

## تحلیل آسیب‌پذیری شبکه معابر و سنجش گره‌های ترافیکی

### در شرایط وقوع زلزله

با رویکرد مدیریت بحران (مورد مطالعه: منطقه ۲۱ تهران)

محمد رحیم غلامی<sup>۱</sup>

از صفحه ۹ تا ۵۲

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۱۱/۱۳ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۶/۱۷

#### چکیده

**موضوع و هدف:** در این پژوهش به بررسی دو موضوع مهم مدیریت بحران و شبکه معابر در لایه راهبردی با شناخت معیارهای مورد تأکید در برنامه‌ریزی شهری پرداخته شده است؛ این پژوهش با تدوین طرح‌های انتظامی - ترافیکی و در نظر گرفتن الزامات مقابله با بحران‌ها می‌تواند چارچوب مناسبی برای ایجاد سازگاری بین راهبردهای ترافیکی و اقدامات مربوط به کاهش اثرات بلایای طبیعی و انسان‌ساخت باشد. هدف این پژوهش، شبیه‌سازی گره‌های ترافیکی در برابر زلزله‌های احتمالی و ایمن‌سازی ترافیک در شبکه معابر در موقع حوادثی چون زلزله است. **روش:** این پژوهش از نوع کاربردی و روش آن، توصیفی - تحلیلی می‌باشد. داده‌های مورد استفاده از نوع اسنادی و میدانی بوده و برای جمع‌آوری و گردآوری اطلاعات از روش‌های کتابخانه‌ای و اینترنت استفاده شده که اطلاعات مربوط به شاخص‌های پژوهش، از طریق پرسشنامه با اخذ نظرات کارشناسان متخصص و خبرگان شهرداری، مدیریت بحران و پلیس راهنمایی و رانندگی حاصل گردیده و با روش‌های مورد اشاره در بحث یافته‌ها مورد ارزیابی و تحلیل قرار گرفته‌اند.

**یافته‌ها:** در مرحله تحلیل، ابتدا داده‌های کلیه شاخص‌ها به صورت توصیفی از طریق پرسشنامه به دست آمده و مقادیر استخراج شده بر اساس روش تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) و Expert Choice با وزن‌دهی شاخص‌های مربوطه تحلیل شده و سپس با استفاده از نرم‌افزار GIS، نقشه ریزپهنه‌بندی آسیب‌پذیری نواحی منطقه ۲۱ تهران با منطق Fuzzy ارائه می‌گردند.

**نتایج:** نتایج پژوهش نشان می‌دهد در زلزله‌ای با شدت ۷ م‌کالی، بیشترین گره‌های ترافیکی به ترتیب در دامنه خیلی زیاد، زیاد، متوسط، کم و خیلی کم در ناحیه ۳، ناحیه ۲ و ناحیه ۱ شهرداری قرار دارند. در پایان، نتیجه حاصل شد که در صورت وقوع زلزله با مقیاس ۷ م‌کالی، شهرک‌های چیتگر شمالی، استقلال، ویلاشهر و وردآورد دارای بیشترین گره‌های ترافیکی در دامنه بسیار بالا هستند که بیانگر آسیب‌پذیری بسیار زیاد با توجه به عوامل کالبدی و ترافیکی می‌باشد. در نتیجه شبکه معابر منطقه ۲۱ تهران از منظر مدیریت بحران مستلزم برنامه راهبردی و راهکارهای سامان‌بخش و در اولویت اول برنامه‌ریزی می‌باشد.

**کلمات کلیدی:** شبکه معابر، آسیب‌پذیری، مدیریت بحران، گره‌های ترافیکی، زلزله، GIS، Fuzzy، AHP

۱. استادیار جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، پژوهشگاه علوم انتظامی و مطالعات اجتماعی ناجا، پست الکترونیکی:

Rahim.gholamy@yahoo.com

## مقدمه

با توجه به قرارگیری کشور ایران در مسیر کوهزایی آلپ - هیمالیا (کمر بند مستعد زلزله)، توجه به مسئله مدیریت بحران، امری ضروری است؛ زیرا این سرزمین طی سال‌های ۱۹۰۰ تا ۲۰۰۰ میلادی، جزو شش کشوری بوده که دچار تلفات انسانی ناشی از وقوع زلزله بوده است (آیسان و دیویس، ۱۳۸۲: ۹). زلزله گاهی خسارت‌های عظیمی در زندگی بشر به بار می‌آورد؛ از جمله مختل کردن شبکه معابر ارتباطی که امکان نجات زلزله‌زدگان را در ۷۲ ساعت اولیه با مشکل روبه‌رو می‌سازد. امروزه این وضعیت خطرناک به دنبال کم‌عرض بودن راه‌ها، دوربودن از مراکز خدماتی و قرارگیری در منطقه‌ای با لرزه‌خیزی بالا و گسترش کالبدی و افزایش تراکم شهرهای بزرگ به از بین رفتن کارایی شبکه ارتباطی، حجم بالای تلفات انسانی و خسارت‌های مالی منجر می‌شود (شیعه، ۱۳۸۹: ۶۷). بعد از وقوع زلزله، کارایی شبکه معابر به علت فروریختن ساختمان‌ها و احتمال بسته شدن مسیرها به شدت کاهش می‌یابد (یانگ تیل<sup>۱</sup>، ۲۰۰۷). این در حالی است که بعد از وقوع یک فاجعه با وضعیت اضطراری، شبکه معابر نقشی حیاتی در نجات انسان‌ها و شدت بخشیدن به عملیات بازسازی و بازگشت به حالت عادی در شهر را بر عهده دارد (لی و همکاران، ۲۰۰۳).

زلزله و سایر حوادث طبیعی و غیرطبیعی می‌تواند شهرها و مناطق یک کشور را از تحرک انداخته و با اختلال در شبکه معابر، نظم ترافیکی را برهم زده و جریان رفت‌وآمد را کند نموده و عرضه خدمات اورژانسی و ایمنی را با موانع جدی مواجه نماید. مدیریت و کنترل ترافیک در شرایط وقوع بحران در شهر به برنامه‌های مدیریت بحران ویژه‌ای نیاز دارد. از آنجایی که مدیریت ترافیک خیابان‌ها و معابر شهری از

1. Yungetel

2. Liu et al

وظایف و اختیارات پلیس ترافیک شهری می‌باشد، باید نهایت تلاش خود را به عمل‌آوردن تا با برنامه‌ریزی‌های قبلی و اجرای دقیق آن در شرایط اضطرار بتوانند شرایط مناسب را برای ادامه کار و فعالیت ایجاد کنند و از توقف فعالیت‌های شهری تا حد مقدور جلوگیری نمایند.

اهمیت مسئله فوق، برنامه‌ریزی شبکه‌های ارتباطی را ضروری ساخته و مسیرهای ویژه‌ای را می‌طلبد که علاوه بر کارآبودن پس از بحران، خود کمترین آسیب ممکن را از سانحه پذیرا شوند و قابلیت سرعت‌بخشیدن به ترافیک و عملیات امداد و نجات را داشته باشند. با توجه به اهمیت حفظ عملکرد شبکه‌های ارتباطی در چنین شرایطی در یک سطح مطلوب می‌بایستی یک مدل ارزیابی عملکرد شبکه‌های ارتباطی در شرایط مذکور ارائه شود؛ چراکه برنامه‌ریزی برای مدیریت ترافیک و کاهش خسارات و تلفات ناشی از زلزله و سایر حوادث غیرمترقبه، بدون ارزیابی آسیب‌پذیری شبکه‌های ارتباطی منطقه مورد مطالعه، امری بی‌فایده است. ارزیابی میزان آسیب‌پذیری معابر و مسیرهای موجود در منطقه مورد مطالعه در برابر این گونه حوادث مستلزم برآورد خسارت‌های شرایط حاضر شبکه‌های ارتباطی با پیش‌فرض وقایع بزرگ از نظر اینکه کدام مسیرها با چه میزانی دچار خسارت می‌شود، ارزیابی می‌گردد. میزان آسیب و خسارت‌های وارده به ساختمان‌ها و مسیرهای ارتباطی، ضرورت آمادگی برای انجام اقدام‌های مقابله در برابر بلایا و برنامه‌ریزی بهبود یا اصلاح و توسعه این برنامه را روشن می‌سازد. ارزیابی آسیب‌های وارده به شبکه‌های ارتباطی، علاوه بر روشن ساختن اهمیت پیشگیری از زلزله و آگاهی از آن، به برنامه‌ریزی و مدیریت ترافیکی در جهت کاهش خسارات نیز کمک می‌کند (سرور، ۱۳۹۴: ۹).

پژوهش حاضر برای مدیریت بحران شبکه معابر منطقه ۲۱ شهرداری تهران در شرایط وقوع زلزله با بهره‌گیری از مدل Fuzzy AHP به کمک GIS می‌باشد که میزان آسیب‌پذیری هریک از مسیرها و راه‌های ارتباطی را در شدت‌های مختلف زلزله نشان

## تحلیل آسیب‌پذیری شبکه‌ی معابر و سنجش گره‌های ترافیکی در شرایط وقوع زلزله

می‌دهد؛ تا ضمن ارائه مدل ارزیابی آسیب‌پذیری نواحی سه‌گانه منطقه، میزان آسیب‌پذیری هریک از مسیرهای ارتباطی را مورد ارزیابی قرار دهد تا سازمان‌هایی مانند مدیریت بحران، فرمانداری، شهرداری تهران و پلیس راهنمایی و رانندگی و نیروهای انتظامی در شرایط وقوع زلزله با به‌کارگیری نتایج این پژوهش به‌صورت آگاهانه و با استفاده از روش‌های اصولی برنامه‌ریزی، از آسیب‌پذیری منطقه مورد مطالعه در زمان لازم کاسته و در حد امکان به تسهیل در تردد خودروهای امدادی در زمان امداد رسانی بیفزایند.

وقوع حوادث و بحران‌های اجتماعی و سیاسی، واقعیتی است که بشر در طول تاریخ با آن‌ها آشنا بوده است. در این راستا هرچقدر بر کسب موفقیت‌های تکنولوژیکی و اجتماعی افزوده شده است، میزان بروز این خطرات غیرمنتظره نه تنها کاهش نیافته بلکه در بسیاری از موارد افزایش نیز یافته است. صنعتی شدن جوامع و گسترش ارتباطات و بزرگ‌تر شدن سازمان‌های اجتماعی، اقتصادی و بازرگانی باعث شده که بیشتر بحران‌ها نهادینه شده و در واقع جزء جدایی‌ناشدنی از ماهیت درونی سازمان‌ها گردند. قبل از پرداختن به ویژگی‌های موقعیت بحرانی و معرفی رویکرد سیستماتیک مؤثر، باید توجه کرد که بحران یا مستقیماً در یک سیستم به وجود آمده یا تأثیر عوامل خارجی، سیستم را مختل می‌سازد. در هر دو حالت می‌توان تجزیه و تحلیل خود را به‌صورت ملاحظات سیستماتیک پیش برد؛ زیرا وظیفه مدیریت بحران، اتخاذ تصمیمات مؤثر بر اساس اطلاعات صحیح در جهت کاهش خسارات و کنترل سریع بحران‌ها است. این فرایند در نهایت با شناخت کنش‌ها و واکنش‌های سیستماتیک انجام می‌شود؛ در غیراین صورت، تصمیمات چیزی جز آزمون و خطا نخواهد بود و با توجه به سه عامل محدودیت زمان، تهدید و غافل‌گیری نمی‌توان انتظار داشت جایی برای چنین رویکردی باشد.

ساختار ارگانیک شهر تهران به‌ویژه وضعیت شبکه‌ی معابر آن در تمام مناطق نشان

می‌دهد که پاشنه آشیل بحران‌خیز این شهر در وقوع زلزله، سیل و طوفان می‌باشد؛ بنابراین مسئله اساسی این پژوهش این است که مدیریت بحران از رهگذر سلول‌های معابر شهری دیده نشده است. موضوعی که جای بحث زیادی در محافل دانشگاهی و اجرایی دارد. با توجه به شرایط قرارگیری تهران در محدوده گسل‌های فعال و وجود شکست‌های متعدد در بین گسل‌های اصلی، این شهر همیشه در معرض بحران زلزله قرار دارد؛ لذا توجه به بحران‌های حاصل از زلزله، یکی از مهم‌ترین دغدغه‌های مدیران و پلیس ترافیک شهری می‌باشد. در حوزه شبکه معابر، حساسیت مدیریت شبکه معابر در زمان بحران وقتی آشکار می‌گردد که دریاپیم مدیریت پس از بحران، جز از طریق دسترسی مطلوب برای گروه امدادونجات و خروج آسیب‌دیدگان امکان‌پذیر نیست. پس مهم‌ترین شریان مدیریت پس از بحران، تأمین شبکه ارتباطی امن در این مقطع زمانی است.

مسئله پژوهش حاضر، بررسی وضعیت شبکه‌های معابر کنونی یکی از حساس‌ترین مدخل‌های دسترسی به شهر تهران (منطقه ۲۱) در زمان بحران و میزان آسیب‌پذیری و تاب‌آوری آن‌ها در شرایط بحران و پس‌از آن است. متأسفانه علی‌رغم وجود مخاطرات طبیعی و انسانی متعدد در سطح معابر شهری تهران، مطالعات جامع و اقدامات اساسی به‌منظور شناسایی و مدیریت آنان صورت نگرفته است؛ ازجمله مسائل و مشکلات اساسی در این زمینه عبارتند از:

- مهم‌ترین بخش‌ها در امدادسانی پس از وقوع حوادث در معابر شهری، خیابان‌ها و راه‌های ارتباطی می‌باشند؛
- به‌منظور شناسایی موانع و محدودیت‌های مدیریت بحران و شبکه معابر، اقدامات قابل توجهی صورت نپذیرفته است؛

## تحلیل آسیب‌پذیری شبکه معابر و سنجش گره‌های ترافیکی در شرایط وقوع زلزله

- مقاومت شبکه معابر در استمرار حرکت و عدم انسداد معابر در بحران‌های مختلف از جمله زلزله چگونه است.

از این رو در این پژوهش سعی می‌شود که ضمن شناخت شاخص‌های آسیب‌پذیری و برنامه‌ریزی صحیح، بازسازی و برگشت به تعادل در زمان بحران و پس از آن در شبکه معابر منطقه ۲۱ به‌عنوان شاه‌رگ امداد رسانی مورد بررسی قرار گیرد. شناسایی مسائل بحران‌زا در شبکه معابر در زمان بروز بلایای طبیعی و راهکارهای هدایت مناسب مقابله با بحران از طریق شبکه معابر امن و چگونگی مدیریت آن‌ها در زمان بحران، سؤالاتی در ذهن نگارنده ایجاد کرده که برای جبران کمبود در رابطه با بحران‌های محیطی شبکه معابر، چه راهکارهایی برای مدیریت بحران منطقه مذکور تعیین می‌گردد. اجرای شیوه‌های استاندارد و ایمن و ارتقای بخشیدن به روش‌های مناسب مدیریتی، نکاتی است که از اهمیت بسزایی برخوردار است. نقش راه‌ها در مدیریت بحران به دلایل گوناگون از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است که از آن جمله می‌توان به خدمات‌رسانی در زمان بحران به مناطق آسیب‌دیده اشاره کرد. کارایی روش‌های قدیمی و سستی در حال حاضر مطلوبیت لازم را نداشته و به‌منظور رفع ترافیک و تسهیل تردد وسایل نقلیه و بهبود عملیات امدادی، استفاده از روش‌های علمی و سیستم‌های هوشمند حمل‌ونقلی در زمان بحران، ضروری به نظر می‌رسد (دهقانی، ۱۳۸۹: ۱۰۴). بدین وسیله اهداف خرد این پژوهش به شرح زیر اعلام می‌گردد:

- ۱- شناسایی و تحلیل عوامل مؤثر بر مدیریت بحران در شبکه معابر منطقه ۲۱ تهران به‌منظور کنترل هوشمندانه ترافیک.
- ۲- تدوین برنامه راهبردی مدیریت بحران در شبکه معابر به‌منظور ارتقای کارایی و اثربخشی طرح‌های انتظامی - ترافیکی.
- ۳- شناسایی نقاط حادثه‌خیز شبکه معابر منطقه در شرایط وقوع بحران (زلزله) و رفع

نقص توسط پلیس راهور.

۴- ارائه مدلی برای ارزیابی میزان آسیب‌پذیری شبکه معابر منطقه ۲۱ تهران بر اساس معیارهای کالبدی و ترافیکی.

۵- ارائه نقشه آسیب‌پذیری نهایی منطقه ۲۱ شهرداری تهران (نقشه تلفیق‌شده).

با توجه به نقش حساس شبکه معابر در مقابله با انواع بحران‌ها اعم از انسانی و طبیعی، لزوم توجه به آن‌ها و برنامه‌ریزی مقابله با بحران در این بخش از فضای شهری، ضرورتی انکارناپذیر می‌باشد. شاید از این طریق بتوانیم از مزایای شبکه معابر امن و ایمن در شرایط پس از بحران برای عملیات امدادونجات سایر مناطق تهران نیز استفاده نماییم.

- میزان آسیب‌های احتمالی خیابان‌ها پس از وقوع زلزله و راهکارهای کاهش آسیب‌پذیری به چه صورت است.

- دستیابی به آسیب‌های احتمالی بر خیابان‌های منطقه پس از وقوع زلزله و ارائه راهکارهای کاهش آسیب‌پذیری.

- یکی از مهم‌ترین بخش‌ها در امداد رسانی به آسیب‌دیدگان پس از سوانح و حوادثی مانند زلزله در حوزه‌های شهری خیابان‌ها و شبکه معابر ارتباطی می‌باشند که مسئولیت بازیابی آن بر عهده پلیس راهنمایی و رانندگی می‌باشد.

- شناسایی موانع و محدودیت‌های مدیریت بحران و شبکه معابر شهری تهران و ایجاد زیرساخت‌های حمل‌ونقل.

- ارزیابی مقاومت شبکه معابر در جهت استمرار حرکت و عدم انسداد معابر در بحران‌های مختلف از جمله زلزله.

## پیشینه پژوهش و مبانی نظری

پژوهش‌های انجام‌شده در زمینه‌ی ارزیابی خطرات طبیعی نشان‌دهنده‌ی سه رویکرد مطالعاتی در اجتماعات انسانی است: ارزیابی زیست‌محیطی، ارزیابی اجتماعی و ارزیابی مکانی (چانج فالیت ۱)؛ رویکرد اول بر پیش‌بینی احتمال وقوع خطرهای تعیین شعاع اثرگذاری در محیط و فضای جغرافیایی تأکید دارد (پالم و همکاران ۲)؛ رویکرد دوم به ارزیابی تأثیرات اجتماعی، اقتصادی و سیاسی خطرهای محیطی در زمان وقوع و پس‌از آن می‌پردازد (مونتویا ۳) و رویکرد سوم به ارزیابی خطرهای بالقوه محیطی و آثار اقتصادی و اجتماعی آن‌ها توجه دارد و راهکارها و الگوهای مقابله با خطرهای محیطی و کاستن از آثار نامطلوب آن‌ها را ارائه می‌کند (کاتر).

محور این پژوهش بر ارزیابی تأثیر خطرهای توان مدیریت بحران از منظر ارزیابی زیست‌محیطی است. همچنین در راستای طرح توسعه‌ی شهری تهران، موضوع شبکه‌ی معابر موردبررسی قرار گرفته است و بالاخره کتب، مقالات و همایش‌های متعددی در حیطه‌ی مدیریت بحران زلزله به رشته‌ی تحریر درآمده است؛ همچنین ستاد مدیریت بحران شهرداری تهران، یکی از مهم‌ترین مراجع مطالعاتی مدیریت بحران در کلان‌شهر تهران می‌باشد.

اکبر باغ‌وند (۱۳۸۵) در مقاله‌ای عمده‌ی مخاطراتی که عملکرد شبکه‌های دسترسی را پس از وقوع زلزله موردتهدید قرار می‌دهند، بررسی نموده و راهکارهایی برای افزایش کارآمدی شبکه‌ی معابر در مناطق شهری، پس از وقوع یک زلزله ارائه می‌دهد. شیبه (۱۳۸۹) در پژوهش خود به این نتیجه رسیده است که بدنه‌ی خیابان‌هایی با تراکم ساختمان، جمعیت بالا، کیفیت ابنیه‌ی پایین و فاصله‌ی زیاد تا مراکز امداد، از آسیب‌پذیری بالایی برخوردار هستند. لی و یه در سال ۲۰۰۳ میلادی بعد از بررسی ۹۲۱ زلزله

1.Chang Falit  
2.Palm et al  
3.Montiuya



بزرگ دنیا به این نتیجه رسیده‌اند که مهم‌ترین دلیل بسته‌شدن معابر در مواقع بروز زلزله، وجود معابر با عرض کمتر از ۴ متر بوده است. صمدزادگان (۲۰۰۸) در مقاله‌ای با استفاده از نقشه‌برداری دیجیتالی قبل از زلزله و عکس‌های ماهواره‌ای با کیفیت بالا بعد از زلزله با طراحی روشی به ارزیابی آسیب‌پذیری شبکه ارتباطی پرداخته است. صابر محمدپور (۱۳۹۳) در پایان‌نامه کارشناسی ارشد خود به تحلیل شاخص‌های کالبدی آسیب‌پذیری شهری بعد از وقوع زلزله پرداخته است.

### جدول ۱. پیشینه تحقیقات داخلی و خارجی مرتبط با موضوع پژوهش

محققین	عنوان پژوهش	یافته‌ها و نتایج پژوهش
سرور و عشقی (۱۳۹۲)	شناسایی گره‌های ترافیکی در هنگام زلزله در منطقه ۳ تهران	بیشترین گره‌های ترافیکی در دامنه زیاد به ترتیب در نواحی ۳، ۴ و ۵ شهرداری و در دامنه خیلی زیاد به ترتیب در نواحی ۶، ۵، ۲، ۱ و ۳ شهرداری منطقه ۳ تهران قرار دارند.
احدزاد، روستایی و کاملی‌فر (۱۳۹۴)	ارزیابی آسیب‌پذیری شبکه معابر در برابر زلزله در منطقه ۱ تبریز	میزان آسیب‌پذیری در محدوده مورد مطالعه بیش از حد متوسط و عمدتاً در حد زیاد و خیلی زیاد می‌باشد و در سکونتگاه‌های غیررسمی بیشتر به چشم می‌خورد.
لی و یو (۲۰۰۳)	بررسی ۹۲۱ زلزله بزرگ	نتایج پژوهش نشان می‌دهد که شرایط رکود اقتصادی ناشی از کارکرد بازدارندگی مرزها از مهم‌ترین عوامل مؤثر بر ناپایداری رشد جمعیت در این نواحی به شمار می‌رود.
فون نانگ (۲۰۰۴)	ارزیابی کاهش آسیب‌پذیری ناشی از زلزله در کلان‌شهرها	با افزایش شدت زلزله، مقدار آسیب‌پذیری نیز افزایش می‌یابد. در نهایت راهکارهایی برای کاهش آسیب‌پذیری شهری ارائه می‌دهد.
می نامی، ۲۰۱۳	ارزیابی آسیب‌پذیری معابر در شهر یوبه ژاپن	داده‌های مانند جنس، تعداد طبقات، ارتفاع، فاصله ساختمان‌ها و همچنین اطلاعات معابر مانند طول و عرض خیابان و نیز عرض پیاده‌رو در محیط GIS تحلیل شده است.
سبیل و سلیمان (۲۰۱۳)	ارائه مدلی برای سنجش شبکه معابر در زمان وقوع بحران	روش بهینه برای پیدا کردن بهترین حالت ممکن برای شبکه معابر ارتباطی بعد از وقوع زلزله
لی و توسیکاگچی (۲۰۱۴)	ارائه مدلی برای علت بسته‌شدن معابر در زمان وقوع بحران	برای بهبود ساختار شبکه‌های ارتباطی و طراحی شبکه، مدل جدیدی را پیشنهاد کرد.

مأخذ: نگارنده، ۱۳۹۶

## تحلیل آسیب‌پذیری شبکه‌ی معابر و سنجش گره‌های ترافیکی در شرایط وقوع زلزله

آنچه پژوهش حاضر را از پژوهش‌های انجام‌شده در سال‌های اخیر متمایز می‌کند، این است که پژوهش حاضر درصدد است تا با استفاده از مدل AHP / Fuzzy به کمک GIS آسیب‌پذیری شبکه‌ی ارتباطی و گره‌های ترافیکی منطقه‌ی ۲۱ شهرداری تهران را مورد ارزیابی قرار دهد؛ و با دیدگاهی متفاوت از پژوهش‌های انجام‌شده، آسیب‌پذیری شبکه‌های ارتباطی را با مدل‌های جدید در بحران زلزله با میزان آسیب‌پذیری هریک از شبکه‌های ارتباطی و سنجش گره‌های ترافیکی موجود در منطقه‌ی ۲۱ از طریق نقشه‌ی پهنه‌بندی آسیب‌پذیری در شرایط وقوع زلزله نشان دهد. وجود زمینه‌های لرزه‌خیزی ناشی از موقعیت زمین‌شناسی، وجود گسل‌های فراوان در بطن و حاشیه‌ی شهرها و... همگام با عوامل انسانی متعدد نظیر جمعیت شهری، افزایش مسکن کم‌دوام شهری و شهرسازی نامناسب با بحران زلزله، همگی قابلیت لرزه‌پذیری شهرها را افزایش می‌دهد؛ تا جایی که ۹۰ درصد شهرهای کشور در برابر یک زلزله ۵/۵ ریشتری آسیب‌پذیر نشان می‌دهند (عبدالهی، ۱۳۸۳: ۴۹۵).

بررسی میزان آسیب‌ها و صدمات به‌طور مستقیم و غیرمستقیم به وضعیت نامطلوب برنامه‌ریزی و طراحی شهری مربوط می‌شود و وضعیت بد استقرار عناصر کالبدی و کاربری‌های نامناسب شهری، شبکه‌ی ارتباطی ناکارآمد، بافت شهری فشرده، تراکم‌های بالا، وضعیت استقرار تأسیسات زیربنایی، توزیع نامناسب فضاهای باز شهری و مواردی از این قبیل، نقشی اساسی در افزایش میزان آسیب‌های وارده به شهرها در برابر زلزله دارند؛ بنابراین آنچه پدیده‌ی زلزله را در شهرها به یک فاجعه تبدیل می‌کند، در بسیاری موارد، وضعیت شهرسازی نامناسب است (همان، ۷۵). چنانچه مدیریت بحران را با مفهومی گسترده‌تر از عملیات پس از وقوع سانحه در نظر آوریم، کاهش خطرها و آمادگی ویژه به‌طور دائم، رفع احتیاج‌های خاص پس از وقوع سوانح اعم از اضطراری، کوتاه‌مدت یا بلندمدت را دربرمی‌گیرد؛ نظر به اینکه وقتی بلایای طبیعی به‌خصوص زلزله در مدت‌زمانی کوتاه اتفاق می‌افتد، نه‌تنها کالبد شهر را تحت تأثیر

خود قرار می‌دهد، بلکه بر فعالیتهای شهری ساکنان نیز اثرات مشهودی به‌جای می‌گذارد (احمدی، ۱۳۷۴: ۱۶۵۴). راهبرد کاملی که می‌توان در سطوح مختلف بحران در برابر خطرات و کاهش اثرات آن در نظر گرفت، چرخه مدیریت بحران نامیده می‌شود. به‌طور کلی فازهای مدیریت بحران به شرح زیر می‌باشند (اکبری، ۱۳۸۴: ۶۱).

فاز آمادگی<sup>۱</sup>: به کلیه اقداماتی طلاق می‌شود که دولت‌ها، سازمان‌ها، جوامع و افراد را قادر می‌سازد تا در مواقع بحرانی به‌طور سریع و کارا پاسخ لازم را برای روبه‌روشدن با بحران از خود نشان دهند. در فاز آمادگی، دولت و سازمان‌ها طرح‌هایی را برای حفاظت زندگی و کاهش خسارات بحران ارائه می‌دهند (ناطقی، ۱۳۷۹: ۳۳).

فاز پاسخگویی<sup>۲</sup>: این بخش از چرخه مدیریت بحران به‌منظور نجات جان انسان‌ها و حفاظت از دارایی‌های جامعه برنامه‌ریزی می‌شود؛ به‌عبارتی، فعالیت‌هایی که به دنبال وقوع یک بحران با انجام عملیات جستجو، نجات، تخلیه جمعیت، ایجاد سرپناه اضطراری، مراقبت‌های پزشکی، تغذیه و ... صورت گرفته، در این فاز می‌باشند (احمدی، ۱۳۸۳: ۱۶).

فاز بهبود و بازسازی<sup>۳</sup>: فعالیت‌هایی هستند که لازم است کلیه سیستم‌ها را به وضعیت طبیعی یا بهتر برسانند.

## روش پژوهش

پژوهش حاضر، کاربردی با نگرش سیستمی از نوع توصیفی - تحلیلی مبتنی بر تکمیل پرسشنامه است. جمع‌آوری اطلاعات بر اساس مطالعات اسنادی، کتابخانه‌ای و میدانی می‌باشد. داده‌های آماری از طریق پرسشنامه با طرح ۴۶ سؤال بر مبنای طیف

1.Preparedness  
2.Response  
3.Recovery

## تحلیل آسیب‌پذیری شبکه‌ی معابر و سنجش گره‌های ترافیکی در شرایط وقوع زلزله

لیکرت تنظیم شد؛ برای ارزیابی روایی پرسشنامه‌ها از نظر متخصصان و کارشناسان سازمان مدیریت بحران، شهرداری تهران و پلیس راهنمایی و رانندگی استفاده شد و پایایی آن بر مبنای آزمون آلفای کرونباخ با اعتبار بین ۰/۸۰ تا ۰/۸۶ تأیید شده است. در این پژوهش از معیارهای کالبدی و ترافیکی به‌عنوان متغیر مستقل و از زیرمعیارهای کالبدی (بافت فرسوده، طبقات ساختمان، تراکم ساختمان، تراکم جمعیت، قنات‌ها و گسل‌ها) و زیرمعیارهای ترافیکی (معیار شریانی درجه ۱ و ۲ و معابر جمع‌کننده و پنخش‌کننده و تصادفات شهری) به‌عنوان متغیرهای وابسته که در قسمت یافته‌های پژوهش به تفصیل شرح داده شده استفاده گردیده است.

برای وزن‌دهی به شاخص‌ها از روش تحلیل سلسله‌مراتبی استفاده شده که وزن‌های حاصل شده در سیستم اطلاعات جغرافیایی<sup>۱</sup> تلفیق و نقشه ریزپهنه‌بندی آسیب‌پذیری معابر ارائه می‌گردد. نقشه‌سازی‌شده از روش فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی صرفاً برای نشان‌دادن میزان آسیب‌پذیری کلی با در نظر گرفتن معیارهای مورد استفاده می‌باشد. برای تحلیل لایه‌ها و معیارها از تابع آستانه خطی استفاده شده است و در نهایت، لایه‌ها و معیارها برای پیش‌بینی دقیق آسیب‌پذیری به‌منظور تعیین گره‌های ترافیکی، در سطح شبکه معابر طراحی گردیدند. در تحلیل شاخص‌های آسیب‌پذیری با استفاده از روش تحلیل سلسله‌مراتبی، معیارهای مورد استفاده معمولاً از اهمیت یکسانی برخوردار نیستند؛ برخی از معیارها از اهمیت زیادی نسبت به دیگر معیارها برخوردار بوده و نقش تعیین‌کننده‌ای در آسیب‌پذیری دارند. این روش شامل سه گام اصلی الف) تولید ماتریس مقایسه دوتایی، ب) محاسبه وزن‌های معیاری و ج) تعیین نسبت توافق است. سه مرحله فوق با استفاده از نرم‌افزار Expert Choice ۱۰/۲ با دقت بالا و با نسبت توافق ۰/۰۳ انجام شده است. برای این منظور ماتریس مقایسه‌ای بین زیرمعیارهای هریک از لایه‌های معیار اصلی اعمال شده و بدین ترتیب نقشه

پهنه‌بندی هریک از معیارهای موردنظر ارائه گردیده است.

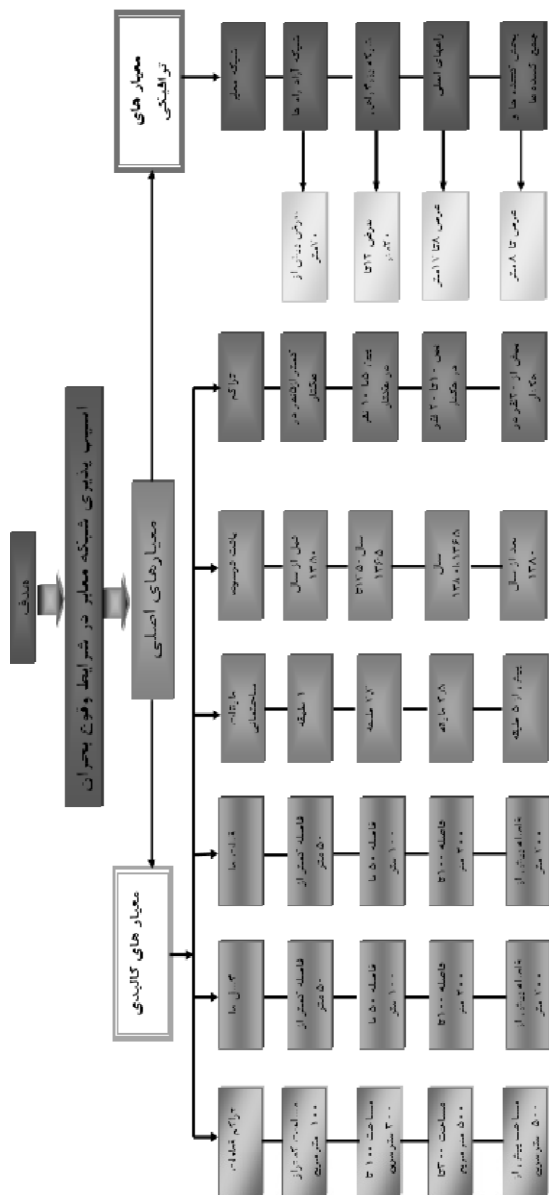
**محدوده مورد مطالعه:** منطقه ۲۱ از شمال به اتوبان تهران - کرج، از جنوب به جاده قدیم تهران، از شرق به مسیل کن و از غرب به امتداد شمالی - جنوبی طول جغرافیایی ۵۱ درجه در حدفاصل اتوبان و جاده قدیم کرج محدود است. مساحت این منطقه بالغ بر ۵۱۸۲ هکتار و دارای حدود ۱۸۰ هزار نفر جمعیت است. در منطقه ۲۱ سه بخش با ویژگی‌های متفاوت قابل تشخیص است: بخش سکونت شامل محدوده‌های تهرانسر، شهرک‌های آزادی، فرهنگیان، استقلال و ...، بخش صنعتی حدفاصل مسیل سلیمان‌خانی تا مسیل چیتگر و بخش نظامی و صنعتی از مسیل چیتگر به سمت غرب با فضای سبز و ترکیبی از صنعت و سکونت از یکدیگر جدا شده‌اند (مهندسین مشاور زادبوم، ۱۳۸۵).

#### سلسله‌مراتب شبکه منطقه

- ۱- شبکه آزادراه تهران - کرج به طول ۲۳/۳ کیلومتر با ۱۲۰ متر عرض و آزادراه آزادگان در ضلع غربی منطقه؛
  - ۲- شبکه بزرگراهی شامل بزرگراه فتح جاده، قدیم کرج به طول ۱۹/۲ کیلومتر که این محور دارای طرح مصوب ۶۵ متری است و جاده مخصوص کرج (لشکری)؛
  - ۳- شبکه شریانی به طول ۲۷/۵ کیلومتر (درجه ۱) و ۲۳/۳ کیلومتر (درجه ۲) و معابر جمع و پخش‌کننده اصلی به طول ۴۰/۳ کیلومتر هستند.
- این منطقه دارای ۱۷ مرکز بهداشتی درمانی و ۹ مرکز آتش‌نشانی، ۳ پایگاه مدیریت بحران جهت امدادونجات، دو کلانتری و یک منطقه پلیس راهنمایی و رانندگی می‌باشد.

## یافته‌های پژوهش (عوامل مؤثر در آسیب‌پذیری شبکه‌ی ارتباطی و گره‌های ترافیکی)

شناسایی عوامل خطر و به تبع آن، برآورد میزان خسارات وارده، گام بسیار مهمی در برنامه‌ریزی شهری تلقی می‌شود. در این صورت است که می‌توان با انجام پیش‌بینی‌های لازم و استفاده از ابزارهای کنترل، نتایج مخرب ناشی از حوادث (زلزله) را به کمترین میزان خود رساند. فرم شهر به‌عنوان مهم‌ترین معیار در تحلیل خطر زلزله تلقی می‌شود (بحرینی، ۱۳۷۶: ۷). از سوی دیگر عوامل آسیب‌پذیر گوناگون (طبیعی، کالبدی، اجتماعی، اقتصادی، بنیادی، ترافیکی و ...) همدیگر را تحت تأثیر قرار می‌دهند، نه به‌صورت منفرد بلکه به شکل یک سیستم، حتی گروه‌های آسیب‌پذیری از بحران‌ها نیز با عوامل جمعیتی چون سن، مذهب، اقلیت، فقر، سواد و ... در ارتباط هستند (پاتون و فانستون<sup>۱</sup>، ۲۰۰۱: ۲۷۰). این عوامل مؤثر به دو شاخص اصلی و ده شاخص فرعی به شرح زیر تقسیم شده‌اند.



نمودار ۱. عوامل مؤثر در شیپسازی گره‌های ترافیکی منطقه ۲۱ شهرداری تهران در برابر زلزله (مأخذ: نگارندگان)

## تحلیل آسیب‌پذیری شبکه‌ی معابر و سنجش گره‌های ترافیکی در شرایط وقوع زلزله

در پژوهش حاضر، ۱۰ شاخص مؤثر در ایجاد آسیب‌پذیری و ترافیکی شبکه‌ی معابر در زمان وقوع بحران زلزله در منطقه‌ی ۲۱ شهرداری تهران مورد بررسی قرار گرفته است که به شرح زیر می‌باشند:

**الف) معیارهای کالبدی:** ابعاد کالبدی را می‌توان به‌عنوان مهم‌ترین نقش برنامه‌ریزی شهری در کاهش بحران‌های محیطی شهر دانست. شکل و کالبد شهر شامل عناصر مختلفی می‌شود که سازمان‌دهی آن‌ها از طریق برنامه‌ریزی و طراحی شهری صورت می‌گیرد. این بخش می‌تواند در نظام محله‌بندی، نظام شبکه‌ی ارتباطی و سلسله‌مراتب، مراکز شهری، سطوح پر و خالی، بخش‌ها و محلات، نظام قطعه‌بندی و بلوک‌بندی، الگوهای مختلف بافت شهری، فضاهای باز شهری، تراکم‌های جمعیتی و ساختمانی و سرانجام جهت‌گیری گسترش و رشد شهر پیاده شود (عزیزی، ۱۳۸۳: ۲۳۲).

آیین‌نامه‌ی طرح ساختمان‌ها در برابر زلزله‌ی سال ۱۳۴۳ به‌صورت مقررات الزامی در طرح‌های عمرانی تهیه گردید. بعد از زلزله‌ی طبس مشخص شد که آیین‌نامه‌ی ویژه و جداگانه‌ای برای زلزله در کشور ما الزامی است؛ چراکه تا آن زمان فقط فصل هشتم از آیین‌نامه‌ی ۵۱۹ به‌صورت مختصر به زلزله اختصاص داشت. با توجه به اینکه در اداره‌ی استاندارد برای هر فرآورده‌ای یک شماره ارائه می‌شود و برای اینکه آیین‌نامه‌ی زلزله از لحاظ قانونی قابل چاپ و انتشار طبق ضوابط اداره‌ی استاندارد باشد، شماره‌ی آن، عدد ۲۸۰۰ تعیین شد. تعیین این شماره، بیشتر از آن جهت بوده که بعداً مجبور به افزایش و تغییر شماره نشوند. مؤسسه‌ی استاندارد و تحقیقات ایران تنها سازمانی در ایران است که طبق قانون می‌تواند استاندارد رسمی فرآورده‌ها را تعیین و تدوین و اجرای آن‌ها را با کسب موافقت شورای عالی استاندارد، اجباری اعلام نماید.

### ۱- بافت فرسوده

هرچه عمر ساختمان‌ها بیشتر باشد، با توجه به فرسودگی مصالح ساختمانی و مصالح کم‌دوام، آسیب‌پذیری آن‌ها نیز بیشتر می‌شود. درجه‌ی مقاومت در برابر زلزله برای



ساختمان‌های ساخته‌شده قبل و بعد از سال ۱۳۷۰ با یکدیگر متفاوت هستند. از این رو در ساختمان‌هایی با قدمت زیاد، استفاده از مصالح کم‌دوام در این نوع از ساختمان‌ها و افزایش فرسودگی در طول زمان و همچنین عدم رعایت اصول مهندسی در ساخت‌وساز آن‌ها باعث شده در معرض آسیب‌پذیری بیشتری قرار گیرند. جدول زیر نشان می‌دهد که ۰/۳۶ درصد ساختمان‌های منطقه قبل از سال ۱۳۵۰ ساخته شده‌اند. تعداد ساختمان‌هایی که بین سال‌های ۱۳۵۰ تا ۱۳۶۰ ساخته شده‌اند، ۲۷/۵۰ درصد می‌باشد و همچنین تعداد ساختمان‌های ساخته‌شده در فاصله سال‌های ۱۳۶۰ تا ۱۳۷۰ که از استحکام نسبی نسبت به سازه‌های قبلی خود برخوردارند، ۲۱/۵۱ درصد ساختمان‌های منطقه را تشکیل می‌دهند؛ اما ساخت ۵۰/۶ درصد ساختمان‌ها بعد از دهه ۱۳۷۰ است که در اکثر موارد، اصول مهندسی طراحی لرزهای رعایت شده است و سازه‌ها از مقاومت خوبی برخوردار هستند. بر این اساس، منطقه از لحاظ آسیب‌پذیری قدمت بنا از وضعیت متوسطی برخوردار است.

**جدول ۲. توزیع آماری ساختمان‌ها بر اساس قدمت بنا در منطقه ۲۱ شهرداری تهران**

قدمت بنا	ناحیه ۱		ناحیه ۲		ناحیه ۳		منطقه ۲۱	
	تعداد ساختمان	درصد در منطقه	تعداد ساختمان	درصد در منطقه	تعداد ساختمان	درصد در منطقه	تعداد کل	درصد کل
قبل از سال ۱۳۵۰	۵۴	۰/۳	۱۲۲	۰/۶۳	۲۱۵	۱/۲۱	۳۸۱	۲/۱۴
۱۳۵۰ تا ۱۳۶۰	۶۴۱	۳/۶۱	۲۵۴	۱/۳۸	۳۹۷	۲/۲۳	۱۲۸۳	۷/۲۲
۱۳۶۰ تا ۱۳۷۰	۱۵۴۰	۸/۷۳	۵۳۰	۲/۹۸	۹۹۶	۵/۶۱	۳۰۶۶	۱۷/۳۲
۱۳۷۰ تا ۱۳۸۰	۲۵۶۱	۱۴/۴۲	۹۶۸	۵/۴۵	۱۴۵۴	۸/۱۹	۴۹۸۳	۲۸/۰۶
۱۳۸۰ به بعد	۳۷۱۸	۲۰/۹۳	۱۶۶۰	۹/۳۵	۲۶۵۵	۱۴/۹۶	۸۰۳۳	۴۵/۲۴
مجموع	۸۵۱۴	۴۷/۹۷	۳۵۱۵	۱۹/۷۹	۵۷۱۷	۳۲/۱	۱۷۷۴۶	۱۰۰

(منبع: یافته‌های پژوهش)

تحلیل آسیب‌پذیری شبکه‌ی معابر و سنجش گره‌های ترافیکی در شرایط وقوع زلزله

۲- تعداد طبقات

یکی از عوامل تأثیرگذار در آسیب‌پذیری، تعداد طبقات و ارتفاع ساختمان‌ها می‌باشد (احدنژاد، ۱۳۸۸: ۱۸). ساختمان‌ها در برابر وقوع زلزله با توجه به ارتفاع و جنس حاکی که سازه بر روی آن قرار گرفته، پاسخ لرزه‌ای متفاوتی را از خود بروز می‌دهند (عشقی و سرور، ۱۳۹۴). توزیع آماری طبقات ساختمان‌های منطقه ۲۱ حاکی از این است که آسیب‌پذیری ناشی از تعداد طبقات در منطقه، پایین است. ساختمان‌های ۱ تا ۲ طبقه با میزان آسیب‌پذیری خیلی کم، ساختمان‌های بین ۲ تا ۳ طبقه با میزان آسیب‌پذیری کم، ساختمان‌های بین ۳ تا ۴ طبقه با میزان آسیب‌پذیری متوسط و ساختمان‌های بین ۴ تا ۵ طبقه با درجه آسیب‌پذیری زیاد و ساختمان‌های بیشتر از ۵ طبقه با درجه آسیب‌پذیری خیلی زیاد در نظر گرفته شده‌اند. حدود ۴۰ درصد ساختمان‌ها یعنی اکثریت بناهای منطقه بر اساس این شاخص، دارای آسیب‌پذیری کم، ۳۰ درصد دارای آسیب‌پذیری متوسط و حدود ۳۰ درصد دارای آسیب‌پذیری بالا و بسیار بالا هستند.

جدول ۳. توزیع آماری بر اساس تعداد طبقات ساختمان پژوهش

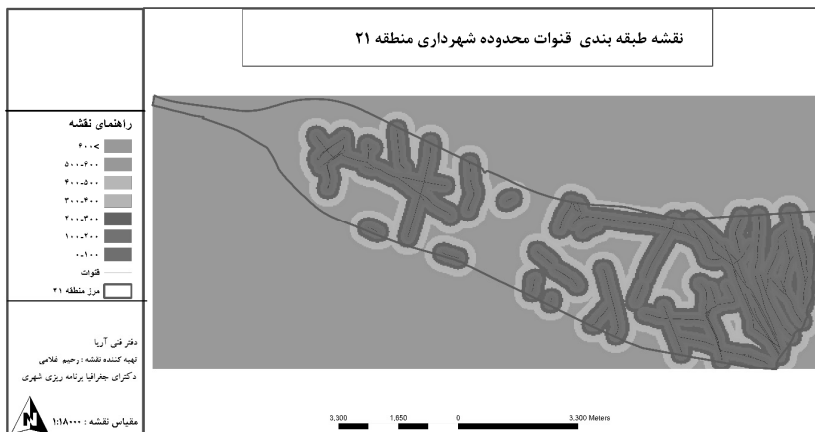
تعداد طبقات	ناحیه ۱		ناحیه ۲		ناحیه ۳		منطقه ۲۱
	تعداد ساختمان	درصد در منطقه	تعداد ساختمان	درصد در منطقه	تعداد منطقه	درصد در کل	
۱ طبقه	۵۴۱	۳/۰۴	۴۶۲	۲/۶	۱۲۱۷	۶/۸۵	۱۲/۴۹
۲ و ۳ طبقه	۲۰۴۵	۱۱/۵۲	۱۱۷۴	۶/۶۱	۱۶۲۸	۹/۱۷	۲۷/۳
۴ و ۵ طبقه	۳۱۶۲	۱۷/۸۱	۱۰۹۲	۶/۱۵	۱۷۱۱	۹/۶۴	۳۳/۶
۶ طبقه و بیشتر	۲۷۶۶	۱۵/۵۸	۷۸۷	۴/۴۳	۱۱۶۱	۶/۵۴	۲۶/۵۵
مجموع	۸۵۱۴	۴۷/۹۵	۳۵۱۵	۱۹/۷۹	۵۷۱۷	۳۲/۲	۱۰۰

(منبع: یافته‌های پژوهش)

## ۳- مسیر قنات‌ها

بر اساس مطالعات شرکت جایکا، منطقه ۲۱ از نظر وجود قنات‌ها از آسیب‌پذیری نسبی برخوردار است. بر اساس برآورد، طول قنات‌های منطقه حدود ۲۱ کیلومتر شامل ۸ رشته قنات فعال و ۹ رشته غیرفعال می‌باشد. برای تحلیل این شاخص، حریم فاصله ۱۰۰ متری از قنات در نظر گرفته شده است. با توجه به آمار و مطالب بیان‌شده، منطقه از لحاظ آسیب‌پذیری قنات‌ها، آسیب‌پذیری بالایی دارد؛ چراکه در زمان وقوع زلزله، شبکه معابر شهر با شکاف خیابان‌ها و شریان‌ها که بر روی قنات‌های منطقه به وجود آمده‌اند، روبه‌رو می‌شود که موجب گره‌های ترافیکی، وقفه در عملیات امدادونجات و نهایتاً حجم بالای تلفات انسانی و خسارت‌های مالی می‌شود. محدوده‌های موجود در فاصله کمتر از ۱۰۰ متر دارای بیشترین آسیب‌پذیری بوده و محدوده‌های موجود در فاصله ۱۰۰ تا ۲۰۰ متر دارای آسیب‌پذیری نسبی و محدوده‌های موجود در فاصله ۲۰۰ متری تا ۳۰۰ متری دارای آسیب‌پذیری متوسط و محدوده‌های موجود در فاصله ۳۰۰ متر به بالا دارای آسیب‌پذیری کم ارزیابی شده‌اند. نتایج تحلیل بر اساس این معیار، به‌صورت نقشه آسیب‌پذیری با به‌کارگیری مدل AHP و نرم‌افزار مربوطه تهیه و با GIS به‌صورت نقشه ریزپهنه‌بندی ارائه گردیده است (نقشه ۱).

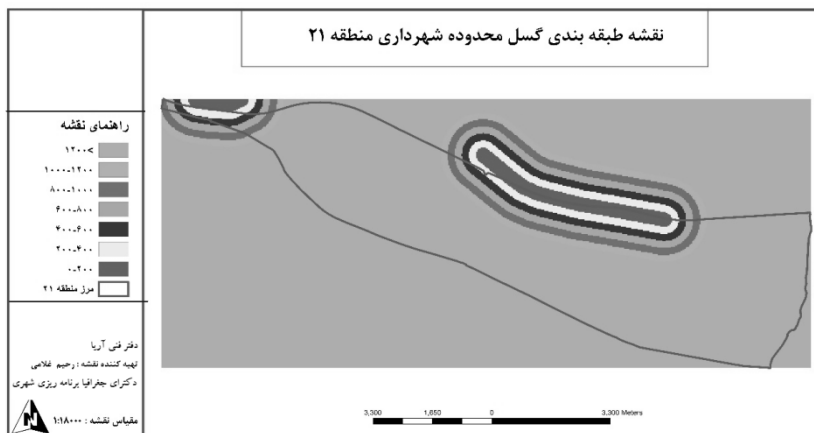
تحلیل آسیب‌پذیری شبکه معابر و سنجش گره‌های ترافیکی در شرایط وقوع زلزله



نقشه ۱. رستر طبقه‌بندی (Reclassify) قنات‌ها  
 (منبع: یافته‌های پژوهش)

۴- فاصله از گسل

منطقه ۲۱ به علت نزدیکی به گسل شمال تهران دارای میزان آسیب‌پذیری حدود ۵۶/۱ درصد و طبق فاصله از گسل ری دارای میزان آسیب‌پذیری حدود ۳۲/۶ درصد است. هرچه فاصله از محدوده با خط گسل کمتر باشد، آسیب‌پذیری افزایش و هرچه محدوده در دامنه دورتری از حریم گسل قرار داشته باشد، میزان آسیب‌پذیری کمتر می‌شود. برابر اسناد موجود در شهرداری، محدوده‌های موجود در حریم کمتر از ۲۰۰ متر از گسل، دارای بیشترین آسیب‌پذیری و محدوده‌های موجود در فاصله ۳۰۰ تا ۱۰۰۰ متر و بالای ۱۰۰۰ متری از گسل به ترتیب دارای آسیب‌پذیری متوسط و کم ارزیابی شده‌اند. نتیجه تحلیل نقشه آسیب‌پذیری با به‌کارگیری مدل AHP و نرم‌افزار GIS به صورت نقشه ریزپهنه‌بندی ارائه گردیده است (نقشه ۲).



**نقشه ۲. رستر طبقه بندی (Reclassify) گسل  
 (منبع: یافته‌های پژوهش)**

### ۵- تراکم قطعات

هرچه مساحت همکف ساختمان‌ها پهنای کمتری داشته باشد، آسیب‌پذیری بیشتری دارند و برعکس هرچه مساحت همکف ساختمان‌ها پهنای بیشتری داشته باشد، آسیب‌پذیری پایین‌تری دارند. جدول زیر نشان می‌دهد که مساحت همکف ۴/۵۸ درصد ساختمان‌های منطقه کمتر از ۱۰۰ مترمربع است؛ و مساحت همکف ۲۴/۶۱ درصد ساختمان‌های منطقه بین ۱۰۰ تا ۲۰۰ مترمربع است که حاکی از آسیب‌پذیری متوسط منطقه از لحاظ مساحت همکف و تراکم قطعات ساختمان‌ها می‌باشد. نتایج به‌دست‌آمده از بررسی مساحت قطعات ساختمانی نشان می‌دهد که در حدود ۳۰ درصد قطعات محله، مساحتی کمتر از ۲۰۰ مترمربع دارند که از لحاظ معیارهای برنامه‌ریزی، شهری بسیار کوچک و آسیب‌پذیری بسیار بالایی را نشان می‌دهد. همچنین مطالعات صورت گرفته در منطقه نشان می‌دهد که حدود ۳۰ درصد قطعات بین ۲۰۱ تا ۴۰۰ مترمربع، ۳۴ درصد بین ۴۰۱ تا ۶۰۰ مترمربع و ۶ درصد نیز بیش از ۶۰۰ متر مساحت دارند.

جدول ۴. توزیع آماری ساختمان‌های بر اساس تراکم قطعات منطقه ۲۱ شهرداری تهران

مساحت همکف	ناحیه ۱		ناحیه ۲		ناحیه ۳		منطقه ۲۱	
	تعداد ساختمان	درصد در منطقه	تعداد ساختمان	درصد در منطقه	تعداد ساختمان	درصد در منطقه	تعداد کل	درصد کل
کمتر از ۱۰۰ متر	۶۹۹	۱/۷۷	۳۵۱	۰/۸۹	۷۶۰	۱/۹۲	۱۸۱۰	۴/۵۸
۲۰۰ تا ۱۰۰ متر	۵۲۹۳	۱۳/۴۲	۲۲۳۱	۵/۶۵	۲۱۸۰	۵/۵۲	۹۷۰۴	۲۴/۶۱
۴۰۰ تا ۲۰۰ متر	۵۹۹۲	۱۵/۲	۲۵۸۲	۶/۵۴	۲۹۴۰	۷/۴۵	۱۱۵۱۴	۲۹/۱۹
۶۰۰ تا ۴۰۰ متر	۷۱۴۹	۱۸/۱۳	۲۶۷۸	۶/۷۹	۴۲۷۴	۱۰/۸۴	۱۴۱۰۱	۳۵/۷۶
بیش از ۶۰۰ متر	۵۳۴	۱/۳۴	۵۵۲	۱/۴	۱۲۰۸	۳/۰۶	۲۲۹۴	۵/۸
مجموع	۱۹۶۶۷	۴۹/۸۶	۸۳۹۴	۲۱/۲۷	۱۱۳۶۲	۲۸/۷۹	۳۹۴۲۳	۱۰۰

(منبع: یافته‌های پژوهش)

### ۶- تراکم جمعیت

تراکم جمعیتی بالا، آسیب‌پذیری بیشتری را در برابر تراکم جمعیتی پایین به دنبال دارد. برای بررسی وضعیت تراکم جمعیت در منطقه ۲۱ تهران، جمعیت واحدهای ملکی محلات بر اساس سرشماری سال ۱۳۸۵ به دست آمده و با محاسبه تراکم جمعیت در محله به تحلیل میزان آسیب‌پذیری از نظر تراکم جمعیت پرداخته شده است. تراکم جمعیتی محلات در محدوده مطالعاتی بر اساس حوزه آماری و سرشماری نفوس و مسکن در سال ۱۳۷۵ و ۱۳۸۵ به ترتیب ۱۹۱/۲۴ و ۲۳۱/۵۴ نفر در هکتار می‌باشد. نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که حدود ۴۸ درصد جمعیت منطقه در ناحیه ۱، حدود ۲۰ درصد در ناحیه ۲ و حدود ۳۲ درصد در ناحیه ۳ متمرکز هستند. بر اساس شاخص تراکم جمعیتی، تراکم بین ۰ تا ۱۰۰ نفر در هکتار را به عنوان نقاط دارای آسیب‌پذیری کم، تراکم بین ۱۰۰ تا ۲۰۰ نفر در هکتار را به عنوان نقاط دارای آسیب‌پذیری متوسط، تراکم بین ۲۰۰ تا ۳۰۰ نفر در هکتار را به عنوان

نقاط دارای آسیب پذیری بالا و تراکم ۳۰۰ نفر به بالا را دارای آسیب پذیری بسیار بالا در نظر گرفته ایم.

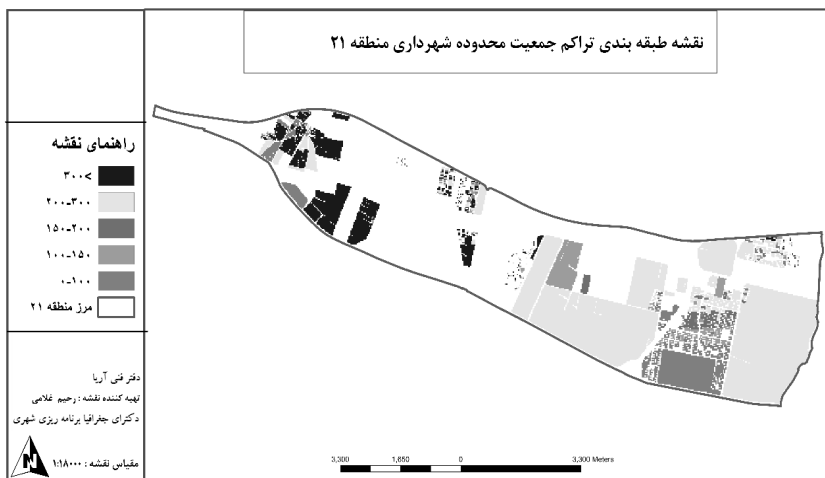
**جدول ۵. توزیع آماری تراکم جمعیتی در منطقه ۲۱ شهرداری تهران**

توزیع سنی جمعیت	ناحیه ۱		ناحیه ۲		ناحیه ۳		منطقه ۲۱	
	تعداد جمعیت (نفر)	درصد در منطقه	تعداد جمعیت (نفر)	درصد در منطقه	تعداد در جمعیت (نفر)	درصد در منطقه	تعداد کل	درصد کل
زیر ۱۰ سال	۲۳۸۰	۱۳/۴۵	۲۳۲۰	۱/۳	۱۳۱۱۰	۷/۳۸	۳۹۳۱۰	۲۲/۱۳
۱۰ تا ۲۰ سال	۲۸۳۱۰	۱۵/۹۵	۹۴۵۰	۵/۳۲	۱۳۳۱۰	۶/۳۷	۴۹۰۷۰	۲۷/۶۴
۲۰ تا ۴۰ سال	۱۵۰۰۰	۸/۴۵	۱۰۲۴۰	۵/۷۷	۱۲۹۰۰۰	۷/۲۶	۳۸۱۴۰	۲۱/۴۸
۴۰ تا ۶۰ سال	۷۱۱۰	۴	۶۶۲۰	۳/۷۳	۹۱۷۰	۵/۱۶	۲۲۹۰۰	۱۲/۸۹
۶۰ سال به بالا	۱۰۸۴۰	۶/۱	۶۵۲۰	۳/۶۷	۱۰۶۸۰	۶/۰۱	۲۸۰۴۰	۱۵/۷۸
مجموع	۸۵۱۴۰	۴۷/۹۵	۳۵۱۵۰	۱۹/۷۹	۵۷۱۷۰	۳۲/۱۸	۱۷۷۴۶۰	۱۰۰

(منبع: یافته‌های پژوهش)

در نهایت نقشه آسیب پذیری بر اساس معیار تراکم جمعیت با استفاده از مدل تحلیل سلسله مراتبی با تحلیل در محیط GIS تهیه گردیده است.

تحلیل آسیب‌پذیری شبکه معابر و سنجش گره‌های ترافیکی در شرایط وقوع زلزله



**نقشه ۳. رستر طبقه‌بندی (Reclassify) تراکم جمعیتی (منبع: یافته‌های پژوهش)**

**ب) معیار ترافیکی (دسترسی به شبکه معابر)**

یکی دیگر از عوامل مؤثر در آسیب‌پذیری شبکه ارتباطی ناشی از زلزله، عرض معابر و دسترسی به شبکه معابر می‌باشد. معابر بعد از وقوع زلزله به‌عنوان شریان‌های حیاتی شهر در جهت نجات، تخلیه و اسکان، گریز از موقعیت‌های خطرناک و دسترسی به مناطق امن مورد توجه قرار می‌گیرد؛ بنابراین در صورت بسته‌شدن یکی از جاده‌های اصلی یا فرعی، صدمات ناشی از زلزله چندین برابر می‌شود. صدمات وارده بر سیستم شبکه ارتباطی در هنگام وقوع زلزله به دو شکل پدیدار می‌شود: اول به‌صورت تخریب و بسته‌شدن راه‌ها و قطع آمدو شد؛ دوم، تلفات انسانی به سبب از کار افتادن شبکه حمل‌ونقل و مختل شدن رفت‌وآمد. بر این اساس، شبکه ارتباطی کارآمد، نقش عمده‌ای در کاهش اثرات زلزله دارد؛ در صورتی که شبکه ارتباطی هنگام وقوع زلزله آسیب نبیند و کارایی خود را حفظ کند، تا حد زیادی از خسارت‌های مالی و جانی ناشی از زلزله در شهرها می‌کاهد. منظور از شبکه دسترسی و معابر در این عامل، چگونگی دستیابی به نواحی مختلف محدوده در زمان وقوع بحران جهت امداد رسانی



و نجات می‌باشد. برای بررسی این عامل از شاخص نوع معبر و عرض معابر استفاده شده است؛ به طوری که هرچه معابر دارای عرض بیشتری باشند، در سلسله مراتب بالاتری قرار داشته و آسیب‌پذیری کمتری خواهند داشت. در واقع معابر با عرض کمتر از ۶ متر در زمان وقوع بحران مثل زلزله به علل مختلف مسدود شده و عملیات امداد رسانی را غیرممکن یا بسیار مشکل می‌سازند.

### ۱- معابر شریانی درجه یک

منطقه ۲۱ در محدوده چهار شریان بزرگ قرار دارد. بزرگراه شهید لشکری و فتح در مرکز و جنوب منطقه از ابتدا تا انتهای محدوده امتداد دارد، بزرگراه آزادگان که از شمال تا جنوب منطقه کشیده شده و آزادراه شهید فهمیده که در امتداد شمال منطقه و به موازات بزرگراه‌های شهید لشکری و فتح کشیده شده است. در این پژوهش بر اساس اعلام کارشناسان حوزه حمل و نقل، حریم میزان آسیب‌پذیری شریان‌های درجه یک حدود ۴۰ متر تعریف شده و وزن طبقات این شریان‌ها تا ۴۰ متر دارای بیشترین آسیب‌پذیری و از فاصله ۴۰ تا ۸۰ متر دارای آسیب‌پذیری نسبتاً بالا و از فاصله ۸۰ تا ۱۲۰ متر دارای آسیب‌پذیری متوسط و از فاصله ۱۲۰ تا ۱۶۰ متر دارای آسیب‌پذیری کم و از فاصله بیشتر از ۱۲۰ متر از سطح بزرگراه دارای کمترین آسیب‌پذیری می‌باشند (شکل ۴).

### ۲- معابر شریانی درجه دو

بر اساس اعلام شهرداری منطقه ۲۱، این منطقه حدود ۵۰ کیلومتر معابر شریانی درجه دو دارد. در این پژوهش، میزان حریم آسیب‌پذیری شریان‌های درجه دو حدود ۳۰ متر تعریف شده است. با دریافت آمار و اطلاعات حاصل از منابع مورد وثوق و برابر یافته‌های این پژوهش، میزان آسیب‌پذیری این متغیر به نرم‌افزار ارائه گردیده است. در این پژوهش، وزن طبقات این شریان‌ها تا ۳۰ متر دارای بیشترین آسیب‌پذیری و از فاصله ۳۰ تا ۶۰ متر دارای آسیب‌پذیری نسبتاً بالا و از فاصله ۶۰ تا

۹۰ متر دارای آسیب‌پذیری متوسط و از فاصله ۹۰ تا ۱۲۰ دارای آسیب‌پذیری کم و از فاصله بیشتر از ۱۲۰ متر از سطح معابر دارای کمترین آسیب‌پذیری می‌باشند (شکل ۵).

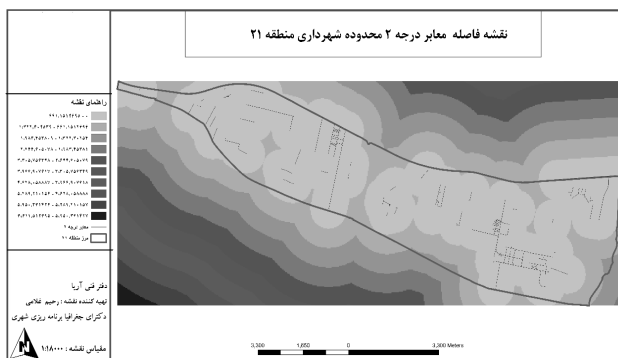
### ۳- معابر جمع‌کننده و پخش‌کننده

بر اساس اعلام کارشناسان حوزه حمل‌ونقل و کارشناسان حوزه انتظامی، میزان حریم آسیب‌پذیری در این معابر حدود ۲۰ متر تعریف شده است. این منطقه حدود ۴۵ کیلومتر معابر جمع‌کننده و پخش‌کننده دارد. ضمن دریافت آمار و اطلاعات حاصل از منابع مورد وثوق و برابر یافته‌های این پژوهش، میزان آسیب‌پذیری این متغیر به نرم‌افزار ارائه گردیده که وزن طبقات این نوع معابر تا ۲۰ متر دارای بیشترین آسیب‌پذیری و از فاصله ۲۰ تا ۴۰ متر دارای آسیب‌پذیری نسبتاً بالا و از فاصله ۴۰ تا ۶۰ متر دارای آسیب‌پذیری متوسط و از فاصله ۶۰ تا ۸۰ متر دارای آسیب‌پذیری کم و از فاصله بیشتر از ۸۰ متر دارای کمترین آسیب‌پذیری می‌باشند (شکل ۶).

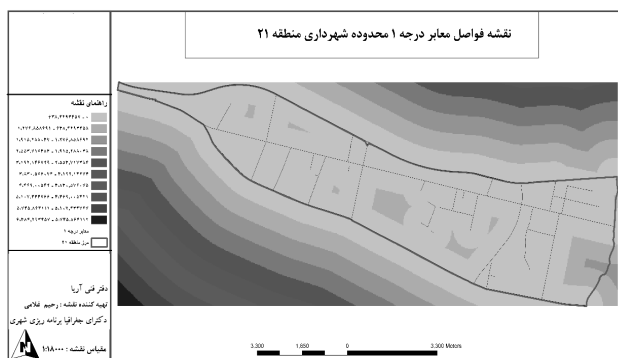
### ۴- آسیب‌پذیری نسبت به تصادفات

بر اساس اطلاعات حاصل از راهنمایی و رانندگی تهران بزرگ و پایش تعداد تصادفات منطقه در دو سال گذشته و استخراج آمار تصادفات (جرحی و فوتی) رخ داده در سطح معابر، میزان آسیب‌پذیری در سطوح جاده‌ها و تطبیق نقاط حادثه‌خیز کشف‌شده توسط اداره مهندسی ترافیک راهور منطقه ۲۱، شرایط منطقه مذکور به سیستم نرم‌افزاری منتقل گردید. این منطقه سالانه حدود ۱۱ هزار تصادف دارد که این میزان حدود ۵۰ کشته و حدود ۱۵۰ مصدوم را شامل می‌شود. بر اساس اعلام کارشناسان تصادفات راهنمایی و رانندگی، تعداد ۱۸۹ نقطه حادثه‌خیز که تصادفات فوتی در آن‌ها رخ داده، در این پژوهش مدنظر قرار گرفته تا میزان آسیب‌پذیری منطقه حاصل گردد. میزان حریم آسیب‌پذیری در این متغیر حدود ۱۰۰۰ متر تعریف شده است. بر اساس یافته‌های این پژوهش، وزن طبقات این متغیر تا ۱۰۰۰ متر دارای

بیشترین آسیب‌پذیری و از فاصله ۱۰۰۰ تا ۲۰۰۰ متر دارای آسیب‌پذیری نسبتاً بالا و از فاصله ۲۰۰۰ تا ۳۰۰۰ متر دارای آسیب‌پذیری متوسط و از فاصله بیشتر از ۳۰۰۰ متر دارای کمترین آسیب‌پذیری می‌باشند (شکل ۷). عرض معابر منطقه ۲۱ با دارا بودن بافت‌های روستایی یا سستی همچون وردآورد، چیتگر شمالی، چیتگر جنوبی و شهرک‌های حاشیه‌ای در اکثر موارد، کمتر از ۸ متر است. تعداد ۵۵ معبر با عرض کمتر از ۶ متر، ۴۸۱ معبر با عرض بین ۴ تا ۸ متر، ۸۹ معبر با عرض ۸ تا ۱۲ متر، ۱۲۰ معبر با عرض بین ۱۲ تا ۲۰ متر و ۱۴۱ معبر با عرض بیش از ۲۰ متر، از لحاظ آسیب‌پذیری بر اساس عرض و دسترسی به شبکه معابر دارای آسیب‌پذیری بالایی هستند.

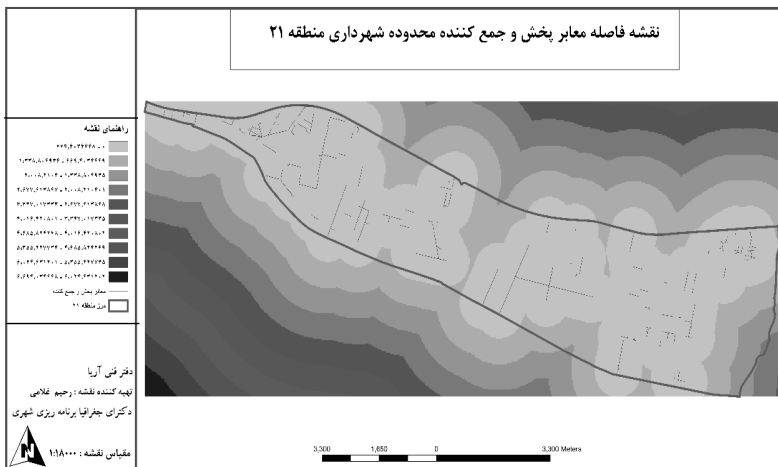


شکل ۴. نقشه رستر فاصله (Distance) شریانی درجه ۱

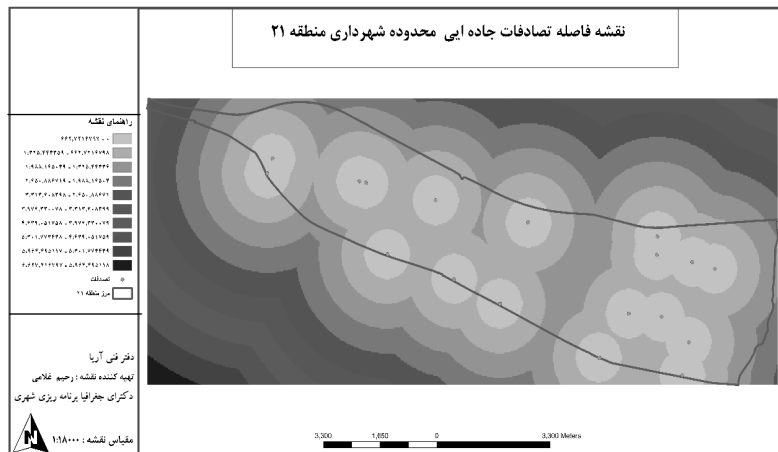


شکل ۵. نقشه رستر فاصله (Distance) شریانی درجه ۲

تحلیل آسیب‌پذیری شبکه‌ی معابر و سنجش گره‌های ترافیکی در شرایط وقوع زلزله



شکل ۶. نقشه‌ی رستر فاصله (Distance) پخش‌کننده و جمع‌کننده



شکل ۷. نقشه‌ی رستر فاصله (Distance) تصادفات

**جدول ۶. توزیع آماری شبکه معابر منطقه ۲۱ شهرداری تهران**

شبکه معابر	ناحیه ۱		ناحیه ۲		ناحیه ۳		منطقه ۲۱	
	تعداد راه‌ها	درصد در منطقه	تعداد راه‌ها	درصد در منطقه	تعداد راه‌ها	درصد در منطقه	تعداد کل	درصد کل
کمتر از ۴ متر	۱۱	۱/۲۴	۱۴	۱/۵۸	۳۰	۳/۳۸	۵۵	۶/۲
۴ تا ۸ متر	۱۹۵	۲۲	۱۰۲	۱۱/۵۱	۱۸۴	۲۰/۷۶	۴۸۱	۵۴/۲۷
۸ تا ۱۲ متر	۲۰	۲/۲۵	۲۷	۳/۰۴	۴۲	۴/۷۴	۸۹	۱۰/۰۳
۱۲ تا ۲۰ متر	۳۰	۳/۳۸	۲۸	۳/۱۶	۶۲	۶/۹۹	۱۲۰	۱۳/۵۳
بیش از ۲۰ متر	۴۶	۵/۱۹	۳۸	۴/۲۸	۵۷	۶/۴۳	۱۴۱	۱۵/۹
مجموع	۳۰۲	۳۴/۰۶	۲۰۹	۲۳/۵۷	۳۷۵	۴۲/۳	۸۸۶	۱۰۰

(منبع: یافته‌های پژوهش)

فریند انجام تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP): پس از مشخص شدن میزان آسیب‌پذیری هریک از زیرمعیارها، برای به‌دست‌آوردن ضریب آسیب‌پذیری برای هریک از معیارهای اصلی، جدول ماتریس مقایسه دوتایی معیارهای اصلی تشکیل شد تا از طریق مقایسه دودویی معیارهای اصلی، ضریب آسیب‌پذیری برای هریک از عوامل که به‌صورت یک جدول ترکیبی هستند، به دست آید. جداول شماره ۶ و ۷ ماتریس مقایسه دوتایی معیارهای کالبدی و ترافیکی است (زبردست، ۱۳۸۰: ۱۷).

**جدول ۷. ماتریس مقایسه دوتایی معیارهای کالبدی**

اولویت	گسل	قنات	تراکم جمعیت	بافت فرسوده	تراکم قطعات	طبقات	بردار ویژه
فاصله از گسل	۱	۳	۳	۵	۷	۹	۰/۲۸۸
قنات	۰/۳۳	۱	۳	۳	۵	۷	۰/۱۳۸
تراکم جمعیت	۰/۳۳	۰/۳۳	۱	۳	۵	۵	۰/۰۶۰
بافت فرسوده	۰/۲	۰/۳۳	۰/۳۳	۱	۳	۵	۰/۰۵۹
تراکم قطعات مسکونی	۰/۱۴	۰/۲	۰/۲	۰/۳۳	۱	۳	۰/۰۵۷
تعداد طبقات ساختمانی	۰/۱۱	۰/۱۴	۰/۲	۲/۰	۰/۳۳	۱	۰/۰۲۶

تحلیل آسیب‌پذیری شبکه معابر و سنجش گره‌های ترافیکی در شرایط وقوع زلزله

جدول ۸. ماتریس مقایسه دوتایی معیارهای ترافیکی

اولویت	تصادفات	شربانی درجه ۱	شربانی درجه ۲	جمع و پخش کننده	بردار ویژه
تصادفات	۱	۷	۳	۳	۰/۵۵۲
شربانی درجه ۱	۰/۱۴	۱	۰/۳۳	۱	۰/۰۹۵
شربانی درجه ۲	۰/۳۳	۳	۱	۱	۰/۱۹۹
جمع کننده و پخش کننده	۰/۳۳	۱	۱	۱	۰/۱۵۳

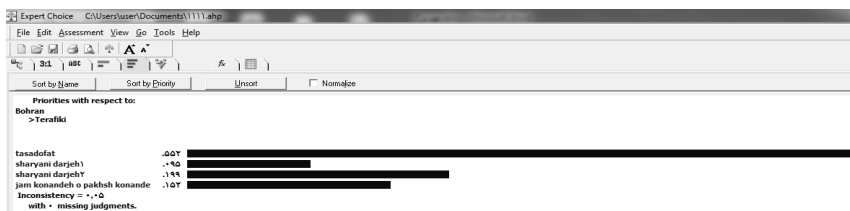
(منبع: یافته‌های پژوهش)

محاسبه وزن معیارها: به منظور محاسبه وزن معیارها و دقیق شدن ضریب آسیب‌پذیری هریک از معیارها از نرم‌افزار Expert Choice ۱۰/۲ استفاده شده است. روش انجام محاسبه وزن معیارها به این صورت است که ابتدا جدول ماتریس مقایسه‌ای دودویی معیارها را بر اساس اهمیت آن‌ها که در جداول فوق آورده شده تشکیل می‌دهیم، سپس با وارد کردن وزن هریک از معیارها ماتریس تکمیل می‌گردد و محاسبه وزن‌ها با دقت بالایی انجام می‌شود. حاصل این تحلیل، به دست آوردن ضریب معیارهای مؤثر و مورد استفاده در آسیب‌پذیری ناشی از زلزله در منطقه مورد مطالعه است (شکل ۲ و ۳).



نمودار ۲. ضریب هریک از معیارهای کالبدی در آسیب‌پذیری منطقه ۱

(منبع: یافته‌های پژوهش)



نمودار ۳. ضریب هریک از معیارهای ترافیکی در آسیب‌پذیری منطقه ۱

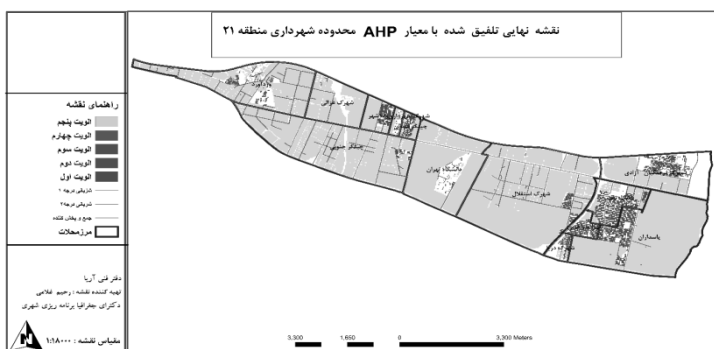
(منبع: یافته‌های پژوهش)

در پژوهش حاضر به منظور دقیق‌تر انجام گرفتن فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی از نرم‌افزار ۱۰/۲ Expert Choice استفاده شده و سازگاری مقایسه‌ها با دقت بررسی شده است. در پژوهش حاضر، نرخ سازگاری معیار کالبدی با خطای ۰/۰۶ و معیار ترافیکی با خطای ۰/۰۵ برآورد گردیده که سازگاری در قضاوت‌ها مورد تأیید قرار گرفته است.

**ارزیابی آسیب‌پذیری کلی:** نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که معیار فاصله از گسل (۰/۴۲۲) و تصادفات (۰/۵۲۲) بالاترین مقدار را به دست آورده‌اند که نشان‌دهنده آسیب‌پذیری بسیار بالای ساختمان‌ها و معابر منطقه می‌باشد. بدین ترتیب در معیارهای کالبدی ابنیه، قنات‌ها، تراکم جمعیت و بافت فرسوده به ترتیب با کسب امتیازهای ۰/۲۴۸، ۰/۱۶۳ و ۰/۰۹۳ در اولویت بعد قرار می‌گیرند که در آسیب‌پذیری محدوده مورد مطالعه بیشترین تأثیر را دارند. در معیارهای ترافیکی شریانی درجه ۲ و جمع‌کننده‌ها، پخش‌کننده‌ها و شریانی درجه ۱ به ترتیب با امتیازهای ۰/۱۹۹، ۰/۱۵۲ و ۰/۰۹۵ در اولویت تأثیرگذار در تحلیل آسیب‌پذیری منطقه قرار دارند. این امر نشان‌دهنده تأثیر عوامل سازه‌ای در آسیب‌پذیری محلات می‌باشد. برای تهیه نقشه آسیب‌پذیری کلی در این پژوهش، پس از محاسبه وزن‌های معیارها با استفاده از روش AHP، هر کدام از وزن‌ها با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی در لایه‌های مربوطه اعمال می‌گردد. در نهایت نقشه آسیب‌پذیری کلی منطقه ۲۱ بر اساس نتایج به دست آمده از تحلیل AHP استخراج گردید (شکل ۸).

بر اساس توزیع آماری جدول ۹، ۱۹/۶۹ درصد از ساختمان‌های منطقه با آسیب‌پذیری خیلی زیاد روبه‌رو هستند؛ بیشترین تعداد این ساختمان‌ها در ناحیه ۳ در محله وردآورد با بافتی سنتی قرار دارند و ۲۳/۵۷ درصد ساختمان‌های منطقه در طبقه آسیب‌پذیری زیاد قرار گرفته‌اند. بیشترین فراوانی این گروه از ساختمان‌ها در ناحیه ۳ با ۱۲/۹۶ درصد قرار دارند. در گروه آسیب‌پذیری متوسط که ۳۳/۰۱ درصد

ساختمان‌های منطقه را شامل می‌شود، بیشترین تعداد در نواحی ۱، ۲ و ۳ هستند. با توجه به مطالب بیان‌شده، بیشترین سازه‌های مقاوم منطقه ۲۱ شهر تهران در برابر زلزله در نواحی ۱ و ۲ قرار دارند. ۱۹/۸۱ درصد ساختمان‌های منطقه در طبقه آسیب‌پذیری کم قرار دارند که بیشترین تعداد آن‌ها در ناحیه ۲ که دارای ابنیه و ساختمان‌های نوساز است، می‌باشند و ۳/۷۶ درصد ساختمان‌های منطقه را تشکیل داده‌اند که در سطح ناحیه ۱ پراکنده شده‌اند.



شکل ۸. نقشه آسیب‌پذیری کلی منطقه ۲۱ شهر تهران با مدل AHP بر اساس نظرات کارشناسان (منبع: یافته‌های پژوهش)

جدول ۹. توزیع آماری آسیب‌پذیری کلی منطقه ۲۱ شهر تهران در مدل AHP بر اساس نظرات

کارشناسان

منطقه ۲۱	ناحیه ۱		ناحیه ۲		ناحیه ۳		آسیب‌پذیری کلی	
	تعداد در منطقه کل	درصد در منطقه کل	تعداد ساختمان	درصد در منطقه	تعداد ساختمان	درصد در منطقه		
۱۹/۶۹	۳۴۹۷	۷/۰۴	۱۲۵۰	۱/۹۱	۳۴۰	۱۰/۷۴	۱۹۰۷	آسیب‌پذیری خیلی زیاد
۲۳/۵۷	۴۱۸۵	۸/۷۴	۱۵۵۲	۱/۸۷	۳۳۲	۱۲/۹۶	۲۳۰۱	آسیب‌پذیری زیاد
۳۳/۱	۵۸۷۶	۹/۳۳	۱۶۵۶	۹/۱۱	۱۶۱۸	۱۴/۶۶	۲۶۰۲	آسیب‌پذیری متوسط
۱۹/۸۱	۳۵۱۷	۶/۱۷	۱۰۹۵	۴/۴۵	۹۶۸	۸/۱۹	۱۴۵۴	آسیب‌پذیری کم
۳/۷۶	۶۷۱	۰/۹۲	۱۶۴	۱/۴۴	۲۵۷	۱/۴	۲۵۰	آسیب‌پذیری بسیار کم
۱۰۰	۱۷۷۴۶	۳۲/۲	۵۷۱۷	۱۹/۷۸	۳۵۱۵	۴۷/۹۵	۸۵۱۴	مجموع

(منبع: یافته‌های پژوهش)



فازی سازی نقشه آسیب پذیری کلی منطقه مورد مطالعه: بر اساس نظریه مجموعه های فازی، عضویت اعضا در مجموعه ممکن است به طور کامل نبوده و هر عضوی دارای درجه عضویت از صفر تا یک باشد. در این مدل هیچ واحدی مناسب مطلق و نامناسب در نظر گرفته نمی شود؛ به همین دلیل وزن های داده شده بین صفر و یک متغیر است. نقشه آسیب پذیری کلی به منظور فازی سازی در قالب اپراتورهای مختلف تلفیق می شود. «معیارهای ارزیابی با معیارهای مختلف اندازه گیری ارائه می شوند؛ برای اینکه بتوان آن ها را به یک مقیاس مشترک تبدیل نمود، به استاندارد سازی نیاز دارند. علاوه بر نظریه فازی، چندین روش از جمله تابع انتقال مقیاس خطی، تابع مقدار و احتمالات تجدیدنظرشونده را نیز می توان برای استاندارد سازی نتایج حاصل از فرایند تحلیل سلسله مراتبی مورد استفاده قرار داد» (راشد، ۲۰۰۳: ۷). مجموعه های فازی انواع مختلفی چون سیگمونیدال، تابع آستانه خطی، S شکل و J شکل هستند که در این پژوهش با توجه به ترکیب لایه ها با استفاده از وزن حاصل از AHP از تابع خطی زیر استفاده شده است:

$$f(x) = \sum w_i \mu(x_i)$$

در این رابطه  $f(x)$  برآورد نهایی خطر بر مبنای معیارهای آسیب پذیری مختلف است؛  $w_i$  وزن هر یک از معیارهای ورودی به مدل AHP و  $\mu(x_i)$  عضویت فازی هر یک از معیارها بر مبنای تابع خطی فازی است. لایه های اطلاعاتی فازی سازی شده از طریق اعمال ضرایب حاصل از مقایسه زوجی و وزن دهی شده AHP ترکیب شدند و لایه های آسیب پذیری موضوعی و نهایی محاسبه گردیدند. لایه های اطلاعاتی در سامانه اطلاعات جغرافیایی و نرم افزار Arc/GIS وارد شدند. نقشه ها با ساختار رستری یا سلولی با تعیین عضویت فازی طبقه بندی شدند. در مرحله بعدی، ضرایب به دست آمده از فرایند AHP در لایه های اطلاعاتی ضرب شد و کلیه نقشه های

## تحلیل آسیب‌پذیری شبکه‌ی معابر و سنجش گره‌های ترافیکی در شرایط وقوع زلزله

وزن‌دار شده باهم جمع گردیدند و نقشه‌های نهایی خطر و آسیب‌پذیری موضوعی زلزله به دست آمد. نقشه‌ی فازی‌سازی شده از روش تحلیل فرایند سلسله‌مراتبی صرفاً نشان‌دهنده میزان آسیب‌پذیری کلی منطقه مورد مطالعه می‌باشد؛ از این رو برای ارزیابی دقیق آسیب‌پذیری لازم است به طراحی سناریوهای زلزله در شدت‌های مختلف پرداخت (حبیبی، ۱۳۹۲: ۱۳).

طراحی سناریوهای زلزله در نواحی ۱ و ۲ و ۳: در این بخش، سناریوهای زلزله و درجه آسیب وارده به سازه‌های منطقه ۲۱ شهر تهران در سه ناحیه ۱، ۲ و ۳ منطقه ۲۱ مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. برای ارزیابی دقیق‌تر میزان آسیب‌پذیری منطقه لازم است تا با استفاده از روش‌های موجود از جمله روش تخمین شاخص متوسط درجه آسیب ( $\mu_D$ ) به طراحی سناریوهای زلزله با شدت مختلف پرداخت. با استفاده از این شاخص، سناریوهای زلزله در شدت‌های مختلف مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. این ارزیابی از رابطه زیر به دست می‌آید.

$$\alpha_D = 2.5 \left[ 1 + \tanh \left( \frac{I + 6.25\bar{V}i - 13.1}{2.3} \right) \right]$$

(میلوتینوویچ، ۲۰۰۳: ۳۶)

$\alpha_D$  = نشانگر متوسط درجات آسیب

$I$  = نشانگر شدت زلزله بر اساس واحد مرکالی اصلاح شده

$\bar{V}i$  = مقدار آسیب‌پذیری حاصل از اعمال روش تحلیل سلسله‌مراتبی و چندمعیاره

### طراحی سناریوی زلزله‌ای با شدت ۷ مرکالی در ناحیه ۱ منطقه ۲۱

به منظور ارزیابی میزان آسیب‌پذیری ناحیه ۱ منطقه ۲۱، سناریویی با زلزله ۷ مرکالی اصلاح شده طراحی و بر روی نقشه آسیب‌پذیری منطقه اعمال شده تا میزان آسیب‌پذیری مورد سنجش قرار گیرد. توزیع آماری گره‌های ترافیکی در زلزله‌ای با

شدت ۷ مرکالی اصلاح شده، حاکی از آن است که ۱۰/۷۴ درصد معابر با گره‌های ترافیکی با آسیب‌پذیری خیلی زیاد (شبکه معابر در شهرک نفت، تهرانسر اصلی و غربی) مواجه می‌شوند؛ ۱۲/۹۶ شبکه معابر منطقه در دامنه ترافیکی آسیب‌پذیری زیاد (شبکه معابر در محله شهرک نفت، تهرانسر مرکزی) قرار می‌گیرند؛ ۱۴/۶۶ درصد شبکه معابر در دامنه گره‌های ترافیکی متوسط در معابر تهرانسر شرقی قرار دارند و ۱/۴ درصد معابر شهری با گره‌های ترافیکی آسیب‌پذیری کم (شهرک یاس و گل‌ها) مواجه می‌شوند (شکل ۹).

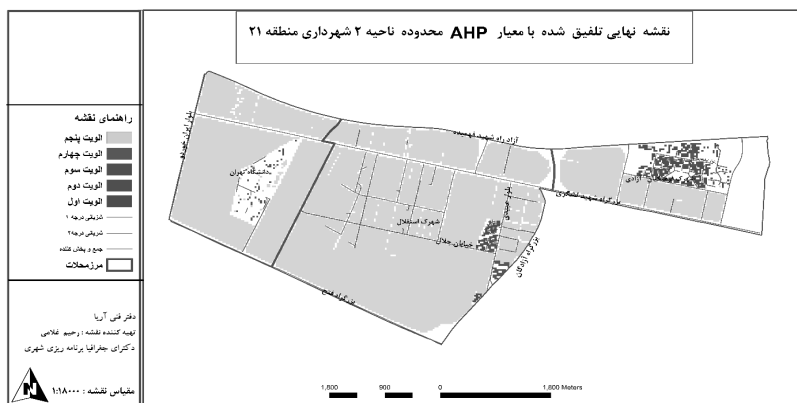


شکل ۹. نقشه گره‌های ترافیکی در زلزله‌ای به اندازه ۷ مرکالی در ناحیه ۱ منطقه ۲۱ (مأخذ: نگارندگان)

طراحی سناریوی زلزله‌ای با شدت ۷ مرکالی در ناحیه ۲ منطقه ۲۱ به‌منظور ارزیابی میزان آسیب‌پذیری ناحیه ۲ منطقه ۲۱، سناریویی با زلزله‌ای به شدت ۷ مرکالی اصلاح شده طراحی و بر روی نقشه آسیب‌پذیری منطقه اعمال شده تا میزان آسیب‌پذیری موردسنجش قرار گیرد. توزیع آماری گره‌های ترافیکی در زلزله‌ای با شدت ۷ مرکالی اصلاح شده، حاکی از آن است که تعداد گره‌های ترافیکی بالا رفته و بسیاری از شبکه معابر مقاومت خود را از دست داده و در دامنه آسیب بالا قرار

## تحلیل آسیب‌پذیری شبکه معابر و سنجش گره‌های ترافیکی در شرایط وقوع زلزله

گرفته‌اند. نتایج توزیع آماری نشان می‌دهد که ۷/۳۶ درصد شبکه معابر منطقه در دامنه گره‌های ترافیکی آسیب‌پذیری بالا قرار دارند که بیشترین تعداد این شبکه معابر در قسمت شهرک آزادی و استقلال می‌باشد؛ ۹/۱۱ درصد در دامنه گره‌های ترافیکی آسیب‌پذیری متوسط قرار دارند که بیشترین تعداد این معابر در شهرک فرهنگیان می‌باشد؛ ۱/۹۱ درصد معابر شهری با گره‌های ترافیکی آسیب‌پذیری کم مواجه می‌شوند که بیشترین تعداد این شبکه معابر در شهرک استقلال قرار دارند (شکل ۱۰).

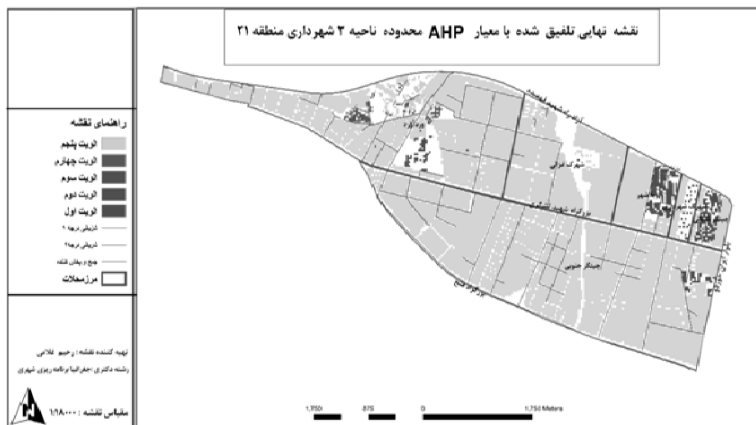


شکل ۱۰. نقشه گره‌های ترافیکی در زلزله‌ای با شدت ۷ مرکالی در ناحیه ۲ منطقه ۲۱ (مأخذ: نگارندگان)

### طراحی سناریوی زلزله‌ای با شدت ۷ مرکالی در ناحیه ۳ منطقه ۲۱

به‌منظور ارزیابی آسیب‌پذیری ناحیه ۳، سناریوی زلزله‌ای با شدت ۷ مرکالی طراحی و بر روی نقشه شبکه معابر منطقه اعمال شد تا میزان آسیب‌پذیری موردسنجش قرار گیرد. توزیع آماری گره‌های ترافیکی در زلزله‌ای با شدت ۷ مرکالی اصلاح‌شده، حاکی از آن است که تعداد گره‌های ترافیکی بسیار بالا رفته و فقط ۰/۹۲ درصد شبکه معابر در دامنه گره‌های ترافیکی خیلی کم قرار گرفته‌اند؛ ۹/۳۳ درصد شبکه معابر منطقه در دامنه گره‌های ترافیکی آسیب‌پذیری متوسط و ۱۵/۷۸ درصد شبکه معابر در

دامنه گره‌های ترافیکی زیاد قرار دارد که این شبکه معابر در چیتگر جنوبی و ویلاشهر قرار دارند؛ ۱۵/۷۸ درصد شبکه معابر در دامنه گره‌های ترافیکی خیلی زیاد قرار دارند؛ بیشترین تعداد این معابر در چیتگر شمالی، وردآورد و شهرک شهرداری قرار دارند (شکل ۱۱).



شکل ۱۱. نقشه گره‌های ترافیکی در زلزله‌ای با شدت ۷ مرکالی در ناحیه ۳ منطقه ۲۱ (مأخذ: نگارندگان)

### نتیجه‌گیری

از آنجایی که بررسی همه‌جانبه تمامی عوامل آسیب‌پذیری شهری به‌طور یک‌جا امکان‌پذیر نیست؛ لذا در این پژوهش سعی گردید که ارزیابی آسیب‌پذیری با استفاده از روش تحلیل سلسله‌مراتبی برای شاخص‌های کالبدی و ترافیکی به‌عنوان دو رویکرد مهم در مسائل شهری انجام شود. شایان‌ذکر است که مطالعه این پژوهش صورت‌گرفته در منطقه ۲۱ می‌تواند منشأ مطالعات در سایر مناطق تهران حتی مناطق مرکزی شهر که دارای بافت‌های فرسوده، جمعیت و ترافیک بیشتر نسبت به این منطقه می‌باشد، قرار گیرد. با در نظر گرفتن نتایج حاصل از این روش و تلفیق آن با سیستم اطلاعات جغرافیایی، به طراحی و ارزیابی دقیق و ارائه نقشه ریزپهنه‌بندی آسیب‌پذیری منطقه ۲۱ تهران در برابر بحران زلزله پرداخته شد. در این پژوهش،

## تحلیل آسیب‌پذیری شبکه‌ی معابر و سنجش گره‌های ترافیکی در شرایط وقوع زلزله

هریک از معیارها به‌طور جداگانه و رابطه‌ی تک‌تک آن‌ها با فرایند آسیب‌پذیری به‌طور مشخص بررسی شد. افزایش مقدار متغیرهایی چون تراکم جمعیت، بافت فرسوده، تعداد طبقات و ... باعث افزایش میزان آسیب‌پذیری شده و در مقابل، افزایش مقدار متغیرهایی چون فاصله از گسل، مساحت قطعات، دسترسی بر اساس عرض معابر و ... باعث کاهش آسیب‌پذیری می‌گردید که ضرایب اهمیت تک‌تک آن‌ها با استفاده از روش تحلیل Expert Choice محاسبه گردید.

درنهایت می‌توان گفت که منطقه‌ی مورد مطالعه با توجه به اکثر عوامل، آسیب‌پذیری بالایی در برابر زلزله دارد. عدم رعایت حریم‌ها، وجود قطعات در اندازه‌های کوچک و خردشدن قطعات، وجود معابر کم‌عرض و بن‌بست و وجود ساختمان‌های قدیمی با عمر بالای ۳۰ سال، شرایط نامناسبی را برای منطقه‌ی ۲۱ به وجود آورده و نیاز به نگرش واقع‌بینانه در این مورد می‌باشد. مسلماً رعایت حریم‌ها، نوسازی، بهسازی و بازسازی ساختمان‌های فرسوده، ساماندهی فضاهای باز و کاربری‌ها و مقاوم‌کردن جداره‌ها به‌منظور حفظ عملکرد معابر در زمان بحران باعث کاهش میزان آسیب‌پذیری می‌شود؛ بنابراین با توجه به مجموعه‌ی عوامل و شرایط در این خصوص و اجرای سناریوهای زلزله‌ی قابل‌پیش‌بینی و آگاهی از میزان آسیب وارده به سازه‌های منطقه در سه ناحیه‌ی آن می‌توان ارزیابی دقیق و مدیریت بحران پیش از وقوع بحران را به عمل آورد. نتایج حاصل از طراحی سناریوهای زلزله در نواحی سه‌گانه نشان می‌دهد که با زلزله‌ای به شدت ۷ مرکالی فقط یک درصد از معابر منطقه در دامنه‌ی گره‌های ترافیکی خیلی کم و ۱۰ درصد شبکه‌ی معابر در دامنه‌ی گره‌های ترافیکی متوسط قرار گرفته‌اند. بیشترین تعداد گره‌های ترافیکی در دامنه‌ی خیلی زیاد در ناحیه‌ی ۳ شهرداری و بیشترین تعداد گره‌های ترافیکی در دامنه‌ی زیاد به ترتیب در نواحی ۲ و ۳ می‌باشند. با توجه به تمرکز جمعیت و فرسودگی سازه‌ها در شهرک‌های چیتگر شمالی، معابر داخلی ویلاشهر و شهرک شهرداری، این محدوده‌ها دارای

خطرپذیرترین محدودهای منطقه محسوب می گردند. کمترین گره‌های ترافیکی در ناحیه ۱ شهرداری در قسمت تهرانسر غربی، محله یاس و نیز در قسمت تهرانسر شرقی قرار دارند. نکته حائز اهمیت در شناسایی گره‌های ترافیکی در منطقه ۲۱ شهرداری تهران این است که زمانی که تمامی عوامل تأثیرگذار در آسیب‌پذیری شبکه ارتباطی ناشی از زلزله به صورت لایه‌های مختلف باهم تلفیق می‌شوند، خروجی‌های GIS نشان می‌دهد که در هر پهنه‌ای از شهر که تعداد ساختمان‌های تخریب‌شده زیاد باشد، تلفات جانی و مالی سنگین و در نهایت گره‌های ترافیکی برای انجام عملیات امدادونجات در همین پهنه‌ها اتفاق می‌افتد. نتیجه کلی بررسی‌ها نشان می‌دهد که معابر ناحیه ۳ محلات چیتگر شمالی، شهرک شهرداری و ویلاشهر دارای اولویت اول خطرپذیرترین معابر و ناحیه ۲ در اولویت دوم خطرپذیرترین و ناحیه ۱ در اولویت سوم قرار دارند.

### پیشنادهای پژوهش

- درجه محصوریت (ارتفاع ساختمان با توجه به عرض معابر) و تدوین قوانین مناسب برای اعمال آن در سطح شهر و اعمال فاصله مناسب بین ساختمان‌های بلندمرتبه و بدنه معابر از طریق ایجاد فضای سبز به منظور کاهش انسداد معابر.
- برقراری پیوند شبکه معابر و بافت کالبدی با ایجاد شبکه‌های دسترسی به منظور امدادسانی هنگام وقوع بحران زلزله.
- تعیین گستره‌های مناسب به منظور بهسازی و نوسازی ابنیه قدیمی که بیشترین آسیب‌پذیری دارند.
- ایجاد پد بالگرد و گسترش فضاهای باز در سطوح منطقه به منظور امدادسانی هوایی در زمان بحران.
- جلب مشارکت و کلاس‌های آموزشی به منظور آمادگی در برابر مقابله با بحران

## تحلیل آسیب‌پذیری شبکه‌ی معابر و سنجش گره‌های ترافیکی در شرایط وقوع زلزله

برای کارکنان پلیس راهنمایی و رانندگی.

- تعریض معابر محلی و کم‌عرض و همچنین حذف معابر بن‌بست از سیستم کالبدی فضای شهری.

- ایجاد نقاط پارک در فواصل مناسب در حاشیه‌ی معابر بزرگراهی به‌منظور عرضه‌ی خدمات اضطراری و انتقال خودروهای تصادفی به‌منظور جلوگیری از ازدحام و تراکم خودرو در زمان بحران.

- انجام مطالعات جامع مربوط به اجرای طرح‌های انتظامی - ترافیکی به‌منظور مدیریت صحیح بحران در زمان وقوع زلزله.

- ایمن‌سازی شبکه‌های زیرساختی منطقه بالأخص پل‌های معابر در مقابل زلزله و سیل.

## منابع

- آيسان، یاسمین و یان دیویس. (۱۳۸۲). *برنامه‌ریزی بازسازی (ترجمه‌ی علیرضا فلاحي)*. دانشگاه شهید بهشتی، تهران.

- احدنژاد، محسن. (۱۳۸۸). *مدل‌سازی آسیب‌پذیری شهرها در برابر زلزله، نمونه شهر زنجان*. رساله دکتری جغرافیا، دانشگاه تهران، بازیابی از:

<http://fa.journals.sid.ir/ViewPaper.aspxID=۱۱۱۳۱۶>

- استقامتی، مهناز. (۱۳۹۳). *بررسی و تحلیل توزیع فضایی - مکانی کاربری‌های فضای سبز در برنامه‌ریزی توسعه‌ی شهری با استفاده از مدل معادلات ساختاری*.

پایان‌نامه کارشناسی ارشد به راهنمایی دکتر جابر پارسایی، دانشگاه آزاد نور.

- اکبری، رضا. (۱۳۸۴). *نقش شهرسازی در مدیریت بحران زلزله با به‌کارگیری GIS و RS (مطالعه موردی: فرحزاد تهران)*. پایان‌نامه کارشناسی ارشد شهرسازی دانشکده

هنرهای زیبا، دانشگاه تهران، بازیابی از:



<http://fa.journals.sid.ir/ViewPaper.aspxid>

- باغ وند، اکبر. (۱۳۸۵). عملکرد شبکه حمل و نقل شهری پس از زلزله و راهکارهای ۲ سمینار ساخت و ساز پایتخت.

- بحرینی، م. ح. (۱۳۷۶). تئوری شکل شهر. انتشارات دانشگاه تهران  
 - حبیبی، کیومرث. (۱۳۹۲). پیاده‌سازی الگوریتم‌های سلسله‌مراتبی فازی جهت تعیین آسیب‌پذیری چندعامله هسته مرکزی شهر. دو فصلنامه علمی و پژوهشی مدیریت بحران، پاییز و زمستان، بازیابی از: [http://www.joem.ir/article/287\\_2782](http://www.joem.ir/article/287_2782)

- دهقانی، احمد. (۱۳۹۰). ارائه الگوی معماری IIS خدمات مدیریت بحران در راه‌های برون‌شهری کشور. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، رشته طراحی شهری، دانشگاه تربیت مدرس، دانشکده معماری.

- سرور، رحیم و عشقی، علی. (۱۳۹۴). شبیه‌سازی گره‌های ترافیکی در هنگام وقوع زلزله با مدل AHP به کمک GIS در منطقه ۳ تهران. بازیابی از:

<http://fa.journals.sid.ir/ViewPaper.aspxid>

- شیعه، اسماعیل. (۱۳۸۹). بررسی آسیب‌پذیری شبکه ارتباطی شهرها در مقابل با زلزله. مجله باغ نظر، (۱۳).

- صمدی، ملیحه. (۱۳۷۴). برنامه‌ریزی و طراحی شهری در کاهش خطرات. مجموعه مقالات کنفرانس بین‌المللی، ج ۲.

- عبداللهی، مجید. (۱۳۸۳). مدیریت بحران در نواحی شهری. انتشارات شهرداری‌ها و دهیاری‌های کشور.

- عزیز، محمدمهدی. (۱۳۸۳). نقش شهرسازی در کاهش آسیب‌های زلزله، تجربه بم. طرح پژوهشی دانشگاه تهران.

- غلامی، محمدرحیم. (۱۳۹۴). راهبردهای مدیریت بحران در شبکه معابر شهر تهران. رساله دکتری جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران.

- محمدپور، صابر. (۱۳۹۳). تحلیل شاخص‌های کالبدی آسیب‌پذیری لرزه‌ای در بافت‌های فرسوده شهری. رساله دکتری جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران.
- مهندسین مشاور زادبوم. (۱۳۸۵). خلاصه طرح تفصیلی منطقه ۲۱. مرکز مطالعات و برنامه‌ریزی شهر تهران.
- ناطقی الهی، فریبرز. (۱۳۸۹). مدیریت بحران. پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله، تهران.
- Chang, S., Falit-Baiamonte, A. (2002). Disaster vulnerability of businesses in the 2001 Nisqually earthquake, *Environmental Hazards*, Vol 4, PP. 59-71.
- Cutter, S. T. Mitchell & S. Scott. (2000). Revealing the vulnerability of people and places: a case study of Georgetown County, S. Carolina. *Annals Association of American Geographers*.
- Liu, Bin et al. (2003). The Restoration Planning Of Road Network In Earthquake Disasters, *Proceedings of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*.
- Montoya et al. (2002). Morales Risk Assessment in Cartago, Costa Rica, Thesis in Master of Science in urban planning & management. *International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation (ITC)*. Urban Disaster .
- Palm, R. I., M. E Hodgson. (2002). Earthquake insurance: mandated disclosure and homeowner response in California. *Annals of the Association*.
- Paton, D and Fohnston, D. (2001). Disaster and communities: vulnerability, resilience and preparedness. *Disaster Prevention*, Number 4, MCB University.
- Rashed, K and Weeks, J. (2003). Assessing vulnerability to earthquake hazards through spatial multicriteria analysis of urban areas. *International Journal*.
- Samadzadegan. F.& Zarrinpanjeh. N. (2008). Earthquake Destruction

Assessment Of Urban Roads Network Using Satellite Imagery And Fuzzy Inference Systems. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information*

-Yung-Lung Lee, Ming-Chin Ho, Tsung-Cheng Huang, Cheng-An Tai. (2007).Urban Disaster Prevention Shelter Vulnerability Evaluation Considering Road Network Characteristics, 2nd International Conference on Urban Disaster Reduction.

