

# ارزیابی آسیب‌پذیری ساختمان‌های شهری در برابر شدت‌های مختلف زلزله

## مطالعه موردی: منطقه ۹ شهرداری تهران

حسین نظم‌فر<sup>۱</sup>

سعیده علوی<sup>۲</sup>

تاریخ دریافت مقاله: ۹۶/۰۱/۰۵

تاریخ پذیرش مقاله: ۹۶/۰۸/۰۶

\*\*\*\*\*

### چکیده

زلزله مخرب‌ترین و شایع‌ترین سانحه طبیعی است که از گذشته تاکنون بیشترین آسیب جانی و مالی را بر شهرهای ایران وارد نموده است. منطقه ۹ شهرداری تهران به دلیل فرسودگی شدید بافت مسکونی، نزدیکی به گسل شمال تهران و وجود کاربری‌های صنعتی، منطقه‌ای با آسیب‌پذیری بالا در برابر زلزله است. ضروریست جهت کاهش خسارات ناشی از زلزله در این منطقه قبل از ایجاد بحران، پهنه‌های آسیب‌پذیر مشخص و تمهیدات لازم انجام شود. در این راستا هدف اصلی پژوهش ارزیابی آسیب‌پذیری ساختمان‌های شهری در برابر شدت‌های مختلف زلزله می‌باشد. برای رسیدن به این هدف، ۱۰ شاخص با استفاده از فرایند تحلیل شبکه‌ای (ANP) وزندهی و نتایج حاصل از آن روی لایه‌های مورد بررسی در محیط GIS اعمال و نهایتاً با تلفیق لایه‌های مورد بررسی نقشه آسیب‌پذیری کلی منطقه تهیه گردید. مدل بکاربرده شده برای استانداردسازی لایه‌ها فازی (Fuzzy) می‌باشد. در مرحله بعدی جهت پیش‌بینی میزان آسیب وارده به ساختمان‌های شهری، سناریوهای زلزله در شدت‌های مختلف ۶، ۷ و ۸ مرکالی اصلاح شده، طراحی و بر روی نقشه آسیب‌پذیری کلی منطقه اعمال شد. در نهایت براساس نتایج حاصل میزان آسیب‌پذیری ساختمان‌ها در ۵ گروه آسیب‌پذیری خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد طبقه‌بندی شدند. نتایج پژوهش نشان می‌دهد که میزان آسیب‌پذیری ساختمان‌های شهری در دامنه‌های آسیب‌پذیری خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد، در زلزله با شدت ۶ مرکالی اصلاح شده به ترتیب ۲۶، ۵۶، ۱۷، ۱ و ۰ درصد، در زلزله‌ای با شدت ۷ مرکالی اصلاح شده به ترتیب ۲۱، ۱۰، ۵۲، ۱۶ و ۱ درصد و در زلزله‌ای با شدت ۸ مرکالی اصلاح شده به ترتیب ۷، ۴، ۱۰، ۶۱ و ۱۸ درصد می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: آسیب‌پذیری - ساختمان‌های شهری - زلزله - GIS, ANP Fuzzy

\*\*\*\*\*

۱- دانشیار گروه جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران (نویسنده مسئول) nazmfar@uma.ac.ir

۲- دانشجوی دکتری تخصصی جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

## ۱- مقدمه

سرعت شهرنشینی به خصوص در کشورهای در حال توسعه منجر به این گردیده است که نصف جمعیت جهان در حال حاضر در مناطق شهری مستقر شوند. بیشتر این مناطق با تراکم جمعیتی بالا، در برابر وقوع بحران‌ها آسیب‌پذیر می‌باشند (Shelter Centre, 2010: xiv). واقعیت این است که افزایش تمرکز سرمایه‌های فیزیکی، زیرساخت‌ها و فعالیت‌های اقتصادی در شهرها به افزایش اثرهای نامطلوب حوادث طبیعی منجر شده است (Tangri et al, 2008:30; Lall and Deichmann, 2012). در این میان زلزله به عنوان یکی از فاجعه‌بارترین و مخرب‌ترین انواع مخاطرات طبیعی به‌ویژه در کشورهای در حال توسعه از دیرباز مطرح بود (Dong & Shan, 2013: 85) که با خرابی ساختمان‌ها و زیرساخت‌های شهری، خسارت‌های بسیاری را به اموال و دارایی‌ها در نواحی شهری و اطراف آن وارد می‌کند (Min et al, 2010). ایران همانند دیگر کشورهای در حال توسعه سطح بالایی از شهرنشینی را تجربه کرده که کالبد فیزیکی نواحی شهری را کاملاً دگرگون ساخته است (Soltani et al., 2011: 6644). به‌طوریکه در سال ۲۰۱۵ درصد جمعیت شهرنشین کشور ۷۴/۳ درصد بوده که تخمین زده شده این رقم در سال ۲۰۵۰ به ۹۱/۵ درصد برسد (Statistical Yearbook for Asia and the Pacific, 2015). افزایش شهرنشینی همراه با توسعه برنامه‌ریزی نشده شهرهای کشور از جمله عواملی است که احتمال افزایش تلفات و خسارات ناشی از وقوع بلایای طبیعی را در شهرهای کشور افزایش (پورموسوی، ۱۳۹۱: ۴۰) و منجر به از دست رفتن منابع و دستاوردهایی می‌شود که تحقق مجدد آنها سالیان متمادی به طول خواهد انجامید (Patterson et al, 2010:128). ایران از نظر میانگین سالانه بیشترین تعداد مطلق جمعیت در معرض خطر زلزله، در جایگاه هفتم آسیا و سیزدهم جهان قرار دارد (حسینی و همکاران، ۱۳۹۳: ۴۶؛ فراهانی و همکاران، ۱۳۹۳: ۶۳). بطوری که مطابق با آمار منتشره کمیسیون سازمان ملل در سال ۲۰۱۵ از سال ۱۹۷۰ تا ۲۰۱۴، تعداد ۱۷۳ حادثه مخاطره طبیعی در ایران اتفاق

افتاده که در مجموع ۱۱۰۴۹۸ نفر جان خود را در طول این مدت از دست داده‌اند. بیشترین تلفات در سال ۱۹۷۸ (زلزله طبس ۱۳۵۷)، ۱۹۹۰ (زلزله منجیل ۱۳۶۹) و ۲۰۰۳ (زلزله بم ۱۳۸۲) می‌باشد که ۹۱۹۱۲ نفر جان خود را از دست دادند و در مجموع ۲۲۷۹۱ میلیون دلار آمریکا خسارات اقتصادی در پی داشته است (ESCAP, 2015). شهر تهران به‌عنوان بزرگ‌ترین کلانشهر ایران طبق تقسیمات پهنه‌بندی خطر نسبی زلزله در منطقه‌ای با خطر لرزه‌ای بسیار زیاد قرار دارد (قائدرحمی و قانعی بافقی، ۱۳۹۱: ۱۸۲۱۸؛ آئین‌نامه ۲۸۰۰، ۱۳۸۴). منطقه ۹ شهرداری تهران به عنوان بخش از پهنه شهر تهران از این قاعده مستثنی نیست و بخاطر نزدیکی به گسل‌های مؤثر در آسیب‌پذیری شهر تهران از جمله گسل مشاء، گسل شمال تهران و گسل ری به همراه تأثیرات مخرب گسل‌هایی در داخل و پیرامون منطقه از آسیب‌پذیری بالایی در برابر زلزله برخوردار است. بنابراین وجود گسل‌های متعدد در اطراف و درون شهر تهران از یک طرف و وجود بافت‌های فرسوده، تراکم سازه‌ای، جمعیت متراکم، عدم رعایت استانداردها، شریان‌های حیاتی آسیب‌پذیر، تمرکز تمامی وزارتخانه‌ها، سفارتخانه‌ها، مجلس، مراکز مهم اقتصادی و اجتماعی و توسعه فیزیکی نامناسب شهر تهران را با خطر جدی مواجه کرده (کریمی کردآبادی و نجفی، ۱۳۹۴: ۱۷) که در صورت وقوع زلزله نه فقط خود آسیب‌پذیر است، بلکه منشأ آسیب‌پذیری غیرکالبدی دیگر شهرها خواهد بود (محمدی یگانه، ۱۳۹۰: ۳). پرداختن به موضوع مهمی چون زلزله، با وجود همه مطالعات و برنامه‌ریزی‌های انجام شده، هنوز هم جایگاه اساسی در مدیریت بحران دارد؛ چرا که اولاً با وجود اقدامات پیش‌گیرانه در برنامه‌های مقابله با بحران زلزله در سراسر کشور، اخبار رسیده از زلزله‌های اخیر، حاکی از عدم برنامه‌ریزی مناسب و نبود هماهنگی و اقدام به موقع در مراحل مختلف کنترل بحران است (سعدآبادی و عظیمی، ۱۳۹۳، ۳۱). ثانیاً زلزله از جمله پدیده‌های طبیعی می‌باشد که بشر تاکنون روش قابل اعتمادی برای پیش‌بینی

<sup>1</sup>- Economic and Social Commission for Asia and the Pacific

## فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (ص ۱۶۷)

استفاده از نرم‌افزارها جهت محاسبه نظرات کارشناسان و تجزیه و تحلیل داده‌ها مورد بررسی قرار گرفته و در نهایت با توجه به نتایج پیشنهاداتی ارائه شده است. پیشینه پژوهش حاضر به شرح زیر می‌باشد:

در خصوص سوانح طبیعی به‌خصوص زلزله و تعیین آسیب‌پذیری شهرها در برابر آن، مطالعات زیادی صورت گرفته است در ادامه به برخی از این مطالعات اشاره می‌شود؛ منزوی و همکاران (۱۳۸۹) پژوهشی با عنوان آسیب‌پذیری بافت‌های فرسوده بخش مرکزی شهر تهران در برابر زلزله انجام دادند. نتایج این بررسی نشان داد که با در نظر گرفتن «نظام‌های آسیب‌زا» و «نظام‌های تأثیرپذیر» در درون سیستم شهری و بافت فرسوده بخش مرکزی شهر تهران، متغیرهای فاصله کاربری‌ها از فضاهای باز، دسترسی به محدوده آسیب‌پذیر، سال احداث بنا و نوع مصالح ساختمان‌ها، به ترتیب بیشترین تأثیر را در آسیب‌پذیری منطقه ۱۲ از زلزله دارند. موحد و همکاران (۱۳۹۱) پژوهشی با عنوان بررسی آسیب‌پذیری ساختمان‌های شهری در برابر زلزله انجام دادند. نتایج پژوهش با بهره‌گیری از مدل سلسله مراتبی معکوس (IHWP) نشان داد ۷۶/۰۶ درصد ساختمان‌های شهر مسجد سلیمان آسیب‌پذیر بوده است. زنگی‌آبادی و همکاران (۱۳۹۲) پژوهشی با عنوان ارزیابی آسیب‌پذیری بخش مرکزی کلان‌شهرهای ایران در برابر بحران زلزله انجام دادند. در این پژوهش از مدل IHWP برای ارزیابی آسیب‌پذیری منطقه ۳ شهر اصفهان استفاده کردند. نتایج نشان داد که قطعات با تراکم ساختمانی و جمعیتی کمتر، دارای آسیب‌پذیری کمتر و قطعات دارای درجه محصوریت بالا و تراکم‌های ساختمانی و جمعیتی بالا دارای بیشترین آسیب‌پذیری بوده‌اند. پورموسوی و همکاران (۱۳۹۳) در پژوهشی با عنوان ارزیابی آسیب‌پذیری ساختمان‌های شهر با مدل AHPFuzzy و GIS به صورت موردی، منطقه ۳ شهرداری تهران را مورد مطالعه قرار دادند. نتایج پژوهش نشان داد که بالاترین میزان آسیب‌پذیری براساس تعداد ساختمان‌ها به ترتیب در نواحی ۲، ۳، ۵، ۴، ۱ و ۶ منطقه

زمان، مکان و بزرگی آن ارائه نداده است (جعفری حاجتی و آق‌آتابایی، ۱۳۹۱: ۱۱۴). یک واقعیت اساسی در مورد زلزله این است که در مواجهه با چنین سوانحی در لحظه وقوع کار چندانی نمی‌توان انجام داد، در حالی که اثرات آنها را با برنامه‌ریزی از قبل می‌توان خنثی کرد یا به حداقل رساند (UNDRO, 1976). منطقه ۹ تهران نیز بدلیل فرسودگی شدید بافت مسکونی، اختصاص سطحی از منطقه به پادگان و کاربری نظامی در مرکز منطقه و وجود کاربری‌های صنعتی که در صورت بروز زلزله آسیب‌پذیر خواهند بود مشکلات زیادی را به بار خواهند آورد، لذا لازم است مطالعات جدی در این مورد صورت گیرد تا قبل از ایجاد بحران، مناطق آسیب‌پذیر مشخص شده و تمهیدات لازم انجام شود. با توجه به مطالب عنوان‌شده در راستای کاهش آسیب‌های ناشی از زلزله، هدف کلی تحقیق حاضر، در نظر گرفتن مدیریت بحران قبل از وقوع زلزله می‌باشد، که شامل سنجش آسیب‌پذیری ساختمان‌های شهری منطقه ۹ شهرداری تهران در برابر زلزله احتمالی و همچنین شبیه‌سازی زلزله در شدت‌های مختلف براساس توان لرزه‌خیزی گسل‌های شهر تهران است. اهداف فرعی پژوهش حاضر عبارتند از: شناسایی پهنه‌های آسیب‌پذیر منطقه ۹ شهرداری تهران به کمک مدل‌ها و تکنیک‌های مورد استفاده و همچنین ارائه مدلی واقعی از وضعیت آسیب‌پذیری منطقه ۹ شهرداری تهران در جهت رفع ضعف‌های موجود و کاهش آسیب‌های احتمالی ناشی از زلزله. جهت رسیدن به هدف پژوهش از مدل تحلیل شبکه‌ای فازی (ANPFuzzy) و سناریوسازی در شدت‌های ۶، ۷ و ۸ مرکالی استفاده شده است. پژوهش حاضر سعی دارد با استفاده از مدل‌های ذکر شده وضعیت آسیب‌پذیری کلی منطقه ۹ تهران را شناسایی کند تا نتایج آن مورد استفاده برنامه‌ریزان شهری برای کاهش آسیب‌پذیری قرار گیرد. در ادامه تحقیق برای رسیدن به نتایج، مراحل مختلفی شامل مطالعات اسنادی جهت تسلط بر مبانی نظری پژوهش و بدنبال آن انتخاب معیار برای ارزیابی، مطالعات میدانی جهت اعمال نظرات کارشناسان در قالب پرسشنامه،

آسیب‌پذیری شهر در برابر زلزله دارند. روت و همکاران (۲۰۱۵) در پژوهشی با عنوان ارزیابی خسارت لرزه‌ای ساختمان‌ها در مجموع ۲۶۲۴ ساختمان واقع در شهر بوبانسور<sup>۱</sup> را مورد مطالعه قرار دادند. در این پژوهش براساس تحقیقات خاک و نمرات RVS به این نتایج دست یافتند که این منطقه به طور بالقوه در برابر زلزله آسیب‌پذیر می‌باشد. با توجه به پیشینه پژوهش در زمینه آسیب‌پذیری شهرها در برابر زلزله تحقیقات زیادی در داخل و خارج کشور با استفاده از مدل‌ها و روش‌های مختلف انجام شده است، اما آنچه پژوهش حاضر را از تحقیقات پیشین متمایز می‌کند استفاده از مدل فرایند تحلیل شبکه‌ای فازی (ANPFuzzy) در محیط GIS جهت ارزیابی آسیب‌پذیری ساختمان‌های شهری در برابر شدت‌های مختلف زلزله می‌باشد که تاکنون پژوهش‌های کمی در این زمینه با مدل یاد شده صورت گرفته است. از این‌رو پژوهش حاضر سعی بر آن دارد تا با استفاده از مدل فرایند تحلیل شبکه‌ای فازی میزان آسیب‌پذیری ساختمان‌های شهری منطقه ۹ شهرداری تهران را مورد ارزیابی قرار داد و مدل بهینه‌ای را جهت ارزیابی آسیب‌پذیری ارائه نماید.

## ۲- روش تحقیق

پژوهش حاضر از نوع کاربردی و به روش توصیفی-تحلیلی است. جامعه آماری ساختمان‌های منطقه ۹ شهرداری تهران می‌باشد. برای تکمیل اطلاعات کتابخانه‌ای جهت شناخت وضع موجود از مطالعات و برداشت‌های سازمان فناوری اطلاعات و ارتباطات شهرداری تهران که در سال ۱۳۹۴ به هنگام شده، استفاده شده است. ۱۰ شاخص بکاربرده شده شامل نوع مصالح، نوع نما، تراکم ساختمانی، قدمت بنا، تعداد طبقات، مساحت همکف ساختمان‌ها، سازگاری کاربری‌های همجوار، فاصله از گسل، سازندهای زمین‌شناسی و عرض معابر می‌باشد. شاخص‌های مورد استفاده در پژوهش براساس نظرات کارشناسان و با استفاده

قرار دارند. صیامی و همکاران (۱۳۹۴) در پژوهشی با عنوان آسیب‌شناسی لرزه‌ای پهنه‌های شهری با استفاده از تحلیل سلسله مراتبی معکوس (IHWP) و GIS، شهر گرگان را مورد بررسی قرار دادند. نتایج پژوهش نشان داد که ساختمان‌های موجود در جنوب شهر نسبت به بقیه محدوده مورد مطالعه، دارای آسیب‌پذیری کمتری هستند. قدیری (۱۳۹۵) پژوهشی با عنوان ارزیابی دیدگاه برنامه‌های پنج‌ساله توسعه کشور به کاهش آسیب‌پذیری در برابر زلزله انجام داد. نتایج پژوهش نشان داد که وسعت یابی توجه به مدیریت بحران و کاهش آسیب‌پذیری از نظر کمی از برنامه اول تا پنجم عمدتاً در شاخص‌های مرتبط با دیدگاه مدیریتی و فنی- فیزیکی افزایش یافته است.

ما و اوهنو<sup>۲</sup> (۲۰۱۲) پژوهشی با عنوان ارزیابی آسیب‌پذیری مناطق مسکونی مختلف در چین برای مقابله با مخاطرات زلزله‌ای انجام دادند. در این پژوهش شهر تیانجین<sup>۳</sup> به صورت موردی و جزئی مورد مطالعه قرار گرفته، نتایج تحقیق نشان داد که دانستن مناطق ضعیف و حساس به زلزله اولین گام در کاهش آسیب‌پذیری در برابر زلزله و بهینه‌سازی فضاهای شهری می‌باشد. کریم‌زاده و همکاران (۲۰۱۴) پژوهشی با عنوان آسیب‌پذیری ساختمان‌ها و ارزیابی تلفات انسانی در سناریوی زلزله، که با استفاده از مدل AHP در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی انجام دادند؛ به این نتیجه رسیدند که ۶۹/۵ درصد ساختمان‌های شهر تبریز به طور کامل نابود و نرخ تلفات انسانی در شب تقریباً برابر با ۳۳ درصد است. نات<sup>۴</sup> و همکاران (۲۰۱۵) در پژوهشی با عنوان آسیب‌پذیری زلزله و ارزیابی ریسک شهر کلکته<sup>۴</sup> هند را با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی مورد مطالعه قرار دادند که نتایج، حاکی از آن است که بیشتر از ۴۰٪ درصد ساختمان‌ها در برابر زلزله مقاوم نیستند و با تهیه نقشه ریسک اجتماعی و اقتصادی سعی در کاهش

<sup>۱</sup>- Ma and Ohno

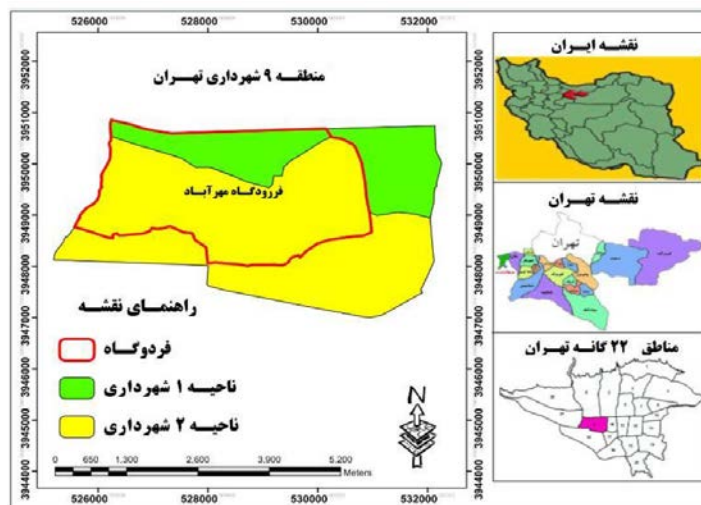
<sup>۲</sup>- Tianjin

<sup>۳</sup>- Nath

<sup>۴</sup>- Kolkata

<sup>۵</sup>- Rout

<sup>۶</sup>- Bhubaneswar



نگاره ۱: نقشه محدوده مورد مطالعه

داده است (سایت شهرداری منطقه ۹، ۱۳۹۵). محدوده این منطقه از شمال به خیابان آزادی و جاده مخصوص کرج از جنوب به بزرگراه فتح و ۴۵ متری زرنند از شرق به خیابان‌های شهیدان (امتداد بزرگراه یادگار امام) و سادات و از غرب به مسیل کن منتهی می‌شود و با مناطق ۲ و ۵ از شمال، ۱۰ و ۱۷ از شرق، ۱۸ از جنوب و ۲۱ در غرب همسایگی دارد. این منطقه دارای ۲ ناحیه و ۸ محله بوده که در داخل محدوده شهری قرار گرفته‌اند. تراکم متوسط خالص مسکونی در منطقه ۹ بالای ۶۵۰ نفر در هکتار است. وجود بافت‌های فرسوده به‌ویژه در کاربری مسکونی از ویژگی‌های بارز منطقه است. هرچه از قسمت شمالی به بخش‌های جنوبی منطقه نزدیک‌تر می‌شویم بر شدت فرسودگی و فراوانی عرصه‌های کوچک‌تر مسکونی افزوده می‌شود (مطالعات الگوی توسعه منطقه ۹، ۱۳۸۴). نگاره ۱ نقشه محدوده مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

#### ۴- یافته‌های پژوهش

پژوهش حاضر با هدف ارزیابی میزان آسیب‌پذیری ساختمان‌های شهری در برابر شدت‌های مختلف زلزله صورت گرفت از این رو با استفاده از ده شاخص (نوع مصالح، نوع نما، تراکم ساختمانی، قدمت بنا، تعداد طبقات، مساحت همکف ساختمان‌ها، سازگاری کاربری‌های همجوار، فاصله از گسل، سازندهای زمین‌شناسی و عرض معابر) به همراه زیر معیارهای لازم، به سنجش میزان آسیب‌پذیری

از فرایند تحلیل شبکه‌ای (ANP) وزندهی و نتایج حاصل از آن روی لایه‌های مورد بررسی در محیط GIS اعمال و نقشه هریک از لایه‌ها در سیستم اطلاعات جغرافیایی تهیه شده است. در نهایت با تلفیق لایه‌های مورد بررسی (Overlay) نقشه آسیب‌پذیری کلی منطقه استخراج گردید. نظرات کارشناسان در ارزیابی آسیب‌پذیری وارده به شهر تعیین کننده می‌باشد اما در این پژوهش برای رسیدن به ارزیابی دقیق در کنار تهیه نقشه بر اساس نظرات کارشناسان اقدام به سناریوسازی آسیب‌پذیری در شدت‌های مختلف شده است. بدین صورتی که جهت استانداردسازی داده‌ها از مدل فازی (Fuzzy) و برای تحلیل لایه‌ها و معیارها از تابع آستانه خطی استفاده شده است. با استفاده از رابطه کمبل طول نزدیک‌ترین گسل به منطقه ۹ تهران محاسبه شده و بر اساس محاسبات پایه سناریو از ۶ ریشتر تا ۸ ریشتر انتخاب شده است. نتایج حاصل در ۵ گروه آسیب‌پذیری خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد طبقه‌بندی شده و درصد هریک از گروه‌ها محاسبه شده است. ابزارهای مورد استفاده در پژوهش Super decision و GIS است.

#### ۳- محدوده مورد مطالعه

منطقه ۹ شهرداری تهران با وسعتی نزدیک به ۱۹/۸ کیلومتر مربع جمعیتی بالغ بر ۱۵۸۴۲۵ نفر را در خود جای

و تأثیر هر یک از معیارها و زیر معیارها بر روی معیارها و زیر معیارهای شاخص‌های دیگر با استفاده از روش ANP امکان‌پذیر است می‌توان از این روش به عنوان روش مناسبی جهت مدل‌سازی و ارزیابی آسیب‌پذیری شهر در برابر زلزله استفاده کرد. بر مبنای این روش هر یک از زیر معیارها در شاخص‌های اصلی براساس اهمیتی که دارد، در یکی از گروه‌های آسیب‌پذیری قرار می‌گیرد. در فرایند تجزیه و تحلیل مدل تحلیل شبکه‌ای (ANP)، اندازه‌گیری مقادیر و اهمیت نسبی مانند فرایند تحلیل سلسله مراتبی با مقایسه‌های زوجی و به کمک طیف ۱ تا ۹ انجام می‌شود. عدد ۱ نشان‌دهنده اهمیت یکسان بین دو عامل و عدد ۹ نشان‌دهنده اهمیت شدید یک عامل نسبت به عامل دیگر است. با توجه به پژوهش‌های انجام شده در زمینه آسیب‌پذیری شهر در برابر زلزله چه در داخل و چه در

ساختمان‌های شهری در برابر شدت‌های مختلف زلزله پرداخته شده است. برای طراحی سناریوهای زلزله در شدت‌های مختلف، ابتدا اقدام به لایه‌سازی برای هر یک از معیارهای اصلی و زیر معیارها با استفاده از وزن‌های حاصل از فرایند تحلیل شبکه‌ای (ANP) در محیط ArcGIS شد سپس با روی هم‌گذاری لایه‌ها، نقشه آسیب‌پذیری کلی منطقه تهیه گردید. در نهایت با فازی سازی نقشه، سناریوهای زلزله در شدت‌های مختلف طراحی گردید.

#### ۴-۱- جدول اولیه معیارها و زیر معیارها

در ارزیابی آسیب‌پذیری، برخی از معیارها از اهمیت زیادی نسبت به دیگر معیارها برخوردارند و نقش تعیین کننده‌ای در آسیب‌پذیری دارند. با توجه به اینکه نقش و اهمیت هر یک از شاخص‌ها و مقایسه زوجی بین آنها جدول ۱: امتیازدهی به معیارها و زیرمعیارهای مورد استفاده در پژوهش

| آسیب‌پذیری |   |   |   |   | معیار               |                                | آسیب‌پذیری |   |   |   |   | معیار             |                    |
|------------|---|---|---|---|---------------------|--------------------------------|------------|---|---|---|---|-------------------|--------------------|
| ۹          | ۷ | ۵ | ۳ | ۱ | زیر معیار           | معیار                          | ۹          | ۷ | ۵ | ۳ | ۱ | زیر معیار         | معیار              |
|            |   |   |   |   | زیر معیار           | معیار                          |            |   |   |   |   | زیر معیار         | معیار              |
|            |   |   |   |   | خشت و گل            | نوع نمای ساختمانی              |            |   |   |   |   | خشت و گل          | نوع مصالح          |
|            |   |   |   |   | آجر و سیمان         |                                |            |   |   |   |   | آجر و سیمان       |                    |
|            |   |   |   |   | سنگ                 |                                |            |   |   |   |   | آجر و آهن         |                    |
|            |   |   |   |   | شیشه                |                                |            |   |   |   |   | بتنی              |                    |
|            |   |   |   |   | D <sub>1</sub>      | سازند زمین‌شناسی               |            |   |   |   |   | اسکلت فلزی        | قدمت بنا           |
|            |   |   |   |   | D <sub>2</sub>      |                                |            |   |   |   |   | قبل از سال ۱۳۵۰   |                    |
|            |   |   |   |   | B <sub>S</sub>      |                                |            |   |   |   |   | ۱۳۶۰ تا ۱۳۵۰      |                    |
|            |   |   |   |   | کمتر از ۵۰ متر      | فاصله از گسل                   |            |   |   |   |   | ۱۳۷۰ تا ۱۳۶۰      | مساحت همکف ساختمان |
|            |   |   |   |   | بین ۵۰ تا ۱۰۰ متری  |                                |            |   |   |   |   | ۱۳۷۰ تا ۱۳۸۰      |                    |
|            |   |   |   |   | بین ۱۰۰ تا ۳۰۰ متری |                                |            |   |   |   |   | ۱۳۸۰ به بعد       |                    |
|            |   |   |   |   | بین ۳۰۰ تا ۵۰۰ متری |                                |            |   |   |   |   | کمتر از ۸۵ متر    |                    |
|            |   |   |   |   | بیش از ۵۰۰ متر      | سازگاری کاربری‌های شهری همجوار |            |   |   |   |   | ۸۵ تا ۲۰۰ متر     | طبقات              |
|            |   |   |   |   | کاملاً سازگار       |                                |            |   |   |   |   | ۲۰۰ تا ۵۰۰ متر    |                    |
|            |   |   |   |   | نسبتاً سازگار       |                                |            |   |   |   |   | بیش از ۵۰۰ متر    |                    |
|            |   |   |   |   | بی تفاوت            |                                |            |   |   |   |   | ۱ طبقه            |                    |
|            |   |   |   |   | نسبتاً ناسازگار     | عرض معابر دسترسی               |            |   |   |   |   | ۲ و ۳ طبقه        | تراکم ساختمانی     |
|            |   |   |   |   | کاملاً ناسازگار     |                                |            |   |   |   |   | ۴ و ۵ طبقه        |                    |
|            |   |   |   |   | کمتر از ۴           |                                |            |   |   |   |   | ۶ و بیشتر         |                    |
|            |   |   |   |   | ۴-۸                 |                                |            |   |   |   |   | تراکم کمتر از ۱۰۰ |                    |
|            |   |   |   |   | ۸-۱۲                |                                |            |   |   |   |   | تراکم ۱۰۰-۱۵۰     |                    |
|            |   |   |   |   | ۱۲-۲۰               |                                |            |   |   |   |   | تراکم ۱۵۰-۲۰۰     |                    |
|            |   |   |   |   | بیش از ۲۰ متر       |                                |            |   |   |   |   | تراکم بیش از ۲۰۰  |                    |

جدول ۲: وزن معیارهای مورد استفاده در پژوهش

| وزن     | زیر معیار           | معیار                          | وزن          | زیر معیار         | معیار              |
|---------|---------------------|--------------------------------|--------------|-------------------|--------------------|
| ۰/۳۱۷۷۸ | خشت و گل            | نوع نمای ساختمانی              | ۰/۵۰۳۴۶      | خشت و گل          | نوع مصالح          |
| ۰/۰۹۱۷۷ | آجر و سیمان         |                                | ۰/۲۶۷۱۴      | آجر و سیمان       |                    |
| ۰/۰۵۴۷۱ | سنگ                 |                                | ۰/۰۹۴۱۷      | آجر و آهن         |                    |
| ۰/۵۳۵۴۷ | شیشه                |                                | ۰/۰۹۴۱۴      | بتنی              |                    |
| ۰/۴۲۸۵۷ | D <sub>1</sub>      | سازند زمین‌شناسی               | ۰/۰۴۱۱۰      | اسکلت فلزی        |                    |
| ۰/۴۲۸۵۷ | D <sub>2</sub>      |                                | ۰/۴۷۰۹۹      | قبل از سال ۱۳۵۰   | قدمت بنا           |
| ۰/۱۴۲۸۶ | B <sub>s</sub>      |                                | ۰/۲۶۷۷۰      | ۱۳۵۰ تا ۱۳۶۰      |                    |
| ۰/۴۷۰۹۹ | کمتر از ۵۰ متر      | ۰/۱۴۲۵۰                        | ۱۳۶۰ تا ۱۳۷۰ |                   |                    |
| ۰/۲۶۷۷۰ | بین ۵۰ تا ۱۰۰ متری  | ۰/۰۷۵۱۴                        | ۱۳۷۰ تا ۱۳۸۰ |                   |                    |
| ۰/۱۴۲۵۰ | بین ۱۰۰ تا ۳۰۰ متری | فاصله از گسل                   | ۰/۰۴۳۶۷      | ۱۳۸۰ به بعد       | مساحت همکف ساختمان |
| ۰/۰۷۵۱۴ | بین ۳۰۰ تا ۵۰۰ متری |                                | ۰/۵۱۵۵۵      | کمتر از ۸۵ متر    |                    |
| ۰/۰۴۳۶۷ | بیش از ۵۰۰ متر      |                                | ۰/۲۸۲۰۸      | ۸۵ تا ۲۰۰ متر     |                    |
| ۰/۱۴۲۵۰ | کاملاً سازگار       |                                | ۰/۱۵۳۱۹      | ۲۰۰ تا ۵۰۰ متر    |                    |
| ۰/۲۶۷۷۰ | نسبتاً سازگار       | سازگاری کاربری‌های شهری همجوار | ۰/۰۴۹۱۷      | بیش از ۵۰۰ متر    |                    |
| ۰/۱۴۲۵۰ | بی تفاوت            |                                | ۰/۰۷۴۱۱      | ۱ طبقه            | طبقات              |
| ۰/۰۷۵۱۴ | نسبتاً ناسازگار     |                                | ۰/۱۳۷۵۵      | ۲ و ۳ طبقه        |                    |
| ۰/۰۴۳۶۷ | کاملاً ناسازگار     | ۰/۲۷۵۱۰                        | ۴ و ۵ طبقه   |                   |                    |
| ۰/۴۷۰۹۹ | کمتر از ۴           | عرض معابر دسترسی               | ۰/۵۱۳۲۴      | ۶ و بیشتر         | تراکم ساختمانی     |
| ۰/۲۶۷۷۰ | ۴-۸                 |                                | ۰/۰۵۹۹۹      | تراکم کمتر از ۱۰۰ |                    |
| ۰/۱۴۲۵۰ | ۸-۱۲                |                                | ۰/۱۰۶۹۶      | تراکم ۱۰۰-۱۵۰     |                    |
| ۰/۰۷۵۱۴ | ۱۲-۲۰               |                                | ۰/۲۰۰۹۱      | تراکم ۱۵۰-۲۰۰     |                    |
| ۰/۰۴۳۶۷ | بیش از ۲۰ متر       |                                | ۰/۶۳۲۱۳      | تراکم بیش از ۲۰۰  |                    |

شبکه‌ای (ANP)، که توسط کارشناسان خبره وزن‌دهی شده بودند از نرم‌افزار Super Decisions استفاده شد. نگاره شماره ۲ نمودار خوشه‌ای معیارها اصلی و زیر معیارها مؤثر در آسیب‌پذیری شبکه معابر شهر در مدل تحلیل شبکه‌ای (ANP)، را نشان می‌دهد. در ماتریس فوق میزان آسیب‌پذیری هر یک از زیر معیارها در معیار اصلی مشخص شد.

وزن هر یک از زیر معیارهای در مدل تحلیل شبکه‌ای (ANP) تحلیل و برای هر یک از معیارهای اصلی لایه‌ای در محیط GIS تهیه شد. در نهایت وزن‌های معیارهای اصلی در تحلیل شبکه محاسبه گردید، با اعمال وزن‌های حاصل از تحلیل شبکه نقشه آسیب‌پذیری کلی تهیه گردید (نگاره‌های ۳ و ۴).

خارج در اکثر موارد درجه آسیب‌پذیری شهر را به پنج طبقه تقسیم می‌کنند پژوهش حاضر نیز با پیروی از این اصول درجه آسیب‌پذیری وارد شده به ساختمان‌های شهری را به پنج طبقه تقسیم کرد و بر این اساس، امتیازات زیر معیارها در مدل تحلیل شبکه‌ای (ANP)، نیز به پنج طبقه؛ آسیب‌پذیری خیلی کم (عدد ۱)، آسیب‌پذیری کم (عدد ۳)، آسیب‌پذیری متوسط (عدد ۵)، آسیب‌پذیری زیاد (عدد ۷) و آسیب‌پذیری خیلی زیاد (عدد ۹) تقسیم شد. هر یک از زیر معیارهای در معیار اصلی براساس اهمیتی که دارد، در یکی از گروه‌های آسیب‌پذیری قرار می‌گیرد (جدول ۱).

#### ۴-۲- تعیین وزن مؤلفه‌ها با استفاده از تحلیل شبکه (Super Decisions)

برای تحلیل وزن معیارها و زیرمعیارها در مدل تحلیل



نگاره ۲: نمودار خوشه‌ای معیارها اصلی و زیر معیارها مؤثر آسیب پذیری در Super Dncisios

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 ANP و  $\mu(x_i)$  عضویت فازی هر یک از معیارها بر مبنای تابع خطی فازی است. در این مرحله برای ارزیابی دقیق آسیب پذیری ساختمان‌های شهری منطقه ۹ شهرداری تهران به طراحی سناریوهای زلزله با شدت‌های مختلف پرداخته شده تا با توجه به تحلیل‌های حاصله، میزان خسارت‌های وارده به هر یک از ساختمان‌های شهری تعیین شود.

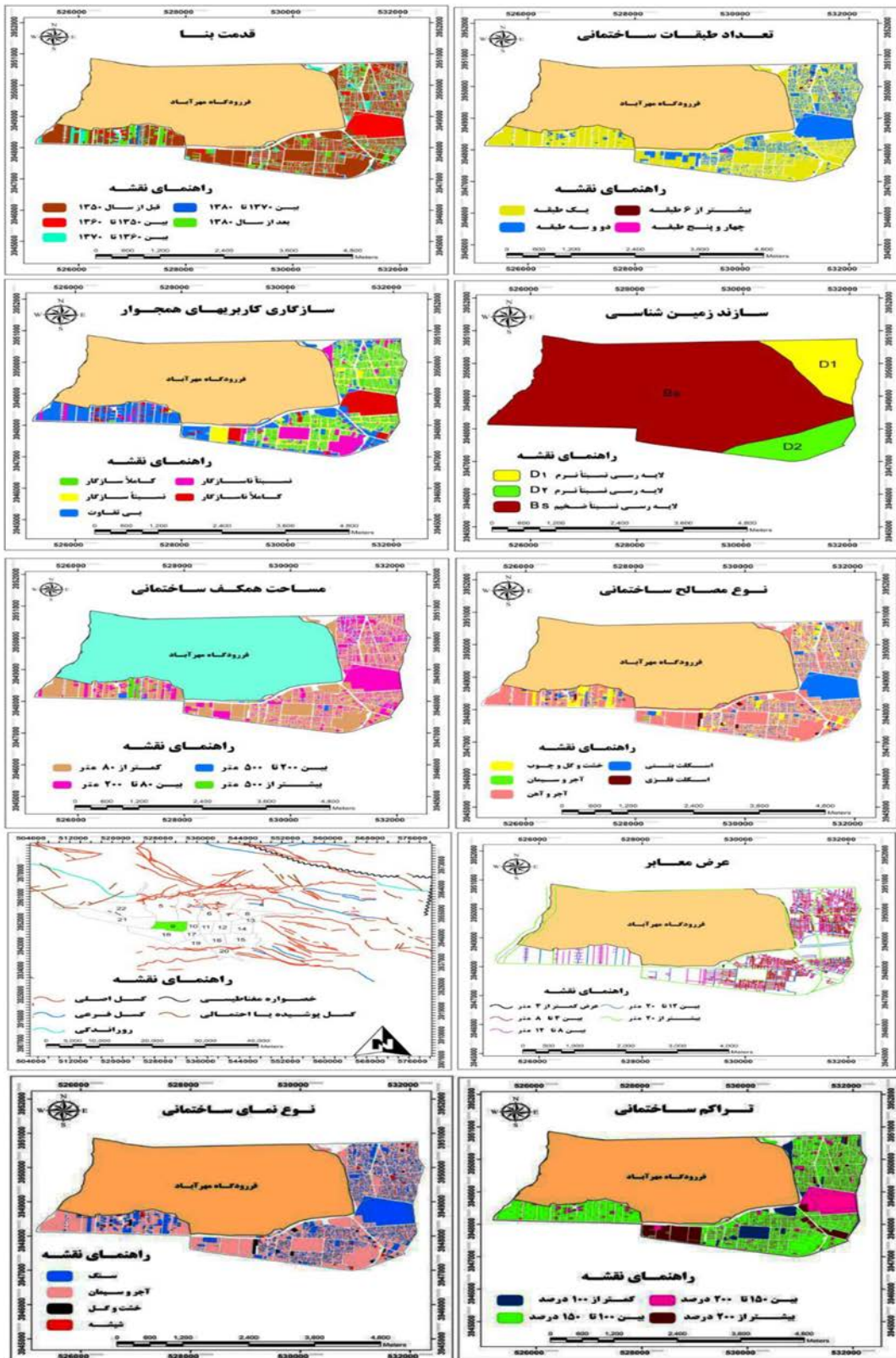
### ۳-۴- فازی سازی نقشه

معیارهای ارزیابی با معیارهای مختلف اندازه‌گیری ارائه می‌شوند، برای اینکه بتوان آن‌ها را به یک مقیاس مشترک جهت ارزیابی تبدیل نمود، نیاز به استانداردسازی دارند (Matkan et al. 2008, Nazmfar, 2017, Nazmfar & Jafarzadeh, 2018) در این پژوهش با توجه ترکیب لایه‌های با استفاده از وزن حاصل از ANP از تابع خطی زیر استفاده شده است:

$$f(x) = \sum w_i \mu(x_i) \quad \text{رابطه (۱) (Rashed, 2003:7)}$$



فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (سپهر)  
 ارزیابی آسیب پذیری ساختمان های شهری در برابر ... / ۱۷۳



نگاره ۳: تلفیق لایه ها با وزن معیارهای اصلی حاصل از تحلیل شبکه

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

$\alpha_D$  = نشانگر متوسط درجات آسیب

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

$\bar{V}_i$  = مقدار آسیب پذیری حاصله از اعمال روش تحلیل

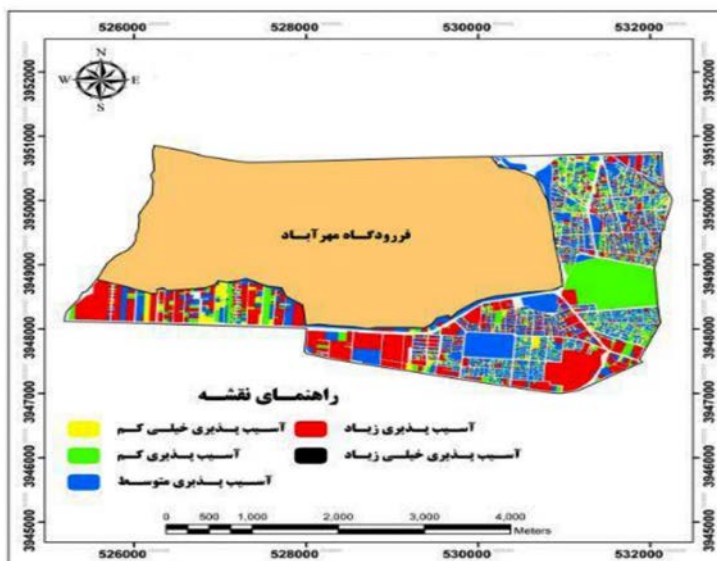
برای این منظور از طریق رابطه شماره (۲) به محاسبه متوسط درجات آسیب پذیری ساختمان های شهری در برابر شدت های مختلف ۶، ۷ و ۸ مرکالی اصلاح شده پرداخته شده است. (Milutinovic and Trendafiloski, 2003:36) رابطه (۲)

جدول ۳: تعداد و درصد ساختمان های آسیب دیده در زلزله با شدت ۶ مرکالی

| کل منطقه ۹ تهران |               | ناحیه ۲ شهرداری |               | ناحیه ۱ شهرداری |               | آسیب پذیری با زلزله ۶ مرکالی اصلاح شده |
|------------------|---------------|-----------------|---------------|-----------------|---------------|--|
| درصد             | تعداد ساختمان | درصد            | تعداد ساختمان | درصد            | تعداد ساختمان |  |
| ۲۶               | ۵۸۴۸          | ۲۴              | ۲۷۳۱          | ۲۸              | ۳۱۱۷          | آسیب پذیری خیلی کم                     |
| ۵۶               | ۱۲۶۵۵         | ۵۹              | ۶۸۱۵          | ۵۳              | ۵۸۴۰          | آسیب پذیری کم                          |
| ۱۷               | ۳۶۹۵          | ۱۶              | ۱۷۷۹          | ۱۸              | ۱۹۱۶          | آسیب پذیری متوسط                       |
| ۱                | ۲۵۱           | ۱               | ۱۲۴           | ۱               | ۱۲۷           | آسیب پذیری زیاد                        |
| ۰                | ۵             | ۰               | -             | ۰               | ۵             | آسیب پذیری خیلی زیاد                   |
| ۱۰۰              | ۲۲۴۵۴         | ۱۰۰             | ۱۱۴۴۹         | ۱۰۰             | ۱۱۰۰۵         | مجموع                                  |

جدول ۴: تعداد و درصد ساختمان های آسیب دیده در زلزله با شدت ۷ مرکالی

| کل منطقه ۹ تهران |               | ناحیه ۲ شهرداری |               | ناحیه ۱ شهرداری |               | آسیب پذیری با زلزله ۷ مرکالی اصلاح شده |
|------------------|---------------|-----------------|---------------|-----------------|---------------|--|
| درصد             | تعداد ساختمان | درصد            | تعداد ساختمان | درصد            | تعداد ساختمان |  |
| ۲۱               | ۴۶۰۶          | ۱۸              | ۲۱۱۵          | ۲۳              | ۲۴۹۱          | آسیب پذیری خیلی کم                     |
| ۱۰               | ۲۱۶۵          | ۹               | ۹۹۷           | ۱۱              | ۱۱۶۸          | آسیب پذیری کم                          |
| ۵۲               | ۱۱۷۲۸         | ۵۶              | ۶۴۳۰          | ۴۸              | ۵۲۹۸          | آسیب پذیری متوسط                       |
| ۱۶               | ۳۶۹۸          | ۱۶              | ۱۷۸۲          | ۱۷              | ۱۹۱۶          | آسیب پذیری زیاد                        |
| ۱                | ۲۵۷           | ۱               | ۱۲۵           | ۱               | ۱۳۲           | آسیب پذیری خیلی زیاد                   |
| ۱۰۰              | ۲۲۴۵۴         | ۱۰۰             | ۱۱۴۴۹         | ۱۰۰             | ۱۱۰۰۵         | مجموع                                  |



نگاره ۴: نقشه آسیب پذیری کلی منطقه ۹ تهران

فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (مهر)  
 ارزیابی آسیب پذیری ساختمان های شهری در برابر ... / ۱۷۵

استفاده شده است: براساس روابط زیر طول گسل برحسب  
 کیلومتر (L) و بزرگی زلزله برحسب ریشتر (M) مورد  
 محاسبه قرار گرفت.

رابطه (۳)  $a = 1320e^{0.58M/(R+25)} \wedge 1.52$   
 (Campbell, 1981)

رابطه (۴)  $M = \text{Log } L + 5.4$   
 (Mohajer and Nowroozi, 1987)

در روابط بالا (a) شتاب حداکثر زمین برحسب سانتی متر  
 بر مجذور ثانیه، (R) فاصله محل مورد نظر از گسل یا کانون  
 زلزله برحسب کیلومتر، (M) بزرگی زمین لرزه برحسب ریشتر.  
 شتاب حداکثر زمین که با استفاده از روابط فوق به  
 دست می آید، «شتاب افقی طرح» نامیده می شود و معمولاً  
 برحسب (g) بیان می شود (Mohajer and Nowroozi, 1987). نتایج  
 محاسبه نشان می دهد که شدت زلزله احتمالی در منطقه ۹  
 شهرداری تهران به طور متوسط برابر با ۸ ریشتر می باشد.

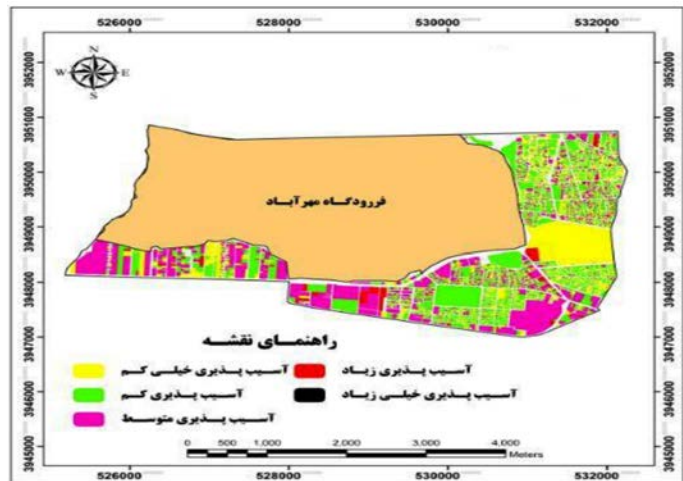
۴-۴- مبنای طراحی سناریوهای زلزله

طراحی سناریوهای زلزله در شدت های مختلف در منطقه  
 ۹ شهرداری تهران بر اساس توان لرزه خیزی گسل های استان  
 تهران تهیه گردیده است. گسل های خطرناک و زلزله خیز  
 در تهران و اطراف آن عبارتند از: گسل مشاء (طول: ۲۰۰  
 کیلومتر)، گسل شمال تهران (طول: ۹۰ کیلومتر) و گسل  
 جنوب ری (طول: ۲۰ کیلومتر) می باشد. نزدیک ترین گسل  
 زلزله خیز تهران به منطقه ۳ شهرداری تهران گسل شمال  
 تهران می باشد که در بخش شمالی شهر تهران قرار دارد  
 طول این گسل ۹۰ کیلومتر امتداد دارد بخش باختری آن  
 دور از شهر تهران است اما بخش خاوری آن در محدوده  
 شهر تهران قرار گرفته است که به عنوان کانون زلزله انتخاب  
 گردیده است. برای محاسبه بزرگی زلزله از روابط زیر

جدول ۵: تعداد و درصد ساختمان های آسیب دیده در زلزله ی با شدت ۸ مرکالی

| کل منطقه ۹ تهران |               | ناحیه ۲ شهرداری |               | ناحیه ۱ شهرداری |               | آسیب پذیری با زلزله ۸ مرکالی اصلاح شده |
|------------------|---------------|-----------------|---------------|-----------------|---------------|--|
| درصد             | تعداد ساختمان | درصد            | تعداد ساختمان | درصد            | تعداد ساختمان |  |
| ۷                | ۱۶۶۱          | ۸               | ۹۱۷           | ۷               | ۷۴۴           | آسیب پذیری خیلی کم                     |
| ۴                | ۹۲۷           | ۳               | ۳۸۵           | ۵               | ۵۴۲           | آسیب پذیری کم                          |
| ۱۰               | ۲۱۶۵          | ۹               | ۹۹۷           | ۱۱              | ۱۱۶۸          | آسیب پذیری متوسط                       |
| ۶۱               | ۱۳۷۴۹         | ۶۳              | ۷۲۴۶          | ۵۹              | ۶۵۰۳          | آسیب پذیری زیاد                        |
| ۱۸               | ۳۹۵۲          | ۱۷              | ۱۹۰۴          | ۱۸              | ۲۰۴۸          | آسیب پذیری خیلی زیاد                   |
| ۱۰۰              | ۲۲۴۵۴         | ۱۰۰             | ۱۱۴۴۹         | ۱۰۰             | ۱۱۰۰۵         | مجموع                                  |

نگاره ۵: آسیب وارده در زلزله ی با ۶ مرکالی

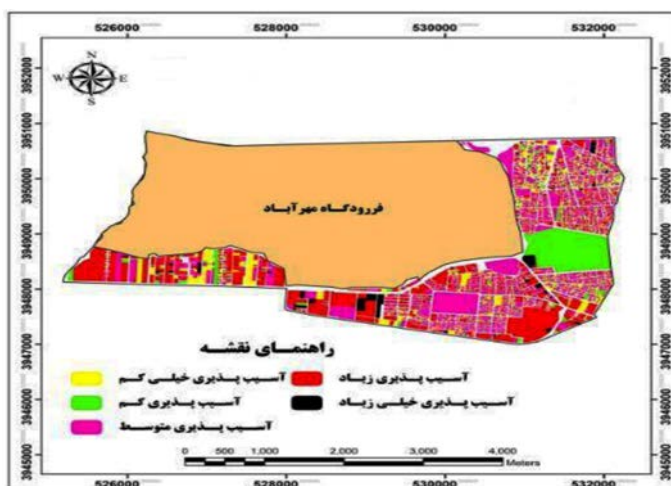


کم با ۵۳ درصد برای ناحیه ۱ و ۵۹ درصد برای ناحیه ۲، آسیب پذیری خیلی کم با ۲۸ و ۲۴ درصد، آسیب پذیری متوسط با ۱۸ و ۱۶ درصد، آسیب پذیری زیاد با مشترکاً ۱ درصد و آسیب پذیری خیلی زیاد به طور مشترک ۰ درصد برای ناحیه ۱ و ۲ می باشند. در مجموع از ۲۲۴۵۴ ساختمان موجود در منطقه در صورت بروز زلزله ۶ ریشتری ۵۸۴۸ ساختمان با آسیب پذیری خیلی کم (۲۶ درصد)، ۱۲۶۵۵ ساختمان با آسیب پذیری کم (۵۶ درصد)، ۳۶۹۵ ساختمان با آسیب پذیری متوسط (۱۷ درصد)، ۲۵۱ ساختمان با آسیب پذیری زیاد و ۵ ساختمان با آسیب پذیری خیلی زیاد مواجه خواهند شد.

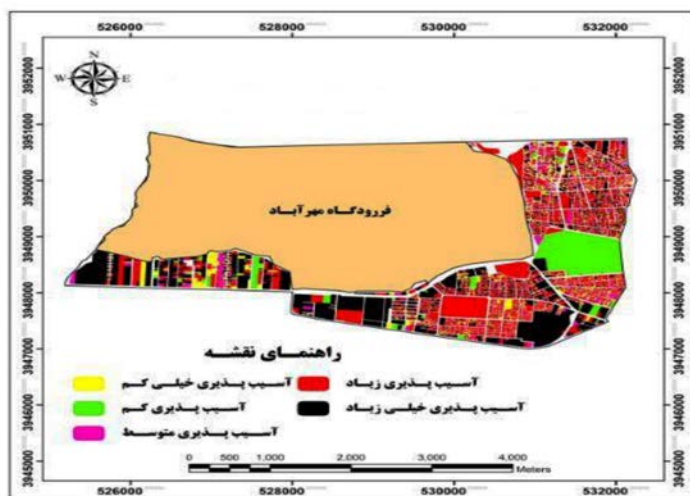
جدول (۴) توزیع فضایی ساختمان های آسیب دیده

بر اساس محاسبات انجام شده سناریوهای زلزله در منطقه ۹ شهرداری تهران در سه رنج ۶، ۷ و ۸ ریشتر طراحی شد. به این دلیل که محیط های شهری و روستایی معمولاً در زلزله های با شدت ۵ ریشتر آسیب نمی بینند. در این پژوهش ۶ مرکالی اصلاح شده مبنای طراحی سناریو قرار گرفته است. آخرین سناریو طراحی شده ۸ مرکالی اصلاح شده می باشد که نهایت شدت لرزه خیزی گسل های منطقه مورد مطالعه می باشد (نگاره های ۵، ۶ و ۷).

جدول (۳) توزیع تعداد و درصد ساختمان های آسیب دیده در سناریوی ۶ مرکالی اصلاح شده را در منطقه ۹ تهران نشان می دهد که حاکی از آن دارد که بیشترین تا کمترین آسیب پذیری به ترتیب مربوط به آسیب پذیری

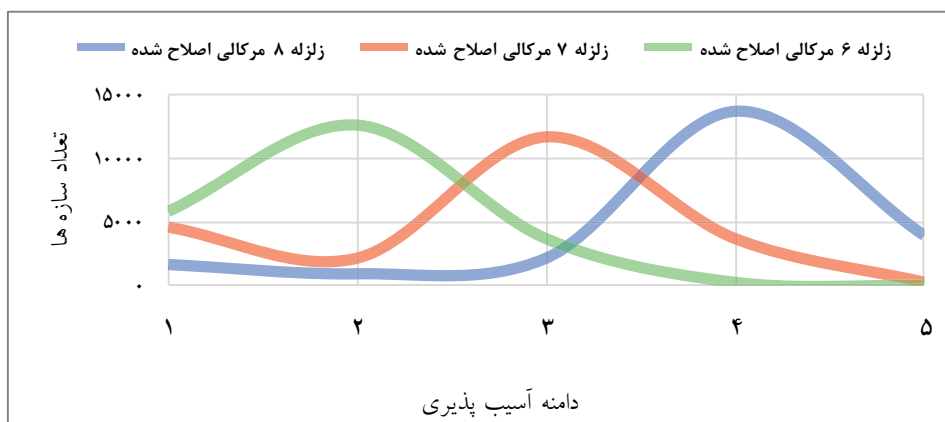


نگاره ۶: آسیب وارده در زلزله ی با ۷ مرکالی



نگاره ۷: آسیب وارده در زلزله ی با ۸ مرکالی

نگاره ۸: تعداد و درصد ساختمان های آسیب دیده در شدت های مختلف زلزله



آسیب پذیری متوسط و ۸ مرکالی در دامنه چهارم یعنی آسیب دیده ناحیه ۱ و ۲ در آسیب پذیری خیلی کم به ترتیب (۲۳ و ۱۸ درصد)، آسیب پذیری کم (۱۱ و ۹ درصد)، آسیب پذیری متوسط (۴۸ و ۵۶ درصد)، آسیب پذیری زیاد (۱۷ و ۱۶ درصد) و آسیب پذیری خیلی زیاد (۱ و ۱ درصد) می باشد. در مجموع در صورت بروز زلزله ۷ ریشتری ۲۱ درصد منطقه با آسیب پذیری خیلی کم، ۱۰ درصد با آسیب پذیری کم، ۵۲ درصد با آسیب پذیری متوسط، ۱۶ درصد با آسیب پذیری زیاد و ۱ درصد با آسیب پذیری خیلی زیاد مواجه خواهند شد.

#### ۵- جمع بندی و پیشنهادها

آنچه یک شهر پیش از وقوع زمین لرزه انجام می دهد، آنچه را پس از آن رخ می دهد، تعیین می کند؛ لذا میزان خسارات و تلفات ناشی از بلایای طبیعی به میزان آمادگی جامعه در برابر واقعه بستگی دارد. وضعیت نامناسب کالبد شهر، مانند شبکه معابر ناکارآمد، کمبود و توزیع نامناسب فضاهای باز، تراکم شهری بالا، ناسازگاری کاربری ها و ساختمان های فرسوده در افزایش آسیب پذیری و در نتیجه میزان خسارات ناشی از زمین لرزه ها و افزایش زمان بهبود شهر اثرگذار می باشد. لذا در پژوهش حاضر به منظور تعیین پتانسیل لرزه خیزی محدوده مورد مطالعه که جزء گام های اولیه و بسیار مهم در فرایند تعیین سطوح آسیب پذیری مناطق مختلف، در برابر زلزله می باشد، تهیه نقشه گسل های مهم منطقه، تهیه نقشه مراکز سطحی زلزله ها، تعیین شدت و بزرگی زلزله ها، تخمین ویژگی های زلزله هایی که احتمال دارد توسط گسل های مهم محدوده مورد مطالعه صورت پذیرد؛ در دستور کار قرار گرفت. بدین منظور برای ارزیابی آسیب پذیری خطر زلزله ده شاخص به عنوان عوامل مؤثر در

در زلزله ۷ مرکالی را نشان می دهد. تعداد ساختمان های آسیب دیده ناحیه ۱ و ۲ در آسیب پذیری خیلی کم به ترتیب (۲۳ و ۱۸ درصد)، آسیب پذیری کم (۱۱ و ۹ درصد)، آسیب پذیری متوسط (۴۸ و ۵۶ درصد)، آسیب پذیری زیاد (۱۷ و ۱۶ درصد) و آسیب پذیری خیلی زیاد (۱ و ۱ درصد) می باشد. در مجموع در صورت بروز زلزله ۷ ریشتری ۲۱ درصد منطقه با آسیب پذیری خیلی کم، ۱۰ درصد با آسیب پذیری کم، ۵۲ درصد با آسیب پذیری متوسط، ۱۶ درصد با آسیب پذیری زیاد و ۱ درصد با آسیب پذیری خیلی زیاد مواجه خواهند شد.

براساس جدول (۵) بیشترین ساختمان های آسیب دیده در زلزله ۸ مرکالی مربوط به آسیب پذیری زیاد با ۵۹ درصد برای ناحیه ۱ و ۶۳ درصد برای ناحیه ۲ می باشد. بعد از دامنه آسیب پذیری زیاد، به ترتیب آسیب پذیری خیلی زیاد در ناحیه ۱ و ۲ (۱۸ و ۱۷ درصد)، متوسط (۱۱ و ۹ درصد)، خیلی کم (۷ و ۸ درصد) و کم (۵ و ۳) برای ناحیه ۱ و ۲ می باشد. در مجموع از ۲۲۴۵۴ ساختمان موجود در منطقه، ۱۳۷۴۹ ساختمان که معادل با ۶۱ درصد ساختمان های منطقه می باشد در برابر زلزله با شدت ۸ مرکالی آسیب پذیر خواهند بود.

مقایسه سناریوهای زلزله در شدت های ۶، ۷ و ۸ مرکالی در نگاره (۸) حاکی از آن است که در شدت ۶ مرکالی بیشترین ساختمان های در دامنه آسیب پذیری دوم یعنی آسیب پذیری کم، در شدت ۷ مرکالی در دامنه سوم یعنی

عمر مفید بنا در ایران ۳۰ سال می باشد ۴۱ درصد ساختمان ها در برابر زلزله مقاوم و ۵۹ درصد ساختمان ها در برابر زلزله آسیب پذیر خواهند بود. ساختمان های منطقه ۹ تهران از لحاظ سازگاری کاربری ۷۷ درصد کاملاً سازگار، ۱۵ درصد نسبتاً سازگار، ۵ درصد بی تفاوت، ۱ درصد نسبتاً ناسازگار و ۲ درصد کاملاً ناسازگار است. در کل با توجه به این که ۹۲ درصد کاربری ها سازگاری دارند؛ منطقه ۹ از نظر سازگاری کاربری ها آسیب پذیر نیست. توزیع عرض معبر از بیشترین تا کمترین مربوط به ۱۲ تا ۲۰ متر ۷۴ درصد، ۸ تا ۱۲ متر ۱۷ درصد، ۴ تا ۸ متر ۵ درصد، کمتر از ۴ متر ۳ درصد و بیشتر از ۲۰ متر ۱ درصد می باشد. همچنین از لحاظ سازند زمین شناسی ۱۹ درصد منطقه ۹ شهرداری تهران دارای سازند رس و لای نسبتاً نرم فاقد سیمان شدگی، دارای منشاء آبرفتی می باشند به نظر کارشناسان این لایه از آسیب پذیری کمتری نسبت به جنس سازند لایه ضخیم و مقاوم رس، سلیت های رسی کهریزک که ۸۱ درصد منطقه را تشکیل می دهد دارند. در ادامه جهت ارزیابی میزان آسیب پذیری ساختمان های شهری، داده های حاصل از تحلیل مدل تحلیل شبکه ای (ANP)، فازی سازی شدند نهایتاً سناریوهای زلزله بر اساس توان لرزه خیزی گسل های تهران طراحی و بر رو نقشه آسیب پذیری کلی محدوده مورد مطالعه اعمال شد. نتایج پژوهش نشان می دهد که در زلزله با شدت ۶ مرکالی اصلاح شده، میزان آسیب پذیری ساختمان های شهری در دامنه های آسیب پذیری خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد به ترتیب ۲۶، ۵۶، ۱۷، ۱ و ۰ درصد می باشد تعداد ساختمان های آسیب دیده ناحیه ۱ و ۲ به ترتیب در دامنه آسیب پذیری خیلی کم (۲۸ و ۲۴ درصد)، آسیب پذیری کم (۵۳ و ۵۹ درصد)، آسیب پذیری متوسط (۱۸ و ۱۶ درصد)، آسیب پذیری زیاد (۱ و ۱ درصد) و آسیب پذیری خیلی زیاد (۰ درصد) می باشد. در زلزله ای با شدت ۷ مرکالی اصلاح شده میزان آسیب پذیری ساختمان های شهری در دامنه های آسیب پذیری خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد به ترتیب ۲۱، ۱۰، ۵۲، ۱۶ و ۱ درصد می باشد تعداد

آسیب پذیری ساختمان های شهری که بر مبنای شاخص های مطالعات پیشین انتخاب شده اند مورد بررسی قرار گرفت، شاخص های (نوع مصالح، نوع نما، تراکم ساختمانی، قدمت بنا، تعداد طبقات، مساحت همکف ساختمان ها، سازگاری کاربری های همجوار، فاصله از گسل، سازندهای زمین شناسی و عرض معابر) با استفاده از روش محاسباتی مدل تحلیل شبکه ای (ANP) که توسط کارشناسان خبره امتیازدهی شده بودند مورد تحلیل قرار گرفت وزن معیارها در لایه های مؤثر در آسیب پذیری اعمال شد در نهایت با تلفیق لایه ها در محیط GIS نقشه آسیب پذیری کلی منطقه استخراج گردید. نتایج این بخش از پژوهش در شاخص نوع مصالح ساختمانی نشان داد خشت و گل و چوب (۱۵ درصد)، آجر و سیمان (۱ درصد)، آجر و آهن (۶۶ درصد)، اسکلت بتنی (۱۵ درصد)، اسکلت فلزی (۳ درصد) از مصالح ساختمانی منطقه ۹ تهران را تشکیل می دهند. در شاخص نوع نما، خشت و گل (۲۷ درصد)، آجر و سیمان (۶۶ درصد)، سنگ (۳ درصد)، شیشه (۴ درصد) را تشکیل می دهند. لذا ۴ درصد ساختمان ها داری مصالح کاملاً نامقاوم، ۲۷ درصد نامقاوم، ۶۶ درصد مقاوم و ۳ درصد کاملاً مقاوم می باشد. از لحاظ شاخص تعداد طبقات ۶۳ درصد ساختمان ها آسیب پذیری خیلی کم، ۳۵ درصد آسیب پذیری کم و ۲ درصد آسیب پذیری زیاد دارند. نتایج شاخص مساحت همکف ساختمانی نشان می دهد که ۳۶ درصد ساختمان ها داری مساحت همکف خیلی نامناسب، ۱۵ درصد نامناسب، ۲۰ درصد مناسب و ۲۹ درصد کاملاً مناسب ساخته شده است. از لحاظ تراکم ساختمانی، ۱ درصد ساختمان ها از آسیب پذیری خیلی کم، ۸۴ درصد آسیب پذیری کم، ۱۴ درصد آسیب پذیری زیاد و ۱ درصد از آسیب پذیری خیلی زیاد دارند. این امر حاکی از آسیب پذیری کم ساختمان های منطقه ۹ تهران از نظر تراکم ساختمانی در برابر زلزله دارد. از لحاظ قدمت بنا قبل از سال ۱۳۵۰ (۳۸ درصد)، ۱۳۵۰ تا ۱۳۶۰ (۹ درصد)، ۱۳۶۰ تا ۱۳۷۰ (۱۲ درصد)، ۱۳۷۰ تا ۱۳۸۰ (۱۰ درصد) و بعد از سال ۱۳۸۰ (۳۱ درصد) تشکیل می دهند. با توجه به اینکه

- ایجاد مدیریت و سازماندهی لازم برای آمادگی، مقابله و اقدام مؤثر جهت کاهش خطرات ناشی از سوانح طبیعی و ایجاد فرماندهی واحد بحران تا پایان دوره بحران؛  
- مشارکت مردم در اقدامات و آمادگی و ایمن سازی در مقابله با سوانح طبیعی؛

- نقشه و طرح های تخلیه محلات و نواحی و مناطق شهری و محل اسکان موقت شهروندان هنگام بروز سانحه باید از پیش مشخص و امکانات لازم به آن ها اختصاص داده شود.

### منابع و مآخذ

۱- آئین نامه ۲۸۰۰ (۱۳۸۴)، طراحی ساختمان ها در برابر زلزله- آئین کار، مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، تجدیدنظر سوم.

۲- پورموسوی، شماعتی، احدنژاد، عشقی چهاربرج، خسروی؛ سیدموسی، علی، محسن، علی، سمیه، (۱۳۹۳)، ارزیابی آسیب پذیری ساختمان های شهر با مدل AHP Fuzzy و GIS (مطالعه موردی: منطقه ۳ شهرداری تهران)، جغرافیا و توسعه، شماره ۳۴، صص ۱۳۸-۱۲۱.

۳- پورموسوی، فیروزپور، دارانی؛ سیدموسی، آرمین، مسعود؛ ۱۳۹۱، نقش جامعه محلی در بهبود عملکرد نظام مدیریت بحران، فصلنامه دانش پیشگیری و مدیریت بحران، سال ۲، شماره ۱، صص ۴۲-۳۲.

۴- جعفری حاجتی، آق آتابای؛ فرشته، مریم؛ ۱۳۹۱، شناسایی مناطق مستعدخطر مرتبط با پس لرزه های زمین لرزه ای بزرگ (مطالعه موردی: زمین لرزه سیلاخور)، لرستان، مجله آمایش جغرافیایی فضا، سال ۲، شماره ۴، صص ۱۲۸-۱۱۳.

۵- حسینی، سلیمانی، عزیزپور، پرربار؛ سیده فاطمه، محمد، فرهاد، زهرا؛ ۱۳۹۳، کاربرد سیستم اطلاعات جغرافیایی در نقش پذیری نهادهای محلی جهت مدیریت بحران زلزله مناطق روستایی (شهرستان قیروکارزین)، فصلنامه اطلاعات جغرافیایی سپهر، دوره ۲۳، شماره ۸۹، صص ۵۳-۴۶.

۶- سایت شهرداری منطقه ۹ تهران (۱۳۹۵): <http://region9.tehran.ir/Default.aspx?tabid=75>

ساختمان های آسیب دیده ناحیه ۱ و ۲ به ترتیب در دامنه آسیب پذیری خیلی کم (۲۳ و ۱۸ درصد)، آسیب پذیری کم (۱۱ و ۹ درصد)، آسیب پذیری متوسط (۴۸ و ۵۶ درصد)، آسیب پذیری زیاد (۱۷ و ۱۶ درصد) و آسیب پذیری خیلی زیاد (۱ و ۱ درصد) می باشد. در زلزله با شدت ۸ مرکالی اصلاح شده، میزان آسیب پذیری ساختمان های شهری در دامنه های آسیب پذیری خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد به ترتیب ۷، ۴، ۱۰، ۶۱ و ۱۸ درصد می باشد بیشترین ساختمان های آسیب دیده در زلزله ۸ مرکالی مربوط به دامنه آسیب پذیری زیاد با ۵۹ درصد برای ناحیه ۱ و ۶۳ درصد برای ناحیه ۲ می باشد. بعد از دامنه آسیب پذیری زیاد تعداد ساختمان های آسیب دیده ناحیه ۱ و ۲ به ترتیب در دامنه آسیب پذیری خیلی زیاد (۱۸ و ۱۷ درصد)، متوسط (۱۱ و ۹ درصد)، خیلی کم (۷ و ۸ درصد) و کم (۵ و ۳ درصد) است. مقایسه سناریوی شدت های ۶، ۷ و ۸ مرکالی زلزله حاکی از آن است که در شدت ۶ مرکالی بیشترین ساختمان های در دامنه آسیب پذیری کم، در شدت ۷ مرکالی در دامنه آسیب پذیری متوسط و شدت ۸ مرکالی در دامنه آسیب پذیری زیاد قرار می گیرند. صعودی بودن نمودار در میزان آسیب پذیری ساختمان های شهری با افزایش شدت زلزله، حکایت از آسیب پذیری بالای منطقه دارد. در راستای یافته های پژوهش اجرای پیشنهاد های زیر می توانند در ارتقای ایمنی و کاهش خسارات ناشی از زلزله در منطقه ۹ شهرداری تهران مؤثر واقع شوند:

- ایجاد زمینه های لازم به منظور آموزش و افزایش آگاهی، گسترش فرهنگ ایمنی و آمادگی مسئولان و مردم در برابر سوانح طبیعی و حوادث غیر مترقبه به ویژه خطر زلزله؛

- گسترش و تقویت مطالعات علمی و تحقیقاتی همه جانبه و هماهنگ برای شناخت و کاهش خطرات ناشی از سوانح طبیعی و حوادث غیر مترقبه با اولویت خطر زلزله و ساماندهی و حمایت از مراکز علمی و تحقیقاتی؛

- پیشگیری و کاهش خطر پذیری ناشی از زلزله در جامعه و افزایش ضریب ایمنی در ساخت و سازهای جدید؛

فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (مهر)  
ارزیابی آسیب پذیری ساختمان های شهری در برابر ... / ۱۸۰

عمومی منتخب شهر تهران هنگام وقوع زلزله، امداد و نجات، سال ۳، شماره ۱ و ۲، صص ۹-۱.

۱۵- مطالعات الگوی توسعه منطقه ۹ (۱۳۸۴)، وزارت مسکن و شهرسازی، کارفرما: مرکز مطالعات و برنامه ریزی شهر تهران.

۱۶- منزوی، سلیمانی، تولایی، چاووشی؛ مهشید، محمد، سیمین، اسماعیل؛ (۱۳۸۹)، آسیب پذیری بافت های فرسوده بخش مرکزی شهر تهران در برابر زلزله (مورد: منطقه ۱۲)، پژوهش های جغرافیای انسانی، شماره ۷۳، صص ۱۸-۱.

۱۷- موحد، فیروزی، ایصافی؛ علی، محمدعلی، ایوب؛ (۱۳۹۱)، بررسی آسیب پذیری ساختمان های شهری در برابر زلزله با استفاده از مدل سلسله مراتبی معکوس (IHWP) در سیستم اطلاعات جغرافیایی (مطالعه موردی شهر مسجد سلیمان)، پژوهش و برنامه ریزی شهری، سال ۳، شماره ۱۱، صص ۱۳۶-۱۱۵.

18- Campbell, K. W. (1981), near source Attention of Peak Horizontal Acceleration, Bulletin, Seismological Society of America, 1981.

19- Dong, Laigen, Jie Shan. (2013), A comprehensive review of earthquake induced building damage detection with remote sensing techniques, ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing 84 (2013), PP 85-99, www.elsevier.com/locate/isprs.

20- Karimzadeh, Sadra, Masakatsu Miyajima, Reza Hassanzadeh, Reza Amiraslazadeh, Batoul Kamel. (2014), A GIS-based seismic hazard, building vulnerability and human loss assessment for the earthquake scenario in Tabriz. Soil Dynamics and Earthquake Engineering, Volume 66, November 2014, PP 263-280.

21- Lall, S.V. and U. Deichmann (2012), Density and Disasters, World Bank Research Observer, 27-74-105.

22- Matkan AA, Shakhiba A, Poor Ali S H, Nazmfar H. (2008), locating suitable sites for landfill using GIS (study area: the city of Tabriz), Journal of Environmental Sciences, 2008, (2), 121-132.

23- Ma, Xue, Ryuzo Ohno. (2012), Examination of Vulnerability of Various Residential Areas in China for Earthquake Disaster Mitigation, Procedia - Social and

۷- سعدآبادی، عظیمی؛ علی اصغر، محدثه؛ ۱۳۹۳، شناسایی اقدامات اساسی در مراحل مدیریت بحران به کمک روش فازی (مورد مطالعه: شناسایی اقدامات اساسی در مراحل مدیریت بحران زلزله)، فصلنامه مطالعات برنامه ریزی شهری، سال ۲، شماره ۶، صص ۵۴-۳۱.

۸- شهابی، قلی زاده، نیری؛ همین، محمدحسین، هادی؛ (۱۳۹۰)، پهنه بندی خطر زمین لرزه با روش تحلیل چند معیاری فضایی، جغرافیا و توسعه، شماره ۲۱، صص ۶۵-۸۰.

۹- صیامی، تقی نژاد، زاهدی کلاکی؛ قدیر، کاظم، علی؛ (۱۳۹۴)، آسیب شناسی لرزه ای پهنه های شهری با استفاده از تحلیل سلسله مراتبی معکوس (IHWP) و GIS (مطالعه موردی: شهر گرگان)، مطالعات برنامه ریزی شهری، سال ۳، شماره ۹، صص ۶۳-۴۳.

۱۰- فراهانی، عینالی، قاسمی؛ حسین، جمشید، حمید؛ ۱۳۹۳، نقش توسعه ظرفیتی در مدیریت کاهش خطر زلزله در مناطق روستایی (مطالعه موردی: شهرستان ابهر، دهستان سنبل آباد)، مسکن و محیط روستا، شماره ۱۴۵، صص ۷۴-۶۳.

۱۱- قائد رحمتی، قانع بافقی؛ صفدر، روح اله؛ (۱۳۹۱)، تحلیل تأثیر گسترش فضایی شهر تهران در افزایش آسیب پذیری ناشی از زلزله (دوره زمانی: گسترش فیزیکی ۲۰۰ سال اخیر)، تحقیقات جغرافیایی، سال ۲۷، شماره ۲، صص ۱۸۲۴۰-۱۸۲۱۸.

۱۲- قدیری، محمود (۱۳۹۵)، ارزیابی دیدگاه برنامه های پنج ساله توسعه کشور به کاهش آسیب پذیری در برابر زلزله، جغرافیا و توسعه، شماره ۴۲، صص ۶۲-۴۵.

۱۳- کریمی کردآبادی، نجفی؛ مرتضی، اسماعیل؛ ۱۳۹۴، ارزیابی خطر زلزله با استفاده مدل ترکیبی FUZZY-AHP در امنیت شهری (مطالعه موردی: منطقه یک کلانشهر تهران)، پژوهش و برنامه ریزی شهری، سال ۶، شماره ۲۰، صص ۳۴-۱۷.

۱۴- محمدی یگانه، اسدی لاری، سیدین، ماهر؛ شاهین، محسن، سیدحسام، علی؛ ۱۳۹۰، سنجش میزان عملکرد کمی و کیفی تجهیزات و آسیب پذیری غیرسازه ای بیمارستان های



- 34- Soltani, S.R., Mahiny, A.S., Monavari, S.M. (2011), Urban land use management, based on GIS and multicriteria assessment (Case study: Tehran Province, Iran), proceeded In International Conference on Multimedia Technology (ICMT), Hangzhou, CHINA, 26-28 july, DOI: 10.1109/ICMT.2011.6001730, Pp: 6644 – 6647.
- 35- Statistical Yearbook for Asia and the Pacific. (2015), [www.unescap.org/stat/data/](http://www.unescap.org/stat/data/).
- 36- Tangri. R., Jena. S., Roy. S., 2008, The Future of Earthquake Disaster Management Use GIS and Probabilistic Risk Assessment to Enhance Preparedness; Geospatial world GIS Analysis, p30.
- 37- UNDRO, (1976), Guidelines for Disaster Prevention, Vol 1, pre-disaster physical planning of human settlements.
- Behavioral Sciences, Volume 35, 2012, PP 369-377.
- 24- Milutinoric Zoran. V, Trena filloski Goran. S (2003), An Advanced Approach to Earthquake Risk-Scenarios With Applications to Diffevent European Tows. RISK-UE- Evk4-CT-2000- 00014.
- 25- Min Xu, C., Hao Zhang, J., Kaneyuki N., Qisheng He, J., Chaoyi Chang, Y., and Mengxu Gao, X. (2010), Change Detection of an Earthquake Induced Barrier Lake Based on Remote Sensing Image Classification, International Journal of Remote Sensing.31(13), PP3521-3534.
- 26- Mohajer Ashjai, A., & Nowroozi, A. A. (1978), observed and probable intensity zoning of Iran Tectonophysics, Vol.49, PP.249-260. 1978.
- 27- Nath, S. K., Adhikari, M. D., Maiti, S. K., Devaraj, N., Srivastava, N., and Mohapatra, L. D. (2014), Earthquake scenario in West Bengal with emphasis on seismic hazard microzonation of the city of Kolkata, India, Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 14, 2549-2575.
- 28- Nazmfar, H. (2017). Urban development predictions direction of using a combination GIS and Bayesian the probabilistic model (case study: Ardabil), Human Geography Research Quarterly, 49, 357-370.
- 29- Nazmfar, H. & Jafarzadeh, J. Classification of Satellite Images in Assessing Urban Land Use Change Using Scale Optimization in Object-Oriented Processes (A Case Study: Ardabil City, Iran)J Indian Soc Remote Sens (2018) 46: 1983. <https://doi.org/10.1007/s12524-018-0850-7>.
- 30- Patterson, O., Weil, F., & Patel, K. (2010). The Role of Community in Disaster Response: Conceptual Models. Population Research and Policy Review, 29(2), pp127-141.
- 31- Rashed T, WEEKS John (2003). Assesssing vulnerability to Earthquake hazards thorough spatial Multi criteria analysis of urban arras, Geographical information Science, Voll 7.
- 32- S. Rout, R.P. Nanda and K.C. Panda. (2015), Asian journal of civil engineering (bhrc) vol. 16, no. 6 (2015) PP 909-918.
- 33- Shelter Centre (2010). Shelter after disaster: Strategies for transitional settlement and reconstruction. Geneva: Shelter Centre.

