

## ارزیابی آسیب‌پذیری لرزاگه شبکه حمل و نقل با تأکید بر معیارهای مقاومت زمین و طراحی مسیرهای امداد و نجات با استفاده از GIS

عبدالرضا کاظلمی نیا<sup>۱</sup>، علیرضا غنیزاده<sup>۲</sup>

-۱ مری، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی سیرجان، سیرجان، ایران  
-۲ استادیار، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی سیرجان، سیرجان، ایران

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۵/۱۱/۰۳ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۶/۰۶/۲۲

### چکیده

اهمیت شبکه حمل و نقل در بخش اقتصاد، صنعت، سیاست و حتی نظامی سبب شده که زیربنای توسعه پایدار در هر منطقه باشد. شبکه حمل و نقل شهری قبل و بعد از زلزله، در عملیات امداد و نجات، جابجایی و تخلیه آسیب دیدگان تأثیر قابل توجهی خواهد داشت؛ بنابراین طراحی شبکه هندسی حمل و نقل شهری و برنامه‌ریزی برای کاهش آسیب‌های احتمالی امری ضروری به نظر می‌رسد. شهر کرمان به دلیل موقعیت جغرافیایی خاص و محصور بودن بهو سیله گسل‌ها در برایر زلزله آسیب‌پذیر است؛ بنابراین در این تحقیق سعی شده که ابتدا آسیب‌پذیری شبکه حمل و نقل شهرکرمان را در برایر زلزله بر اساس معیارهای مقاومت زمین و با استفاده از روش سیستم اطلاعات مکانی- تحلیل سلسله مراتبی پنهان‌بندی و بعد از تعريف پایگاه داده زمین مرجع برای مسیرهای شهری، جهت خدمات‌رسانی و تخلیه سریع‌تر آسیب دیدگان در زمان و یا بعد از زلزله، شبکه هندسی حمل و نقل منطقه طراحی گردد. در جداول توصیفی لایه معابر شهری، فیلدهای آسیب‌پذیر بودن معابر به همراه فیلدهای نام، کد شناسایی، یک طرفه و دو طرفه بودن، طبقه‌بندی و طول خیابان‌ها ایجاد و اطلاعات توصیفی مربوطه وارد گردید که می‌توان با به کار بردن تحلیل‌های شبکه در زمان موردنیاز، به راحتی بهترین مسیر تخلیه نجات آسیب دیدگان را با در نظر گرفتن محدودیت آسیب‌پذیری مسیرها، تعیین نمود. نتایج نهایی حاکی از این است که آسیب‌پذیری شبکه حمل و نقل شهر کرمان در مناطق ۱ و ۳ بیشتر به چشم می‌خورد و دلیل آن را می‌توان، تجمع تأسیسات آسیب‌پذیر شهری و مقاومت کم زمین، در این نواحی دانست؛ بنابراین در برنامه‌ریزی‌ها، باید این مناطق در اولویت قرار گیرند.

**کلیدواژه‌ها:** شبکه حمل و نقل شهری، آسیب‌پذیری، شبکه هندسی، پایگاه داده زمین مرجع، زلزله.

\* نویسنده مکاتبه کننده: سیرجان، کیلومتر ۵ جاده بافت، دانشگاه صنعتی سیرجان

تلفن: ۰۳۴-۴۲۳۳۶۹۰۵

## ۱- مقدمه

راه‌ها بر می‌گردد [۲]. آسیب‌شناسی شبکه حمل و نقل شهری با رویکرد زلزله، به عنوان یکی از عناصر کلیدی شهر، از اهمیت بسیار بالایی برخوردار است در این میان اهمیت برنامه‌ریزی شبکه حمل و نقل در هنگام بحران یا حتی بعدازآن در مناطق شهری بسیار چشمگیر است. چیزی که بیش از همه اهمیت دارد، نجات دادن جان انسان‌ها در برابر این رخداد طبیعی و نقش مهم شبکه حمل و نقل از جمله خیابان‌ها و مسیرهای بین ساختمان‌های تخریب شده در امدادرسانی و کمک به مجروهین است که نمی‌توان آن را انکار کرد؛ بنابراین با توجه به مخاطرات طبیعی خصوصاً زلزله و غیرمنتظره بودن رخداد آن‌ها، ضرورت برنامه‌ریزی در این خصوص مشخص است. به عبارت دیگر، آسیب‌پذیری شبکه حمل و نقل به معنی کاهش توانایی مسیرها جهت خدمات رسانی در هنگام بحران است [۳]. شبکه حمل و نقل یکی از عناصر مهم شهری است که بلافاصله بعد از زلزله اهمیت ویژه‌ای می‌یابد؛ زیرا که نیاز به تخلیه محل حادثه و امدادرسانی به مجروحان در اسرع وقت از نخستین گام‌های مدیریت بحران است که این امر جز با استفاده از شبکه حمل و نقل میسر نخواهد بود. در میان شبکه‌های گوناگون شریان‌های حیاتی، شبکه‌های حمل و نقل درون‌شهری به عنوان آسیب‌پذیرترین شبکه در برابر زلزله شناخته شده‌اند [۴]. به عبارت دیگر در صورت بسته شدن مسیر صدمات ناشی از زلزله چندین برابر شده و ممکن است بازگشت به وضع عادی زمان بر باشد. برای حل این مشکل و کمک به افزایش کارآبی مدیریت سوانح طبیعی نیاز به شناسایی عوامل مؤثر بر میزان کارآبی شبکه حمل و نقل است [۵]. برای شناسایی عوامل مؤثر بر کارآمدی شبکه حمل و نقل شهری نیاز است که ابتدا مدل آسیب‌پذیری شبکه مورد نظر تعیین شود و سپس شبکه هندسی برای مشخص کردن بهترین مسیر و دسترسی به فضاهای امن جهت فرار و نجات آسیب دیدگان از زلزله طراحی شود.

زلزله و زمین‌لرزه‌های ناشی از آن، یکی از مخاطرات طبیعی و بحران‌هایی است که بسیاری از شهرها خصوصاً در ایران، با آن مواجه هستند. طبق آمارهای موجود زلزله حدود ۹۴ درصد از تلفات ناشی از بحران‌های طبیعی را در بین سال‌های ۱۹۸۰ تا ۲۰۰۰ میلادی در سطح جهان به خود اختصاص داده است و کشور ایران در این میان جزو بالاترین رتبه‌ها در زمینه آسیب‌پذیری است؛ بنابراین شناخت روش‌های کاهش تلفات، از ضروریات انکارناپذیر مدیریت کارآمد سوانح طبیعی به ویژه در شهرهای بزرگ است. همچنین زلزله یکی از بلایای ویرانگر طبیعی با میزان بالای مرگ و میر و گستره‌ی بالای خرابی‌ها است. غیرقابل پیش‌بینی بودن زمان وقوع و نیز لحظه‌ای بودن رخداد زلزله‌ها از اصلی‌ترین خصوصیات زلزله‌ها هستند که آن‌ها را از سایر بلایای طبیعی متمایز می‌سازد و موجب می‌شود که بیشتر موردنمود توجه قرار گیرند [۱]. از جمله زیرساخت‌های حیاتی یک شهر که در اثر وقوع زلزله دچار تخریب می‌شوند، شبکه حمل و نقل است. شبکه حمل و نقل در هر منطقه حلقه واسطه کلیه فعالیت‌های اقتصادی بوده و به عنوان یکی از پایه‌های اساسی توسعه متوازن و پایدار است. لزوم گسترش شبکه حمل و نقل در شهرها برای توسعه از یک طرف و وجود مخاطرات طبیعی (زلزله، سیل و غیره) از سوی دیگر دو تضاد پیش‌آمده در هر ناحیه می‌باشند. شبکه ارتباطی در شهرها مجموعه‌ای است برای عبور و مرور وسائل نقلیه موتوری، دوچرخه و پیاده. با این تعریف طبیعی است که شبکه ارتباطی نقش اساسی در کاهش آسیب‌پذیری ناشی از بحران زلزله دارد. علاوه بر امکان گریز از موقعیت‌های خطرناک و تسهیل امدادرسانی به مصدومان، بستر لازم برای عملیات مختلف نجات و بازسازی را فراهم می‌نمایند. در اغلب مناطق زلزله‌زده تعداد تلفات الزاماً ناشی از خود سانحه نیست؛ بلکه مشکل عمده به راه‌بندان و مسدود شدن شبکه

سیستم اطلاعات جغرافیایی نشان دادند. عزیزی و همامف [۱۲]، آسیب‌شناسی محله کارمندان شهر کرج را با استفاده از روش‌های آماری نوین در محیط GIS<sup>۱</sup> مطالعه نمودند و توانستند مدلی قابل تعمیم برای تعیین آسیب‌پذیری لرزه‌ای معابر شهری ارائه کنند. احمد نژاد و همکاران [۱۳] (۱۳۹۴) با روش توصیفی-تحلیلی با استفاده از ارزیابی چند معیاره در محیط نرم‌افزار ادريسی شبکه معابر شهر تبریز را ارزیابی نمودند. نتایج تحقیق آن‌ها حاکی از آن بود که با پایین بودن شاخص‌های شهرسازی در منطقه مورد مطالعه، وضعیت ناسامان بناها به لحاظ کیفیت بنا، نوع مصالح، قدمت بنا، بالا بودن تراکم‌های ساختمانی و مسکونی سبب آسیب‌پذیری شبکه معابر شده است. نژاد اکبری راوری و مجرد کاهانی [۱۴] در سال ۱۳۹۴ با استفاده از سیستم اطلاعات مکانی میزان انسداد طولی و عرضی مسیرهای اصلی بر اساس موقعیت مراکز انتظامی شهر کرمان و میزان کارایی آن‌ها پس از وقوع زلزله را مشخص کردند. زنگنه [۲] در سال ۱۳۹۴ شبکه راههای استان البرز را با استفاده از روش تحلیل سلسله مرتبی معکوس در برابر مخاطرات مورد ارزیابی قرار داد. نتیجه‌ای که از این پژوهش حاصل شد این بود که با مقاوم‌سازی پل‌ها و جابجایی برخی از کاربری‌ها، می‌توان به کاهش آسیب‌پذیری شبکه راههای استان البرز اقدام نمود.

تاكون در پژوهش‌های مذکور، آسیب‌پذیری شبکه‌های حمل و نقل شهری بر اساس یکسری از معیارها ارزیابی شده است و تنها معابر از لحاظ آسیب‌پذیری پهنه‌بندی شده‌اند. با توجه به مطالعات قبلی که ارائه گردید، مشاهده می‌شود بیشتر از معیارهایی مانند طول و عرض معابر، قدمت و نوع مصالح به کاررفته در ساختمانهای مجاور شبکه حمل و نقل شهری، تراکم ساختمانی و جمعیتی استفاده شده و فقط نقشه آسیب‌پذیری معابر شهری را تهیه نموده‌اند، در حالی که

تاكون تحقیقات مختلفی در خصوص آسیب‌پذیری شبکه ارتباطی در شهرها انجام گرفته که در ادامه برخی از آن‌ها معرفی می‌شوند. تانگ [۶] در سال ۲۰۰۴ آسیب‌پذیری راه‌ها و پل‌ها در کشور نیپال را در برابر زلزله ارزیابی نمود. این ارزیابی بر اساس موقعیت و پوشش سطحی انجام شد و در نهایت مدلی برای تخمین احتمال انسداد مسیرها، ارائه شد. تیلور و ایست [۷] در سال ۲۰۰۶ در کشور استرالیا، آسیب‌پذیری شبکه حمل و نقل را با استفاده از روشی برای تشخیص نقاط بحرانی در زیرساخت‌های معابر، ارزیابی کردند. بونو و گوتیرز [۸] در سال ۲۰۱۱ شبکه حمل و نقل شهری را بر اساس چشم‌انداز دسترسی شهری پس از آسیب زلزله بر پایه تجزیه و تحلیل فضایی در محیط سیستم‌های اطلاعات مکانی انجام دادند. دالین و لوپینگ [۹] در سال ۲۰۱۲ روشی برای ارزیابی آسیب‌پذیری، بر اساس مدل تجزیه و تحلیل و ادراک آسیب‌پذیری شبکه معابر معرفی کردند. آن‌ها به بررسی آسیب‌پذیری شبکه، از طریق کاهش زمان نهایی سفر کاربران مسیر و توجه کافی به ساختار شبکه، جریان ترافیک و استقرار مراکز نجات پرداختند. ناگایی و همکاران [۱۰] در سال ۲۰۱۲ در کشور ژاپن برای جلوگیری از آسیب‌پذیری شبکه حمل و نقل شهری و استفاده از امکانات شبکه معابر شهری روشی را ارائه دادند. آن‌ها در روش ارائه شده از محاسبات و منطق فازی برای تقویت ضد لرزه‌ای شبکه حمل و نقل استفاده نموده و به این نتیجه رسیدند که می‌توان با به کار بردن منطق فازی دقت نتایج برای تعیین آسیب‌پذیری شبکه حمل و نقل را افزایش داد. لامبرت و همکاران [۱۱] در سال ۲۰۱۳ تقاضای سیستم حمل و نقل و عملکرد سیستم را برای مدیریت اضطراری در سه سناریوی حادثه تجزیه و تحلیل کردند و از یک روش دو مرحله‌ای برای تخمین تعداد سفرهایی که برای تخلیه منطقه صورت می‌گیرد با توجه به رفتار مشاهده شده بهره‌گیری نمودند. آن‌ها این سفرها را برای شبکه معابر منطقه، با استفاده از

<sup>۱</sup> Geospatial Information System

هر یک از پژوهش‌های یاد شده بر اساس زاویه نگرش به مسئله آسیب‌پذیری شبکه حمل و نقل، طیفی از معیارها و شاخص‌های آسیب‌پذیری را ارائه نموده‌اند. با توجه به رویکرد و مقیاس پژوهش و ویژگی‌های محدوده مورد مطالعه، از میان معیارهای متعدد ارائه شده در پژوهش‌های مشابه، از میان معیارهای مندرج در جدول (۱)، معیار عرض مسیرها به دلیل اتفاق نظر غالب پژوهش‌ها در نقش کلیدی آنها در تعیین سطح آسیب‌پذیری مسیرها، و معیارهای فاصله از تاسیسات خطرناک، تعداد تقاطع‌ها و معیارهای مربوط به مقاومت زمین (حرکت‌های دامنه‌ای، جنبش و روانگرایی زمین) به عنوان معیارهای این پژوهش انتخاب گردیده‌اند.

جدول ۱: معیارهای مورد استفاده در پژوهش‌های پیشین و جایگاه پژوهش حاضر در استفاده از معیارهای موثر بر آسیب‌پذیری شبکه حمل و نقل

ردیف:	معیارهای موثر بر آسیب‌پذیری شبکه حمل و نقل شهری	پژوهش‌ها
۱	شبیب مسیرها	عزیزی و همافر، ناگایی و همکاران
۲	ارتفاع ساختمان‌های مشرف به مسیرها	احدىزاد و همکاران، لامبرت و همکاران، بونو و گوتیرز
۳	قدمت ساختمان‌های مشرف به مسیرها	احدىزاد و همکاران، تیلور و ایست
۴	طول مسیرها	عزیزی و همافر، نژاد اکبری راوری و مجرد کاهانی، دالین و لوپینگ، تانگ
۵	عرض مسیرها	نژاد اکبری راوری و مجرد کاهانی، دالین و لوپینگ، پژوهش حاضر
۶	تعداد پل‌ها	زنگنه، لامبرت و همکاران، دالین و لوپینگ، تانگ
۷	تراکم ساختمانی	احدىزاد و همکاران، ناگایی و همکاران، بونو و گوتیرز، تیلور و ایست
۸	تراکم جمعیتی	احدىزاد و همکاران، عزیزی و همافر
۹	تعداد تقاطع	ناگایی و همکاران، تانگ، پژوهش حاضر
۱۰	فاصله از تاسیسات خطرناک شهری	ناگایی و همکاران، پژوهش حاضر
۱۱	معیارهای مقاومت زمین (حرکت‌های دامنه‌ای، جنبش و روانگرایی زمین)	پژوهش حاضر

و سپس به روش تحلیل سلسله مراتبی وزن دهنده و در نهایت شبکه هندسی حمل و نقل شهری برای تعیین بهترین مسیر نجات آسیب دیدگان در لحظه بحران و حتی بعد از آن با در نظر گرفتن محدودیت

در این مقاله برای تهیه نقشه آسیب‌پذیری شبکه حمل و نقل شهری از معیار جدید مربوط به مقاومت زمین بستر شبکه حمل و نقل (حرکت‌های دامنه‌ای، جنبش و روانگرایی زمین) استفاده گردیده که تاکنون از این معیارها در آسیب‌پذیری لرزه‌ای معابر شهری در مطالعات قبلی استفاده نشده است. همچنین در این تحقیق برای تعیین مطلوبیت و سطح عملکرد شبکه حمل و نقل برای امدادرسانی و تأمین دسترسی به مکان‌های امن در حین و پس از زلزله، شبکه هندسی معابر طراحی و با در نظر گرفتن آسیب‌پذیر بودن آن‌ها به عنوان یک محدودیت، تحلیل‌های مربوط به شبکه حمل و نقل شهری مانند تعیین نزدیک‌ترین و امن‌ترین مسیر برای تخلیه و نجات مصدومین انجام شد.

## ۲- مبانی نظری

در این تحقیق ابتدا بر اساس روش دلفی معیارهای مؤثر در آسیب‌پذیری شبکه حمل و نقل شهری تعیین

چند شاخصه مبتنی بر سیستم اطلاعات مکانی است. مراحل کلی تصمیم‌گیری چند معیاری شامل سه مرحله اصلی آگاهی، طراحی و انتخاب است [۱۵]. مرحله آگاهی خود شامل مرحله شناخت، نیاز‌سنجی و ساختاردهی مسئله است. در پایان این مرحله معیارهای تصمیم‌گیری استخراج و به عبارتی ساده ساختار سلسله مراتبی تصمیم‌گیری مشخص می‌شود. هدف نهایی مرحله طراحی، تولید گزینه‌ها است. این گزینه‌ها با توجه به هدف مسئله و قیود تعریف شده در مسئله از روی داده‌های موجود تولید می‌گردند. در مرحله انتخاب گزینه‌های تولید شده در مرحله طراحی با توجه به مقادیر شاخص‌ها برای هر گزینه، وزن شاخص‌ها با یکدیگر مقایسه شده و در نهایت بهترین گزینه انتخاب می‌شود.

**۲-۱- طراحی شبکه هندسی حمل و نقل شهری**  
ایجاد شبکه هندسی حمل و نقل در زمینه قابلیت‌های تجزیه و تحلیل شبکه در سیستم‌های اطلاعات مکانی از جمله محاسبه کوتاه‌ترین و بهترین مسیر می‌تواند بسیار مفید باشد. تحلیل‌های شبکه در سیستم‌های اطلاعات مکانی را می‌توان بر اساس معیارهای گوناگونی انجام داد. یکی از مهم‌ترین و پرکاربردترین این معیارها، معیار زمان سفراست. موارد گوناگونی در کاوش زمان سفر در شبکه حمل و نقل شهری خصوصاً در زمان بحران و یا پس از آن، نقش دارند. از جمله این موارد، آسیب‌پذیر نبودن و ایمن بودن مسیر است. در حال حاضر اکثر سامانه‌های راهبری بر اساس مجموعه‌ای از الگوریتم‌های قطعی به محاسبه مسیر بهینه می‌پردازند؛ بدین ترتیب که در این سامانه‌ها، شبکه مسیرهای درون شهری به عنوان گرافی در نظر گرفته می‌شود که وزن یال‌های آن برابر با طول یال یا مسیر است. پس از اعمال الگوریتم‌های محاسبه کوتاه‌ترین مسیر بر روی این گراف، مسیر بهینه و یا به عبارتی کوتاه‌ترین مسیر از لحاظ فاصله، محاسبه می‌گردد [۱۶]. یکی از راهکارهای افزایش

معابر آسیب‌پذیر، در محیط سیستم اطلاعات مکانی، طراحی شد. در ادامه هر یک از این مراحل تشریح خواهد شد.

**۲-۱- مدل آسیب‌پذیری شبکه حمل و نقل شهری**  
تصمیم‌گیری فرایندی است که شامل مراحل مختلفی می‌باشد و مراحل آن با توجه به نوع تصمیم‌گیری متفاوت است. با توجه به اینکه معیارهای مختلفی در تخمین آسیب‌پذیری شبکه حمل و نقل شهری دخیل هستند، لذا مسئله فوق یک مسئله ارزیابی چند معیاره<sup>۱</sup> بوده که برای مدل سازی آسیب‌پذیری ابتدا باید معیارهای آسیب‌پذیری استخراج و وزن دهی و سپس با یک قاعده تصمیم‌گیری چند معیاره<sup>۲</sup> مناسب با یکدیگر تلفیق شوند تا بتوان به آسیب‌پذیری موردنظر دست یافت. مدل‌های چند معیاره خود انسواع مختلفی دارند که در یک طبقه‌بندی کلی می‌توان آن‌ها را به دو دسته مدل‌های تصمیم‌گیری چندشاخه<sup>۳</sup> (*MADM*) و مدل‌های تصمیم‌گیری چندهدفه<sup>۴</sup> (*MODM*) تقسیم نمود. در تصمیم‌گیری چندهدفه، چندین هدف به‌طور همزمان جهت بهینه شدن و تولید گزینه برتر مورد توجه قرار می‌گیرند، در حالی که در تصمیم‌گیری چند شاخصه، انتخاب بهترین گزینه از بین گزینه‌های موجود یا ارزیابی گزینه‌ها (مرتب کردن گزینه‌ها) مدنظر است. تفاوت اصلی مدل‌های تصمیم‌گیری چندهدفه با مدل‌های تصمیم‌گیری چند شاخصه در آن است که اولی در فضای تصمیم‌گیری پیوسته و دومی در فضای تصمیم‌گیری گسسته تعریف می‌شوند. با توجه به اینکه بسیاری از معیارهای مؤثر در آسیب‌پذیری کالبدی ماهیت مکانی دارند، مدلی که برای تعیین آسیب‌پذیری شبکه حمل و نقل شهر کرمان انتخاب شده، یک مدل

<sup>1</sup>-Multi-Criteria Evaluation

<sup>2</sup> Multi-Criteria Decision Rule

<sup>3</sup> Multi Attribute Decision Model

<sup>4</sup> Multi Objective Decision Model

بسیاری حتی احتمال زلزله‌ای با شدت ۷ ریشتر را نیز تخمین زده‌اند [۱۹]. با توجه به رابطه نزدیک نوع سازنده‌های زمین‌شناسی و شکستگی‌های پوسته زمین (گسل‌ها) با وقوع زمین‌لرزه‌ها و زلزله، گسل‌های متعددی شهر کرمان را در برگرفته‌اند که دو گسل شمال کرمان و گسل باغین تهدید‌کننده‌ترین آن‌ها می‌باشند [۱۹]. همچنین قرارگیری این شهر بر روی کمربند زلزله آلب-هیمالیا و فاصله ۱۳ کیلومتری شهر تا گسل اصلی و واقع شدن به عنوان مرکز استان، لزوم برنامه‌ریزی شهری با در نظر گرفتن اهمیت شبکه حمل و نقل در برابر آسیب‌های ناشی از بلایای طبیعی غیرمنتظره مانند زلزله را آشکار می‌سازد. شهر کرمان، در محدوده‌ای با عرض جغرافیایی<sup>۳</sup> ۳۰°۱۴' تا ۳۰°۱۹' و طول جغرافیایی<sup>۴</sup> ۵۷°۷' تا ۵۷°۸' شمالی واقع شده است. جمعیت شهر کرمان بیش از ۵۰۰ هزار نفر برآورد شده و بزرگ‌ترین شهر در جنوب شرقی کشور است. این شهر با ارتفاع ۱۷۰۰ تا ۱۸۰۰ متر از سطح دریا قرار گرفته است. شهر کرمان دارای قدامت طولانی بوده و از نظر تقسیمات شهرداری دارای چهار منطقه شهری است شکل (۱).

#### ۴- روش تحقیق

در این تحقیق تلاش شده است تا در قالب معیارهای شهرسازی با توجه به مطالعات پیشین در این زمینه، فهرستی از عناصر آسیب‌پذیر شبکه‌های ارتباطی شهری تهیه و این فهرست با استفاده از روش دلفی که نظرخواهی از خبرگان آشنا به موضوع است، نهایی و تکمیل گردد. بر این اساس فهرستی از عناصر آسیب‌پذیر در قالب دو معیار اصلی طبق شکل (۲)، تهیه و پس از مقایسه دودویی با روش تحلیل سلسه مراتبی (AHP<sup>۳</sup>) و به کمک نرم‌افزار اکسپرت چویس<sup>۴</sup>، میزان اهمیت (وزن) هر معیار تعیین شد و سپس با

اعتبار و اعتمادپذیری مسیر بهینه محاسبه شده توسط الگوریتم‌های مسیریابی، افزودن پارامتر زمان به محاسبات است که موضوع بحث مسیریابی زمانمند است. عموماً در مسیریابی زمانمند، مدت زمان عبور از مسیرها (یال‌ها) موجود در شبکه راه‌ها، به عنوان وزن آن‌ها در نظر گرفته می‌شود [۱۷].

شبکه هندسی مجموعه‌ای از عوارض است که با عوارض اطراف خود دارای ارتباط بوده و از قوانین پیوستگی به منظور نمایش و مدل‌سازی هندسی شبکه تبعیت می‌کند [۱۸]. شبکه‌ها در یک پایگاه زمین مرجع نگهداری می‌شوند؛ بنابراین شامل عوارض (کلاس عارضه) می‌باشند. به‌طورکلی پس از ایجاد پایگاه داده زمین مرجع و ساختار توپولوژی مرافق زیر باید انجام شود تا یک شبکه هندسی حمل و نقل شهری طراحی گردد:

- ایجاد شبکه بر روی دسته داده‌ها<sup>۱</sup>
- تعیین لایه‌های شرکت‌کننده در شبکه و ایجاد قوانین ارتباطات
- لحاظ کردن قوانین رفت و آمد در شبکه
- مشخص نمودن فیلدهای کلیدی و مؤثر در تحلیل شبکه و رفع خطاهای رخ داده در شبکه
- گزارش گیری از مسیرها و ایجاد شبکه حمل و نقل شهری

بعد از طراحی شبکه می‌توان تحلیل‌های شبکه<sup>۲</sup> مانند تعیین کوتاه‌ترین و بهترین مسیر را انجام داد.

#### ۳- منطقه مورد مطالعه

شهر کرمان در دشتی نسبتاً وسیع قرار گرفته که از نظر جمعیتی در رده شهرهای بالای پانصد هزار نفر کشور و از نظر ناحیه‌ای، به عنوان مهم‌ترین و بزرگ‌ترین شهر جنوب شرق، عملکردی فرا منطقه‌ای دارد. کارشناسان متعددی زلزله‌خیزی شهر کرمان را بررسی نموده‌اند که

<sup>3</sup> Analytical Hierarchy Process

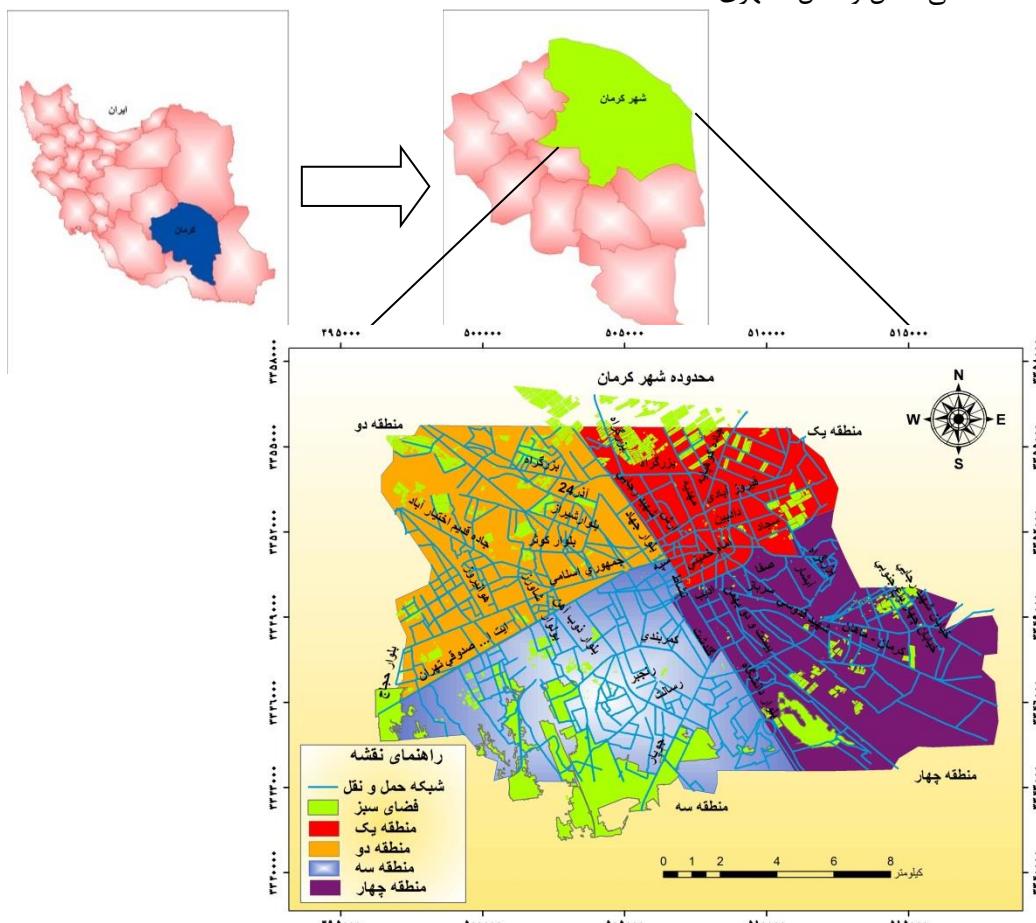
<sup>4</sup> Expert Choice

<sup>1</sup> Network Dataset

<sup>2</sup> Network Analyzes

منطقه موردنظر، با توجه به آسیب‌پذیری هر مسیر در هنگام و بعد از بحران، جهت نجات و تخلیه مصدومین، مناسب‌ترین مسیر مشخص گردید.

استفاده از محیط GIS، نقشه آسیب‌پذیری شبکه حمل و نقل شهر کرمان از طریق روی‌هم گذاری (میانگین هندسی) لایه‌های آسیب‌پذیر تهیه گردید. درنهایت با طراحی شبکه هندسی حمل و نقل شهری

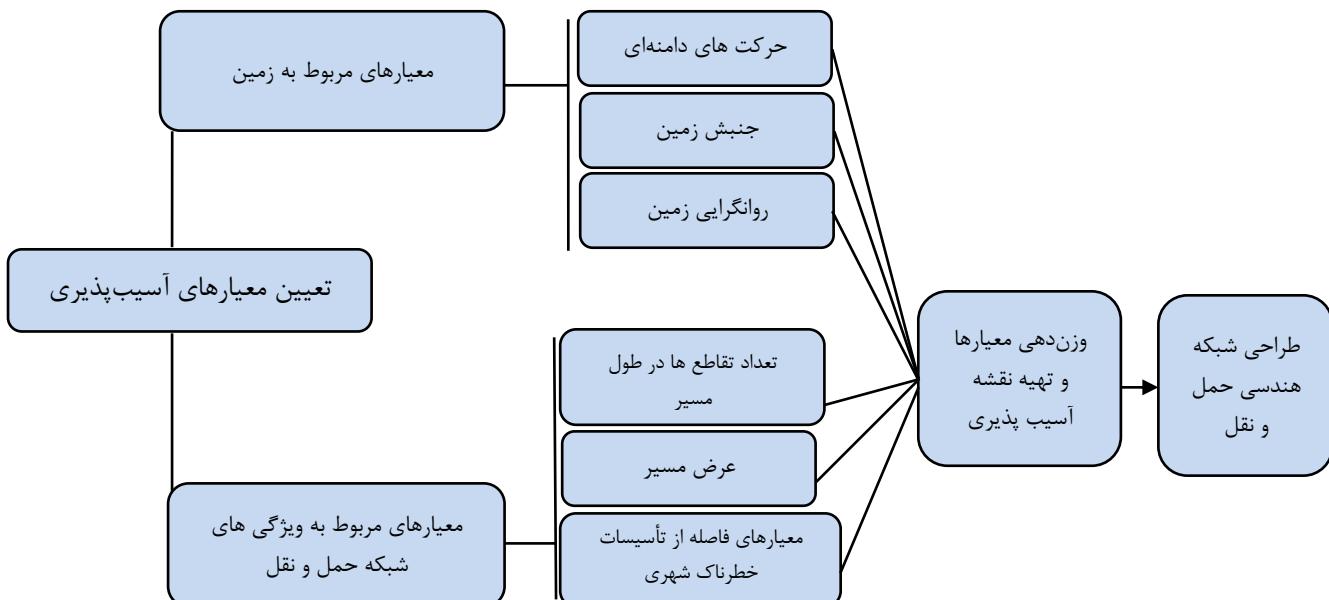


شکل ۱: موقعیت منطقه مورد مطالعه

به روز رسانی گردیده است. این نقشه‌ها در محیط اتوکد مپ<sup>۱</sup> ویرایش شده و در محیط نرم‌افزار آرک جی‌آی اس به منظور تحلیل و پردازش‌های موردنیاز، قرار گرفته است. در شکل (۲) مراحل انجام این پژوهش ارائه گردیده است.

رویکرد حاکم بر پژوهش توصیفی - تحلیلی و نوع آن کاربردی است و با استفاده از روش کتابخانه‌ای و اسنادی و همچنین مشاهدات میدانی به انجام این تحقیق اقدام شده است. به این صورت که با مراجعه به کتب و مقالات متعدد اطلاعات پایه‌ای و مفاهیم لازم استخراج شده است، پس از آن نقشه‌های پایه از سازمان‌ها و مراجع مرتبط جمع‌آوری شده و با برداشت‌های میدانی تکمیل و

<sup>۱</sup> AutoCAD Map



شکل ۲: روش و مراحل کلی انجام تحقیق

۱:۲,۰۰۰ که به روش نقشه‌برداری هوایی (فتوگرامتری)

#### ۱-۴- داده‌های مورد استفاده

همراه با نقشه‌برداری زمینی تهیه شده‌اند، استفاده گردید.

برای تهیه نقشه آسیب‌پذیری شبکه حمل و نقل شهری منطقه مورد مطالعه، از نقشه‌های شهری به مقیاس

جدول ۲: داده‌های مورد استفاده در تحقیق.

ردیف	داده (نقشه‌ها)	مقیاس	سال تهیه	منبع
۱	عکس‌های هوایی	۱:۵,۰۰۰	۱۳۸۷	سازمان نقشه‌برداری کشور
۲	نقشه معاابر شهری	۱:۲,۰۰۰	۱۳۸۷	شهرداری کرمان
۳	نقشه کاربری اراضی شهری	۱:۲,۰۰۰	۱۳۸۷	شهرداری کرمان

شامل تولید ماتریس مقایسه زوجی معیارها، محاسبه وزن معیارها و برآورده نرخ ناسازگاری تصمیم‌گیری (جهت اطمینان حاصل کردن از سازگاری مقایسه‌ها) می‌باشدند. عناصر ماتریس مقایسه زوجی، اهمیت نسبی معیارها نسبت به یکدیگر را نشان می‌دهد [۲۰]. بر اساس روش تحلیل سلسله مراتبی چون دامنه مقادیر معیارها با هم برابر نیست، لذا ابتدا باید مقادیر معیارها نرمال شوند؛ بنابراین وزن نهایی نتایج مقایسه زوجی معیارهای آسیب‌پذیر و نرخ ناسازگاری با استفاده از نرم‌افزار اکسپرت چویس در این تحقیق محاسبه گردیده که در جدول (۳) ارائه شده است. پس از تمامی محاسبات، گزینه‌ها بر اساس درجه آسیب‌پذیری مرتب شدند و به گروه‌های مختلف

#### ۲-۴- تهیه نقشه آسیب‌پذیری شبکه حمل و نقل منطقه در برابر زلزله

تعداد گزینه‌های تصمیم‌گیری در این تحقیق ۳۱۱۳ مسیر بود. در این مرحله طبقه‌بندی مسیرهای ارتباطی منطقه مورد نظر در محیط نرم‌افزار آرک جی آی اس بر روی لایه شبکه حمل و نقل انجام شد. طبق نظرات نهایی کارشناسی با روش دلفی طبق شکل (۲) دو معیار اصلی آسیب‌پذیری برای مدل‌سازی آسیب‌پذیری شبکه ارتباطی شهر کرمان انتخاب گردیده و بر اساس جداول مربوطه وزن‌های هر معیار تعیین شده است. برای وزن دهی از روش تحلیل سلسله مراتبی استفاده گردید. مراحل اصلی این روش

### ۱-۲-۴- معیارهای مربوط به مقاومت زمین شبکه حمل و نقل منطقه مورد مطالعه

معیارهای مقاومت خاک بستر شبکه حمل و نقل منطقه مورد مطالعه، بر آسیب‌پذیر بودن شبکه با رویکرد زلزله، نقش بسزایی دارند. در این تحقیق این معیارها بر اساس معیارهای حرکت‌های دامنه‌ای، جنبش زمین و روانگرایی سنجیده شده است. بر اساس روش دلفی و تحلیل سلسله مراتبی معیارهای مربوط به مقاومت زمین، وزن دهی شده است جدول (۴). سپس نقشه آسیب‌پذیری شبکه حمل و نقل منطقه مورد نظر در محیط سیستم اطلاعات مکانی با توجه به وزن هر معیار، تهیه گردید.

تقسیم گردیدند. در این تحقیق شبکه حمل و نقل مناسب با مقدار آسیب‌پذیری نهایی به سه گروه آسیب‌پذیری کم، متوسط و زیاد طبقه‌بندی شده‌اند.

جدول ۳: وزن نهایی معیارهای مؤثر در آسیب‌پذیر شبکه حمل و نقل منطقه مورد مطالعه بر اساس روش AHP

معیار	وزن دهی بر اساس AHP روش	نرخ ناسازگاری
تعداد تقاطع‌ها	۰,۰۹۳	۰,۰۹۷
عرض مسیرها	۰,۱۸۱	
فاصله از تأسیسات خط‌ناک	۰,۱۴۰	
روانگرایی زمین	۰,۲۹۵	
جنبש زمین	۰,۲۰۷	
حرکتهای دامنه‌ای زمین	۰,۰۸۴	

جدول ۴: معیارهای مربوط مقاومت زمین شبکه ارتباطی و وزن‌های مربوطه

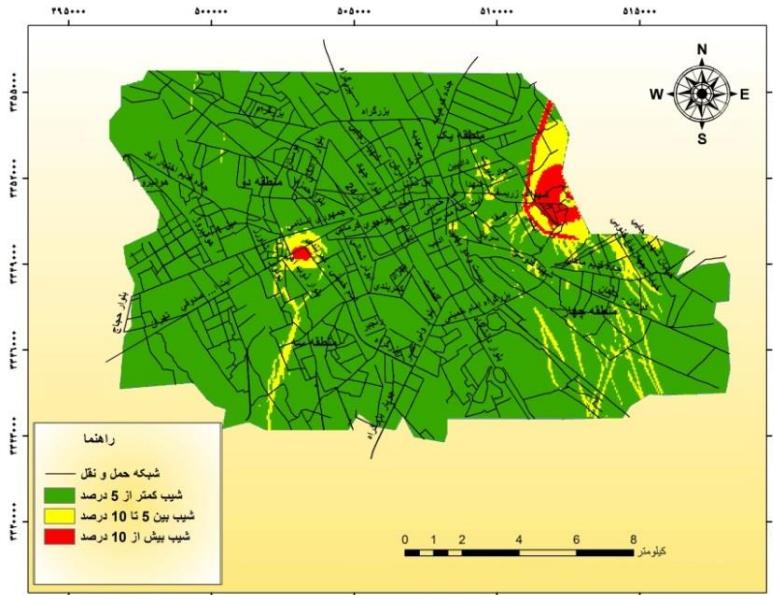
ردیف	معیار	طبقه	وزن آسیب‌پذیری هر طبقه
۱	حرکت‌های دامنه‌ای بر اساس شیب زمین	گسیختگی کم (شیب کمتر از ۵ درصد)	۱
		گسیختگی متوسط (شیب ۵ تا ۱۰ درصد)	۲
		گسیختگی زیاد (شیب بیش از ۱۰ درصد)	۳
۲	بر اساس عمق آب زیرزمینی و زمین ماسه‌ای	عمق کمتر از ۱۰ متر	۲
		عمق بیشتر از ۱۰ متر	۱
۳	جنبش زمین بر اساس بافت خاک و رسوبات	شن	۱
		رس	۲
		ماسه	۳

برخوردار است. هرچه شیب کمتر باشد، خطر حرکت‌های دامنه‌ای و آسیب ناشی از آن کمتر و همچنین، امدادرسانی و نجات آسیب دیدگان آسان‌تر خواهد بود. در این تحقیق برای تهیه نقشه آسیب‌پذیری شبکه حمل و نقل منطقه در برابر حرکت‌های دامنه‌ای، ابتدا اقدام به تهیه نقشه شیب شد. برای این منظور،

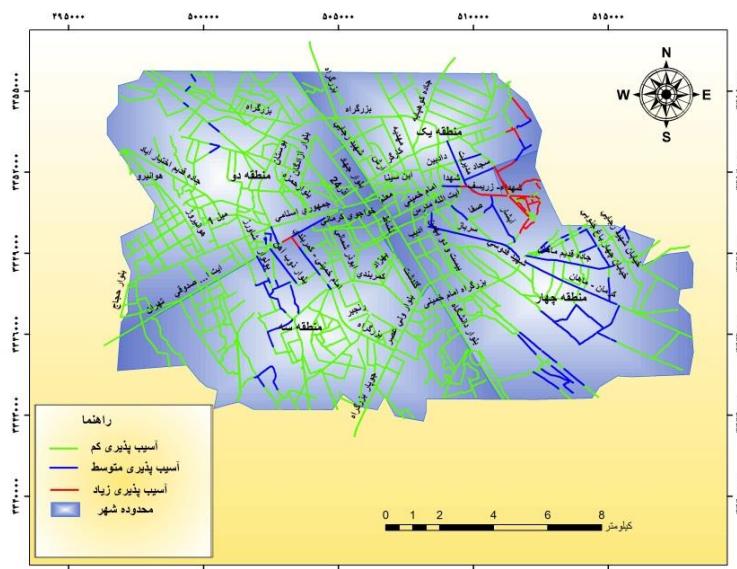
۱-۲-۴- معیار حرکت‌های دامنه‌ای یکی از جنبه‌های رایج آسیب لزه‌ای، خطر حرکت‌های دامنه‌ای یا گسیختگی دامنه‌ها در تمامی سطوح شیب‌دار در هنگام وقوع زلزله است که در اثر آن آسیب وارد می‌شود [۱۹]. شیب زمین در کارایی شبکه حمل و نقل در هنگام بحران از اهمیت بالایی

کمتر باشد آسیب‌پذیری مسیر کمتر می‌شود بر اساس جدول (۴) اقدام به وزن دهنی شد و درنهایت، نقشه آسیب‌پذیری شبکه حمل و نقل منطقه موردنظر بر اساس خطر حرکت‌های دامنه‌ای، تهیه گردید شکل (۴).

با استفاده از ۴۲۰ نقطه کنترل ارتفاعی برداشت شده در سطح منطقه با درون‌یابی، مدل رقومی ارتفاعی تهیه و درنهایت با استفاده از نرم‌افزار آرک جی‌آی‌اس نقشه شبیه شهر کرمان آماده گردید شکل (۳). بعد از تهیه نقشه شبیه با توجه به این که هر چه شبیه معابر



شکل ۳: نقشه شبیه منطقه موردمطالعه



شکل ۴: نقشه آسیب‌پذیری شبکه حمل و نقل منطقه موردمطالعه بر اساس خطر حرکت‌های دامنه‌ای.

آب‌های زیرزمینی و رسوبات سست ماسه‌ای زمین دارد. هم‌اکنون یکی از مشکلاتی که شهر کرمان با آن

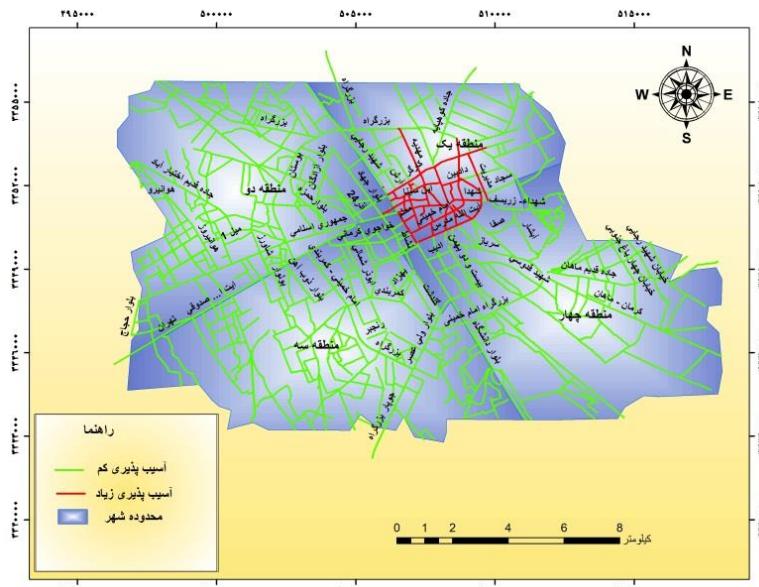
۴-۲-۱-۲-۴- معیار روانگرایی زمین خطر روانگرایی رابطه مستقیمی با سطح ایستایی

نقشه زمین‌شناسی منطقه استفاده گردیده است. به عبارتی، در محیط سیستم اطلاعات مکانی از تلفیق نقشه عمق آب زیرزمینی و نوع رسوبات زمین منطقه، نقشه محدوده‌های مستعد به خطر روانگرایی تهیه شده است شکل (۵). مطابق شکل (۵)، محدوده‌هایی از شبکه حمل و نقل منطقه که بستر زیرین آن مت Shank از رسوبات ماسه‌ای است در صورت بالا بودن سطح آب‌های زیرزمینی، پتانسیل روانگرایی بالایی خواهد داشت. همان‌طور که در شکل (۵) مشاهده می‌شود، فقط محدوده بافت قدیم شهر، مستعد خطر روانگرایی است. سپس بر اساس جدول (۴) وزن دهی و درنهایت نقشه آسیب‌پذیری شبکه حمل و نقل بر اساس معیار موردنظر تهیه شد شکل (۶).

مواجه است، سطح بالای آب‌های زیرزمینی است. در حال حاضر سطح آب زیرزمینی سالیانه به طور متوسط حدود نیم متر بالا می‌آید که دلیل آن تغذیه آب‌های زیرزمینی در اثر ورود فاضلاب شهری است. اگر در ناحیه‌ای سطح آب‌های زیرزمینی بالا باشد، رسوبات سست ماسه‌ای پتانسیل روانگرایی بالایی خواهد داشت، به طوری که ممکن است روانگرایی در هنگام زمین‌لزه موجب آسیب به ساختمان‌های مجاور، شبکه حمل و نقل شهری و افزایش اثرات زمین‌لزه شود. با توجه به وجود گسل‌های متعددی در اطراف شهر کرمان و افزایش روند بالا آمدن سطح آب‌های زیرزمینی در محدوده شهر، منطقه موردنظر می‌تواند، پتانسیل روانگرایی بالایی داشته باشد [۱۹]. در این تحقیق، برای تهیه نقشه آسیب‌پذیری شبکه حمل و نقل منطقه در برابر خطر روانگرایی، از نقشه سطح ایستابی آب‌های زیرزمینی سازمان آب منطقه‌ای استان کرمان و



شکل ۵: نقشه خطر روانگرایی زمین منطقه مورد مطالعه.

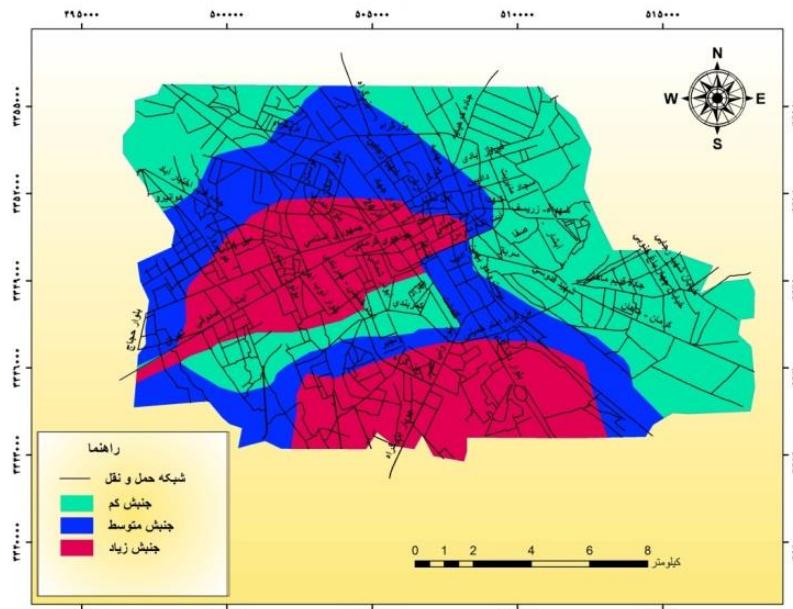


شکل ۶: نقشه آسیب‌پذیری شبکه حمل و نقل منطقه مورد مطالعه بر اساس خطر روانگرایی.

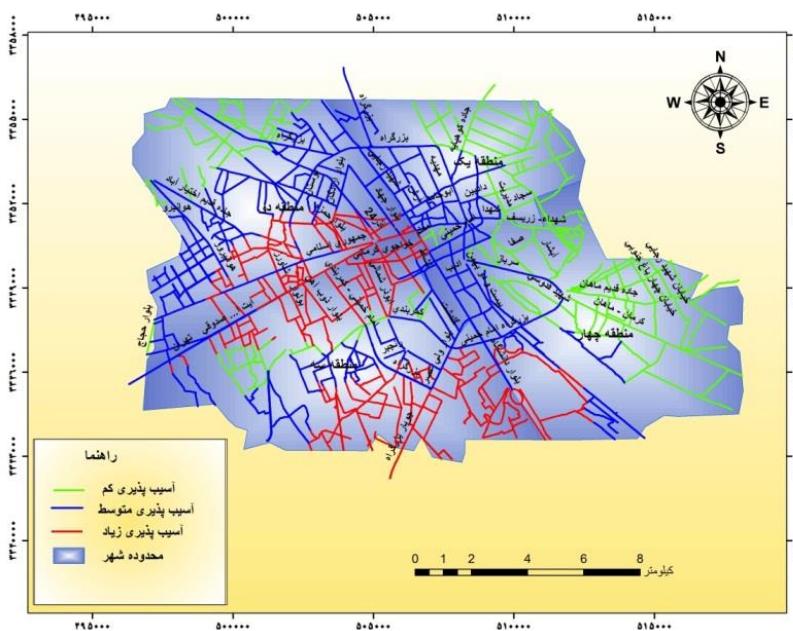
تقویت می‌کنند که تابع ویژگی‌های دینامیکی رسوب است. دوره تناب و میکروترمورها معمولاً تحت تأثیر شرایط لایه‌بندی رسوب نیز قرار می‌گیرد. میزان تشدید آن‌ها در رسوبات نرم بیشتر است. به طوری که در خاک‌های ریزدانه مانند رس‌ها، بیشتر از انواع درشت‌دانه است [۱۷]؛ بنابراین خطر جنبش زمین ارتباط مستقیم با رسوبات زیرساختی مسیرهای حمل و نقل دارد. در تحقیق حاضر، بر اساس نقشه جنبش زمین در منطقه مورد مطالعه و جدول (۴) نقشه آسیب‌پذیری شبکه حمل و نقل شهر کرمان مطابق این معیار تهیه و در شکل (۸) ارائه گردیده است.

#### ۳-۱-۲-۴- معیار جنبش زمین

به منظور ارزیابی میزان تشدید جنبش زمین می‌توان از نتایج آزمایش‌های نفوذ استاندارد، طبقه‌بندی زمین بر پایه اطلاعات گمانه‌ها، داده‌های ژئوتکنیکی، سنجش‌های میکروترموری و یا سرعت موج در خاک و رسوب استفاده کرد. حسن‌زاده و همکاران در سال ۱۳۸۹ از تلفیق یافته‌های مطالعات میکروترمورها و طبقه‌بندی بر پایه اطلاعات گمانه‌ها، استفاده نموده و نقشه جنبش زمین شهر کرمان را پهنه‌بندی نموده‌اند شکل (۷). میکروترمورها لرزش‌های بسیار ضعیف دائمی زمین هستند که در اثر عوامل مختلفی مانند حرکت ترافیک، وزش باد و غیره ایجاد می‌شوند. رسوبات بخش‌های مشخصی از طیف میکروترمورها را



شکل ۷: نقشه خطر جنبش زمین منطقه مورد مطالعه.



شکل ۸: نقشه آسیب‌پذیری شبکه حمل و نقل منطقه مورد مطالعه بر اساس خطر جنبش زمین.

برای تهیه نقشه نهایی آسیب‌پذیری با دقت بیشتر، از چند معیار مربوط به ویژگی‌های مربوط به شبکه حمل و نقل منطقه مانند: فاصله از تأسیسات خطرناک، تعداد تقاطع‌ها، طول، عرض مسیرهای موجود در شبکه حمل و نقل نیز استفاده شده جدول (۵) که در ادامه به معرفی آنها پرداخته خواهد شد.

#### ۴-۲-۴- معیارهای مربوط به ویژگی‌های شبکه حمل و نقل منطقه مورد مطالعه

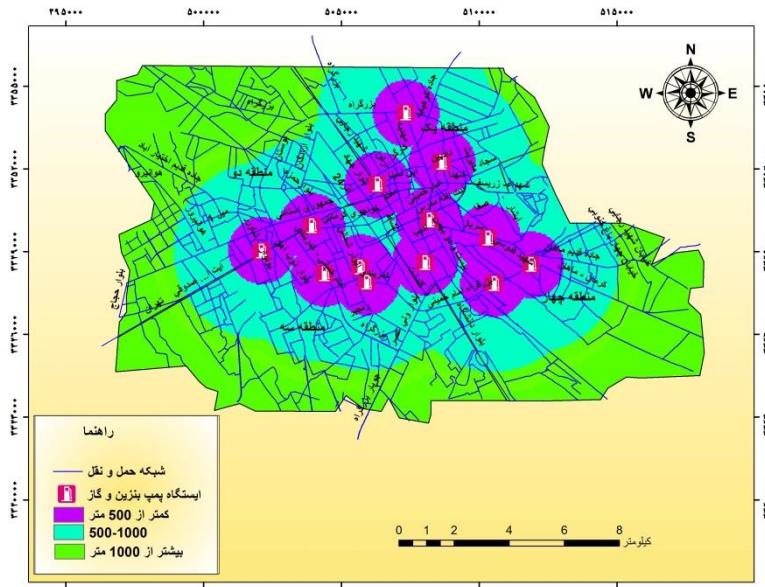
پس از تعیین آسیب‌پذیری شبکه حمل و نقل منطقه موردمطالعه بر اساس معیارهای مربوط به مقاومت زمین (حرکت‌های دامنه‌ای، روانگرایی و جنبش زمین)،

جدول ۵: معیارهای مربوط شبکه حمل و نقل و وزن‌های مربوطه

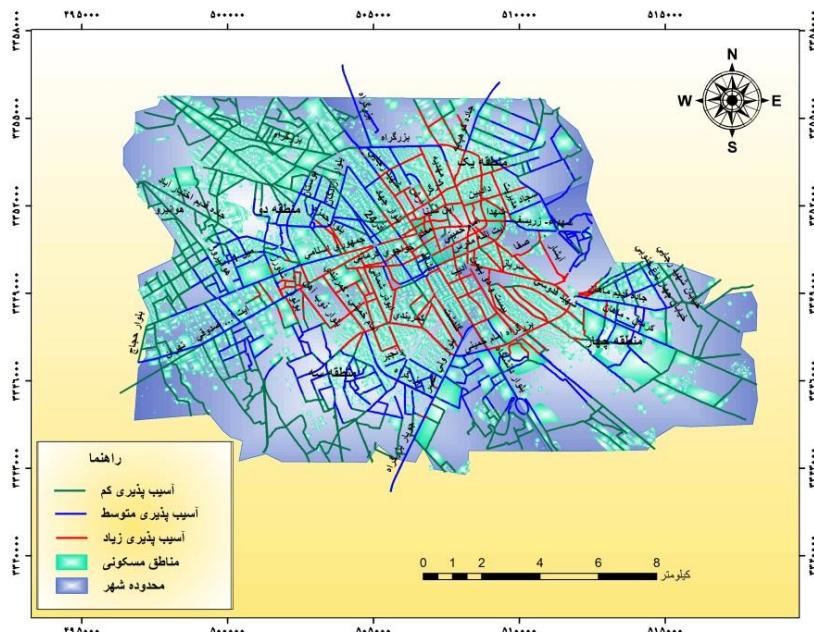
وزن آسیب‌پذیری هر طبقه	طبقه	معیار
۱	بیشتر از ۵ تقاطع (آسیب‌پذیری کم)	تعداد تقاطع‌ها در طول مسیر شبکه حمل و نقل
۲	کمتر از ۵ تقاطع (آسیب‌پذیری متوسط)	
۳	تقاطع ندارد (آسیب‌پذیری زیاد)	
۱	بیش از ۵۰ متر	عرض مسیرها
۲	۲۰-۵۰ متر	
۳	کمتر از ۲۰ متر	
۱	بیش از ۱۰۰۰ متر	فاصله مسیرها از تأسیسات گاز و پمپبنزین
۲	بین ۵۰۰ تا ۱۰۰۰ متر	
۳	کمتر از ۵۰۰ متر	

#### ۱-۲-۲-۴- معیار فاصله شبکه حمل و نقل از تأسیسات خط‌ناک شهری

این معیار بر اساس نزدیکی و فاصله مسیرها با تأسیسات گاز و ایستگاه‌های پمپبنزین شکل (۹)، که در هنگام بحران امکان آسیب رساندن به مسیر و مسدود شدن آن را امکان‌پذیر می‌نمایند، بر اساس جدول (۵) وزن دهی شده و نقشه آسیب‌پذیری شبکه حمل و نقل تهیه شد شکل (۱۰).



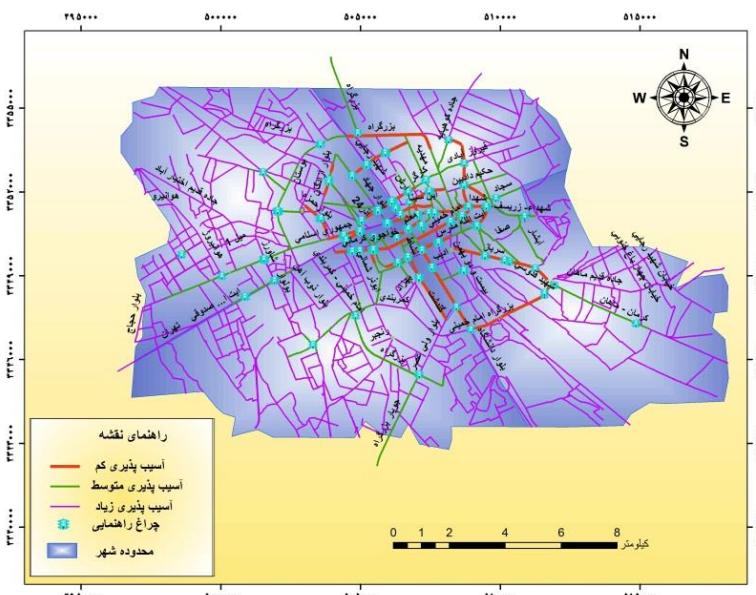
شکل ۹: موقعیت و فاصله پراکندگی تأسیسات ایستگاه‌های گاز و پمپبنزین نسبت به شبکه حمل و نقل در منطقه مورد مطالعه.



شکل ۱۰: نقشه آسیب‌پذیری شبکه حمل و نقل منطقه مورد مطالعه بر اساس فاصله از ایستگاه‌های گاز و پمپ بنزین.

آسیب‌دیده بیشتر می‌شود [۲۱]. در این تحقیق برای تعیین معیار تقاطع‌ها، از تعداد چراغ راهنمای در طول مسیر استفاده شده و طبق جدول (۵) امتیاز دهی گردید شکل (۱۱).

**۲-۲-۴-۴**- معیار تعداد تقاطع‌های موجود در طول مسیرهای شبکه حمل و نقل  
تعداد تقاطع‌ها در طول معابر از اهمیت بالایی برخوردار است. هر چه تعداد تقاطع‌ها بیشتر باشد احتمال مسدود شدن و آسیب‌پذیر بودن آن کاهش یافته و گزینه‌های دسترسی برای خروج از مسیر



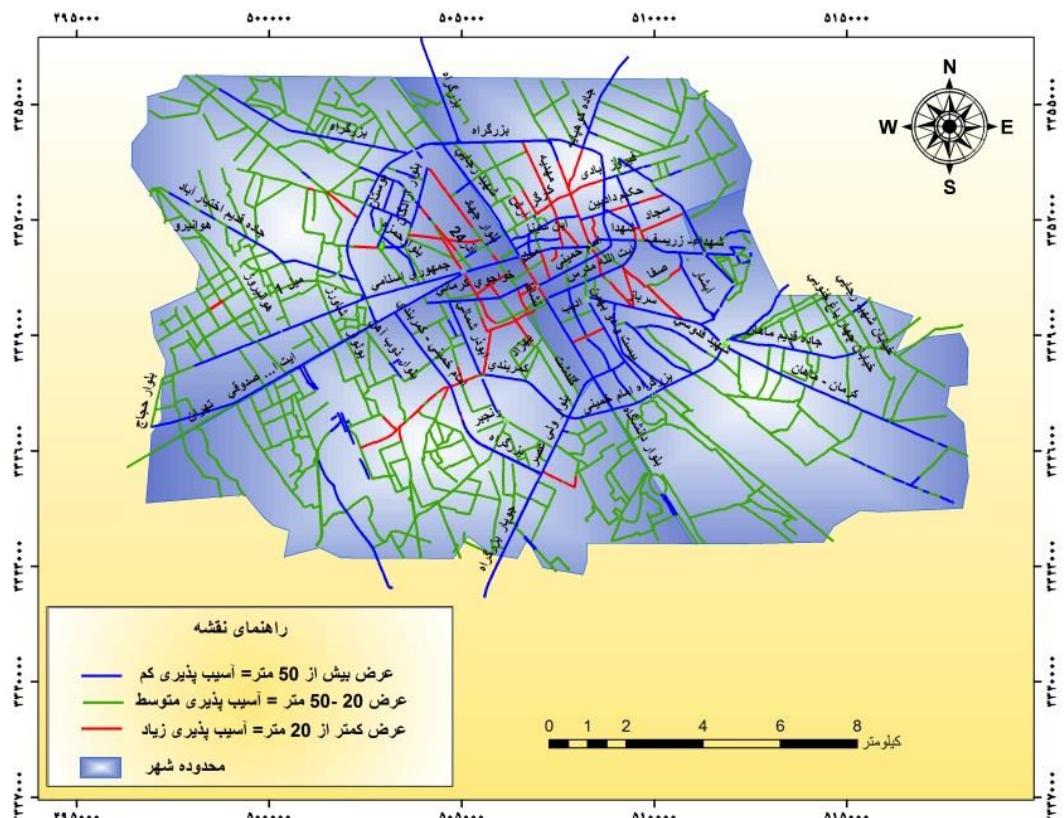
شکل ۱۱: نقشه آسیب‌پذیری شبکه حمل و نقل منطقه مورد مطالعه بر اساس تعداد تقاطع‌ها.

تعدد و امدادرسانی افزایش یافته و از آسیب‌پذیری آن می‌کاهد [۲۲]. برای تعیین معیار عرض مسیرهای شبکه حمل و نقل شهر کرمان از نقشه‌های موجود مسیرهای اصلی استفاده شده و طبق جدول (۴) وزن دهی گردید شکل (۱۲).

#### ۳-۲-۲-۴- معیار عرض مسیرهای

##### شبکه حمل و نقل

در زمینه کارایی شبکه‌های حمل و نقل و دسترسی در بحران زلزله، معیار عرض مسیر نیز دخیل است. هر چه عرض مسیری بیشتر باشد، ظرفیت آن جهت



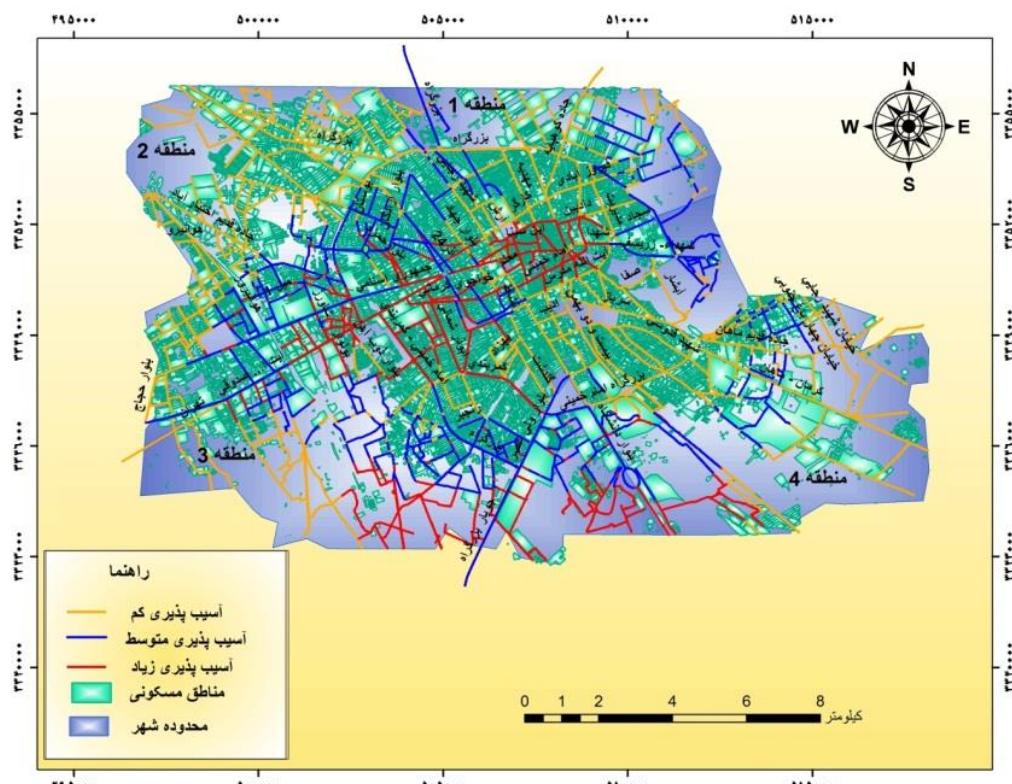
شکل ۱۲: نقشه آسیب‌پذیری شبکه حمل و نقل منطقه مورد مطالعه بر اساس عرض مسیرها.

نرم‌افزارهای اکسپرت چویس و اکسل را در نرم‌افزار آرک جی‌آی‌اس وارد کرده و با استفاده از توابع تحلیلی تمام نقشه‌های معیارهای آسیب‌پذیری شبکه حمل و نقل (مرحله قبل) در اوزان خود ضرب شده و با هم ترکیب شدند. بدین ترتیب نقشه نهایی آسیب‌پذیری شبکه حمل و نقل شهر کرمان مطابق شکل (۱۳) تهیه گردید.

#### ۳-۲-۳-۴- تهیه نقشه نهایی آسیب‌پذیری شبکه

##### حمل و نقل منطقه مورد مطالعه

با نظر به اینکه آسیب‌پذیری تابعی از چند معیار است که متناسب با هر معیار می‌توان نقشه آسیب‌پذیری را تولید نمود و درنهایت از همپوشانی یا ترکیب این نقشه‌ها به نقشه آسیب‌پذیری نهایی رسید؛ بنابراین در پایان وزن تمام معیارها محاسبه شده در



شکل ۱۳: نقشه نهایی آسیب‌پذیری شبکه حمل و نقل منطقه موردمطالعه

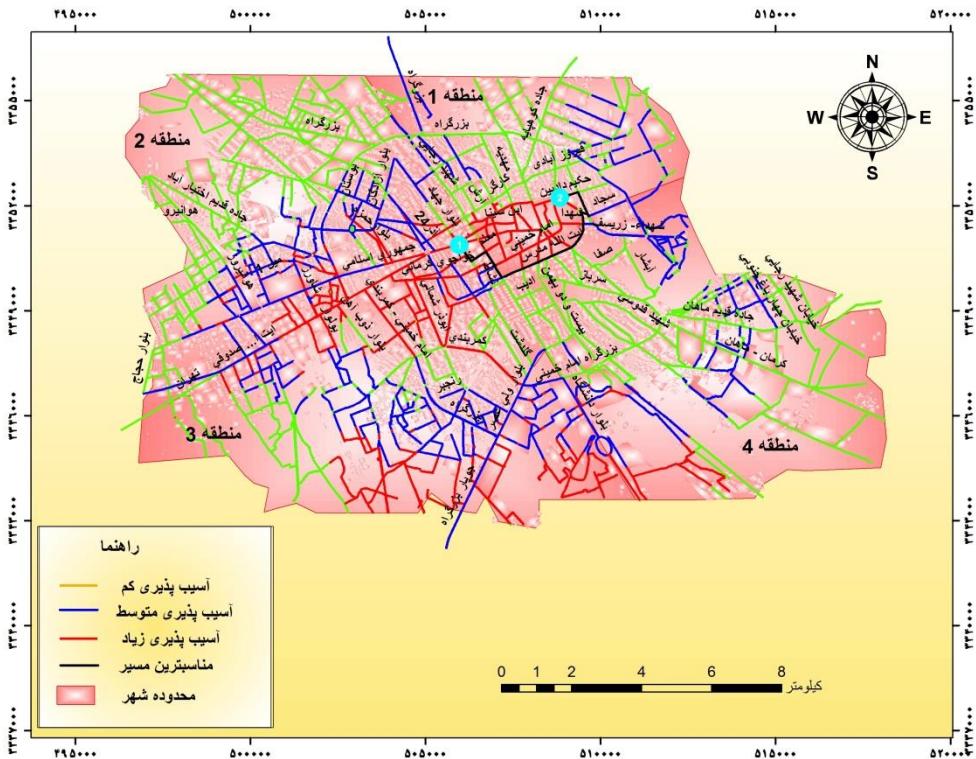
مسیرهای شبکه حمل و نقل منطقه بر اساس نوع و طول به سه گروه کوچه، خیابان فرعی و خیابان شریانی طبقه‌بندی شدند. سپس در جداول توصیفی لایه شبکه حمل و نقل شهری منطقه، فیلدهای آسیب‌پذیر بودن مسیرها به همراه فیلدهای نام، کد شناسایی، مدت زمان مسیر رفت و برگشت، یک طرفه و دو طرفه بودن، طبقه‌بندی و طول مسیرها ایجاد و اطلاعات توصیفی مربوطه وارد گردید. بعد از این مرحله، شبکه هندسی حمل و نقل شهر کرمان با در نظر گرفتن فیلدهای طول، یک طرفه- دو طرفه بودن و آسیب‌پذیری مسیرها در اثر بحران زلزله ایجاد گردید. همان‌طور که در شکل (۱۴) مشاهده می‌شود، می‌توان با به کار بردن تحلیل‌های شبکه در هنگام زلزله یا بعد از آن، به راحتی بهترین مسیر نجات آسیب دیدگان را با در نظر گرفتن محدودیت آسیب‌پذیر بودن شبکه حمل و نقل، تعیین نمود.

#### ۴-۳-۴- طراحی و ساخت شبکه حمل و نقل منطقه موردمطالعه

پس از تعیین آسیب‌پذیری شبکه حمل و نقل، برای خدمات رسانی و تخلیه سریع تر آسیب دیدگان هنگام و بعد از بحران، یک پایگاه داده زمین مرجع برای معابر شهر کرمان طراحی گردید. به این منظور ابتدا پایگاه داده‌ای به نام *Kerman.mdb* ایجاد و سپس سه دسته داده درون این پایگاه داده ایجاد شد و کلاس‌های عارضه مربوط به هر دسته داده به درون آن وارد گردیدند. برای یافتن خطاهای در داده‌های ورودی و جلوگیری از ویرایش نادرست داده‌ها در آینده قوانین توپولوژی نیز تعریف شد. در این مرحله خطاهایی مانند به هم نرسیدگی<sup>۱</sup> و ردشده‌گی<sup>۲</sup> خطوط شبکه حمل و نقل شهری برطرف گردید.

<sup>1</sup> Undershoot

<sup>2</sup> Overshoot



شکل ۱۴. نقشه تعیین مناسب‌ترین مسیر بین مبدأ (۱) و مقصد (۲) شبکه حمل و نقل شهر کرمان با در نظر گرفتن محدودیت آسیب‌پذیر بودن در برابر زلزله.

رویکرد بحران زلزله، مولول یک معیار آسیب‌پذیری خاص نیست بلکه، برآیند مجموعه‌ای از عوامل و معیارها است که در کنار هم تحلیل آسیب‌پذیری لرزه‌ای مسیرها را فراهم می‌سازند. با توجه به مدل ارزیابی پیشنهادی این تحقیق، با توجه به تحلیل تأثیر معيارها در ارزیابی آسیب‌پذیری مسیرها، تنوع معيارهای انتخابی و تشابهات کالبدی مسیرهای شهری در اکثر نقاط کشور، می‌تواند از کارآیی و مطلوبیت لازم برخوردار و قابل کاربرد برای سایر مناطق شهری باشد. از کاربردهای مدل مذکور می‌توان به ارزیابی‌های قبل از اجرای طرح‌های توسعه مناطق جدید شهری و یا شهرک‌های جدید باهدف تعیین ضوابط تراکم جمعیتی و ساختمنی، قوانین کنترل حداکثر ارتفاع ساختمان‌ها و الگوی کاربری زمین اشاره نمود. حتی می‌توان تا حدودی در باغهای قدیمی که با مسیرهای کم عرض آسیب‌پذیری بالایی دارند با تعریض آن‌ها قوانین و مقررات مناسب با استاندارهای لرزه‌ای را اجرا نمود.

## ۵- نتایج و پیشنهادها

با توجه به نقشه آسیب‌پذیری حاصل از این تحقیق، مشاهده شد که شبکه حمل و نقل در منطقه ۱ و ۳ نسبت به سایر مناطق دیگر آسیب‌پذیری بالاتری دارد. دلیل عمدۀ آن، قرار گرفتن تأسیسات اشتغال‌زا (ایستگاه‌های پمپ بنزین و گاز)، فاصله کم شبکه از این تأسیسات و کم عرض بودن خیابان‌ها است، خصوصاً منطقه ۱ که بافت قدیمی شهر را شامل می‌شود. همچنین مقاومت زمین از نظر خطر روانگرایی و جنبش زمین در مناطق ۱ و ۳ وزن بیشتری را دارد. تعیین اهمیت نسبی (وزن) معيارها به کمک فرآیند سلسه مراتبی تحلیل سلسه مراتبی نشان داد که معیار خطر روانگرایی بیشترین اهمیت را دارد. معیار خطر حرکت‌های دامنه‌ای از کمترین اهمیت در تعیین سطح آسیب‌پذیری برخوردار است. می‌توان نتیجه گرفت که آسیب‌پذیری مسیرهای شهری با

جمعیتی در مطالعات آتی استفاده شود. در مقایسه این تحقیق با مطالعات احمد نژاد و همکاران، عزیزی و همافر، نورائی و همکاران، مشاهده می‌شود علاوه بر استفاده از معیارهای جدید مقاومت زمین در مدل کردن آسیب‌پذیری شبکه حمل و نقل شهری، اجرای تحلیل‌های شبکه مانند یافتن بهترین مسیر با در نظر گرفتن محدودیت آسیب‌پذیری شبکه حمل و نقل، کارایی مدل را در نجات هرچه سریع‌تر مصدومان و آسیب دیدگان افزایش می‌دهد.

همچنین در نواحی با آسیب‌پذیری زیاد و احتمال خطر بیشتر هنگام زلزله می‌توان با توسعه و گسترش فضاهای باز و فضاهای سبز، فضاهای امن را جهت نجات آسیب دیدگان افزایش داد. اجرای مدل در قالب یک نرم‌افزار تجاری می‌تواند ابزاری مهم در طراحی و برنامه‌ریزی شهری، برنامه‌ریزی حمل و نقل و اجرای طرح‌های آمایش سرزمین باشد. پیشنهاد می‌شود برای اینکه آسیب‌پذیری مسیرها با دقیقت بیشتری انجام گردد از معیارهای دیگری مانند ارتفاع ساختمان‌های اطراف مسیرها، طول مسیرها و تراکم

## مراجع

- [1] H. Ranjbar, A.Azmodeh Ardalan, H.Dehghani,M. Serajian and A. Alidoosti, " Facilitate the reactive phase of earthquake disaster management with automatic extraction of buildings based on tissue analysis of satellite images ", Journal of Disaster Management, Vol. 5, PP.5-19, 2014.
- [2] M. Zanganeh," Assessment and risk analysis solutions for civil defense and the road network in Alborz province using methods IHWP and SWOT ", Journal of Geographic information, Vol. 98, PP.113-128, 2016.
- [3] NC. Balijepalli and O. Oppong, " Measuring Vulnerability of road network considering the extent of serviceability of critical road links in urban areas", Journal of Transport Geography, Vol. 39, PP.145-155, 2014.
- [4] M. Hosseini, "A Method For The Seismic Vulnerability And Functionality Assessment Of Transportation Systems In Large Cities", Proceedings of the 12th European Contention on Earthquake Engineering, Elsevier Science Ltd., London , 2002.
- [5] H. Homayoni, N. Rezaei, R.A. Abbaspor " Local communication network performance evaluation and spatial analysis after the earthquake in terms of civil defense ", Journal of Science and Technology of Civil Defense Vol. 3, PP.151-160, 2011.
- [6] P. Tung," Road vulnerability for earthquakes (A case study of Lalitpur, Kathmandu - Nepal)", Mark Brussel Press, Brussel,2004.
- [7] M.Taylor, and G. Este, "Transport Network Vulnerability: a Method for Diagnosis of Critical Locations in Transport Infrastructure Systems", Transport Systems Centre, University of South Australia, Australia,2006.
- [8] F. Bono, E. Gutiérrez,. "A network-based analysis of the impact of structural damage on urban accessibility following a disaster: the case of the seismically damaged Port Au Prince and Carrefour urban road networks", Journal of Transport Geography, Vol.19, No.3, PP.1443-1455, 2011.
- [9] Q. Dalin and Y. Luping, "Vulnerability Analysis of Road Networks", Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology Vol. 12, No. 1, PP.23-41, 2012.
- [10] T.Nagae, T. Fujihara and Y.Asakura, "Antiseismic reinforcement strategy for an urban road network", Transportation Research Part A, Vol. 46, No.2, PP.813-827,2012.
- [11] J. Lambert, A. Parlak, Q.Zhou, J. Miller and M. Fontaine, " Understanding and managing disaster evacuation on a transportation network", Accident Analysis and Prevention, Vol. 50, PP.645–658, 2013.
- [12] M.M. Azizi and M. Homafar, "Identify of

- seismic damage of Urban pathway", Journal of ART, Vol. 17, No. 3, PP.5-15 , 2012.
- [13] M. ahadnejad, SH. Rostaei and M.M. Kamelifar, " Urban street network for seismic vulnerability assessment approach to crisis management Case Study: Region 1 Tabriz ", Journal of Geographic information, Vol. 95, PP.37-50, 2015.
- [14] Z. Nezhad Akbari and M. Mojarrad Kahani, " Vulnerability scanning and blocking streets after the earthquake Case Study: Law enforcement centers in Kerman ", Journal of Geography law, Vol. 9, PP.69-92, 2015.
- [15] Y. Ebrahimian Ghajari, A.A. Alesheikh, M. Modiri, R. Hasanvi and M. Abbasi " Building the ultimate urban vulnerability modeling using Delphi and AHP in GIS ", Journal of Geographic information, Vol. 91, PP.5-20, 2014.
- [16] D.Hidalgo and C. Huizenga, "Implementation of sustainable urban transport in Latin America", Research in Transportation Economics, Vol. 40, No. 1, PP.66-77, 2013.
- [17] O.Azari and F. Karimi poor, " Urban routing based model for temporal or spatial data used by the Wide ", Twentieth National Conference on Geomatics,Tehran, 2013.
- [18] C. Cheng, Y. Zhou , K. Yue and J. Yang, " Study of SEA Indicators System of Urban Green Electricity Power Based on Fuzzy AHP and DPSIR Model", Journal of town and country planning, Energy Procedia, Vol. 12, No. 3, PP.155-162, 2011.
- [19] R.Hasanzadeh, A. Abbasnezhad, A. Alavi and E. Sharifi, " Seismic risk analysis of Kerman with an emphasis on micro-zoning application of GIS in qualifying Tier 2", Journal - of Earth Sciences, Vol. 81, PP.23-30, 2010.
- [20] S. Meimandi and A. Kazeminia, " Assessment and zoning of Kerman city vulnerability based on the principles of passive defense Using Delphi and GIS-AHP model ", Journal of town and country planning, Vol. 7, No. 1, PP.119-144 2015.
- [21] Gutiérrez, E., Taucer, F. De Groeve, T. Al-Khudhairy, D. H. Zaldivar, J. M.(2005). "Analysis of Worldwide Earthquake Mortality Using Multivariate Demographic and Seismic Data", American J.Epid, Vol.161,No. 12, PP. 1151–1158.
- [22] Thanh, P.(2004). "Road vulnerability for earthquakes (A case study of Lalitpur, Kathmandu -Nepal) ", Mark Brussel Press, Brussel.



## **Evaluation of Seismic vulnerability of transport networks with an emphasis on criteria earth resistance and design of routes and rescue using GIS**

**Abdolreza Kazeminia<sup>\*1</sup>, Alireza Ghanizadeh<sup>2</sup>**

1- Lecturer in Department of Civil Engineering, College of Civil Engineering, Sirjan University of Technology, Sirjan, Iran.

2- Assistant professor in Department of Civil Engineering, College of Civil Engineering, Sirjan University of Technology, Sirjan, Iran.

### **Abstract**

Transport networks are the main foundation of continuous development of regions due to its importance to economic, industry, political, and even military. Public transportation network becomes significantly important before and after earthquakes, rescue operations, and displacement and evacuation of victims. Hence, geometric network design and planning of urban transport to reduce potential injuries seem vital. The Kerman city due to its geographical location and being trapped within earthquake faults is vulnerable. In this work, we studied the Kerman urban transport network vulnerability against earthquakes resistance based on criteria Earth and using GIS- AHP by defining the reference database for urban routes, to serve and to drain injuries faster during or after earthquakes. In descriptive tables, the layer of city routes, vulnerability of fields along with route name, identification code, being a one-way or two-way route, classification, and route lengths are documented. When required, by applying network analysis such descriptive tables can be used to find the best route to rescue victims. Results show that the most vulnerable transport networks in the Kerman city are in regions 1 and 3 which is due to accumulation of vulnerable urban facilities and low-resistant ground in these areas. Hence, these regions should be considered as highest priority in planning.

**Key words:** Urban transport network, Vulnerability, geometric network, Earthquake

**Correspondence Address:** Department of Civil Engineering, Sirjan University of Technology, Sirjan, Iran  
Tel: Tel: +98 3442336905  
Email: Kazeminia@Sirjantech.ac.ir