نشریه علمی پدافند غیرعامل

سال یازدهم، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۹، (پیاپی ۴۲): صص ۱۴-۱

"علمی-ترویجی"

شناسایی نقش و ظرفیت سامانه مترو در تخلیه اضطراری شهر تهران و ارائه راه‌کارهای مدیریت بحران

حامد احمدیوسفی[۱]، فتح‌الله شمسایی زفرقندی[۲*]، سیدجواد هاشمی فشارکی[۳]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۱۲/۲۱

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۵/۱۷

چکیده

یکی از اهداف مهم پدافند غیرعامل در زمان وقوع بحران‌های شهری، تخلیه جمعیت و روان‌سازی بار ترافیک به‌منظور دور نمودن مردم از منبع خطر، امدادرسانی به موقع و اعمال صحیح مدیریت بحران است. استفاده از سامانه حمل‌ونقل عمومی در مناطق شهری هنگام تخلیه اضطراری دارایی مهمی به شمار می‌روند و نقش مهمی در عملیات تخلیه بازی می‌کند. یکی از سامانه‌های حمل‌ونقل عمومی در تهران، سامانه حمل‌ونقل ریلی شهری هست که در سال‌های اخیر پیشرفت، گسترش و تأثیرات زیادی داشته است و ترکیب انواع و انعطاف‌پذیری آن بر چگونگی واکنش سریع و مؤثر در تخلیه اضطراری نیز تأثیر می‌گذارد و می‌توان مسافران را به سرعت از محل حادثه دور کند و تأثیر قابل توجهی در تخلیه اضطراری مردم به مکان‌های امن داشته باشد. با توجه به اهمیت موضوع تحقیق حاضر در صدد است به بررسی شناسایی نقش و ظرفیت سامانه مترو در تخلیه اضطراری شهر تهران و ارائه راهکارهای مدیریت بحران در تخلیه اضطراری جمعیت بپردازد. در این تحقیق ابتدا مطالعات انجام‌گرفته در زمینه نقش و تحلیل ظرفیت خطوط مترو بررسی و سپس به محاسبه و تحلیل ظرفیت و نقش سامانه‌های مترو در تخلیه جمعیت شهر تهران بر اساس سناریوهای آسیب‌شناسی شهر تهران و مشخص شدن نقاط مبدأ و مقصد پرداخته شده است. و در آخر هم راهکارهای مدیریت بحران برای تسهیل و تسریع تخلیه اضطراری جمعیت در شهر تهران با استفاده سامانه‌های مترو ارائه شده است.

کلیدواژه‌ها: تخلیه اضطراری، راه‌کارهای تسهیل تخلیه، ظرفیت شبکه مترو، مدیریت شهری، بحران شهری

۱- کارشناس ارشد، مهندسی پدافند غیرعامل، دانشگاه صنعتی مالک اشتر، کرمان، ایران

۲- استادیار، دکتری مدیریت راهبردی، دانشگاه دفاع ملی، تهران، ایران (shamszafar@yahoo.com)- نویسنده مسئول

۳- استادیار، دانشگاه جامع امام حسین(ع)، تهران، ایران

۱. مقدمه

هزینه بالای ساخت مکان‌های امن و پناهگاه‌ها در مقابل رشد روزافزون و قدرت تخریب سلاح‌های هوشمند و به‌تبع آن کمتر شدن کارایی این اماکن منجر به توسعه طرح‌های تخلیه جمعیتی شده است. هدف کلی از طرح‌های تخلیه جمعیتی، حفاظت از جان شهروندان و کاهش تلفات نیروی انسانی و به‌تبع آن افزایش پایداری ملی هست. واقعه ۱۱ سپتامبر و طوفان‌های فصلی مخرب سال‌های ۲۰۰۴ و ۲۰۰۵ در ایالت متحده، باعث ایجاد توجه ویژه نسبت به ظرفیت‌های ملی در پاسخ به تخلیه اضطراری شهروندان در زمان‌ها و مکان‌های مختلف شد [۱]. در ایران هم بیشتر شهرها در معرض تهدیدات مختلفی قرار دارند، برخی از این شهرهای کشور مثل شهر تهران با توجه به ویژگی‌های خاص (مانند تراکم جمعیتی، عظمت و رشد شهری، مرکز سیاسی کشور و ...) نسبت به شهرهای دیگر در معرض تهدیدات و خطرات بیشتری هستند. بنابراین ضرورت تهیه طرح و انجام پیش‌بینی‌های لازم در راستای تخلیه اضطراری شهر در بحران‌های ناشی از تهاجم (مانند حملات هوایی و تروریستی) و دور نمودن شهرنشینان از معرض آسیب به‌روشنی مشاهده می‌شود. بنابراین یکی از موضوعات مهم در زمان بحران، استفاده از سامانه حمل‌ونقل عمومی است. به محض وقوع بحران‌های بزرگ نیاز به تخلیه و جابه‌جایی مردم آسیب دیده از یک طرف و انتقال امدادرسانان به محل حادثه از طرف دیگر به شدت افزایش می‌یابند. از بین انواع سامانه حمل‌ونقل عمومی در تهران، شبکه مترو در سال‌های اخیر پیشرفت، گسترش و تأثیرات زیادی داشته است. یکی از مهم‌ترین این تأثیرات، فراهم آمدن قابلیت دسترسی مناسب‌تر شهروندان به فعالیت‌ها و مراکز اشتغال، بازار، نواحی تجاری، امکانات آموزشی، اوقات فراغت و همچنین سایر تسهیلات رفاهی است. بنابراین شناسایی نقش و ظرفیت اتوبوس‌های تندرو در عملیات امداد نجات و اقدام‌های فوری پس از وقوع تهدید و عملیات تخلیه افراد از محل خطر و همچنین پیش‌بینی‌ها و ملاحظات لازم جهت کمینه‌سازی آسیب‌پذیری و آثار مخرب فاجعه‌بار ناشی از آن و می‌تواند تأثیر قابل توجهی در جهت کاهش آسیب‌پذیری و تلفات انسانی داشته باشد.

۱-۱. پیشینه تحقیق

در این بخش به برخی از تحقیقات داخلی و خارجی مرتبط با تحقیق حاضر، که دسترسی به آن‌ها برای نگارنده ممکن بوده است، به ترتیب سال انتشار اشاره خواهد شد. چن و همکارانش [۲] در سال ۲۰۱۰ به شبیه‌سازی تخلیه اضطراری در مقیاس بزرگ با استفاده از حمل‌ونقل ریلی پرداختند. این تحقیق به ارزیابی مشکلات موجود در طول تخلیه اضطراری و همچنین بررسی اثربخشی حمل‌ونقل ریلی در شرایط تخلیه در مقیاس بزرگ برای نمونه موردی پنتاگون پرداخت. یافته‌ها نشان می‌دهد که مترو به‌طور کامل قادر به پشتیبانی از تخلیه‌های افراد در پنتاگون در این مطالعه است. حسام عبدالغواد و همکارانش [۳] در سال ۲۰۱۲ به شبیه‌سازی تخلیه اضطراری در مقیاس بزرگ با استفاده از مترو و اتوبوس در کل شهر تورنتو و همچنین به ارزیابی مشکلات موجود در طول تخلیه پرداختند. نتایج حاصل از آن نشان می‌دهد که ناوگان گروه حمل‌ونقل تورنتو قادر به تخلیه جمعیت وابسته به حمل‌ونقل (۱/۳۴ میلیون) در عرض ۲ ساعت است. چهار خط متروی شهر تورنتو حدود ۰/۶۲ میلیون نفر را حمل می‌کند و می‌تواند این افراد را به‌طور متوسط کمتر از ۳ ساعت تخلیه کند. لی و بارکان [۴] در سال ۲۰۱۱ در مطالعه‌ای، با استفاده از روش بهینه‌سازی، به تعیین بهترین گزینه ساخت برای افزایش ظرفیت در شبکه ریلی پرداخته‌اند. در این تحقیق برای تعیین بهترین گزینه به‌منظور افزایش ظرفیت، دو بار بهینه‌سازی انجام شده است. ابتدا گزینه‌های ممکن برای افزایش ظرفیت با بهینه‌سازی (کمینه هزینه ساخت) مشخص‌شده‌اند. سپس از بین گزینه‌های ممکن، گزینه‌ای که هزینه تأخیر کمتری دارد با ابزار بهینه‌سازی (کمینه هزینه تأخیر) تعیین شده است. تابع هدف در این مطالعه، کمینه‌سازی هزینه ساخت (شامل هزینه ثابت ساخت کمان‌ها و هزینه حرکت بر کمانه) بوده است.

در مطالعه‌ای که در سال ۲۰۰۷ با عنوان "موضوعات مطرح در تعیین ظرفیت خطوط" انجام شد، مدلی برای محاسبه ظرفیت حقیقی ارائه شد که در آن تأثیر عواملی نظیر ترکیب قطارها، طول و وزن قطار، شیب خط، جهت حرکت قطار در مسیر، مکان و طول تجهیزات تلاقی و سبقت، مکان سیگنال‌ها، طول سپرگاه و زمان سپر و توقف و قواعد توقف‌ها، بر میزان ظرفیت سنجیده شده است. آنچه در این مطالعه به‌عنوان قوانین توقف و عبور مطرح می‌شود ۴ حالت متفاوت است که یک قطار می‌تواند در این حالت‌ها یک ایستگاه را پشت سر بگذارد [۴]. مروری بر پژوهش‌های پیشین نشان می‌دهد که تاکنون نمونه‌ای منطبق با موضوع و هدف پژوهش حاضر انجام نشده است.

۲. روش تحقیق

تحقیق پیش رو در زمره تحقیقات کاربردی (نوع توسعه‌ای) به شمار رفته و در مسیر دست‌یابی به اهداف آن، و در مرحله شناسایی تهدیدات پیش روی شهرها و نیز جهت ارائه راه‌کارها مدیریت

بحران در جهت تسهیل تخلیه اضطراری در شبکه حمل‌ونقل مترو، از روش‌های کتابخانه‌ای، مصاحبه و مشاهده (روش‌های کیفی)، و در بخش آسیب‌شناسی شهر تهران و ارزیابی نقش و ظرفیت شبکه حمل‌ونقل مترو در تخلیه اضطراری شهر تهران از روش پرسشنامه (روش کمی) و روش تئوری ریاضی جهت گردآوری اطلاعات استفاده گردید. ازاین‌رو روش تحقیق حاضر، روش توصیفی (تحلیل محتوا - مطالعه موردی) است. جهت تجزیه و تحلیل داده‌ها نیز روش تحلیل محتوا (کیفی) و روش آمار توصیفی (کمی)، و نرم‌افزارهای SPSS و GIS به‌عنوان ابزار پردازش اطلاعات انتخاب شد. برای جمع‌آوری اطلاعات و نظرات پرسش‌شوندگان پژوهش از طیف لیکرت استفاده گردید. روایی پرسشنامه طراحی و توزیع شده را متخصصان حوزه امر تأیید کردند. پایایی این ابزار گردآوری اطلاعات نیز با استفاده از آزمون آلفای کرونباخ، ۰/۸۰۲ به‌دست آمد است که مورد تأیید می‌باشد.

۲-۱. ظرفیت شبکه مترو در تخلیه اضطراری جمعیت

ظرفیت خط در سامانه مترو به دو صورت حداکثر قابلیت جابه‌جایی مسافر در ساعت و حداکثر توانایی اجرایی بازمی‌گردد، که اولی بیان کننده تعداد مسافر قابل جابه‌جایی توسط سامانه با توجه به تقاضای موجود بوده و دومی بیان کننده قابلیت عبور تعداد وسیله مشخص در ساعت از یک تسهیلات مشخص (خطوط، ایستگاه و غیره) است. ظرفیت قطارها و خطوط سامانه مترو وابسته به چندین عامل اساسی، به‌ویژه زمان‌های توقف و سامانه‌های کنترل سیگنال‌های قطار، تعداد قطارها در طول یک بخش از یک خط می‌باشد. روند تحلیل ظرفیت را می‌توان به‌صورت زیر بیان نمود [۵]:

ظرفیت سامانه مترو دریک ساعت تخلیه جمعیت= ظرفیت خط (تعداد قطار در هر ساعت) × طول قطار (تعداد واگن‌ها در قطار) × ظرفیت واگن‌ها (تعداد نفر در هر واگن) × ضریب ساعت اوج.

نتایج نشان می‌دهد که چگونه ظرفیت با توجه به عوامل مانند سرعت قطار، توقف‌های تجاری، ناهمگونی قطار، فاصله بین سیگنال‌های راه‌آهن و قدرت برنامه زمان‌بندی متغیر است. ظرفیت سامانه مترو دارای دو عامل، ظرفیت خط و ظرفیت قطار می‌باشد و می‌تواند به‌صورت معادله (۱) بیان شود [۵].

$$C_D = C_L \times C_T \qquad (۱)$$

که در آن، C_D ظرفیت سامانه مترو (مسافر / ساعت)، C_L ظرفیت خط (قطار / ساعت) و C_T ظرفیت قطار (مسافر / قطار) است.

ظرفیت طراحی در شکل گسترده، توسط معادله (۲) داده شده است [۵].

$$C_D: \frac{3600}{ts+td+tc} \times N_c \times P_c \qquad (۲)$$

که در آن، C_D ظرفیت سامانه مترو (مسافر / ساعت)، t_s حداقل فاصله قطار s)، t_d متوسط زمان توقف در هر ایستگاه (ثانیه)، t_c زمان تخلیه، P_C کل مسافر در هر واگن و N_C تعداد واگن در قطار است.

با توجه به این‌که ظرفیت قطارها در ساعت اوج متفاوت می‌باشد، ظرفیت ساعت اوج یا پیک جمعیت را می‌توان طبق رابطه (۳) مقابل بیان کرد.

$$C_A = C_D \times PHF \qquad (۳)$$

که در آن، C_A ظرفیت پیک جمعیت (مسافر/ ساعت)، C_D ظرفیت سامانه مترو (مسافر / ساعت) و PHF ضریب ساعت اوج است.

۲-۱-۱. محاسبه ظرفیت مسافران در قطارها

حداکثر ظرفیت مسافران در قطارها برابر تعداد افرادی است که می‌تواند در یک جهت در طول یک قسمت از مسیر در یک دوره معین، به‌طور معمول یک ساعت، در شرایط عملیاتی مشخص بدون تأخیر نامحدود، خطر یا محدودیت و با اطمینان، تخلیه شوند. بنابراین ظرفیت قطارها مترو تخلیه جمعیت برابر است با طول قطار (تعداد واگن‌ها در قطار) × ظرفیت واگن‌ها (تعداد نفر در هر واگن).

طول قطار می‌تواند به‌وسیله شاخص‌های زیر محدود شود:

- ✓ قدرت لوکوموتیو
- ✓ طول سکوها

سکوها ایستگاه بر اساس طولانی‌ترین سامانه قطار طراحی شده است. هنگامی که سکوها کوچک‌تر از طول قطار باشند پیاده شدن مسافران دشوار می‌باشد، طول قطارهای مورد استفاده در مترو شهر تهران ۷ واگن می‌باشد و در بعضی خطوط شلوغ قابلیت ۸ واگن شدن را دارا می‌باشد. همچنین قدرت لوکوموتیو قابلیت حمل ۸ واگن را دارا می‌باشد.

❖ محاسبه ظرفیت مسافران در هر قطار

محاسبه ظرفیت مسافران در قطارها بر مبنای سه حالت مختلف زیر در نظر گرفته شده است:

- ✓ زمان اوج جمعیت

- ✓ زمان متوسط جمعیت
- ✓ زمان خلوت بودن جمعیت.

بر اساس گزارش‌های فنی صورت گرفته در مورد اطلاعات فنی تجهیزات متحرک مترو (جدول ۱)، محاسبه ظرفیت مسافران در هر قطار با توجه به ۷ واگن بودن قطارهای خط ۲ (سکوی به طول ۱۴۰ متر) و خط ۴ (سکوی به طول ۱۶۰ متر)، ظرفیت مسافران در هر قطار، در حالت زمان اوج جمعیت محاسبه شده است. با توجه به جدول (۱) قطار M در حالت حداکثر ظرفیت برابر ۲۴۹ نفر در هر واگن که در مجموع برای خط ۴ و برای خط ۲، که طبق گفته مرکز فرمان شرکت مترو، دارای ۷ واگن می‌باشند برابر ۱۷۴۳ نفر هست (جمعیت داخل قطار در زمان اوج برابر است با: ۱۷۴۳ = ۲۴۹ × ۷)

❖ نکته: مبنای محاسبه در این تحقیق محاسبه ظرفیت پیک مسافران بر مبنای حداکثر ظرفیت قطارها می‌باشد.

جدول (۱): اطلاعات فنی و ظرفیت واگن‌های قطار مترو [۶]

انواع واگن	Mc: واگن موتوردار با کابین راننده		M: واگن موتوردار	
	Ma: واگن موتوردار با کمپرسور هوا		Tc: واگن بدون نیروی محرکه	
آرایش قطار	خطوط ۱و۲: Mc-T-M-Ma-T-Mc			
نحوه تغذیه الکتریکی	روش تغذیه تماسی با ریل سوم (۷۵۰ولت DC)			
ظرفیت حمل مسافر	**نوع واگن**	**جای نشستن**	**ظرفیت مسافر - نفر**	
			ظرفیت نامی	**حداکثر ظرفیت**
	Mc	۳۸	۱۸۰	۲۳۴
	M	۴۶	۱۹۰	۲۴۹
	Ms	۴۶	۱۹۰	۲۴۹
	جمع	۳۰۶	۱/۳۱۰	۱/۷۱۳
موتور اصلی	Ac با تحریک سری و توان ۱۸۰کیلو وات			
تهویه	شامل بخش‌های:تهویه هوا، سیستم گردش هوا، تخلیه هوا و سیستم کنترل			
گرمایش	بخاری‌های لوله‌ای با سیم مقاوم			
سیستم صوتی اعلام خبر	کنترل مرکزی و توزیع پخش صدا بعد از تقویت			
سیستم اعلام خبر و ایمنی	امکان ارتباط از طریق تلفن داخلی			

۲-۱-۲. ظرفیت خط (قطار در هر ساعت)

ظرفیت خط حداکثر تعداد قطارها است که می‌تواند در یک بخش از مسیر در یک دوره معین، به‌طور معمول ۱ ساعت عمل کند. در حالت ایده‌آل، ترکیبی از سامانه سیگنالینگ قطار مورد استفاده قرار می‌گیرد و ایستگاه با طولانی‌ترین زمان توقف، ظرفیت خط را کنترل می‌کند (معادله ۴).

$$C_E : \frac{3600}{ts+td+tc} \qquad (۴)$$

که در آن، C_E ظرفیت خط (قطار در هر ساعت)، t_s حداقل فاصله قطار (s) است. فاصله زمانی بین قطارها طبق زمان‌بندی متروی تهران در جداول (۲) نمایش داده شده است. t_d متوسط زمان توقف در هر ایستگاه (ثانیه)، میانگین زمانی که قطار در ایستگاه توقف می‌کند، می‌باشد. این زمان از هنگامی که قطار کاملاً متوقف می‌شود آغاز و زمانی که درب‌های قطار بسته می‌شود به اتمام می‌رسد. به بیان دیگر، زمان لازم برای باز شدن درب‌ها، پیاده و سوار شدن مسافران و بسته شدن درب‌ها می‌باشد. این زمان مهم‌ترین عامل تأثیرگذار در ظرفیت یک مسیر مترو می‌باشد.

جدول (۲): فاصله زمانی بین قطارها طبق زمان‌بندی متروی تهران (سایت شرکت مترو)

ایستگاه‌ها	حداقل فاصله زمانی بین قطارها
مبدأ ایستگاه تجریش	۳ دقیقه
از مبدأ ایستگاه شهرری	۳ دقیقه
از مبدأ ایستگاه صادقیه	۴ دقیقه
از مبدأ ایستگاه فرهنگسرا	۴ دقیقه
از مبدأ ایستگاه قائم	۷/۵ دقیقه
از مبدأ ایستگاه آزادگان	۷/۵ دقیقه
از مبدأ ایستگاه شهید کلاهدوز	۴ دقیقه
از مبدأ ایستگاه ارم سبز	۴ دقیقه
از مبدأ ایستگاه تهران (صادقیه)	۱۰ دقیقه
از مبدأ ایستگاه گلشهر	۱۰ دقیقه

عوامل مؤثر:

- ✓ حجم‌های مسافری؛
- ✓ توزیع مسافران در امتداد سکو؛
- ✓ تعداد و پهنای دره‌ای قطار؛
- ✓ ارتفاع خودرو؛
- ✓ طیف افراد مختلف؛
- ✓ ازدحام روی عرشه؛
- ✓ زمان استفاده نشده که درب‌های باز می‌شود؛

✓ زمانی که درب‌های قطار بسته می‌شود و آماده رفتن می‌شود.

نکته: شرایط پایه فرض بار ساکن ۳۰ ثانیه‌ای، حاشیه عامل ۲۰ ثانیه و ۵۰ ثانیه حداقل فاصله جدایی قطار است.

t_c زمان تخلیه ایستگاه (ثانیه) است یعنی از زمان بسته شدن درب تا خالی کردن پهلوگاه برای قطار بعدی. این زمان پس از اتمام زمان توقف آغاز می‌شود و وقتی قطار ایستگاه را ترک کرد به اتمام می‌رسد. این زمان وابسته به نوع ایستگاه (در مسیر با به‌صورت خارج از مسیر)، حجم ترافیک خط کناری و وجود سامانه‌های اولویت‌دهی به قطار می‌باشد.

محاسبه فوق بر اساس شرایط طبیعی می‌باشد و بدیهی است در شرایط بحران ازدحام بیشتر خواهد بود.

۲-۲. آشنایی با سامانه مترو شهر تهران (مطالعه موردی)

سامانه مترو از قطارهای الکتریکی با ظرفیت زیاد برای جابه جایی مسافر که نرخ شتاب بالایی دارند، بهره می برد. این سامانه دارای بالاترین عملکرد در بین سامانه‌های حمل‌ونقل همگانی است که کمترین هزینه های عملیاتی را در هر کیلومتر دارد. اجرای این سامانه، سرمایه گذاری بسیار زیاد و عملیات ساخت طولانی مدت نیاز دارد. با این وجود، سامانه مترو عمر نامحدودی دارد و تأثیر قوی و دائمی بر الگوی جابه‌جایی مردم و همین‌طور بر شکل و هویت شهر دارد [۷]. سامانه شبکه مترو یکی از زیرساخت‌های بسیار بزرگ و پیچیده ای است که از تعداد بسیار زیادی اجزای مختلف تشکیل شده است. شبکه مترو متشکل از بخش های مختلف از جمله خطوط مترو و تونل‌ها، ایستگاه‌ها و فضای داخل ایستگاه (سکوها، ورودی و خروجی‌ها، راهروها، راه‌پله‌ها و...)، دپو و پارکینگ و ... است. متروی تهران به مجموعه قطارهای شهری تهران و همچنین «شرکت راه‌آهن شهری تهران و حومه» گفته می‌شود. این قطارها در حال حاضر در پنج خط اصلی در حال تردد هستند و عملکرد آن در یک سال طبق جدول (۳) می‌باشد و به گفته مسئولین بخش‌هایی از خطوط ۶ و ۷ مترو تا پایان امسال به بهره‌برداری می‌رسند (شکل ۱).

۳. نتایج و بحث

۳-۱. نقش شبکه مترو در تخلیه اضطراری جمعیت

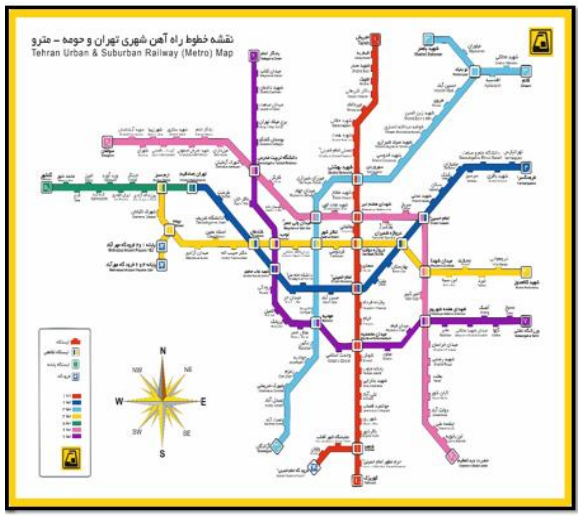
این بخش به دنبال بررسی نقش شبکه مترو در تخلیه اضطراری جمعیت در مواقع بحرانی توسط اتوبوس‌های تندرو می‌باشد. لازم به ذکر است که سه معیار اصلی شامل خطوط، تقاطع‌ها (گره‌ها) و ایستگاه‌های مهم مورد تجزیه‌وتحلیل آماری قرارگرفته‌اند که به تفکیک بحث می‌شود.

۳-۱-۱. خطوط مترو

بر اساس یافته‌های نمودار (۱) نقش خطوط در تسهیل تخلیه اضطراری جمعیت در مواقع بحرانی توسط شبکه مترو به ترتیب، خط یک ۴۴/۴ درصد زیاد و خیلی زیاد، خط دو ۴۴/۴ درصد زیاد و خیلی زیاد، خط سه ۳۶/۱ درصد متوسط، خط چهار ۴۴/۵ درصد کم و خیلی کم، خط پنج ۳۸/۹ درصد زیاد و خیلی زیاد، خط شش ۳۸/۹ درصد زیاد و خیلی زیاد و خط هفت ۴۱/۷ درصد زیاد و خیلی زیاد است. مشاهده می‌شود که نقش خطوط یک، دو و هفت در تسهیل تخلیه اضطراری جمعیت توسط شبکه مترو در مواقع بحرانی نسبت به سایر خطوط بیشتر است.

جدول (۳): اطلاعات کلی خطوط مترو [۸]

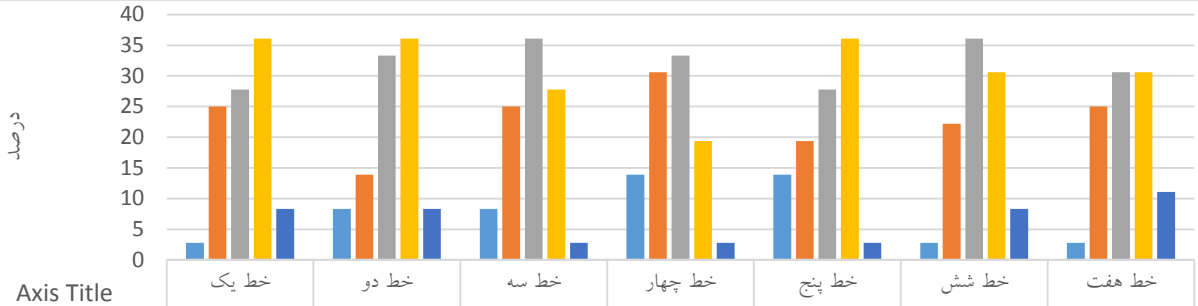
شماره خط	مبدأ	مقصد	طول (km)	تعداد ایستگاه
۱	تجریش	کهریزک	۴۸	۳۰
۲	فرهنگسرا	صادقیه	۲۶	۲۲
۳	قائم	آزادگان	۳۷	۱۶
۴	کلاهدوز	ارم سبز	۲۵	۲۲
۵	صادقیه	مهرشهر	۴۳	۱۱
۶	دولت آباد	سولقان	۳۱	۲۷
۷	ورزشگاه تختی	یادگار امام	۲۷	۲۲



شکل (۱): نقشه فضایی خطوط مترو تهران

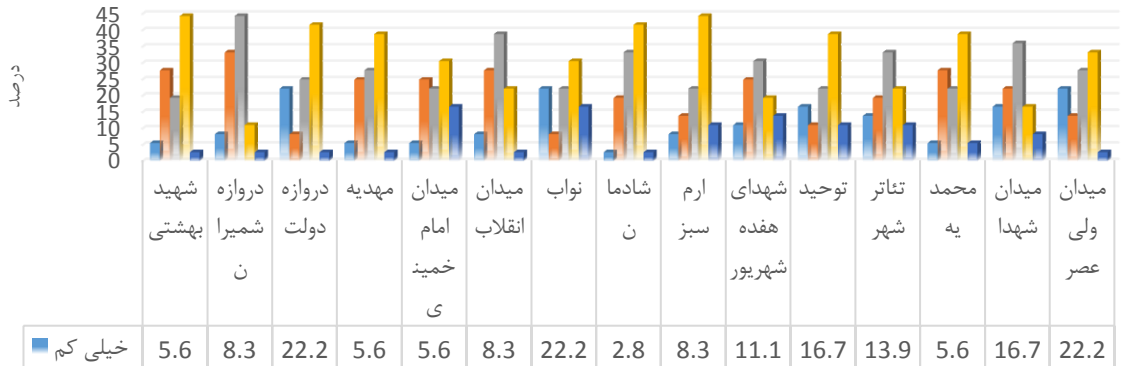
۳-۱-۲. تقاطع‌ها و گره‌ها مترو

بر اساس یافته‌های نمودار (۲) نقش تقاطع‌ها و گره‌های شبکه حمل‌ونقل در تسهیل تخلیه اضطراری جمعیت در مواقع بحرانی توسط مترو، تقاطع شهید بهشتی ۴۷/۲ درصد زیاد و خیلی زیاد، تقاطع دروازه شمیران ۴۴/۴ درصد متوسط، تقاطع دروازه دولت، ۴۴/۵ درصد زیاد و خیلی زیاد، تقاطع مهدیه ۴۱/۷ درصد زیاد و خیلی زیاد، تقاطع میدان امام خمینی (ره) ۴۷/۳ درصد زیاد و خیلی زیاد، تقاطع میدان انقلاب ۳۸/۹ درصد متوسط، تقاطع نواب ۴۷/۳ درصد زیاد و خیلی زیاد، تقاطع شادمان ۴۴/۵ درصد زیاد و خیلی زیاد، تقاطع ارم سبز ۵۵/۵ درصد زیاد و خیلی زیاد، تقاطع شهدای هفده شهریور ۳۶/۱ درصد کم و خیلی کم، تقاطع توحید ۵۰ درصد زیاد و خیلی زیاد، تقاطع تئاتر شهر ۳۳/۳ درصد متوسط، تقاطع محمدیه ۴۴/۵ درصد زیاد و خیلی زیاد، تقاطع میدان شهدا ۳۸/۹ درصد کم و خیلی کم و تقاطع میدان ولی‌عصر ۳۶/۱ درصد کم و خیلی کم است. مشاهده می‌شود که نقش تقاطع‌های شهید بهشتی، دروازه دولت، مهدیه، میدان امام خمینی (ره)، نواب، شادمان، ارم سبز، توحید و محمدیه در تسهیل تخلیه اضطراری جمعیت در مواقع بحرانی نسبت به سایر تقاطع‌ها و گره‌های شبکه حمل‌ونقل توسط مترو بیشتر است.



	خط یک	خط دو	خط سه	خط چهار	خط پنج	خط شش	خط هفت
خیلی کم	2.8	8.3	8.3	13.9	13.9	2.8	2.8
کم	25	13.9	25	30.6	19.4	22.2	25
متوسط	27.8	33.3	36.1	33.3	27.8	36.1	30.6
زیاد	36.1	36.1	27.8	19.4	36.1	30.6	30.6
خیلی زیاد	8.3	8.3	2.8	2.8	2.8	8.3	11.1

نمودار (۱): نقش خطوط مترو در تخلیه اضطراری جمعیت پرسشنامه کارشناسان



	شهید بهشتی	دروازه شمیران	دروازه دولت	مهدیه	میدان امام خمینی	میدان انقلاب	نواب	شادمان	ارم سبز	شهدای هفده شهریور	توحید	تئاتر شهر	محمدیه	میدان شهدا	میدان ولی عصر
خیلی کم	5.6	8.3	22.2	5.6	5.6	8.3	22.2	2.8	8.3	11.1	16.7	13.9	5.6	16.7	22.2
کم	27.8	33.3	8.3	25	25	27.8	8.3	19.4	13.9	25	11.1	19.4	27.8	22.2	13.9
متوسط	19.4	44.4	25	27.8	22.2	38.9	22.2	33.3	22.2	30.6	22.2	33.3	22.2	36.1	27.8
زیاد	44.4	11.1	41.7	38.9	30.6	22.2	30.6	41.7	44.4	19.4	38.9	22.2	38.9	16.7	33.3
خیلی زیاد	2.8	2.8	2.8	2.8	16.7	2.8	16.7	2.8	11.1	13.9	11.1	11.1	5.6	8.3	2.8

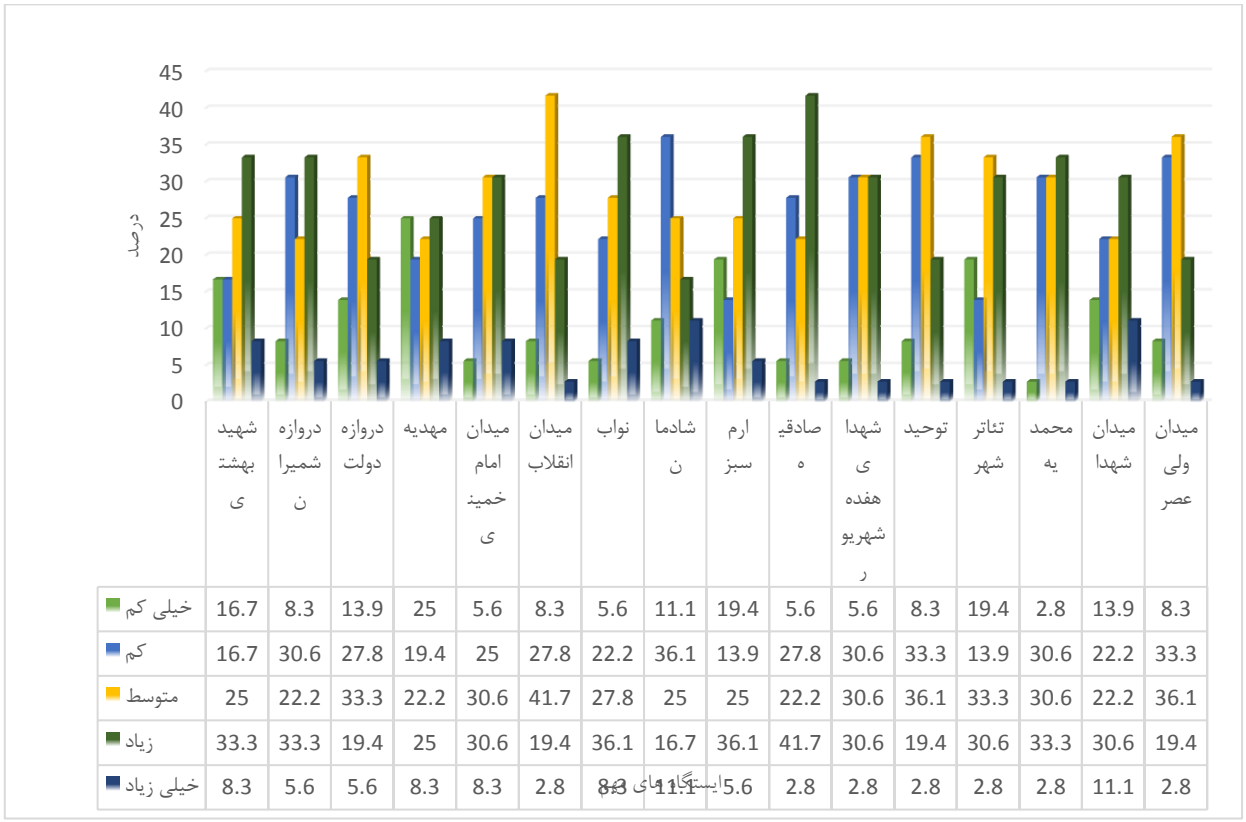
نمودار (۲): نقش تقاطع‌ها و گره‌ها مترو در تخلیه اضطراری جمعیت پرسشنامه کارشناسان

۳-۱-۳. ایستگاه‌های مهم مترو

بر اساس یافته‌های نمودار (۳) نقش ایستگاه‌های مهم در شبکه حمل‌ونقل در تسهیل تخلیه اضطراری جمعیت توسط شبکه مترو؛ ایستگاه شهید بهشتی ۴۱/۶ درصد زیاد و خیلی زیاد، ایستگاه دروازه شمیران ۳۸/۹ درصد کم و خیلی کم، ایستگاه دروازه دولت ۴۱/۷ درصد کم و خیلی کم، ایستگاه مهدیه ۴۴/۴ درصد کم و خیلی کم، ایستگاه میدان امام خمینی (ره) ۳۸/۹ درصد زیاد و خیلی زیاد، ایستگاه میدان انقلاب ۴۱/۷ درصد متوسط، ایستگاه نواب ۴۴/۴ درصد زیاد و خیلی زیاد، ایستگاه شادمان ۴۷/۲ درصد کم و خیلی کم، ایستگاه ارم سبز ۴۱/۷ درصد زیاد و خیلی زیاد، ایستگاه صادقیه ۴۴/۵ درصد زیاد و خیلی زیاد، ایستگاه شهدای هفده شهریور ۳۶/۲ درصد کم و خیلی کم، ایستگاه توحید ۴۱/۶ درصد کم و خیلی کم، ایستگاه تئاتر شهر ۳۳/۳ درصد متوسط، ایستگاه محمدیه ۳۶/۱ درصد زیاد و خیلی زیاد، ایستگاه میدان شهدا ۴۱/۷ درصد زیاد و خیلی زیاد و ایستگاه میدان ولی‌عصر ۴۱/۶ درصد کم و خیلی کم است. مشاهده می‌شود که مهم‌ترین ایستگاه‌های شبکه مترو در تسهیل تخلیه اضطراری جمعیت در مواقع بحرانی از نظر نقش، ایستگاه‌های شهید بهشتی، میدان امام خمینی (ره)، نواب، ارم سبز، صادقیه، محمدیه و میدان شهدا است.

۳-۲. آسیب‌شناسی شهر تهران

به دلیل پیچیدگی‌های محیط شهری، پرداختن به‌تمامی جنبه‌های آسیب‌پذیری شهری امری دشوار است. ازاین‌رو به‌منظور مطالعه آسیب‌پذیری شهرها ضروری است تا ابعاد متنوع سهیم در شکل بخشی به سامانه ایمنی شهر شناخته و بررسی گردند. برای استخراج مؤلفه‌های تأثیرگذار در آسیب‌پذیری شهری در برابر مخاطرات محیطی با توجه به ویژگی‌های نمونه موردی انتخاب‌شده و دسترسی به اطلاعات شهر مورد نظر، از متخصصان خواسته شد تا با توجه به این موارد در نظرخواهی به روش دلفی شرکت کنند. درنهایت در جدول (۴) مؤلفه‌های تأثیرگذار شناسایی شده در آسیب‌پذیری شهری در برابر مخاطرات محیطی با نمونه موردی شهر تهران که در فرایند دلفی نهایی سازی شده‌اند را نشان می‌دهد.



نمودار (۳): نقش ایستگاه‌های مهم مترو در تخلیه اضطراری جمعیت پرسشنامه کارشناسان

جدول (۴): مؤلفه‌های تأثیرگذار در آسیب‌پذیری شهری در برابر مخاطرات محیطی با نمونه موردی شهر تهران به روش دلفی و گروه‌بندیان

تراکم و بافت شهر			زیرساخت‌های حمل‌ونقل و ارتباط				کاربری‌های خطرزا			
دانه‌بندی اراضی	تراکم ساختمانی	تراکم جمعیت	شبکه معابر اصلی	راه‌آهن	فرودگاه	پایانه‌ها	ایستگاه تقلیل فشار گاز	پست‌های برق	جایگاه‌های سوخت	
زیرساخت‌های خدمات اضطراری			زیرساخت‌های عمومی							
مراکز درمانی	مراکز انتظامی - اداری	مراکز فرماندهی	اماکن مذهبی	مراکز آموزش عالی	مراکز اقتصادی و صنعتی	زیرساخت تأمین آب	فضاهای باز شهری	حریم رودخانه و مسیل‌ها	حریم گسل‌ها	

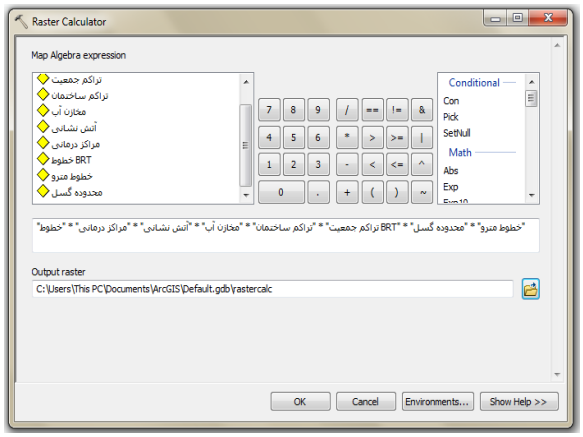
❖ مدل‌سازی آسیب‌پذیری شهر تهران در برابر مخاطرات محیطی در نرم‌افزار GIS

حال با شناسایی مؤلفه‌های تأثیرگذار در آسیب‌پذیری شهر تهران در برابر مخاطرات محیطی و تعیین ضرایب اهمیت آن‌ها، لایه‌های متناسب با هر معیار به شکل استاندارد تبدیل شده است. در واقع این کار برای همگون سازی لایه‌های اطلاعاتی مربوط به شاخص‌ها است. شاخص‌های مورد استفاده در تعیین آسیب‌پذیری شهر تهران در برابر مخاطرات محیطی با توجه به نظر کارشناسی افراد متخصص، دسته‌بندی شده‌اند. بنابراین نقشه‌های معیار بر اساس هر یک از پارامترهای فوق برای محدوده شهر تهران به‌صورت نقشه رستری و بر اساس پارامتر آسیب‌پذیری ناشی از مخاطرات محیطی با استفاده از ابزار Spatial Analyst در محیط ArcGIS با قدرت تفکیک ۲ مترمربع به‌دست آمد و ترسیم شده‌اند ولی به دلیل حجیم بودن از آوردن آن‌ها خودداری شده و تلفیق نقش‌ها یا به عبارتی خروجی نقش آسیب‌پذیر نمایش داده شده است که در شکل (۲) مشاهده می‌فرمایید.

❖ استخراج نقشه آسیب‌پذیری شهر تهران

در این مرحله نوبت به تلفیق نقشه‌های آماده شده می‌رسد. هدف در این مرحله استفاده از مدل‌های مختلف تلفیق نقشه و پیاده‌سازی آن در محیط GIS است. برای تلفیق و همپوشانی لایه‌ها از ابزار Spatial Analyst و تابع Raster Calculator استفاده شده است، نتیجه حاصل از تلفیق نقشه‌ها با هر یک از مدل‌های انتخابی، نقشه رستری خواهد بود که ارزش پیکسل‌ها در آن نمایانگر میزان آسیب‌پذیری شهر است.

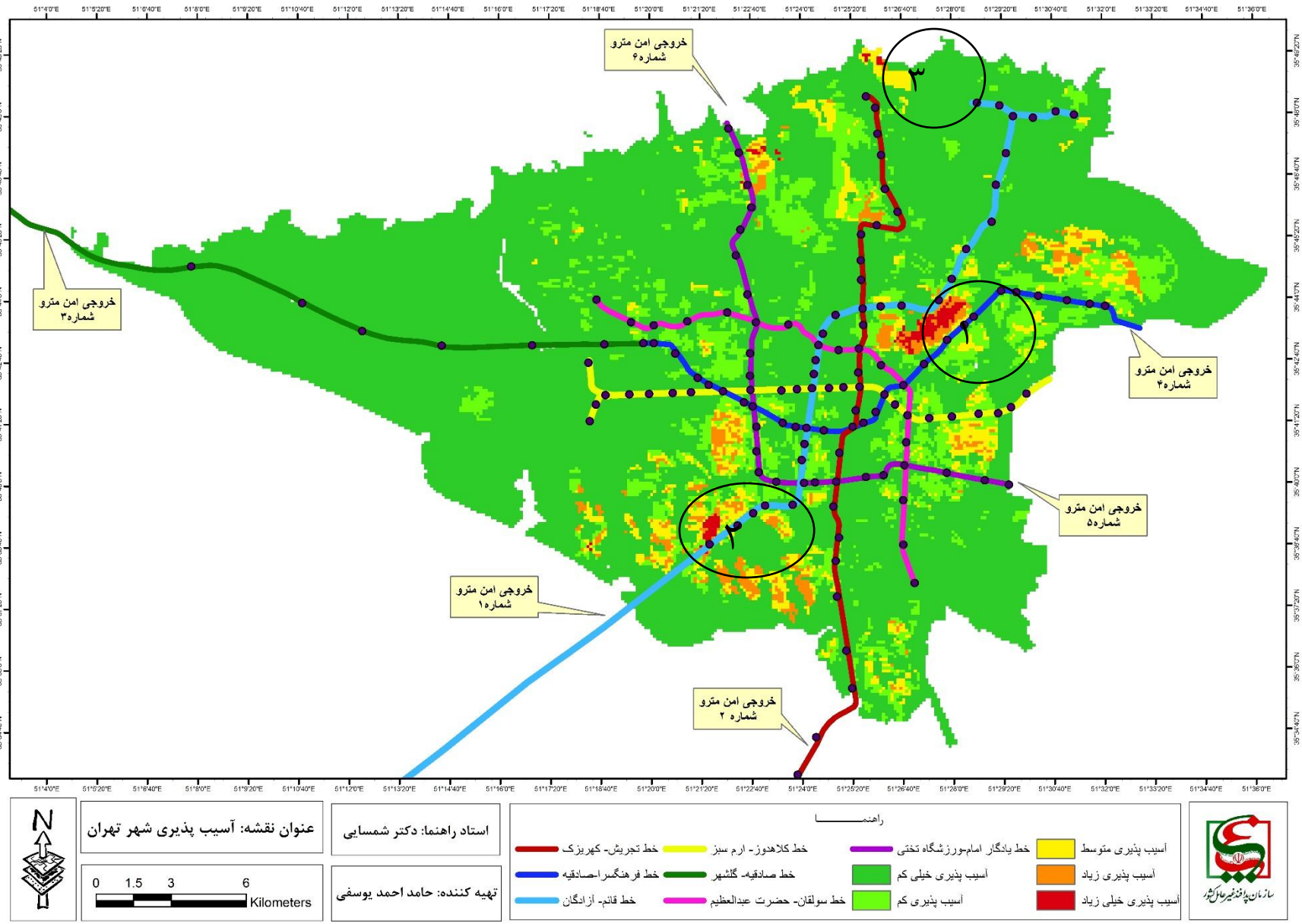
نتیجه نهایی حاصل از همپوشانی لایه‌ها، طبق نقشه شکل (۳) نشان داده شده است.



شکل (۲): نحوی همپوشانی لایه‌ها و تعیین آسیب‌پذیری نهایی

۳-۳. مکان‌های امن (مقاصد سفر)

یکی از مهم‌ترین مبانی در تخلیه اضطراری تعیین مقاصد سفر برای انتقال افراد محدوده شهر است. اما بر طبق اطلاعات کسب شده از مدیریت بحران شهرداری تهران تاکنون مطالعات کاملی در این زمینه انجام نشده است بنابراین بهترین راه برای دستیابی به این مناطق مختلف گردآوری نظرات کارشناسان مرتبط در این زمینه است با توجه به نقشه درجه‌بندی آسیب‌شناسی کلان‌شهر تهران، محدوده‌هایی واقع در چندین منطقه به‌عنوان مناطقی با درجه آسیب‌پذیری بالا در برابر بحران‌های طبیعی و انسانی مشخص شده است و بر این اساس ۶ خروجی امن بر اساس نزدیک‌ترین ایستگاه‌های خطوط مترو به آن‌ها با توجه به پارامترهایی شامل خروجی‌های شهر تهران، دورترین فاصله از محدوده آسیب‌پذیری شهری، مسیر دسترسی مناسب، وجود محدوده برای ساخت تسهیلات اسکان اضطراری و توزیع مناسب برای کلیه شهر در نظر گرفته شده‌اند که در شکل (۳) مشخص شده است.



شکل (۳): نزدیک‌ترین خروجی‌های امن مترو بر اساس آسیب‌پذیر شهر تهران

۳-۴. سناریوهای تخلیه

ابتدا آسیب‌شناسی شهر تهران بر اساس معیارهای مشخص شد و سپس از روی هم قرار گرفتن لایه‌ای نقشه کلی آسیب‌شناسی مشخص گردید با توجه به آسیب‌شناسی شهر تهران مکان‌هایی که داری آسیب‌پذیری بیشتری هستند بارنگ قرمز مشخص شد (مانند شکل ۳) و جمعیت آن‌ها با استفاده از نزدیک‌ترین خطوط مترو به آخرین ایستگاه‌های منتهی به مکان‌های امن خارج از شهر تخلیه می‌شوند. بنابراین بعد از مشخص کردن مکان‌های مبدأ و مقصد برای تخلیه ظرفیت شبکه مترو در طول یک ساعت محاسبه شده است. سناریوهای در نظر گرفته شده عبارتند از:

سناریو ۱: جمعیت منطقه آسیب‌پذیر ۷ و ۸ که در نقشه آسیب‌پذیری شهر تهران مشخص شده است (شکل ۳) با استفاده از خطوط مترو ۲ و ۳ که نزدیک‌ترین خطوط به آن‌ها می‌باشند به مکان‌های امن شماره ۴ و ۱ که از قبل طبق خروجی‌های شهر تهران مشخص شدند منتقل شود و ظرفیت شبکه مترو در طول یک ساعت محاسبه می‌شود. محاسبات مربوط به تحلیل ظرفیت ایستگاه‌های مهم خط ۲ و ۳ در جدول‌های (۵ و ۶) ارائه شده است.

بر اساس اطلاعات ارائه شده در جدول (۵)، ایستگاه بحرانی در این خط، ایستگاه امام خمینی (ره) با ظرفیت ۱۱ قطار در ساعت معرفی شده است. بنابراین، ظرفیت این خط برابر ۱۱ قطار مترو در ساعت می‌باشد.

جدول (۵): محاسبه ظرفیت ایستگاه‌های خط ۲ مترو (یافته‌های محقق)

ایستگاه‌های مهم	زمان توقف (s)	زمان تخلیه (s)	فاصله قطارها طبق جدول زمان‌بندی مترو (s)	ظرفیت ایستگاه (اتوبوس –ساعت)
فرهنگسرا	–	–	–	–
علم و صنعت	۲۵	۱۰	۲۴۰	۱۳
سرسبز	۳۰	۱۰	۲۴۰	۱۳
دروازه شمیران	۴۵	۱۵	۲۴۰	۱۲
امام خمینی (ره)	۵۰	۱۵	۲۴۰	۱۱
نواب صفوی	۳۵	۱۰	۲۴۰	۱۳
شادمان	۴۰	۱۵	۲۴۰	۱۲
صادقیه	–	–	–	–

جدول (۶): محاسبه ظرفیت ایستگاه‌های خط ۳ مترو (یافته‌های محقق)

ایستگاه‌های مهم	زمان توقف(s)	زمان تخلیه(s)	فاصله قطارها طبق جدول زمان‌بندی مترو(s)	ظرفیت ایستگاه (اتوبوس –ساعت)
قائم	–	–	–	–
نوبنیاد	۲۰	۱۰	۴۲۰	۸
شهید بهشتی	۴۰	۱۵	۴۲۰	۷
میدان ولیعصر	۳۵	۱۰	۴۲۰	۷
تئاتر شهر	۵۰	۱۵	۴۲۰	۷
راه‌آهن	۳۰	۱۰	۴۲۰	۷
مهدیه	۳۵	۱۵	۴۲۰	۷
آزادگان	–	–	–	–

بر اساس اطلاعات ارائه شده در جدول (۶)، ایستگاه بحرانی در این خط، با ظرفیت ۷ قطار در ساعت معرفی شده است. بنابراین، ظرفیت این خط برابر ۷ قطار مترو در ساعت می‌باشد.

سناریو ۲: جمعیت منطقه آسیب‌پذیر ۱۷ که در نقشه آسیب‌پذیری شهر تهران (شکل ۳) مشخص شده است با استفاده از خط ۳ مترو که نزدیک‌ترین خطوط به آن‌ها می‌باشند به مکان امن شماره ۴ که از قبل طبق خروجی‌های شهر تهران مشخص شدند منتقل شود و ظرفیت شبکه مترو در طول یک ساعت محاسبه می‌شود. محاسبات مربوط به تحلیل ظرفیت ایستگاه‌های مهم خط ۲ در جدول (۷) ارائه شده است.

بر اساس اطلاعات ارائه شده در جدول (۷)، ایستگاه بحرانی در این خط، با ظرفیت ۷ قطار در ساعت معرفی شده است. بنابراین، ظرفیت این خط برابر ۷ قطار مترو در ساعت می‌باشد.

سناریوی ۳: جمعیت منطقه آسیب‌پذیر ۱ که در نقشه آسیب‌پذیری شهر تهران مشخص شده است (شکل ۳) با استفاده از خط مترو ۱ که نزدیک‌ترین خطوط به آن‌ها می‌باشند به مکان امن شماره ۳ که از قبل طبق خروجی‌های شهر تهران مشخص شدند منتقل شود و ظرفیت شبکه مترو در طول یک ساعت محاسبه می‌شود. محاسبات مربوط به تحلیل ظرفیت ایستگاه‌های مهم خط ۱ در جدول (۸) ارائه شده است.

جدول (۷): محاسبه ظرفیت ایستگاه‌های خط ۳ مترو (یافته‌های محقق)

ایستگاه‌های مهم	زمان توقف (s)	زمان تخلیه (s)	فاصله قطارها طبق جدول زمان‌بندی مترو (s)	ظرفیت ایستگاه (اتوبوس- ساعت)
تجریش	-	-	-	-
مصلی امام خمینی (ره)	۲۵	۱۰	۱۸۰	۱۶
شهید بهشتی	۴۰	۱۵	۱۸۰	۱۵
دروازه دولت	۴۵	۱۵	۱۸۰	۱۵
امام خمینی (ره)	۵۰	۱۵	۱۸۰	۱۴
پانزده خرداد	۳۵	۱۰	۱۸۰	۱۶
شهرری	۲۵	۱۰	۱۸۰	۱۶
کهریزک	-	-	-	-

جدول (۸): محاسبه ظرفیت ایستگاه‌های خط ۱ مترو (یافته‌های محقق

ایستگاه‌های مهم	زمان توقف(s)	زمان تخلیه(s)	فاصله قطارها طبق جدول زمان‌بندی مترو(s)	ظرفیت ایستگاه (اتوبوس – ساعت)
قائم	-	-	-	-
نوبنیاد	۲۰	۱۰	۴۲۰	۸
شهید بهشتی	۴۰	۱۵	۴۲۰	۷
میدان ولیعصر	۳۵	۱۰	۴۲۰	۷
تئاتر شهر	۵۰	۱۵	۴۲۰	۷
راه‌آهن	۳۰	۱۰	۴۲۰	۷
مهدیه	۳۵	۱۵	۴۲۰	۷
آزادگان	-	-	-	-

بر اساس اطلاعات ارائه شده در جدول (۸)، ایستگاه بحرانی در این خط، ایستگاه امام خمینی (ره) با ظرفیت ۱۴ قطار در ساعت معرفی شده است. بنابراین، ظرفیت این خط برابر ۱۴ قطار مترو در ساعت است.

۴. خلاصه بحث و نتایج

ظرفیت شبکه مترو که شامل خطوط ۲،۱ و۳ برای تخلیه جمعیت در نقاط آسیب‌پذیر شهر تهران واقع شده‌اند محاسبه و ظرفیت‌های آن‌ها بر اساس روش تئوری طبق جدول (۹) محاسبه شد. خط ۱ با ظرفیت ۲۴۳۶۰ نفر در ساعت بیشترین حجم تخلیه را نسبت به خطوط دیگر داشته است. همچنین با توجه به میزان تقاضای جمعیت برای تخلیه با استفاده از خطوط مترو، طبق وضع موجود که بخش مطالعه موردی بحث شده است، گویای این است که خطوط مترو ظرفیت لازم را برای تخلیه جمعیت متقاضی ندارند و نیازمند بررسی و تمهیدات و ارائه راهکاری در جهت تسریع و افزایش ظرفیت جابه‌جایی مسافران می‌باشد و باید به طریقی ظرفیت آن‌ها افزایش یابد چرا که با وضعیت فعلی هر چند اعزام‌ها در ساعت مطابق برنامه زمان‌بندی صورت گیرد ولی به دلیل وجود ایستگاه‌های زیر ظرفیت، انسداد در مسیر رخ داده و باعث می‌شود در عمل پس از طی یک زمان انتظار به نسبت طولانی، چند قطار هم‌زمان به ایستگاه برسند و از طرفی تعداد کل لوکوموتیوی‌های قطار خطوط مترو ۶۶ لوکوموتیوی‌های می‌باشد که این به معنای تعداد به نسبت کم قطار برای هر خط می‌باشد که این خود نشان دهنده ضعف و کمبود تعداد قطارها برای افزایش تخلیه جمعیت می‌باشد.

۵. ارائه پیشنهادات مدیریت بحران برای تسهیل تخلیه اضطراری جمعیت

تجهیز خطوط، ایستگاه‌ها و افزایش ظرفیت و همچنین مدیریت ظرفیت و عملکرد ایستگاه‌هایی در مواقع بحرانی باعث تسریع تخلیه و کاهش آسیب‌پذیری می‌باشد. نهادهای حکومتی باید نسبت به تجهیز خطوط و امکانات شبکه حمل ونقل در تهران تمامی تلاش خود را به‌کار گیرند تا ضمن فرهنگ‌سازی استفاده از شبکه حمل ونقل عمومی، به پایداری و کارآمد بودن شبکه حمل‌ونقل عمومی در تهران کمک کنند. با تغییر پارامترهای مؤثر در ظرفیت ایستگاه، می‌توان راهکارهایی را برای افزایش ظرفیت خط ارائه نمود. در ادامه به تشریح این راهکارهای پرداخت شده است.

جدول (۹): ظرفیت‌های سامانه مترو در تخلیه جمعیت در بازه یک ساعت

سناریوها	مبدأ (مناطق آسیب‌پذیر)	مقصد (مکان‌های امن)	خطوط مترو	ظرفیت خط (قطار / ساعت)	ظرفیت قطار (مسافر / واگن)	ظرفیت سامانه مترو (مسافر / ساعت)
سناریو ۱	منطقه ۷ و ۸	مکان‌های امن شماره ۴ و ۱	خط ۲	۱۱	۱۷۴۳	۱۹۱۴۰
			خط ۳	۷	۱۷۴۳	۱۲۱۸۰
سناریو ۲	منطقه ۱۷	مکان امن شماره ۴	خط ۳	۷	۱۷۴۳	۱۲۱۸۰
سناریو ۳	منطقه ۱	مکان امن شماره ۳	خط ۱	۱۴	۱۷۴۳	۲۴۳۶۰

۵-۱. کاهش زمان توقف

زمان توقف یکی از پارامترهای بسیار مهم در زمان تخلیه می‌باشد، راهکارهای کاهش زمان توقف عبارتند از:

❖ هم‌سطح سازی ورودی درب‌ها با سطح سکو

یکی از مشکلات در خروجی ایستگاه‌ها شکاف بین سکو و درب مترو هست، که گاهاً ایمنی مسافر هنگام سوار و پیاده شدن به خطر می‌اندازد و همچنین برای ورود و خروج افراد معلول مشکل‌ساز است. بنابراین طراحی رمپ در درب‌های می‌تواند این خلأ را پوشش بدهد و باعث تسهیل تخلیه در سوار شدن و پیاده شدن افراد با سرعت بشود (شکل ۴). این باعث می‌شود که مردم سریع‌تر تخلیه بشوند و افراد معلول هم مشکلی در تخلیه نداشته باشند.

شکل (۴): رمپ در درب‌های قطار جهت تسهیل تخلیه
(موتور جستجوی گوگل)

❖ افزایش عرض درب‌ها

یکی از عوامل کند شدن سرعت مسافران در تخلیه کوچک بودن عرض درب‌های قطار است. در کشورهای دیگر مثل ژاپن عرض درب‌ها در قطارهای سیر و سفر به اندازه نصف واگن است و این باعث عملکرد سریع جمعیت می‌گردد.

❖ ایجاد مسیرهای خروجی و ورودی ایستگاه‌ها

در حوادثی چون آتش‌سوزی، مسافران باید به راحتی و به سرعت تخلیه شوند، بنابراین برای اطمینان از تخلیه و جلوگیری از سرگردانی مسافران باید از مسیرهای تخلیه ای متعدد در هنگام تخلیه، ارائه شود.

❖ طراحی گیت زمینی کف‌خواب

گیت‌های فوق ایده بسیار عالی در جهت جلوگیری ازدحام جمعیت در پشت گیت‌ها در زمان اضطراری که نیاز به تخلیه سریع جمعیت است، می‌باشد زیرا طراحی آن به‌گونه‌ای است که با زدن یک دکمه به کف زمین می‌خوابد و مسیر برای تخلیه هموار می‌کند (مطابق شکل ۵).

الزامات طراحی:

✓ سامانه محرک به‌صورت هیدرولیک با دو یا سه جک مربوطه جهت کارکرد مکرر.

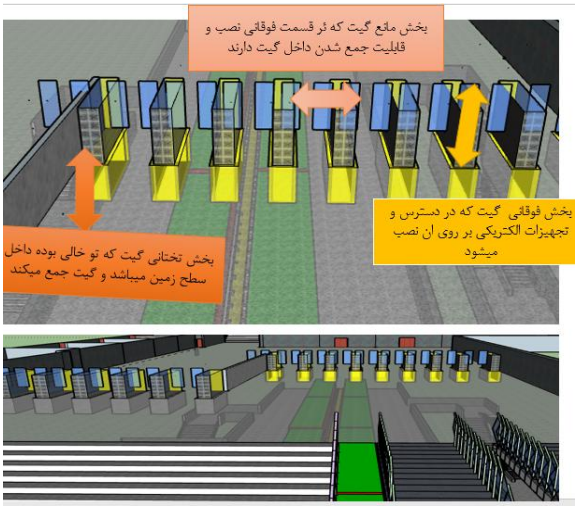
✓ مجهز به سامانه خلاص کن دستی در هنگام قطع برق جهت باز کردن مسیر.

✓ مجهز به شاسی پوش با توان سه وضعیتی (استارت بالا - استوپ - استارت پایین).

✓ دارای قابلیت تجهیزات قابل نصب بر روی گیت زمینی مثل چراغ راهنمایی، ریموت کنترل از راه دور، آلارم هشدار دهنده باشد.

❖ تعیین نقاط جمع‌آوری مردم

ایستگاه‌ها به‌عنوان نقاط جمع‌آوری مردم در نظر گرفته شود که سناریوها شامل حجم بیشتری از تعداد مسافرین در حالت معمولی شوند و قطارهای مترو تنها در این ایستگاه‌ها توقف داشته باشند و مردم سوار کنند که این باعث کاهش زمان توقف می‌شود.



شکل (۵): طراحی گیت زمینی کف خواب [۹]

۵-۲. افزایش ظرفیت جابه‌جایی مردم در شبکه ارتباطی اتوبوس‌های تندرو

❖ افزایش ظرفیت ایستگاه‌ها

❖ وجود شبکه‌های حمل‌ونقلی متصل کننده ارتباطی دور شهر

شبکه جاده‌ای به دور شهر احداث شود که دسترسی‌های که از درون شهر عبور می‌نمایند، به یکدیگر متصل نموده تا به سریع‌ترین نحو امکان خروج از شهر را فراهم نمایند. مانند شبکه حلقوی خطوط مترو شهر روسیه که همه خطوط را به هم متصل می‌کند.

❖ کاهش تداخلات ترافیکی در تقاطعات

تداخل در تقاطعات مانند نقاط ادغام یا نقاط گذر دو جریان، موجب توقف یا کاهش سرعت هر دو جریان و بنابراین کاهش ظرفیت مسیرهای تخلیه می‌شود. کمینه کردن یا کاهش تعداد دفعات توقف کامل خودروها در تقاطعات بحرانی در طول کریدور، ظرفیت مسیرهای تخلیه را افزایش خواهد داد. کمینه کردن نقاط تداخل ترافیکی با کانالیزه کردن جریان خودروها به طرز مؤثری انجام خواهد شد [۱۰].

❖ استفاده از روش خطوط با جهت معکوس

روش خطوط با جهت معکوس عبارت است از معکوس نمودن جهت تردد یک یا چند خط ورودی با هدف ایجاد ظرفیت بیشتر در خطوط با جهت خروجی. تا در حالت بحران شهری بتوان با انجام اینگونه سیاست زمان تخلیه کامل شهر و زمان سفر کل را روی شبکه کاهش داد.

❖ سامانه‌های حمل‌ونقل هوشمند برای تخلیه اضطراری

دستیابی به اطلاعات ترافیکی دقیق و زمان دار در طول تخلیه برای فرآیند تخلیه بحرانی است. اطلاعاتی درباره نرخ جریان ترافیک و سرعت‌ها در طول محل‌های بسته شدن خطوط، شرایط آب و هوایی، زمان سفر، تصادفات و چگونگی در دسترس بودن مسیرهای جایگزین برای هدایت صحیح سفر تخلیه شوندگان ضروری است. یکی از راه‌حل‌های غلبه بر مشکل فوق استفاده از سامانه‌های حمل‌ونقل هوشمند است.

❖ استفاده از خطوط ریلی

دستگاه‌های ریلی به ویژه مترو باید با حداکثر ظرفیت ممکن برای جابه‌جا کردن مردم از منطقه مورد تخلیه به‌کار گرفته شوند. تأمین سرویس مترو در ایستگاه‌های پرتردد و به ویژه پایانه‌ها بسیار مفید خواهد بود. اگر مترو به‌طور کامل یا جزئی غیر قابل استفاده باشد، استفاده از دستگاه‌های جایگزین در قالب راهبردهای موجود ممکن خواهد بود.

❖ استفاده از اتوبوس‌های مخصوص بین ایستگاه‌های مهم ریلی

هنگامی که با قطع برق عمده در یک خط یا بخشی از خطوط ریلی مواجه هستید، مسافران با استفاده از سرویس‌های اتوبوس‌های مخصوص شامل اتوبوس‌های محلی، اتوبوس‌های مدارس، اتوبوس‌های کرایه‌ای و اتوبوس‌های تغذیه کننده سامانه مترو به نزدیک ترین ایستگاه ریلی بر روی خطی که با قطع برق مواجه نیست، منتقل می‌شوند.

❖ تعیین راهبردهای مربوط به زمانی که خطوط ریلی مسدود می‌شوند

بستن کامل خطوط ریلی یقیناً یک راهبرد مدیریت حمل ونقل نمی‌تواند باشد اما سناریویی است که برای راهبردهای مدیریت حمل‌ونقل هنگام تخلیه باید پیش‌بینی گردد. اگر کل شبکه ریلی به هر دلیل مسدود شود و یا از سرویس خارج گردد، محدوده کاملی از راهبردهای عرضه و تقاضا باید مدنظر قرار گیرند. استفاده از اتوبوس‌ها به‌عنوان جایگزین دستگاه‌های ریلی در خطوط موازی با جهت حرکت این دستگاه ها باید مدنظر قرار گیرد.

❖ مسیرهای تنظیم شده زمان بحران برای استفاده سامانه حمل‌ونقل همگانی

انتخاب و ارزیابی مسیرهای موازی با مسیرهای اصلی که با زمان‌بندی چراغ‌های راهنمایی و استفاده از حمل‌ونقل همگانی

جمعیت را به طرف خارج منطقه هدایت کنند، بسیار مفید و لازم است. لازم است تمهیدات خاصی شامل تعریض مسیر، افزایش ایمنی عبور، طرح خط‌کشی و علائم مناسب برای این مسیرهای پیش‌بینی شود تا در صورت لزوم به خوبی بتوانند از حجم تقاضای مسیر اصلی میزبانی نمایند.

- ❖ همکاری همه نهادها و سازمان‌ها
- ❖ تهیه نقشه نقاط پر خطر
- ❖ مدیریت منسجم و واحد
- ❖ آموزش نیروها و شهروندان
- ❖ اطلاع‌رسانی
- ❖ ایجاد بانک اطلاعاتی

۶. نتیجه‌گیری

یکی از اهداف مهم پدافند غیرعامل در زمان وقوع بحران‌های شهری، تخلیه جمعیت و آرام‌سازی جریان ترافیک به‌منظور دور نمودن مردم از منبع خطر، امدادرسانی به موقع و اعمال صحیح مدیریت بحران است. بنابراین استفاده از سامانه حمل‌ونقل عمومی در مناطق شهری هنگام تخلیه اضطراری دارایی مهمی به شمار می‌روند و نقش مهمی در عملیات تخلیه بازی می‌کنند. یکی از سامانه‌های حمل‌ونقل عمومی در تهران سامانه مترو می‌باشد و می‌تواند تأثیر قابل توجهی در کاهش تلفات انسانی و کاهش زمان تخلیه در تخلیه جابه‌جایی مردم و افراد آسیب دیده از یک طرف و انتقال امدادرسانان به محل حادثه از طرف دیگر داشته باشد. بر اساس نتایج، ظرفیت شبکه مترو که شامل خطوط ۱،۲ و۳ برای تخلیه جمعیت در نقاط آسیب‌پذیر شهر تهران واقع شده‌اند محاسبه و ظرفیت‌های آن ها بر اساس روش تئوری طبق جدول (۹) محاسبه شد. خط ۱ با ظرفیت ۲۴۳۶۰ نفر در ساعت بیشترین حجم تخلیه را نسبت به خطوط دیگر داشته است. همچنین با توجه به میزان تقاضای جمعیت برای تخلیه با استفاده از خطوط مترو، طبق وضع موجود که بخش مطالعه موردی بحث شده است، گویای این است که خطوط مترو ظرفیت لازم را برای تخلیه جمعیت متقاضی ندارند و نیازمند بررسی و تمهیدات و ارائه راهکاری در جهت تسریع و افزایش ظرفیت جابه جایی مسافران می باشد و باید به طریقی ظرفیت آن ها افزایش یابد چرا که با وضعیت فعلی هر چند اعزام‌ها در ساعت مطابق برنامه زمان‌بندی صورت گیرد ولی به دلیل وجود ایستگاه‌های زیر ظرفیت، انسداد در مسیر رخ داده و باعث می‌شود در عمل پس از طی یک‌زمان انتظار به نسبت طولانی، چند قطار هم‌زمان به ایستگاه برسند و از طرفی تعداد کل لوکوموتیوی‌های قطار خطوط مترو ۶۶ لوکوموتیوی‌های می‌باشد که این به معنای تعداد به نسبت کم قطار برای هر خط می‌باشد که این خود نشان دهنده ضعف و کمبود تعداد قطارها برای افزایش تخلیه جمعیت می‌باشد.

۷. منابع

1. H. Amini, "An Overview of the Evelopment of Safe Evacuation Spaces in Tehran on Seismic Risk Analysis," The Second Event of Natural Disaster, 1386. (In Persian)
2. L. D. VanLandegen and X. Chen, "Microsimulation of Large-scale Evacuations Utilizing Metrorail Transit," Applied Geography, vol. 32, no. 2, pp. 787-797, 2012.
3. H. Abdelgawad and B. Abdulhai, "Large-scale Evacuation Using Subway and Bustransit," Approach and Application in City of Toronto, J. of Transportation Engineering, vol. 138, no. 10, pp. 1215-1232, 2011.
4. Mr. Moradi Solooshi, "Using GIS Base Software to Determine Capacity in Iran Rail Network," Payam Noor University of Shemiranat Technical University, 2015. (In Persian)
5. KFH, Group "Transit Capacity and Quality of Service Manual," 2013.
6. Portal Railway Company of Tehran and Suburbs (In Persian).
7. G. Sigurd, "Urban Transportation System: Choices for Communities," 2003.
8. Technical Vice President of Comprehensive Transport and Traffic Studies, 2015. (In Persian)
9. 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)
10. Regional Emergency Coordination Plan, "Regional Emergency Evacuation Transportation Coordination Annex," The Metropolitan Washington Council Governments, 2004.

Identifying the role and capacity of the metro system in emergency evacuation of Tehran and providing crisis management solutions

H. Ahmadyousefi, F. Shamsayi Zafarghandi* ،S. J. Hashemi Fesharaki

Abstract

Some of the main goals of passive defense in times of urban crises are timely relief and applying proper crisis management practices such as evacuating the city and removing traffic jams to keep people away from danger. Therefore, public transport systems in urban areas during emergency evacuation are important assets and play important roles in the evacuation operations. One of the public transportation systems in Tehran is the urban rail transport system which has been developed in recent years and its variety and flexibility effectively influences rapid emergency evacuation. Due to the importance of the matter, the aim of this research is to investigate the role and capacity of the metro system in emergency evacuation of Tehran city and to provide solutions for crisis management in emergency evacuation. Hence, previous studies on the role and analysis of the capacity of the metro lines are inspected and then the role and capacity of the metro systems in the discharge of Tehran city population are analyzed according to scenarios of the city pathology and specification of departures and destinations. Finally, crisis management solutions are provided to facilitate and accelerate the emergency evacuation of the population in Tehran using the subway system.

Key Words: *Emergency Evacuation, Solutions to Facilitate Evacuation, Metro Network Capacity, Urban Management - Urban Crisis*

*Imam Hossein Comprehensive University (shamszafar@yahoo.com)- Writer-in-Charge