صحیح در شرایط بحران و ازدحام، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است و می‌تواند نقش بسزایی در کاهش خطرات ناشی از ازدحام و وحشت ایفا کند.

پیاده‌سازی موفق این راهکارها، مستلزم طراحی سناریوهای عملیاتی، برگزاری تمرینات میدانی، و ایجاد سازوکارهای هماهنگ‌کننده میان سازمان‌های مختلف از جمله مدیریت بحران، شهرداری، نیروهای امدادی و امنیتی است. چنین رویکردی می‌تواند با کاهش تراکم‌های خطرناک، تسهیل فرایند پناهگیری، و تأمین نیازهای اولیه پناهجویان، ایستگاه‌های مترو را به

زیرساخت‌هایی مقاوم، ایمن و کارآمد در برابر تهدیدهای نظامی و بلایای طبیعی تبدیل کند. در نهایت، توجه به مدیریت هوشمند و پیشگیرانه از دحام جمعیت، می‌تواند جایگاه مترو را به عنوان بخشی از سامانه پدافند غیرعامل شهری تثبیت کرده و از تبدیل این فضاها به «دام‌های جمعیتی» در شرایط بحرانی جلوگیری کند.

تشکر و قدردانی

به این وسیله از همکاری و بهره‌مندی از منابع ارزشمند متنی و تصویری که نقش بسزایی در تکمیل و غنای این اثر داشته‌اند، صمیمانه سپاسگزاری می‌شود. تصاویر مورد استفاده در این اثر با رعایت اصول استناد و امانت علمی، از پایگاه‌های معتبر زیر اقتباس یا گرفته شده‌اند: ایرنا، ویکی‌پدیا، مهرنیوز، تهران‌پیکچر، صاحب‌خبر، ایسنا، سفرمارکت، همشهری‌آنلاین، متقاضی، مهرنیوز، مشرق‌نیوز، برنا، رکنا، قدس‌آنلاین. بدون بهره‌گیری از این منابع ارزشمند، ارائه بخش‌های تصویری این مجموعه به شکل کنونی امکان‌پذیر نبود.

منابع

1. T. Zhidkova and . Y. Selikhova, justification of the expediency of using the urban underground infrastructure for the organization of civilian population, Municipal economy of cities, 2022.
2. A. Lawrey, "The Warsaw metro and the Warsaw pact," 2020.
3. T. Zhidkova, Y. Selikhova and V. Kazachenko, Urban-aspects aspects of organization of energy-efficient underground space for protection, Theory and practice of design, 2022.
4. T. Zhidkova and . Y. Selikhova, "justification of the expediency of using the urban underground infrastructure for the organization of civilian population," in Municipal economy of cities, 2022.
5. A. Lawrey, "The Warsaw metro and the Warsaw pact," in Cold War Cities, 2020.
6. "<https://infra.economicstimes.indiatimes.com/news/urban-transportation/how-underground-metro-stations-serve-as-essential-bomb-shelters-in-times-of-conflict/12105160>," 2024; [Online].
7. "<https://www.euronews.com/travel/2022/02/25/ukraine-war-europe-s-most-impressive-metro-station-becomes-bomb-shelter>," [Online].
8. A. Bulat, O. Krukovskyi and S. Kurno, "Communication and technological solutions regarding the construction of shelter objects at underground railway stations in fractured and water-logged rocks," in Geo-Technical mechanics, 2023.
9. A. Bulat, O. Krukovskyi and S. Kurno, "Communication and technological solutions regarding the construction of shelter objects at underground railway stations in fractured and water-logged rocks," in Geo-Technical mechanics, 2023.
10. T. Zhidkova, Y. Selikhova and V. Kazachenko, "Urban-aspects aspects of organization of energy-efficient underground space for protection," in Theory and practice of design, 2022.
11. Asgary A, Arzhangi S, "Crowd Disaster Management: Concepts, Theories and Methods" [in Persian], Noor-e-elm publication; 2017.
12. G. K. Still, Introduction to Crowd Science, Taylor & Francis Group, 2014, p. 143.