

چکیده

وقوع زلزله‌های شدید همواره اثرات زیان‌بار و جبران‌ناپذیری را خصوصاً در شهرهای بزرگ و پرجمعیت از جنبه‌های فیزیکی، اجتماعی و اقتصادی به همراه دارد. از طرفی با توجه به محدودیت‌های مالی و اجرایی، امکان کاهش ریسک و کنترل پیامدهای زلزله در همه جهات معمولاً فراهم نیست. بنابراین می‌بایست مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار در ریسک زلزله شناسایی شده و با در نظر گرفتن نحوه مشارکت و میزان اهمیت هر یک در افزایش یا کاهش ریسک، تدابیر لازم جهت مدیریت بحران اتخاذ گردد. در تحقیق حاضر، برای مکان‌یابی پایگاه‌های امداد و نجات در بافت‌های شهری، مدلی جدید مبتنی بر ترکیب مؤلفه‌های خطر، آسیب‌پذیری و وضعیت ظرفیت‌های موجود ارائه شده است. به این منظور شاخصی با عنوان شاخص تجمیعی ایمنی در برابر زلزله^۱ (IESI) معرفی شده که از ترکیب وزنی مؤلفه‌های مرتبط حاصل می‌شود. در این روش، مؤلفه خطر از پارامترهای خطر زلزله و مخاطرات ثانویه و مؤلفه آسیب‌پذیری از پارامترهای آسیب‌پذیری فیزیکی و انسانی تشکیل شده است که هر دوی این مؤلفه‌ها اثر کاهنده بر ایمنی دارند. همچنین مؤلفه وضعیت ظرفیت‌های موجود که اثری افزایش‌دهنده بر میزان ایمنی دارد بر اساس سه پارامتر فضاهای خدماتی، میزان آمادگی و توان برنامه‌ریزی و مدیریت شهری مورد سنجش قرار می‌گیرد. در نهایت شاخص ارائه شده برای برآورد ایمنی در برابر زلزله از ترکیب شاخص‌های خطر، آسیب‌پذیری و وضعیت ظرفیت‌های موجود برای پهنه‌های آماری هر منطقه شهری محاسبه می‌شود و مکان‌یابی پایگاه‌های جستجو و نجات به کمک این شاخص انجام می‌پذیرد. در ضمن، مؤلفه‌هایی که امکان تغییر در کوتاه مدت برای آنها وجود داشته، بهبود داده شده‌اند و شاخص ایمنی در برابر زلزله مجدداً محاسبه و مکان‌یابی پایگاه‌ها انجام گرفته است.

واژگان کلیدی: تهران، پایگاه‌های جستجو و نجات، آسیب‌پذیری، زلزله، مدیریت بحران.

ارائه مدلی به منظور بهبود ایمنی بافت‌های شهری در برابر زلزله با توسعه پایگاه‌های جستجو، نجات و امداد

ربابه رباط میلی

دانش‌آموخته کارشناسی ارشد مهندسی زلزله گرایش خطرپذیری،
پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله

کامبد امینی حسینی (نویسنده مسئول)

دانشیار و رئیس پژوهشکده مدیریت خطرپذیری و بحران، پژوهشگاه
بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله
kamini@iiees.ac.ir

یاسمین استوار ایزدخواه

دانشیار پژوهشکده مدیریت خطرپذیری و بحران، پژوهشگاه بین‌المللی
زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله

۱- مقدمه

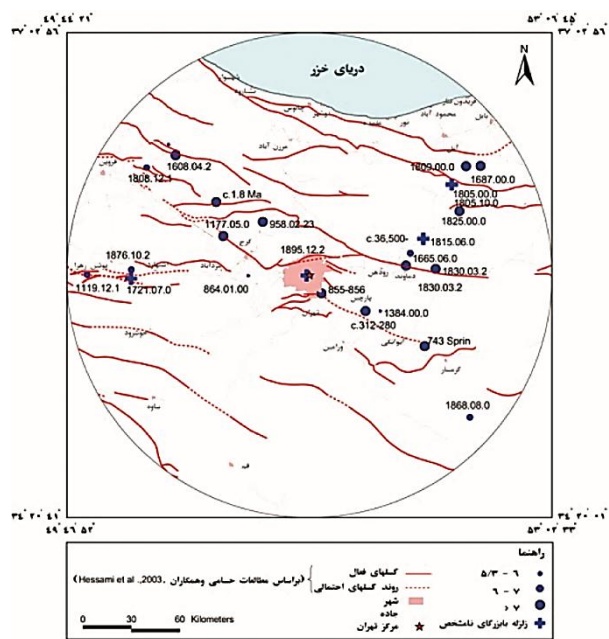
از مخاطرات طبیعی که بسیاری از نقاط دنیا از جمله کشور ما را تهدید می‌کند، زلزله است. انسان در طول تاریخ همواره با زلزله به‌عنوان یک تهدید طبیعی روبرو بوده است و زیان‌های اجتماعی و اقتصادی فراوانی را از آن متحمل شده است. شهر تهران نیز در یک منطقه لرزه‌خیز با خطر نسبی بالا قرار دارد. این شهر توسط گسل‌های فعال متعدد احاطه شده (شکل ۱) و در گذشته زلزله‌های

مدیریت و برنامه‌ریزی شهری ابزار مناسبی جهت پاسخگویی به چالش‌های جامعه شهری به‌خصوص پیشگیری از وقوع بحران به حساب می‌آید. در واقع، معضلات شهرهای امروز تنها در مسائل اجتماعی، اقتصادی، سیاسی و فرهنگی خلاصه نشده و توجه به عوامل طبیعی که سازنده فرم و بستر شهرها می‌باشند نیز در افزایش یا کاهش معضلات شهری تأثیر بسزایی دارند. یکی

آمادگی برای مواجهه با چنین رویدادی باید با توجه به محدودیت‌های مالی، اعتباری و عملیاتی و با استفاده از روش‌ها و ابزارهای موجود و تجارب موفق سایر کشورها انجام گیرد. افزایش ایمنی، امنیت، کاهش تلفات جانی و خسارات مالی از اهداف و اقدامات بسیار مهم در این خصوص می‌باشند که بهتر است متناسب با ارزیابی آسیب‌پذیری مستحقات در بافت‌های شهری و برآورد میزان خسارات مالی و جانی از جمله مصدومیت‌های سطحی تا شدید و نیز میزان مرگ‌ومیر در بخش‌های مختلف شهر تنظیم و اجرایی شوند. برنامه‌ریزان و مدیران شهری باید در شرایط فعلی که فاز پیش از بحران است، راهکارهایی بهینه را برای تخلیه اضطراری، نجات و امداد رسانی در مناطق شهری تهران ارائه نمایند تا بتوان ضمن اولویت بندی اقدامات مورد نیاز با محوریت حفظ جان انسان‌ها و بعد حفظ منابع اقتصادی، از خسارات و تلفات ناشی از بحران‌ها جلوگیری نمود. شناخت شهر، شناسایی مناطق با آسیب‌پذیری بالا و ثبت این اطلاعات روی نقشه‌های مورد استفاده در ستاد مدیریت بحران از مهم‌ترین بخش‌های توسعه طرح‌های امداد و نجات در مناطق شهری در فاز پیش از وقوع زلزله می‌باشند که باید متناسب با شرایط کالبدی، اجتماعی و اقتصادی بافت‌های شهری مطالعه و اجرایی گردند [۳-۴].

تاکنون مطالعات زیادی برای مکان‌یابی پایگاه‌های جستجو و نجات و کاهش خطرپذیری تهران توسط محققین و نهادهای مسئول انجام پذیرفته است. هرچند این مطالعات نتایج خوب و قابل استفاده‌ای در زمینه شناخت پارامترهای مؤثر در مکان‌یابی پایگاه‌ها و آگاهی بخشی به مدیران و نهادهای ذی‌ربط در پی داشته، لکن همواره نواقصی از قبیل فقدان جامعیت در به کارگیری شاخص‌ها، فقدان ارائه روش برای ارزیابی کمی شاخص‌ها و یا چشم‌پوشی از پارامتر زلزله را به همراه داشته‌اند. در این مقاله، یک مدل جدید برای مکان‌یابی پایگاه‌های جستجو و نجات با استفاده از شاخص‌های مرتبط با خطر، آسیب‌پذیری و ظرفیت‌های موجود و ترکیب آنها ارائه گردیده است. در مدل

مخرب زیادی را تجربه نموده است. مطابق پیش‌بینی‌های کارشناسان احتمال وقوع یک زلزله بسیار شدید در این شهر در آینده نزدیک وجود دارد [۱]. علاوه بر خطر زلزله، آسیب‌پذیری زیاد این شهر در جنبه‌های مختلف فیزیکی، اجتماعی و اقتصادی نگرانی‌ها را در مورد عواقب زلزله بیشتر کرده است. به عنوان نمونه، وجود ساختمان‌های آسیب‌پذیر در بافت‌های فرسوده و حتی جدید شهر، غیرمقاوم بودن بخش زیادی از شبکه شریان‌های حیاتی، عدم کفایت زیرساخت‌های لازم برای واکنش اضطراری و دیگر موارد از این قبیل هر کدام به تنهایی می‌تواند در هنگام وقوع زلزله باعث بروز تلفات و خسارات جبران‌ناپذیری شود [۲].



شکل (۱): موقعیت گسل‌های فعال و محل وقوع زلزله‌های تاریخی در شعاع ۱۵۰ کیلومتری اطراف شهر تهران [۱].

بدین ترتیب، مواجهه با تعداد زیاد مصدومان در زمان رخداد زلزله در شهر تهران وضعیتی قابل انتظار می‌باشد و لذا می‌بایست برای ارائه خدمات لازم و به موقع به مصدومان احتمالی، قبل از رخداد زلزله و در کوتاه مدت برنامه‌ریزی و اقدامات اضطراری لازم انجام شود. البته تدوین برنامه‌های پیشگیری و نیز ارتقای

از GIS و دسته‌بندی ریسک به دو دسته ریسک‌های دوره‌ای و ریسک‌های نادر به مکان‌یابی ایستگاه‌های آتش‌نشانی پرداختند. آنها با در نظرگیری فاکتورهای همچون هزینه‌های تأسیس ایستگاه با هدف جانمایی ایستگاه و سطح پاسخ‌دهی ایستگاه‌های موجود یک مدل ریاضی تهیه کردند. آندرسون و سارکویست [۸] با در نظر گرفتن سه شاخص: (۱) حداقل کردن زمان میانگین رسیدن به محل حادثه، (۲) حداقل کردن زمان دسترسی برای نواحی که به هم مرتبط هستند، و (۳) مکان‌یابی با حداکثر پوشش‌دهی؛ انواع راه‌حل‌های بهینه را با هدف کاهش زمان رسیدن به محل حادثه به دست آوردند. سن و همکاران [۹] نیز به کمک GIS و در نظر گرفتن پارامترهایی از جمله جنس خاک، توزیع جاده‌های اصلی و شریانی، خیابان‌های فرعی، راه‌آهن، ساختمان‌های صنعتی و مسکونی، بیمارستان‌ها، فروشگاه‌های بزرگ، ایستگاه‌های آتش‌نشانی، ساختمان‌های آموزشی و فرهنگی روشی برای انتخاب مکان ایستگاه‌های آتش‌نشانی پیشنهاد دادند.

با عنایت به لزوم استقرار ایستگاه‌های آتش‌نشانی به صورت منطقی در سطح شهرها و نیاز به برنامه‌ریزی برای تعیین توزیع مناسب این ایستگاه‌ها و توسعه آنها بر اساس گسترش شهرها، مجموعه اصول و ضوابط مکان‌یابی جهت سازمان‌دهی چگونگی توزیع ایستگاه‌های آتش‌نشانی در شهرهای کشور در قالب «آئین کار ضوابط مکان‌یابی ایستگاه‌های آتش‌نشانی شهری» تدوین گردیده است. این آیین‌نامه مبتنی بر نظام تقسیم‌بندی سلسله مراتب خدمات شهری در سطح شهر، منطقه، ناحیه و محله بوده و اساس آن بر تعادل‌بخشی استقرار ایستگاه‌های آتش‌نشانی می‌باشد تا بدین وسیله موجبات کارایی بیشتر سیستم با هزینه اجرایی کمتر و مهار کامل آتش در کوتاه‌ترین زمان ممکن فراهم شود [۱۰]. همچنین مرکز مطالعات و برنامه‌ریزی شهر تهران در تیر ماه سال ۱۳۷۸ با تهیه گزارشی شامل دو بخش که بخش اول «شناخت وضع موجود خدمات ایمنی و آتش‌نشانی» و بخش دوم «استانداردها و مباحث تئوریک» می‌باشد، به بررسی

ارائه‌شده، این مقادیر مطلق و مؤلفه‌های مرتبط در پهنه‌های آماری محدوده مورد مطالعه محاسبه می‌شود. بدین منظور، در ابتدا داده‌های مرتبط با هر مؤلفه جمع‌آوری می‌شود و سپس با توجه به مدل ارائه‌شده مقادیر مؤلفه‌های مدل برای هر یک از پهنه‌های آماری محاسبه می‌شوند. مقادیر این کمیت‌ها بین پهنه‌های آماری یک منطقه به‌طور نسبی و مقایسه‌ای ارزیابی می‌شوند. با استفاده از این مدل می‌توان پهنه‌های آماری مورد مطالعه را در زمینه هر یک از مؤلفه‌ها و شاخص‌ها با توجه به مقادیر نسبی آن مؤلفه رتبه‌بندی و بر اساس آن اولویت‌های ایجاد پایگاه‌های جستجو و نجات را شناسایی نمود. این نتایج به کارشناسان، مدیران و مسئولان کمک می‌کند تا با توجه به محدودیت امکانات و اعتبارات در مورد فعالیت‌ها و اقدامات لازم برای کاهش ریسک زلزله در شهر تصمیم‌گیری نمایند.

۲- مرور ادبیات فنی

در زمینه مکان‌یابی پایگاه‌های امداد و نجات و نیز اقدامات مردم محور در این رابطه مطالعات مختلفی تاکنون انجام شده است [۵]. این پایگاه‌ها در کشورهای مختلف دامنه وسیعی از مراکز آتش‌نشانی، هلال احمر (صلیب سرخ)، دفاع غیرنظامی و حتی مراکز پلیس و پایگاه‌های نظامی را در برمی‌گیرند. از میان پایگاه‌های فعال در جستجو و نجات در شهرها، شاید مراکز آتش‌نشانی با توجه به توزیع و ظرفیت آنها یکی از مهم‌ترین نهادهای مرتبط محسوب شوند. البته کمیّت و کیفیت توزیع ایستگاه‌های آتش‌نشانی نقش مهمی در عملکرد آنها در زمان بحران ناشی از رخداد سوانح طبیعی خواهد داشت. این موضوع توسط محققین متعددی مورد مطالعه قرار داده شده است و استانداردهای مختلفی نیز در این رابطه توسط مراجع ذی‌صلاح در کشورهای مختلف نظیر آژانس ملی حفاظت در برابر آتش آمریکا^۲ (NFPA)، کمیسیون بین‌المللی اعتباربخشی آتش^۳ (CFAI) و همچنین اداره ایمنی و بهداشت حرفه‌ای^۴ (OSHA) ارائه شده است [۶]. چوالیر و همکاران [۷] در بلژیک با استفاده

وضعیت ایستگاه‌های آتش‌نشانی شهر تهران پرداخته است [۱۱]. از جمله دیگر تحقیقات انجام شده در این راستا، می‌توان به مطالعات نظریان و ببرز [۱۲]، زیاری و یزدان پناه [۱۳]، نوروزی و شریعتی [۱۴]، و قنبری و زلفی [۱۵] اشاره نمود که هر یک به جنبه‌هایی از موضوع مکان‌یابی پایگاه‌های آتش‌نشانی در مناطق شهری و حومه آن با توجه به معیارهایی از جمله شعاع پوششی، جمعیت و تراکم آن، وضعیت دسترسی‌ها و کاربری اراضی (همسایگی‌ها)، عوارض نقطه‌ای (مساجد، پمپ‌های گاز و بنزین و...)، عوارض پهنه‌ای (مراکز مسکونی، آموزشی، درمانی و...) و عوارض خطی (شبکه عبور و مرور...) پرداخته‌اند.

به جز مطالعات مرتبط با پایگاه‌های آتش‌نشانی، در خصوص سایر نهادهای مرتبط با فرایند جستجو و نجات در زمان بحران نیز مطالعات مختلفی انجام شده است که خلاصه‌ای از آنها در مرجع [۵] ارائه شده است. عمده این مطالعات مرتبط با ظرفیت‌ها و امکانات نهادهایی نظیر هلال‌احمر و سازمان پیشگیری و مدیریت بحران شهر تهران برای مواجهه با اثرات زلزله احتمالی در تهران می‌باشد. در تمامی این مطالعات نشان داده شده که ظرفیت‌های موجود یا قابل بسیج نمودن در زمان بحران بسیار کمتر از نیازهای واقعی شهر خواهد بود. در همین رابطه، پژوهش‌هایی در زمینه مکان‌یابی پایگاه‌های امداد و نجات هلال‌احمر توسط گواهی و همکاران [۱۶] و گنجه‌ای و همکاران [۱۷] انجام شده است. در این مطالعات وضعیت توزیع پایگاه‌های امداد و نجات جمعیت هلال‌احمر برحسب شاخص‌های مکان‌یابی شامل تابع هدف و محدودیت‌های پوشش، پارامترهای خطر و آسیب‌پذیری در سکونتگاه‌ها و امکانات و ظرفیت‌های موجود با استفاده از مدل تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) و قابلیت‌های GIS بررسی شده است.

بر اساس نتایج مطالعات انجام شده، ظرفیت‌های دستگاه‌های رسمی متولی جستجو و نجات در کشور برای پاسخگویی به نیازهای جوامع شهری در زمان بحران ناشی از رخداد یک زلزله شدید کافی نیست و می‌بایست از ظرفیت مردم و نهادهای

اجتماع‌محور در این خصوص استفاده نمود. تجربه زمین‌لرزه‌های مهم به وقوع پیوسته در یک یا دو دهه اخیر نظیر زمین‌لرزه نورث‌ریج آمریکا در سال ۱۹۹۴ و زمین‌لرزه کوبه ژاپن در سال ۱۹۹۵ نیز نشان می‌دهد که با توجه به حجم عظیم خسارات و ویرانی‌های به بار آمده در این رویدادها، دولت مرکزی به تنهایی قادر به انجام عملیات نجات و امدادسانی به تمامی آسیب‌دیدگان نبوده است. بر طبق مطالعات صورت گرفته در دانشگاه کوبه، پس از زلزله ۱۹۹۵ کوبه، حدود ۲۰ هزار نفر از زیر آوار زنده بیرون آورده شدند که از این تعداد حدود ۱۵ هزار نفر توسط مردم و همسایگان و تنها ۵ هزار نفر توسط نیروهای امدادی نجات یافتند [۱۸].

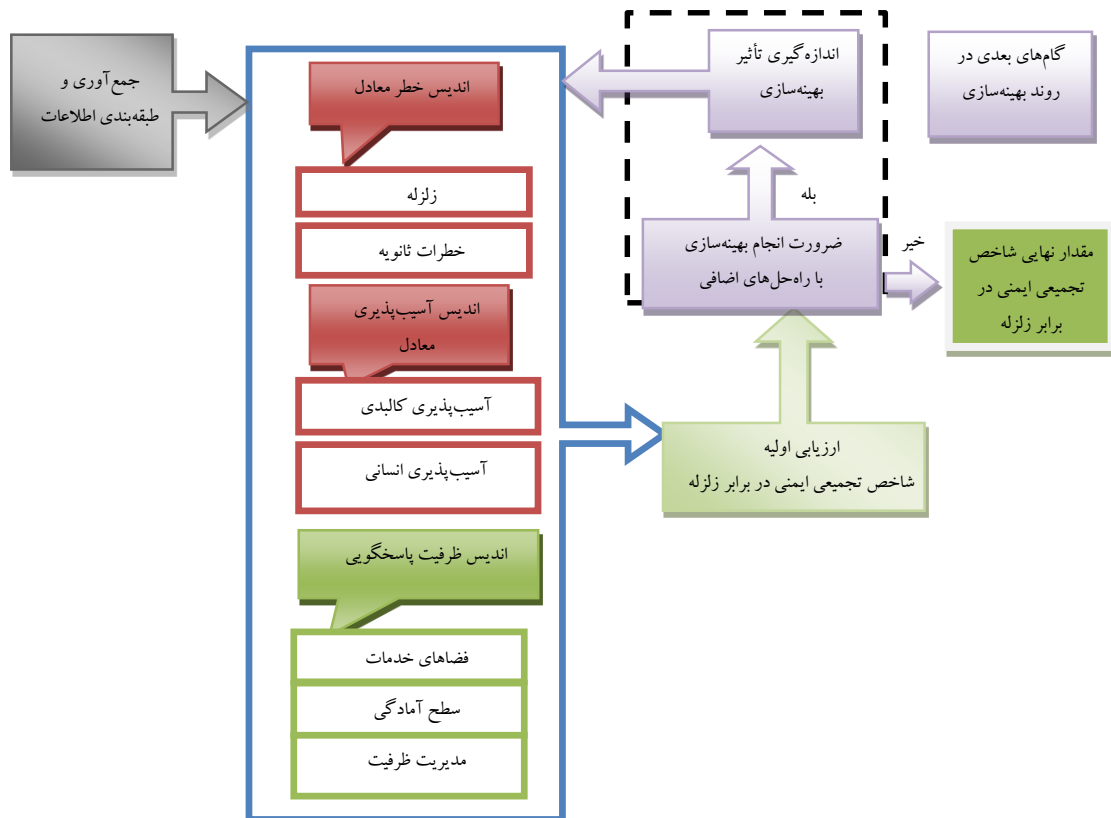
در همین زمینه تجارب کشورهای مختلف در رابطه با چگونگی سازمان‌دهی گروه‌های مردمی برای مشارکت در فرایند جستجو و نجات مورد ارزیابی قرار گرفت. یکی از تجارب موفق در این زمینه مربوط به کشور نپال می‌باشد که توسط انجمن ملی فناوری زلزله^۵ (NSET) در شهر کاتماندو پیاده‌سازی شده است. در این طرح که با مشارکت سازمان‌های بین‌المللی به انجام رسید، اقدامات مختلفی در جهت توانمندسازی ساکنین و سازمان‌های محله‌ای برای آمادگی و مقابله با بحران در این شهر به اجرا گذاشته شده است. در این طرح علاوه بر تأمین امکانات مورد نیاز برای جستجو و نجات در سطح محلی، آموزش‌های لازم نیز به داوطلبان ساکن در محله‌های شهری کاتماندو ارائه شده است. نتایج این آموزش‌ها در انجام اقدامات مردمی در فرایند جستجو و نجات در زلزله اخیر این شهر (۲۰۱۵) بسیار چشمگیر بوده است [۵]. همچنین در سال ۱۹۹۵ آژانس فدرال مدیریت بحران^۶ در آمریکا (FEMA) برای کاهش اثرات سوانح پروژه‌ای تحت عنوان «برنامه ایجاد جوامع محله‌ای مقاوم در برابر سوانح» و یا به اختصار «پروژه تأثیر^۷ (Impact) را اجرایی نمود. اهداف اصلی این پروژه عبارت بودند از ایجاد ساختارهای مشترک محله‌ای، شناسایی خطرات و آسیب‌پذیری در سطوح محله‌ای، اولویت‌بندی و انجام اقدامات

توسط روش پیشنهادی نشان داده شده است. برای انجام تحلیل فوق، ابتدا خطرات مرتبط با زلزله از قبیل جنبش زمین، روانگرایی، گسلش سطحی، زمین لغزش، فرونشست و خطرات ثانویه نظیر آتش سوزی و نشت مواد خطرناک بررسی شده و مقادیر پارامترهای آنها برآورد می‌شوند. با استفاده از نتایج این مرحله «فاکتور خطر معادل» که معرف ترکیب خاصی از پارامترهای خطر زلزله می‌باشد، محاسبه می‌شوند. در مرحله بعد، آسیب پذیری المان‌های مختلف شهری نظیر ساختمان‌ها، راه‌ها، شریان‌های حیاتی و همین‌طور آسیب‌پذیری مناطق شهری در جنبه‌های انسانی بررسی شده و شاخص‌های مربوط به آنها ارزیابی می‌گردند و «شاخص آسیب‌پذیری معادل» محاسبه می‌شود. سپس مؤلفه‌های دخیل در کاهش بحران و افزایش توان واکنش اضطراری نیز در چارچوب شاخص ظرفیت‌های موجود مورد ارزیابی قرار می‌گیرند. در نهایت با ترکیب شاخص‌های به‌دست آمده برای خطر، آسیب‌پذیری و ظرفیت‌های موجود،

کاهش سطح خطرپذیری در سطح محلات و توسعه راهبردهای مشارکتی که به عموم مردم در جهت کاهش خسارات سوانح آموزش داده می‌شد [۱۹]. در همین راستا فعالیت‌های دیگری نیز در کشورهای نظیر اندونزی [۲۰] و استرالیا [۲۱] در راستای ظرفیت‌سازی در سطوح محلی جهت ارتقای مشارکت مردم در امر جستجو و نجات انجام شده است.

۳- معرفی مدل مکان‌یابی پایگاه‌های جستجو و نجات

در تحقیق حاضر، یک مدل جدید برای مکان‌یابی پایگاه‌های جستجو و نجات با استفاده از شاخص‌های مرتبط با خطر، آسیب‌پذیری و ظرفیت‌های موجود و ترکیب وزنی آنها ارائه شده است. در این مدل، مقادیر مؤلفه‌های مربوط به خطر، آسیب‌پذیری و ظرفیت‌های موجود در پهنه‌های آماری منطقه مورد بررسی، بر اساس اطلاعات موجود محاسبه می‌شود. در شکل (۲)، نمودار عملیاتی روند ارزیابی ایمنی در برابر زلزله



شکل (۲): نمودار عملیاتی روند ارزیابی ایمنی در برابر زلزله در محیط‌های شهری در تحقیق حاضر.

در این مطالعه بررسی شده است. جدول (۱)، مؤلفه‌های شاخص خطر و ضرایب وزنی مرتبط با آنها را نشان می‌دهد. تعیین ضرایب وزنی در مدل بر اساس نظر کارشناسان و صاحب نظران و با استفاده از روش سلسله مراتبی AHP [۲۳] صورت پذیرفته است. مخاطرات گسلش سطحی، فرونشست زمین و روانگرایی با توجه به شباهت زیاد آنها در اثرگذاری بر روی المان‌های شهری، در یک گروه مجزا با عنوان فاکتور مخاطرات زمین شناختی معرفی شده‌اند.

جدول (۱): مؤلفه‌های شاخص خطر.

ضرایب وزنی (w)	مؤلفه‌ها		شاخص مدل
W= 0.75	جنبش شدید زمین (PGA)	زلزله W= 0.8	خطر
W= 0.25	مخاطرات زمین شناختی ناشی از زلزله		
W= 0.65	آتش سوزی	مخاطرات	
W=0.35	تأسیسات خطرناک و قابل انفجار	ثانویه W= 0.2	

W= Weight

همچنین در تحقیق حاضر آتش سوزی به‌طور جداگانه به عنوان یک فاکتور خطر جدید تعریف شده است. با این توضیح که تخریب ساختمان باعث آسیب دیدگی تأسیسات آتش‌زا مانند تأسیسات مربوط به گاز و برق می‌شود که مهم‌ترین عامل در ایجاد آتش سوزی در ساختمان‌ها می‌باشند. جدای از خرابی ساختمان‌ها و آتش سوزی ناشی از آن، خطر آتش سوزی در سطح شهر (به عنوان مخاطرات ثانویه)، در چارچوب یک فاکتور خطر جداگانه با عنوان تأسیسات خطرناک و قابل انفجار معرفی شده است. بروز آتش سوزی لزوماً از میزان خرابی و یا شدت زلزله تبعیت نکرده و تابع پارامترهای دیگری مانند تعداد و توزیع مراکز خطرناک و مستعد برای آتش سوزی (پمپ گاز، بنزین و...) نیز می‌باشد. لذا مناسب‌تر این است که ارزیابی مستقلی برای برآورد این خطر صورت پذیرد.

شاخص ایمنی در برابر زلزله به صورت نسبی در پهنه‌های آماری یک منطقه برآورد می‌شود. حال می‌توان با توجه به محدودیت‌های مالی و اجرایی و در نظر گرفتن اولویت‌ها، تصمیمات و اقدامات لازم را برای کاهش خسارات زلزله اتخاذ نمود. با لحاظ نمودن شرایط جدید (ایجاد پایگاه‌های جستجو و نجات، بیمارستان‌ها و سایر اقدامات لازم برای کاهش خسارات پیش از زلزله) مجدداً شاخص ایمنی در برابر زلزله را می‌توان محاسبه نمود و اثربخشی تصمیمات اتخاذ شده را مورد بررسی قرارداد. این فرآیند می‌تواند تا هر زمان که امکانات مالی و اجرایی موجود و اقدامات مربوط میسر باشد با در نظر گرفتن اولویت‌ها تکرار شده و شاخص خطرپذیری جدید محاسبه گردد.

۳-۱- مؤلفه‌های شاخص خطر

در هنگام وقوع زلزله، علاوه بر جنبش شدید زمین، خطرات دیگری از قبیل روانگرایی، گسلش سطحی، زمین لغزش، فرونشست و مخاطرات ثانویه نظیر آتش سوزی و نشست مواد خطرناک، محیط شهری و اجزای آن را تهدید می‌نمایند. در ضمن هر یک از این مخاطرات اثرات مختلف و مخصوص به خود را بر هر یک از المان‌های شهری نظیر ساختمان‌ها، راه‌ها، شریان‌های حیاتی، جمعیت انسانی و غیره دارد. به عنوان مثال گسلش سطحی و فرونشست زمین، جز در موارد خاص، اثرات کمی بر خرابی کلی ساختمان‌ها و تلفات انسانی دارند در حالی که می‌توانند اختلالات شدیدی در شبکه شریان‌های حیاتی ایجاد نمایند [۲۲]. در این تحقیق اثرات این مخاطرات به‌طور جداگانه در چارچوب فاکتورهای خطر زلزله در نظر گرفته می‌شود. فاکتورهای خطر زلزله در حقیقت میزان تهدید مستقیم و بالقوه زلزله را در هر یک از بخش‌ها و المان‌های شهری به‌طور مجزا معرفی می‌نمایند.

علاوه بر پارامتر مربوط به جنبش زمین (شتاب) که با فاکتور خطر زلزله معرفی می‌شود، سه گروه دیگر از مخاطرات مربوط به زلزله که احتمال وقوع آنها در اثر جنبش زمین وجود دارد نیز

۲-۳- مؤلفه‌های شاخص آسیب پذیری

از این‌گونه تلفات و زیان‌ها در آینده، باید در هر منطقه آسیب‌پذیری ساختمان‌ها در مقابل شدت‌های مختلف زمین‌لرزه‌های احتمالی آتی ارزیابی شود و پایگاه‌های جستجو و نجات به مناطق با آسیب پذیری بالا، نزدیک‌تر باشند. از این‌رو ارزیابی مؤلفه آسیب‌پذیری ساختمان‌ها در دو دسته تراکم و خرابی ساختمان‌ها انجام شده است.

در مواردی آسیب دیدن تأسیسات زیربنایی شهر می‌تواند تلفات و خسارات ناشی از زلزله را در یک شهر به شدت افزایش دهد، به‌عنوان مثال، آسیب دیدن شبکه گاز شهری می‌تواند سبب نشت گاز و آتش‌سوزی‌های بزرگ شود، همچنین آسیب دیدن شبکه آب، مانع عملکرد مناسب پایگاه‌های آتش‌نشانی شده و در این صورت عملیات اطفای حریق با مشکل مواجه خواهد شد. از سوی دیگر در صورت نامناسب بودن معابر شهری و در نتیجه مسدود شدن آنها هنگام بحران، خودروهای امدادگران نمی‌توانند خود را به موقع به محل حادثه برسانند و در نتیجه کنترل شرایط بحران دشوار خواهد شد. برای توسعه مدل مورد نظر در تعیین ایمنی بافت‌های شهری و از بین شریان‌های حیاتی مختلف، آسیب‌پذیری شبکه راه‌ها و معابر، شبکه آب و فاضلاب و شبکه گاز که تأثیرات بیشتری بر عملکرد اقدامات امدادی دارند، بررسی شده است.

یکی از مهم‌ترین شاخص‌های تأثیرگذار در ارزیابی

آسیب‌پذیری المان‌های شهری به صورت زیر در دو گروه آسیب‌پذیری فیزیکی و انسانی در نظر گرفته شده است:

آسیب‌پذیری فیزیکی: شامل آسیب‌پذیری لرزه‌ای المان‌های فیزیکی شهر نظیر ساختمان‌ها، راه‌ها و شریان‌های حیاتی می‌باشد. معمولاً بروز خرابی در این المان‌ها خسارات مستقیم و غیرمستقیم زیادی را به دنبال دارد. در این تحقیق، این نوع از آسیب‌پذیری در دو زمینه ساختمان‌ها و زیرساخت‌ها در نظر گرفته شده است. آسیب‌پذیری انسانی: مهم‌ترین هدف از کاهش آسیب‌پذیری شهری در برابر زلزله کاهش میزان تلفات و مصدومیت‌های انسانی می‌باشد. لذا آسیب‌پذیری انسانی در این مقاله به‌عنوان یکی از دو گروه اصلی آسیب‌پذیری مورد بررسی قرار گرفته است و ارزیابی کمی شاخص نسبی ایمنی در برابر زلزله در این حوزه بر اساس تلفات و مصدومیت‌های ناشی از آسیب‌پذیری ساختمان‌ها در انواع کاربری‌ها، به همراه تراکم جمعیتی صورت می‌پذیرد.

در جدول (۲)، دو شاخص اصلی آسیب‌پذیری و مؤلفه‌های ارائه شده در تحقیق حاضر برای ارزیابی کمی هر یک و ضرایب وزنی مرتبط با آنها نشان داده شده است. یکی از مهم‌ترین علل تلفات انسانی و زیان‌های اقتصادی-اجتماعی ناشی از زمین‌لرزه‌ها، وضعیت آسیب‌پذیری ساختمان‌های مسکونی در مناطق شهری و روستایی می‌باشد. به منظور کاهش و جلوگیری

جدول (۲): مؤلفه‌های شاخص آسیب‌پذیری.

تراکم ساختمان‌ها $W=0.30$			ساختمان‌ها $W=0.60$	کالبدی (فیزیکی) $W=0.65$	آسیب‌پذیری	
$W=0.60$	خرابی سنگین	خرابی ساختمان‌ها $W=0.70$				زیرساخت‌ها $W=0.40$
$W=0.30$	خرابی متوسط					
$W=0.10$	خرابی سبک					
$W=0.60$	شبکه راه‌ها و معابر	تراکم جمعیت	انسانی $W=0.35$			
$W=0.20$	شبکه آب و فاضلاب					
$W=0.20$	شبکه گاز					
$W=0.30$				صدمات جانی $W=0.70$		
$W=0.40$	تعداد تلفات ناشی از زلزله					
$W=0.50$	تعداد مصدومان ناشی از زلزله					
$W=0.10$	تعداد افراد با آسیب‌دیدگی کم					

وزنی این سه شاخص، شاخص ظرفیت‌های موجود حاصل می‌شود. وجود فضاهای مناسب برای تخلیه امن و نیز راه‌های دسترسی به مناطق آسیب دیده که از عرض کافی برخوردار باشند می‌توانند باعث کاهش ریسک بافت شهری در برابر زلزله شوند. بنابراین می‌بایست در نقاط مختلف مناطق شهری فضاهای باز و اماکن امنی به این منظور شناسایی شوند و در ضمن مسیرهای مشخص و امنی نیز برای دسترسی به این اماکن در نظر گرفته شود.

در این تحقیق از معیارهای معرفی شده توسط جایکا [۲۴] برای تعیین مکان‌های تخلیه محلی در پهنه‌های شهری^۸ استفاده شده و به ازای هر نفر ۲-۳ مترمربع فضا در شعاع حداکثر ۵۰۰ متر در نظر گرفته شده است. فضاهایی مانند پارک‌های شهری، مدارس و ساختمان‌های مقاوم عمومی برای این منظور مد نظر قرار داده شده است. همچنین عرض مناسب برای راه‌های دسترسی به فضاهای تخلیه نیز در صورت وجود راه‌های مناسب، ترجیحاً بهتر است حداقل ۱۵ متر در نظر گرفته شود. این عرض بر اساس فضای لازم برای عبور وسایط نقلیه امدادی و عبور پناهجویان و همچنین مساحت مسدود شده توسط آوار ساختمان‌های مجاور راه تعیین شده است. دومین شاخص برای ارزیابی ظرفیت‌های موجود در محیط‌های شهری، شاخص میزان آمادگی می‌باشد که بیانگر سطح آمادگی مردم و نیروهای عملیاتی در هنگام زلزله است. ارزیابی این شاخص در سطح محلی به کمک بررسی سطح آمادگی مردم و در سطح تخصصی به کمک بررسی آمادگی نیروهای عملیاتی شاغل در سازمان‌های مربوطه انجام می‌شود.

خطرپذیری لرزه‌ای مناطق شهری در برابر زلزله، وضعیت این مناطق از نظر احتمال ایجاد تلفات و مصدومیت‌های انسانی در اثر پیامدهای زلزله نظیر خرابی ساختمان‌ها، زیرساخت‌ها و ... می‌باشد. بالا بودن میزان تلفات و مصدومیت‌ها علاوه بر تبعات اجتماعی و ایجاد شرایط نامناسب روحی در بازماندگان، حجم بالای عملیات امدادی و ظرفیت‌های درمانی را به خود اختصاص می‌دهد. در این تحقیق به منظور ارزیابی آسیب‌پذیری انسانی در مؤلفه تراکم جمعیت (تعداد جمعیت بر هکتار) و صدمات جانی در سه سطح تلفات، مصدومیت شدید و کم در نظر گرفته شده است. وزن هر یک از این مؤلفه‌ها نیز بر اساس نظر سنجی از متخصصان امر و انجام تحلیل سلسله مراتبی AHP تعیین شده است.

۳-۳- مؤلفه‌های شاخص وضعیت ظرفیت‌های موجود

ظرفیت‌های موجود متشکل از مجموعه منابع فیزیکی، مالی، نیروهای انسانی و شرایط و ظرفیت‌های آنها می‌باشد که در جهت کنترل و کاهش بحران زلزله در محیط شهری به کار گرفته می‌شوند. این شاخص در بردارنده عوامل مؤثر در کاهش بحران زلزله از طریق آمادگی، واکنش اضطراری و فعالیت‌های مربوط به بازسازی در کوتاه مدت و بلندمدت می‌باشد. بنابراین در برآورد این شاخص مؤلفه‌های امکانات و فضاهای خدماتی، میزان آمادگی و توان برنامه‌ریزی و مدیریت شهری در هنگام زلزله و پس از آن در منطقه شهری مورد توجه قرار می‌گیرد. در جدول (۳)، این پارامترها به همراه زیرمجموعه‌ها و ضرایب وزنی هر یک که بر اساس نظرات متخصصان امر استنتاج گردیده، نشان داده شده است. از ترکیب

جدول (۳): مؤلفه‌های شاخص وضعیت ظرفیت‌های موجود.

W= 0.7	دسترسی‌ها	امکانات و فضاهای خدماتی W=0.5	وضعیت ظرفیت‌های موجود
W= 0.3	فضاهای باز		
W= 0.8	آمادگی و آگاهی مردم	میزان آمادگی W= 0.3	
W= 0.2	آمادگی نیروهای عملیاتی		
W= 0.6	مدیریت توانمند و وجود برنامه‌های ویژه عملیات برای زمان بحران و نیازمندی‌های آن	توان برنامه‌ریزی و مدیریت شهری W= 0.2	
W= 0.4	قابلیت تأمین و تخصیص منابع		

آسیب‌پذیری معادل (V) به دست می‌آید، طبق رابطه (۲) برآورد می‌گردد. این شاخص در حقیقت وضعیت ایمنی پس از وقوع زلزله را در هر پهنه آماری یک منطقه شهری نسبت به سایر پهنه‌های آماری آن منطقه نشان می‌دهد. به کمک این شاخص می‌توان نسبت به برنامه ریزی برای کاهش ریسک مثلاً مکان‌یابی پایگاه‌های جستجو و نجات برای منطقه شهری اقدام کرد. هرچه مقدار این شاخص در یک پهنه آماری کمتر باشد ایمنی آن پهنه در برابر زلزله نیز کمتر است و پایگاه‌های مورد نظر باید در نزدیکی آن پهنه آماری احداث گردد.

۴- پیاده‌سازی مدل در مناطق ۱۷ و ۳ شهر تهران

تهران، با نام قدیمی ری، چندین بار در اثر زمین‌لرزه‌های بزرگ تاریخی ویران شده است. علی‌رغم فعال بودن محدوده شهر تهران و ثبت زمین‌لرزه‌های متعدد کوچک در این شهر، در قرن حاضر زمین‌لرزه‌ای مخرب در این گستره رخ نداده است، و این نبود لرزه‌ای را باید نشانه‌ای از تجمع انرژی دانست که احتمال وقوع زمین‌لرزه‌ای ویرانگر را افزایش می‌دهد. از میان بسیاری از گسل‌های فعال در منطقه، گسل مشاء با طول حدود ۲۰۰ کیلومتر، گسل شمال تهران با طول حدود ۹۰ کیلومتر و گسل جنوب ری با طول حدود ۲۰ کیلومتر مهم‌ترین گسل‌های لرزه‌زا در محدوده تهران محسوب می‌شوند [۲۵].

در جدول (۴)، مشخصات گسل‌های ری، شمال تهران و مشاء نشان داده شده است. بر اساس مدل گسل ری، شتاب بیشینه جنبش زمین در بخش جنوبی شهر به بیش از ۴۰۰ گال می‌رسد، اما در شمال شهر شتاب زیر ۲۰۰ گال خواهد بود. همچنین بر اساس مدل گسل شمال تهران، شتاب بیشینه در بخش شمالی شهر به بیش از ۴۰۰ گال می‌رسد، اما در جنوب شهر مقدار آن زیر ۲۰۰ گال است. در مورد مدل گسل مشاء نیز شتاب بیشینه در بیشترین مناطق شهر زیر ۲۰۰ گال برآورد شده است [۲۴].

بنا بر مطالعات مربوطه، گسل ری پراهمیت‌ترین گسل برای مناطق جنوبی تهران از جمله منطقه ۱۷ و گسل شمال تهران

وجود برنامه مناسب و تمرین شده، تأثیر قابل توجهی در خدمات‌رسانی مراکز ذی‌ربط به هنگام بحران دارد. این معیار بیانگر ظرفیت‌های موجود در زمینه برنامه ریزی برای واکنش اضطراری، توان مدیریت و میزان آمادگی مسئولین و مراکز ذی‌ربط قبل، بعد و هنگام زلزله می‌باشد.

۳-۴- روش ترکیب وزنی برای ارزیابی شاخص‌ها

به‌منظور ارزیابی شاخص‌های خطر، آسیب‌پذیری و ظرفیت‌های موجود از روش ترکیب وزنی مؤلفه‌ها طبق رابطه (۱) استفاده می‌شود. هر یک از مؤلفه‌ها با توجه به میزان اهمیت و نحوه مشارکت آنها در ارزیابی شاخص اصلی وزن‌دهی می‌شوند. ضرایب وزنی با بهره‌گیری از نظر کارشناسان و صاحب‌نظران و با استفاده از روش AHP [۲۳] تعیین شده است.

$$I_j = \sum_{k=1}^{k=n} w_{kj} \times \text{indicator value}(k_j) \quad (1)$$

$$\text{Note: } \sum_{k=1}^{k=n} w_{kj} = 1$$

در این رابطه، بیانگر شاخص مورد ارزیابی خطر یا آسیب‌پذیری یا ظرفیت‌های موجود می‌باشد. پارامتر n تعداد مؤلفه‌های هر یک از شاخص‌ها را نشان می‌دهد و w بیانگر وزن هر مؤلفه در ارزیابی شاخص اصلی می‌باشد. جمع مقادیر وزنی در ارزیابی برابر ۱ است.

۳-۵- شاخص تجمیعی ایمنی در برابر زلزله (IESI)

پس از ارزیابی کمی فاکتورهای خطر، آسیب‌پذیری و ظرفیت‌های موجود شاخص تجمیعی ایمنی در برابر زلزله^۹ برای پهنه‌های آماری بافت‌های شهری طبق رابطه (۲) برآورد می‌شود:

$$IESI = \frac{R_c}{1+H \times V} \quad (2)$$

در این رابطه شاخص تجمیعی ایمنی در برابر زلزله (IESI) که در محدوده صفر تا یک قرار دارد، از تقسیم شاخص وضعیت ظرفیت‌های موجود^{۱۰} (R_c) بر حاصل جمع عدد ۱ با ریسک پهنه مورد نظر که از حاصل ضرب شاخص خطر معادل (H) در

جدول (۴): پارامترهای مدل گسل های ری، شمال تهران، مشاء [۲۴].

مشخصات مدل گسل		مدل گسل ری	مدل گسل شمال تهران	مدل گسل مشاء
طول (کیلومتر)		۲۶	۵۸	۶۸
عرض (کیلومتر)		۱۶	۲۷	۳۰
بزرگای گشتاوری (Mw)		۶/۷	۷/۲	۷/۲
منشأ	(N) درجه شمالی	۳۵/۸۲۵۵	۳۵/۶۸۱۵	۳۵/۵۸۷۶
	(E) درجه جنوبی	۵۱/۷۳۹۲	۵۲/۴۹۵۵	۵۱/۵۰۶۱
جهت (از شمال در جهت عقربه های ساعت) (درجه)		۲۶۳	۲۶۳	۲۸۳
زاویه شیب (درجه)		۷۵	۷۵	۷۵
ژرفای لبه پایینی (کیلومتر)		۵	۰	۰

ارزیابی خسارات ساختمان ها استفاده شده است که در بخش آسیب پذیری توضیح داده خواهد شد.

با توجه به اینکه گسلش سطحی، فرونشست زمین و روانگرایی به واسطه ای ایجاد جابه جایی باعث آسیب المان های شهری می گردند، در این مقاله در یک گروه مجزا با عنوان مخاطرات زمین شناختی معرفی شده اند. به منظور ارزیابی این شاخص از نقشه برآورد خطر لرزه ای و گسلش سطحی و نقشه خطرات زمین لغزش در محدوده شهر استفاده شده است [۲۵].

شکل (۳) اندیس خطر در مناطق ۱۷ و ۳ شهر تهران را نشان می دهد که از ترکیب وزنی مؤلفه های خطر حاصل شده است. همان طور که مشاهده می شود، مقادیر حداکثر اندیس خطر در منطقه ۳ شهر تهران از کمترین مقدار این اندیس در منطقه ۱۷ شهر تهران بیشتر است و این نشان دهنده ی خطرناک تر بودن وضعیت منطقه ۱۷ شهر تهران می باشد.

پراهمیت ترین گسل برای مناطق شمالی تهران از جمله منطقه ۳ معرفی می شود. از آنجاکه در این تحقیق هدف برآورد بدترین وضعیت برای دو منطقه ۱۷ و ۳ شهر تهران می باشد، بنابراین، به منظور برآورد شاخص ها و مؤلفه های برآورد ایمنی در برابر زلزله، برای منطقه ۱۷ شهر تهران سناریوی گسل ری و برای منطقه ۳ شهر تهران سناریوی گسل شمال تهران در نظر گرفته شده است.

۴-۱- شاخص خطر معادل مناطق ۱۷ و ۳ شهر تهران

به منظور ارزیابی شاخص تجمیعی ایمنی در برابر زلزله، مقادیر مؤلفه های مربوط به هر شاخص می بایست به صورت وزنی ترکیب شوند. محاسبه هریک از مؤلفه ها مطابق جدول (۵) صورت می پذیرد. در این مقاله از حداکثر شتاب ارائه شده توسط جایکا [۲۴] برای سناریوی گسل جنوب ری و شمال تهران استفاده شده است. همچنین به منظور برآورد خطر آتش سوزی از

جدول (۵): روش ارزیابی کمی مؤلفه های شاخص خطر زلزله و مخاطرات ثانویه.

روش ارزیابی کمی	۱	۰/۸	۰/۶	۰/۴	۰/۲	جدول اندیس
جنش شدید زمین (gal)	۵۵۰-۴۹۰	۴۹۰-۴۳۰	۴۳۰-۳۷۰	۳۷۰-۳۱۰	۳۱۰-۲۵۰	
مخاطرات زمین شناختی ناشی از زلزله	نقشه های گسلش سطحی و زمین لغزش تهران	خیلی زیاد	زیاد	متوسط	کم	بدون مخاطرات
آتش سوزی	-	بیش از ۸۴٪	۷۸-۸۴٪	۷۲-۷۸٪	۶۶-۷۲٪	۶۰-۶۶٪
تأسیسات خطرناک و قابل انفجار	تعداد مراکز و تأسیسات خطرناک مثل پمپ بنزین و گاز و انبارهای مواد شیمیایی	بیشتر از ۹ عدد	۶-۹ عدد	۳-۵ عدد	۱-۲ عدد	بدون تأسیسات خطرناک

شود. معمولاً مقدار بیشینه شتاب زلزله در سطح زمین به عنوان متداول‌ترین کمیت معرف شدت زلزله (از دیدگاه خسارت به ساختمان‌ها) در نظر گرفته می‌شود که در منحنی‌های شکنندگی نیز مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این تحقیق از توابع شکنندگی تهیه شده توسط قائم‌میان و همکاران [۲۶] استفاده شده است.

صدمات جانی با استفاده از نتایج برآورد خرابی ساختمان‌ها و روش ارائه شده توسط منصور و همکاران [۲۷] در سه سطح تلفات، آسیب دیدگی شدید و کم محاسبه شده است. در این مدل تخمین تلفات فقط بر اساس خسارت سازه‌ای انجام می‌شود. خروجی این مدل شامل نرخ تلفات در سطوح مختلف مصدومیت در هر نوع سازه است. روابط (۳) و (۴) روند محاسبه خسارت جانی را متأثر از سه سطح خسارت سازه‌ای در هر واحد جغرافیایی نشان می‌دهند.

$$\begin{bmatrix} \text{No_of_Dead} \\ \text{No_of_Injured} \\ \text{No_of_Uninjured} \end{bmatrix} = \begin{pmatrix} \text{No_of_Population} \\ \text{No_of_Building} \end{pmatrix} \begin{bmatrix} 0 & 0.01 & 0.3 \\ 0 & 0.03 & 0.150 \\ 1 & 0.96 & 0.549 \end{bmatrix} \quad (۳)$$

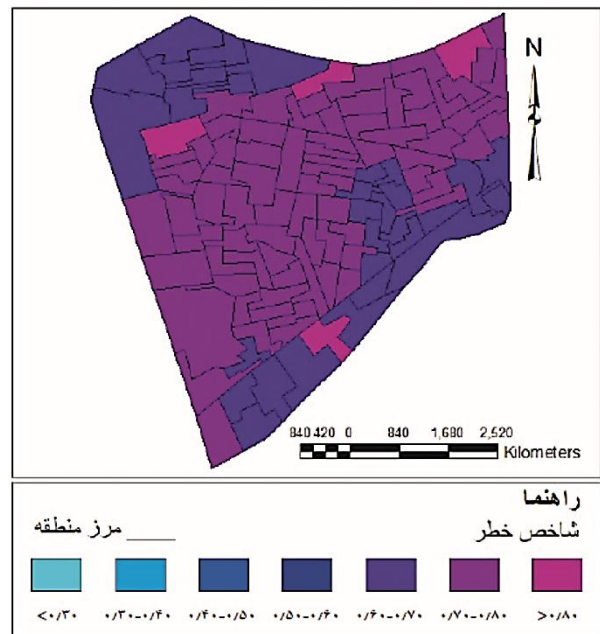
$$\begin{bmatrix} \text{No_of_IntactBuilding} \\ \text{No_of_DamagedBuilding} \\ \text{No_of_DestroyedBuilding} \end{bmatrix}$$

$$\text{No_of_Uninjured} + \text{No_of_Injured} + \text{No_of_Dead} = \quad (۴)$$

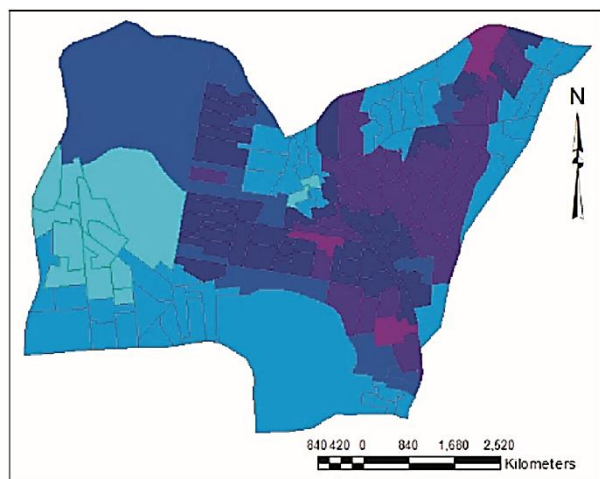
$$\text{No_of_Population}$$

در صورت وقوع زلزله در یک منطقه شهری، هر چه تراکم جمعیت بیشتر باشد در نتیجه آسیب‌پذیری جانی نیز افزایش خواهد یافت. به همین دلیل تراکم جمعیت به عنوان یک مؤلفه مجزا و مؤثر در تعیین آسیب‌پذیری در نظر گرفته شده است.

با توجه به کمبود اطلاعات، آسیب‌پذیری شبکه راه برای مناطق مورد مطالعه قابل محاسبه نبوده و در تمام سطح منطقه یکسان در نظر گرفته شده است و آسیب‌پذیری شبکه آب و گاز نیز به ترتیب به کمک نقاط شکست در لوله‌های آب و گاز در سناریوی زلزله مربوطه محاسبه شده که در این تحقیق از نتایج جایکا [۲۴] استفاده شده است. جدول (۶) روش ارزیابی کمی هر یک از مؤلفه‌های آسیب‌پذیری را نشان می‌دهد.



(الف)



(ب)

شکل (۳): شاخص خطر (الف) منطقه ۱۷ شهر تهران تحت سناریو گسل جنوب ری، (ب) منطقه ۳ شهر تهران تحت سناریو گسل شمال تهران.

۴-۲- شاخص آسیب‌پذیری معادل مناطق ۱۷ و ۳ شهر تهران

به منظور ارزیابی مؤلفه آسیب‌پذیری ساختمان‌ها، در ابتدا لازم است میزان خطر زلزله در هر محدوده با توجه به سناریوی گسل محتمل که بیشترین بزرگی را ایجاد خواهد نمود، برآورد

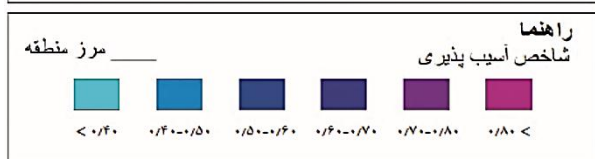
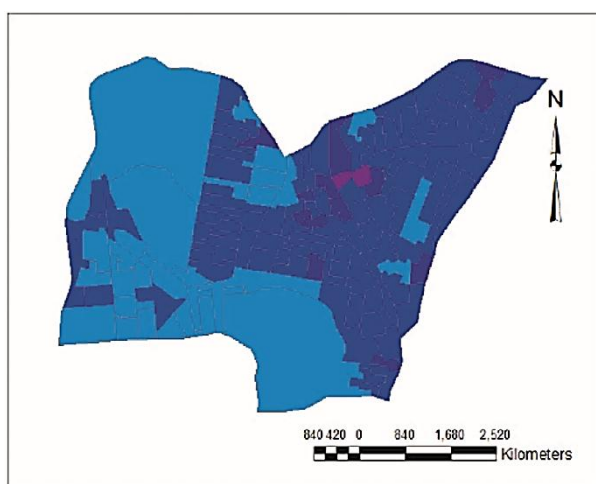
جدول (۶): روش ارزیابی کمی مؤلفه‌های شاخص آسیب‌پذیری فیزیکی و انسانی.

روش ارزیابی کمی	۱	۰/۸	۰/۶	۰/۴	۰/۲	اندیس
تراکم ساختمان‌ها	کمتر از ۲۰٪	۲۰-۴۰٪	۴۰-۶۰٪	بیش از ۸۰٪	بر اساس تراکم ساختمان (تعداد ساختمان بر هکتار) هر پهنه	
خرابی سنگین	۲۰-۳۵٪	۳۵-۵۰٪	۵۰-۶۵٪	۶۵-۸۰٪	درصد ساختمان‌های با سطح خرابی سنگین به کل ساختمان‌ها	
خرابی متوسط	کمتر از ۱۰٪	۱۰-۲۰٪	۲۰-۳۰٪	بیش از ۴۰٪	درصد ساختمان‌های با سطح خرابی متوسط به کل ساختمان‌ها	
خرابی سبک	کمتر از ۵٪	۵-۱۰٪	۱۰-۱۵٪	بیش از ۲۰٪	درصد ساختمان‌های با سطح خرابی سبک به کل ساختمان‌ها	
شبکه آب و فاضلاب (نقطه)	کمتر از ۱۰۰	۱۰۰-۲۰۰	۲۰۰-۳۰۰	بیش از ۴۰۰	تعداد نقاط شکست لوله‌های آب	
شبکه گاز (نقطه)	کمتر از ۱۰	۱۰-۲۰	۲۰-۳۰	بیشتر از ۴۰	تعداد نقاط شکست لوله‌های گاز	
مشخصات جمعیت	کمتر از ۱۵۰	۱۵۰-۳۰۰	۳۰۰-۴۵۰	۴۵۰-۶۰۰	تراکم جمعیت (جمعیت بر هکتار) هر پهنه	
تعداد تلفات ناشی از زلزله	۰-۴٪	۴-۸٪	۸-۱۲٪	۱۲-۱۶٪	درصد تلفات بر کل جمعیت در هر پهنه	
تعداد مصدومان زلزله	۰-۳٪	۳-۶٪	۶-۹٪	بیش از ۱۲٪	درصد مصدومان بر کل جمعیت در هر پهنه	
مصدومان سربایی	کمتر از ۱۵٪	۱۵-۲۰٪	۲۰-۲۵٪	بیش از ۳۰٪	درصد افراد با آسیب دیدگی کم ناشی از زلزله	

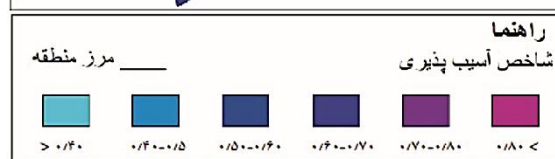
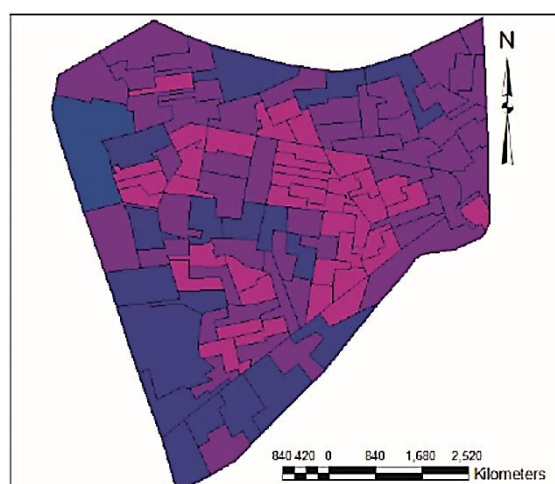
۳-۴- شاخص وضعیت ظرفیت‌های موجود مناطق ۱۷ و ۳ شهر تهران

ظرفیت‌های موجود برای کاهش ریسک زلزله در بافت‌های شهری متشکل از مجموعه منابع فیزیکی، مالی، نیروهای انسانی و شرایط و ظرفیت‌های آنها می‌باشد که در جهت کنترل و کاهش

شکل (۴)، شاخص آسیب‌پذیری در مناطق ۱۷ و ۳ را نشان می‌دهد. مشاهده می‌شود که مقادیر شاخص آسیب‌پذیری در منطقه ۱۷ بیشتر از منطقه ۳ می‌باشد به خصوص در بخش‌های مرکزی منطقه ۱۷، که این نشان‌دهنده آسیب‌پذیرتر بودن این منطقه و نیاز بیشتر آن به خدمات امداد و نجات می‌باشد.



(ب)



(الف)

شکل (۴): شاخص آسیب‌پذیری (الف) منطقه ۱۷ شهر تهران تحت سناریو گسل جنوب ری، (ب) منطقه ۳ شهر تهران تحت سناریو گسل شمال تهران.

مطالعه تقسیم شده است. به نظر می‌رسد که معابر با عرض کمتر از ۹ متر به دلیل احتمال ریزش آوار ساختمان‌های مجاور، پارک خودرو در یک طرف معبر و نیز وجود سایر موانع، در زمان بحران ممکن است مسدود شوند و لذا در شرایط ایده‌آل عرض معابر می‌بایست بالای ۹ متر باشد.

در این تحقیق یک روش غیرمستقیم و ساده برای ارزیابی آمادگی و آگاهی مردم بر اساس روش ارائه شده توسط جایکا [۲۴] در نظر گرفته شده است (رابطه ۵). در این روش فرض می‌شود جامعه افراد کوچک‌تر از ۵ سال و بزرگ‌تر از ۶۵ سال به جهت جسمی آمادگی تخلیه و نجات خود را در هنگام و بعد از وقوع زلزله نخواهند داشت و لذا نسبت این جمعیت در هر منطقه شهری به عنوان پارامتر آسیب‌پذیری جسمی افراد در نظر گرفته می‌شود.

$$UPI = Pp \times Agw \times Inf \quad (5)$$

در این رابطه، شاخص عدم آمادگی UPI ، از ترکیب پارامتر آسیب‌پذیری فیزیکی افراد (Agw) و ضعف اطلاعاتی (Inf) محاسبه شده است. همچنین در این رابطه اثر تراکم جمعیت منطقه در قالب پارامتر (Pp) منظور شده است. پارامتر (Pp) به صورت نرمال شده بیانگر نسبت جمعیت هر پهنه آماری به جمعیت کل منطقه‌ی مورد مطالعه می‌باشد. همچنین به منظور ارزیابی مؤلفه تأمین منابع برای هر یک از مراکز آتش‌نشانی، بیمارستان‌ها، پلیس و کنترل ترافیک چهار شعاع پوشش‌دهی در نظر گرفته شده است، سپس با توجه به اینکه ۸۰٪ از هر پهنه آماری تحت چه شعاع پوشش‌دهی از هر مرکز اشاره شده قرار می‌گیرد، ضریب CRI را با توجه به جدول (۸) به خود اختصاص می‌دهد.

بحران زلزله در محیط شهری به کار گرفته می‌شوند. در جدول (۷)، روش ارزیابی هریک از مؤلفه‌های شاخص وضعیت ظرفیت‌های موجود و روش ارزیابی کمی هر یک از آنها نشان داده شده است. با توجه به اینکه اطلاعات مورد نیاز برای برآورد پارامترها آمادگی نیروهای عملیاتی و برنامه ویژه عملیات در دسترس نبود، مقادیر این دو پارامتر در تمام سطح منطقه یکسان در نظر گرفته شده است.

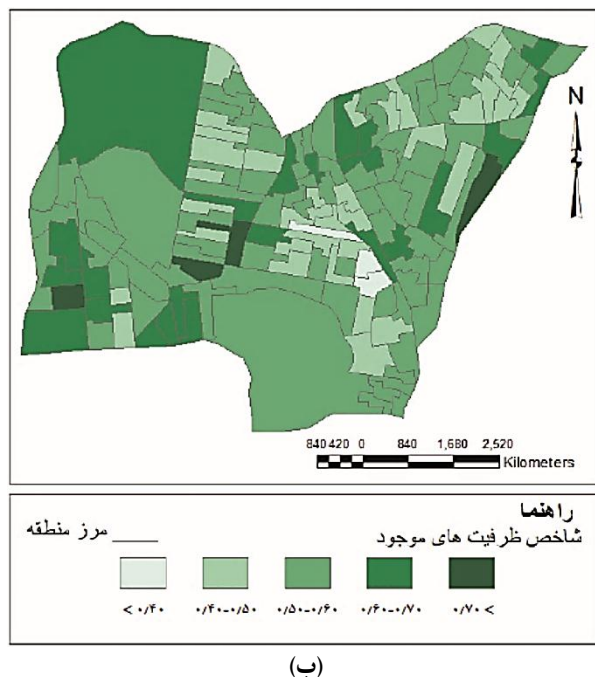
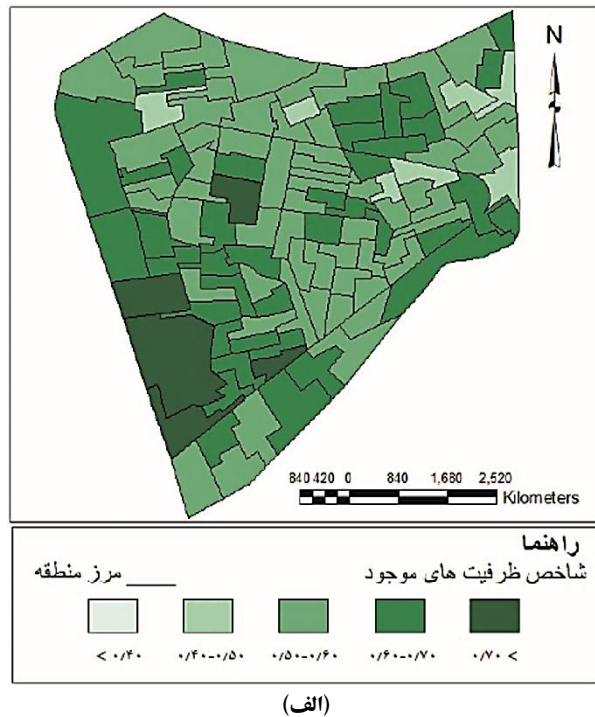
در تحقیق حاضر اماکن مورد نیاز برای تخلیه و اسکان پناه جویان در سطح محلی مورد توجه قرار داده شده است. به منظور ارزیابی این مؤلفه با توجه به فرهنگ کشورمان فضای تخلیه محلی برای هر نفر ۳ مترمربع و حداکثر فاصله رسیدن افراد به این مکان‌ها ۵۰۰ متر در نظر گرفته شده است. همچنین در هر پهنه بعد از اختصاص فضای ۳ مترمربع به هر نفر، در صورت اضافه بودن فضای باز، مساحت باقی‌مانده با توجه به میزان هم‌جواری با پهنه‌های مجاور و در نظر گرفتن شعاع دسترسی ۵۰۰ متر، به آنها اختصاص داده شده است.

همان‌طور که در بخش ۳ اشاره شد، جایکا عرض مناسب برای راه‌ها را حداقل ۱۵ متر در نظر گرفته است [۲۴]. از طرفی این عرض تنها برای شهرهایی که طبق معیارهای شهرسازی و از روی اصول ساخته شده‌اند صادق می‌باشد و برای شهری مانند تهران که عرض اکثر معابر آن کمتر از ۹ متر است کاربردی نیست. این شاخص با هدف بررسی شرایط دسترسی برای جستجو و نجات و حمل‌ونقل پس از زلزله مورد ارزیابی قرار گرفته است. به این منظور طول راه‌های درون شهری با عرض کمتر از ۹ متر به طول تمام معابر درون شهری محدوده مورد

جدول (۷): روش ارزیابی کمی مؤلفه‌های شاخص وضعیت ظرفیت‌های موجود.

روش ارزیابی کمی	۱	۰/۸	۰/۶	۰/۴	۰/۲	اندیس
فضاهای باز	بیشتر از ۳/۰	۳/۰-۲/۵	۲/۵-۲/۰	۲/۰-۱/۵	کمتر از ۱/۵	فضاهای باز
دسترسی‌ها	۲۰-۰٪	۴۰-۲۰٪	۶۰-۴۰٪	۸۰-۶۰٪	۱۰۰-۸۰٪	دسترسی‌ها
آمادگی و آگاهی مردم	۱۰-۵٪	۱۵-۱۰٪	۲۰-۱۵٪	۲۵-۲۰٪	بیشتر از ۲۵٪	آمادگی و آگاهی مردم
تأمین منابع	۰/۵-۰/۴	۰/۴-۰/۳	۰/۳-۰/۲	۰/۲-۰/۱	۰/۱-۰	تأمین منابع

پاسخگویی نامساعدتر از سایر قسمت‌های منطقه می‌باشد. در منطقه ۳ نیز در قسمت شرقی منطقه وضعیت ظرفیت‌های پاسخگویی ضعیف‌تر است. به‌طور کلی مشاهده می‌شود که منطقه ۳ از ظرفیت‌های بیشتری نسبت به منطقه ۱۷ برخوردار می‌باشد.



شکل (۵): شاخص ظرفیت‌های موجود: (الف) منطقه ۱۷، (ب) منطقه ۳ شهر تهران.

شعاع دسترسی برای بیمارستان در برخی منابع ۱-۱/۵ کیلومتر و برخی دیگر ۲ کیلومتر می‌باشد [۲۸]. همچنین این شعاع برای ایستگاه‌های آتش‌نشانی ۱/۲۵ کیلومتر است [۱۲]، اما باید در نظر داشت این شعاع‌ها برای شرایط عادی می‌باشد. با توجه به اینکه در این تحقیق هدف ارزیابی وضعیت در شرایط وقوع زلزله است و با توجه به مسدود شدن برخی راه‌ها، فرض شده است که این شعاع‌ها به نصف کاهش یافته و لذا شعاع مطلوب ۶۰۰ متر در نظر گرفته شده که به تدریج افزایش یافته و شعاع بزرگ‌تر از ۱۵۰۰ کیلومتر عملاً غیرقابل نفوذ در نظر گرفته شده است. ارزیابی هر یک از مراکز آتش‌نشانی، بیمارستان‌ها، پلیس و کنترل ترافیک با استفاده از آمارهای موجود بر اساس محل آنها در هر پهنه صورت می‌گیرد.

جدول (۸): اندیس شعاع پوشش‌دهی مراکز خدمات‌رسانی.

شعاع پوشش‌دهی	CRI
< ۶۰۰	۱
۸۰۰	۰/۷۵
۱۰۰۰	۰/۶۰
۱۵۰۰	۰/۴۰
> ۱۵۰۰	۰/۱۰

در نهایت هر یک از این مراکز با توجه به درجه اهمیت آنها و طبق نظرات کارشناسان وزنی را مطابق جدول (۹) به خود اختصاص داده و شاخص تأمین کلی^{۱۳} (RRRI) طبق رابطه (۶) از ترکیب وزنی مؤلفه هر یک از مراکز با یکدیگر حاصل می‌شود.

$$RRRI = \sum_{i=1}^3 w_i \times CRI_i \quad (6)$$

جدول (۹): وزن‌دهی به هر یک از مراکز خدمات‌رسانی.

مراکز پلیس و کنترل ترافیک	مراکز آتش‌نشانی	بیمارستان‌ها	مراکز خدمات‌رسانی
۰/۲۰	۰/۴۰	۰/۴۰	وزن (w)

شکل (۵)، شاخص ظرفیت‌های موجود در مناطق ۱۷ و ۳ را نشان می‌دهد که از ترکیب وزنی مؤلفه‌های ذکر شده حاصل شده است. مشاهده می‌شود که در قسمت شمال شرقی منطقه ۱۷ ظرفیت‌های

نسبت به سایر بخش‌های منطقه دارند و نیمه غربی منطقه ۳ نیز از لحاظ ایمنی وضعیت نامناسب‌تری نسبت به سایر بخش‌های این منطقه دارد.

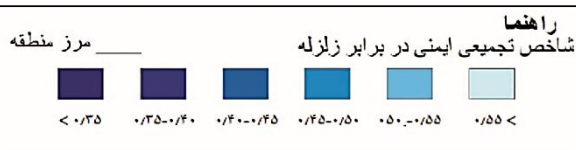
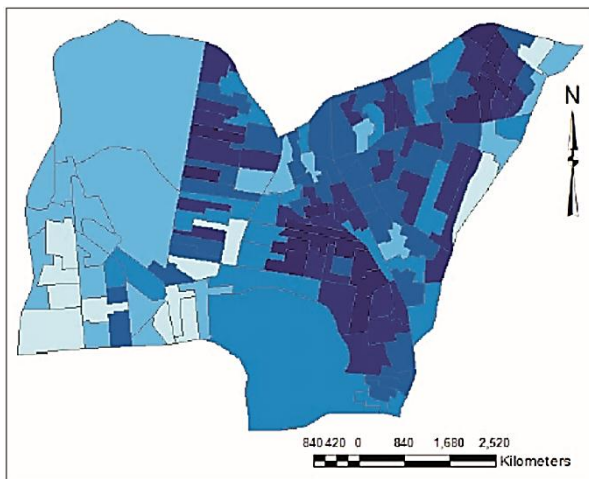
۵- بهبود ضریب ایمنی با مداخله در بافت‌ها

به منظور افزایش شاخص تجمیعی ایمنی در برابر زلزله تمام مؤلفه‌های دخیل در آن می‌توانند نقش مؤثری داشته باشند، از طرفی تغییر در همه مؤلفه‌ها امکان‌پذیر یا اقتصادی نیست. به عنوان مثال، مؤلفه‌هایی همچون جنبش شدید زمین (PGA) و مخاطرات زمین‌شناختی خارج از دست بشر می‌باشد اما می‌توان ساخت و ساز در بخش‌های با مقدار بالای این خطرات را ممنوع کرد. بهبود وضعیت مؤلفه‌هایی چون آسیب‌پذیری ساختمان‌ها و زیرساخت‌ها که کاهش آنها هزینه‌های کلانی می‌خواهد نیز در کوتاه‌مدت امکان‌پذیر نیست. به همین دلیل اولویت با مؤلفه‌هایی است که از نظر هزینه و زمان اجرا امکان‌پذیر باشند. برخی از مؤلفه‌هایی که در این راستا می‌توانند مورد توجه قرار گیرند در قسمت‌های بعدی بررسی شده‌اند.

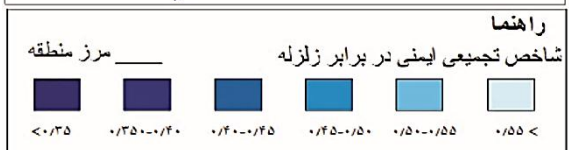
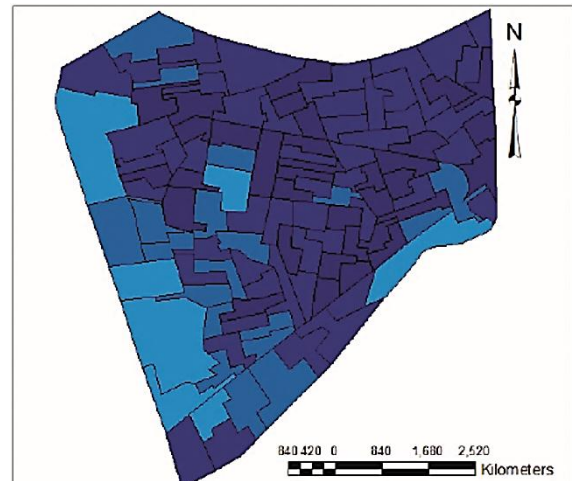
۴-۴ نتایج ارزیابی شاخص تجمیعی ایمنی در برابر زلزله

(IESI)

شاخص تجمیعی ایمنی در برابر زلزله (IESI) برای هر پهنه آماری از تقسیم تابع متضمن وضعیت ظرفیت‌های موجود بر ۱ به علاوه حاصل ضرب دو شاخص خطر معادل و آسیب‌پذیری معادل طبق رابطه (۲) برآورد گردیده است. این شاخص در حقیقت وضعیت کلی ایمنی و ارائه خدمات مورد نیاز پس از وقوع زلزله در هر یک از پهنه‌های آماری یک منطقه شهری و نیز در سناریوی مخرب‌ترین زلزله احتمالی نسبت به سایر پهنه‌های آماری آن منطقه را نشان می‌دهد. بر اساس این شاخص و با توجه به این مسئله که منابع مالی محدود است می‌توان پایگاه‌های مورد نیاز یک منطقه شهری را مکان‌یابی کرد. شکل (۶) مقادیر این شاخص را برای مناطق ۱۷ و ۳ نشان می‌دهد. مشاهده می‌شود که حداکثر مقدار این شاخص در منطقه ۱۷، بین ۰/۴۵-۰/۵۰ و در منطقه ۳، بیش از ۰/۵۵ می‌باشد و این نشان‌دهنده وضعیت بهتر منطقه ۳ است. همچنین مطابق شکل (۶) بخش‌های مرکزی و شمال شرقی منطقه ۱۷ ایمنی کمتری



(ب)



(الف)

شکل (۶): شاخص تجمیعی ایمنی در برابر زلزله: (الف) منطقه ۱۷ شهر تهران تحت سناریو گسل جنوب ری، (ب) منطقه ۳ شهر تهران تحت سناریو گسل شمال تهران.

۵-۱- تأسیسات خطرناک و قابل انفجار

این تحقیق در هر منطقه ۳۰۰۰ مترمربع فضای باز برای سه پهنه که فضای باز کافی ندارند در نظر گرفته شده است. در منطقه ۱۷ با ایجاد ۳۰۰۰ مترمربع فضای باز در پهنه‌های ۹، ۵۰ و ۷۷ شاخص ایمنی مطابق شکل (۸) در پهنه‌های مذکور افزایش می‌یابد و در منطقه ۳ نیز در پهنه‌های ۳۲، ۶۷ و ۱۰۷ افزایش شاخص ایمنی مشاهده می‌شود. از مقایسه شکل‌های فوق‌الذکر با شکل (۶) که در بخش ۴ ارائه شد، ملاحظه می‌شود که ایجاد فضاهای باز محدود می‌تواند به صورت موردی در افزایش ضریب ایمنی پهنه‌های فاقد این فضاها تأثیرگذار باشد.

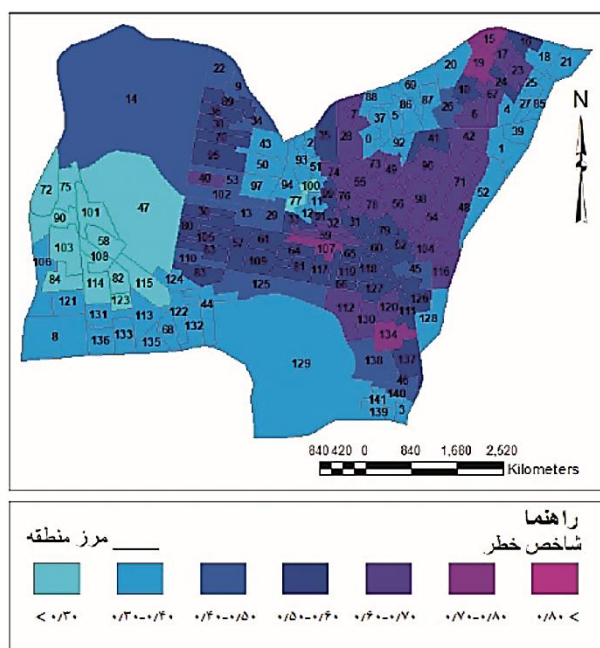
بدین منظور با توجه به وضعیت خطرپذیری مناطق شهری، تأسیسات خطرناک در پهنه‌هایی که ضریب جمعیتی ایمنی در برابر زلزله آنها به دلیل وجود این تأسیسات کاهش یافته، از محدوده حذف می‌شوند. شکل (۷) شاخص خطر در مناطق ۱۷ و ۳ را پس از حذف تأسیسات خطرناک نشان می‌دهد. در منطقه ۱۷ کاهش شاخص خطر در پهنه‌های ۴۹، ۱۸، ۱۲ و ۲۸ و در منطقه ۳ در پهنه‌های ۱۱۵، ۱۳۷ و ۱۱۷ روی داده که این کاهش به سبب حذف تأسیسات خطرناک موجود در پهنه‌های مذکور ایجاد شده است. علی‌رغم تأثیر حذف تأسیسات خطرناک در شاخص خطر، این مؤلفه در افزایش شاخص ایمنی چندان تأثیری ندارد.

۵-۳- قابلیت تأمین و تخصیص منابع

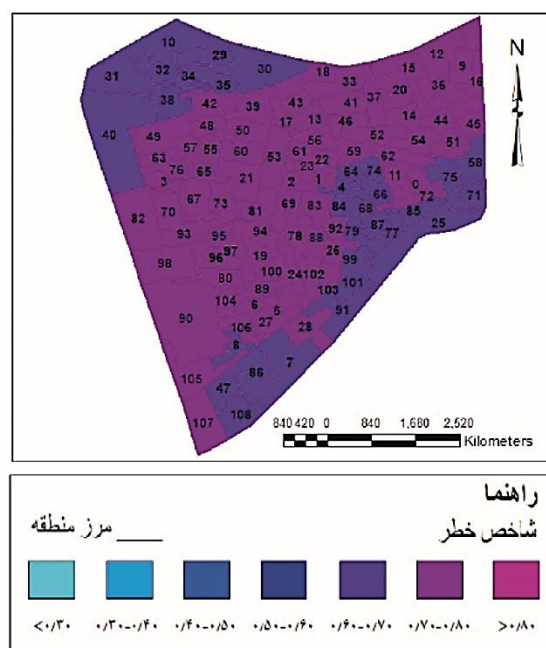
مراکز امداد رسانی موجود در منطقه از عوامل مؤثر در کاهش تلفات جانی پس از وقوع زلزله می‌باشد. در منطقه ۱۷ با اضافه کردن دو ایستگاه در بخش‌های مرکزی منطقه مشاهده می‌شود که اکثریت پهنه‌های این بخش که پیش‌تر در شعاع بیش از ۱۰۰۰ متری ایستگاه‌های آتش‌نشانی قرار داشتند، بعد از اضافه کردن این ایستگاه‌ها در شعاع کمتر از ۶۰۰ متری ایستگاه‌های آتش‌نشانی

۵-۲- فضای باز

با ایجاد فضای باز در پهنه‌هایی که فاقد آن هستند و یا فضای باز آنها با توجه به جمعیت آن پهنه کافی نیست، می‌توان ظرفیت‌های محله‌ای و در نتیجه شاخص ایمنی را افزایش داد. در

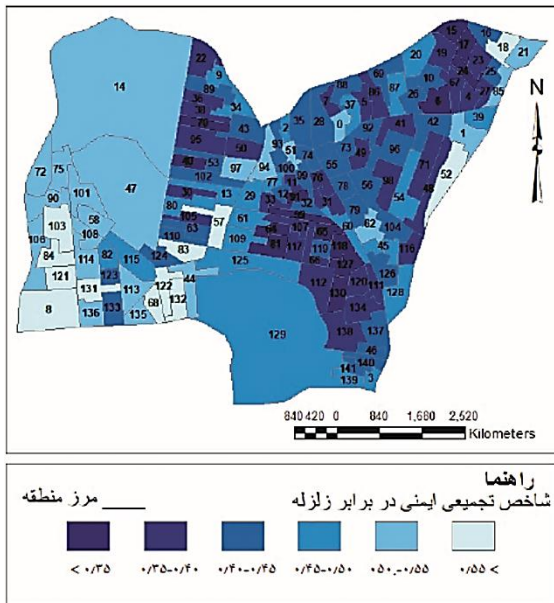


(ب)

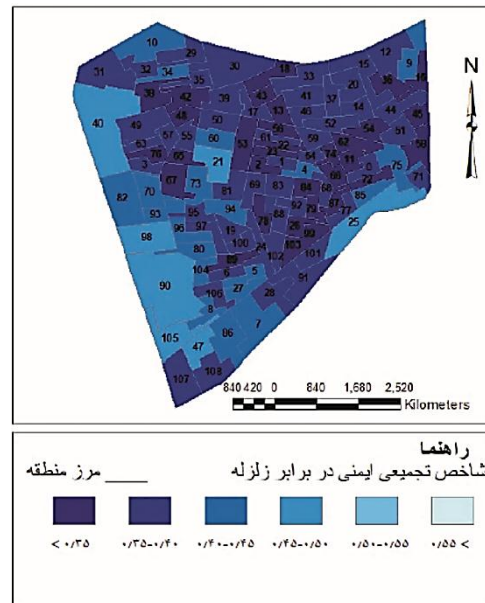


(الف)

شکل (۷): شاخص خطر منطقه: الف) منطقه ۱۷، ب) منطقه ۳ شهر تهران پس از حذف تأسیسات خطرناک و قابل انفجار.



(ب)

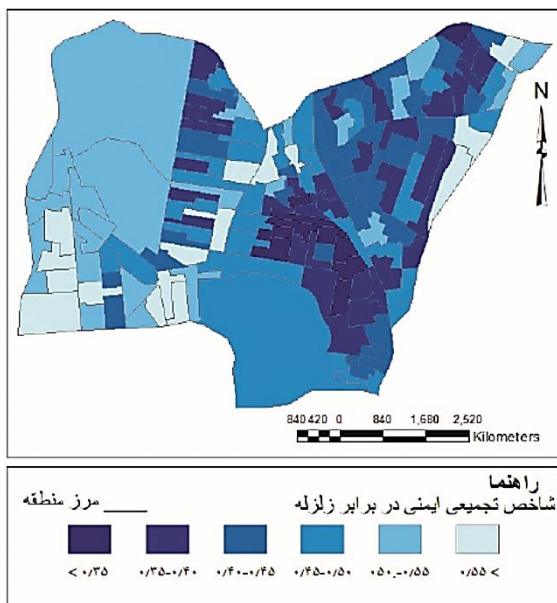


(الف)

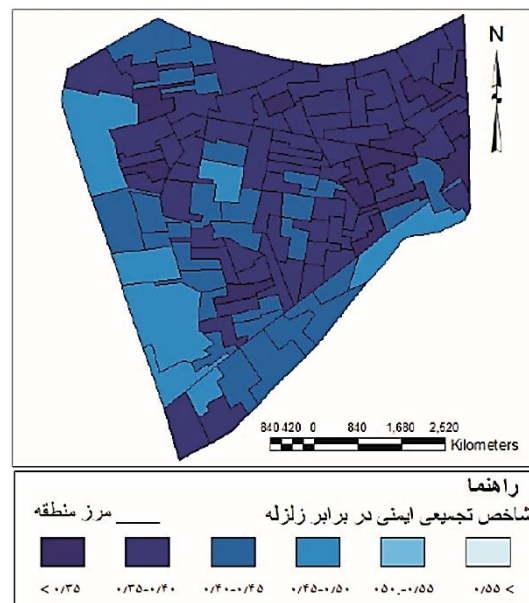
شکل (۸): شاخص تجمیعی ایمنی در برابر زلزله: (الف) منطقه ۱۷ شهر تهران تحت سناریوی جنوب ری، (ب) منطقه ۳ شهر تهران تحت سناریوی گسل شمال تهران پس از ایجاد فضای باز در سه پهنه آماری.

قرار داشتند که بدترین وضعیت ممکن می باشد در شرایط حاضر در شعاع کمتر از ۶۰۰ متری ایستگاه‌های آتش‌نشانی قرار دارند و می‌تواند تأثیر زیادی در بهبود شاخص ایمنی این بخش‌ها بگذارد که این بهبود در شکل (۹) نشان داده شده است.

قرار گرفته و در نهایت تمام پهنه‌های منطقه به وضعیت مساعدتری از لحاظ پوشش دهی توسط ایستگاه‌های آتش‌نشانی دست یافتند. در منطقه ۳ نیز با اضافه کردن دو ایستگاه در بخش شمالی منطقه که در شعاع پوشش دهی بیش از ۱۵۰۰ متری ایستگاه‌های آتش‌نشانی



(ب)



(الف)

شکل (۹): شاخص تجمیعی ایمنی در برابر زلزله: (الف) منطقه ۱۷ شهر تهران تحت گسل جنوب ری، (ب) منطقه ۳ شهر تهران تحت سناریوی گسل شمال تهران پس از افزودن دو ایستگاه آتش‌نشانی.

۴-۵- ایجاد پایگاه‌های محلی مدیریت بحران

در این بخش پس از اضافه کردن دو ایستگاه آتش‌نشانی در هر یک از مناطق و برآورد ضریب ایمنی هر پهنه، تعدادی پایگاه مدیریت بحران محله‌ای در پهنه‌هایی که ضریب ایمنی آنها کمتر از ۰/۳۵ می‌باشد پیش‌بینی شده و تأثیر این مؤلفه در قالب مؤلفه برنامه ویژه عملیات محاسبه گردید. به این ترتیب که اگر در یک پهنه پایگاه بحران محله‌ای موجود باشد، اندیس ۱/۰۰ و در غیر این صورت اندیس ۰/۲۰ به آن اختصاص می‌یابد. جدول (۱۰) نحوه ترکیب پایگاه‌های مدیریت بحران محله‌ای با مؤلفه برنامه ویژه عملیات را نشان می‌دهد.

جدول (۱۰): تلفیق پایگاه‌های بحران محله‌ای با مؤلفه برنامه ویژه عملیات.

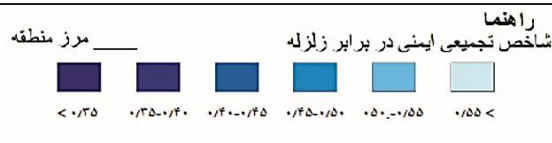
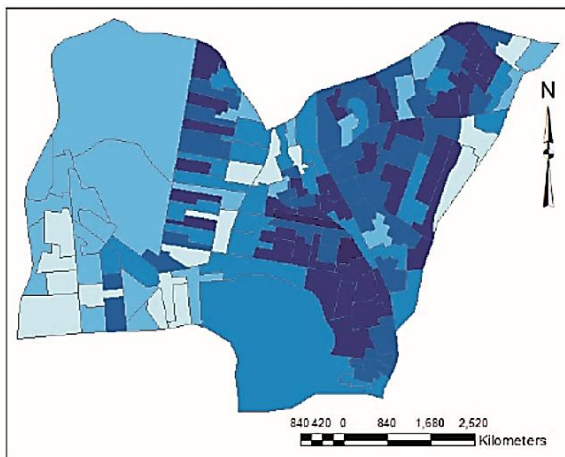
برنامه ویژه عملیات	برنامه سازمان‌های مربوطه در زمان بحران		برای زمان بحران W=۰/۵۰
	W=۰/۵۰	برای همه پهنه‌ها فرض شده ۰/۲۰ است.	
۱/۰۰	دارد	W=۰/۵۰	پایگاه‌های بحران محله‌ای
	ندارد		۰/۲۰

با ایجاد پایگاه‌های بحران محله‌ای در پهنه‌های با ضریب ایمنی کمتر از ۰/۳۵ طبق شکل (۱۰) ضریب ایمنی در اکثر این پهنه‌ها افزایش یافته و در بازه ۰/۴۰-۰/۳۵ قرار گرفته است. بدین ترتیب می‌توان نتیجه گرفت که ظرفیت‌سازی در سطوح محلی با مشارکت مردم تأثیر خوبی در بهبود ایمنی بافت شهری خواهد داشت.

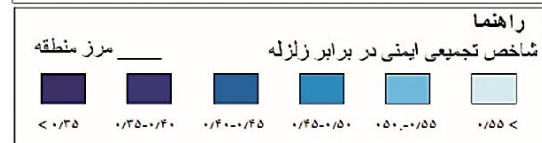
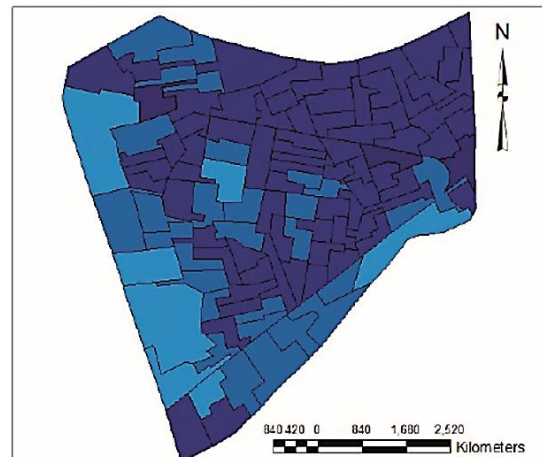
۵-۵- ترکیب مؤلفه‌های امکان پذیر برای بهبود وضعیت

ایمنی بافت شهری

در این بخش ضریب ایمنی پس از حذف تأسیسات خطرناک از مناطق شهری، ایجاد سه فضای باز به مساحت ۳۰۰۰ مترمربع در سطح منطقه، افزودن دو ایستگاه آتش‌نشانی و نیز پایگاه‌های بحران محله‌ای مجدداً مورد بررسی قرار گرفته است. شکل (۱۱)، ضریب ایمنی مناطق ۱۷ و ۳ را پس از ترکیب مؤلفه‌های بهبود دهنده ضریب ایمنی نشان می‌دهد. با مقایسه این شکل با شکل (۶) بخش ۴ مشاهده می‌شود در پهنه‌هایی که هر سه مؤلفه بهبود یافته‌اند ضریب ایمنی از حالت‌های بهبود تک مؤلفه‌ای بیشتر شده است. بدین ترتیب می‌توان توصیه نمود که در مناطق مورد

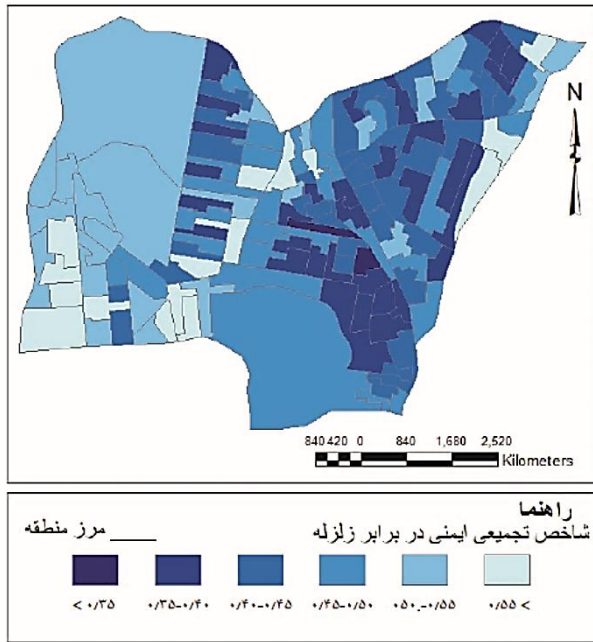


(ب)

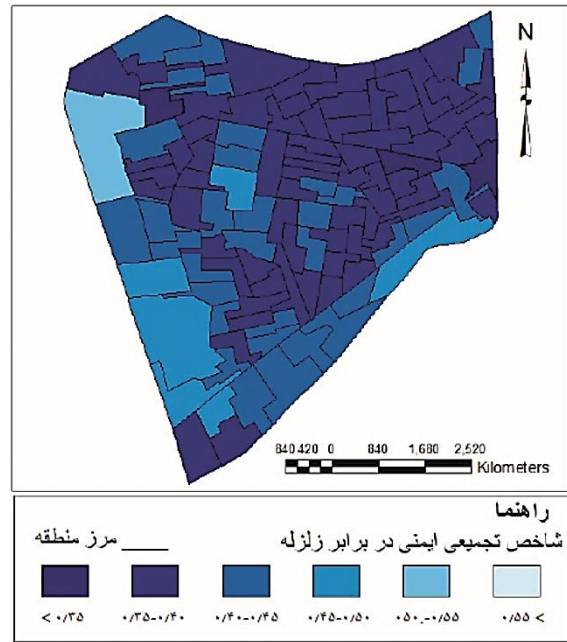


(الف)

شکل (۱۰): شاخص تجمیعی ایمنی در برابر زلزله: (الف) منطقه ۱۷ شهر تهران تحت غسل جنوب ری، (ب) منطقه ۳ شهر تهران تحت سناریوی غسل شمال تهران پس از افزودن دو ایستگاه آتش‌نشانی و پایگاه بحران محله‌ای.



(ب)



(الف)

شکل (۱۱): شاخص تجمیعی ایمنی در برابر زلزله (الف) منطقه ۱۷ شهر تهران تحت گسل جنوب ری، (ب) منطقه ۳ شهر تهران تحت سناریوی گسل شمال تهران حاصل از ترکیب مؤلفه‌های بهبود دهنده ضریب ایمنی.

۳ نیز از لحاظ ایمنی وضعیت نامناسب‌تری نسبت به سایر بخش‌های این منطقه دارد و ضرورت دارد تا با توسعه ظرفیت‌های امدادی چه در ابعاد محلی و چه در ابعاد منطقه‌ای ایمنی این منطقه را ارتقا داد. به عنوان نمونه پهنه‌های ۴۵ و ۵۸ در منطقه ۱۷ و پهنه‌های ۱۲۷ و ۱۲۸ در منطقه ۳ به دلیل ظرفیت پایین مدیریت واکنش اضطراری کمترین مقدار ضریب ایمنی را به خود اختصاص داده‌اند که می‌توان با احداث پایگاه امدادی (نظیر ایستگاه آتش‌نشانی) وضعیت این پهنه‌ها و محدوده هم‌جوار را بهبود بخشید. استفاده از مدل ارائه شده و تعیین ضریب ایمنی ابزار مناسبی را در اختیار مدیران شهری قرار می‌دهد تا بتوانند اثربخشی اقدامات مختلف در راستای کاهش ریسک بافت‌های شهری را سنجش نمایند و اعتبارات موجود را بر اساس اولویت و اثربخشی اقدامات تخصیص دهند.

تشکر و قدردانی

این مقاله برگرفته از بخشی از پایان‌نامه با عنوان «ارزیابی

بررسی با ایجاد ظرفیت‌های پیش‌بینی شده در قسمت‌های فوق، شاخص ایمنی شهر را می‌توان در کوتاه‌مدت و با هزینه‌ای معقول بهبود داد تا آمادگی حداقلی برای مواجهه با رخداد زلزله فراهم شود.

۶- جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

در این مقاله، مدلی جدید برای ارزیابی وضعیت ایمنی بافت‌های شهری با رویکرد توسعه پایگاه‌های امدادی ارائه گردید. این مدل با ترکیب شاخص‌های خطر، آسیب‌پذیری و ظرفیت‌های موجود نشان می‌دهد که وضعیت ایمنی بافت‌های شهری در برابر زلزله چگونه خواهد بود تا بر اساس آن برنامه‌ریزی‌های مرتبط از جمله توسعه ظرفیت‌های امدادی اجرا گردند. با توجه به محاسبات انجام شده، حداکثر مقدار شاخص ایمنی در منطقه ۱۷، بین ۰/۵۰-۰/۴۵ و در منطقه ۳، بیش از ۰/۵۵ می‌باشد و این نشان‌دهنده‌ی وضعیت بهتر منطقه ۳ است. همچنین بخش‌های مرکزی و شمال شرقی منطقه ۱۷ ایمنی کمتری نسبت به سایر بخش‌های منطقه دارند و نیمه غربی منطقه

6. Oklahoma City Fire Department (2006) Fire station location study [report]. Oklahoma.
7. Chevalier, P., Thomas, I., Geraets, D., Goetghebeur, E., Janssens, O., Peeters, D., and Plastria, F. (2007) Locating fire stations in Belgium: An integrated GIS approach. *Proceedings of the 47th Congress of the European Regional Science Association*, Paris.
8. Andersson, T. and Särdaqvist, S. (2007) Planning for effective use of fire and rescue service resources. *Interflam 2007, 11th International Fire Science & Engineering Conference*, London, UK, 1561-1566.
9. Şen, A., Önden, İ., Gökgöza, T., and Şen, C. (2013) A GIS approach to fire station location selection. Retrieved from *www.academ.in.edu* on 2nd March.
10. Iran Standard Institute (2001) *The Location Finding of Urban Fire Stations*. Standard 6430, Tehran.
11. Tehran Urban Research and Planning Center (1999) *Identifying the Situation of Tehran and Other Countries Safety and Fire Services*, report. Tehran.
12. Nazarian, A. and Bebraz, K. (2010) An Assessment of Spatial Distribution and Site Selection for Fire Fighting Stations in Shiraz by Using Gis. *Quarterly Geographical Journal of Chashmandaz-E-Zagros*, **1**(2), 5-19 (in Persian).
13. Ziari, Y.A. and Yazdanpanah S. (2011) Study of locating fire stations using AHP model in GIS environment: case study of Amol city. *Geographical Landscape (Human Studies)*, **6**(14), 15-17.
14. Nourozi, S.A. and Shariati A. R. (2013) Study of Locating Fire Stations using Linear Assignment Method: Case Study Maku City. *Global Journal of Human Social Science Interdisciplinary*, **13**(3), 28-35.
15. Ghanbari, A. and Zolfi, A. (2014) Prioritizing of Urban Region for establishing Fire Stations. *Rescue and Relief Quarterly*, **6**(1), 79-92 (in Persian).
16. Govahi, N., Delavar, M.R., Zare, M., and Shiran, Gh.R. (2010) *Assessment of Effective Elements in*

راهکارهای بهبود ظرفیت‌های جستجو و نجات در شهرهای لرزه‌خیز بر اساس شاخص‌های کالبدی و اجتماعی و اقتصادی»
 کارشناسی ارشد نویسنده اول به راهنمایی و مشاوره نویسندگان دوم و سوم است که در رشته مهندسی عمران- مهندسی زلزله گرایش مدیریت بحران و خطرپذیری در پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله تهیه شده است [۲۹]. از حمایت‌های مالی و فنی پژوهشگاه در راستای انجام این طرح تشکر و قدردانی می‌گردد.

مراجع

1. Hessami, K., Jamali, F., and Tabassi, H. (2003) *Active Fault Maps of Iran*. Seismotectonic Dept., Seismology Research Center, IIEES, Iran.
2. Hajibabae, M., Amini-Hosseini, K., and Ghayamghamian, M.R. (2014) Earthquake risk assessment in urban fabrics based on physical, socioeconomic and response capacity parameters (a case study: Tehran city). *Natural Hazards*, **74**(3), 2229-2250.
3. Omidvar, B., Ganjehi, S., Norouzi Khatiri, Kh., and Mozafari, A. (2012) The role of urban transportation routes in earthquake risk reduction management of metropolitans. Case study: District 20 of Tehran. *International Conference "Urban Change in Iran"*, University College.
4. Ganjehi, S., Omidvar, B., Malekmohammadi, B., and Norouzi Khatire K. (2012) Importance of emergency evacuation routes and disasters areas to the location of temporary sheltering from views of crisis management. *Proceeding of 2nd Conference on Crisis Management in the Construction Industry, Lifelines and Underground Structures*, Isfahan (in Persian).
5. Amini-Hosseini, K., Tasnimi, A.A., Ghayamghamian, M.R., Haghshenas, E., Mahdaviifar, M.R., and Mohammadi, M. (2009a) *Local Disaster Management Assessment and Implementation Strategy*. The World Bank Project, 4697-IRN (in Persian).

26. Ghayamghamian, M.R., Mansouri, B., Amini-Hosseini, K., Tasnimi, A.A., and Govahi, N. (2011) *Development of Fragility and Fatality Functions as well as Site Amplification Factors in Tehran*. Tehran Disaster Mitigation and Management Organization.
27. Mansouri, B., Ghayamghamian, M.R., Amini-Hosseini, K., and Govahi, N. (2011) *Human Casualty Model for Tehran*. International Institute of Earthquake Engineering and Seismology (in Persian).
28. Taghvaei, M. and Zakeri, E. (2013) Space distribution of hospitalization and clinical services using GIS and topsis model: Case study of Esfahan. *Management of Health Information*, **10**(4).
29. Robat Mili, R. (2015) *Evaluating Strategies to Improve Search and Rescue Capacity in Seismic Prone Urban Fabrics Based on the Physical, Social and Economic Index*. M.Sc. Thesis, International Institute of Earthquake Engineering and Seismology, Tehran, Iran.
17. Ganjeji, S., Omidvar, B., Malek Mohammadi, B., and Noruzi Khatiri, Kh. (2014) Analysing safety parameters in choosing optimal pathes of rescue and relief. *Quarterly Rescue and Relief*, **6**(1), 15-30 (in Persian).
18. Scawthorn, C. (1997) 'Fires following the Northridge and Kobe earthquake'. In: *U.S./Japan Government Cooperative Program on Natural Resources (UJNR). Fire Research and Safety*. 13th Joint Panel Meeting, Volume 2. March 13-20, 1996, Gaithersburg, MD, Beall, K.A., Editor(s), 325-335.
19. Wachtendorf, T. (2001) *Building Community Partnerships Toward a National Mitigation Effort: Inter-Organizational Collaboration in the Project Impact Initiative*. Disaster Research Center, University of Newark, Delaware, presented in the US/Japan Cooperative Research for Urban Earthquake Disaster Mitigation, Kobe, Japan.
20. Nurani Dunia Foundation (2005) Tsunami Disaster Relief and Rehabilitation Plan for Ace and North Sumatra, Indonesia.
21. EMA (1992) *Community Emergency Planning Guide*. Australia.

واژه‌نامه

- 1- شاخص تجمیعی ایمنی Integrated Earthquake Safety Index
در برابر زلزله
- 2- آژانس ملی حفاظت در برابر آتش National Fire Protection Agency
- 3- کمیسیون بین‌المللی اعتباربخشی آتش Commission on Fire Accreditation International
- 4- اداره ایمنی و بهداشت حرفه‌ای Occupational Safety and Health Administration
- 5- توسط انجمن ملی فناوری زلزله National Society for Earthquake Technology
- 6- آژانس فدرال مدیریت بحران در آمریکا Federal Emergency Management Agency (FEMA)
- 7- پروژه تأثیر Impact Project
- 8- مکان‌های تخلیه محلی در پهنه‌های شهری Community Evacuation Places

22. Hajibabae, M., Amini-Hosseini, K., and Ghayamghamian, M.R. (2014) A new model for assessing the seismic risk of urban fabrics in Iran. *J. Seismology Earthquake Eng. (JSEE)*, **15**(1), 47-68.
23. Saaty, T.L. (1980) *The Analytic Hierarchy Process (AHP)*. Mc Graw Hill International.
24. Japan International Cooperation Agency and Tehran Disaster Mitigation and Management Center (2004) *The Comprehensive Master Plan Study on Urban Seismic Disaster Prevention and Management for the Greater Tehran Area in the Islamic Republic of Iran*, GE, JR, 04-039.
25. Hosseini, M. and Fathi H. (2007) On the relationship of urban and regional planning with earthquake risk management Tehran case study. *Proceedings of the 5th Int'l Conference on Seismology and Earthquake Eng. (SEE-5)*, IIEES, Tehran, Iran, 13-16.

Integrated Earthquake Safety Index	۹- شاخص تجمیعی ایمنی در برابر زلزله
Response Capacities	۱۰- ظرفیت‌های موجود
Unpreparedness Index	۱۱- شاخص عدم آمادگی
Coverage Radius Index (CRI)	۱۲- اندیس شعاع پوشش دهی
Rescue and Research Resources Index	۱۳- شاخص تأمین منابع کلی

A New Model for Improving Safety Level of Urban Fabrics to Earthquakes by Locating Search and Rescue Bases

Robabeh Robot Mili¹, Kamabod Amini Hosseini^{2*}, Yasamin O. Izadkhah³,

1. M.Sc. Graduate of Earthquake Risk Management, IIEES

2. Associate Professor and Director of Risk Management Research Center, IIEES,

*Corresponding Author, email: kamini@iiees.ac.ir

3. Associate Professor, Risk Management Research Center, IIEES

Urban fabrics in developing countries are growing rapidly, without sufficient attention to sustainable development criteria. Nowadays, there are many big cities that accommodate millions of residents, while most of them are exposed to natural hazards. Accordingly, the growth rate of big cities has been considerable in Iran especially during the last decades. More than 70 percentages of population are now living in urban areas, while 60 years ago this proportion was vice versa. This has caused further exposure of human lives to natural disasters, including strong earthquakes. Therefore, in the occurrence of an earthquake in such fabrics, heavy destruction and considerable socio-economic consequences can be expectable .

In order to reduce the potential impacts of earthquakes in such cities, different measures could be taken into account to mitigate vulnerability and increase coping capacities. However, due to the shortages of technical and financial resources, especially in developing countries like Iran, priority activities should be selected based on the acceptable risk level and available capacities to determine the most feasible and effective interventions in different urban zones. Therefore, it is necessary to develop appropriate methodologies to be used for prioritization of applicable risk reduction and disaster management measures .

In this paper, a new approach is developed to assess the existing earthquake risk in urban fabrics. For this purpose, different physical as well as socio-economic parameters affecting the safety level of urban areas have been identified and classified to understand their impacts on earthquake risk level. The parameters in the model and their weights have been determined based on expert judgments, using AHP (Analytic Hierarchy Process). For this purpose, a questionnaire based survey has been implemented through city managers, engineers, planners and disaster management experts. According to the results of the survey, most important parameters and indicators have been selected and weighted. Additionally, the effects of different measures on improving response capacities and the efficiency of other applicable interventions on risk level have been evaluated .

By applying this model, the effectiveness of developing community-based activities as well as the establishment of additional search and rescue bases for risk reduction have been evaluated and compared. The results revealed that besides the importance of capacity building in relevant search, rescue and relief organizations (such as fire-fighting stations or medical care centers), promoting public participation in disaster risk management activities can also be considered as an important priority in short-term planning to reduce earthquake risk and to improve response capacity .

The proposed methodology can be applied for prioritizing risk reduction and management measures in any places based on local conditions, if the relevant parameters could be estimated locally. By using this decision support measure, the local managers might be able to evaluate the effectiveness of any different interventions on risk and safety level of urban fabrics, before approving intervention plans. This can help them to allocate the limited available budget to the most critical projects.

Keywords: Tehran, Rescue and Relief Bases, Vulnerability, Earthquake, Disaster Management.