



Solutions to increase the speed of emergency evacuation of population in underground public spaces (Case study: Metro stations)

Mostafa Ghazanfari

Master of Passive Defense Engineering, Faculty of Planning and Passive Defense, Malek Ashtar University of Technology, Tehran, Iran.
Mostafaghazanfari@gmail.com

Abstract

Background and objective: Public spaces such as metro stations are one of the most important elements of the city's spatial construction. People from different classes and ages are present in these spaces and social and service activities are taking place in it. And people from different walks of life come to it and social and service activities take place in it. Underground subway stations are one of the main components of the urban transportation system and connect the underground and above ground space of this public transport fleet. Underground subway stations are very important and sensitive for various reasons, such as the accumulation of passengers. So reducing human casualties and injuries during natural hazard such as earthquakes and man-made disaster such as fire is one of the priorities of designers and users of these spaces. Accordingly, the present study has been developed with the aim of reducing casualties and injuries in emergencies and by providing solutions to increase the rate of evacuation.

Method: The present study is among the applied research (developmental type) and to achieve the defined goals, descriptive method (content analysis) was selected as the research method. Also, library and field methods were used to collect information and qualitative method of content analysis was used to analyze the data.

Findings: Awareness time, reaction time and departure time are considered as three effective time components in the total evacuation time of underground subway stations. The values of these three components will be different according to the physical and managerial design conditions of each station and providing solutions that reduce each of these times will reduce the total evacuation time. Among the solutions that were obtained in the present study, as follows: "reduce the distance of the farthest point of the platform from the stairs", "fit the number of entrances - exits with the volume of passengers", "how to design communication paths", "proper placement of non-structural elements", "use of signs The guide noted the ability to navigate in the dark "and develop an emergency response plan."

Conclusion: Based on the results of the research, 11 executive solutions are being designed in metro stations and 9 executive solutions can be implemented in operating stations to increase the speed of emergency evacuation. In this solutions, "emergency response planning" is a solution that is effective in reducing awareness time, response time and movement time without the need for physical changes in the elements of the station. Also, among the physical solutions, "proper design of communication routes", "use of guided signs with the ability to navigate in the dark" and "reducing the distance of the farthest point of the platform from the stairs", are solutions that are effective in reducing reaction time and movement time.

Keywords: evacuation speed, emergency, underground public spaces, metro station.

► **Citation (APA 6th ed.):** Ghazanfari M. (2021, Spring). Solutions to increase the speed of emergency evacuation of population in underground public spaces (Case study: Metro stations). *Disaster Prevention and Management Knowledge Quarterly (DPMK)*, 11(1),96-109.

راهکارهای افزایش سرعت تخلیه اضطراری جمعیت در فضاهای عمومی زیرزمینی (نمونه موردی: ایستگاه‌های مترو)

مصطفی غزنفاری

کارشناس ارشد مهندسی پدافند غیرعامل، مجتمع دانشگاهی آمایش و پدافند غیرعامل، دانشگاه صنعتی مالک اشتر، تهران، ایران. Mostafaghazanfari@gmail.com

چکیده

زمینه و هدف: فضاهای عمومی نظیر ایستگاه‌های مترو از مهم‌ترین عناصر ساخت فضایی شهر می‌باشند. افراد از اقبال و سنین مختلف در آن حاضر می‌شوند و فعالیت‌های اجتماعی و خدماتی در آن‌ها جریان دارد. نوع زیرزمینی این فضاهای عمومی، از اجزای اصلی سیستم حمل و نقل شهری و پیوند دهنده فضای زیر زمین و روی زمین این ناوگان حمل‌ونقل عمومی به شمار می‌آید. این جزء مهم به دلایل مختلفی از جمله تجمع مسافران در آن از اهمیت و حساسیت بالایی برخوردار است و کاهش تلفات و جراحات انسانی به هنگام رخداد مخاطرات طبیعی نظیر زلزله و حوادث انسان‌ساختی نظیر حریق، یکی از اولویت‌های طراحان و بهره‌برداران این فضاها می‌باشد. بر همین اساس، تحقیق پیش رو با هدف کاهش تلفات و جراحات انسانی در شرایط اضطراری و از طریق ارائه راهکارهای افزایش سرعت تخلیه، تدوین شده است.

روش: تحقیق حاضر از نظر روش‌شناسی، در زمره تحقیقات کاربردی (نوع توسعه‌ای) به شمار می‌رود و برای تحقق اهداف تعریف شده، روش توصیفی (تحلیل محتوا) به عنوان روش تحقیق انتخاب گردید. همچنین از روش‌های کتابخانه‌ای و میدانی جهت گردآوری اطلاعات، و از روش کیفی تحلیل محتوا به منظور تجزیه و تحلیل داده‌ها استفاده گردید.

یافته‌ها: زمان واکنش و زمان حرکت به عنوان سه جزء زمانی مؤثر در زمان کل تخلیه ایستگاه‌های متروی زیرزمینی مورد توجه قرار دارند. مقادیر این سه جزء، متناسب با شرایط طراحی کالبدی و مدیریتی هر ایستگاه، متفاوت خواهند بود و ارائه راهکارهایی که منتهی به کاهش هر یک از زمان‌های مذکور گردد، از کل زمان تخلیه جمعیت خواهد کاست. از جمله این راهکارها که در تحقیق حاضر به آن دست یافته شد، می‌توان به «کاهش فاصله دورترین نقطه سکو از پله‌ها»، «تناسب تعداد ورودی-خروجی با حجم مسافران»، «نحوه طراحی مسیرهای ارتباطی»، «جانمایی مناسب عناصر غیرسازه‌ای»، «استفاده از علائم راهنما با قابلیت هدایت در تاریکی» و «تدوین طرح واکنش در شرایط اضطراری» اشاره کرد.

نتیجه‌گیری: بر اساس نتایج حاصل از تحقیق، ۱۱ راهکار اجرایی در ایستگاه‌های مترو در حال طراحی و ۹ راهکار اجرایی در ایستگاه‌های در حال بهره‌برداری، جهت افزایش سرعت تخلیه جمعیت در شرایط اضطراری قابل پیاده‌سازی می‌باشد. در این میان، «تدوین طرح واکنش در شرایط اضطراری» راه‌کاری است که بدون نیاز به تغییرات کالبدی در عناصر ایستگاه، در کاهش زمان واکنش و زمان حرکت مؤثر است. از میان اقدامات کالبدی نیز، «طراحی مناسب مسیرهای ارتباطی»، «استفاده از علائم راهنما با قابلیت هدایت در تاریکی» و «کاهش فاصله دورترین نقطه‌ی سکو از پله‌ها»، اقداماتی محسوب می‌شوند که در کاهش زمان واکنش و زمان حرکت مؤثر می‌باشند.

کلید واژه‌ها: سرعت تخلیه، شرایط اضطراری، فضاهای عمومی زیرزمینی، ایستگاه مترو.

► **استناد فارسی (شیوه APA، ویرایش ششم ۲۰۱۰):** غزنفاری، مصطفی. (بهار، ۱۴۰۰). راهکارهای افزایش سرعت تخلیه اضطراری جمعیت در فضاهای عمومی زیرزمینی (نمونه موردی: ایستگاه‌های مترو). *فصلنامه دانش پیشگیری و مدیریت بحران*، ۱۱ (۱)، ۹۶-۱۰۹.

مقدمه

ژاو و تانگ^۳ (۲۰۱۲) اثر زوایای مسیره‌های ارتباطی را مورد بررسی قرار داده و به بررسی تحلیلی نقش میزان زاویه گردش مسیره‌های ارتباطی در نظم عابران پرداخته است. همچنین در تحقیق دیگری اثر تخلیه جمعیت از طریق تراز زیر سکو به هنگام رخداد حریق در ایستگاه‌های متروی بزرگ مقیاس بررسی شده است. بر اساس نتایج این تحقیق، با توجه به ویژگی‌های رفتاری دود ناشی از حریق، در صورت ایجاد یک طبقه زیرزمینی نسبت به سطح سکو و انجام تخلیه از آن، آثار منفی دود بر مسافران کاهش خواهد یافت (تسوکاهارا، کوشیبا و اوتانی، ۲۰۱۱^۴). جانسون^۵ (۲۰۰۷) نیز به کاربرد مدل‌های محاسباتی برای شبیه‌سازی تخلیه مکان‌های بزرگ مقیاس به هنگام از کارافتادگی زیرساخت‌ها و حوادث تروریستی با هدف تعیین جایگاه روش شبیه‌سازی در تدوین راهکارهای کاهش آسیب‌پذیری به شبیه‌سازی در چند مکان بزرگ مقیاس عمومی شامل: بیمارستان، مجموعه تفریحی، استادیوم ورزشی و مترو پرداخته، اما به ارائه راهکار کاهش آسیب‌پذیری منتهی نگردیده است.

مفاهیم نظری

فضاهای عمومی

زیارتگاه‌ها و معابد، جزء اولین فضاهای عمومی می‌باشند که جهت برگزاری آئین‌ها و تشریفات مذهبی و آموزش عمومی ساخته شده‌اند و با توسعه شهرها و گسترده‌تر شدن نیازهای شهروندان، احساس نیاز به فضاهای عمومی نیز بیش‌تر گردیده است (عظیمی، ۱۳۸۹: ص ۱). این‌گونه فضاها از مهم‌ترین عناصر ساخت فضایی شهر می‌باشند، بیش‌ترین کنش‌ها و ارتباطات میان شهروندان در آن روی می‌دهد و بستر اصلی فعالیت‌های کارکردی و مراسمی شهروندان را ایجاد می‌نماید (عندلیب، ۱۳۸۹: ص ۱۸). کارمونا^۶ انواع فضاهای عمومی به‌عنوان فضاهای قابل دسترس برای همه را، در سه‌گونه تقسیم‌بندی می‌کند:

۱. فضاهای عمومی خارجی: قطعاتی که در بین ساختمان‌های

فضاهای عمومی شهرها، فضاهایی هستند که زندگی جمعی در آن‌ها در جریان است. همه مردم اجازه دسترسی به این فضاها را دارند و تعامل و تقابل اجتماعی از مهم‌ترین مشخصه‌های آن‌ها می‌باشد (پاکزاد، ۱۳۸۳) و ایستگاه‌های مترو از جمله‌ی مهم‌ترین این‌گونه فضاها در کلان‌شهرها محسوب می‌شوند. سیستم حمل و نقل ریلی درون شهری یا مترو از حیث قرارگیری نسبت به سطح زمین در سه گروه هوایی، زمینی و زیرزمینی تقسیم‌بندی می‌گردد (رحیمی، ۱۳۹۰). در گونه‌ی زیرزمینی مترو، ایستگاه‌ها به‌عنوان پیوند دهنده‌ی فضای زیر زمین و روی زمین این ناوگان حمل و نقل به شمار می‌آید (محمودی، ۱۳۸۳). این جزء مهم، به دلایل مختلف و از جمله تجمع مسافران در آن از اهمیت و حساسیت بالایی برخوردار و همواره در معرض مخاطرات و تهدیدات بوده است. به همین جهت، اقدامات مبتنی بر کاهش آسیب‌پذیری افراد حاضر در ایستگاه‌های مترو ضروری می‌باشد. اقدامات مذکور شامل اقدامات زیرساختی-کالبدی و اقدامات مدیریتی می‌گردند. تحقیق حاضر، با هدف کاهش تلفات و جراحات انسانی در فضای عمومی ایستگاه مترو، به دنبال پاسخگویی به این سؤال است که در شرایط اضطراری، راهکارهای افزایش سرعت تخلیه جمعیت چیست؟

پیشینه

شی کونگ لینگ و همکاران^۱ (۲۰۱۰)، در مقاله‌ای با عنوان «مدل‌سازی و تدابیر ایمنی تخلیه مسافران ایستگاه مترو در چین» به بیان راهبرد ایمنی در ارتباط با تخلیه از ایستگاه‌های مترو، مسیره‌های تخلیه و محدوده ایمن در این فضاها پرداخته‌اند. در این مقاله، نویسندگان از طریق مقایسه پیش‌بینی کارشناسان، شبیه‌سازی و داده‌های تجربی، به نتایج مدنظر دست یافته‌اند، اما راهکارهای طراحانه در آن ارائه نشده است. تحقیق دیگری بر اساس نظریه جریان مسیره‌های ارتباطی و با تکیه بر روابط حاکم بر تعیین ظرفیت مسیره‌ها، به ارائه مدل تخلیه اضطراری جمعیت از ایستگاه‌های مترو پرداخته و نتایج به صورت موردی در یک ایستگاه، بررسی و ارزیابی شده است، اما خروجی آن دارای راهکارهای اجرایی نمی‌باشد (چنگ و یانگ، ۲۰۱۲).

3. Guo and Tang

4. Tsukahara, Koshiha and Ohtani, 2011

5. Johnson

6. Carmona, Heath, Oc, and Tiesdell, 2003

1. Shi Congling et al., 2010

2. Cheng and Yang, 2012

ساختمان‌های دولتی، مراکز خرید، بانک‌ها، مجتمع‌های زیستی، مراکز فرهنگی و مذهبی، مراکز ورزشی و آموزشی و... می‌باشند (حسینی، ۱۳۸۹: صص ۹۶ تا ۹۹).

به دلیل ویژگی‌های منحصر به فرد ایستگاه‌های مترو، طراحی آن باید به‌گونه‌ای باشد که به سهولت امکان استفاده مسافران از مترو را تأمین کند. ایجاد راه‌های دسترسی مناسب از خیابان به سکوی ایستگاه با در نظر گرفتن میزان مسافر، احداث راه‌پله‌های مناسب و در صورت نیاز، پله‌های برقی و آسانسور و منظور نمودن فضای کافی جهت تجهیزات هر ایستگاه از قبیل دستگاه‌های تهویه، ماشین‌های فروش و کنترل بلیت و پست‌های یکسوساز از عواملی هستند که در طراحی ایستگاه مورد ملاحظه قرار می‌گیرند (منتظری، ۱۳۸۷: ص ۶۷). به طور کلی کارکردهای مربوط به ایستگاه‌های مترو را می‌توان در سه قالب کلی دسته‌بندی کرد: کارکردهایی که ارتباط مستقیم با حرکت مسافران از سطح زمین تا پایین‌ترین سطح دارند؛ کارکردهای خدماتی و اداری؛ و کارکردهای مربوط به بخش‌های تأسیسات و تجهیزات. دسته اول کارکردهای مربوط به حرکت مسافران فضاهایی مانند ورودی‌ها، فضاهای ارتباطی، سالن فروش بلیت و سکوها را شامل می‌شود. دسته دوم دربرگیرنده فضاهایی مانند بخش‌های اداری، فضاهای خدماتی برای کارکنان و رانندگان، انبارها و اتاق‌های جمع‌آوری زباله و... هستند. این فضاها، غیرعمومی بوده ولی به نحوی خدمات‌رسانی به بخش‌های عمومی را بر عهده دارند؛ دسته سوم کارکردها، مربوط به فضاهای تأسیساتی و تجهیزاتی مانند هواسازها و دستگاه‌های تهویه، اتاق فنی، یکسو کننده، اتاق‌های برق و... می‌گردند (مهندسین مشاور بهروی تهران، ۱۳۸۶: صص ۲۴ و ۲۵).

در مواردی مانند آتش‌سوزی و انفجار که ممکن است در ساختمان‌های عمومی روی دهد، حاضرین در ساختمان مجبور به فرار دسته جمعی و هجوم به طرف راه‌های خروج می‌گردند (حسینی، ۱۳۸۹: ص ۲۱). در ایستگاه‌های مترو نیز با توجه به محتمل بودن رخداد چنین مواردی، محیط پیرامونی مناسب و طراحی مطلوب کارکردهای مربوط به حرکت مسافران مانند ورودی‌ها، فضاهای ارتباطی، سالن فروش بلیت و سکوها به کاهش خسارات و تلفات

خصوصی قرار می‌گیرند؛ نظیر خیابان‌ها، میدان‌ها، پارک‌ها، بزرگ‌راه‌ها و پارکینگ‌ها؛

۲. فضاهای عمومی داخلی: مؤسسات عمومی نظیر کتابخانه‌ها، موزه‌ها، تالارهای شهری و همچنین ساختمان‌های مربوط به حمل و نقل عمومی نظیر ایستگاه‌های قطار و اتوبوس و فرودگاه‌ها.

۳. شبه فضاهای عمومی داخلی و خارجی: به فضاهایی اطلاق می‌گردد که از نظر قانونی خصوصی هستند، مانند: پردیس‌های دانشگاهی، زمین‌های ورزش، رستوران‌ها، سینماها و مراکز خرید را می‌توان به عنوان بخشی از عرصه عمومی تلقی کرد (کارمونا، هیس، تائیدل، ۲۰۰۳).

خصوصیت عمده و مشترک در اغلب فضاهای عمومی، حضور هم‌زمان عده زیادی به حالت تجمع یا پراکنده در آن است. معمولاً این فضاها راه‌های خروجی عادی یا اضطراری معدودی دارند. حضور افراد در این گونه فضاها ممکن است کوتاه یا طولانی مدت باشد، ولی نکته مهم از باب ملاحظات ایمنی این فضاها آن است که کاربران معمولاً فرصت آشنایی کافی با جزئیات داخلی فضا را نمی‌یابند. مجموعه خصوصیات فضاهای عمومی ایجاب می‌کند که در این فضاها ضرایب ایمنی بالاتری در مقابل خطرات ناشی از اتفاقات غیرمترقبه اعمال گردد (حسینی، ۱۳۸۹: ص ۲۱).

◀ ایستگاه‌های مترو

سیستم حمل و نقل ریلی درون شهری یا مترو دارای پنج رکن «تونل و خط»، «ایستگاه و تأسیسات»، «ترن»، «مخابرات و کنترل» و «تأمین‌کننده‌ی انرژی» می‌باشد (منتظری، ۱۳۸۷). ایستگاه‌های مترو در طبقه ساختمان‌های عمومی قرار گرفته و در زمره مهم‌ترین ساختمان‌های محل تجمع جای دارد (حسینی، ۱۳۸۹: ص ۲۲). در مورد ایستگاه، هدف از طراحی، برقراری تعادلی میان عملکرد ایستگاه و ایجاد فضای زیرزمینی ایمن، در هماهنگی با مسائلی چون روش احداث، شهرسازی، اقتصاد طرح و در عین حال به وجود آوردن شخصیت خاص معماری متناسب با شهر محل احداث آن می‌باشد (مهندسین مشاور گنو، ۱۳۹۰: ص ۶۲). این فضا، در کنار سه کاربری اورژانس، پایانه اتوبوس و آتش‌نشانی، به دلیل ویژگی عملکردی، دارای حداکثر ارتباط با سایر ابنیه مهم شهری از قبیل

از زمان حرکت، مدت زمان بین شروع حرکت تا خروج از ایستگاه می‌باشد. این مدت زمان به شرایط طراحی ایستگاه بستگی دارد.

این سه متغیر، در روابط مورد استفاده برای محاسبه زمان تخلیه کاربرد دارند. به‌عنوان نمونه، در دستورالعمل ایمنی متروی سیدنی^۱ متغیرهای مذکور در رابطه زیر به‌منظور طراحی بهینه مسیرها و اجزای ایستگاه استفاده می‌گردد (پاولی، ۲۰۱۰^۲: صص ۴۸ و ۴۹):

$$T_t = T_a + T_p + T_m$$

که در این رابطه: T_a = زمان آگاهی^۳ (ثانیه)
 T_p = زمان پیش حرکت^۴ (ثانیه)
 T_m = زمان حرکت^۵ (ثانیه)

روابطی با محتوای مشابه رابطه فوق، در کشور چین نیز مورد استفاده قرار می‌گیرند و محاسبه زمان خروج مناسب براساس این روابط صورت می‌گیرد (شی کونگ لینگ و همکاران، ۲۰۱۰^۶):

$$T_t = T_{pre} + T_1 + T_f + T_r + T_{act} = T_{pre} + T_1 + T_f + T_r + T_{act} = T_{pre} + T_1 + T_f + T_r + T_{act}$$

که در این T_{pre} = زمان واکنش (ثانیه)
 رابطه: $T_f + T_r + T_{act} = T_1$
 T_1 = زمان رسیدن به پله / پله برقی (ثانیه)
 T_f = زمان عبور از پله / پله برقی (ثانیه)
 T_r = زمان مکث بر روی پله (ثانیه)
 T_f = زمان ناشی از بهم‌ریختگی حین عبور (ثانیه)

در کشورهایی که غالب جمعیت آن‌ها با موضوع شرایط اضطراری آشنایی یافته‌اند و شرایط هدایتی داخل ایستگاه نیز به‌گونه‌ای مطلوب طراحی و اجرا شده است، زمان واکنش ۱ دقیقه در نظر گرفته می‌شود. سایر زمان‌های مؤثر در زمان تخلیه ($T_1 + T_f + T_r + T_{act}$) که وابسته به محیط و شرایط ایستگاه می‌باشند، بر اساس روابطی که در ادامه آمده قابل محاسبه می‌باشد.

خواهد انجامید، که موضوع پژوهش حاضر نیز پرداختن به چنین مطلوبیتی در طراحی می‌باشد.

◀ شرایط اضطراری

وضعیتی است که در پی وقوع مخاطرات و قریب‌الوقوع بودن حادثه یا بعد از وقوع آن ایجاد می‌شود و نیاز به اقدامات فوق‌العاده برای پاسخ دارد (مجلس شورای اسلامی، ۱۳۹۸). در تعریف دیگری نیز آمده است، شرایط اضطراری به وقایعی اطلاق می‌شوند که در اثر رخدادها و عملکردهای طبیعی و انسانی به طور ناگهانی ایجاد شده و منتهی به شرایطی می‌گردد که برطرف کردن آن نیاز به اقدامات فوری و فوق‌العاده دارد. این شرایط ممکن است سلامت جانی، وضعیت مالی و زیست‌محیطی سازمان و جامعه را در معرض خطر جدی قرار دهد. همچنین ابزاری که به وسیله مشاهده سیستماتیک و تجزیه و تحلیل شرایط اضطراری، سعی در پیشگیری از بروز بحران‌ها و یا در صورت بروز سعی در کاهش اثرات آن را دارد، مدیریت شرایط اضطراری تعریف می‌گردد (وزارت صنعت، معدن و تجارت، ۱۳۹۵).

◀ روابط حاکم بر سرعت حرکت جمعیت در شرایط اضطراری

سرعت حرکت جمعیت در شرایط اضطراری، تابع سه متغیر اصلی است:

✓ زمان آگاهی: مدت زمانی است که از شروع رخداد تهدید تا اطلاع یافتن از وقوع آن توسط حاضرین در ایستگاه به طول می‌انجامد.

✓ زمان واکنش (پیش حرکت): بازه زمانی از حین آگاهی از رخداد تهدید و انجام اقدامات و تصمیمات (از قبیل اطمینان از صحت هشدار، تجمیع اعضای خانواده یا دوستان و...) تا لحظه شروع حرکت به سمت ورودی-خروجی ایستگاه می‌باشد. حین شرایط اضطراری در داخل ایستگاه، کاهش زمان واکنش به عوامل مختلفی وابسته است که بخشی از آن‌ها متوجه شرایط ایستگاه و بخشی دیگر متوجه مسافران و حاضران در ایستگاه می‌باشد. از جمله مهم‌ترین این عوامل عبارتند از: مدیریت صحیح شرایط اضطراری، خوانایی محیط و علائم هدایتی ایستگاه؛ و میزان آموزش و آگاهی حاضرین.

✓ زمان حرکت: در صورتی که هدف، تخلیه ایستگاه باشد، منظور

1. Sydney
 2. Paveley, 2010
 3. Total Egress Time
 4. Awareness Time
 5. Pre-movement Time
 6. Movement Time
 7. Shi Congling et al., 2010



شرایط موجود در حوزه تعریف شده تحقیق می باشد. بر این اساس، نوع تحقیق حاضر از حیث هدف، در زمره تحقیقات کاربردی (نوع توسعه ای) به شمار می رود. برای تحقق اهداف تعریف شده، روش توصیفی (تحلیل محتوا) به عنوان روش تحقیق انتخاب گردید. روش های گردآوری اطلاعات در این تحقیق نیز عبارتند از:

روش کتابخانه ای شامل: استفاده از فضای واقعی و فضای مجازی (شبکه های اینترنتی)، شامل متن خوانی، آمارخوانی، سند خوانی، تصویر خوانی و استفاده از عکس ها و نقشه ها (حافظ نیا، ۱۳۸۹: ص ۱۹۴)

روش میدانی مشاهده: در روش گردآوری اطلاعات به روش مشاهده، تعدادی از ایستگاه های متروی شهر تهران مورد بازدید و برداشت میدانی قرار گرفتند که اسامی آن ها در جدول شماره ۱ اشاره شده است. به منظور تجزیه و تحلیل داده ها نیز روش تحلیل محتوا (کیفی) انتخاب گردید.

که در این رابطه: L = فاصله دورترین نقطه ی سکو از پله (متر)
 $T_1 = L / v$

v = سرعت متوسط حرکت مسافران (متر بر ثانیه)

که در این رابطه: Q_t = مسافران حاضر در قطارها (نفر)
 Q_w = مسافران و کارکنان حاضر در سکو (نفر)
 $T_r = (Q_t + Q_w) / A$
 A = ظرفیت عبور پله / پله برقی (نفر بر ثانیه)

که در این رابطه: L_p = طول مؤثر پله^۱ (متر)
 $v_s = T_r \times L_p$
 v_s = متوسط سرعت حرکت مسافران/پله برقی (متر بر ثانیه)

که در این رابطه: L_p = فاصله ی بین دو مسیر که توسط مسافر پیدا می شود^۲
 $T_r \times v = L_p$
 v = سرعت متوسط حرکت مسافران (متر بر ثانیه)

روش^۱

تحقیق حاضر در صدد بررسی وضعیت و ارائه راهکارهای بهبود

جدول ۱. ایستگاه های مورد مشاهده به منظور گردآوری اطلاعات

خط مربوطه	نام ایستگاه	ردیف	خط مربوطه	نام ایستگاه	ردیف
چهار	تئاتر شهر	۱۴	یک	امام خمینی (ره)	۱
	تقاطع سه و چهار	۱۵		طالقانی	۲
	تقاطع یک و چهار	۱۶		شهید مفتح	۳
	تقاطع دو و چهار	۱۷		شهید حقانی	۴
	ارم سبز	۱۸		شهید همت	۵
	فردوسی	۱۹		قیطریه	۶
	شهید کلاهدوز	۲۰		تجربش	۷
	نبرد	۲۱		شهید صدر	۸
	نیرو هوایی	۲۲		میرداماد	۹
	پیروزی	۲۳		قلهک	۱۰
	شیخ الرئیس	۲۴		مصلا	۱۱
	شهدا	۲۵	ملت	۱۲	
	انقلاب اسلامی		دو	شهید باقری	۱۳

یافته ها

همانطور که اشاره گردید، زمان آگاهی، زمان واکنش (پیش حرکت) و زمان حرکت، سه متغیر کاربردی برای محاسبه ی زمان تخلیه هستند. با این نگرش و توجه به مفهوم هریک از این متغیرها، در ادامه بحث عواملی مطرح خواهند شد که بر کاهش زمان هریک از متغیرهای مذکور مؤثر می باشند.

۱. مسافتی که مسافری بر روی یک پلکان طی می کنند.
 ۲. در حین تخلیه، ممکن است افراد زیادی در یک مسیر تخلیه تجمع یابند، در حالی که تعداد افراد نسبتاً کمتری در معابر دیگر وجود دارد. تجمع نامتعادل در معابر در حین تخلیه ممکن است، باعث افزایش زمان تخلیه گردد (شی کونگ لینگ و همکاران، ۲۰۱۰). این تجمع نامتعادل به این دلیل است که مسافران حق انتخاب بین دو مسیر را دارند، اما به دلیل نحوه جانمایی مسیرها، اکثر مسافران یکی از مسیرها را انتخاب می کنند. فاصله ای که بین دو مسیر مذکور است، LP نامیده می شود.

خودروها نصب می‌شوند که بایستی به راحتی بتوانند بالا و پایین بروند و یا به طرفین حرکت کنند (حسینعلی بیگی، ۱۳۸۸: صص ۱۱۶ و ۱۱۷). نمونه استفاده از این موانع در خصوص ایستگاه متروی قلهک در شکل شماره ۲ ارائه شده است. لازم به ذکر است، تعیین مقدار کمی حریم مناسب، بر اساس روابط حاکم بر حرکت مسافری و نیز شبیه‌سازی‌های انجام شده در سناریوهای مختلف خروج تعیین می‌گردد.



شکل ۲. ایجاد حریم مناسب برای ورودی - خروجی ایستگاه مترو قلهک به کمک مانع محیطی

تناسب عرض معابر مجاور و حجم مسافران به هنگام خروج ناگهانی با توجه به بررسی‌های صورت گرفته، برخی معابر جمع کننده مخصوص مسافران و منتهی به ایستگاه‌های مترو، از ظرفیت کافی حرکت افراد در شرایط بحران و گاهی حتی در شرایط عادی، برخوردار نبوده و در صورت خروج ناگهانی مسافران از این ایستگاه‌ها، جمعیت در خیابان‌های مجاور سرریز شده و مشکلات دیگری را از جمله تصادف مسافران با وسایل نقلیه و وسایل نقلیه با یکدیگر و مسدود شدن مسیرهای ارتباطی و خیابان‌های مجاور را در پی خواهد داشت. مسدود شدن خیابان نیز به طور طبیعی، کندی امداد رسانی و افزایش مجدد خسارات و تلفات (افزایش پیامدها به صورت هم‌افزا) را به دنبال دارد.

نقش ورودی-خروجی ایستگاه‌ها در سرعت تخلیه جمعیت

تناسب تعداد ورودی - خروجی با حجم مسافران مراجعه کننده تعداد ورودی - خروجی ایستگاه‌های مترو به طور طبیعی بایستی متناسب با حجم استفاده مسافران آن ایستگاه باشد تا تخلیه افراد داخل ایستگاه، در زمان قابل قبولی صورت گیرد. این تناسب، زمان تصمیم‌گیری مسافران برای انتخاب مسیر خروج و دبی جمعیت

تأثیر محیط پیرامونی بر سرعت تخلیه جمعیت

محیط پیرامون و مجاور ایستگاه‌های مترو به صورت مستقیم بر کاهش زمان واکنش، حرکت و به تبع آن افزایش سرعت حرکت ناگهانی مردم اثرگذار می‌باشد. به همین دلیل لازم است پیش از بیان عوامل مؤثر افزایش سرعت هدایت در اجزای اصلی ایستگاه‌های مترو، محیط پیرامون ایستگاه مورد بررسی تحلیلی قرار گیرد.

حذف عناصر مزاحم

وجود عناصر مزاحم در نزدیکی ورودی-خروجی ایستگاه‌های مترو سبب تشدید خسارت‌ها و تلفات انسانی به دلیل کندی در سرعت و برخورد افراد با این عناصر می‌گردد.



شکل ۱. عنصر مزاحم در ورودی-خروجی ایستگاه

ایجاد حریم برای ورودی - خروجی

وجود موانع استاندارد^۱ در فاصله مناسب از ایستگاه‌های مترو سبب خواهد شد تا از نزدیک شدن عناصر متحرک به حدود ایستگاه جلوگیری به عمل آید. این موانع در قالب دو دسته موانع محیطی و موانع فعال قرار می‌گیرند. موانع محیطی موانع ثابتی هستند که در اطراف محل قرار می‌گیرند. موانعی مانند حصارکشی، سیم خاردار، بوته و درختچه‌ها، جدول‌های بتنی با ارتفاع بیشتر از ۲۰ سانتی‌متر، نرده‌ها، گلدان‌های گل و گیاه، آبراه‌ها و جوی آب از انواع مرسوم موانع محیطی هستند. موانع فعال نیز در محدوده ورودی خروجی

۱. منظور موانعی هستند که مقاوت کافی را در برابر ورود غیرمجاز عناصر متحرک نظیر وسایل نقلیه، به محدوده ورودی ایستگاه را داشته باشند. برای اطلاع از انواع مختلف این موانع می‌توان به استانداردها و دستورالعمل‌های مربوطه نظیر موارد زیر مراجعه نمود.

➤ Federal Emergency Management Agency (2007). Site and Urban Design for Security (FEMA 430).
 ➤ U.S. Department of Homeland Security (2001). Reference Manual to Mitigation Potential Terrorist Attacks Against Buildings (BIPS-06).



شکل ۴. ورودی - خروجی ایستگاه طالقانی، نمونه‌ای از جهت مناسب بازشو

طراحی و جانمایی مناسب مبلمان داخلی

از دیگر اقدامات مناسب جهت کاهش زمان تخلیه، عدم قرارگیری یا حذف عناصر غیرسازه‌ای در مسیر تخلیه می‌باشد (چنگ و یانگ، ۲۰۱۲). موقعیت عناصر غیرسازه‌ای موجود در اجزای در ارتباط با حرکت مسافران، از قبیل دستگاه‌های خودکار فروش بلیت، باجه‌های تلفن، دستگاه‌های خودپرداز بانک‌های مختلف، سطوح زباله، صندلی‌های موجود در سکو و... باید به گونه‌ای باشد که در جریان حرکت مسافران اختلال ایجاد نکند. این امر در مواقع بحرانی و اضطرار، جلوه بیشتری یافته و در صورت عدم رعایت این مهم، موجبات افزایش تلفات و خسارات را فراهم خواهد کرد.

به عنوان نمونه، همانطور که در شکل ۵ قابل مشاهده است، دستگاه‌های خودپرداز در مسیر ارتباطی منتهی به پلکان خروجی اول ایستگاه قرار گرفته است و در صورتی که در محاسبات حرکت جمعیت حداکثری، قرارگیری این عناصر، مدنظر قرار گرفته نشده باشد، از عرض مفید مسیر ارتباطی کاسته و تخلیه را با مشکل مواجه خواهد ساخت. اما در طرف مقابل، همانطور که در شکل شماره ۶ نشان داده شده است، عناصر غیرسازه‌ای در موقعیتی از مسیر ارتباطی منتهی به پلکان خروجی قرار گرفته‌اند که بر عرض مفید مسیر ارتباطی تخلیه جمعیت، اثرگذاری منفی ندارد. شکل ۷ نیز به صورت گرافیکی به این نکته اشاره دارد که در صورت پیش‌بینی و ایجاد عقب‌نشینی در طراحی و اجرای جداره دیواره‌های مسیرهای ارتباطی و نیز در نظر گرفتن فضاهایی مشخص و مجزا برای عناصر غیرسازه‌ای خدمات رسان نظیر دستگاه‌های خودپرداز، می‌توان عرض مفید مسیرهای ارتباطی را حفظ نمود.

خروجی را به دلیل توزیع جمعیت در میان چند ورودی-خروجی کاهش داده و نتیجه مؤثر آن، کاهش زمان واکنش و حرکت می‌باشد.

جهت مناسب بازشوی‌های ورودی - خروجی در تراز خیابان

دقت در طراحی ورودی - خروجی ایستگاه مترو و محل قرارگیری بازشوی‌های آن، کمک قابل توجهی به کاهش زمان تخلیه خواهد نمود. به عنوان نمونه، همان‌طور که در شکل ۳ آمده است، یکی از دو بازشوی ورودی-خروجی ایستگاه به سمت خیابان بوده و دیگری به سمت دیواری است که در فاصله‌ی حدود یک متری بازشو قرار دارد. هر دوی این عوامل مانعی بر سر راه خروج ناگهانی بوده و با افزایش زمان حرکت، بر شدت تلفات و جراحات خواهد افزود. حال اگر نظیر آنچه در ایستگاه شهید طالقانی (شکل ۴) انجام شده است، ساختمان ورودی-خروجی این ایستگاه در محلی جانمایی و طراحی می‌گردید که بازشو به سمت مسیرهای عابر پیاده قرار می‌گرفت، این نقص برطرف می‌گردید.



بازشوی نامناسب ورودی
به سمت خیابان اصلی



حدود یک متر

شکل ۳. نمونه‌ای از جهت نامناسب بازشو



شکل ۸. جانمایی عناصر غیرسازه‌ای در عقب‌نشینی دیواره تراز سکوی ایستگاه امام خمینی (ره)



شکل ۵. قرارگیری عناصر غیرسازه‌ای در مسیر ارتباطی ورود و خروج از ایستگاه

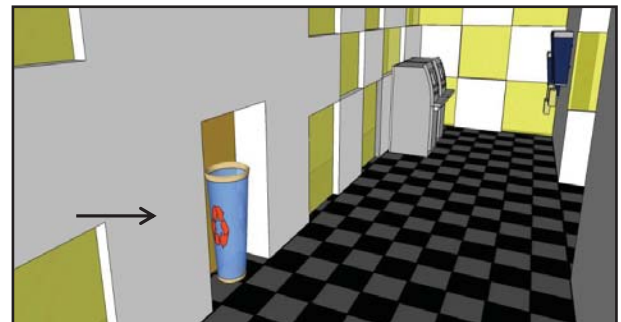
طراحی مناسب مسیره‌های ارتباطی

مسیره‌های ارتباطی در فضاهای زیرزمینی باید ساده باشد و باید اطمینان وجود داشته باشد که این مسیرها به نقاط امن منتهی می‌گردند. در حالاتی که چیدمان راهروها نامعمول و شامل فرم‌های منحنی یا زاویه‌دار و مبادی خروجی و درهایی است که قابل تشخیص دادن نباشد، مشکلات تخلیه افزایش می‌یابند. عدم اطمینان ناشی از طرح‌های ناواضح و پیچیده فضا و مسیره‌های خروجی، مدت زمان جستجو و تصمیم‌گیری را در حالت اضطراری افزایش داده و تخلیه را به تأخیر می‌اندازد. در یک آتش‌سوزی که در سال ۱۹۸۷ در یک ایستگاه مترو در لندن رخ داد، افراد تلاش کردند از طریق پله‌های برقی فرار کنند اما مستقیماً به نیم‌طبقه‌ای که کانون آتش بود، منتقل شدند (کارمودی و استرلینگ، ۱۳۸۸: صص ۳۰۶، ۳۰۷ و ۳۰۹).

وجود شکستگی‌های ناگهانی در طول مسیره‌های ارتباطی مانند آنچه در شکل ۹ آمده است نیز، حرکت افراد و به ویژه سالمندان، کودکان و مسافران ناآشنا با محیط ایستگاه را دچار مشکل کرده و تشدید تلفات جانی را در پی خواهد داشت.



شکل ۶. جانمایی مناسب عناصر غیرسازه‌ای در سالن فروش بلیت ایستگاه ملت



شکل ۷. عقب‌نشینی در جداره‌ی ایستگاه و استفاده برای جانمایی عناصر غیرسازه‌ای



شکل ۹. شکستگی ناگهانی در مسیر ارتباطی بین سالن فروش بلیت و فضای بیرونی

در سطح سکون نیز یکی از عناصر غیرسازه‌ای ضروری، صندلی‌های انتظار مسافران است. در خصوص این عناصر نیز همانطور که در شکل شماره ۸ قابل مشاهده می‌باشد، در صورت پیش‌بینی در زمان طراحی و اجراء می‌توان از طریق ایجاد عقب‌نشینی در دیواره‌های سطح سکو و قرار دادن عناصر غیرسازه‌ای متداول نظیر صندلی‌ها، سطل‌های زباله و تجهیزات اطفاء حریق در آن فضا، به تسهیل خروج افراد از ایستگاه کمک نمود.

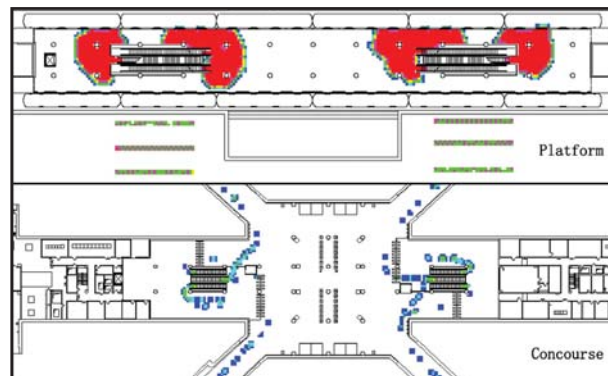
اصطکاک سطوح نیز، ابزارهایی طراحی و تولید شده که نمونه آن در شکل ۱۱ نمایش داده شده است. به کمک این ابزارها می توان بدون نیاز به تغییرات عمده در کف سازی و ایجاد نارضایتی موقت در حرکت مسافران، به بهبود این امر پرداخت.



شکل ۱۱. کف پوش مخصوص افزایش ضریب اصطکاک

استفاده از علائم راهنما با قابلیت هدایت در تاریکی استفاده از علائم راهنمای مناسب در مواجهه با حریق، جلوه بیشتری پیدا می کند. مطالعه آتش سوزی های گذشته نشان می دهد که اشتباهات مردم و عدم اطلاع کافی از محیط، بیش از دستپاچگی و وحشت زدگی باعث تلفات می گردد (استولارد و آبرامز^۲، ۱۳۸۷: ص ۹۵). مردم از دو طریق از وقوع شرایط اضطراری و نحوه عمل در آن اطلاع حاصل می کنند: از طریق زنگ خطر یا ارتباط صوتی و یا از طریق مجموعه ای از راهنماها در موقع خروج اضطراری که شامل علامت ها، نورپردازی و الگوی طراحی می گردد (کارمودی و استرلینگ^۳، ۱۳۸۸: ص ۲۹۸). از این رو درک تمام علائم راهنما بایستی برای تمام مسافران، ممکن و خوانا باشد. علائم مربوط به خروجی اضطراری بایستی توسط عناصر دارای نور، مشخص شده باشند تا در تاریکی نیز قابل رؤیت باشند (اداره حمل و نقل فدرال، ۲۰۰۴).

نرم افزارهای شبیه سازی نیز در سال های اخیر به منظور کمک به این مهم، مورد استفاده قرار می گیرند که نمونه آن در شکل ۱۰ قابل مشاهده می باشد. بررسی نرخ جریان عبوری از سکو به سمت سالن فروش بلیت و برنامه ریزی جهت طراحی مسیر بین این دو جزء فضا و بین سالن فروش بلیت و ورودی-خروجی، کاهش خسارت های انسانی را به همراه خواهد داشت.



شکل ۱۰. کاربرد شبیه سازی در پیش بینی حجم مسافران در حال تخلیه (شی کونگ لینگ و همکاران، ۲۰۱۰)

استفاده از مصالحی که دارای اصطکاک کافی نیستند نیز، منتهی به افزایش احتمال لغزش افراد در خروج سریع از ایستگاه و علی الخصوص در پله ها می گردد. در شرایط اضطراری و حجم بالای مردم در حال حرکت، در صورت سُرخوردن مسافران در طول مسیرهای ارتباطی، افزایش تلفات انسانی محتمل خواهد بود. مصالح مورد استفاده در اجزای مختلف و از جمله مسیرهای ارتباطی، بایستی حداقل اصطکاک را تأمین کنند. ضریب اصطکاک حداقلی در سطوح مختلف ایستگاه های مترو، در جدول ۲ ارائه شده است.

جدول ۲. حداقل اصطکاک لازم در سطوح ایستگاه (گروه مترو، ۲۰۰۷، صص ۶-۱۷)

ضریب اصطکاک	
۰/۶	سطوح افقی عمومی
۰/۶	سطوح افقی غیر عمومی، خارجی
۰/۵	سطوح افقی غیر عمومی، داخلی
۰/۸	پله ها و رمپ ها
۰/۶	فضاهای پیرامون تجهیزات

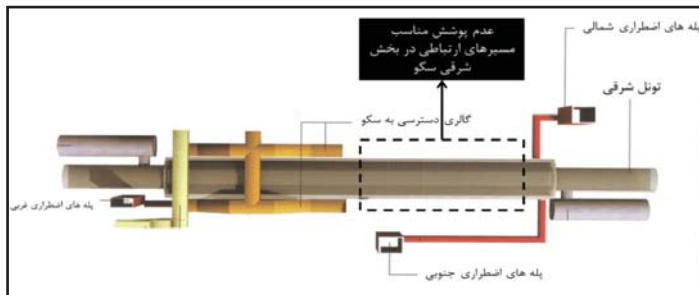
به منظور بهبود شرایط موجود ایستگاه ها جهت افزایش

2. Paul Stollard and John Abrahams
3. Reymond L. Sterling and John Carmody
4. Federal Transit Administration (2004)

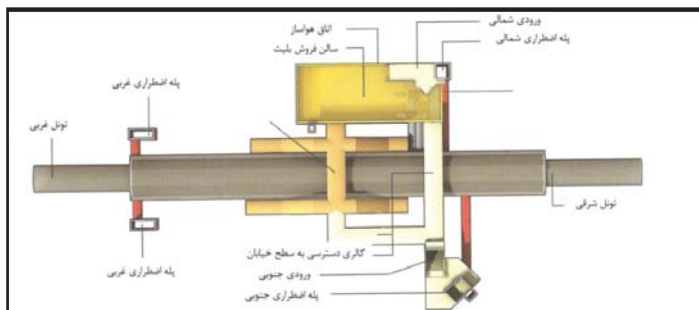
1. METRO group, 2007

ارتباطی و افزایش تعداد آن‌ها در طول سکو ممکن می‌گردد. با تدوین تمامی سناریوهای ممکن، بایستی مسیرهای خروجی به تعداد و عرض مناسب برای هر ایستگاه طراحی و ساخته شود. خروجی از سطح سکو به سطح خیابان به وسیله پله برقی و پلکان‌های ایزوله در برابر حریق تأمین می‌گردد. طراحی و جانمایی خروجی‌ها بایستی به گونه‌ای انجام گیرد تا همه افراد، فرصت استفاده مساوی بهره‌برداری از آن‌ها را داشته باشند (صص ۱۳ و ۱۴).

در برخی از ایستگاه‌های داخل کشور، عدم توزیع متوازن مسیرهای بین سکو و سالن فروش بلیت قابل مشاهده می‌باشد. این عدم توازن سبب افزایش میزان خطر برای افراد حاضر در بخش‌های دور از دسترسی‌ها بوده و منتهی به افزایش تلفات انسانی می‌گردد. نمونه‌ای از این گونه ایستگاه‌ها در شکل ۱۳ آمده و همان‌طور که قابل مشاهده است، بخش شرقی سکو از مسیرهای خروجی به سمت سالن فروش بلیت محروم می‌باشد. در طرف مقابل و همان‌طور که در شکل ۱۴ ارائه شده است، طراحی و جانمایی مناسب مسیرهای ارتباطی در طول تراز سکو، توزیع متوازن خروج جمعیت را به همراه خواهد داشت.



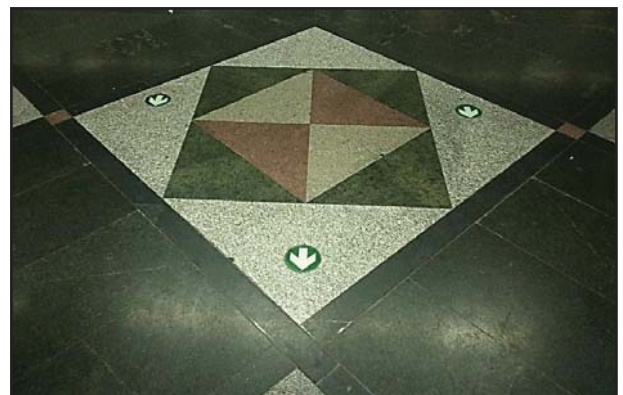
شکل ۱۳. توزیع نامتناسب مسیرهای ارتباطی در سطح سکو



شکل ۱۴. توزیع متناسب مسیرهای ارتباطی در سطح سکو

لازم به ذکر است انتخاب نوع الگوی طراحی سطح سکو، در تأمین تناسب مسیرهای ارتباطی تأثیر مستقیم دارد. به عنوان نمونه، در ایستگاه

علاوه بر علامت‌های معمول در نزدیکی درهای خروجی، فلش نما و دیگر علائم هدایت‌کننده در طول راهروها می‌تواند در نشان دادن مسیر به صورت بهتری به افراد عمل نماید. چون دود در نزدیکی سقف جمع می‌شود، توصیه می‌گردد که علامت‌ها در ارتفاع کم یا بر روی کف طبقات نیز علاوه بر علامت‌های معمولی خروجی در بالا نصب گردند. یک روش مبتکرانه جهت علامت‌گذاری و نورپردازی اضطراری، استفاده از سیستم‌های شبرنگ و شب‌تاب است. مواد شب‌تاب حاوی کریستال‌ها، عمدتاً سولفید روی هستند که انرژی تابشی را از منابع نور مصنوعی جذب و ذخیره می‌نمایند. هنگامی که منبع نور از بین می‌رود، یعنی برق قطع می‌شود، این کریستال‌ها، انرژی تابشی را از خود ساعت می‌کنند و در تاریکی مطلق به روشنی می‌درخشند. این درخشش با گذشت زمان از بین می‌رود اما آنقدر قدرت دارد که برای یک ساعت، چشم‌ها به آن عادت می‌کنند و در تاریکی تا ۸ ساعت امکان دید را فراهم آورد (کارمودی و استرلینگ، ۱۳۸۸: صص ۳۱۳).



شکل ۱۲. استفاده از علائم هدایتی شب‌تاب در کف سطح سکوی ایستگاه طالقانی

کاهش فاصله دورترین نقطه‌ی سکو از پله‌ها

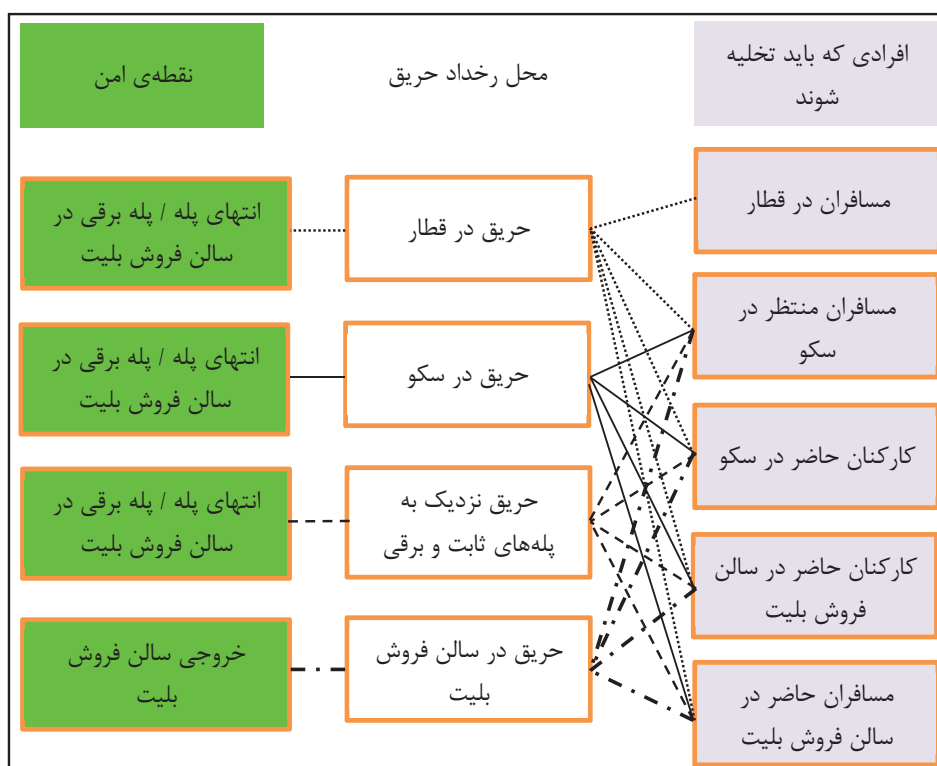
در بین اجزای اصلی ایستگاه مترو، سطح سکو دورترین نقطه از محیط بیرونی و فضای باز می‌باشد. از این رو توزیع مسیرهای ارتباطی از این جزء اصلی به سطح سالن فروش بلیت از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. خروجی‌های سکو باید مبتنی بر تخلیه عادی و تخلیه اضطراری در حداقل زمان، طراحی و ساخته شده باشند (مسعود، خبازنیا و باستانی، ۱۳۸۸: صص ۳۳ و ۳۴). بر اساس مطالعه پاولی (۲۰۱۰)، کاهش فاصله دورترین نقطه سکو از پله‌ها با توزیع متناسب مسیرهای

و ضروری است برای هر ایستگاه به طور مجزا، بسته به موقعیت جغرافیایی، تعداد متوسط مسافران روزانه، شرایط فیزیکی و محیط شهری بیرون ایستگاه، این طرح، تدوین گردد. یکی از اولین و کلیدی ترین اقدامات در تدوین طرح واکنش را می توان هدایت مردم به مکان های امن در ایستگاه دانست تا در گام بعد، تخلیه افراد با ایمنی بالاتری انجام گیرد. در شکل ۱۵، نمونه ای از تعیین محل های امن در برابر تهدید حریق (عمدی یا غیرعمدی) مشخص شده است. نقاط امن با استفاده از روش های مختلفی از جمله شبیه سازی و آزمایش تجربی، مشخص می گردند.

شهید کلاهدوز، چهار ردیف پله مجزا، هر یک شامل یک پله ثابت و یک پله متحرک، دسترسی آسان و متوازن مسافران به سکو یا سالن فروش بلیت را فراهم کردند (شماره ۱۳ مجله فرآیند معماری، ۱۳۸۹: ص ۴۱) که ناشی از انتخاب گونه جزیره ای^۱ در سطح سکوی این ایستگاه می باشد.

تدوین طرح واکنش در شرایط اضطراری

در کنار اقدامات کالبدی، تدوین طرح واکنش اضطراری، در کاهش تلفات انسانی و حتی خسارات کالبدی اثر قابل ملاحظه ای دارد



شکل ۱۵. سناریوهای مختلف حریق و مناطق امن هر سناریو (شی کونگ لینگ و همکاران، ۲۰۱۰^۲)

کارکنان خدماتی مشغول به فعالیت هستند، وظایف خود را در شرایط اضطراری انجام دهند. مشخص بودن وظایف هر یک از کارکنان و تمرین و آمادگی جهت انجام آن وظایف، موجب سرعت عمل در رفتار و کاهش تلفات خواهد شد. این وظایف می تواند در قالب جدول هایی مختصر نظیر جدول شماره ۳؛ و تحت عنوان طرح نجات^۳، تدوین و در اختیار تمامی کارکنان قرار گیرد.

آموزش عمومی و فرهنگ سازی

مردم به عنوان مهم ترین سرمایه، لازم است از اقدامات لازم در مواجهه

در گام بعدی و پس از مشخص شدن سناریوهای ممکن و محل های امن در برابر تهدید مدنظر، وظایف کارکنان در نوع واکنش به رخداد تهدیدات تعیین می گردد. در انجام این اقدامات که در مرحله قبل از وقوع شرایط اضطراری انجام می گیرند، بایستی هر یک از کارکنان حاضر که در پست های مختلف از قبیل رئیس ایستگاه، حراست، پلیس ایستگاه، تکنسین های فنی و

۱. در حالت کلی سکوها به دو نوع سکوهای کناری و سکوهای جزیره ای تقسیم می گردند. چنانچه سکو از یک طرف مشرف به خط قرار گیرد، سکو از نوع کناری و در صورتی که سکو از دو طرف بین خطوط قرار داشته باشد از نوع سکوی جزیره ای خواهد بود (نصر آزادانی، ۱۳۸۸: ص ۱۹۷).



جدول ۳. نمونه‌ی فرضی وظایف کارکنان حاضر در واکنش مناسب به تهدید

تهدید / کارکنان	بمب‌گذاری	حریق عمدی	زلزله	گروگان‌گیری
رئیس ایستگاه	مدیریت صحنه	مدیریت صحنه	مدیریت صحنه	مدیریت صحنه
پلیس	هدایت دیداری مردم / پیشگیری از تکرار هم‌زمان رخداد تهدید	پی‌گیری خرابکار احتمالی / اطفاء حریق	هدایت دیداری مردم	هدایت دیداری مردم / دریافت دستور از نیروهای امنیتی
حراست	هدایت دیداری مردم / پیشگیری از تکرار هم‌زمان / امداد و نجات	هدایت مردم / اطفاء حریق / امداد و نجات	هدایت دیداری مردم / امداد و نجات	هدایت مردم / دریافت دستور از نیروهای امنیتی / امداد و نجات
بخش کنترل	هدایت شنیداری مردم / ارسال گزارش و دریافت دستور از مرکز / درخواست کمک از مراکز مربوط	هدایت شنیداری مردم / ارسال گزارش و دریافت دستور از مرکز / درخواست کمک از مراکز مربوط	هدایت شنیداری مردم / ارسال گزارش و دریافت دستور از مرکز / درخواست کمک از مراکز مربوط	ارسال گزارش و دریافت دستور از مرکز / درخواست کمک از مراکز مربوط
کادر فنی	قطع عوامل هم‌افزای تهدید / امداد و نجات	قطع عوامل هم‌افزای تهدید / امداد و نجات / اطفاء حریق	قطع عوامل هم‌افزای تهدید / وارد ساختن سامانه‌های پشتیبان مورد نیاز به مدار	قطع عوامل هم‌افزای تهدید / امداد و نجات
خدماتی	امداد و نجات	اطفاء حریق / امداد و نجات	هدایت مردم / امداد و نجات	هدایت دیداری مردم / در اختیار نیروهای امنیتی

گردید. راهکارهای استخراج شده در جدول شماره ۴ جمعیت و بر اساس نوع تأثیر، نوع راهکار و قابلیت پیاده‌سازی در ایستگاه‌های در حال بهره‌برداری و یا طراحی، طبقه‌بندی گردیدند.

همانطور که از جدول فوق قابل دریافت است، ۱۱ راهکار اجرایی در ایستگاه‌های متروی در حال طراحی و ۹ راهکار اجرایی در ایستگاه‌های در حال بهره‌برداری، جهت افزایش سرعت تخلیه جمعیت در شرایط اضطراری قابل پیاده‌سازی می‌باشد. در این میان، «تدوین طرح واکنش در شرایط اضطراری» راه‌کاری است که بدون نیاز به تغییرات کالبدی در عناصر ایستگاه، در کاهش هر سه عنصر زمان آگاهی، زمان واکنش و زمان حرکت مؤثر است. از میان اقدامات کالبدی نیز، «طراحی مناسب مسیرهای ارتباطی»، «استفاده از علائم راهنما با قابلیت هدایت در تاریکی» و «کاهش فاصله دورترین نقطه‌ی سکو از پله‌ها»، اقداماتی محسوب می‌گردند که در کاهش دو عنصر زمان واکنش و زمان حرکت مؤثر می‌باشند. سایر راهکارها نیز، با کاهش زمان حرکت جمعیت حاضر در ایستگاه‌های مترو، سرعت تخلیه را کاهش خواهد داد.

همچنین پیشنهاد می‌گردد در پژوهشی مجزا، راهکارهای ارائه شده در این تحقیق به صورت فرضی بر روی یک ایستگاه در حال

با شرایط اضطراری آگاه باشند. هر اندازه دانش عمومی مردم در خصوص این اقدامات بالاتر رود، قدرت واکنش به رخداد هر تهدید بالاتر می‌رود. فرهنگ‌سازی، خود نیازمند زمان است و مؤثرترین روش‌ها بایستی انتخاب گردند. تولید پویانمایی‌ها و نمایش در نمایشگرهای داخل قطارها و پوسته‌های قابل نصب در داخل فضای ایستگاه‌ها از جمله در سطح سکو (که محل توقف مسافران است)، از جمله عمومی‌ترین روش‌های فرهنگ‌سازی است.

نتیجه‌گیری

زمان آگاهی، زمان واکنش و زمان حرکت به عنوان سه جزء زمانی در زمان کل تخلیه ایستگاه‌های متروی زیرزمینی مورد توجه قرار دارند. مقادیر کمی هر یک از این سه جزء، متناسب با شرایط طراحی کالبدی و مدیریتی هر ایستگاه، متفاوت خواهند بود. این در حالی است که افزایش سرعت تخلیه جمعیت از فضاهای عمومی شهری در شرایط اضطراری، به ویژه در فضاهای زیرزمینی نظیر ایستگاه‌های مترو، در کاهش تلفات و جراحات انسانی بسیار مؤثر است. در این تحقیق براساس بررسی اسناد کتابخانه‌ای و بازدیدهای میدانی، ۱۱ راهکار جهت افزایش سرعت تخلیه این فضاهای عمومی ارائه

جدول ۴. راهکارهای افزایش سرعت تخلیه اضطراری جمعیت در ایستگاه‌های متروی زیرزمینی

پیشنهاد برای...		نوع راهکار		نوع تأثیر			راهکارهای افزایش سرعت تخلیه جمعیت در ایستگاه‌های متروی زیرزمینی
ایستگاه‌های در حال بهره‌برداری	ایستگاه‌های در حال طراحی	کابندی	مدیریتی	کاهش زمان آگاهی	کاهش زمان واکنش	کاهش زمان حرکت	
*	*	*	*			*	حذف عناصر مزاحم در فاصله کم از ورودی خروجی
*	*	*	*			*	محیط پیرامونی مناسب ایجاد حریم برای ورودی خروجی
*	*	*	*			*	تناسب عرض معابر مجاور و حجم مسافران به هنگام خروج ناگهانی
*	*	*	*			*	تناسب تعداد ورودی - خروجی با حجم مسافران مراجعه کننده
*	*	*	*			*	جهت مناسب بازشوهای ورودی - خروجی در تراز خیابان
*	*	*	*			*	طراحی و جانمایی مناسب مبلمان داخلی
*	*	*	*		*	*	طراحی مناسب مسیرهای ارتباطی
*	*	*	*		*	*	استفاده از علائم راهنما با قابلیت هدایت در تاریکی
*	*	*	*		*	*	کاهش فاصله دورترین نقطه سکو از پله‌ها
*	*	*	*		*	*	آموزش عمومی و فرهنگ‌سازی
*	*	*	*	*	*	*	تدوین طرح واکنش در شرایط اضطراری

۷. علی‌رضا، عندلیب (۱۳۸۹). «فضاهای عمومی شهر». مجله تخصصی،

محیط، منظر، شهر، معماری. شماره ۷. بازیابی از:

http://www.manzar-sj.com/article_378_99b4a328d30e3b25c639421dc64422c7.pdf

۸. کارمودی، جان و استرلینگ، ریموند (۱۳۸۸). طراحی فضاهای زیرزمینی.

ترجمه: وحیدرضا ابراهیمی. مشهد: مرن‌دیز.

۹. مجلس شورای اسلامی (۱۳۹۸). قانون مدیریت بحران کشور. بازیابی از:

<https://rc.majlis.ir/fa/law/show/1262578>

۱۰. مجله‌ی فرآیند معماری (۱۳۸۹). شماره ۱۳.

۱۱. محمودی، محمد مهدی (۱۳۸۳). «ضرورت طراحی در ارتباط با فضای

شهری پیرامون ورودی‌های مترو در تهران». مجله هنرهای زیبا، شماره ۱۹، ص ۴۹ - ۵۵.

۱۲. مسعود، رامین و خبازنیا، محمود و باستانی، ژیلا (۱۳۸۸). ضوابط عمومی

طراحی ایستگاه‌های مترو و انتخاب تجهیزات ایستگاه. چ اول. تهران: شرکت بهره‌برداری راه‌آهن شهری تهران و حومه (مترو).

۱۳. منتظری، محمد (۱۳۸۷). سیستم‌های راه‌آهن شهری. تهران: شرکت

بهره‌برداری راه‌آهن شهری تهران و حومه (مترو). چاپ اول.

۱۴. مهندسین مشاور بهروی تهران (۱۳۸۶). مطالعات ایستگاه ولی عصر (عج)

(۴'I۳G).

۱۵. مهندسین مشاور گنو (۱۳۹۰). خط ۴ متروی تهران مروری بر طراحی و

اجرا. تهران: فدک ایساتیس.

۱۶. نصر آزادانی، سید مسعود (۱۳۸۸). اصول و طراحی ایستگاه‌های راه‌آهن.

چاپ اول: تهران: نشر راه‌دان.

بهره‌برداری (که راهکارهای مذکور در آن رعایت نشده است) اجرا

گردد و صحت و میزان اثربخشی راهکارها، توسط نرم‌افزارهای

شبیه‌سازی و یا معادلات حاکم بر محاسبه سرعت تخلیه، سنجیده

شود.

منابع

۱. استولارد، پاول و آبرامز، جان (۱۳۸۷). اصول ایمنی حریق در ساختمان‌ها،

راهنمای طراحی برای معماران. ترجمه: عبدالصمد زرین‌قلم و سعید بختیاری. تهران: مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن.

۲. پاکزاد، جهان‌شاه (۱۳۸۳). راهنمای طراحی فضاهای شهری در ایران.

وزارت مسکن و شهرسازی، معاونت شهرسازی و معماری، دبیرخانه شورای عالی شهرسازی و معماری.

۳. حافظ‌نیا، محمدرضا (۱۳۸۹). مقدمه‌ای بر روش تحقیق در علوم انسانی.

تهران: سازمان مطالعه و تدوین کتب علوم انسانی دانشگاه‌ها (سمت).

۴. حسینی‌بیگی، غلامرضا (۱۳۸۸). اصول و ضوابط طراحی ساختمان‌های

امن. تهران: فدک ایساتیس.

۵. حسینی، سید بهشید (۱۳۸۹). معیارهای عمومی در طراحی ساختمان‌های

عمومی شهری. تهران: نشر عابد.

۶. رحیمی، الناز (۱۳۹۰). «اصول طراحی ایستگاه‌های حمل و نقل ریلی».

مجله هنر معماری، شماره ۲۳، ص ۱۰۶ - ۱۱۷.



- Design Considerations. U.S. Department of Transportation. Retrieved from: <https://www.transit.dot.gov/sites/fta.dot.gov/files/docs/ftasesc.pdf>
23. Guo, Ren-Yong and Tang, Tie-Qiao (2012). "A simulation model for pedestrian flow through walkways with corners". In journal of Simulation Modelling Practice and Theory, no 21, pp. 103–113. Retrieved from: <https://eurekamag.com/research/064/161/064161710.php>
24. METRO group (2007). Design Criteria Manual (Metro Light Transit Project).
25. Paveley, Joe (2010). Pre-Final Reference Design. Sydney Metro.
26. Tsukahara, Manabu and Koshiba, Yusuke and Ohtani, Hideo (2011). "Effectiveness of downward evacuation in a large-scale subway fire using Fire Dynamics Simulator". In journal of Tunnelling and Underground Space Technology, no 26, pp. 573-581. Retrieved from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0886779811000186>
27. W. Johnson, Chris (2007). "The Application of Computational Models for the Simulation of Large-Scale Evacuations following Infrastructure Failures and Terrorist Incidents". Scotland: University of Glasgow. Retrieved from: <https://www.semanticscholar.org/paper/The-Application-of-Computational-Models-for-the-of-Johnson/e72e0085d9f15355ac87f2263b7a4df341a2022e>
17. وزارت صنعت، معدن و تجارت (۱۳۹۵). دستورالعمل شماره ۱۰۱۴: دستورالعمل واکنش در شرایط اضطراری. بازیابی از: <https://www.mimt.gov.ir/circularinformation/>
18. Carmona, Matthew and Heath, Tim and Oc, Taner and Tiesdell, Steve (2003). Public Places Urban Spaces. Publish: by Architectural Press. Retrieved from: <https://b-ok.asia/book/1312425/78a0e2?dsource=recommend®ionChanged=&redirect=165692412>
19. Cheng, Huan and Yang, Xiaokuan (2012). "Emergency Evacuation Capacity of Subway Stations". 8th International Conference on Traffic and Transportation Studies. Changsha, China, August 1–3, 2012. Retrieved from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877042812009883/pdf?md5=5d299036d247ff972f207e2b32b5aeaa&pid=1-s2.0-S1877042812009883-main.pdf>
20. Congling, Shi and Maohua, Zhong and Xingzhong, Nong and Li, He and Jiehong, Shi and Guoguan, Feng (2010). "Modeling and safety strategy of passenger evacuation in a metro station in China". In journal of Safety Science, no 50, pp. 1319-1332. Retrieved from: https://www.researchgate.net/publication/251614862_Modeling_and_safety_strategy_of_passenger_evacuation_in_a_metro_station_in_China.
22. Federal Transit Administration (2004). Transit Security