Journal of Health

Vol. 13, No. 1, Spring 2022, Pages 110-122

Identifying and Prioritizing the Risks of Urban Rail Transportation Networks with Emphasis on Resilience (Case Study: Tehran Metro)

Aghdasi A[1], Abbaspour M*[2], Ahmadi A[3]

1. Research-oriented PhD student in Environmental Management, Faculty of Natural Resources and Environment, Islamic Azad University of Science and Research Branch, Tehran, Iran.
2. Professor, Faculty of Mechanics, Sharif University of Technology and Member of the Board of Trustees of the Energy, Water and Environment Research Institute of Sharif University of Technology.
3. Assistant Professor of Environmental Management (HSE), Faculty of Natural Resources and Environment, Islamic Azad University of Science and Research Branch, Tehran, Iran.
**** Corresponding author.*** Tel/Fax: +982166165528, E-mail: abbpor@sharif.edu

Received: Jan 2, 2021 Accepted: Feb 3, 2021

ABSTRACT

Background & objectives: The urban rail transport network is always at risk due to its special conditions. Many cases indicate the existence of threatening and risk factors for human societies in urban rail transportation systems. Therefore, in this study, with the aim of identifying and prioritizing the risks of urban rail transportation networks in order to increase resilience is on the agenda.
Methods: The research method was descriptive-analytical and applied. The statistical population of this article included Tehran metro employees at Imam Khomeini station. In this article, the sample size has been selected systematically and purposefully, which included 24 employees and managers of Imam Khomeini station in Tehran. To classify the hazards of Tehran's urban rail transportation system, first the hazards were identified and the cause and consequences were determined and then the hazards were prioritized using the analytic hierarchy process (AHP) method.
Results: The results of the study showed that there are 22 hazards in Tehran's urban transportation system. The results of applying AHP in prioritizing the identified hazards indicated that the risk of floods, leaks and water accumulation, earthquakes, sabotage and terrorist activities, were among the hazards with important priorities in the rail transport network of Tehran, respectively. Also, heat in electric stations, sewage system of station and the presence of unpleasant chemical gases were among the items that had the least risks in the study area.
Conclusion: The results showed that Tehran urban transportation system in the study station had potential hazards. Therefore, based on the identified risks, measures such as monitoring the behavior of tunnel and railway lines and data mining information, using firefighting equipment, completing the rapid alert system (in interaction with the Urban Crisis Organization) and developing emergency resilience instructions could be performed.
Keywords: Resilience; Public Transportation System; Urban Metro; Hazards; Tehran

شناسایی و اولویت‌بندی مخاطرات شبکه‌های حمل و نقل ریلی شهری با تاکید بر تاب‌آوری (نمونه موردی: مترو تهران)

آسیه اقدسی[۱]، مجید عباسپور[۲]، آیدا احمدی[۳]*

۱. دانشجوی دکتری پژوهش‌محور مدیریت محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران، ایران
۲. استاد دانشکده مکانیک، دانشگاه صنعتی شریف و عضو هیات امنا پژوهشکده انرژی، آب و محیط زیست دانشگاه صنعتی شریف
۳. استادیار گروه مدیریت محیط زیست (HSE)، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران، ایران
* نویسنده مسئول. تلفکس: ۶۶۱۶۵۵۲۸ ۰۲۱ ایمیل: abbpor@sharif.edu

چکیده

زمینه و هدف: شبکه حمل و نقل ریلی شهری به دلیل شرایط خاص خود همواره در معرض ریسک قرار دارد. موارد زیادی نشانگر وجود عوامل تهدیدکننده و خطرزا برای جوامع انسانی در سیستم‌های حمل و نقل ریلی شهری می‌باشد. لذا این پژوهش با هدف شناسایی و اولویت‌بندی مخاطرات شبکه های حمل و نقل ریلی شهری در راستای افزایش تاب‌آوری انجام گرفت.

روش کار: روش تحقیق به صورت توصیفی- تحلیلی و از نوع کاربردی بود. جامعه آماری این مقاله شامل کارکنان مترو تهران در ایستگاه امام خمینی بود. در این مقاله حجم نمونه به صورت سیستماتیک و هدفمند انتخاب شد که شامل ۲٤ نفر از کارکنان و مدیران ایستگاه امام خمینی تهران بود. برای طبقه بندی مخاطرات سیستم حمل و نقل ریلی شهری تهران ابتدا مخاطرات شناسایی و علت و پیامدهای تعیین و سپس اولویت بندی مخاطرات با استفاده از روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) انجام گرفت.

یافته‌ها: نتایج مطالعه مشخص نمود که ۲۲ مخاطره در سیستم حمل ونقل شهری تهران وجود دارد. نتایج حاصل از بکارگیری فرایند تحلیل سلسه مراتبی در اولویت بندی مخاطرات شناسائی شده نشان داد که خطر سیل، نشتی و آبگرفتگی، زلزله، فعالیت‌های خرابکارانه و تروریستی به ترتیب از جمله مخاطرات با اولویت‌های مهم در شبکه حمل و نقل ریلی شهر تهران بودند. هم‌چنین حرارت در پست‌های برق، سیستم فاضلاب ایستگاه و وجود گازهای شیمیایی و نامطبوع از جمله مواردی بود که دارای کمترین مخاطرات در محدوده مطالعاتی بودند.

نتیجه‌گیری: نتایج مشخص نمود که سیستم حمل و نقل شهری تهران در ایستگاه مورد مطالعه دارای خطرات بالقوه بود. لذا بر اساس خطرهای شناسایی شده می‌توان اقداماتی همچون پایش وضعیت رفتار سازه تونل و خطوط ریلی و داده کاوی اطلاعات، استفاده از تجهیزات اطفاءِ حریق، تکمیل سامانه هشدار سریع (در تعامل با سازمان بحران شهری) و تدوین دستورالعمل تاب آوری در برابر شرایط اضطراری را انجام داد.

واژه‌های کلیدی: تاب‌آوری، سیستم حمل و نقل عمومی، مترو شهری، مخاطرات، شهر تهران

دریافت: ۱۳۹۹/۱۰/۱۳ **پذیرش:** ۱۳۹۹/۱۱/۱۵

مقدمه

شهر به عنوان بستر زیست انسان، نیازمند تأمین استانداردهایی است که در یک نگاه می‌توان آن را استانداردها و سیاست‌های حمل و نقل (عمومی- زیرزمینی) نامید. در حالی که اندازه شهرهای بزرگ در این شرایط چگونه بدون برنامه رشد کرده و

تاب‌آوری ساکنان آن‌ها تغییر کرده و در آینده تحت تأثیر قرار خواهد گرفت (۱) با نگرش انسان‌محور به دگرگونی‌ها و تکامل شهرها منجر به گسترش نگرانی‌های زیست‌محیطی، به‌ویژه در حوزه‌های طراحی و برنامه‌ریزی حمل و نقل شهری شده است (۲)، به‌گونه‌ای که ساخت‌وساز و تجهیرات و امکانات حمل و نقل شهری دچار تغییراتی می‌شود (۳). بر اساس موارد ذکرشده می‌توان گفت که شهرها با نابرابری‌های اجتماعی، جرایم شهری، فقر شهری و تراکم ترافیک رو به رو هستند؛ به طوری‌که در بیشتر نقاط جهان، شهرها با سرعتی بی‌سابقه رو به افزایش هستند و چالش‌های عمده‌ای را برای مقامات دولتی و ملی مطرح می‌کنند. لذا دولت‌ها نه تنها باید با جمعیت رو به رشد و کمبود زیرساخت‌های شهری برای انطباق با رشد سازگاری داشته باشند، بلکه بایستی خود را برای مواجهه با بحران‌ها و مخاطرات آماده نمایند.

یکی از رویکردهای مقابله با بحران‌ها و مخاطرات شهری تاب‌آوری است. تاب‌آوری را قابلیت توانایی اجزا یک سیستم در مواجه با شرایط و فشار نامساعد خارج از سیستم به‌منظور بازگشت به حالت اولیه تعریف نمود (٤). مفهوم تاب‌آوری یکی از مفاهیم اصلی مدیریت مخاطرات می‌باشد که در برابر رویکردهای مرتبط با مقابله با بحران و کاهش آسیب‌پذیری مطرح شده است و همچنین دارای چارچوب‌های متفاوت مفهومی و مدل‌های سنجش گوناگون با اهداف متفاوت می‌باشد (۵) که می‌توان گفت مفهوم تاب‌آوری به عنوان «یک روش جدید تفکر» بوجود آمده است (۶). این رویکرد، نیاز به انعطاف‌پذیری را از یک‌سو و نیاز به استحکام را از سوی دیگر به‌عنوان یک فرمول مهم برای مدیریت در هنگام و پس از مخاطرات طبیعی و تغییرات اقلیمی، مطرح می‌نماید (۷). در همین راستا، تاب‌آوری شهری، اصطلاحی است که برای اندازه‌گیری توانایی یک شهر در بهبود از بلایا به کار می‌رود و در حقیقت شهرهای تاب‌آور از پیش برای پیش‌بینی، پشت سر گذاشتن و بهبود تأثیرات خطرات طبیعی یا فنی طراحی‌شده‌اند و سیستم‌های فیزیکی و اجتماعی در چنین شهری توان بقا و عملکرد در شرایط فشار و بحرانی را دارند (۸).

رویکرد تاب‌آوری شهری در بررسی‌ها می‌تواند بر اساس چهار بعد کالبدی- محیطی، اقتصادی، اجتماعی و سازمانی- نهادی قابلیت ارزیابی داشته باشد. تاب‌آوری کالبدی- محیطی در شهر را می‌توان در راستای مؤلفه‌های زیرساختی شهر و زیست‌محیطی آن تعریف نمود که بر اساس آن در تاب‌آوری زیرساختی شهر، مسئله اصلی این است که چگونگی پاسخگویی و عکس‌العمل زیرساخت‌ها و همچنین سیستم‌های وابسته به آن‌ها و نحوه هدایت جریان منابع به داخل و خارج از شبکه‌های زیرساختی در زمان بحران و پس از آن مشخص شود (۹). همچنین ارزیابی تاب‌آوری زیست‌محیطی بر اساس حفاظت، مرمت و تقویت اکوسیستم‌ها، حوزه‌های آبریز، دامنه‌های ناپایدار بهبود مدیریت ضایعات و کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای صورت پذیرد (۱۰). در تاب‌آوری اجتماعی شهر می‌توان با ارتقای سطح زندگی از طریق افزایش درآمد، تحصیلات، مراقبت‌های پزشکی، سلامت، تأمین سکونت، اشتغال، حقوق قانونی، ایمنی در برابر جرم و جنایت، وجود اخلاقیات در جامعه محلی، تراکم جمعیتی مطلوب و مقاومت بناها در برابر مخاطرات، سوانح و بیماری‌ها، کیفیت زندگی یا قابلیت زندگی در جوامع محلی را افزایش دهد (۱۱). همچنین، در تاب‌آوری اقتصادی شهر نه تنها «پاسخ به ضربه» (مانند فاجعه یا فساد اقتصادی) می‌باشد، بلکه تاب‌آوری را می‌توان مربوط به ظرفیت جامعه و ساختار اقتصاد آن تعریف کرد که انعطاف‌پذیر، سازگار و قادر به تنظیم در مواجهه با شرایط بحرانی می‌باشد (۱۲). تاب‌آوری نهادی- سازمانی شهر نیز مفاهیمی چون آگاهی از محیط سازمان، سطح آمادگی، پشتیبانی اختلالات، ظرفیت استقرار منابع، درجه انطباق و انعطاف‌پذیری، ظرفیت برای بازیابی و غیره مطرح می‌باشد (۱۳).

ارزیابی‌های موجود از سیستم‌های حمل و نقل عمومی نشان داده است که تأثیرات آن‌ها بر شهرها از دیگر وسایل حمل و نقل متفاوت است بالاخص سیستم‌های ریلی به کاهش آلودگی هوا در شهرها نیز کمک می‌کند (۱٤) و از سوی دیگر، سیستم حمل و نقل ریلی نسبت به وسایل نقلیه دیگر تأثیر متفاوتی بر انتخاب محل یا موقعیت مشاغل دارد. ولیکن استقرار سیستم‌های حمل و نقل عمومی شهری همچون مترو سبب بروز بحران‌ها و حوادثی چه به صورت بالفعل و چه به صورت بالقوه می‌شوند که بر همین اساس می‌توان گفت میزان تاب‌آوری آن‌ها با توجه به نقشی که در شهرها دارا می‌باشند، حائز اهمیت است.

اسدی عزیزآبادی و همکاران در مقاله ای به بررسی اولویت‌بخشی ابعاد تاب‌آوری در بافت فرسوده شهر کرج با مدل تحلیل سلسله مراتبی (AHP) پرداختند. نامجویان و همکاران در مقاله‌ای با بررسی و تبیین دیدگاه‌ها و مدل‌های تاب‌آوری شهر، چارچوب مناسبی را برای ارائه مدل تاب‌آوری شهر تدوین نمودند (۱۵). همچنین در زمینه بررسی تاب‌آوری شهر تهران نیز ساسان پور و همکاران در مقاله‌ای به ارزیابی ابعاد تاب‌آوری شهری در برابر مخاطرات طبیعی در منطقه ۱۲ شهر تهران که یکی از مناطق با بافت فرسوده در شهر تهران می‌باشد، پرداختند (۱۶). فیروزه جاه نیز در مقاله‌ای با عنوان «تحلیل فضایی میزان تاب‌آوری مناطق شهر بابل در برابر مخاطرات محیطی»، به بیان این موضوع که تاب‌آوری راهی مهم برای تقویت جوامع و شهر با استفاده از ظرفیت‌های آن‌هاست پرداخته و در این مقاله به بررسی میزان تاب‌آوری مناطق شهر در برابر مخاطرات محیطی پرداخته است و نتایج داده‌های تحقیق نشان می‌دهد که در بین ابعاد مختلف تاب‌آوری شهری در مناطق دوازده‌گانه شهر بابل، ابعاد کالبدی و سپس اجتماعی وضعیت مناسب‌تری را دارند (۱۷). کاتر[1] و همکاران در بررسی تاب‌آوری شهری مدل شاخص خط مبنا را معرفی کردند، این مدل مجموعه‌ای از شاخص‌ها را برای اندازه‌گیری شرایط موجود مؤثر بر تاب‌آوری سوانح در جوامع ارائه می‌کند و تعیین می‌کند که چه مداخلات اجتماعی، اقتصادی، نهادی و کالبدی باعث بهبود کلی جامعه می‌شود (۱۸).

کلانشهر تهران با جمعیت ۸,۶۳۹۳,۷۰۶ نفر به عنوان مرکز استان تهران، با توجه به جمعیت ساکن در شهر و بالابودن نرخ مهاجرت در چند سال اخیر با مشکلات ترافیکی بسیاری به علت اتکا به حرکت سواره در این شهر روبرو می‌باشد. الگوهای تفکیک سفر در این شهر شامل خودروی شخصی، اتوبوس (خط واحد)، تاکسی می‌باشد و تنها یک بخش از مرکز شهر برای حرکت پیاده و یک مسیر برای حرکت دوچرخه طراحی شده است. کماکان حرکت سواره سهم بیشتری در مقایسه دارد. به طور کلی به نظر می‌رسد سیاست‌های حمل و نقلی در بخش عرضه و تقاضا بر روی افزایش و کاهش وضعیت شاخص‌های تاب‌آوری مؤثر باشد و همچنین شناسایی مخاطرات موجود در این بخش از حمل و نقل در موارد مطرح‌شده اثرگذار باشد. لذا در این پژوهش هدف اصلی شناسایی و اولویت‌بندی مخاطرات شبکه‌های حمل و نقل ریلی شهری در راستای افزایش تاب‌آوری در ایستگاه امام خمینی مترو تهران بود که با استفاده از فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت.

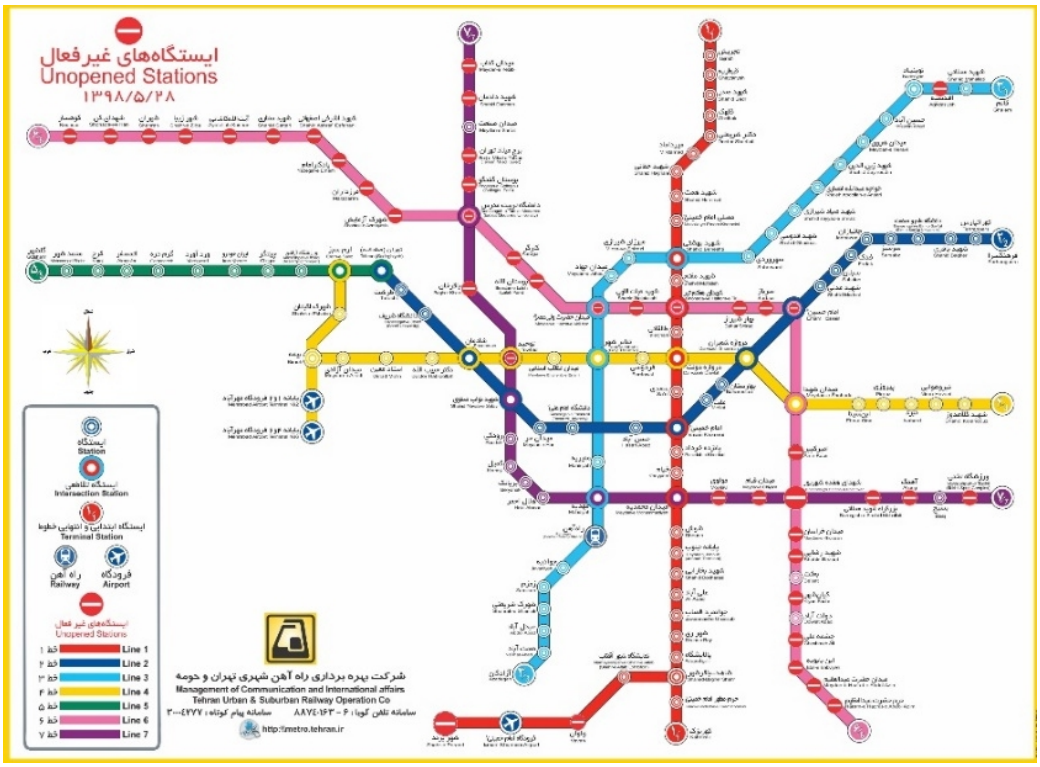
روش کار

محدوده پژوهش

احداث قطار شهری در تهران به ۱۱۰ سال قبل باز می‌گردد. تاسیس تراموای شهری از جمله نکات پیش‌بینی‌شده در امتیازنامه‌ای بود که بارون ژولیوس دو رویتر در عهد ناصرالدین‌شاه روی کاغذ آمد. در همین سال‌ها یک خط آهن روزمینی بین دروازه شهرری (حضرت عبدالعظیم) و میدان باغ شاه، با نام معروف ماشین دودی، ساخته شد. سال ۱۳۵۰

[1] Cutter

مطالعات اجتماعی، اقتصادی و ترافیکی شهر تهران و پیش‌بینی تغییرات آن برای سال ۱۳۷۰توسط شرکت سوفرتو و شرکت متروی فرانسه آغاز گردید. در سال ۱۳۵۳ گزارش نهایی و انتخاب سامانه‌ای شامل یک شبکه خیابانی با یک کمربندی در پیرامون منطقه مرکزی و دو بزرگراه برای نواحی در حال ساخت شهری و یک شبکه مترو با هفت خط که به وسیله شبکه اتوبوسرانی و تاکسیرانی تکمیل می‌شد ارائه گردید. بر اساس طراحی اولیه متشکل از هفت خط می‌باشد؛ که شش خط آن درون‌شهری و یک خط برون‌شهری (تهران- کرج) می‌باشد (۱۹). در شکل ۱ آخرین نقشه مترو شهر تهران ارائه شده است.



شکل ۱. جدیدترین نقشه خطوط ریلی مترو تهران

پژوهش حاضر با توجه به ماهیت هدفی که دارا بود، توسعه‌ای- کاربردی بود و همچنین بر اساس روش تحلیل آن توصیفی- تحلیلی محسوب می‌شد. جمع‌آوری اطلاعات به‌صورت اسنادی و پیمایشی صورت گرفته است. تجزیه و تحلیل داده‌ها و اطلاعات گردآوری‌شده به منظور اولویت‌بندی با استفاده از مدل تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) که از روش‌های ارزیابی چندمعیاری می‌باشد و با شناسایی و اولویت‌بندی عناصر تصمیم‌گیری شروع می‌شود، انجام گرفت. فرایند تحلیل سلسله مراتبی در هنگامی که عمل تصمیم‌گیری با چند گزینه رقیب و معیار تصمیم‌گیری روبرو است می‌تواند استفاده گردد. معیارهای مطرح‌شده می‌توانند کمی و کیفی باشند. اساس این روش تصمیم‌گیری بر مقایسات زوجی نهفته است. تصمیم‌گیرنده با فراهم‌آوردن درخت سلسله‌مراتبی تصمیم آغاز می‌کند. درخت سلسله‌مراتب تصمیم، عوامل مورد مقایسه و گزینه‌های رقیب مورد ارزیابی در تصمیم را نشان می‌دهد. سپس یک سری مقایسات زوجی انجام می‌گیرد. این مقایسات وزن هر یک از فاکتورها را در راستای گزینه‌های رقیب مورد ارزیابی در تصمیم را نشان می‌دهد. در نهایت منطق فرآیند تحلیل سلسله مراتبی به گونه‌ای ماتریس‌های حاصل از مقایسات زوجی را با یکدیگر تلفیق می‌سازد که تصمیم بهینه

حاصل آید. این مراحل با کمترین خطا و از طریق نرم افزار Export Choice انجام گرفت.

جامعه آماری تحقیق شامل کارکنان مترو بالاخص ایستگاه امام خمینی تهران بود. حجم نمونه به صورت سیستماتیک و هدفمند انتخاب شد که شامل ۲٤ نفر از کارکنان و مدیران ایستگاه مترو امام خمینی تهران و مسئولین دانشگاهی و نخبگان در زمینه اهداف مطالعه بوده است.

در این تحقیق ابتدا متغیرهای تحقیق شامل مخاطرات سیستم حمل و نقل ریلی شهر تهران از قبیل: سیل، نشتی و آبگرفتگی، زلزله، فعالیت‌های خرابکارانه و تروریستی، حرکت وسایل نقلیه ریلی (شامل پیامدهای مربوط به برخورد، از ریل خارج‌شدن، توقف‌های طولانی‌مدت)، وجود مواد قابل انفجار، ورود افراد به تونل، تجمع هیدروژن در باتری‌خانه، فعالیت‌های انسانی (راهبر اتاق فرمان و راهبر قطار)، تجاوز به حریم ریلی، فعالیت‌های انسانی در پست‌های برق، حرارت و وجود مواد قابل اشتعال، فعالیت‌های انسانی در باتری‌خانه، بارش باران، برف، برودت و یخبندان، پله برقی، فعالیت‌های انسانی اتاق کنترل، آسانسور، تجهیزات و فضای کاری پست‌ها، حرارت در باتری‌خانه، سیستم فاضلاب ایستگاه و وجود گازهای شیمیایی و نامطبوع شناسایی و علت و پیامد آن شناسایی و از طریق روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت.

یافته‌ها

با توجه به مطالعات میدانی و بررسی‌های انجام شده مخاطراتی همچون سیل، نشتی و آبگرفتگی، زلزله، فعالیت‌های خرابکارانه و تروریستی، حرکت وسایل نقلیه ریلی (شامل پیامدهای مربوط به برخورد، از ریل خارج‌شدن، توقف‌های طولانی‌مدت)، وجود مواد قابل انفجار، ورود افراد به تونل، تجمع هیدروژن در باتری‌خانه، فعالیت‌های انسانی (راهبر اتاق فرمان و راهبر قطار)، تجاوز به حریم ریلی، فعالیت‌های انسانی در پست‌های برق، حرارت و وجود مواد قابل اشتعال، فعالیت‌های انسانی در باتری‌خانه، بارش باران، برف، برودت و یخبندان، پله برقی، فعالیت‌های انسانی اتاق کنترل، آسانسور، تجهیزات و فضای کاری پست‌ها، حرارت در باتری‌خانه، حرارت در پست‌های برق، سیستم فاضلاب ایستگاه و وجود گازهای شیمیایی و نامطبوع را نام برد که در جدول ۱ علت وقوع هریک از خطرات و پیامدی که خطر مذکور دارا می‌باشد مطرح شده است.

جدول ۱. مخاطرات شناسایی شده در شبکه‌های حمل و نقل ریلی شهری تهران

خطر	علت	پیامد
سیل، نشتی و آبگرفتگی	رویدادهای طبیعی، تخریب زهکش‌ها، ترکیدن لوله آب و فاضلاب، گرفتگی جویی‌ها و مسیل آب، بالا رفتن سطح آب قنوات، مسدود شدن مسیرهای آبرو در داخل ایستگاه، عدم ایزولاسیون مناسب سازه نشتی آب از تجهیزات و تاسیسات ایستگاه به دلیل خوردگی فرسودگی ضربه و...	تخریب سازه ایستگاه، آسیب به تجهیزات، تعلیل در فرآیند کاری، قطع ارتباطات (بی سیم و با سیم) اختلال ترافیکی و عملیات بهره برداری، آسیب و مرگ پرسنل و مسافرین، قطع برق، ازدحام، رعب و وحشت، محبوس شدن افراد، برق گرفتگی، آبگرفتگی در زیرسازه‌های مجاور و سستی سازه‌های مجاور، نشست زمین
زلزله	رویدادهای طبیعی، انفجار	تخریب سازه ایستگاه، آسیب به تجهیزات، بالا آمدن حیوانات موذی در محیط، قطع ارتباطات (بی سیم و با سیم)، محبوس شدن مسافرین، اختلال ترافیکی و عملیات بهره برداری، آسیب و مرگ پرسنل و مسافرین، آتش‌سوزی، آبگرفتگی به دلیل شکست منابع آب زیرزمینی (لوله‌ها، قنوات) قطع برق، از ریل خارج شدن قطار، ازدحام، رعب و وحشت، تعدیل در فرآیند کاری

خطر	علت	پیامد
فعالیت‌های خرابکارانه و تروریستی	عدم امکان نظارت کامل نیروهای امنیتی و پلیس مترو، وجود نقاط کور	انفجار، آتش سوزی، ایجاد رعب و وحشت و...
حرکت وسایل نقلیه ریلی (شامل پیامدهای مربوط به برخورد، از ریل خارج شدن، توقف‌های طولانی‌مدت)	خطای انسانی راهبر قطار یا راهبر مرکز فرمان یا پرسنل تعمیر و نگهداری قطار، شکستگی ریل، سرعتنامناسب	برخورد دو وسیله نقلیه، مرگ و آسیب جسمی و روانی به پرسنل و مسافرین، نارضایتی مسافرین، ایجاد رعب و وحشت
ازدحام	اختلال ترافیکی (ناشی از نقص تجهیزات یا کمبود تجهیزات)، ساعت شلوغی ایستگاه یا ایام خاص و مناسبت‌ها، بروز حوادث در ایستگاه، نزاع و درگیری، نبود تجهیزات هشداردهنده، عوامل محیطی مثل شرایط جوی و ترافیکی خاص، نبود تجهیزات و خروجی اضطراری، تغییر کاربری نبود یا طراحی نامناسب درب خروج اضطراری و تجمع	نارضایتی مشتریان، ایجاد رعب و وحشت بین مشتریان، آسیب به تجهیزات و تاسیسات ناوگان، سقوط افراد در حریم ریلی، آسیب و مرگ پرسنل و مشتریان، تعلیل در فرآیند کاری، خدشه دار شدن اعتبار سازمان، نقص در عملیات روتین و بهره‌برداری، بروز مشکلات امنیتی، بروز مشکلات ترافیکی خارج از مترو
وجود مواد قابل انفجار	بمب گذاری، حمل مواد قابل انفجار توسط افراد، استفاده مواد قابل انفجار در غرفه‌ها، نشت گاز، بخارات بنزین و گازهای قابل انفجار در اثر عوامل بیرونی، تغییر کاربری، ورود گازها و بخارات از داکت‌های هواکش به داخل ایستگاه، سایر تهدیدات بیرونی مثل وقوع انفجار در مناطق مجاور، سیلندرهای گاز اطفاءِ تحت فشار، طراحی نامناسب فضاهای عمومی و مصالح	انفجار، آتش سوزی، دودگرفتگی، نارضایتی مشتریان، تعلیل در فرایند کاری، ایجاد رعب و وحشت در بین مشتریان و ازدحام جمعیت در خروجی‌های ایستگاه، آسیب و مرگ پرسنل و مشتریان، آسیب به تجهیزات و تاسیسات زیربنایی، خدشه به اعتبار سازمان
ورود افراد به تونل	وجود نقاط کور بر روی سکو، ورود از طریق هواکش‌های میان تونل، تداخل کاری بین بهره بردای و تعمیرات و نهداری، اعمال خرابکاری و تروریستی	آسیب به پرسنل و افراد، آسیب به تجهیزات و اموال، آسیب‌های روحی و روانی پرسنل، برخورد افراد به قطار و مرگ افراد، اختلال در روند بهره برداری
تجمع هیدروژن در باتری‌خانه	خروجی هیدروژن از باتری‌ها، خوردگی	حرکت گاز به محل‌های مجاور، انفجار، آسیب به پرسنل و تجهیزات
فعالیت‌های انسانی (راهبر اتاق فرمان و راهبر قطار)	آموزش ناکافی، تجربه و مهارت ناکافی، ورود غیر ضروری افراد،شرایط محیطی نامناسب	برخورد وسیله نقلیه ریلی با هم یا با افراد یا جسم خارجی، آسیب به اموال و تجهیزات، مرگ و آسیب پرسنل و مسافرین
تجاوز به حریم ریلی	عملیات‌های خرابکارانه خطاهای انسانی عدم آگاهی مسافر بیماری‌های فردی تخلف مسافر من از خودکشی شوخی‌های نابجا هل دادن نظام و غیر خطاهای پرسنلی ازدحام	مرگ برق گرفتگی قطع عضو شکستگی اختلال در عملیات بهره‌برداری تعلیم در فرایند کاری آسیب جسمی و روحی به منابع انسانی آسیب و اموال و تجهیزات ایجاد هزینه‌های غیرمستقیم
فعالیت‌های انسانی در پست‌های برق	آموزش ناکافی، ورود غیرضروری افراد، مصرف مواد مخدر، نقص در سیستم	تاثیر مخرب بر عملکرد سیستم و عملیات بهره برداری، برق‌گرفتگی
حرارت و وجود مواد قابل اشتعال	نقص در سیستم تهویه، بالا رفتن دمای تجهیزات، عوامل بیرونی ناشی از آتش سوزی، نقص در سیستم برق	آتش سوزی، اسیب به تجهیزات و افراد، نارضایتی کارکنان
فعالیت‌های انسانی در باتری‌خانه	آموزش ناکافی، مصرف مواد مخدر و روانگردان، نقص در سیستم	تاثیر مخرب بر عملکرد سیستم و عملیات بهره برداری
بارش باران، برف، برودت و یخبندان	رویدادهای طبیعی	سر خوردن و لرزش آسیب به افراد از دهان در ورودی‌ها سقوط از پله‌ها در اثر لیزخوردن

خطر	علت	پیامد
پله برقی	توقف و حرکت ناگهانی، حرکت معکوس ناگهانی خطای انسانی به دلیل مثلاً ترس از عدم آگاهی و آموزش مسافرین تخلف پوشش مسافرین گیر کردن لباس و اعضای بدن مسافرین مسافرین کم توان ناتوان کودکان و افراد مسن کیفیت نامناسب پله‌های برقی و تجهیزات مربوطه تعمیرات و نگهداری نامناسب	سقوط، تروما، نقص عضو، شکستگی، مشکلات ارگونومی، اعتبار سازمان، آسیب به اموال و تجهیزات سازمان و مسافرین ازدحام درگیری و نزاع به علت نارضایتی مسافران، افزایش هزینه‌های مستقیم و غیرمستقیم جرقه و آتش سوزی بر مرگ
فعالیت‌های انسانی اتاق کنترل	آموزش ناکافی، تجربه و مهارت ناکافی، عوامل درونی مانند عوامل ذهنی مثل نقص در حافظه، عوام بیرونی مثل تصمیم نادرست، عوامل موثر بر عملکرد مثل عجله، تخلف	تاثیر مخرب بر عملکرد سیستم و ملیات بهره برداری، ازدحام جمعیت، آسیب‌های مالی و جانی، پرسنل و مسافران، آسیب به تجهیزات
آسانسور	سقوط آسانسور محبوس شدن افراد سقوط به داخل چاه آسانسور خطای انسانی در حین تعمیرات عملیات خرابکارانه و ضد امنیتی مثل حمل مواد منفجره گیر کردن لباس و اعضای بدن کیفیت نامناسب آسانسور و تجهیزات مربوطه تعمیرات و نگهداری نامناسب و ضعف نظارتی قطع برق چیدمان نامناسب مبلمان ایستگاه و گیتا تغییر کاربری طراحی نامناسب فضاهای عمومی و مصالح مستهلک بودن تجهیزات	مرگ نقص عضو شکستگی محبوس شدن خط دار شدن اعتبارات سازمان آسیب و اموال و تجهیزات سازمان مسافرین درگیری و نظام به علت نارضایتی مسافرین افزایش هزینه‌های مستقیم و غیر مستقیم جرقه آتش‌سوزی خفگی
تجهیزات و فضای کاری پست‌ها	فرسودگی تجهیزات، آبگرفتگی، حیوانات موذی و اهلی	تاثیر مخرب بر عملکرد سیستم و عملیات بهره برداری
حرارت در باتری‌خانه	نقص در سیستم تهویه، بالا رفتن دمای تجهیزات، عوامل بیرونی ناشی از آتش سوزی، نقص در سیستم برق	آتش سوزی، اسیب به تجهیزات و افراد، نارضایتی کارکنان
حرارت در پست‌های برق	نقص در سیستم تهویه، بالا رفتن دمای تجهیزات، عوامل بیرونی ناشی از آتش سوزی، نقص در سیستم برق	آتش سوزی، اسیب به تجهیزات و افراد، نارضایتی کارکنان
سیستم فاضلاب ایستگاه	فرسودگی تجهیزات، آبگرفتگی، حیوانات موذی و اهلی	تاثیر مخرب بر عملکرد سیستم و عملیات بهره برداری
وجود گازهای شیمیایی و نامطبوع	فرسودگی تجهیزات	تاثیر مخرب بر عملکرد سیستم و عملیات بهره برداری

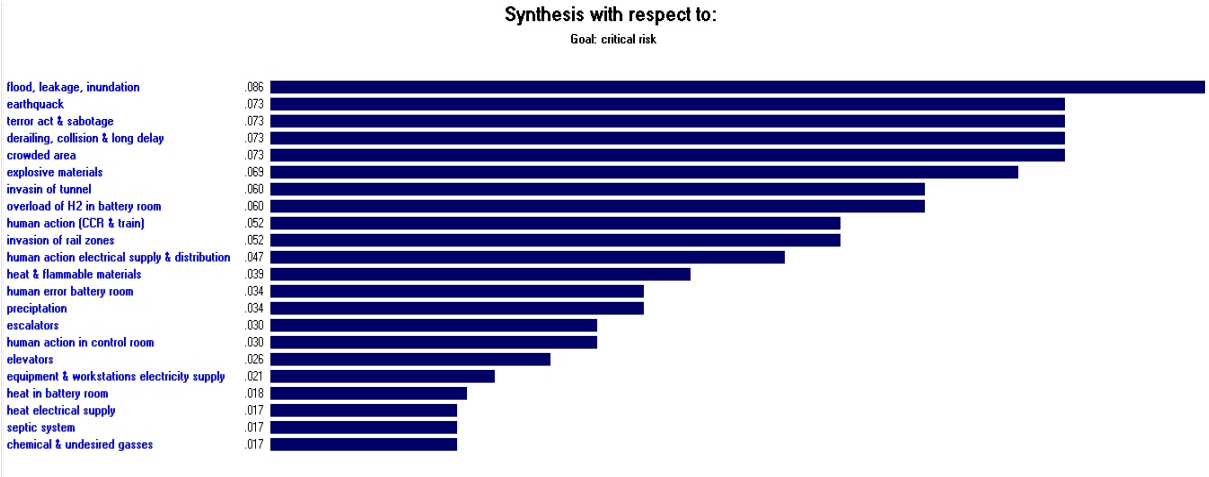
مخاطرات شناسایی شده به کمک روش تجزیه و تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) و نرم افزار Expert Choice (نرم افزار طراحی شده برای مدل‌های تصمیم‌گیری چند معیاره)، اولویت‌بندی شدند. نتایج اولویت‌بندی ۲۲ مخاطره شناسایی شده به شرح جدول ۲ می‌باشد.

نتایج مطالعه نشان داد بین ریسک‌های بحرانی شناسایی شده است و نتایج اولویت بندی آنها به کمک روش AHP تطابق وجود دارد، به علاوه این تطابق در سایر ریسک‌های شناسایی شده نیز مشاهده شد (نمودار ۱).

در جهت مقابله با خطرات شناسائی شده و کاهش ریسک وقوع خطرات، اقدامات اصلاحی به شرح جدول ۳ برای شبکه حمل و نقل ریلی شهر تهران ارائه گردید.

جدول ۲. نتایج اولویت بندی مخاطرات شناسایی شده به کمک روش AHP در شبکه حمل و نقل ریلی (مترو) تهران

خطر	اولویت‌بندی
سیل، نشتی و آبگرفتگی	۱
زلزله	۲
فعالیت‌های خرابکارانه و تروریستی	۲
حرکت وسایل نقلیه ریلی (شامل پیامدهای مربوط به برخورد، از ریل خارج شدن، توقف‌های طولانی مدت)	۲
ازدحام	۲
وجود مواد قابل انفجار	۳
ورود افراد به تونل	٤
تجمع هیدروژن در باتری‌خانه	٤
فعالیت‌های انسانی (راهبر اتاق فرمان و راهبر قطار)	۵
تجاوز به حریم ریلی	۵
فعالیت‌های انسانی در پست‌های برق	۶
حرارت و وجود مواد قابل اشتعال	۷
فعالیت‌های انسانی در باتری‌خانه	۸
بارش باران، برف، برودت و یخبندان	۸
پله برقی	۹
فعالیت‌های انسانی اتاق کنترل	۹
آسانسور	۱۰
تجهیزات و فضای کاری پست‌ها	۱۱
حرارت در باتری‌خانه	۱۲
حرارت در پست‌های برق	۱۳
سیستم فاضلاب ایستگاه	۱۳
وجود گازهای شیمیایی و نامطبوع	۱۳



نمودار ۱. طبقه بندی مخاطرات شناسائی شده در شبکه حمل و نقل ریلی شهر تهران با استفاده از نرم افزار Expert Choice

جدول۳. اقدامات اصلاحی ارائه شده برای مقابله با خطرات شناسائی شده در سیستم حمل و نقل ریلی شهر تهران

خطر	اقدامات اصلاحی پیشنهادی	اقدام کننده
زلزله	۱ـ پایش وضعیت رفتار سازه تونل و خطوط ریلی و داده کاوی اطلاعات ۲ـ استفاده از تجهیزات اطفاءِ حریق ۳ـ تکمیل سامانه هشدار سریع (در تعامل با سازمان یحران شهری) ٤ـ تدوین دستورالعمل تاب‌آوری در برابر شرایط اضطراری	۱ـ واحد ساختمان‌ها وابنیه، مهندسی خطوط ریلی ۲ـ شرکت بهره برداری ۳ـ واحد مدیریت بحران ٤ـ دانکشده محیط زیست واحد علوم و تحقیقات دانشگاه آزاد
سیل، نشتی و آبگرفتگی	۱ـ پایش وضعیت رفتار سازه تونل و خطوط ریلی و داده کاوی اطلاعات ۲ـ تدوین دستورالعمل تاب‌آوری در برابر شرایط اضطرار ۳ـ بررسی استفاده از پمپ‌های تخلیه با جذب دبی بالا در خط القعر خطوط ٤ـ بررسی استفاده از حوضچه‌های جمع آوری آب ۵ـ بررسی ایجاد سیل بند یا مسیرهای فرعی در ورودی‌های تونل و مسیرهای شیب دار ۶ـ بررسی ایجاد ورودی‌ها با سطح بالاتر نسبت به مسیر تونل ۷ـ بررسی استفاده از بالشتک‌های اسفنجی در ورودی‌های مسیر ۸ـ مطالعات زمین شناسی پس از وقوع رویدادهای طبیعی ۹ـ بررسی خطاهای انسانی با استفاده از ابزارهای علمی از قبیل شرپا، هرث و... ۱۰ـ مشخص کردن متولی جهت پیگیری و پایش در خصوص عملکرد شهرداریها و سازمان‌های ذی ربط (آب و فاضلاب) جهت لایروبی مسیرها ۱۱ـ بررسی امکان وصل شدن به شبکه فاضلاب شهری و جمع آوری آب‌های سطحی	۱ـ واحد ساختمان‌ها و ابنیه، مهندسی خطوط ریلی ۲ـ دانشکده محیط زیست واحد علوم و تحقیقات دانشگاه آزاد ۳ـ واحد مدیریت بحران ٤ـ شرکت هولدینگ ۵ـ واحد مدیریت بحران، واحد ساختمان‌ها و ابنیه ۶ـ واحد مدیریت بحران، واحد ساختمان‌ها و ابنیه ۷ـ واحد مدیریت بحران ۸ـ واحد ساختمان‌ها و ابنیه ۹ـ واحد سلامت، ایمنی و طب کار، واحد مدیریت بحران ۱۰ـ واحد ساختمان‌ها و ابنیه، واحد مدیریت بحران ۱۱ـ واحد ساختمان‌ها و ابنیه
فعالیت‌های خرابکارانه و تروریستی و وجود مواد قابل انفجار	۱ـ پیشنهاد جهت تغییر در فضای سالن‌ها و راهروها به منظور کاهش موج انفجار ۲ـ پیشنهاد تقسیم بندی فضاهای سکون و حرکت ۳ـ پیشنهاد جهت طراحی مجدد فضاهای عمومی ٤ـ پیشنهاد جهت چیدمان مبلمان و موانع و گیت‌ها ۵ـ پیشنهاد جهت استفاده از مصالح به منظور کاهش اثرات انفجار ۶ـ پیشنهاد جهت از بین بردن نقاط کور سازمان و افزایش سیستم نظارتی ۷ـ پیشنهاد جهت استفاده از دوربین‌های و نرم افزارهای تشخیص چهره ۸ـ پیشنهاد جهت کنترل بار و مسافر (گیت وی و اسکن ایکس ری) ۹ـ پیشنهاد جهت نصب دتکتورهای گازی در قطار و ایستگاه ۱۰ـ اینترلاک کردن و ارتباط هوشمند با سازمان‌های هوشمند ۱۱ـ پیشنهاد جهت برگزاری مانور جهت شرایط اضطراری و حملات تروریستی ۱۲ـ پیشنهاد جهت بست ساختار بحران به تمامی ایستگاهها مترو در شرایط بحران ۱۳ـ پیشنهاد جهت تدوین سیستم فرماندهی حادثه	۱ و ۵ـ شرکت هولدینگ و شرکت بهره برداری ۲ و ۳ و ٤ و ۶ و ۱۰ و ۱۱ـ شرکت بهره برداری ۱۲ـ واحد مدیریت بحران ۱۳ـ واحد مدیریت بحران و دانشکده محیط زیست و انرژی، واحد علوم و تحقیقات دانشگاه آزاد ۷ و ۸ و ۹ـ شرکت بهرداری و پلیس مترو
ازدحام و حرکت وسایل نقلیه ریلی	۱ـ امکان سنجی نصب ATP بر روی تجهیزات کمکی ریلی ۲ـ امکان سنجی نصب سیستم اعلام و هشدار خاموشی ATP قطار ۳ـ وجود راهبر کمکی	۱ـ شرکت بهره برداری ۲ـ واحد سیگنالینگ و مخابرات

بحث

بر اساس جدول ۲، ملاحظه می‌گردد که در محدوده مطالعاتی شبکه حمل و نقل ریلی شهر تهران مخاطرات سیل، نشتی و آبگرفتگی اولین مخاطره‌هایی هستند که شرایط بحرانی را به وجود می‌آورند و پس از آن نیز مخاطرات زلزله، فعالیت‌های خرابکارانه و تروریستی، حرکت وسایل نقلیه ریلی (شامل پیامدهای مربوط به برخورد، از ریل خارج شدن، توقف‌های طولانی مدت) و ازدحام دارای اولویت‌بندی دوم می‌باشند. ازدحام در سوار و پیاده‌شدن مسافر در وسایل حمل و نقل شهری نیاز به اقدامات محافظتی برای جلوگیری از آسیب‌دیدگی و مرگ در برابر خطر دارد (۲۱،۲۰). مطالعه کینگ-چانگ[1] در شبکه ریلی شانگهای چین نشان داد که ایستگاه‌های مهم با توجه به احتمال بالای وقوع حوادث مختلف نیاز به گزینه ریل اضافی دارند (۲۲). بابابیک[2] و همکاران در مطالعه‌ای موقعیت بهینه و تخصیص قطارهای امدادی را برای افزایش سطح مقاومت شبکه ریلی مدل‌سازی کرده و پیشنهاد نمودند (۲۳). دست‌اندرکاران مترو در کشورهای مختلف تلاش قابل توجهی در جهت ارتقای ایمنی سیستم‌های مترو با توجه به حملات تروریستی انجام داده‌اند. علل حمله می‌تواند مسائل سیاسی و ضعف‌های فنی و یا سازمانی و اقتصادی باشد، لذا نیاز به طبقه‌بندی این علل و عواقب به منظور جلوگیری از وقوع حمله و در صورت وقوع، کاهش هرچه بیشتر پیامدهای آن است (۲۴). هم‌چنین نتایج مطالعه حاضر نشان داد مخاطرات مربوط به حرارت در پست‌های برق، سیستم فاضلاب ایستگاه و وجود گازهای شیمیایی و نامطبوع دارای کمترین مخاطره در محدوده مطالعاتی بودند. در عین حال با توجه به اهمیت این خطرات بایستی اقدامات لازم را در خصوص ایمنی این تاسیسات انجام داد. ژنگ[3] و همکاران در ارزیابی تاب‌آوری شبکه حمل و نقل ریلی شانگهای چین نشان دادند از نظر آسیب پذیری از مخاطرات حرارت و پست‌های برق و سیستم فاضلاب شهری از استحکام زیادی برخوردار بوده اما می‌تواند آسیب‌پذیری شدید در مواجهه با اختلال عمدی برخوردار باشد (۲۵).

نتیجه گیری

آسیب پذیری ایستگاه‌های مترو در مقابل اتفاقات و حوادث در مقابل بسیاری از تناقضات و تمایلات قابل سنجش می‌باشد و سنجش این آسیب‌پذیری توسط تاب‌آوری قابل انجام است. لذا در این تحقیق به شناسایی و اولویت‌بندی مخاطرات شبکه‌های حمل و نقل ریلی شهری با تاکید بر تاب‌آوری در ایستگاه امام خمینی تهران پرداخته شد. بر اساس اطلاعات گردآوری شده و تحلیل داده‌ها مشخص گردید که اصلی‌ترین مخاطرات در محدوده مطالعاتی شامل سیل، نشتی و آبگرفتگی، زلزله، فعالیت‌های خرابکارانه و تروریستی، حرکت وسایل نقلیه ریلی (شامل پیامدهای مربوط به برخورد، از ریل خارج‌شدن، توقف‌های طولانی مدت) و ازدحام بودند. لذا در جهت مقابله با این خطرات نیازمند اقداماتی هم‌چون پایش وضعیت رفتار سازه تونل و خطوط ریلی و داده‌کاوی اطلاعات، استفاده از تجهیزات اطفاءِ حریق، تکمیل سامانه هشدار سریع (در تعامل با سازمان بحران شهری) و تدوین دستورالعمل تاب‌آوری در برابر شرایط اضطراری، پیشنهاد تصمیم‌ها و طرح‌هایی در ارتباط با تاب‌آوری در برابر شرایط اضطرار، مطالعات زمین شناسی پس از وقوع رویدادهای طبیعی، تقسیم بندی فضاهای سکون و حرکت، ساختار بحران به تمامی ایستگاه‌های مترو و شرح وظایف پرسنل در شرایط بحران، امکان سنجی نصب سیستم اعلام و هشدار خاموشی ATP قطار و... را برای افزایش تاب‌آوری محدوده مطالعاتی و کاهش آسیب‌پذیری آن در مقابله با خطراتی هم‌چون زلزله،

[1] Qing-Chang
[2] Bababeik
[3] Zhang

سیل، نشتی و آبگرفتگی، فعالیت‌های خرابکارانه و تروریستی و وجود مواد قابل انفجار و ازدحام و حرکت وسایل نقلیه ریلی توسط نهادها و سازمان‌هایی هم‌چون واحد مدیریت بحران و شرکت بهرداری و پلیس مترو می‌باشد.

References

1- Marans RW. Quality of urban life & environmental sustainability studies: Future linkage opportunities. Habitat International. 2015 Jan 1; 45:47-52.

2- Wolman A. The metabolism of cities. Scientific American. 1965 Sep 1;213(3):178-93.

3- Zimerman Z. Development of large capacity high efficiency mechanical vapor compression (MVC) units. Desalination. 1994 Jun 1;96(1-3):51-8.

4- Bozza A, Asprone D, Fabbrocino F. Urban resilience: A civil engineering perspective. Sustainability. 2017 Jan;9(1):103.

5- Asadi aziz abadi M, ziari K A, vatan khahi M. Prioritizing the dimension of resilient deteriorated urban fabric based on a disaster resilience of place model (case study: the deteriorated urban fabric of Karaj). Journal of Applied researches in Geographical Sciences.2020 ;20 (56) :311-328. [In Persian]

6- Brunetta G, Faggian A, Caldarice O. Bridging the gap: the measure of urban resilience. Sustainability. 2021 Jan;13(3):1113.

7- Schipper EL, Langston L. A comparative overview of resilience measurement frameworks. Analyzing Indicators and Approaches; Overseas Development Institute: London, UK. 2015 Jul;422.

8- Pourahmad A, Ziyari K, Sadeghi A. Spatial analysis of physical resilience components of urban attrited/beaten tissues against earthquakes (Case study: district 10 of Tehran Municipality). J Spatial Plan. 2018 Jan 1;8(1):110-30. [In Persian]

9- Brown, Sh. A. Resilient infrastructure networks: Managing the impacts of disruptive events on resource movements. A thesis submitted to Newcastle University in partial fulfilment of the requirements for the degree of Doctor of Philosophy, in the School of Civil Engineering and Geosciences within the Faculty of Science, Agriculture and Engineering. 2016.

10- Meerow S, Newell JP, Stults M. Defining urban resilience: A review. Landscape and urban planning. 2016 Mar 1; 147:38-49.

11-Maguire B, Hagan P. Disasters and communities: understanding social resilience. Australian Journal of Emergency Management, The. 2007 May;22(2):16-20.

12- Marius K, Venkatasubramanian G. Exploring Urban Economic Resilience: The Case of A Leather Industrail Cluster in Tamil Nadu. 2020 Jul 3.

13- McManus S, Seville E, Vargo J, Brunsdon D. Facilitated process for improving organizational resilience. Natural hazards review. 2008 May;9(2):81-90.

14-Chen Y, Whalley A. Green infrastructure: The effects of urban rail transit on air quality. American Economic Journal: Economic Policy. 2012 Feb;4(1):58-97.

15- Namjouyan, F, Razavian, M, Sarver, R. Urban resilience is a binding framework for the future management of cities. Geographical Land. 2017;14 (55): 81-95. [In Persian]

16- Sasanpour, F., Ahangari, N, Hajinejad P. Assessing the resilience of Tehran metropolitan area 12 against natural hazards. Spatial analysis of environmental hazards. 2017;4 (3): 85-98. [In Persian]

17- Shakouri Fp. Spatial analysis of the resilience of the regions of Babylon against environmental hazards. Journal of Physical Development Planning. 2017;4 (2): 27-44. [In Persian]

18- Cutter SL, Burton CG, Emrich CT. Disaster resilience indicators for benchmarking baseline conditions. Journal of homeland security and emergency management. 2010 Aug 4;7(1).

19- Construction program. Tehran and Suburbs Urban Railway Companies Group,2017.

20- Zhang Z, Wolshon B, Murray-Tuite P. A conceptual framework for illustrating and assessing risk, resilience, and investment in evacuation transportation systems. Transportation research part D: transport and environment. 2019 Dec 1; 77:525-34.

21- Alidadi, R., Mansouri, N., Hemmasi, AH., Mirzahosseini, SA. Risk Assessment of Heavy Metal in Ambient Air (Case Study: Ahvaz, Iran), Anthropogenic Pollution Journal.2020; 4(2): 1-7. [In Persian]

22- Lu QC. Modeling network resilience of rail transit under operational incidents. Transportation Research Part A: Policy and Practice. 2018 Nov 1; 117:227-37.
23- Bababeik, M., Khademi, N., Chen, A. Increasing the resilience level of a vulnerable rail network: The strategy of location and allocation of emergency relief trains, Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review. 2018;119: 110-128. [In Persian]
24- Bruyelle JL, Seddon R, O'Neill C. Design solutions to improve resilience of metro vehicle to blast events. Transportation research part A: policy and practice. Dec 2018; 118:280-91.
25- Zhang DM, Du F, Huang H, Zhang F, Ayyub BM, Beer M. Resiliency assessment of urban rail transit networks: Shanghai metro as an example. Safety Science. Jul 2018; 106:230-43.