پژوهش‌های جغرافیای انسانی، دورهٔ ۴۷، شمارهٔ ۱، بهار ۱۳۹۴
ص. ۱۵۷-۱۴۳

بهینه‌سازی مدیریت شبکهٔ حمل‌ونقل اضطراری کلان‌شهر تهران پس از سوانح طبیعی با رویکرد آینده‌پژوهی

مجتبی امیری* – دانشیار گروه مدیریت دولتی، دانشگاه تهران
شهناز نوروزی – کارشناس ارشد مدیریت شهری، دانشگاه تهران
علیرضا نجاری– کارشناس ارشد مدیریت سوانح طبیعی، دانشگاه تهران

پذیرش مقاله: ۱۳۹۱/۱۲/۱۳ تأیید نهایی: ۱۳۹۲/۱۱/۲۸

چکیده

توجه به آینده، همواره از مهم‌ترین اهداف کشورها محسوب می‌شود؛ بنابراین، شناخت تهدیدها و آسیب‌ها، یکی از مهم‌ترین عوامل دستیابی به آینده و آینده‌پژوهی به‌روش سناریونویسی، یکی از کارآمدترین روش‌های مطالعهٔ آینده است که با شناخت عوامل اصلی مؤثر بر مدیریت بحران در شبکهٔ حمل‌ونقل و نیز تأثیر نیروهای مؤثر، شاکله و چارچوب سناریوهای تهدید، سوانح طبیعی و آسیب‌پذیری آیندهٔ شهرهای بزرگ را شناسایی می‌کند و آن‌ها را به فرصت تبدیل می‌کند. به‌همین‌منظور، در چارچوب این مقاله سعی بر آن است که با استفاده از آینده‌پژوهی به‌عنوان یک علم جدید- که در کشورهای مختلف دنیا روزبه‌روز کاربردی‌تر می‌شود و روش‌های جدیدی از آن برای ساختن آینده‌ای مطلوب‌تر ارائه می‌شود- روش‌هایی متناسب با شیوه‌های برنامه‌ریزی حمل‌ونقل اضطراری شهری مطرح شود که شرایط مطلوب توسعهٔ پایدار را- که از آرمان‌های این علم است- برآورده کند. درحقیقت، آینده‌پژوهی در مدیریت سوانح طبیعی، تصمیم‌گیری برای فرایندی است که در زمان حال انجام می‌شود، اما حاصل آن، خلق آینده‌ای بهتر است. این روش برای تقویت توان و تحلیل آینده و توان نفوذ و مداخلهٔ سازمان‌های مرتبط در آینده، برای تبدیل تهدید شبکهٔ حمل‌ونقل در برابر سوانح طبیعی به فرصتی برای امدادرسانی اضطراری و تعیین نقش مؤثر در موفقیت عملیات نیروهای امداد و نجات در شهر تهران است. این مقاله با رویکرد آینده‌پژوهی برای بهینه‌سازی کارایی مدیریت شبکهٔ حمل‌ونقل مناطق شهر تهران، مبتنی بر فرایندهای مدیریت حمل‌ونقل اضطراری به آن ارائه شده است.

کلید واژه‌ها: آینده‌پژوهی، بهینه‌سازی، حمل‌ونقل اضطراری، سوانح طبیعی، شهر تهران.

* نویسندهٔ مسئول: ۰۹۱۲۸۴۷۰۳۳۲
Email: tina_no31@yahoo.com

مقدمه

آشفتگی و تغییرهای پرشتاب و مداوم در حمل‌ونقل شهری در کنار مسائلی چون سیاست‌های متغیر دولت، تعدد مؤلفه‌های تأثیرگذار بر حمل‌ونقل، جایگاه حمل‌ونقل و دسترسی در روند توسعهٔ شهری و نقش تأثیرگذار حمل‌ونقل در جوامع شهری سبب شده است برنامه‌ریزی حمل‌ونقل شهری، یکی از مهم‌ترین و پیچیده‌ترین حوزه‌های برنامه‌ریزی شهری لقب گیرد و همواره نیازمند توجه و عنایت ویژه باشد.

بیشتر کشورهای دنیا در معرض مخاطره‌های طبیعی قرار دارند. از کشورهای صنعتی و پیشرفته نظیر آمریکا و ژاپن که امکان بروز سیل و زلزله در آن‌ها فراوان است تا کشورهای جهان سوم نظیر ایران که بلایای طبیعی فراوانی آن را تهدید می‌کند. درنتیجه، ارائهٔ برنامهٔ مناسب از سوی دولت‌ها و به‌کارگیری روش‌های مناسب مدیریتی و پیشگیرانه درجهت کاهش تلفات انسانی و خسارت‌های مالی، در هنگام بحران‌ها و سوانح طبیعی، ضروری به‌نظر می‌رسد.

در اغلب مواقع، دولت‌ها و سازمان‌ها به‌دلیل نداشتن یک راهبرد و برنامهٔ سیستماتیک برای مواجهه با حوادث و بحران‌ها در هنگام سانحه، دچار مشکل‌های بسیاری می‌شوند. معمولاً برنامه‌های مدیریت بحران در حوادث طبیعی، شامل بخش‌های مختلفی است که قبل از وقوع بحران آغاز می‌شود و تا هنگام وقوع و بعد از آن نیز ادامه می‌یابد. معمولاً مراحل مدیریت حوادث، شامل آمادگی، پیشگیری، واکنش و بازسازی است که هریک از بخش‌ها قابل بسط است و می‌توان زیربخش‌های مختلف را به آن اضافه کرد. یکی از مهم‌ترین مواردی که در مراحل مختلف مدیریت بحران، ضروری می‌نماید، ارتباط مناسب و صحیح ساختار مدیریتی با استفاده از امکانات لازم و کافی برای مسیریابی و کاهش زمان امداد است. برای مقابله با فجایع احتمالی یا به‌حداقل‌رساندن تبعات آن، راهکارهایی وجود دارد که با توجه به پژوهش‌های چیانگ و جین (حسنی، ۱۳۸۳) در زمینهٔ مدیریت ترافیک پس از زمین‌لرزه‌های مختلف و مدل‌کردن ارتباط شبکه‌ای زیرساختارهای اصلی در برابر زلزله، سیستم حمل‌ونقل نقش بسیار مهمی در بین سایر شریان‌های حیاتی برعهده دارد (گنجه، ۲۰۱۲). به‌طوری‌که آسیب‌های فیزیکی و خسارت‌های کارکردی در زیرساخت‌های حمل‌ونقل، نه تنها مانع فعالیت‌های اجتماعی و کسب‌وکار می‌شود، بلکه موجب تضعیف عملیات امداد و نجات بعد از سوانح طبیعی نیز می‌شود که پیامدهای ناگواری برای جوامع دارد. با این شرایط، اگر امکانی فراهم شود که در دقایق اولیهٔ رخداد زلزله، نواحی آسیب‌دیده و میزان تلفات احتمالی مشخص شود، سرعت امدادرسانی به‌طرز مشهودی بالا می‌رود و به‌تبع آن، آمار تلفات پس از زلزله کاهش می‌یابد. حال با توجه به اهمیت موضوع، هدف اصلی این مقاله با رویکرد آینده‌پژوهی پیش از وقوع بحران، بهبود عملکرد و کاهش زمان بهینه‌سازی مفهومی ساختار مدیریت حمل‌ونقل اضطراری است؛ به‌طوری‌که در مواقع لزوم با امکانات کافی و در حداقل زمان، ایجاد تسهیلات اولیه، امدادرسانی در مناطق حادثه‌دیده و انتخاب مسیرهای مسدودنشده برای امدادرسانی صورت گیرد.

مبانی نظری

امروزه یکی از بزرگ‌ترین چالش‌های کلان‌شهرهای جهان و شهروندان این کلان‌شهرها، مسئلهٔ حمل‌ونقل است. وجود پانزده میلیون سفر روزانه در شبکهٔ معابر شهری و تردد بیش از دو میلیون خودرو در کلان‌شهر تهران، نشان از گستردگی مسائل و مشکل‌های شهر تهران در بخش حمل‌ونقل دارد؛ به‌طوری‌که هرگونه آسیبی که به‌وسیلهٔ سوانح طبیعی به‌ویژه زلزله به این شبکهٔ حمل‌ونقل، به‌ویژه بزرگراه‌ها وارد شود، بر تمام کلان‌شهر، تأثیر اساسی و منفی می‌گذارد. از سوی دیگر، تجربهٔ زلزله‌های گذشته نشان داده است که شبکهٔ بزرگراهی، در برابر زلزله‌های بزرگ به‌شدت آسیب‌پذیر است. براین‌اساس، ضروری است که آسیب‌پذیری لرزه‌ای این شبکه ارزیابی شود؛ بنابراین، ارزیابی آسیب‌پذیری شبکهٔ بزرگراهی شهر تهران در برابر سوانح طبیعی، به‌عنوان اولین گام اساسی برای ظرفیت‌سازی شبکهٔ حمل‌ونقل مناطق شهری با بهینه‌سازی مدیریت

شبکهٔ حمل‌ونقل اضطراری، اهمیت ویژه‌ای دارد. این ارزیابی با شناخت وضعیت شبکهٔ حمل‌ونقل در شرایط بحرانی پس از سوانح طبیعی انجام می‌گیرد تا یک رویکرد سیستمی برای مدیریت ریسک سیستم‌های حمل‌ونقل شهری در زلزله، مدیریت انتخاب شود و برای ترافیک و امداد و نجات، برنامه‌ریزی شود (درویش‌زاده، ۱۳۷۰؛ گنجه‌ای، ۱۳۹۱).

روش پیش‌بینی تخریب، براساس روش آماری مونت کارلو- که در سال ۱۹۶۰ ابداع شده است- انجام می‌پذیرد. در سال ۱۹۹۹، چانگ و ناجیما (۱۹۹۹) در مقاله‌ای به بررسی شبکهٔ حمل‌ونقل پس از زلزلهٔ ۱۹۹۴ نورثریج پرداختند. در این مقاله، به‌منظور ارزیابی عملکرد شبکهٔ پس از بحران، از سه معیار L، D و T استفاده شده است؛ به‌طوری‌که معیارهای مذکور به‌ترتیب، بیانگر طول آزاد بزرگراه، میزان دسترسی بر مبنای فاصله و میزان بازیابی حجم ترافیک پس از زلزله هستند. از جدیدترین پژوهش‌ها، مِلهرن (۲۰۰۹) و لیانگ چانگ و دیگران (۲۰۱۰) با رویکرد مهندسی ارزش و تحلیل‌های هزینه- فایده، مطالعه‌های برجسته‌ای در زمینهٔ برنامه‌ریزی بازسازی انجام دادند. چیانگ و جین (۱۹۹۲) (از کشور چین) ارتباط شبکه‌ای شریان‌های حیاتی را در برابر زلزله، مدل‌سازی کردند که نشان‌دهندهٔ اهمیت حیاتی سیستم حمل‌ونقل در بین شریان‌های حیاتی جوامع شهری است. چانگ و نوجیما شاخص آسیب‌پذیری برای ارزیابی عملکرد کلی سیستم ترافیک پس از فاجعهٔ کوبهٔ زلزله را استخراج کردند (چانگ و نوجیما، ۲۰۰۱). وانگ زیتو و دیگران (۲۰۰۸) سیستم اطلاعات تصمیم‌گیری، تحلیل مسیر و جست‌وجو را با استفاده از GIS در آنالیز شبکه و ارتباط فناوری‌ها با رویکرد امداد و نجات پس از زلزله برای کارایی مدیریت سیستم حمل‌ونقل ایجاد کردند. لیو چانگ و دیگران (۱۹۹۹)، به‌منظور تصمیم‌گیری در مورد تعیین بهترین محل استقرار تیم امداد و نجات و ترمیم و بازسازی راه‌ها، به تجزیه و تحلیل قابلیت اطمینان شبکهٔ حمل‌ونقل شهری بعد از زلزله پرداختند.

در ادبیات رایج در حوزهٔ حمل‌ونقل و ترافیک، به مسئلهٔ بهینه‌سازی ساختار مدیریتی حمل‌ونقل در شرایط اضطرار- که از نظر ماهیت، نوعی مسئلهٔ طراحی شبکهٔ گسستهٔ مدیریت ترافیک مناطق از دیدگاه مدیریت سیستمی به‌شمار می‌رود- توجه چندانی نشده است. شریان‌های ترافیکی، به‌علت حجم بالا و وسعت دامنهٔ عملکرد، آسیب‌پذیری زیادی در برابر زلزله دارند و هرگونه دیرکرد در بازسازی آن‌ها یا بازسازی بدون توجه به اولویت‌ها، سبب ایجاد آسیب‌های اساسی در ابعاد ساختار شهری و اجتماعی خواهد شد. با نظر به مسئلهٔ مهم محدودیت ظرفیت‌های تسهیلات امدادرسانی برای مسیرهای سبز نجات، مدیران و برنامه‌ریزان در دنیای واقعی به دنبال یافتن تعادل[1] بین افزایش کارایی و اثربخشی و کاهش هزینه‌ها هستند. برای تعیین مسیرهای «بهینه» باید هزینه‌ای را به مسیر اختصاص داد. راه‌های متعددی برای بیان هزینه‌های طی یک مسیر وجود دارد (مانند زمان طی مسافت، طول مسیر، تراکم ترافیکی مسیر و...). در همین راستا سؤالی که مطرح می‌شود این است که استقرار مدیریت حمل‌ونقل در شرایط بحران، چگونه باید صورت گیرد تا هزینه‌های ناشی از آن به حداقل برسد.

روش پژوهش

این پژوهش، از نوع کاربردی است و به روش توصیفی- تحلیلی انجام شده است. شیوهٔ جمع‌آوری اطلاعات به‌صورت اسنادی (کتابخانه‌ای) است و اطلاعات و آمارهای مورد نیاز از مراکز معتبر مانند مرکز مطالعات جامع ترافیک تهران و مدیریت بحران شهر تهران گردآوری شده است. در این پژوهش تلاش شده است با طی مراحل زیر، مدلی برای بهینه‌سازی ساختار مدیریت حمل‌ونقل اضطراری زمان سفر کل شبکه پس از اعمال زلزله در منطقهٔ مورد مطالعه ارائه شود:

1. Trade off

مرحلهٔ اول: در این مرحله، با استفاده از نقشه‌های موجود گسل‌های شهر تهران و سابقهٔ لرزه‌خیزی منطقه با رویکرد آینده‌پژوهی، مناطق ۲۲گانهٔ تهران در مخاطره‌های طبیعی ارزیابی می‌شوند.

مرحلهٔ دوم: در این مرحله، ابتدا محدودهٔ مورد نظر شناسایی می‌شود. نظر به اینکه در این پژوهش، محدودهٔ مورد مطالعه، شامل بزرگراه‌ها، بخشی از معبری که بزرگراه از آن منشعب می‌شود و بخشی از معبری است که بزرگراه بدان منتهی می‌شود، معبری که بزرگراه از آن منشعب می‌شود، ممکن است یکی از معابر بزرگراهی، شریانی، جمع‌کننده یا پخش‌کننده باشد.

مرحلهٔ سوم: در این مرحله، با تحلیل خطرپذیری شبکهٔ حمل‌ونقل، آسیب‌پذیری شبکهٔ حمل‌ونقل شهر تهران در برابر زلزله بررسی می‌شود.

مرحلهٔ چهارم: در این مرحله، به مفهوم حمل‌ونقل اضطراری با انتخاب زیرمجموعه‌ای از مجموعهٔ معینی از کمان‌های شبکهٔ بزرگراهی پرداخته می‌شود؛ به‌گونه‌ای‌که تابع هدف، زمان سفر را در چارچوب محدودیت‌ها بهینه کند.

مرحلهٔ پنجم: درنهایت، مدل مفهومی بهینه‌سازی سیستم مدیریت حمل‌ونقل اضطراری برای شهر تهران ارائه می‌شود.

بحث و یافته‌ها

تاریخچهٔ زلزله در تهران

با توجه به تهدیدهای بالقوهٔ زمین‌لرزه و سیلاب در شهر تهران با رویکرد آینده‌پژوهی، بهره‌گیری از سناریو زلزله برای برنامه‌ریزی واکنش اضطراری و برنامه‌ریزی پیشگیری تأثیرهای بحران ناشی از زلزله و سیل، برای یک شهر بسیار مفید است؛ بنابراین، باید زلزله‌هایی را فرض کرد که بیشترین خسارت را به تهران وارد خواهند کرد. در سوابق تاریخی شهر تهران، زلزله‌های بزرگی مانند ۷/۲ ریشتری سال ۱۱۱۷ میلادی در کرج، ۷/۷ ریشتری طالقان در سال ۹۵۸ میلادی، ۷/۱ ریشتری ری در سال ۸۵۵ میلادی و بسیاری زلزله‌های دیگر بالای ۷ ریشتر ثبت شده است. از آنجاکه آخرین زلزلهٔ شدید در تهران، مربوط به سال ۱۲۰۹ هجری شمسی است، براساس مطالعه‌های آماری، با احتمال بیش از ۷۰ درصد به‌طور متوسط، هر ۱۵۸ سال، زلزله‌ای ویرانگر در این ناحیه رخ داده است. آخرین زلزله در تهران، ۱۸۲ سال پیش اتفاق افتاد و برهمین‌اساس، وقواع زلزله در تهران، ۳۲ سال تأخر زمانی دارد. عامل اصلی وقوع زلزله در تهران، وجود ۱۵ گسل در این منطقه است. همچنین تاریخ آخرین وقوع سیل در شهر تهران، سیلاب مردادماه ۱۳۶۶ در شمیران بوده است که با قدرت تخریبی بالا، ۴۹۰ واحد مسکونی را ویران کرده و ۲۷۹ کشته و ۶۵۰ زخمی به‌جای گذاشته است (مرکز مطالعات زلزله و زیست‌محیطی تهران بزرگ، ۱۳۷۷).

جدول ۱. تعداد زلزله‌های رخ‌داده در ۱۰۰کیلومتری شهر تهران

تعداد زلزله	بزرگی زلزله
۲۹	۱ ≤ MB < ۰
۶۷۰	۲ ≤ MB < ۱
۳۵۰	۳ ≤ MB < ۲
۴۴	۴ ≤ MB < ۳
۵	۵ ≤ MB < ۴

منبع: مرکز مطالعات زلزله و زیست‌محیطی تهران بزرگ، ۱۳۷۷

سوانح طبیعی منطقهٔ کلان‌شهر تهران

با توجه به موقعیت جغرافیایی و زمین‌شناختی و نرخ رشد جمعیتی، شهر تهران در معرض خطرهای محیطی سیل و زلزله قرار دارد که در این میان، خطر زلزله از نظر شدت پیامدهای ناگوار امنیتی، اهمیت بیشتری دارد. براساس گزارش‌ها، از میان گسل‌های فعال در تهران، سه گسل مشاء، گسل شمال تهران و گسل جنوب ری، خطرسازترند. میزان خسارت‌ها و تلفات وارده درصورت وقوع زلزله در ۴۸۰،۰۰۰ واحد مسکونی و کشته‌شدن ۶ درصد جمعیت، با مدل گسل شمال تهران، ۳۱۰،۰۰۰ واحد مسکونی و تلفات ۲ درصد جمعیت و برای مدل گسل مشاء، ده درصد ساختمان‌ها و ۳ درصد، تلفات انسانی برآورده شده است (گزارش جایکا).

همچنین خسارت در مناطق ۱۱، ۱۲، ۱۶ تا ۲۰ در حدود ۸۰ درصد است که دلیل آن، آسیب‌پذیری و نامقاوم‌بودن ساختمان‌هاست. در مدل گسل شمال تهران، نسبت خسارت‌ها در مناطق ۱ تا ۵- که در بخش شمالی شهر تهران قرار دارند- در حدود پنجاه درصد است. با این‌حال، نسبت خسارت‌ها در مناطق جنوبی نیز کمتر از ۳۰ درصد نیست و علت نبود تفاوت بین قسمت شمالی و جنوبی شهر در مقایسه با مدل گسل ری این است که تعداد ساختمان‌های آسیب‌پذیر در منطقهٔ جنوبی بیشتر است. در مدل گسل مشاء، نسبت کل خسارت برای بیشتر مناطق شهری، تقریباً ۱۰ درصد و برای منطقهٔ ۱۲ به‌دلیل کثرت ساختمان‌های خشتی و چوبی- آجری، حدود ۳۰ درصد خواهد بود. درکل، تمام مناطق تهران در برابر زلزله آسیب‌پذیرند (گزارش جایکا).

علاوه بر آن، درصورت وقوع زلزله، مقاوم‌نبودن شریان‌های حیاتی شامل آب، برق، گاز، مخابرات و فاضلاب، شرایط بحرانی پیچیده‌ای را ایجاد خواهد کرد. فرونشست ساختمان‌ها در بخش جنوبی تهران، ریزش سنگ و رانش زمین در بخش شمالی، تخریب سد کرج، لتیان و لار و وقوع سیل، انفجار مخازن فرآورده‌های نفتی، بالابودن سطح آب زیرزمینی در منطقهٔ جنوب تهران و اشکال در تردد و کمک‌رسانی امدادگران، خسارت‌ها و ناامنی را در کلان‌شهر تهران افزایش خواهد داد.

وضعیت بزرگراه‌های تهران

در مطالعه‌های جامع حمل‌ونقل و ترافیک تهران، شهر تهران به ۵۶۰ ناحیهٔ ترافیکی داخلی، ۱۵ ناحیهٔ ترافیکی خارجی و هشت محور ارتباطی مستقیم، تقسیم شده است. معابر اصلی مؤثر در ترافیک شهر تهران، به شش دسته شامل آزادراه درون‌شهری، تندراه شهری، شریانی درجهٔ یک، شریانی درجهٔ ۲، جمع و پخش‌کننده و دسترسی محلی، تقسیم می‌شوند. شهر تهران، شبکه‌ای متشکل از ۲۹۶۱ کیلومتر گذرگاه است و بزرگراه‌ها و اتوبان‌های داخل شهری آن، حدود ۱۴ درصد از این شبکه را تشکیل می‌دهند. نوع و طول شبکهٔ معابر شهر تهران، در جدول ۲ نشان داده شده است. این شبکه در سطح تهران بزرگ- که مساحتی در حدود ۷ کیلومتر مربع زیر پوشش مستحدثات دارد- گسترش یافته است. روزانه حدود ۱۱،۵۰۰،۰۰۰ مسافر از این شبکه استفاده می‌کنند و دو میلیون مسافر در هر شبانه‌روز از مسیرهای ورودی و خروجی شهر تهران عبور می‌کنند. این شبکه هم‌اکنون در ساعت اوج سفرها در صبح، ۱،۱۲۰،۰۰۰ سفر را پوشش می‌دهد (شهرداری تهران، ۱۳۹۰).

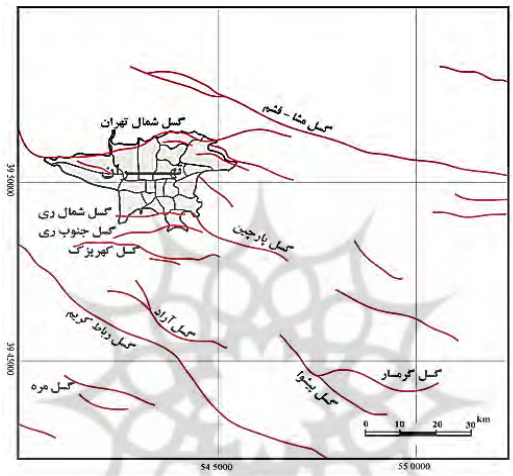
جدول ۲. طول انواع گذرگاه شهر تهران در سال ۱۳۸۹ (کیلومتر)

بزرگراه‌ها و اتوبان‌های داخل محدودهٔ شهر	۴۳۲
رمپ و لوپ‌های دسترسی بزرگراه‌ها	۲۸۵
شریانی درجهٔ یک و دو	۷۷۶
جمع‌کننده و دسترسی محلی	۱۴۶۸
جمع	۲۹۶۱

منبع: شهرداری تهران، ۱۳۹۰

تحلیل خطرپذیری و آسیب‌پذیری شبکهٔ حمل‌ونقل شهر تهران در برابر زلزله

رویکرد آینده‌پژوهی برای اندیشیدن و درک و کشف نظام‌مند تأثیر سوانح طبیعی بر شریان حمل‌ونقل درون‌شهری ضرورت دارد. همچنین باید الگوها و سناریوهایی برای مدیریت امدادرسانی و آماده‌سازی سازمان‌های ذیربط تعیین شوند تا تأثیرهای بالقوهٔ وقایع سنگین، بازسازی شوند. به‌عبارت دیگر، در این روش، با ایستادن در زمان آینده و با توجه به نبود قطعیت می‌توان به حل نارسایی در زمان حال اندیشید. در زمان حاضر، کلان‌شهر تهران با جمعیت نزدیک به ۸/۸ میلیون نفر و با احتساب سفرهای دروازه‌ای که جمعیت شناور، آن را به بیش از ۱۰ میلیون نفر می‌رساند، به‌علت قرارگرفتن در اطراف گسل‌های لرزه‌خیز، وضعیت رودخانه‌های موجود، دوره‌های بازگشت سیلاب، شرایط توپوگرافی و جنس زمین، از نظر آسیب‌پذیری در برابر زلزله در وضعیت نامطمئنی قرار دارد (حسنی، ۱۳۸۳).



شکل ۱. نقشهٔ گسل‌های استان تهران

منبع: عبداللهی، ۱۳۸۳

آسیب‌پذیری شبکهٔ حمل‌ونقل در برابر زلزله

بسیاری از شهرهای دارای تراکم جمعیتی و ساختمانی زیاد، روی کمربندهای زلزله قرار دارند و تجربه‌های زلزله‌های پیشین نشان می‌دهد اجزای شبکهٔ حمل‌ونقل در مقابل لرزش[1] و شکست زمین[2] و پیامدهای احتمالی متعاقب زمین‌لرزه از قبیل روان‌گرایی[3] و زمین‌لغزش آسیب‌پذیرند. در اینجا با توجه به اهمیت شبکهٔ دسترسی، در سه بخش، تأثیر زمین‌لرزهٔ بزرگراه‌ها، پل‌ها و تونل‌ها به‌طور اجمالی بررسی می‌شود (درویش‌زاده، ۱۳۷۰).

تأثیر زمین‌لرزه بر بزرگراه‌ها

در این حالت، در طی شکست زمین، در بزرگراه‌ها گسیختگی رخ می‌دهد و شکاف‌های ریز و درشت از چند میلی‌متر تا گسیختگی‌های بزرگ در زمین و به‌تبع آن در بزرگراه ایجاد می‌کند. به‌طور نمونه، زلزلهٔ ۲۵ فوریهٔ ۲۰۱۰ شیلی با شدت ۸/۸، تأثیر مخربی بر شریان‌های حمل‌ونقل داشت. گاهی زلزله‌ها آثار تخریبی سنگین‌تری بر مسیرهای حمل‌ونقل دارند؛ به‌طوری‌که پس از زلزلهٔ سی‌چوان چین در ۱۲ می ۲۰۰۸ میلادی، سطح جاده‌ها و بزرگراه‌ها به شکل وسیعی دچار گسیختگی شد و دسترسی‌ها دچار اختلال شد.

1. Ground motion
2. Ground failure
3. Liquidfaction

تأثیر زمین‌لرزه بر پل‌ها

پل‌ها عناصر مهمی در سامانهٔ حمل‌ونقل مدرن به‌شمار می‌روند. در زلزله‌های اخیر، به‌ویژه در زلزلهٔ لوما پریتا (۱۹۸۹)، نورتریج (۱۹۹۴) در ایالت کالیفرنیای آمریکا و کوبهٔ ژاپن (۱۹۹۵)، زمین‌لرزهٔ جی‌جی تایوان (۱۹۹۹) و کوکالی ترکیه (۱۹۹۹)، تعداد زیادی از پل‌ها دچار خسارت شدید و گسترده و فروریزش شدند. تخریب پل‌ها در این زلزله‌ها، موجب قطع ارتباط بسیاری از نقاط منطقه شد و عملیات امداد و نجات و فعالیت‌های حیاتی این شهرها را با مشکل‌های جدی مواجه کرد.

شکل ۲. تأثیر زمین‌لرزهٔ آمریکا بر پل بزرگراه

تأثیر زمین‌لرزه بر تونل‌ها

قوس‌های سازه‌ای، مقاومت بسیار زیادی در برابر زلزله دارند. در سال ۱۹۲۳ میلادی- که زلزلهٔ عظیم کانتور رخ داد- تقریباً تمام پل‌ها به‌جز پل‌های قوسی شکستند و فرو ریختند؛ چراکه تونل‌ها جزء سازه‌های قوس‌دار محسوب می‌شوند؛ بنابراین، این موضوع ممکن است یکی از دلایل مقاومت بالای تونل‌ها در برابر زلزله باشد.

بررسی آسیب‌پذیری شبکهٔ حمل‌ونقل شهر تهران در برابر زلزله

در هنگام وقوع زلزله در مرز گسیختگی گسل‌ها، هیچ ساختمانی با هر ضریب ایمنی سالم نمی‌ماند. مناطقی که در جوار منطقهٔ گسست قرار دارند، ویرانی بسیار شدیدی خواهند داشت. به‌دلیل مجاورت ساختمان‌ها با خیابان‌ها، این موضوع اهمیت بیشتری می‌یابد. با توجه به اینکه ساخت‌وساز در کلان‌شهری مانند تهران، براساس استانداردهای جهانی صورت نگرفته است، آوار ساختمان‌های فروریخته موجب مسدودشدن بسیاری از معابر می‌شود. عوامل بحران‌زای ناشی از وقوع زلزله برای شبکهٔ حمل‌ونقل درون شهری تهران را می‌توان در موارد زیر دسته‌بندی کرد (حسینی، ۱۳۸۷).

آسیب‌دیدن پل‌ها که تعداد آن‌ها حدود ۱۸۰ مورد است و در صورت شدیدبودن به مسدودشدن مسیر اصلی منجر می‌شود؛

ناپایداری شیب‌های مشرف بر بسیاری از بزرگراه‌ها که به مسدودشدن جزئی یا کامل مسیرها منجر می‌شود؛

فروریزش ساختمان‌های بلند مجاور بزرگراه‌ها و بسیاری از خیابان‌های اصلی که ممکن است مسیر را کاملاً مسدود یا ناامن کند؛

آسیب‌دیدن شبکه‌های آب، گاز و فاضلاب که نه تنها خیابان‌ها و بزرگراه‌ها، بلکه تونل‌های مترو را نیز تهدید می‌کند؛

سقوط دکل‌های برق و مخابرات که علاوه بر مسدودکردن مسیرها، احتمال وقوع آتش‌سوزی را نیز افزایش می‌دهد؛

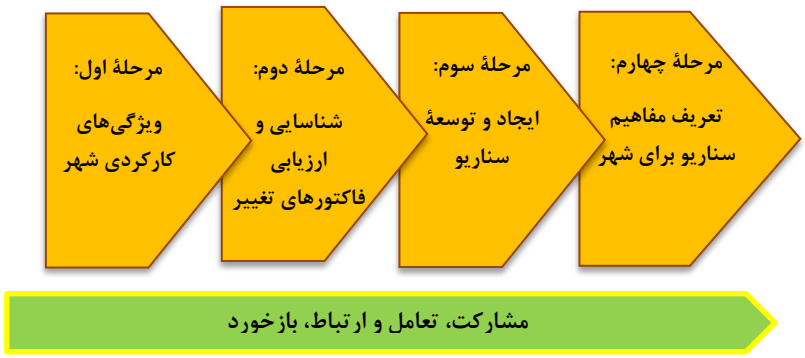
رهاشدن خودروها در سطح خیابان‌ها از سوی مردم به‌علت نبود امکان حرکت و تمایل آن‌ها برای دسترسی به منزل خود و خویشان برای باخبرشدن از وضعیت خانواده و بستگان که موجب سد معابر می‌شود؛

اختلال در عملکرد چراغ‌های راهنمایی به‌علت قطع برق که بی‌نظمی ناشی از بحران زلزله را تشدید می‌کند.

عوامل یادشده، کارایی شبکه را به‌شدت کاهش می‌دهند و حتی ممکن است آن را به صفر برسانند. توزیع ناهمگون مراکز امداد و نجات در سطح شهر تهران از یک سو و یکنواخت‌نبودن توزیع جمعیت در شهر از سوی دیگر نیز تشدیدکنندهٔ شرایط بحرانی‌اند. به‌علاوه، هجوم گستردهٔ مردم به خیابان‌ها برای عزیمت به محل زندگی نزدیکانشان نیز حجم ترافیک را به‌طور ناگهانی و جهشی افزایش می‌دهد که این موضوع خود به ایجاد گره‌های ترافیکی متعدد و عملاً توقف عملکرد شبکه منجر می‌شود. نکتهٔ بسیار مهم آن است که براساس مطالعه‌ها و تجربه‌های جهانی، زمان بهینه برای کمک به مجروحان و آسیب‌دیدگان حوادث زمین‌لرزه، ۲۴ ساعت اول پس از حادثه است. در هر ثانیه از این ۲۴ ساعت می‌توان جان صدها نفر را نجات داد؛ بنابراین، ناهماهنگی در مدیریت و بی‌کفایتی در نجات جان انسان‌ها، موجب تلف‌شدن جان هزاران شهروند است.

حمل‌ونقل اضطراری پس از زلزله

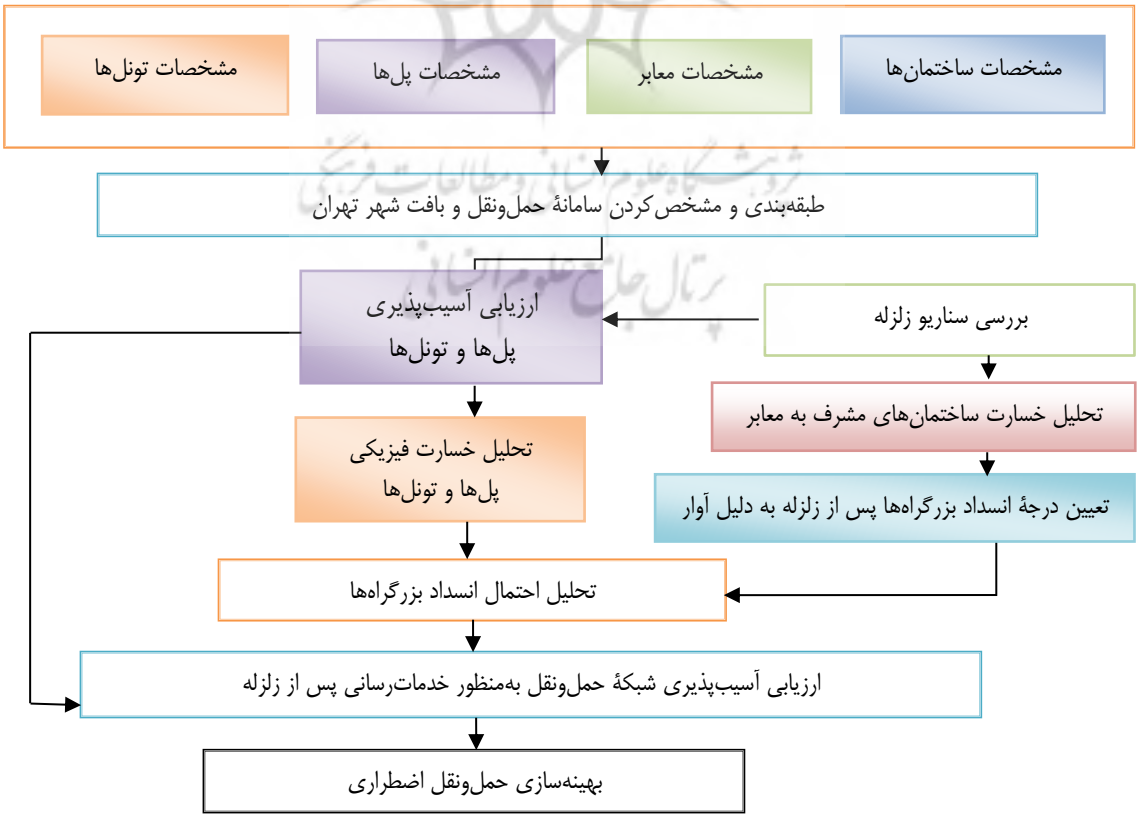
از آغاز پژوهش در مدیریت حمل‌ونقل اضطراری در کشور، مدت زیادی نمی‌گذرد. اگرچه نتایج معینی به‌دست آمده است که در شرایط اضطراری پس از زلزله، زمان جابه‌جایی از بین عوامل مختلف دخیل در طراحی شبکهٔ حمل‌ونقل، مهم‌ترین نقش را ایفا می‌کند، باید درنظر داشت که الزاماً کوتاه‌ترین راه، سریع‌ترین راه برای سفر نیست. اساساً طراحی شبکهٔ دسترسی حمل‌ونقل عبارت است از انتخاب زیرمجموعه‌ای از مجموعهٔ معینی از کمان‌های شبکه، به‌گونه‌ای‌که تابع هدفی را بهینه کند و در محدودیت‌ها بگنجد که تابع هدف زمان سفر است و محدودیت اتصال همهٔ نقاط آسیب‌پذیر به مراکز امدادی باشد؛ به‌طوری‌که اولین گروه‌های واکنش اضطراری بتوانند از این مسیرها برای جابه‌جایی، جست‌وجو، نجات و انتقال مصدومان، اطفای حریق و مسائلی از این دست در ساعات و روزهای اولیهٔ پس از زلزله با استفاده از سیستم پردازش مدیریت حمل‌ونقل اضطراری عمل کنند (شکل ۳). مسلم است که پس از زلزله، یکی از اهداف اصلی در مرحلهٔ پاسخ مدیریت شهری، یافتن سریع‌ترین راه برای انتقال مصدومان سانحه به مراکز امدادی و تخلیه و جابه‌جایی مردم سانحه‌دیده به مراکز ازپیش تعیین‌شده است. این امر میسر نمی‌شود، مگر آنکه شبکهٔ دسترسی، ایمن و ازپیش تعیین‌شده باشد؛ برنامه‌ریزی آن برای هریک از فعالیت‌های اجرایی در مدیریت سانحه از جمله امداد، تخلیهٔ اضطراری و پشتیبانی به‌طور جداگانه انجام شود و سازمان‌های مرتبط در چارچوب تحلیل بهینه‌سازی مسیر حمل‌ونقل اضطراری، از این مسیرها اطلاع داشته باشند (شکل ۶). ازطرفی، این مسیریابی بدون اطلاع از میزان آسیب‌پذیری منطقهٔ مورد نظر ناممکن می‌نماید. این شبکه باید به‌گونه‌ای انتخاب شود که احتمال انسداد آن در مقایسه با راه‌های مشابه در پایین‌ترین حد باشد. درصورتی‌که احتمال انسداد بالا باشد، باید با ایجاد سناریوهای حمل‌ونقل اضطراری، پیشنهادهایی برای ایجاد چنین شبکه‌ای (شکل ۴) ارائه شود که شامل تعریض، ایمن‌سازی جدارهٔ مسیر، ایجاد راه‌های جدید و مواردی از این دست است که به فراخور منطقه و موقعیت، راهکارهایی اثربخش تلقی می‌شوند. پس از زلزلهٔ شبکه‌ای که به‌احتمال بالا کمترین آسیب را دیده است، خدمات مناسب برای امداد و نجات را فراهم کنند (بهبهانی، ۱۳۸۸).



شکل ۳. روش‌شناسی طراحی و ایجاد سناریو برای حمل‌ونقل اضطراری

بهینه‌سازی سیستم مدیریت حمل‌ونقل اضطراری

مدیریت حمل‌ونقل اضطراری زلزله، مطالعهٔ مدیریت ترافیک منطقهٔ فاجعه براساس ارزیابی از ترافیک، پیش‌بینی پاسخ به تقاضا و قابلیت واکنش اضطراری پس از زلزله است که توسعهٔ برنامه‌های اقتضایی مربوط به ترافیک، تصمیم‌گیری و سازماندهی در شرایط اضطراری و اقدام‌های مدیریتی امداد و نجات را پیاده‌سازی می‌کند. بهینه‌سازی سیستم مدیریت حمل‌ونقل اضطراری زلزله را می‌توان به چند بخش تقسیم کرد: سیستم تصمیم‌گیری و فرماندهی حمل‌ونقل اضطراری، سیستم پیش‌بینی تقاضا در حمل‌ونقل اضطراری، سیستم ارزیابی قابلیت عبور در حمل‌ونقل اضطراری، برنامهٔ پیاده‌شده و یکپارچهٔ سیستم حمل‌ونقل اضطراری، سیستم‌های پشتیبانی حمل‌ونقل اضطراری و سیستم افزایش ظرفیت حمل‌ونقل اضطراری. پژوهش درمورد چگونگی حمل‌ونقل در کوتاه‌ترین زمان، انتخاب مسیر حمل‌ونقل مناسب و ارتقای ساختار سیستم مدیریت حمل‌ونقل اضطراری پس از زلزله، اهمیت نظری و عملی زیادی دارد (بالایی لنگرودی، ۱۳۹۰).



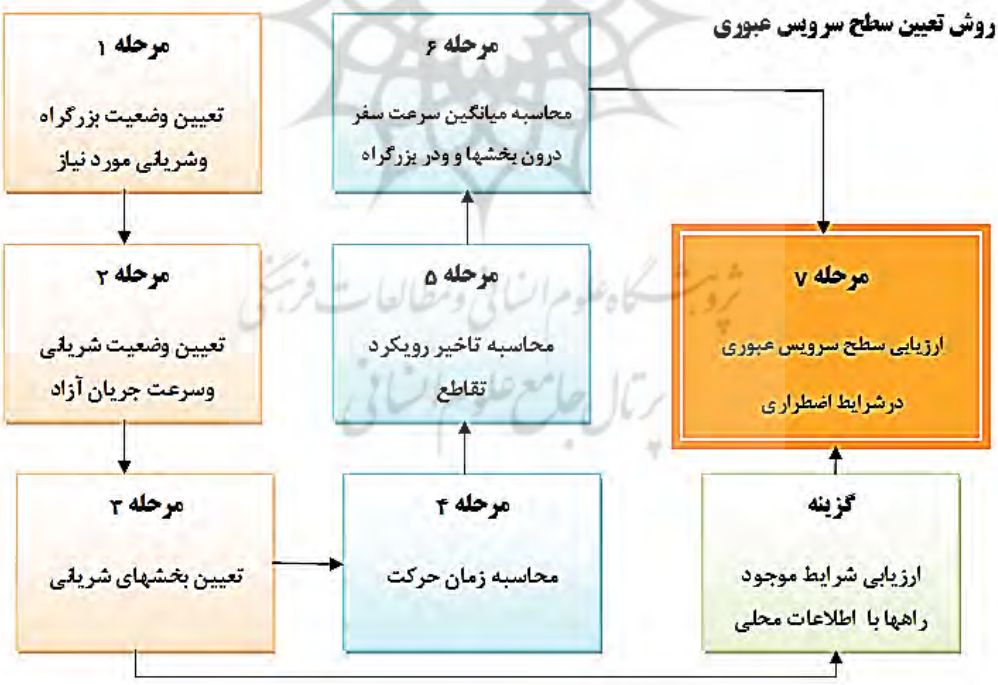
شکل ۴. چارچوب تحلیل بهینه‌سازی حمل‌ونقل اضطراری

پژوهش‌های انجام‌شده در حوزهٔ مدیریت حمل‌ونقل اضطراری زلزله، بیشتر بر ارزیابی وضعیت ترافیک مناطق شهری پس از زلزله متمرکز شده است و پیش‌نیاز یک تخلیهٔ سازماندهی‌شدهٔ مؤثر ساکنان پس از زلزله، مسدودنشدن معابر، قابلیت اعتماد و ایمنی شبکهٔ حمل‌ونقل برای تیم امداد و نجات عنوان شده است؛ بنابراین، ساختار سیستم مدیریت حمل‌ونقل اضطراری پس از زلزله، اهمیت بسیاری برای شرایط پس از بحران دارد.

ساختار سیستم مدیریت حمل‌ونقل اضطراری

سیستم مدیریت حمل‌ونقل اضطراری پس از زلزله عبارت‌اند از: سیستم فرماندهی و تصمیم‌گیری حمل‌ونقل اضطراری، سیستم پیش‌بینی تقاضا در حمل‌ونقل اضطراری، سیستم ارزیابی قابلیت عبور در حمل‌ونقل اضطراری، سیستم برنامه‌ریزی عملیات حمل‌ونقل اضطراری، سیستم پشتیبانی حمل‌ونقل اضطراری، سیستم بهبود قابلیت‌های حمل‌ونقل اضطراری؛ به‌طوری‌که این شش سیستم معرفی‌شده یک ساختار کامل مدیریت ترافیک اضطراری را تشکیل می‌دهند.

سیستم تصمیم‌گیری و فرماندهی، تضمینی برای کارایی متعارف پنج سیستم دیگر است. سیستم پیش‌بینی تقاضا و سیستم ارزیابی توانایی عبور در حمل‌ونقل اضطراری، اساس سیستم برنامه‌ریزی عملیاتی حمل‌ونقل اضطراری است. سیستم برنامه‌ریزی حمل‌ونقل اضطراری، اساسی‌ترین سیستم پشتیبانی به‌شمار می‌رود. توانایی حمل‌ونقل اضطراری با اتکا به هماهنگی با سیستم‌های دیگر به‌دست می‌آید. کردار (شکل ۵) ساختار سیستم بهینه‌سازی مدیریت حمل‌ونقل اضطراری برای بهبود قابلیت‌های حمل‌ونقل را نشان می‌دهد (چیانگ، ۱۹۹۲).

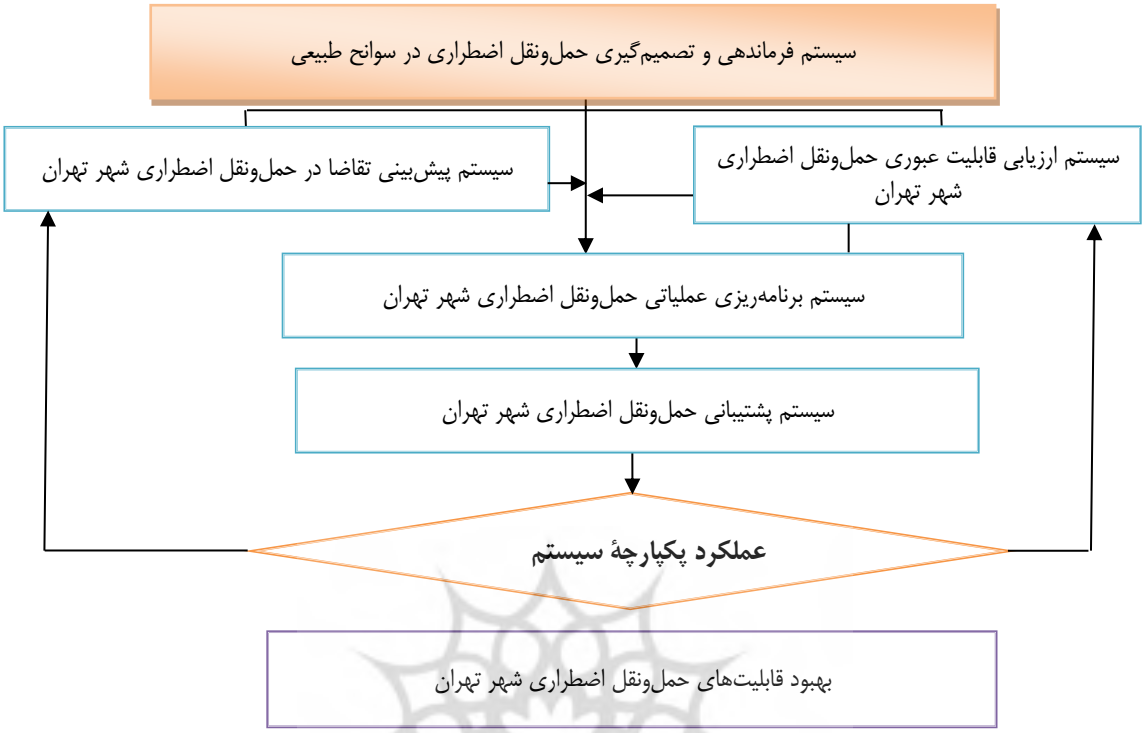


شکل ۵. روش‌شناسی تعیین سطح سرویس عبوری در شرایط اضطراری

بهینه‌سازی سیستم فرماندهی و تصمیم‌گیری حمل‌ونقل اضطراری

فرماندهی و تصمیم‌گیری حمل‌ونقل اضطراری، سیستمی است که با روشن‌کردن سطوح حمل‌ونقل اضطراری در مدل بهینه‌سازی و برنامه‌ریزی ترافیک اضطراری- برای اقدام‌های حمل‌ونقل، امنیت عمومی، آتش‌نشانی، پلیس راهنمایی و

رانندگی، کمک‌های اولیه- را با نظم و هماهنگی هدایت می‌کند تا در کوتاه‌ترین زمان با بهبود ظرفیت حمل‌ونقل، ترافیک به حالت عادی بازگردد.



شکل۶. چارچوب سیستماتیک بهینه‌سازی قابلیت‌های مدیریت حمل‌ونقل اضطراری

سیستم پیش‌بینی در بهینه‌سازی حمل‌ونقل اضطراری

پیش‌بینی منطقی تقاضای ترافیک پس از زلزله، شالودهٔ اصلی مدیریت حمل‌ونقل اقتضایی است که قبل از تنظیم برنامه و کنترل ترافیک انجام می‌شود و به‌نوعی تضمینی برای عملیات امداد و نجات موفق است. با توجه به تخریب جاده‌ها، کنترل‌های ترافیکی و رساندن کالاهای امدادی، ویژگی‌های حمل‌ونقل به‌شدت پس از زلزله تغییر می‌کند. اولویت حمل‌ونقل در شرایط اضطراری پس از زلزله، بیشتر شامل خارج‌کردن مجروحان وخیم و حمل‌ونقل امدادگرها، دارو و مواد غذایی است. روند پیش‌بینی تقاضا ترافیک را به چهار مرحله می‌توان تقسیم کرد:

۱. تعیین تعداد خودروهایی که درحال تردد در مناطق هستند؛
۲. آنالیز اطلاعات مدل توزیع ترافیک و الگوریتم حمل‌ونقل پس از زلزله؛
۳. ارزیابی موقعیت مکانی نقاط آسیب‌دیده برای امدادرسانی به مجروحان و بازیابی تأسیسات حیاتی شهر؛
۴. تعیین حجم ترافیک نیروهای امدادی، برای ارسال تجهیزات، دارو و مواد غذایی مورد نیاز برای بازماندگان.

برای تطابق و اصلاح ویژگی‌های سیستم حمل‌ونقل در شرایط بحرانی، برای ارزیابی تقاضای ترافیک پس از زلزله، چهار مرحلهٔ مذکور مدل مرجع نسبتاً خوبی به‌شمار می‌رود.

بهینه‌سازی سیستم ارزیابی قابلیت حمل‌ونقل عبوری

پس از زلزله، با تخریب سیستم حمل‌ونقل منطقه، ظرفیت حمل‌ونقل کاهش می‌یابد. در نتیجه، مسدودبودن ترافیکی جدی در بعضی از بخش‌ها، موانعی برای نجات اضطراری ایجاد می‌کند؛ بنابراین، شرایط ترافیک منطقهٔ زلزله‌زده، یکی از

موضوع‌های نگرانی فرماندهی بحران شهر تهران است. همچنین پیش‌بینی و ارزیابی به‌موقع ظرفیت حمل‌ونقل در واکنش اضطراری جمع‌آوری اطلاعات درمورد آب‌وهوا و شرایط جاده و ترافیک (ترافیک، نرخ جریان، فاصلهٔ زمان سفر) از منطقهٔ زلزله‌زده بسیار مهم است (بهبهانی، ۱۳۸۸). با توجه به اینکه منابع حمل‌ونقل، بعد از زلزله محدود است، تیم واکنش حمل‌ونقل اضطراری باید بتواند از تحلیل مسیر بهینهٔ تیم امداد و نجات بعد از زلزله استفاده کند تا در کمترین زمان، در مسیر بهینه با حداقل هزینه و حداکثر ظرفیت عبوری خدمات‌رسانی کند.

بهینه‌سازی سیستم برنامهٔ عملیاتی حمل‌ونقل اضطراری

اساس طرح واکنش اضطراری، شناسایی و ارزیابی اهمیت ریسک بالقوه، نوع تصادف‌ها، احتمال وقوع و تأثیر شدت حادثه است. در طرح‌های اضطراری شهری پس از زلزله، به‌ویژه در شهر تهران برای برنامه‌های اضطراری محلی و مراکز مدیریتی باید مدیریت منسجمی حاکم باشد. همچنین برنامه‌ریزی اقتضایی مدیریت مناطق و نهادهای دولتی، مطابق وضعیت عملیاتی پس از زلزله باید برنامه‌ریزی یکپارچه باشد. در اینجا مشخص‌کردن نحوهٔ روابط همکاری مقام‌های مربوط، پیاده‌سازی سیستم پردازش اطلاعات برای واکنش سریع و استانداردکردن روند سیستم واکنش اضطراری الزامی است تا از توانایی خطوط تأمین آب و غذا و زنجیرهٔ تدارکات برای حمایت از منافع جامعه و امنیت مردم، اطمینان حاصل شود.

بهینه‌سازی سیستم مراقبت از حمل‌ونقل اضطراری

در بهینه‌سازی حمل‌ونقل اضطراری، ضرورت دارد سازمان کنترل ترافیک، کنترل حمل‌ونقل را پس از زلزله برعهده گیرد تا در پناه کانال سبز مسیر امداد و از طریق راهنمایی‌های ترافیکی- که از طریق سیستم تصمیم‌گیری فراهم می‌شود- واحد کنترل ترافیک، با مسیردهی درست و در کوتاه‌ترین زمان و بازخورد به‌موقع اطلاعات، به بخش‌های دیگر درگروه‌های امداد و نجات اضطراری کمک کند تا ترافیک شبکهٔ جاده، هرچه سریع‌تر طبیعی شود. پیش‌نیازهای لازم برای بهینه‌سازی سیستم مراقبت از حمل‌ونقل اضطراری به شرح زیر است:

۱. ایجاد ارتباطی منسجم بین بخش‌های مراقبت از حمل‌ونقل اضطراری؛
۲. فراهم‌کردن امکانات پیشرفتهٔ مخابراتی و سیستم فرماندهی برای ارتباطات در حمل‌ونقل اضطراری؛
۳. شناسایی رانندگان حرفه‌ای برای کارایی بهتر در حمل‌ونقل اضطراری؛
۴. توسعهٔ ساختار سیستمی برای تضمین حمل‌ونقل اضطراری.

بهینه‌سازی قابلیت بازیابی سیستم حمل‌ونقل اضطراری

شریان حمل‌ونقل، اهمیتی راهبردی و حیاتی برای امدادرسانی به بازماندگان زلزله دارد؛ بنابراین، اولین موردی که به‌سرعت باید آماده و ترمیم شود، مسیرهای دسترسی نجات‌یافتگان است. در مرحلهٔ دوم، باید امکانات و تجهیزات لازم برای ترمیم و اتصال مسیرهای مختلف حمل‌ونقل تعیین شود. همچنین باید امکانات مهندسی لازم برای اتصال خطوط حمل‌ونقل ریلی، بزرگراه‌ها و هواپیمایی، از جمله فرودگاه‌ها، ایستگاه‌ها و انبارها بازبینی شود؛ چراکه امکان دسترسی و اتصال مسیرهای جابه‌جایی با حوزه‌های بارگیری، سکوها، ایستگاه‌ها و تأسیسات سوخت‌گیری، بر ظرفیت حمل‌ونقل تأثیر می‌گذارد. در مرحلهٔ سوم، تأمین و تدارک تجهیزات مورد نیاز برای مدیریت حمل‌ونقل اضطراری است که باید در جایی مشخص، نگهداری و ذخیره‌سازی شود. ذخیره‌سازی تجهیزات برای حمل‌ونقل اضطراری عبارت‌اند از: ابزارآلات برای

تعمیر و بازسازی سریع پل‌ها، تونل‌ها و هاب‌های ترافیکی و همچنین ماشین‌آلات تعمیر و نگهداری و ابزار پاک‌سازی جاده و تجهیزات امداد و نجات. این تجهیزات باید به‌صورت منطقی با تنوع زیاد و تعداد مناسب، در انبارهای مناسب مناطق شهری توزیع شوند.

نتیجه‌گیری

درحالی‌که آینده‌پژوهی، به‌طور گسترده‌ای در عرصه‌های سیاسی، اقتصادی و فناوری استفاده می‌شود، از ابزار کیفی آینده‌پژوهی، به‌ندرت در برنامه‌ریزی حمل‌ونقل شهری استفاده می‌شود. این امر ممکن است تا حدی به‌دلیل جدیدبودن، بی‌اطلاعی یا نبود علاقهٔ حرفه‌ای به این موضوع باشد، اما همچنان امکان دارد کاستی‌هایی نیز دربارهٔ روش‌ها، ابزار تحلیلی و فرایندها وجود داشته باشد که مانع توسعهٔ کامل آینده‌نگری شود. کلان‌شهر تهران به‌دلیل تراکم بالا و تحرک زیاد جمعیت، ساختمان‌ها و خودروها و استقرار انواع کاربری‌های شهری و فضاهای عمومی، سفرهای درون‌شهری شایان ملاحظه‌ای دارد و محدودیت‌ها و مشکل‌های ناشی از کاستی‌ها و کمبود ناوگان حمل‌ونقل پایا و پویا و درعین حال، اثربخش، ضرورت ایجاد شبکه‌ای پیشرفته و مؤثر در ناوگان حمل‌ونقل شهری را اجتناب‌ناپذیر ساخته است. با توجه به آسیب‌پذیری مناطق شهری تهران، بررسی سوانح طبیعی و عوامل داخلی و خارجی تأثیرگذار، تعیین اهداف و سیاست‌های بلندمدت و سپس تدوین، ارزیابی و انتخاب راهبردهای مناسب با رویکرد آینده‌پژوهی ضروری است تا سیستم مدیریت حمل‌ونقل اضطراری یکپارچه در شهر تهران، ایجاد و تقویت شود. البته باید درنظر داشت که مدیریت حمل‌ونقل اضطراری، به روش‌های مسیریابی امداد و کاهش زمان امدادرسانی محدود نمی‌شود؛ بلکه ایده‌های نجات‌دهنده و قدرت مانور در شرایط بحرانی، این موقعیت را گسترش می‌دهد. در این میان، استقرار مدیریت حمل‌ونقل اضطراری و بهینه‌سازی مفاهیم مدیریت و بهبود کارایی، به‌عنوان مؤلفه‌های اصلی حمل‌ونقل در کنار مسیر مطرح می‌شوند تا در شرایط بحرانی بتوان با کاهش یا حذف خسارت‌های جدی ناشی از زلزله، در کمترین زمان ممکن، جریان ترافیک در بزرگراه‌ها و معابر را روان کرد.

منابع

۱. آل رسول، س، ۱۳۸۵، **بررسی روش‌های کاهش تبعات ناشی از زلزله بر شریان‌های حیاتی شهر تهران.**

۲. احمدی، ح، ۱۳۷۶، **نقش شهرسازی در کاهش آسیب‌پذیری شهر،** مجلهٔ مسکن و انقلاب.

۳. بالایی لنگرودی، ب، ۱۳۹۰، **ارزیابی آسیب‌پذیری شبکهٔ حمل‌ونقل در برابر زلزله،** پایان‌نامهٔ کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران.

۴. بهبهانی، حمید، ۱۳۸۸، **مهندسی ترافیک و حمل‌ونقل،** سازمان شهرداری‌ها و دهیاری‌های کشور، تهران.

۵. جایکا، ۱۳۸۰، **گزارش نهایی پروژهٔ ریزپهنه‌بندی لرزه‌ای تهران بزرگ.**

۶. حسنی، ن، ۱۳۸۳، **زلزله در آلبوم تجربه- فراگیری مهندسی زلزله با مشاهدهٔ خرابی‌ها،** مرکز مطالعات بحران‌های طبیعی در صنعت.

۷. حسنی، ن، ۱۳۸۳، **ضرورت بازنگری در مدیریت بحران زلزله در ایران،** مجموعه مقالات کارگاه مشترک ایران و ژاپن.

۸. حسینی، م، **شبکهٔ حمل‌ونقل تهران تا چه حد در برابر زلزله آماده است،** پژوهشکدهٔ سازهٔ پژوهشگاه بین‌المللی زلزله.

۹. حسینی، م، ۱۳۸۷، **مدیریت بحران،** نشر شهر، تهران.

۱۰. حسینی، م، منتظرالقائم، س و نوروزی، ر، ۱۳۸۹، **زلزلهٔ بزرگ ون چوان چین،** سازمان پیشگیری و مدیریت بحران شهر تهران.

۱۱. درویش‌زاده، ع، ۱۳۷۰، **زمین‌شناسی ایران،** نشر دانش امروز وابسته به انتشارات امیرکبیر، تهران.

۱۲. سیدحسینی، س. م، ۱۳۸۶، **برنامه‌ریزی مهندسی حمل‌ونقل و تحلیل جابه‌جایی مواد،** انتشارات دانشگاه علم و صنعت، تهران.

۱۳. شریعت، الف، ۱۳۸۰، **ارزیابی شریان‌های حیاتی هنگام زلزله،** رسالهٔ دکتری، دانشگاه علم و صنعت، تهران.

۱۴. شهرداری تهران، ۱۳۹۰، **مشخصات شبکهٔ بزرگراهی و راه‌های درون‌شهری تهران،** معاونت حمل‌ونقل و ترافیک تهران.

۱۵. عبدالهی، م، ۱۳۸۳، **مدیریت بحران در نواحی شهری،** انتشارات سازمان شهرداری‌ها و دهداری‌های کشور، تهران.

۱۶. مرکز مطالعات زلزله و زیست‌محیطی تهران بزرگ، ۱۳۷۷، **گزارش پروژهٔ ریزپهنه‌بندی لرزه‌ای تهران بزرگ،** شهرداری تهران.

۱۷. معین‌فر،۱۳۷۳، **مجموعه اطلاعات پایهٔ زلزله‌های ایران،** مؤسسهٔ نمایشگاه‌های فرهنگی ایران.

مقدم، ح، ۱۳۷۵، **مهندسی زلزله،** جلد اول: مبانی و اصول بارگذاری لرزه‌ای، انتشارات مرکز تحقیقات و مطالعات راه و ترابری.

۱۸. یمینی‌فرد، ف، سیاهکالی مرادی، ع، متولی عنبران، ع، نوروزی، ر و نقوی، م، ۱۳۸۸، **لرزه‌خیزی و ساختار سرعتی پوستهٔ تهران،** سازمان پیشگیری و مدیریت بحران شهر تهران.

19. Abdollahi, M., 2004, **Crisis Management in Urban Districts,** State Municipalities and Governorships Organization Publication. *(In Persian)*

20. Ahmadi, H., 1997, **Role of Urban Planning in Reducing City Vulnerability**, Maskan & Enghelab Magazine. *(In Persian)*

21. Alerasoul, S., 2006, **Study of Methods of Reducing Earthquake Outcomes in Critical Tehran Streets.** *(In Persian)*

22. Balaei Langroudi, B., 2011, **Evaluation of Transport Network Vulnerability against Earthquake,** M.S Thesis, University of Tehran. *(In Persian)*

23. Bas z, N. and Kiremidjian, A. S., 1996, **Risk Assessment for Highway Systems,** Report No. 118, John A. Blume Earthquake Engineering Center, Department of Civil Engineering, Stanford University and Stanford, CA.

24. Behbahani, H., 2009, **Traffic and Transport Engineering, State Municipalities and Governorships Organization,** Tehran. *(In Persian)*

25. Chang, S. E. and Nojima, N., 1999, **Measuring Lifeline System Performance: Highway Transportation System in Recent Earthquakes**, Proceedings of the 6th National Earthquake Conference on Earthquake Engineering, Paper No. 70, Earthquake Engineering Research Institute (EERI), Oakland, CA.

26. Chang, S. E. and Nojima. N., 2001, **Measuring Post-Disaster Transportation System Performance: The 1995,** Kobe Earthquake in Comparative Perspective (J). Transportation Research Part A.

27. Chang, S. E., Seligson, H. A. and Eguchi, R. T., 1996, **Estimation of the Economic Impact of Multiple Lifeline Disruption: Memphis Light,** Gas and Water Division Case Study, Technical Report NCEER-96-0011, National Cente for Earthquake Engineering Research, University at Buffalo.

28. Chiang, W. and Jin, L., 1992, **The Counter Measures for Urbanization Integrated Disaster in China (M),** Peking: Chinese Construction Industry Publisher.

29. Darvishzadeh, A., 1991, **Iranian Geology,** Danesh Emrouz Publication, Affiliated to Amirkabir University Publication. *(In Persian)*

30. Greater Tehran Earthquake & Environmental Studies Center, 1998, **Report of Greater Tehran Sub-Zoning Project Report,** Tehran Municipality. *(In Persian)*

31. Hassani, N., 2004, **Earthquake in Experience, Learning Earthquake Engineering by Seeing Damages,** Center of Studies of Natural Crises in Industry. *(In Persian)*

32. Hassani, N., 2004, **Necessity of Revision of Earthquake Crisis management in Iran,** collection of articles of Iran and Japan joint workshop. *(In Persian)*

33. Hosseyni, M., 2002, **How Ready is Tehran Transport Network Against Earthquake,** Structural Research Institute of International Earthquake Research Center. *(In Persian)*

34. Hosseyni, M., 2008, **Crisis Management,** Shahr Publication, Tehran. *(In Persian)*

35. Hosseyni, M., Montazer Alghaem, S. and Nowrouzi, R., 2010, **Great Van Chuan Earthquake in China,** Tehran Crisis Management & Prevention Organization. *(In Persian)*

36. Houshiya, M., 1981, **Seismic Damage Restoration of Underground Water Pipeline,** Proceedings of US-Japan Cooperation Res. Seismic Risk Analysis and Its Application to Lifeline System.

37. Isoyama, R., Iwata, T. and Watanabe, T., 1985, **Optimization of Post-Earthquake Restoration of City Gas Systems,** Proceeding of the Trilateral Seminar Workshop on Lifeline Earthquake Engineering, Taipei, Taiwan.

38. Jaika, 2001, **Final Report of Greater Tehran Seismic Sub-Zoning Project.** *(In Persian)*

39. Koyke, Y., Ide, O., Takahashi, R., Bas, M. and Özhan, M., 2004, **The Study on a Disaster Prevention/Mitigation Basic Plan in Istanbul part 2,** Evaluation of Urban Vulnerability 13th World Conference on Earthquake Engineering ,Vancouver, B.C., Canada.

40. Kozin, F. and Zhou, H., 1990, **System Study of Urban Response and Reconstruction Due to Earthquake Journal of Engineering Mechanics,** ASCE.

41. Liang Chang Amr S. Elnashai Billie F. Spencer, Transportations Systems Modeling and Applications in Earthquake Engineering, Report No. 10-03, Mid- America earthquake center, 2010.

42. Liu Chunguang, Du Wei, Zhai Tong. Reliability of the Seismic Cabalitity of Urban Transportation System (J).Earthquake Engineering and Engineering Vibration, 1999.

43. Mehlhorn Sandy, 2009, **A Method For Prioritizing Highway Routes for Reconstruction after a Natural Disaster,** A Dissertation Presented for the Doctor of Philosophy Degree the University of Memphis, December.

44. Moeinfar, 1994, **Collection of Basic Information of Iranian Earthquakes,** Iran Cultural Exhibitions Institute. *(In Persian)*

45. Moghaddam, H., 1996, **Earthquake Engineering,** Volume 1: Fundamentals & Principles of Seismologic Loading, Road & Transportation Studies Center Publication. *(In Persian)*

46. Naga, P. and Fan, Y. Y., 2007, **Quick Estimation of Network Performance Measures Using Associative Memory Techniques,** Transportation Research.

47. Seyedhosseyni, S. M., 2007, **Materials Displacement Analysis & Transport Engineering Planning,** Iran University of Science & Technology Publication. *(In Persian)*

48. Shariat, A., 2001, **Evaluation of Critical Routes in Earthquake,** PhD Dissertation, Iran University of Science & Technology Publication. *(In Persian)*

49. Tehran Municipality, 2011, **Specifications of Highway Network and Tehran Intracity Roads,** Tehran Traffic & Transport Deputy Office. *(In Persian)*

50. Wakabayashi, H. and Kameda, H., 1992, **Network Performance of Highway Systems Under Earthquake Effects: A Case Study of the 1989 Loma Prieta Earthquake,** The 5th US-Japan Workshop in Earthquake Disaster Prevention for Lifeline Systems, Public Works Research Institute, Tsukuba Science City, Japan.

51. Wang Zhitao, Wang Ling, Zhang Xiuyan. Nonlinear on Urban Traffic Analysis System Based on GIS for the Optimal Path after the Earthquake (J). Wuhan University of Technology (Transportation Science & Engineering) 2008.

52. Yaminifard, F., Siahkali, A., Motevalli Anbaran, A., Norouzi, R. and Naghavi, M., 2009, **Seismicity and Speed Crust Structure of Tehran,** Tehran Crisis Management & Prevention. *(In Persian)*

53. Zhang, R. H., 1992, **Lifeline Interaction and post-earthquake urban system reconstruction, Proceedings of 10th World Conference on Earthquake Engineering,** Balkema, Rotterdam.