مجله علمی ترویجی «پدافند غیرعامل»

سال یازدهم، شماره ٤، زمستان ۱۳۹۹، (پیاپی ٤٤): صص ۳۲-۱۷

علمی- ترویجی

عوامل مؤثر بر تخلیه اضطراری ایستگاه‌های مترو با استفاده از نرم‌افزار شبیه‌سازی Pathfinder ۲۰۱۷ و ارائه راهکارهای مهندسی با رویکرد پدافند غیرعامل

غلامرضا جلالی فراهانی[۱*]، محسن ساسانی[۲]، حامد احمدیوسفی[۳]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۱۰/۲۳

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۵/۲۵

چکیده

مروری بر حوادث گذشته در ایستگاه‌های مترو دنیا نشان می‌دهد تلفات بسیاری ناشی از حوادث آتش‌سوزی، بمب‌گذاری و ... در ایستگاه‌های مترو به دلیل بسته بودن فضای زیرزمینی ایستگاه ، ازدحام جمعیت و... وجود داشته است. بنابراین هنگام مواجه‌شدن با این تهدیدات، یکی از پاسخ‌های اضطراری مهم برای حفاظت از جان شهروندان و کاهش تلفات نیروی انسانی و به‌تبع آن افزایش پایداری ملی تخلیه جمعیت است. لذا به‌منظور کاهش تلفات ناشی از رخداد حوادث در ایستگاه مترو، پیش‌بینی وضعیت تخلیه افراد و کاهش زمان تخلیه، لازمه عوامل مؤثر بر تخلیه اضطراری ایستگاه‌های مترو شناسایی و برطرف شوند. برای شناسایی این تنگناها در طی فرایند تخلیه، از روش کمی استفاده شده است. روش کمی مورداستفاده در این پژوهش استفاده از نرم‌افزار شبیه‌سازی تخلیه اضطراری Pathfinder ۲۰۱۷ می‌باشد که در حالت شبیه‌سازی جنبش (SFPE) استفاده گردید. بنابراین شبیه‌سازی و الگوسازی تخلیه افراد در سه حالت کم، متوسط و زمان اوج جمعیت در ایستگاه مترو، در حالت‌های مختلفی با در نظر گرفتن شرایط: سرعت‌های مختلف حرکت افراد، جنسیت، اندازه گروه‌های مختلف و تراکم پدیده‌های در ایستگاه موردمطالعه (ایستگاه دروازه شمیران) شبیه‌سازی شد و روند تخلیه افراد و چگونگی تخلیه افراد از مسیرهای مختلف ایستگاه و عوامل بحرانی تأثیرگذار مانند گلوگاه تخلیه، دریچه‌ها ورود و خروج و سکوها و ... در زمان تخلیه شناسایی شدند. و همچنین برای برطرف کردن این تنگناها و کاهش زمان تخلیه در ایستگاه، الزامات مهندسی (سازه، معماری، تأسیسات و مدیریت ساختاری) با رویکرد پدافند غیرعامل برای تسهیل تخلیه و کاهش زمان تخلیه و آسیب‌پذیری و نجات افراد در ایستگاه‌های مترو ارائه شد.

کلیدواژه‌ها: عوامل مؤثر در تخلیه اضطراری، پدافند غیرعامل ، ایستگاه‌های مترو، ، نرم‌افزار شبیه‌سازی Pathfinder ۲۰۱۷

[۱] استادیار، دکتری مدیریت راهبردی، دانشگاه عالی دفاع ملی، تهران، ایران- (farahani.1357@gmail.com)- نویسنده مسئول

[۲] دکتری مدیریت راهبردی، دانشگاه عالی دفاع ملی،معاون سازمان پدافندغیرعامل ،تهران،ایران

[۳] کارشناس ارشد، مهندسی پدافند غیرعامل، گرایش طراحی ،دانشگاه صنعتی مالک اشتر، کرمان، ایران

۱- مقدمه

در دنیای توسعه یافته، امروزه تثبیت جمعیت از اصولی بوده که در مقررات شهری کشورهای پیشرفته حائز جایگاهی مهم و راهبردی در برنامه‌ریزی شهری می‌باشد که این امر باعث شده است مورد توجه خاص برنامه‌ریزان قرار گیرد تا بدین‌وسیله به‌دور از آلودگی صوتی و زیست‌محیطی شهرهای سنتی خود را به شهرهای نوین تبدیل کنند. آن‌ها اولین قدم را انتقال حمل‌ونقل عمومی به زیرزمین از طریق توسعه مترو می‌دانند، تا امکان آزادسازی فضاهای شهری فراهم شود و تجمعات انسانی و ترددهای عظیم توسط ایستگاه‌های مترو سازمان‌دهی گردند [۱]. استفاده از قطار شهری به‌عنوان یکی از مهم‌ترین زیرساخت‌های صنایع حمل‌ونقل حائز اهمیت بوده و کشورهای مختلف بسته به نوع راهبرد و ساختار سیاسی، اجتماعی و اقتصادی خود اهداف گوناگونی را از ساخت‌وساز و گسترش سامانه مربوطه دنبال می‌نمایند [۲]. ایستگاه‌ها، در سیستم حمل‌ونقل ریلی شهری، به‌عنوان رکن ارتباط‌دهنده فضای زیرزمین با محیط بیرونی هستند که در نقاط عطف ترافیکی قرار می‌گیرند و نقش شهری و یا فراشهری دارند [۳]. با توجه به جمعیت‌های زیادی که معمولاً در ایستگاه‌های مترو وجود دارند پتانسیل و خطرات زیادی ایجاد می‌شود؛ مروری بر حوادث گذشته در متروهای دنیا نشان می‌دهد که در بخش حمل‌ونقل ایستگاه مترو، هدف اصلی تروریست‌ها به علت اثرات شدید از نظر تلفات جمعی، اختلال در جنبش آزاد و امنیت مردم و سیستم ترافیکی در مناطق شهری بوده است. همچنین ایستگاه‌های حمل‌ونقل ریلی شهری دارای فضای محدود هستند در صورت رخداد تهدیدات و عدم آمادگی کافی، به‌دلیل مشکلات زیر:

- ✓ چگونگی واکنش مردم در شرایط اضطراری در ایستگاه‌ها غیرقابل‌پیش‌بینی است
- ✓ ورودی‌ها و خروجی‌های ثابت هستند
- ✓ محیط بسته و فضاهای محدود ایستگاه
- ✓ آغازگر بودن تخلیه به‌احتمال‌زیاد به‌خودی‌خود
- ✓ حضور بالای مسافران
- ✓ مشکل بودن برای رسیدن به دسترسی‌ها و نقاط ایمن
- ✓ عدم آمادگی و دستورالعمل‌های واکنش در شرایط اضطراری
- ✓ دلیل پتانسیل برای اختلال، تخریب،
- ✓ و پتانسیل برای امکان فرار مجرم‌ها با توجه به‌اندازه، باز بودن، در دسترس، عدم شناسایی مسافر و...،

می‌تواند باعث از بین رفتن عملکرد بخش یا کل سیستم و باعث تلفات قابل‌توجه و زیان‌های اجتماعی و اقتصادی شود. چنین حملاتی نیز تأثیرات اجتماعی، اقتصادی و سیاسی بیشتری دارد [۴].

بنابراین هنگام مواجه‌شدن با این تهدیدات، یکی از پاسخ‌های اضطراری مهم برای حفاظت از جان شهروندان و کاهش تلفات نیروی انسانی و به‌تبع آن افزایش پایداری ملی تخلیه جمعیت است. به‌طورکلی، چگونه هدایت عابران پیاده برای پیدا کردن یک مسیر مؤثرتر تخلیه در شرایط اضطراری، توجه زیادی را به خود جلب می‌کند و ازاین‌رو لازم است که یک‌راه حل برای بهینه‌سازی راهبردهای برنامه‌ریزی مسیر تخلیه در ایستگاه‌های مترو مورد بررسی قرار گیرد. و همچنین با الگوسازی تخلیه اضطراری می‌تواند به کاهش عواقب ناشی از حوادث و شناسایی ظرفیت مسیرها و تنگناها در هنگام تخلیه کمک کند و حداقل زمان لازم برای تخلیه را به‌دست آوردبه‌طور چشمگیری باعث کاهش خسارات وارده به حوادث طبیعی و حتی مرگ و میر شود.

۱-۱- پیشینه تحقیق

تحقیقات جامع‌ای در زمینه های مختلف تخلیه اضطراری، روش‌ها و رویکردهای شبیه‌سازی تخلیه و بررسی عوامل مؤثر در تخلیه و زمان تخلیه انجام‌گرفته است. از مهم‌ترین این تحقیقات؛ مقاله، شک یوان چن و همکاران [۵] با استفاده از الگوسازی و تحلیل تخلیه اضطراری ایستگاه‌های مترو به محاسبه زمان تخلیه مسافران با توجه، عوامل تأثیرگذار و راهبردهای تخلیه و همچنین سرعت حرکت عوامل مؤثر مختلف و مورد نیاز برای تخلیه به ارزیابی زمان تخلیه و تعداد مسافران پرداخته است. مقاله، هوان چنگ و همکاران [۶] به ارزیابی ظرفیت تخلیه اضطراری ایستگاه مترو و تجزیه وتحلیل عوامل مؤثر کلیدی در تخلیه اضطراری که شامل خروج، راه‌پله‌ها و پله‌گردان از سه جنبه، ویژگی‌های تخلیه، امکانات تخلیه و مدیریت و سازمان تخلیه بر اساس الگو EEC از ایستگاه مترو می‌پردازد.

مقاله، کارشناسان مهندسی ایمنی از کشور چین [۷]، در این مقاله به بررسی بیان شاخص‌های تخلیه اضطرار در ایستگاه مترو نمونه موردی با در نظر گرفتن آتش‌سوزی در زمان اوج شلوغی مسافران پرداخته و حالت‌های مختلفی برای زمان خروجی مسافران در نظر گرفته‌اند. و به نتیجه رسیدند که زمان تخلیه بستگی به عوامل مختلف، ازجمله جمعیت، سرعت حرکت و عرض خروج. رفتار برای کنترل جمعیت دارد. لانگستون و همکاران [۸] با استفاده از روش اجزاء مجزا به شبیه سازی و بررسی پویا جمعیت در طی فرآیند تخلیه پرداختند. آن‌ها از روش پیشنهادی (هلبینگ و همکاران، ۲۰۰۰) برای شبیه‌سازی استفاده نمودند. ژانگ و همکاران [۹] با بهره‌گیری از آئین‌نامه طراحی مترو چین (CFDOM) شبیه سازی روند تخلیه عابرین از

یک ایستگاه عمیق مترو با استفاده از الگو پویا تخلیه افراد را اجرا نمودند. شی و همکاران [۱۰] با تجزیه‌وتحلیل نظام‌مند شاخص‌های ایمنی تخلیه مترو چین (CDM) یک استراتژی جامع تخلیه ایمن عابرین را تخلیه جمعیت عابرین پیاده برای ایستگاه مترو چین ارائه دادند.

کاملی و همکاران [۱۱] در مقاله تحت عنوان الزامات پدافند غیرعامل در طراحی ایستگاه‌های مترو با استفاده از روش دلفی در سال ۱۳۹۶، الزامات معمارانه از منظر پدافند غیرعامل، در چند منظوره بودن مترو، استفاده از درب‌های متحرک و خم به جهت عدم انتقال موج انفجار، پیش‌بینی خروجی‌های اضطراری، در نظر گرفتن فضاهایی برای انبار آذوقه، آب و سوخت، از بین بردن نقاط تیز گوشه و تعبیه مسیرهای داخلی امن، هم چنین استفاده از سطوح کف و دیواره‌های سفید یا براق به‌عنوان الزامات طراحی انتخاب گردیدند.

مردانی و همکاران [۱۲] در مقاله تحت عنوان به‌کارگیری شبیه‌سازی نرم‌افزاری در ارزیابی تخلیه اضطراری ایستگاه مترو (مطالعه موردی یکی از ایستگاه‌های شهر مشهد) در سال ۱۳۹۷، در این مقاله تلاش شده است تا با ساخت الگو از ایستگاه‌های متروی شهر مشهد در نرم‌افزار Dynamics Pedestrian که نرم‌افزاری عامل مبنا است، تخلیه اضطراری این ایستگاه موردبررسی قرار گیرد. نتایج حاصل بیانگر آن است که زمان تخلیه این ایستگاه حداکثر پانزده دقیقه است و نیاز است شرایط به‌گونه‌ای مهیا گردد که طی این پانزده دقیقه امکان تخلیه ایمن برای ایستگاه فراهم شود و یا بخشی به‌عنوان رفوژ تعبیه گردد.

صالحی و همکاران [۱۳] در مقاله تحت عنوان ارائه روش نوین محاسبه زمان تخلیه اضطراری در ایستگاه‌های مترو در حین بحران بر پایه شبیه‌سازی‌های تجربی و رایانه‌ای در سال ۱۳۹۶، در این مقاله باهدف ارائه روشی سریع، کارآمد و نیاز به تخصص کم برای برآورد زمان تخلیه در ایستگاه‌های مترو شهری به‌عنوان پایه ای جهت مدیریت طرح تخلیه اضطراری در مواقع بحران، فرمولی بر پایه محاسبات دستی ارائه شد. اساس این محاسبات شمارش تعداد افراد در هر لحظه در سطح سالن بلیت فروشی ایستگاه مترو برای رسیدن به زمان تخلیه ایستگاه است. جهت اعتبارسنجی روایی فرمول ارائه شده، شبیه‌سازی رایانه‌ای تخلیه اضطراری در ایستگاه مترو بر اساس اطلاعات ورودی یکسان با فرمول پیشنهادی، صورت گرفته و نتایج به‌دست آمده مورد مقایسه قرار گرفت.

قویدل و همکاران [۱۴] در مقاله تحت عنوان تخلیه اضطراری نیروی انسانی در ایستگاه‌های راه‌آهن با رویکرد دفاع غیرعامل(مطالعه موردی: ایستگاه راه‌آهن چابهار) در سال۱۳۹۶، چهار حالت مختلف برای تخلیه اضطراری نیروی انسانی در ایستگاه چابهار، به‌هنگام حملات تروریستی، در نظر گرفته‌شده است. در حالت اول تعریض درب‌های خروج، در حالت دوم تعریض راهروها و در حالت سوم تعریض سکوها انجام می شود. در حالت چهارم درب ورودی اصلی در هنگام خطر تبدیل به درب خروج می‌شود. نتایج حاصل از تحلیل این حالت‌ها نشان می‌دهد که، هرچقدر عرض درب های خروجی بیشتر باشد زمان تخلیه کمتر خواهد شد. همچنین، هنگامی که عرض درب ها از ۲/۴۰ متر کمتر شود اثر ویژه‌ای بر زمان تخلیه به‌ویژه در حجم‌های بالا خواهد داشت. نتایج تحلیل حالت استفاده از درب ورودی به‌عنوان درب خروجی نیز نشان می‌دهد که، زمان تخلیه حدود ۵۳ درصد کاهش می‌یابد. همچنین بر اساس نتایج به‌دست‌آمده بالاترین نرخ جریان مربوط به‌همین حالت است که به‌طور متوسط ۶/۵۵ نفر در هر ثانیه از درب ورودی خارج می‌گردند.

لازم به توضیح است در اکثر منابع ذکرشده به موضوعات الگوسازی و شبیه سازی تخلیه ایستگاه های مترو و رفتارهای احتمالی افراد در تخلیه پرداخته شده است. بنابراین با توجه به نتایج تحقیقات پیشین، قادر نخواهند بود تا عنوان عوامل مؤثر بر تخلیه اضطراری ایستگاه‌های مترو با استفاده از نرم‌افزار شبیه‌سازی Pathfinder ۲۰۱۷ و ارائه راهکارهای مهندسی با رویکرد پدافند غیرعامل را پوشش دهند. ازاین رو مطالعه حاضر به دنبال برطرف کردن این خلأ می‌باشد.

۲- روش تحقیق

مقاله حاضر در تلاش برای شناسایی و تبیین عوامل مؤثر بر تخلیه اضطراری ایستگاه مترو است تا امکان تدارک صحیح مسیر تخلیه در جهت کاهش میزان تلفات فراهم شود. ، ازاین‌رو روش تحقیق از نوع توصیفی- تحلیلی می باشد. در این تحقیق، ابتدا با بررسی پژوهش های پیشین و مطالعات کتابخانه ای، تهدیدات اصلی قابل تصور و بالقوه در ایستگاه های مترو، شناسایی شدند. سپس بر اساس حالت‌های احتمالی تهدیدات ،عوامل مؤثر بر تخلیه اضطراری ایستگاه های مترو در مواقع بحران به‌هنگام تخلیه نیروی انسانی در ایستگاه های مترو، شناسایی و تحلیل شدند؛ این کار از طریق نرم‌افزار شبیه‌سازی تخلیه اضطراری Pathfinder انجام شد. در پایان، با شبیه‌سازی تخلیه اضطراری مطالعه مورد (ایستگاه مترو دروازه شمیران) و شناسایی نقاط ضعف آن، الزامات طراحی و راهکارهای پدافند غیرعامل در ایستگاه مترو دروازه شمیران جهت تسهیل در تخلیه اضطراری مناسب نیروی انسانی به هنگام بروز تهدیدات انسان ساخت، ارائه شد.

۲-۱- نرم‌افزار شبیه‌ساز Pathfinder

نرم‌افزار Pathfinder یا راه‌یاب، مبتنی بر شبیه‌سازی حرکت انسان و خروج او می‌باشد. این برنامه یک رابط گرافیکی برای طراحی الگو، شبیه‌سازی و اجرا به‌صورت دوبعدی و سه‌بعدی برای تجسم بهتر و تجزیه‌وتحلیل نتایج هست. خلاصه بار تخلیه طبقات و نرخ جریان راهروها، گراف تاریخچه زمانی که تعداد افراد تخلیه‌شده، تعداد افراد باقی‌مانده و تعداد کل را نشان می‌دهد، از خروجی‌های این نرم‌افزار است [۱۵]. نرم‌افزار از دو حالت شبیه‌سازی جنبش پشتیبانی می‌کند. در سیستم فرمان به هدایت[1]، درب باعث محدود کردن جریان سرنشینان نیست. به‌جای آن، سرنشینان مجبور به استفاده از سیستم فرمان یا هدایت برای حفظ فاصله مناسب از هم هستند. در حالت SFPE، که مانند حالت‌های ایجاد حریق و دود می‌باشد، سرنشینان تلاشی برای جلوگیری از برخورد و نفوذ با یکدیگر تلاشی نمی‌کنند، اما درب توسط چگالی کنترل باعث تحمیل محدودیت جریان و سرعت می‌شود.

در این نرم‌افزار، افراد به‌صورت دایره‌هایی متحرک، که درون یک سطح دوبعدی پیوسته که توسط شبکه مثلثی پوشیده شده (شبکه هدایت گر)، نمایش داده می شوند. سیستم هدایت الگو رفتار حرکتی، عابرین را تنها از مسیرشان حرکت می دهد و اجازه می دهد هر فرد با محیط اطراف و با دیگر افراد کنش متقابل داشته باشد [۱۵].

۲-۲- اعتبارسنجی نرم‌افزار

جهت اعتبارسنجی صحت عملکرد نرم‌افزار Pathfinder آزمایش عملی نهم صورت گرفته توسط سازمان بین‌المللی دریانوردی[2] در سال ۲۰۰۲ [۱۶]. که در نرم‌افزار Pathfinder شرکت سازنده و روش SFPE جامعه مهندسی حفاظت از حریق[3] مورد شبیه‌سازی قرارگرفته بود، در نرم‌افزار موجود الگوسازی شده و نتایج حاصل از این شبیه‌سازی با نتایج موجود مقایسه گردید.

این بررسی در دو گام زیر صورت گرفت است. در گام اول، اجرای شبیه‌سازی با ۱۰۰۰ نفر و تنها با درب یک و در گام دوم اجرای شبیه‌سازی با ۱۰۰۰ نفر و با چهار درب انجام شد و در هر دو گام با روش SFPE نرم‌افزار Pathfinder شبیه‌سازی و تحلیل صورت گرفت.

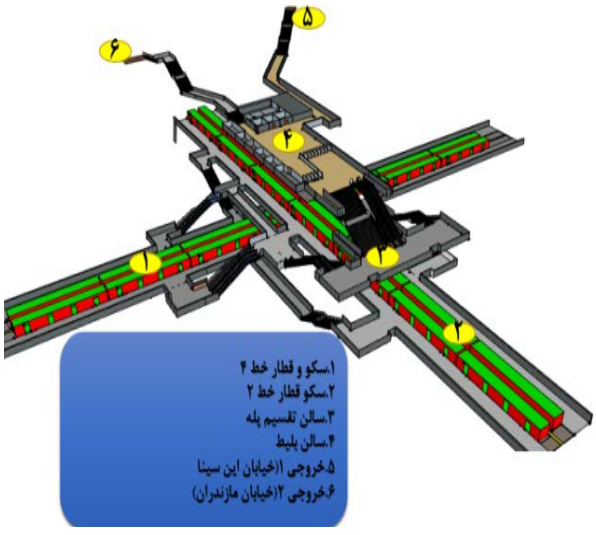
جدول (۱) مقایسه نتایج IMO Test ۹ درروش SFPE شرکت سازنده نرم‌افزار Pathfinder و روش SFPE جامعه مهندسی حفاظت از حریق و شبیه سازی در نرم‌افزار موجود انطباق خوب و جواب‌های حاصل از الگوسازی با نتایج گزارش شده توسط شرکت سازنده نرم‌افزار و قابل‌اعتماد بودن فرایند الگوسازی در نرم‌افزار Pathfinder موجود می‌باشد

جدول (۱): مقایسه نتایج IMO Test در روش‌های SFPE شرکت سازنده و نرم‌افزار Pathfinder [۱۵].

شبیه‌سازی گام‌های/ تحلیل	دو درب	چهاردرب
روش SFPE نرم‌افزار Pathfinder شرکت سازنده	۳۸۵	۱۹۶
روش SFPE جامعه مهندسی حفاظت از حریق	۳۸۰	۱۹۰
روش SFPE نرم‌افزار Pathfinder	۳۸۶	۱۹۴

۲-۳- ایستگاه مطالعه موردی

در این مقاله جهت برآورد و بررسی زمان تخلیه و عوامل مؤثر در تخلیه اضطراری ایستگاه با استفاده از روش شبیه‌سازی؛ یک ایستگاه تقاطعی مترو را با شرایطی مشابه با ایستگاه دروازه شمیران شهر تهران انتخاب نموده و شبیه‌سازی تخلیه اضطراری و برآورد زمان تخلیه بر اساس خصوصیات سازه‌ای این ایستگاه انجام‌گرفته است. علت انتخاب ایستگاه تقاطعی به این دلیل است که تخلیه در یک ایستگاه تقاطعی به‌مراتب دشوارتر از ایستگاه‌های منفرد می‌باشد و آن‌هم به‌دلیل این‌که اولاً حداقل سه طبقه در ایستگاه تقاطعی وجود دارد که مسیرهای خروجی در تقاطع‌ها در صورت بروز حوادثی مانند بمب‌گذاری، آتش‌سوزی و بروز پخش دود، تخلیه مسافرین را پیچیده‌تر و با مشکلات زیادتری روبرو می‌نماید. همچنین مسیر تخلیه در ایستگاه تقاطعی طولانی‌تر از ایستگاه منفرد بوده و در نتیجه زمان تخلیه طولانی‌تری را سبب می‌گردد و در نهایت تعداد مسافرین بیشتری داشته که منجر به بروز ازدحام بالا و آشفتگی فراوان در هنگام بروز بحران می‌گردد. از سویی دیگر ایستگاه‌های تقاطعی به‌دلیل کثرت تردد ورود و خروج قطارها همواره اهمیت بالاتری را نسبت به ایستگاه‌های منفرد دارا می‌باشد.



شکل (۱): نمای سه‌بعدی هندسه ایستگاه دروازه شمیران در نرم‌افزار طراحی (نگارنده)

[1] Steering
[2] International maritime organization
[3] Society of fire protection Engineers

نکته: نتایج به‌دست‌آمده در این مقاله به‌هیچ‌عنوان بیانگر سطح ایمنی در ایستگاه دروازه شمیران نبوده و هدف این مطالعه نیز تعیین چنین سطحی برای ایستگاه دروازه شمیران نمی‌باشد. بلکه فقط در این مقاله جهت ایجاد شرایط واقعی برای شبیه‌سازی و محاسبات عددی، ایستگاه دروازه شمیران به‌عنوان مرجع استفاده‌شده است. این ایستگاه مترو، دارای سه‌طبقه زیرزمینی می‌باشد. الف) عمیق‌ترین که دارای دو سکو و قطارهای رفت و برگشتی با عمق ۲۵ متر. ب) طبقه میانی که دارای دو سکو و قطارهای رفت و برگشتی با عمق ۲۱ متر و عمود بر عمیق‌ترین طبقه. ج) کم‌عمق‌ترین طبقه سالن اصلی ایستگاه با عمق ۹ متر که درب‌های بلیت‌خوان خودکار در آن قرار دارد. د) دو خروجی که سالن اصلی را به سطح خیابان مرتبط می‌سازد. ه) هر سکو دارای راه‌پله و پله‌برقی‌هایی بوده که سکوها را به (سالن اصلی مرتبط می‌سازند. و) چهارراه پله‌ها و پله‌برقی‌های تقاطعی وجود دارد که دو سکوی خط ۴ را به دو سکوی خط دو مرتبط می‌سازد. شکل (۱) بخش‌های مختلف سازه ایستگاه مترو دروازه دولت، سازه ایستگاه مترو دروازه شمیران طراحی‌شده در نرم‌افزار شبیه‌ساز را نشان می‌دهد.

۳- تئوری و محاسبات

۳-۱- شاخص‌های مورد نیاز برای شبیه‌سازی ایستگاه مترو

۳-۱-۱- خصوصیات هندسی ایستگاه

شاخص‌های اولیه مورد نیاز برای شبیه‌سازی ایستگاه مترو شامل، خصوصیات فیزیکی افراد و خصوصیات سازه می‌باشد. ویژگی‌های خاص افرادی که در طول تخلیه درگیر می‌شوند، زمان ترک ساختمان را تحت تأثیر قرار می‌دهد شامل سن، جنس، درجه‌ای از آموزش، آشنایی، سرعت و غیره است می‌باشد. جدول (۲) خصوصیات سازه الگوسازی و جدول (۳) خصوصیات فیزیکی افراد را نشان می‌دهد.

جدول (۲): خصوصیات فیزیکی سازه مورد مطالعه

موقعیت	تعداد	ابعاد (متر)	مساحت (مترمربع)	توضیحات
سکوها	۲	۱۶۰×۴	۶۴۰	**۱۲۸۰ مساحت ۲ سکو خط ۴**
	۲	۱۴۰×۴	۵۶۰	**۱۱۲۰ مساحت ۲ سکو خط ۲**
واگن قطار	۸	۱۹/۵×۲/۴	۴۶/۶۸	**مساخت ۸ واگن ۳۷۳,۴۴**
دریچه‌ها	۱۴	۱/۷×۰/۳۲	۱/۲	**چهار دریچه در هر طرف سالن**
سالن تقسیم پله	۱	۸×۳۳/۶	۲۶۸/۸	**سالن اتصال سکو به سالن بلیت**
سالن	کنترل‌شده	۶/۰۸×۱۳/۹۵	۸۴/۸۱۶	**سالن کنترل بلیت**
	کنترل نشده	۱۷/۷۰×۱۳/۹۵	۲۴۶/۹۱۵	
خروجی ۱	پله‌ها	۰/۳۲×۳/۲	۱/۰۲۴	**تعداد ۵۱ پله اول پاگرد**
	پاگرد اول	۱/۵۰×۰/۳۲	۰/۴۸	**پاگردهای خروجی خ ابن‌سینا**
	پاگرد دوم	۰/۳۲×۲	۰/۶۴	
خروجی ۲	وردی از سالن	۲۴×۳/۲	۷۶/۸	**خروجی خیابان مازندران**
	طول مسیر افقی	۳/۲×۱۹/۶	۶۲/۷۲	
	پاگرد اول	۰/۳۲×۱/۹	۰/۶۰۸	
	پاگرد دوم	۰/۳۲×۲/۲	۰/۷۰۴	
	پله‌ها	۰/۳۲×۳/۲	۱/۰۲۴	**۴۱ تعداد پله‌ها**
ورودی‌های خط ۴ به خط ۲	ورودی ۱	۴/۸×۲/۸	۱۳/۴۴	**مسیرهای ارتباطی (سالن‌های افقی) از سکو خط ۴ به مسیرهای ارتباطی پله و پله‌برقی به سکو خط ۲**
	ورودی ۲	۲۴/۴×۲/۸	۶۸/۳۲	
	ورودی ۳	۳/۲×۱۶	۵۱/۲	
	ورودی ۴	۶/۲×۲/۷	۱۶/۷۴	
	ورودی ۵	۵/۶×۲/۷۴	۱۵/۳۴۴	
	ورودی ۶	۳/۶×۸	۲۸/۸	
	پاگرد	۱/۰۵×۱/۷۲	۱/۸۰۶	
سالن تقسیم پله به سالن اصلی	پله	۰/۳۲×۶/۴	۲/۰۴۸	**مسیرهای ارتباطی سالن تقسیم پله به سالن اصلی**
	پله‌برقی ۲	۱/۲×۰/۳۲	۰/۳۸۴	
	پاگرد	۶/۴×۱/۵۵	۹/۹۲	
مسیر ارتباطی خط ۲ به سالن تقسیم پله	ورودی	۴×۸	۳۲	**۲ سالن افقی سکو به پله‌ها**
	پله‌ها	۰/۳۲×۲/۱۰	۰/۶۷۲	**۴۲ عدد پله**
	پله‌برقی	۱/۲×۰/۳۲	۰/۳۸۴	**۴ پله‌برقی از سکوها به سالن تقسیم پله**

۳-۱-۳- ویژگی‌های ظاهری مسافر

جدول (۳): عرض شانه و ضخامت بدن مسافران [۱۸].

سن و جنس گروه / سرعت متوسط (m/s)	زنان بالغ	مردان بالغ	بچه‌ها	افراد مسن	افرادنیازمندکمک
بیشترین سرعت	۱/۷۳	۱/۹۵	۱/۱۹۴	۱/۱۹	۰/۹
کمترین سرعت	۰/۶۹	۰/۸۲	۰/۵۲	۰/۵۲	۰/۳
سرعت در پله‌ها	۰/۸۳	۰/۹۵	۰/۴	۰/۴	۰/۲

۳-۲- تعداد مسافران در تخلیه اضطراری ایستگاه

تعداد کل مسافرانی که باید از هر سکو به فضای امن انتقال داده شوند، بر اساس آیین‌نامه امریکا NFPA۱۳۰ بر مبنای فرمول ذیل محاسبه می‌شود:

تعداد مسافران هنگام خروج اضطراری= تعداد مسافران قطارها + تعداد مسافران ورودی

- ✓ محاسبه بار خروجی مسافران با فرض این‌که تحت هیچ شرایطی در هیچ‌کدام از خطوط ایستگاه بیش از یک قطار مسافران خود را تخلیه نکند، انجام می‌گیرد.
- ✓ تعداد مسافران ورودی به سکوها، بر مبنای آمار ارائه شده در مطالعات حمل‌ونقل فرادست محاسبه می‌شود.

به‌طور خلاصه: تعداد مسافرین در سه طیف متفاوت شبانه‌روز در ایستگاه و قطارها برابر است با از رنج ۷۵۰ تا ۴۵۰۰ نفر هست.

جدول (۵): میزان پراکندگی مسافران داخل ایستگاه مترو

سکوها	۰/۷
کریدورهای تخلیه	۰/۲۴
سالن بلیت	۰/۰۳
تقسیم پله	تقسیم پله ۰/۰۳

۳-۳- حالت شبیه‌سازی تخلیه اضطراری

حالت‌های این تحقیق برای شبیه‌سازی تخلیه اضطراری ایستگاه مترو با نظر گرفتن سه تهدید که بیشترین امتیاز از جامعه خبرگان گرفتن بر اساس پژوهش پایان‌نامه و احتمال رخداد آن‌ها با توجه به شبیه‌سازی تخلیه اضطراری افراد در فضای‌های عبور و مرور مسافرین ایستگاه مترو دروازه شمیران در ساعت اوج مسافران و در مکان‌های از ایستگاه که به بیشترین جمعیت را دارند مورد شناسایی قرار می‌گیرد که طبق بررسی‌های انجام شده و مصاحبه با متخصصین سه مکان از ایستگاه که بیشترین جمعیت در داخل آن‌ها نسبت به سایر قسمت‌های ایستگاه شناسایی شد، عبارت‌اند از:

۱- سکوها

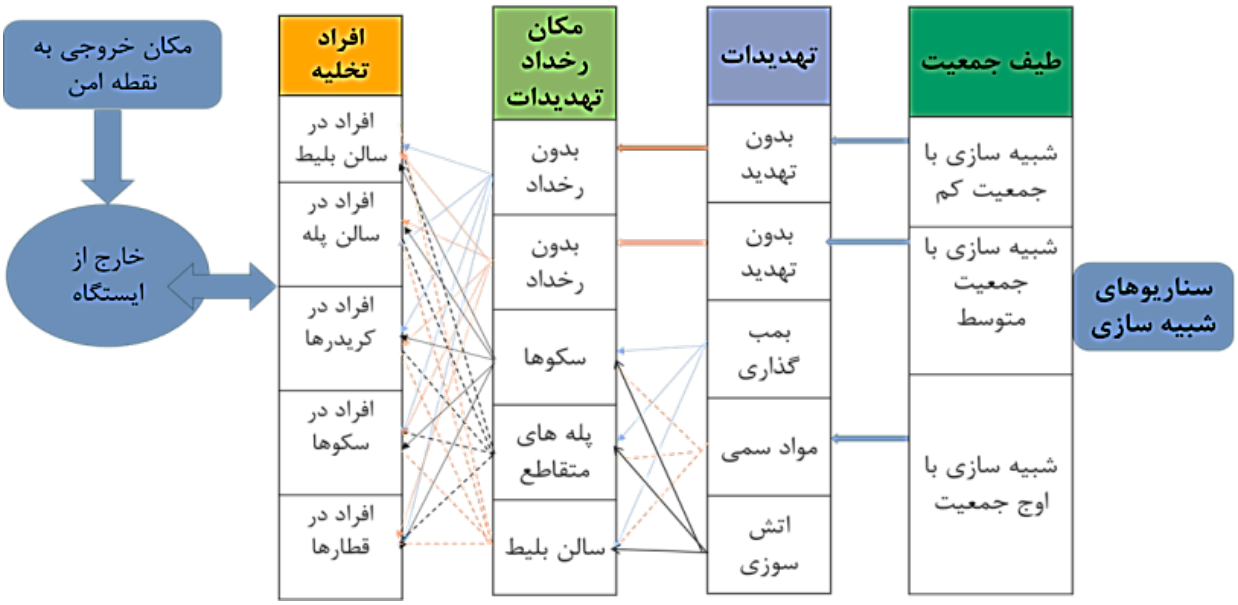
۲- سالن بلیت

۳- پله‌های متقاطع

همچنین قطارهایی که داخل ایستگاه توقف دارند شبیه‌سازی تخلیه اضطراری در آن مکان‌ها انجام می‌شود. لذا الگوهای مختلف حالت برای تخلیه اضطراری بر پایه چندین عامل باید طرح‌ریزی شد که عبارت‌اند از:

- ✓ مسیر عبوری
- ✓ مسیرهای خروجی
- ✓ حالت‌ها تهدیدات در ایستگاه و مکان رخداد در فضای‌های عبور و مرور مسافرین
- ✓ تعداد جمعیت
- ✓ مکان‌های امن خروجی

با این شرح حالت‌های در نظر گرفته‌شده در شبیه‌سازی تخلیه اضطراری ایستگاه مترو به شرح زیر مورد شناسایی قرارگرفته است:



شکل (۲): حالت‌های شبیه‌سازی تخلیه اضطراری.

❖ حالت اول: شبیه‌سازی تخلیه با جمعیت کم

در این مرحله با احتساب ۷۰ درصدی جمعیت در هر یک از سکوهای خط ۲ و ۴، ۳ درصد در سالن بلیت و سالن پله، ۲۴ درصدی در کریدرهای حرکتی و یک قطار در هر خط و با در نظر گرفتن ۴ طیف جمعیت مردان بالغ، زنان بالغ، افراد خردسال و افراد مسن با تعداد ۷۴۲ مسافر در ۱۵ دقیقه ساعت خلوت و با کدگذاری رنگی طیف‌های جمعیتی مختلف و مشخص و در سطح ایستگاه پراکنده شده و شبیه‌سازی شد.

فرضیات تخلیه:

- ✓ پله‌برقی‌های سالن بلیت در حال تعمیرات فرض شده و خدمات نمی‌دهد.
- ✓ ترس وحشت در زمان تخلیه لحاظ شده.
- ✓ و پله‌برقی‌ها ثابت و به‌عنوان پله از آن‌ها استفاده می‌شود.

❖ حالت دوم: شبیه‌سازی تخلیه با جمعیت متوسط

در این مرحله با احتساب ۷۰ درصدی جمعیت در هر یک از سکوهای خط ۲ و ۴، ۳ درصد در سالن بلیت و سالن پله، ۲۴ درصدی در کریدرهای حرکتی و یک قطار در هر خط و با در نظر گرفتن ۴ طیف جمعیت مردان بالغ، زنان بالغ، افراد خردسال و افراد مسن با تعداد ۱۷۱۸ مسافر در ۱۵ دقیقه ساعت متوسط جمعیت در ایستگاه مترو و با کدگذاری رنگی طیف‌های جمعیتی مختلف و مشخص در سطح ایستگاه پراکنده‌شده و شبیه‌سازی شد.

فرضیات تخلیه:

- ✓ پله‌برقی‌های سکوی کلاهدوز به صادقیه در حال تعمیرات فرض شده و خدمات نمی‌دهد
- ✓ ترس وحشت در زمان تخلیه لحاظ شده
- ✓ و پله‌برقی‌ها ثابت و به‌عنوان پله از آن‌ها استفاده می‌شود

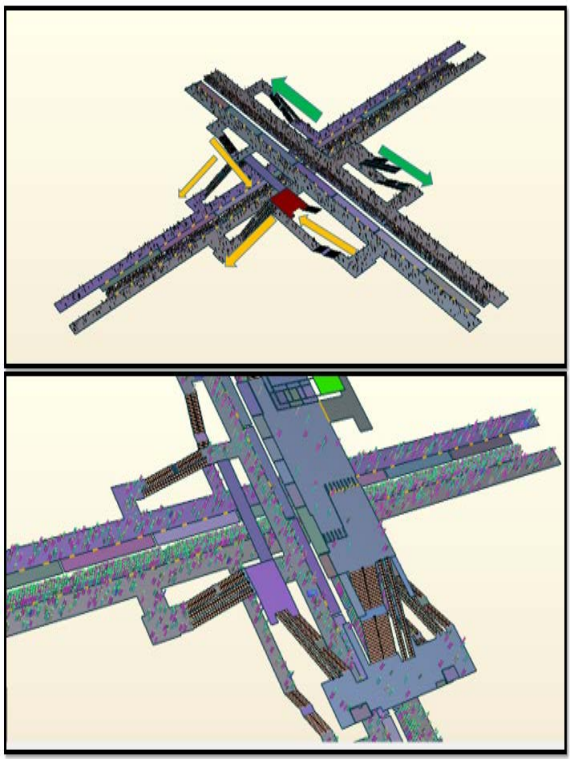
❖ حالت سوم: شبیه‌سازی تخلیه اضطراری جمعیت در زمان اوج

با توجه به تحقیق‌های صورت گرفته، موقعیت رخداد حوادث، تراکم جمعیت و همچنین دود حاصل شده از آن تأثیر به سزایی در روند تخلیه دارند. در هر هندسه از ساختمان ایستگاه به‌ویژه ایستگاه‌های مترو به‌علت هندسه خاص، بسته به این‌که محل رخداد تهدیدات کجا بوده، روند تخلیه متفاوت بوده و راه‌های خروجی افراد انتخاب می‌کند متفاوت هست به‌همین علت در این تحقیق ۶ حالت مختلف شبیه‌سازی در زمان اوج جمعیت با

احتساب ۷۰ درصدی جمعیت در هر یک از سکوهای خط ۲ و ۴، ۳ درصد در سالن بلیت و سالن پله، ۲۴ درصدی در کریدرهای حرکتی و یک قطار در هر خط با در نظر گرفتن ۵ طیف جمعیت شامل: مردان بالغ، زنان بالغ افراد خردسال و افراد مسن و افرادی که نیاز به کمک دارند با در نظر گرفتن ۴۲۹۴ مسافر در ۱۵ دقیقه زمان اوج جمعیت در سکوهای خط ۲ و ۴ و همچنین با کدگذاری رنگی طیف‌های جمعیتی مختلف و مشخص در سطح ایستگاه پراکنده شده و شبیه‌سازی و تحلیل شده است.

فرضیات تخلیه:

- ✓ تأثیر دود بر سرعت افراد در نظر گرفته شده
- ✓ ترس وحشت در زمان انفجار لحاظ شده
- ✓ پله‌برقی‌ها ثابت و به‌عنوان پله از آن‌ها استفاده می‌شود
- ✓ تراکم مسافران در سرعت آن‌ها لحاظ شده است
- ✓ مسدود در نظر گرفت محل رخداد حوادث
- ✓ پله‌برقی‌های سالن بلیت در حال تعمیرات فرض شده و خدمات نمی‌دهد
- ✓ مسیر پله‌های متقاطع مسدود در نظر گرفته‌شده



شکل (۳): پراکندگی جمعیت و مسیرهای خروجی.

۴- بحث و نتایج

اولین گام در بحث عوامل مؤثر در تخلیه اضطراری برآورد زمان تخلیه اضطراری در ایستگاه دروازه شمیران، بر اساس نرم‌افزار پیشنهادی ارائه شده در این مقاله، می باشد. بدین منظور ابتدا با الگوسازی ایستگاه و وارد کردن داده‌های مورد نیازی به شبیه‌سازی ایستگاه مترو پرداختیم و زمان تخلیه اضطراری را بر اساس حالت‌های مختلف مشخص و بازمان استاندار مقایسه کردیم (مطابق جدول ۶) و بر اساس بدترین حالت که بیشترین زمان تخلیه را دار بود به شناسایی و بررسی مسیرهای تخلیه (گره‌های بحرانی) و برآورد ظرفیت تخلیه اضطراری و عوامل مؤثر در تخلیه اضطراری در ایستگاه مطالعاتی اقدام گردید.

جدول (۶): خلاصه شبیه‌سازی حالت‌های تخلیه اضطراری در ایستگاه دروازه شمیران و مقایسه آن‌ها.

حالت	جمعیت شبیه‌سازی	نوع تهدید	زمان خروجی (ثانیه)	مقایسه زمان خروجی با استاندار در ۶ دقیقه خروجی
حالت اول	شبیه‌سازی با جمعیت کم	بدون تهدید	۳۴۳/۹	کمتر از زمان استاندار
حالت دوم	شبیه‌سازی با جمعیت متوسط	بدون تهدید	۸۷۸/۲	بیشتر از زمان استاندار
حالت سوم	شبیه‌سازی بازمان اوج جمعیت	بمب‌گذاری در سکو	۱۶۶۸/۹	بیشتر از زمان استاندار
		بمب‌گذاری در پله‌های متقاطع	۲۵۹۸	بیشتر از زمان استاندار
		نشر مواد سمی در سکو	۱۶۰۱/۲	بیشتر از زمان استاندار
		نشر مواد سمی در کریدرها و پله‌های ارتباطی	۱۳۰۵/۸	بیشتر از زمان استاندار
		آتش‌سوزی در واگن خط ۲	۱۲۷۴/۹	بیشتر از زمان استاندار
		آتش‌سوزی در واگن خط ۴	۱۵۱۸	بیشتر از زمان استاندار

۴-۱-خلاصه شبیه‌سازی

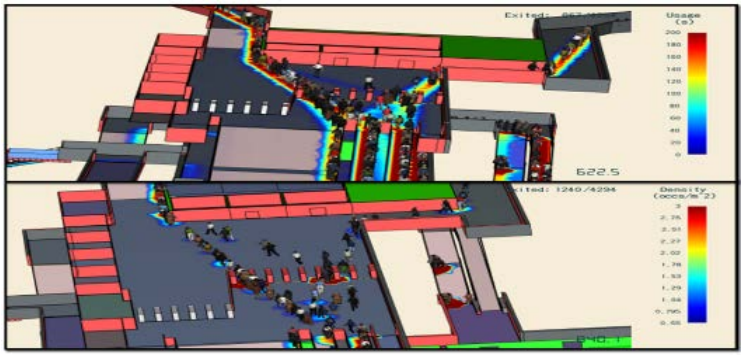
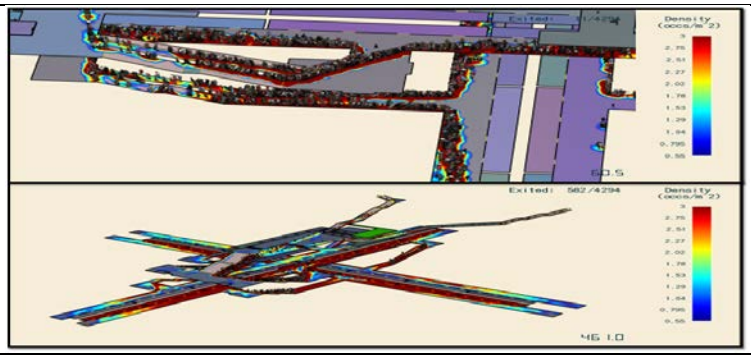
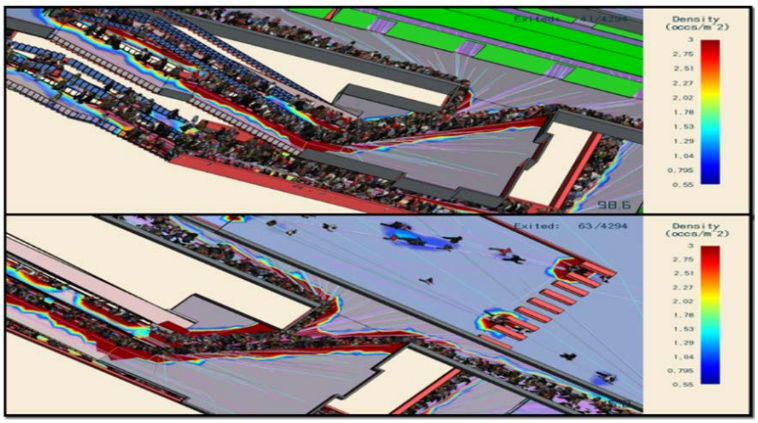
زمان شبیه‌سازی‌های انجام‌شده با در نظر گرفتن حالت‌های مختلف و مقایسه آن با زمان استاندار تخلیه در آیین‌نامه NFPA (۶ دقیقه زمان تخلیه تعریف شده) که در جدول (۶) مشاهده می‌شود، خلاصه‌شده است.

همان‌طور که در جدول (۶) مشاهده می‌شود، زمان شبیه‌سازی تخلیه اضطراری ایستگاه به‌غیر از شبیه‌سازی با طیف جمعیت کم، مابقی حالت‌های در نظر گرفته شده بیشتر از زمان ۶ دقیقه استاندار هست و بر این اساس ایستگاه در زمان تخلیه دچار آسیب‌پذیری و تلفات می‌شود و برای برطرف کردن آن نیاز به تمهیدات و تجهیزات می‌باشد. بنابراین بر اساس بدترین حالت که حالت بمب‌گذاری در سکوهای متقاطع هست، عوامل تأثیرگذار در سرعت تخلیه، شناسایی و برای برطرف کردن آن‌ها الزامات مهندسی ارائه شد.

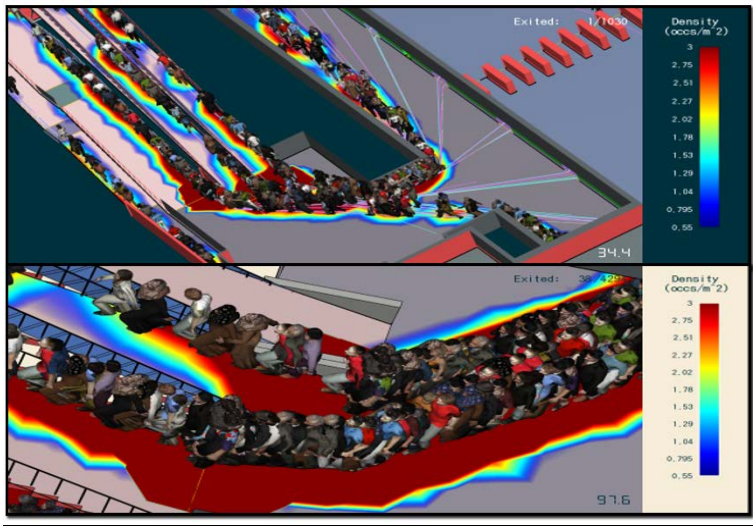
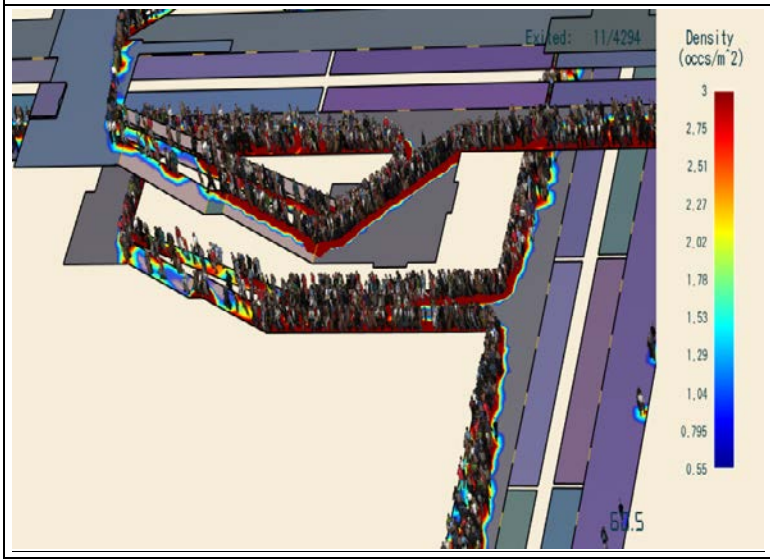
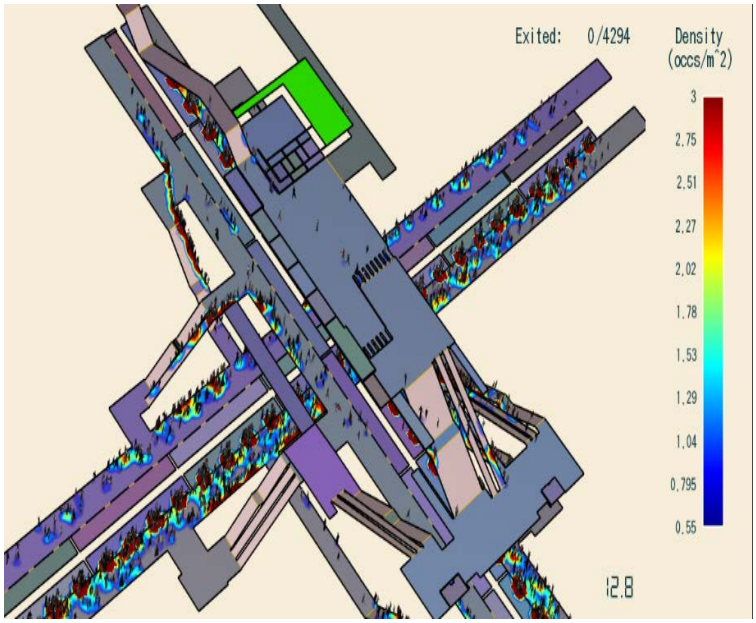
۴-۲- بررسی عوامل تأثیرگذار بر زمان تخلیه از نتایج شبیه‌سازی

عوامل مختلفی بر نتیجه تخلیه، زمان و سرعت تخلیه در ایستگاه‌های مترو در زمان شبیه‌سازی تخلیه اضطراری تأثیرگذار بودند که مهم‌ترین آن‌ها عبارت‌اند از: دروازه بلیت، سرعت پیاده‌روی، جنسیت، اندازه گروه و تراکم عابر پیاده و ... که در ادامه این عوامل در نرم‌افزار، شبیه‌سازی شده و تجزیه و تحلیل آن در بخش ذیل تشریح شده است. نکته: زمان در نظر گرفته شده در شبیه‌سازی تخلیه اضطراری ایستگاه، بر اساس تخلیه آخرین نفر از ایستگاه به سطح زمین می‌باشد.

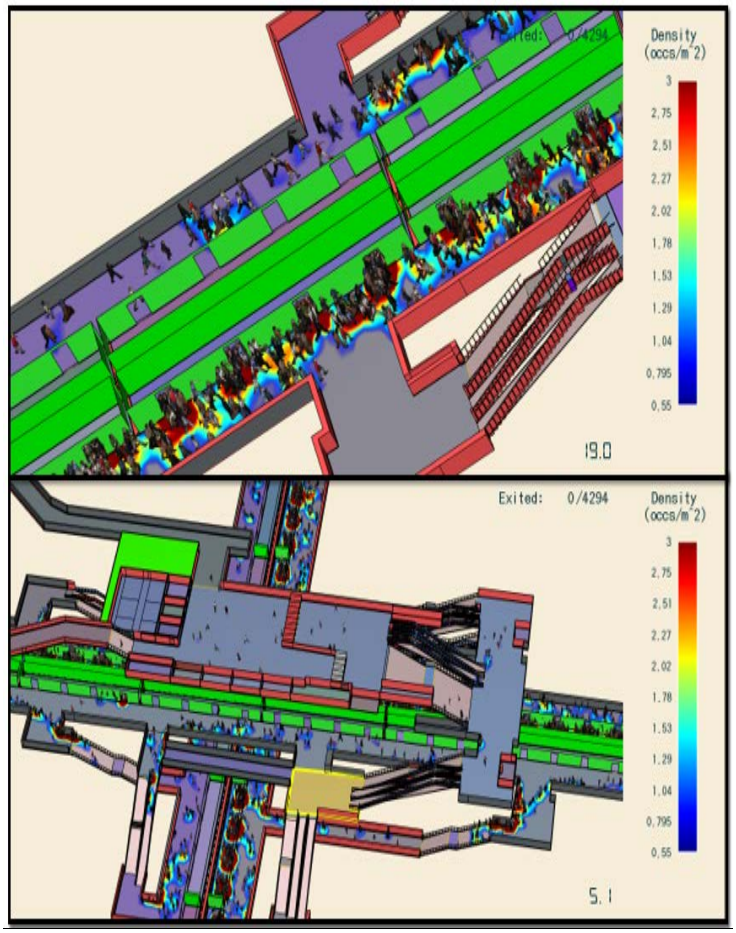
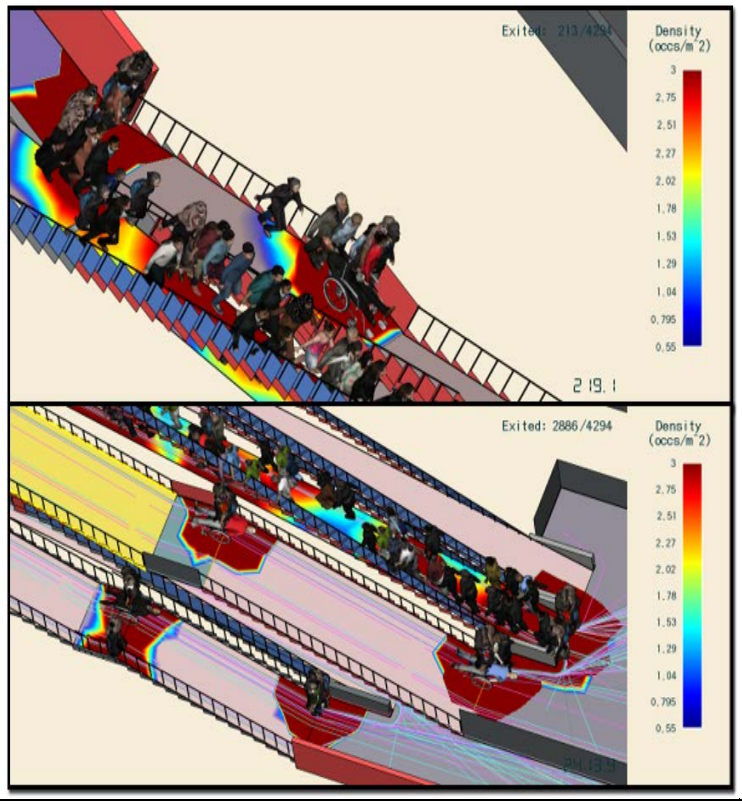
جدول (۷): تحلیل عوامل تأثیرگذار در زمان تخلیه ایستگاه مترو.

عوامل تأثیرگذار	تحلیل عوامل تأثیرگذار در زمان تخلیه ایستگاه مترو	شماتیک خروجی نرم‌افزار
دریچه‌های دروازه ورودی	در شبیه‌سازی تخلیه اضطراری دریچه های دروازه ورودی یک نقطه بحرانی است که بر کارایی تخلیه تأثیر می گذارد تأثیر آن با استفاده از نقشه تراکم عابر پیاده در عکس‌های روبرو نشان داده که کانتور چگالی به‌صورت طیف قرمز رنگ مشخص شده است بسیار روشن است که تراکم مسافران در پشت دریچه‌ها موجب کندی روند حرکتی و ازدحام بیشتر می گردد که در نهایت موجب افزایش زمان تخلیه می‌گردد	
معابر اضطراری	معابر اضطراری شامل پله‌ها و آسانسورها هست. در شرایط اضطراری سیل جمعیت به‌صورت دسته‌جمعی به سمت معابر روی می‌آورند که باعث تراکم و صف کشیدن می‌شود. عرض و تعداد معابر بستگی به میزان نیاز به تخلیه افراد دارد. در واقع ظرفیت تخلیه یک معبر بستگی به ویژگی‌های فیزیکی‌اش ازجمله: عرض، طول و شیب دارد.	
زاویه گردش کریدورهای خروج در سرعت جریان	وجود زاویه گردش از سکو به سمت مسیرهای ارتباطی و شکستگی های ناگهانی در طول مسیرهای ارتباطی مطابق شکل روبرو باعث مشکل درحرکت افراد به‌خصوص افراد ناتوان، کودکان و مسافران نا آشنا با محیط ایستگاه شده و این مشکلات باعث ازدحام جمعیت شده و تشدید تلفات جانی را در پی خواهد داشت.	

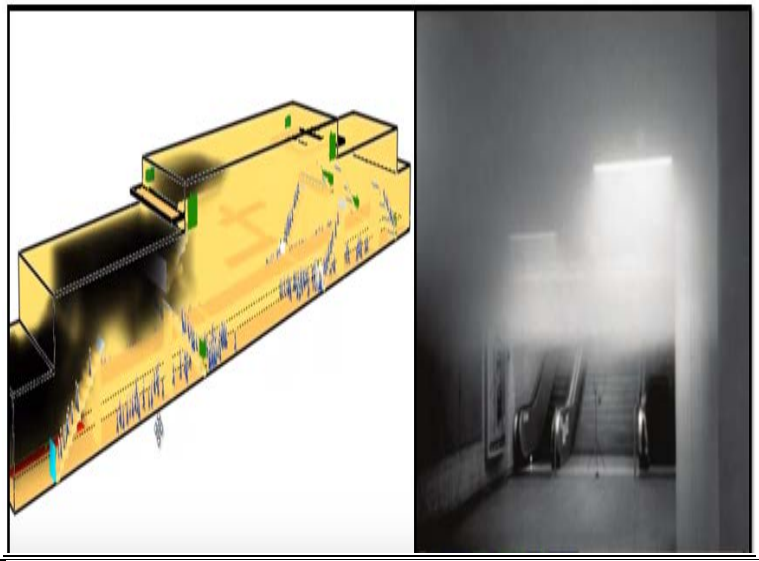
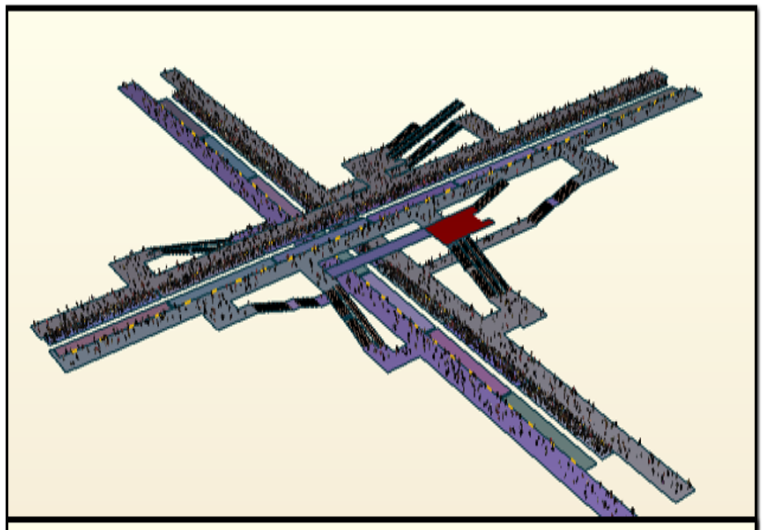
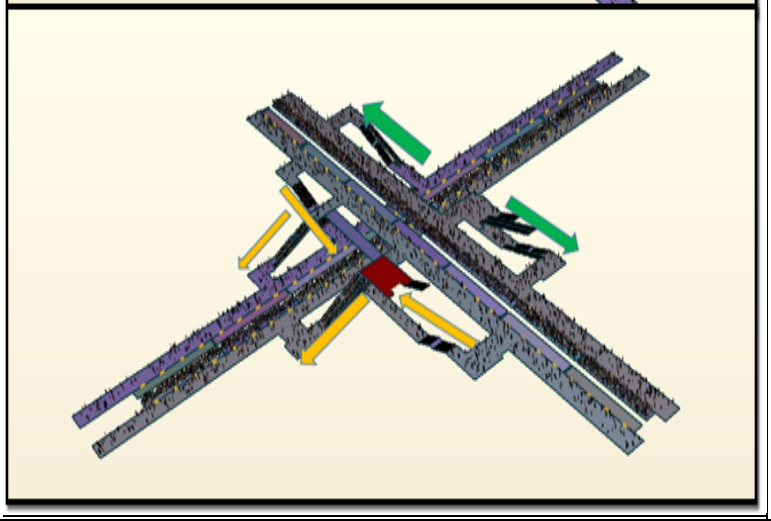
ادامه جدول (۷): تحلیل عوامل تأثیرگذار در زمان تخلیه ایستگاه مترو.

پله‌های متقاطع	در هنگام تخلیه اضطراری، تمام پله‌ها و پله‌برقی‌ها نقش انتقال افراد از محل حادثه دیده به محل امن را دارند بنابراین زمانی تخلیه شروع می‌شود مسافران جهت خروج از ایستگاه تلاش می‌کنند که سبب هجوم ناگهانی جمعیت به سمت پله و مکان‌های خروجی می‌شوند و باعث ازدحام و گلوگاه شدن در وردی پله و مکان‌های خروجی می‌شوند و پتانسیل آسیب‌پذیری و تلفات انسانی بسیار زیاد می‌شود نقشه چگالی تراکم عابر پیاده تحت شرایط ازدحام در پله‌ها متقاطع در شکل روبرو نشان داده شده است.	
عدم مسیرهای ارتباطی و کمبود مسیرهای تخلیه از سکو به سالن بلیت	عدم مسیرهای ارتباطی موجب ازدحام جمعیت در مسیرهای خروجی و طولانی شدن مسیرهای تخلیه اضطراری تا رسیدن به منطقه امن می‌شود؛ در تصاویر و نمودارها روبرو شبیه‌سازی وضع موجود از نقاط ازدحام نشان داده شده است	
توزیع نامتناسب مسیرهای ارتباطی داخلی	با توجه به حضور تمامی افراد حاضر در سکو و قطارها در سالن فروش بلیت، به‌هنگام رخداد تهدید و به‌منظور خروج از ایستگاه، درصورتی‌که توزیع مسیرهای ارتباطی بین این جزء فضا با سکو و محیط بیرونی متناسب با جمعیت پیش‌بینی‌شده در ایستگاه نباشد، تخلیه دیر هنگام سکو و ازدحام بسیار شدیدی در سالن فروش بلیت را به دنبال خواهد داشت. این توزیع متناسب در سایه برنامه‌ریزی فضایی مناسب به هنگام طراحی حاصل می‌گردد.	

ادامه جدول (۷): تحلیل عوامل تأثیرگذار در زمان تخلیه ایستگاه مترو.

درب‌های قطار	عدم تناسب عرض‌های درب‌های ورودی خروجی قطار با حجم مسافران در زمان تخلیه به دلیل عدم ظرفیت انتقال دبی ورودی و خروجی افراد زمینه‌ساز ایجاد آسیب‌پذیری است به‌نحوی‌که با ایجاد شدن ترافیک جمعیتی و ازدحام در درب‌ها ورودی و خروجی پتانسیل تلفات انسانی به‌ویژه در کودکان و سالمندان افزایش می‌یابد و باعث کند شدن زمان تخلیه می‌شوند	
موانع انسانی	وجود افراد مسن و افراد ناتوان در پله‌ها باعث کند شدن سرعت افراد و مانع در مسیر حرکت می‌باشند تصمیم برای انتخاب خروجی‌ها: تصمیماتی که مسیرهای سفر را تعیین کرده و زمان سفر را تحت تأثیر قرار می‌دهد و افراد را در پیدا کردن کوتاه‌ترین مسیر سردرگم می‌کند سراسیمگی و وحشت افراد در بالا رفتن از پله‌ها و پله‌برقی‌ها ممکن است باعث هل دادن فرد جلویی شده و درصورتی‌که حتی یک نفر زمین بخورد به‌صورت مانعی برای حرکت سایر افراد شده و این مسئله ممکن است بسیار خطرآفرین باشد زمان پیش از حرکت: مردم در حال آگاه شدن از یک وضعیت اضطراری فوراً واکنش نشان نمی‌دهند لذا زمان اتلاف بین زمانی که مردم برای اولین بار درباره یک حادثه هشدار داده می‌شوند	

ادامه جدول (۷): تحلیل عوامل تأثیرگذار در زمان تخلیه ایستگاه مترو.

فاکتور دود	کاهش دید به‌عنوان عملکرد دود و تحریک تنفسی ناشی از سمت اغلب تأثیر منفی بر عملکرد تخلیه ساکنان دارد. ترس ناشی از مشکل تنفس و کاهش دید اغلب افراد ساکن را جهت تغییر مسیر فرار خود و یا ورود مجدد به منطقه خطرناک در آتش می‌سازد این تحقیق نشان می‌دهد که مردم در طی دیوارها برای راهنمایی حرکت می‌کنند وقتی‌که نمی‌توانند در فاجعه آتش تمرکز کنند، سرعت حرکت آن‌ها پایین‌تر از وضعیت طبیعی است. علاوه بر این، سیگنال صدا در نزدیکی خروجی‌های آتش، سرعت تخلیه را افزایش می‌دهد	
نوع حادثه و موقعیت رخداد آن	با توجه به شبیه‌سازهای فوق نو ع حادثه و محل رخداد آن در زمان تخلیه تأثیر به سزایی دارند. به‌طوری که اگر حادثه بمب‌گذاری در تقاطع پله‌ها در طبقه دوم ایستگاه رخ دهد، مسیر عبوری مرتبط با تهدید مسدود شده و مسافران برای خروجی باید به سکو پایین‌تر بروند و ازآنجا به سکوی شرق و سپس به سالن بلیت و ازآنجا به سمت خروجی ایستگاه مترو بروند که این باعث زمان‌بر شدن ایستگاه مترو می‌شود و گیر گردن و از توان افتادن افراد می‌شود. بنابراین زمان تخلیه بمب‌گذاری نسبت به تهدیدات دیگر بیشتر و همچنین موقعیت مکانی پله‌های متقاطع هم بیشتر از سایر مکان‌ها هست.	 

۵- نتیجه‌گیری

هدف از این تحقیق شناسایی عوامل بحرانی تأثیرگذار در ایستگاه‌های مترو که باعث کاهش سرعت تخلیه و آسیب‌پذیر در زمان تخلیه اضطراری می‌شوند و همچنین ارائه الزامات مهندسی (معماری سازه ،تأسیسات) با رویکرد پدافند غیرعامل در جهت تسهیل تخلیه در ایستگاه‌های مترو و رفع آن‌ها می‌باشد. برای رسیدن به اهداف فوق ایستگاه مورد مطالعه (دروازه شمیران) با نرم‌افزار شبیه‌سازی تخلیه اضطراری PATHFINDER 2017 در حالت‌های مختلفی و با شرایط: سرعت‌های مختلف افراد، جنسیت، اندازه گروه‌های مختلف و تراکم پدیده‌های مختلف در سه حالت: کم، متوسط و اوج جمعیت در ایستگاه مترو و با تعریف حالت‌های مختلف شبیه‌سازی شد و روند تخلیه افراد و چگونگی تخلیه افراد از مسیرهای مختلف ایستگاه برای تخلیه و شاخص‌های تأثیرگذار بر آن بررسی گردید. نتایج نشان داد عوامل زیادی باعث افزایش زمان تخلیه شده‌اند: که ازجمله برخی از نواحی در ایستگاه مترو مانند ورودی پله‌های سکو و دریچه بلیت مستعد تراکم جمعیت بوده و به علت عرض کم، افراد کمی در مدت زمان معین از آن‌ها عبور کرده و درنتیجه افراد زیادی برای خروج از ایستگاه می‌بایست در آنجا منتظر بمانند. همچنین به‌علت تراکم زیاد جمعیت در این نواحی، افراد نیروهای زیادی به یکدیگر وارد می‌کنند که همین امر موجب افزایش زمان تخلیه می‌شود. در هنگام تخلیه ملاحظه شد که شاخص‌های گوناگونی مانند نحوه انتشار دود و قابلیت دید افراد تأثیر به‌سزایی در روند تخلیه گذاشته است. همچنین برای برطرف کردن این تنگناها و کاهش زمان تخلیه در ایستگاه، راهکارهای مهندسی (سازه، معماری، تأسیسات و مدیریت ساختاری) با رویکرد پدافند غیرعامل برای تسهیل تخلیه و کاهش زمان تخلیه و آسیب پذیری و نجات افراد در ایستگاه‌ها مترو ارائه شد.

۵-۱- ارائه پیشنهادها و راهکارهای مهندسی در جهت تسهیل تخلیه اضطراری جمعیت در ایستگاه‌های مترو

❖ افزایش عرض درب‌ها قطار

به گفته دکتر جلالی، یکی از عوامل کند شدن سرعت مسافران در تخلیه، کوچک بودن عرض درب‌های قطار می‌باشد. در کشورهای دیگر مثل ژاپن عرض درب‌ها در قطارهای سیروسفر به‌اندازه نصف واگن می‌باشد و این باعث تسریع عملکرد جمعیت می‌گردد.

شکل (۵): درب‌های قطار با عرض زیاد (موتور جستجوی گوگل).

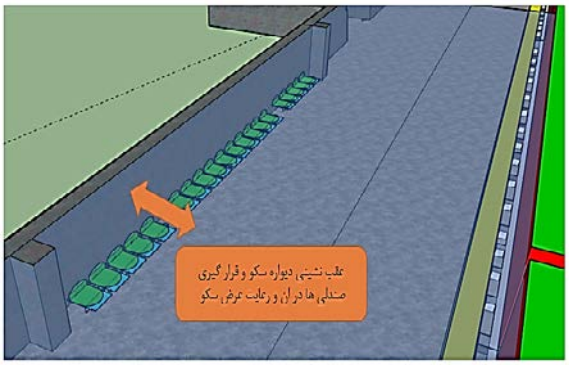
❖ هم‌سطح سازی ورودی درب‌ها با سطح سکو

یکی از مشکلات در خروجی ایستگاه‌ها شکاف بین سکو و درب مترو هست، که گاها ایمنی مسافر هنگام سوار و پیاده شدن به خطر می‌اندازد و همچنین برای ورد و خروج افراد معلول مشکل‌ساز هست. بنابراین طراحی رمپ در درب‌های می‌تواند این خلأ را پوشش بدهد و باعث تسهیل تخلیه در سوارشدن و پیاده شدن افراد با سرعت بشود. این باعث می‌شود که مردم سریع‌تر تخلیه بشوند و افراد معلول هم مشکلی در تخلیه نداشته باشند.

شکل (۶): رمپ در درب‌های قطار جهت تسهیل تخلیه (موتور جستجوی گوگل).

❖ جانمایی و تثبیت عناصر غیر سازه‌ای

عناصر غیر سازه‌ای در مواقع بحران داخل ایستگاه و تمایل افراد به خروج سریع از سطح سکو، امکان قرار گرفتن در مسیر عبور و کندی درحرکت را منجر شود. این در حالی است که می‌توان با اقدامی معماران، و از طریق ایجاد عقب‌نشینی در طول سکو، این تجهیزات را به‌گونه‌ای تعبیه کرد که از قرار گرفتن در مسیر حرکت جلوگیری به عمل آید. و استفاده حداکثر در نظر گرفته‌شده عرض سکو و جانمایی مناسب کرد مهم‌ترین عنصر غیر سازه‌ای موجود در سکوی ایستگاه‌های مترو صندلی‌های تعبیه‌شده در کناره‌های سکو هست. در صورت تعبیه‌ی نامناسب این عنصر، خود به‌عنوان مانع حرکت با سرعت مناسب در حین بحران هست، حال آن‌که حرکت آن در حین فرار خود باعث تشدید خسارت می‌گردد.



شکل (۷): جانمایی عناصر غیر سازه‌ای.

❖ ایمنی مسافران در سکو

لبه‌های سکو، یک محیط ذاتا خطرناک است که حرکت ناگهانی ممکن است به‌طور تصادفی مسافران را بر روی ریل حرکت دهد. بنابراین در زمان تخلیه با توجه ازدحام جمعیت در سکو و استرس و ترس و وحشت جمعیت در تخلیه احتمال پرت افراد به مسیرهای ریلی و سقوط در آن وجود دارد، برای جلوگیری از این امر استفاده از درب‌های پوششی سکو توصیه می‌شود.

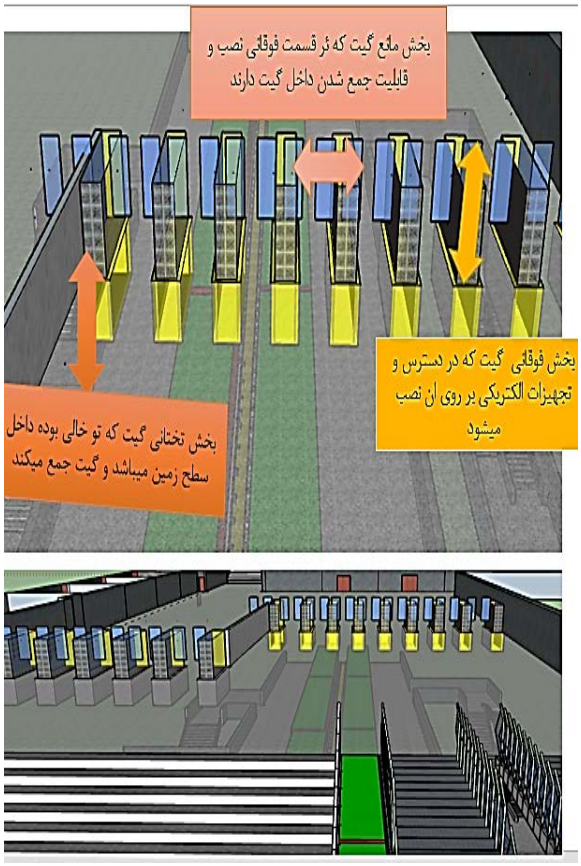
شکل (۸): درب‌های پوشش سکو.

❖ طراحی دریچه زمینی کف‌خواب

دریچه‌های فوق ایده بسیار عالی در جهت جلوگیری ازدحام جمعیت در پشت دریچه‌ها در زمان اضطراری که نیاز به تخلیه سریع جمعیت هست چرا که طراحی آن به‌گونه‌ایست که با زدن یک دکمه به کف زمین می‌خوابد و مسیر را برای تخلیه، هموار می‌کند؛ مطابق شکل زیر:

الزامات طراحی

- ✓ سیستم محرک به‌صورت هیدرولیک با دو یا سه جک مربوطه جهت کارکرد مکرر.
- ✓ مجهز به سستم خلاص کن دستی در هنگام قطع برق جهت باز کردن مسیر.
- ✓ مجهز به شاسی پوش



شکل (۹): طراحی دریچه‌های کف‌خواب در ایستگاه مترو [۱۹].

❖ حذف دریچه‌های خروجی

به‌دلیل ازدحام مردم در هنگام خروج به‌دلیل محدودیت دریچه‌ها، باعث ترافیک انسانی در سالن مترو و تلفات در زمان‌های اضطراری می‌باشد، بنابراین جمع‌آوری دریچه‌های خروج بر سهولت تردد مردم می‌افزاید

با توجه به این‌که مسافران دارای کارت بلیت، حتماً بایستی نسبت به درج خروج خود از مترو اقدام کنند، تصریح کرد: در حال حاضر در ایستگاه‌های شلوغ همچون چهارراه ولی‌عصر(عج)، بهشتی، بهارستان، مصلی، حرم مطهر، شاهد و غیره.

لازم به‌ذکر هست به لحاظ بحث امنیتی برای ورود انتحارها به ایستگاه مترو محل جمع‌آوری دریچه‌های خروجی با دوربین و مأموران حراست و کنترل دریچه پوشش داده شود.

❖ سایر راهکارهای مهندسی در جهت تسهیل تخلیه اضطراری جمعیت در ایستگاه‌های مترو

در جدول (۸)، راهکارهایی جهت تسهیل تخلیه جمعیت در مواقع اظطراری در ایستگاه‌های مترو ذکر شده است.

جدول (۸): راهکارهای مهندسی در جهت تسهیل تخلیه اضطراری جمعیت در ایستگاه‌های مترو.

بررسی عوامل تأثیرگذار بر زمان تخلیه از نتایج شبیه‌سازی	راهکارهای مهندسی در جهت تسهیل تخلیه اضطراری جمعیت در ایستگاه‌های مترو
تراکم بالای جمعیت (حجم گروه) و کاهش زمان تخلیه	طراحی پناهگاه در ایستگاه‌های عمیق
	طراحی فضای امن در ایستگاه‌های عمیق
	طراحی دو مسیر خروجی از انتهای سکوها به سطح زمین
	حداقل ایجاد دو مسیر خروجی اضطراری از ایستگاه به بیرون
	تفکیک مسیرهای خروجی افراد جوان و افراد مسن و ناتوان
	ایجاد رمپ به‌جای پله برای افراد ناتوان
تصمیم‌گیری در انتخاب خروجی	روشنایی اضطراری و علائم هدایت در تاریکی
	تابلوها و علایم علامت خروج تخلیه اضطراری
	علائم خروجی در تونل‌ها
	علائم نشان دهنده فاصله و جهت بین ایستگاه‌ها
	هشداردهی سامانه تلویزیون مدار بسته
	نصب سیستم ارتباطی و زنگ خطر در ایستگاه
	تلفن اضطراری
	نصب امکانات ارتباطی بین ایستگاه‌ها
	اطلاع رسانی عمومی صوتی با نصب بلندگوها در ایستگاه
	استفاده از سیستم اطلاعات مسافری برای هدایت مردم
	نصب نقشه‌های خروجی‌ها و نقاط ایمن در ایستگاه
	نصب سیستم ارتباطی و زنگ خطر در ایستگاه
	تلفن اضطراری
	نصب امکانات ارتباطی بین ایستگاه‌ها
موانع انسانی	پناهگاه در ایستگاه‌های عمیق
	فضای امن در ایستگاه‌های عمیق
	تفکیک مسیرهای خروجی افراد جوان و افراد مسن و ناتوان
	ایجاد رمپ به‌جای پله برای افراد ناتوان
	آسانسور
	پناهگاه در ایستگاه‌های عمیق
	وجود نیروهای آموزش‌دیده در مقابله با کمک به افراد ناتوان
	ایجاد مکان‌های امن داخل ایستگاه به‌منظور کوتاه کردن زمان تخلیه، و فرار از دود
	آسانسور
	پله‌های برقی
	حضور یک کادر پزشکی در ایستگاه
فاکتور دود	تهویه اضطراری وکنترل دود
	تسهیلات و امکانات خارج کردن دود
	ایجاد مکان‌های امن داخل ایستگاه به‌منظور کوتاه کردن زمان تخلیه، و فرار از دود
	افزایش حجم انتشار دود به خارج با دستگاه‌های مکانیکی
	نصب تجهیزات اعلام حریق
	ایجاد شاتر و موانع در خروجی‌ها جهت جلوگیری از دود
	برق اضطراری
نوع حادثه و موقعیت رخدادان	سامانه اطفای حریق
	آب پاش‌های خودکار
	موانع و درب‌ها برای جلوگیری اتش
	سیستم آبپاش اسپرینکلر
	سیستم کشف و اعلام حریق
	خاموش کننده‌های دستی آتش
	وجود نیروهای امنیتی
	فناوری‌های پیشرفته
	طراحی و حذف سطل آشغال
	دوربین مداربسته
	سامانه‌های ارتباطی مسافر
	مناطق امن و پناهگاه
	روشنایی
	مقاوم‌سازی دیوارهای داخلی در برابر حریق و انفجار
	پوشش‌های ضدحریق
	مقاوم‌سازی راه‌پله‌ها در برابر حریق
	مقاوم‌سازی آسانسورها در برابر در برابر حریق و انفجار
	مقاوم‌سازی اجزای سازه‌ای در برابر حریق و انفجار
	مقاوم‌سازی اجزای غیرسازه‌ای
	استفاده از شیشه و نما مقاوم در برابر حریق
	وجود نیروهای آموزش‌دیده در مقابله با بحران
	تجهیزات نجات و درمان مصدومین و انجام کمک‌های اولیه

۵- منابع

[1]. B. Rahnavard and A. A. Ahmadzadeh, “Design of a Passive Defense Reception Hospital in Harris County,” Architecture Thesis, 2009. (In Persian)

[2]. E. Dehghani, “Subway Station, Public Shelter,” Passive Defense Organization Base, 2012. (In Persian)

[3]. M. M. Hasanloo, “Investigating and Designing Urban Design Patterns with Passive Defense Approach,” Urban Planning, 2014. (In Persian)

[4]. A. Holgersson and U. Björnstig, “Mass-casualty attacks on public transportation,” Journal of Transportation Security, vol. 7(1), pp. 1-16, 2014.

[5]. S. Chen, Y. Di, S. Liu, and B. Wang, “Mode lling and Analysis on Emergency Evacuation from Metro Stations,” Mathematical Problems in Engineering, 2017.

[6]. H. Cheng and X. Yang, “Emergency Evacuation Capacity of Subway Stations,” Procedia Social and Behavioral Sciences, vol. 43, pp. 339-348, 2012.

[7]. M. K. Ho, C. Y. Ku, and W. K. Chow, “Evacuation Hazards in Crowded Subway Stations,” 2016.

[8]. H. Cheng and X. Yang, “Emergency Evacuation Capacity of Subway Stations,” Procedia Social and Behavioral Sciences, vol. 43, pp. 339–348, 2012.

[9]. IMO, “Guidelines for evacuation analysis for new and existing passenger ships,” International Maritime Organization, pp. 1–46, 2007.

[10]. L. Shi, Q. Xie, X. Cheng, L. Chen, Y. Zhou, and R. Zhang, “Developing a database for emergency evacuation model,” Building and Environment, 44(8), pp. 1724–1729, 2009.

[11]. M. Kamely, et al., “Passive Defense Requirements in Designing Subway Stations Using Delphi Technique,” Journal of Urban Research and Planning, Eighth Year, no. 28, 2016. (In Persian)

[12]. S. Mardani, et al., “Application of Software Simulation in Evaluation of Emergency Evacuation of Subway Station (Case Study of one of Mashhad Stations,” First International Conference and Fourth National Fire and Safety Conference، 2017. (in Persian)

[13]. I. Salehi and T. Aminaei, “Presentation of a New Method for Calculating Emergency Discharge Time in Subway Stations During Crisis Based on Experimental and Computer Simulations,” Fourth International Conference on Planning and Management, 2016.

[14]. A. Ghavidel and S. Khazaei, “Emergency evacuation at Railway Stations with Non-Agent Defense Approach (Case Study: Chabahar Railway Station),” National Conference on Modern Research in Civil Engineering, Architecture and Urban Management, Isfahan, 2016. (In Persian)

[15]. Thunderhead, “User manual of Pathfinder,” New York, USA: Thunderhead, 2017.

[16]. IMO, “Guidelines for the Evacuation Analyses for New and Existing Passengers Ship.London International,” Maritime Organization, 2002.

[17]. Thunderhead, “Technical Reference of Pathfinder,” New York, Thunderhead Engineering, 2012.

[18]. Y. Li, X. Sun, X. Feng, C. Wang, and J. Li, “Study on evacuation in subway transfer station fire by STEPS,” Procedia Engineering, vol. 45, pp. 735-740, 2012.

[19]. H. Ahmadyousefi, “provide an emergency evacuation plan of the population at the metro stations and develop engineering requirements (Case Study: Darvazehshemiran Metro Station) ,” M.Sc., Malek Ashtar Industrial University, 1398. (In Persian)

The Effective Factors of Emergency Evacuation in Subway Stations using the Pathfinder 2017 Simulation Software and Presenting Engineering Strategies with Passive Defense Approach Antennas

Gh. Jalali Farahani*, M. Sasani, H. Ahmadyousefi

Abstract

A review of the past incidents at the metro stations worldwide, shows that there have been a lot of casualties caused by fire incidents, bombings, etcetera, in subway stations because of the closure of the underground space station, population congestion and so on. Therefore, in the face of these threats, one of the important emergency responses is to protect the lives of citizens and reduce the number of human casualties and thereby increase the national sustainability of population evacuation. Therefore, in order to reduce the number of casualties due to accidents at metro stations, the evacuation status should be predictable and the time of evacuation reduced. Therefore, the necessary factors affecting the emergency evacuation of metro stations should be identified and obstacles eliminated. A quantitative method has been used to identify these factors during the evacuation process. The quantitative method used in this study is the use of the 2017 Pathfinder emergency evacuation simulation software (SFPE) for simulation and modeling of discharges in low, medium and peak times in the metro station, in different scenarios taking into account different speeds of movement, gender, size of different groups and density of phenomena at the Shemiran Gateway station. Simulations were performed and the evacuation process and how people were discharged from different station paths were studied and critical factors at the time of discharge such as evacuation bottlenecks, entrance and exit gates, platforms, etcetera were identified. To address these bottlenecks and facilitate the evacuation and thus reduce the evacuation time and vulnerability and rescue the people at the station, engineering requirements (structural, architectural, facility and structural management) were introduced with a passive defense approach.

Key Words: *Effective Factors in Emergency Evacuation, Passive Defense, Metro Stations, Simulation Software Pathfinder 2017*

* Head of Passive Defense Organization - (farahani.1357@gmail.com) - Writer-in-Charge