تاریخ دریافت: ۹۵/۱۲/۱۰
تاریخ پذیرش: ۹۶/۰۵/۲۳

ارائه مدلی به‌منظور 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

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[1] (IESI) معرفی‌شده 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 افزاینده 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 ارائه‌شده 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 کوتاه‌مدت برای آنها وجود داشته، بهبود داده شده‌اند و شاخص ایمنی در برابر زلزله مجدداً محاسبه و مکان‌یابی پایگاه‌ها انجام گرفته است.

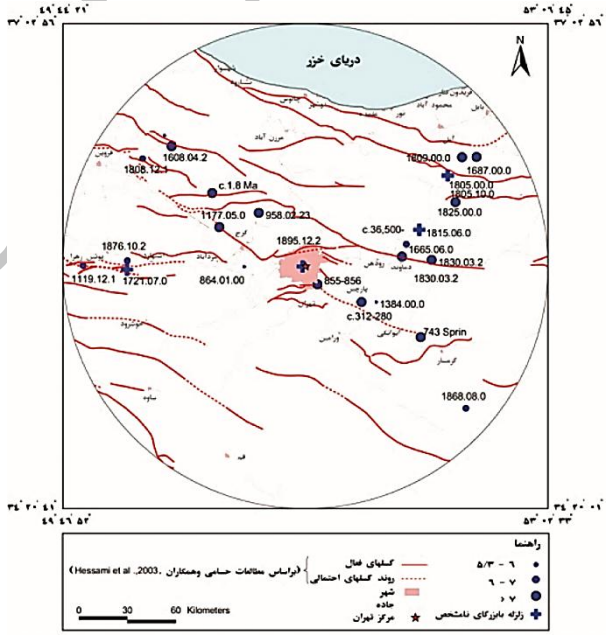
واژگان کلیدی: تهران، پایگاه‌های جستجو و نجات، آسیب‌پذیری، زلزله، مدیریت بحران.

۱- مقدمه

مدیریت و برنامه‌ریزی شهری ابزار مناسبی جهت پاسخگویی به چالش‌های جامعه شهری به‌خصوص پیشگیری از وقوع بحران به‌حساب 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 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 احاطه‌شده (شکل ۱) و درگذشته زلزله‌های

www.SID.ir

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، غیر مقاوم بودن بخش زیادی از شبکه شریان‌های حیاتی، عدم کفایت زیرساخت‌های لازم برای واکنش اضطراری و دیگر موارد از این قبیل هرکدام 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 به‌موقع 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 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 می باشند که بهتر است متناسب با ارزیابی آسیب‌پذیری مستحدثات 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 امدادرسانی 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 بخش های توسعه طرح های امداد و نجات در مناطق شهری در فاز پیش از وقوع زلزله می‌باشند که باید متناسب با شرایط کالبدی، اجتماعی و اقتصادی بافت های شهری مطالعه و اجرایی گردند [۳-۴].

تاکنون مطالعات زیادی برای مکان یابی 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 آگاهی‌بخشی به مدیران و نهادهای ذی‌ربط در پی داشته، لکن همواره نواقصی از قبیل فقدان جامعیت در به کارگیری شاخص ها، فقدان ارائه روش برای ارزیابی کمّی شاخص ها 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 شاخص های مرتبط با خطر، آسیب‌پذیری و ظرفیت‌های موجود و ترکیب آنها ارائه گردیده است. در مدل

Archive of SID

www.SID.ir

ارائه‌شده، این مقادیر مطلق و مؤلفه‌های مرتبط در پهنه‌های آماری محدوده مورد مطالعه محاسبه می‌شود. بدین‌منظور، در ابتدا داده‌های مرتبط با هر مؤلفه جمع‌آوری می‌شود و سپس با توجه به مدل ارائه شده مقادیر مؤلفه‌های مدل برای هریک 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 از GIS و دسته‌بندی ریسک به دو دسته ریسک‌های دوره‌ای و ریسک‌های نادر به مکان‌یابی ایستگاه‌های آتش‌نشانی پرداختند. آنها با در نظرگیری فاکتورهایی همچون هزینه‌های تأسیس ایستگاه با هدف جانمایی ایستگاه و سطح پاسخ‌دهی ایستگاه‌های موجود یک مدل ریاضی تهیه کردند. آندرسون و سارکویست [۸] با در نظرگرفتن 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 به‌صورت 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 برنامه ریزی شهر تهران در تیر ماه سال ۱۳۷۸ با تهیه گزارشی شامل دو بخش که بخش اول «شناخت وضع موجود خدمات ایمنی و آنش نشانی» و بخش دوم «استانداردها و مباحث تئوریک» می‌باشد، به بررسی

Archive of SID

www.SID.ir

وضعیت ایستگاه های آتش‌نشانی شهر تهران پرداخته است [۱۱]. از جمله دیگر تحقیقات انجام شده در این راستا، می‌توان به مطالعات نظریان و ببراز [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 پایگاه های 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.

به‌جز 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 ظرفیت های 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 سلسله مراتبی (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 به‌وقوع پیوسته در یک یا دو دهه اخیر نظیر زمین‌لرزه نورثریج آمریکا در سال ۱۹۹۴ و زمین لرزه 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 به‌تنهایی قادر به انجام عملیات نجات و امدادرسانی 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 سازمان های 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 به‌اختصار «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

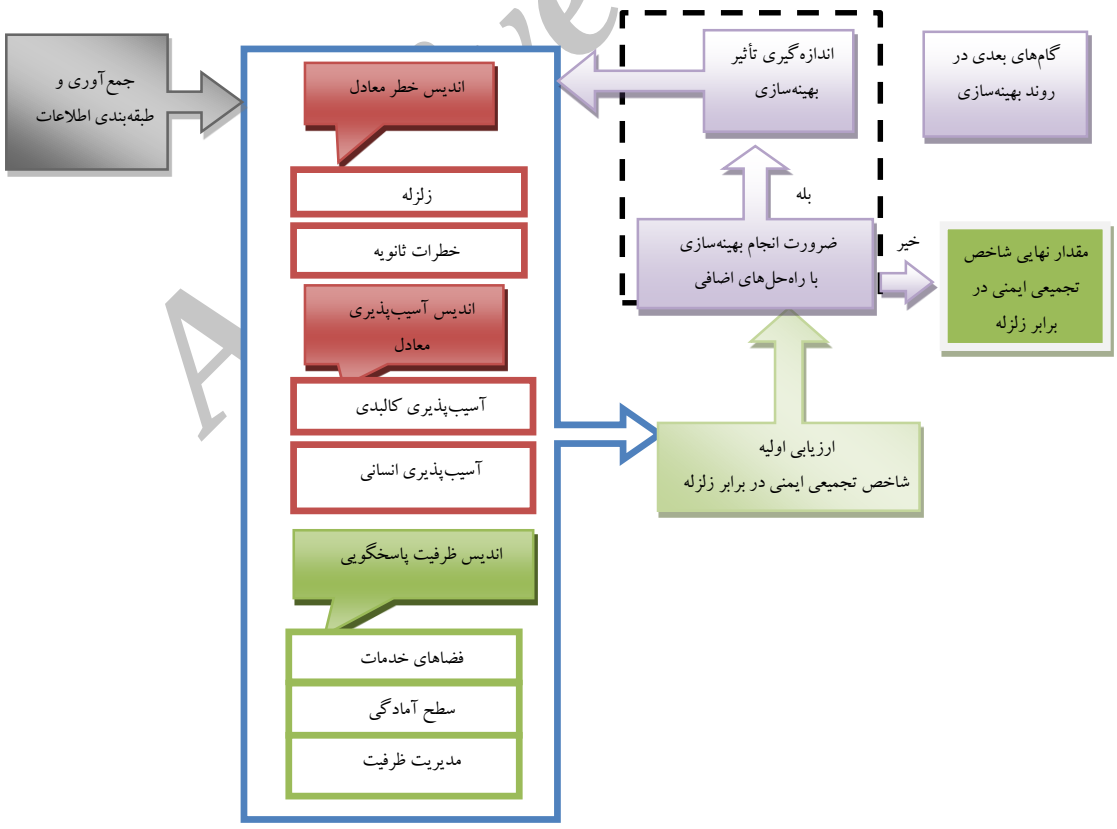
Archive of SID

www.SID.ir

کاهش سطح خطرپذیری در سطح محلات و توسعه راهبردهای مشارکتی که به عموم مردم در جهت کاهش خسارات سوانح آموزش داده می شد [۱۹]. در همین راستا فعالیت های دیگری نیز در کشورهایی 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 منطقه‌ی مورد بررسی، بر اساس اطلاعات موجود محاسبه می شود. در شکل (۲)، نمودار عملیاتی روند ارزیابی ایمنی در برابر زلزله توسط روش پیشنهادی نشان داده شده است. برای انجام تحلیل فوق، ابتدا خطرات مرتبط با زلزله از قبیل جنبش زمین، روانگرایی، گسلش سطحی، زمین‌لغزش، فرونشست و خطرات ثانویه نظیر آتش‌سوزی و نشت مواد خطرناک بررسی شده و مقادیر پارامترهای آنها برآورد می شوند. با استفاده از نتایج این مرحله «فاکتور خطر معادل» که معرف ترکیب خاصی از پارامترهای خطر زلزله می باشد، محاسبه می شوند. در مرحله بعد، آسیب‌پذیری المان‌های مختلف شهری نظیر ساختمان‌ها، راه‌ها، شریان‌های حیاتی و همین‌طور آسیب‌پذیری مناطق شهری در جنبه‌های انسانی بررسی شده و شاخص‌های مربوط به آنها ارزیابی می گردند و «شاخص آسیب‌پذیری معادل» محاسبه می شود. سپس مؤلفه‌های دخیل در کاهش بحران و افزایش توان واکنش اضطراری نیز در چارچوب شاخص ظرفیت‌های موجود مورد ارزیابی قرار می گیرند. در نهایت با ترکیب شاخص‌های به‌دست‌آمده برای خطر، آسیب‌پذیری و ظرفیت‌های موجود،



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

Archive of SID

www.SID.ir

شاخص ایمنی در برابر زلزله به‌صورت 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 می تواند 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، زمین‌لغزش، فرونشست و خطرات ثانویه نظیر آتش‌سوزی و نشت 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. به‌عنوان‌مثال گسلش سطحی و فرونشست زمین، جز در موارد خاص، اثرات کمی بر خرابی کلی ساختمان‌ها و تلفات انسانی دارند درحالی‌که می‌توانند اختلالات شدیدی در شبکه شریان‌های حیاتی ایجاد نمایند [۲۲]. در این تحقیق اثرات این مخاطرات به طور جداگانه در چارچوب فاکتورهای خطر زلزله در نظر گرفته می شود. 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 می شود، سه گروه دیگر از مخاطرات مربوط به زلزله که احتمال وقوع آنها در اثر جنبش زمین وجود دارد نیز در این مطالعه بررسی شده است. جدول (۱)، مؤلفه های شاخص خطر و ضرایب وزنی مرتبط با آنها را نشان می دهد. تعیین ضرایب وزنی در مدل بر اساس نظر کارشناسان و صاحب‌نظران 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 زمین‌شناختی معرفی شده‌اند.

جدول (۱): مؤلفه‌های شاخص خطر.

شاخص مدل	مؤلفه‌ها		ضرایب وزنی (w)
خطر	زلزله W= 0.8	جنبش شدید زمین (PGA)	W= 0.75
		مخاطرات زمین‌شناختی ناشی از زلزله	W= 0.25
	مخاطرات ثانویه W= 0.2	آتش‌سوزی	W= 0.65
		تأسیسات خطرناک و قابل‌انفجار	W=0.35

W= Weight

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

Archive of SID

www.SID.ir

۳-۲- مؤلفه‌های شاخص آسیب‌پذیری

آسیب‌پذیری المان‌های شهری به‌صورت 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 کمّی 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 آسیب پذیری و مؤلفه‌های ارائه شده در تحقیق حاضر برای ارزیابی کمّی هریک 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. به‌منظور کاهش و جلوگیری 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 آسیب‌پذیری 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، به‌عنوان‌مثال، 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 امدادرسان نمی‌توانند خود را به‌موقع 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 آب‌وفاضلاب و شبکه گاز که تأثیرات بیشتری بر عملکرد اقدامات امدادی دارند، بررسی شده است.

یکی از مهم‌ترین شاخص‌های تأثیرگذار در ارزیابی

جدول (۲): مؤلفه‌های شاخص آسیب‌پذیری.

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

Archive of SID

www.SID.ir

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 به‌منظور ارزیابی آسیب‌پذیری انسانی دو 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 نظرسنجی از متخصصان امر و انجام تحلیل سلسله مراتبی AHP تعیین شده است.

۳-۳- مؤلفه‌های شاخص وضعیت ظرفیت‌های موجود

ظرفیت های 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 به‌کار گرفته می‌شوند. این شاخص دربردارنده عوامل مؤثر در کاهش بحران زلزله از طریق آمادگی، واکنش اضطراری و فعالیت‌های مربوط به بازسازی در کوتاه‌مدت 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 پس‌ازآن در منطقه شهری مورد توجه قرار می گیرد. 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 وزنی این سه شاخص، شاخص ظرفیت‌های موجود حاصل می‌شود.

وجود فضاهای مناسب برای تخلیه امن و نیز راه‌های دسترسی به مناطق آسیب‌دیده که از عرض کافی برخوردار باشند می توانند 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 پارک های 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 محیط های 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.

جدول (۳): مؤلفه‌های شاخص وضعیت ظرفیت‌های موجود.

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

Archive of SID

www.SID.ir

وجود برنامه مناسب و تمرین شده، تأثیر قابل توجهی در خدمات‌رسانی مراکز ذی‌ربط به هنگام بحران دارد. این معیار بیانگر ظرفیت های 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 ظرفیت های موجود از روش ترکیب وزنی مؤلفه ها طبق رابطه (۱) استفاده می شود. هریک از مؤلفه‌ها با توجه به میزان اهمیت و نحوه مشارکت آنها در ارزیابی شاخص اصلی وزن‌دهی می‌شوند. ضرایب وزنی با بهره گیری از نظر کارشناسان و صاحب‌نظران و با استفاده از روش AHP [۲۳] تعیین شده است.

$$I_j = \sum_{k=1}^{k=n} w_{k_j} \times \text{indicator value}(k_j) \qquad (۱)$$

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

در این رابطه، بیانگر شاخص مورد ارزیابی خطر یا آسیب پذیری یا ظرفیت های موجود می باشد. پارامتر n تعداد مؤلفه های هریک از شاخص‌ها را نشان می‌دهد و w بیانگر وزن هر مؤلفه در ارزیابی شاخص اصلی می باشد. جمع مقادیر وزنی در ارزیابی برابر ۱ است.

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

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

$$IESI = \frac{R_c}{1+H\times V} \qquad (۲)$$

در این رابطه شاخص تجمیعی ایمنی در برابر زلزله (IESI) که در محدوده صفر تا یک قرار دارد، از تقسیم شاخص وضعیت ظرفیت های موجود[۱۰] (R_c) بر حاصل جمع عدد ۱ با ریسک پهنه مورد نظر که از حاصل‌ضرب شاخص خطر معادل (H) در آسیب‌پذیری معادل (V) به دست می آید، طبق رابطه (۲) برآورد می گردد. 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 می توان 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 پایگاه های 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 گسل های 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 گسل های 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 می رسد، 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 پراهمیت ترین گسل برای مناطق جنوبی تهران از جمله منطقه ۱۷ و گسل شمال تهران

Archive of SID

www.SID.ir

جدول (۴): پارامترهای مدل گسل‌های 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 عقربه‌های ساعت) (درجه)		۲۶۳	۲۶۳	۲۸۳
زاویه شیب (درجه)		۷۵	۷۵	۷۵
ژرفای لبه پایینی (کیلومتر)		۵	۰	۰

پراهمیت‌ترین گسل برای مناطق شمالی تهران از جمله منطقه ۳ معرفی می شود. ازآنجاکه در این تحقیق هدف برآورد بدترین وضعیت برای دو منطقه ۱۷ و ۳ شهر تهران می باشد، بنابراین، به‌منظور برآورد شاخص‌ها و مؤلفه‌های 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 مؤلفه‌های مربوط به هر شاخص می‌بایست به‌صورت وزنی ترکیب شوند. محاسبه هریک از مؤلفه‌ها مطابق جدول (۵) صورت می‌پذیرد. 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 ارزیابی خسارات ساختمان ها استفاده شده است که در بخش آسیب‌پذیری توضیح داده خواهد شد.

با توجه به اینکه گسلش سطحی، فرونشست زمین و روانگرایی به‌واسطه‌ی ایجاد جابه‌جایی باعث آسیب المان‌های شهری می گردند، در این مقاله در یک گروه مجزا با عنوان مخاطرات زمین‌شناختی معرفی شده‌اند. به‌منظور ارزیابی این شاخص از نقشه برآورد خطر لرزه‌ای و گسلش سطحی و نقشه خطرات زمین‌لغزش در محدوده شهر استفاده شده است [۲۵].

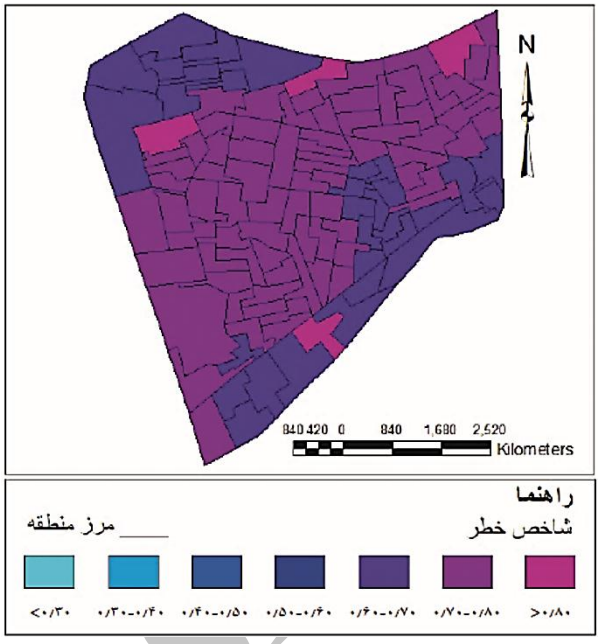
شکل (۳) اندیس خطر در مناطق ۱۷ و ۳ شهر تهران را نشان می‌دهد که از ترکیب وزنی مؤلفه‌های خطر حاصل شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، مقادیر حداکثر اندیس خطر در منطقه ۳ شهر تهران از کمترین مقدار این اندیس در منطقه ۱۷ شهر تهران بیشتر است و این نشان‌دهنده‌ی خطرناک‌تر بودن وضعیت منطقه ۱۷ شهر تهران می‌باشد.

جدول (۵): روش ارزیابی کمّی مؤلفه‌های شاخص خطر زلزله و مخاطرات ثانویه.

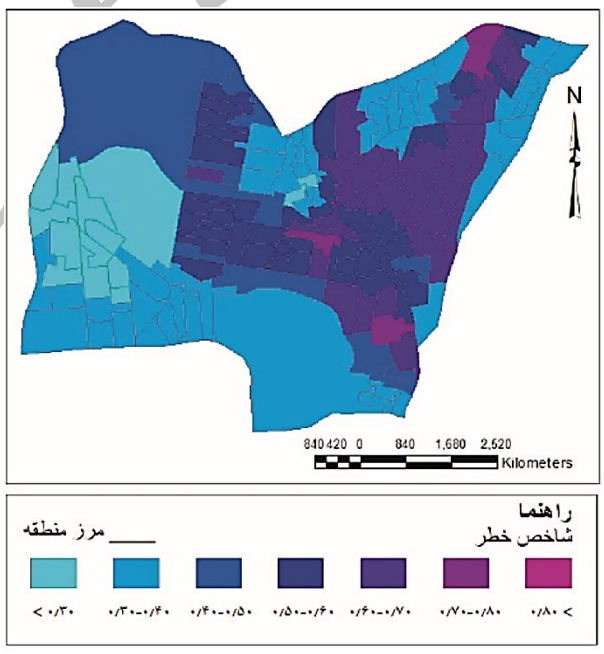
جدول اندیس	۰/۲	۰/۴	۰/۶	۰/۸	۱	روش ارزیابی کمی
جنبش شدید زمین (gal)	۳۱۰-۲۵۰	۳۷۰-۳۱۰	۴۳۰-۳۷۰	۴۹۰-۴۳۰	۵۵۰-۴۹۰	PGA هر پهنه
مخاطرات زمین‌شناختی ناشی از زلزله	بدون مخاطرات	کم	متوسط	زیاد	خیلی زیاد	نقشه‌های گسلش سطحی و زمین‌لغزش تهران
آتش‌سوزی	٪ ۶۶-۶۰	٪ ۷۲-۶۶	٪ ۷۸-۷۲	٪ ۸۴-۷۸	بیش از ٪ ۸۴	-
تأسیسات خطرناک و قابل‌انفجار	بدون تأسیسات خطرزا	۲-۱ عدد	۵-۳ عدد	۹-۶ عدد	بیشتر از ۹ عدد	تعداد مراکز و تأسیسات خطرزا مثل پمپ‌بنزین و گاز و انبارهای مواد شیمیایی

Archive of SID

www.SID.ir



(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

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

صدمات جانی با استفاده از نتایج برآورد خرابی ساختمان‌ها و روش ارائه شده توسط منصوری و همکاران [۲۷] در سه سطح تلفات، آسیب‌دیدگی 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 سازه ای در هر واحد جغرافیایی نشان می‌دهند.

$$\begin{bmatrix} \text{No_of_Dead} \\ \text{No_of_Injured} \\ \text{No_of_Uninjured} \end{bmatrix} = \left(\frac{\text{No_of_Population}}{\text{No_of_Building}}\right) \begin{bmatrix} 0 & 0.01 & 0.3 \\ 0 & 0.03 & 0.150 \\ 1 & 0.96 & 0.549 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \text{No_of_IntactBuilding} \\ \text{No_of_DamagedBuilding} \\ \text{No_of_DestroyedBuilding} \end{bmatrix} \quad (۳)$$

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

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 کمّی هریک از مؤلفه‌های آسیب‌پذیری را نشان می‌دهد.

Archive of SID

www.SID.ir

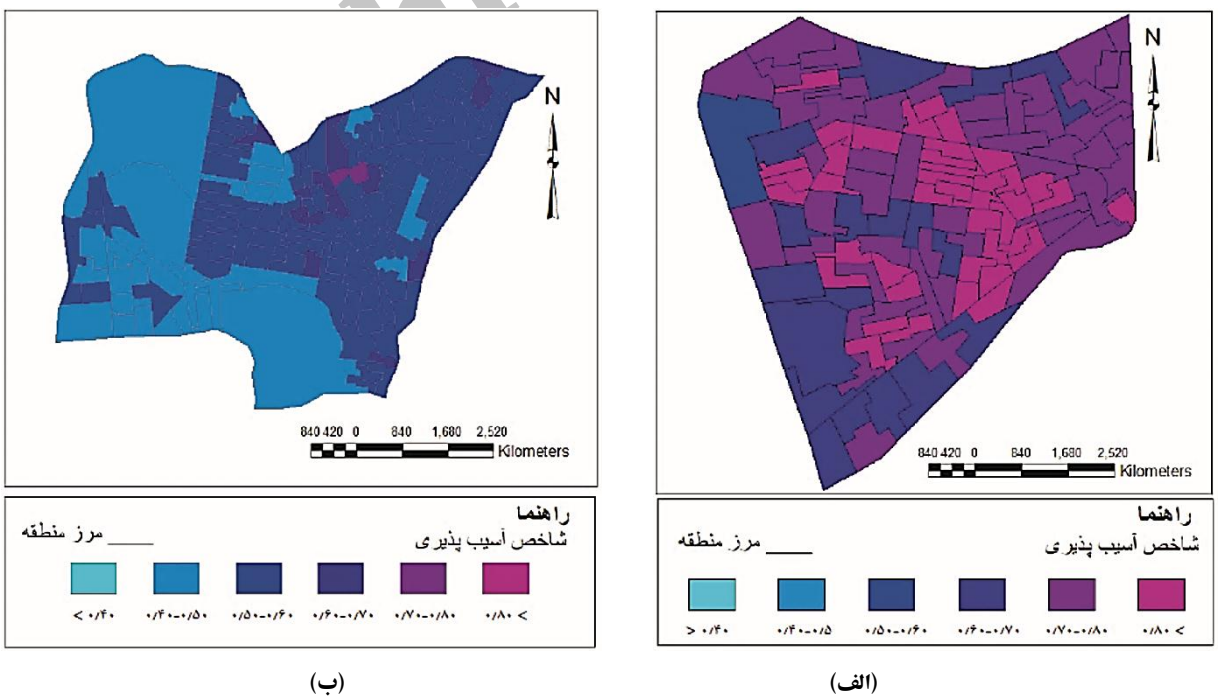
جدول (۶): روش ارزیابی کمّی مؤلفه‌های شاخص آسیب‌پذیری فیزیکی و انسانی.

اندیس	۰/۲	۰/۴	۰/۶	۰/۸	۱	روش ارزیابی کمی
تراکم ساختمان‌ها	کمتر از ٪۲۰	٪۴۰–۲۰	٪۶۰–۴۰	٪۸۰–۶۰	بیش از ٪۸۰	بر اساس تراکم ساختمان (تعداد ساختمان بر هکتار) هر پهنه
خرابی سنگین	٪۳۵–۲۰	٪۵۰–۳۵	٪۶۵–۵۰	٪۸۰–۶۵	٪۹۵–۸۰	درصد ساختمان‌های با سطح خرابی سنگین به کل ساختمان‌ها
خرابی متوسط	کمتر از ٪۱۰	٪۲۰–۱۰	٪۳۰–۲۰	٪۴۰–۳۰	بیش از ٪۴۰	درصد ساختمان‌های با سطح خرابی متوسط به کل ساختمان‌ها
خرابی سبک	کمتر از ٪۵	٪۱۰–۵	٪۱۵–۱۰	٪۲۰–۱۵	بیش از ٪۲۰	درصد ساختمان‌های با سطح خرابی سبک به کل ساختمان‌ها
شبکه آب‌وفاضلاب (نقطه)	کمتر از ۱۰۰	۲۰۰–۱۰۰	۳۰۰–۲۰۰	۴۰۰–۳۰۰	بیش از ۴۰۰	تعداد نقاط شکست لوله‌های آب
شبکه گاز (نقطه)	کمتر از ۱۰	۲۰–۱۰	۳۰–۲۰	۴۰–۳۰	بیشتر از ۴۰	تعداد نقاط شکست لوله‌های گاز
مشخصات جمعیت	کمتر از ۱۵۰	۳۰۰–۱۵۰	۴۵۰–۳۰۰	۶۰۰–۴۵۰	۸۵۰–۶۰۰	تراکم جمعیت (جمعیت بر هکتار) هر پهنه
تعداد تلفات ناشی از زلزله	٪۴–۰	٪۸–۴	٪۱۲–۸	٪۱۶–۱۲	٪۲۰–۱۶	درصد تلفات بر کل جمعیت در هر پهنه
تعداد مصدومان زلزله	٪۳–۰	٪۶–۳	٪۹–۶	٪۱۲–۹	بیش از ٪۱۲	درصد مصدومان بر کل جمعیت در هر پهنه
مصدومان سرپایی	کمتر از ٪۱۵	٪۲۰–۱۵	٪۲۵–۲۰	٪۳۰–۲۵	بیش از ٪۳۰	درصد افراد با آسیب‌دیدگی کم ناشی از زلزله

شکل (۴)، شاخص آسیب پذیری 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 نشان‌دهنده‌ی آسیب‌پذیرتر بودن این منطقه و نیاز بیشتر آن به خدمات امداد و نجات می‌باشد.

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

ظرفیت های 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 الف) منطقه ۱۷ شهر تهران تحت سناریو گسل جنوب ری، ب) منطقه ۳ شهر تهران تحت سناریو گسل شمال تهران.

www.SID.ir

بحران زلزله در محیط شهری به‌کار گرفته می‌شوند. در جدول (۷)، روش ارزیابی هریک از مؤلفه‌های شاخص وضعیت ظرفیت‌های موجود و روش ارزیابی کمّی 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 پناه‌جویان در سطح محلی مورد توجه قرار داده شده است. به‌منظور 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 قرارگرفته است. به این منظور طول راه‌های درون‌شهری با عرض کمتر از ۹ متر به طول تمام معابر درون شهری محدوده مورد مطالعه تقسیم شده است. به نظر می‌رسد که معابر با عرض کمتر از ۹ متر به‌دلیل 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 به‌عنوان پارامتر آسیب‌پذیری جسمی افراد در نظر گرفته می‌شود.

$$UPI=Pp\times Agw\times Inf \qquad (۵)$$

در این رابطه، شاخص عدم آمادگی[11] (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) به‌صورت نرمال‌شده بیانگر نسبت جمعیت هر پهنه آماری به جمعیت کل منطقه‌ی مورد مطالعه می‌باشد. همچنین به‌منظور ارزیابی مؤلفه تأمین منابع برای هر یک از مراکز آتش نشانی، 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 پوشش دهی از هر مرکز اشاره شده قرار می‌گیرد، ضریب CRI[12] را با توجه به جدول (۸) به خود اختصاص می‌دهد.

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

اندیس	۰/۲	۰/۴	۰/۶	۰/۸	۱	روش ارزیابی کمّی
فضاهای باز	کمتر از ۱/۵	۲/۰–۱/۵	۲/۵–۲/۰	۳/۰–۲/۵	بیشتر از ۳/۰	بر اساس فضای باز محله‌ای (۳ مترمربع برای هر نفر)
دسترسی‌ها	٪۱۰۰–۸۰	٪۸۰–۶۰	٪۶۰–۴۰	٪۴۰–۲۰	٪۲۰–۰	بر اساس طول راه‌های زیر ۹ متر به طول کل راه‌ها
آمادگی و آگاهی مردم	بیشتر از ٪۲۵	٪۲۵–۲۰	٪۲۰–۱۵	٪۱۵–۱۰	٪۱۰–۵	بر اساس درصد افراد زیر ۵ سال و بالای ۶۵ سال هر پهنه
تأمین منابع	۰/۱–۰	۰/۲–۰/۱	۰/۳–۰/۲	۰/۴–۰/۳	۰/۵–۰/۴	(به شرح مندرج در متن)

Archive of SID

www.SID.ir

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 به‌تدریج افزایش‌یافته 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.

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

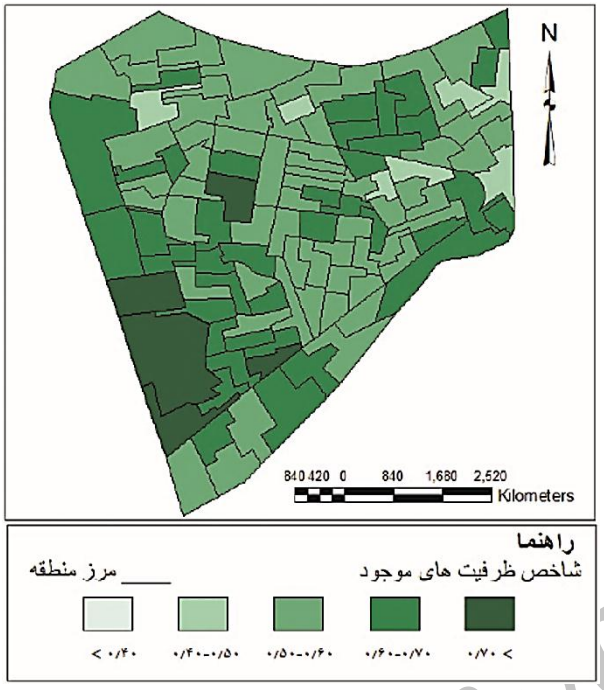
در نهایت هر یک از این مراکز با توجه به درجه اهمیت آنها و طبق نظرات کارشناسان وزنی را مطابق جدول (۹) به خود اختصاص داده و شاخص تأمین منابع کلی[۱۳] (RRRI) طبق رابطه (۶) از ترکیب وزنی مؤلفه هر یک از مراکز با یکدیگر حاصل می‌شود.

$$RRRI = \sum_{i=1}^{3} w_i \times CRI_i \qquad (۶)$$

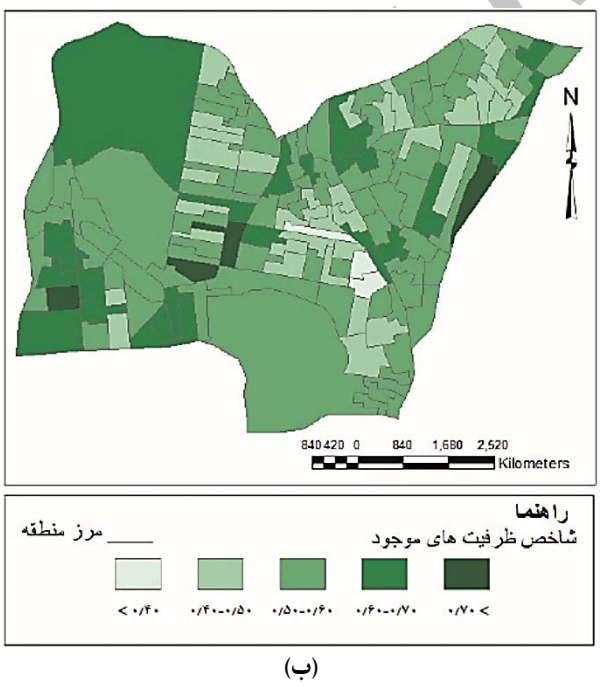
جدول(۹): وزن‌دهی به هریک از مراکز خدمات‌رسانی.

مراکز پلیس و کنترل ترافیک	مراکز آتش‌نشانی	بیمارستان‌ها	مرکز 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 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.



(الف)



(ب)

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

Archive of SID

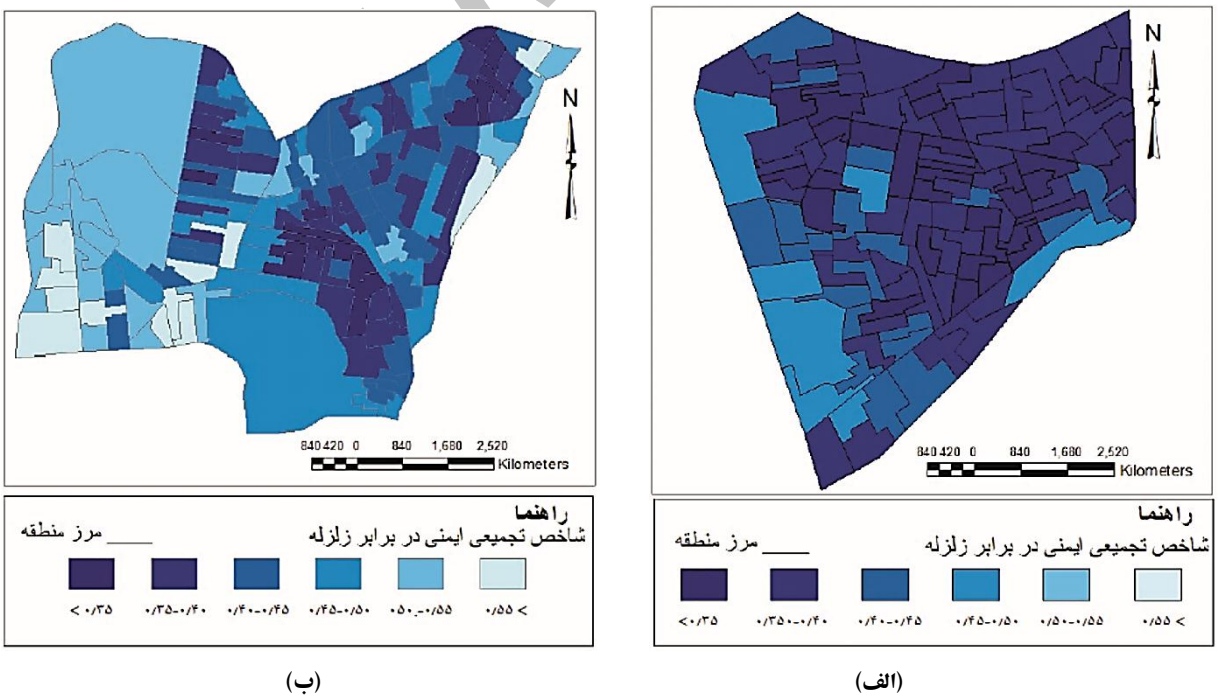
www.SID.ir

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 به‌علاوه حاصل‌ضرب 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 ۰/۵۰ — ۰/۴۵ و در منطقه ۳، بیش از ۰/۵۵ می‌باشد و این نشان‌دهنده‌ی وضعیت بهتر منطقه ۳ است. همچنین مطابق شکل (۶) بخش‌های مرکزی و شمال شرقی منطقه ۱۷ ایمنی کمتری 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

به‌منظور 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. به‌عنوان‌مثال، مؤلفه‌هایی همچون جنبش شدید زمین (PGA) و مخاطرات زمین‌شناختی خارج از دست بشر می‌باشد اما می‌توان ساخت‌وساز 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 ازنظر هزینه و زمان اجرا امکان پذیر باشند. برخی از مؤلفه‌هایی که در این راستا می‌توانند مورد توجه قرار گیرند در قسمت‌های بعدی بررسی شده‌اند.



(الف) (ب)

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.

www.SID.ir

۵-۱- تأسیسات خطرناک و قابل انفجار

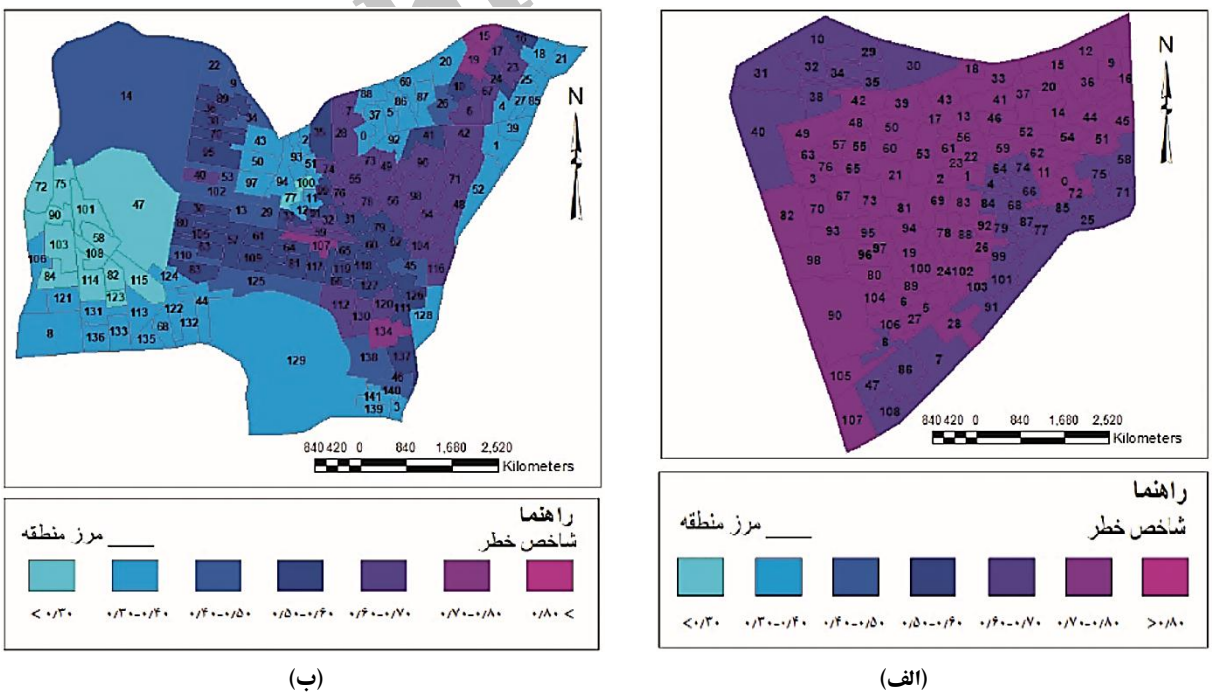
بدین‌منظور با توجه به وضعیت خطرپذیری مناطق شهری، تأسیسات خطرناک در پهنه‌هایی که ضریب تجمیعی ایمنی در برابر زلزله آنها به دلیل وجود این تأسیسات کاهش یافته، از محدوده حذف می شوند. شکل (۷) شاخص خطر در مناطق ۱۷ و ۳ را پس از حذف تأسیسات خطرناک نشان می‌دهد. در منطقه ۱۷ کاهش شاخص خطر در پهنه‌های ۴۹، ۱۸، ۱۲ 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.

۵-۲- 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 ظرفیت های محله‌ای و در نتیجه شاخص ایمنی را افزایش داد. در 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 پهنه های مذکور افزایش می یابد و در منطقه ۳ نیز در پهنه های 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 به‌صورت موردی در افزایش ضریب ایمنی پهنه‌های فاقد این فضاها تأثیرگذار باشد.

۵-۳- قابلیت تأمین و تخصیص منابع

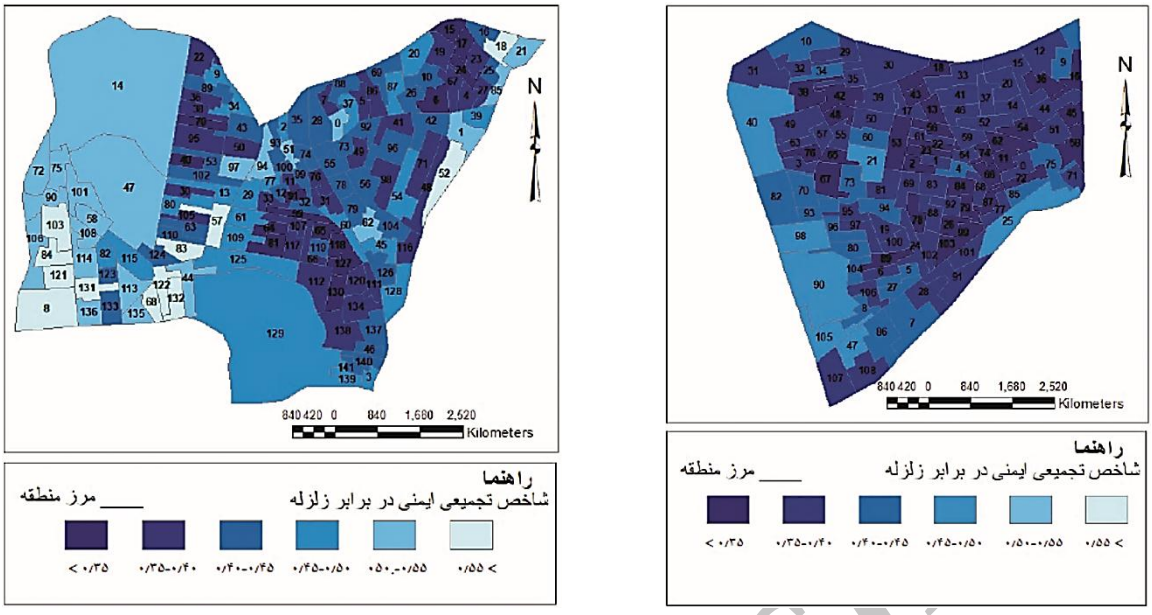
مراکز امدادرسانی موجود در منطقه از عوامل مؤثر در کاهش تلفات جانی پس از وقوع زلزله می باشد. در منطقه ۱۷ با اضافه کردن دو ایستگاه در بخش‌های مرکزی منطقه مشاهده می شود که اکثریت پهنه های این بخش که پیش‌تر در شعاع بیش از ۱۰۰۰ متری ایستگاه‌های آتش‌نشانی قرار داشتند، بعد از اضافه کردن این ایستگاه‌ها در شعاع کمتر از ۶۰۰ متری ایستگاه‌های آتش‌نشانی



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

Archive of SID

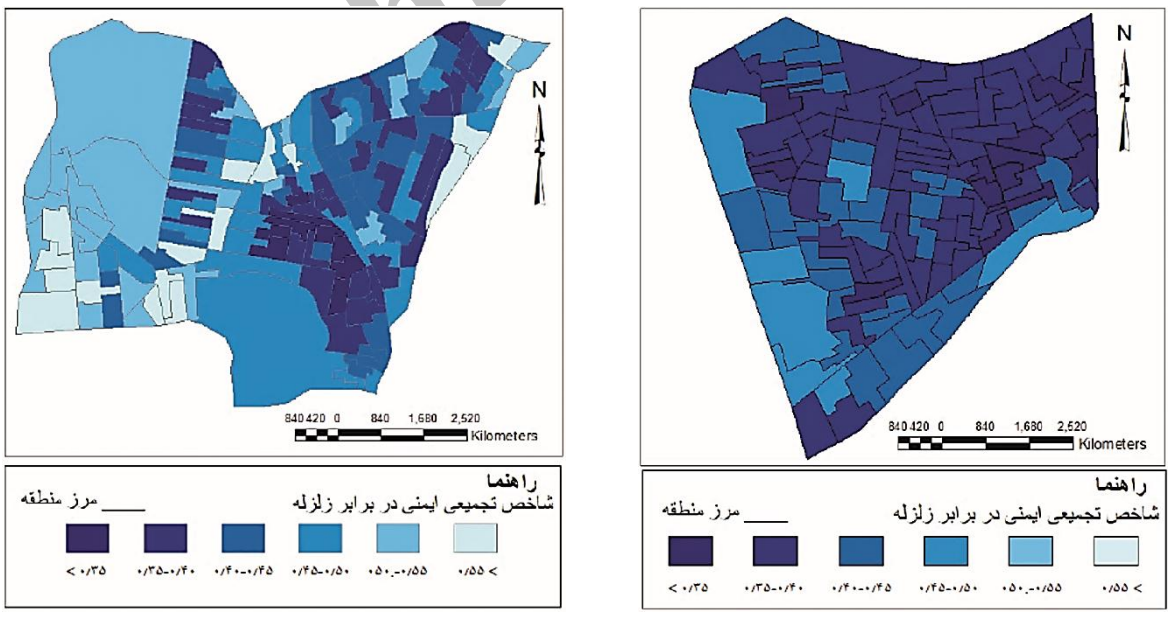
www.SID.ir



(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.

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



(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.

Archive of SID

www.SID.ir

۵-۴- 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. به‌این 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.

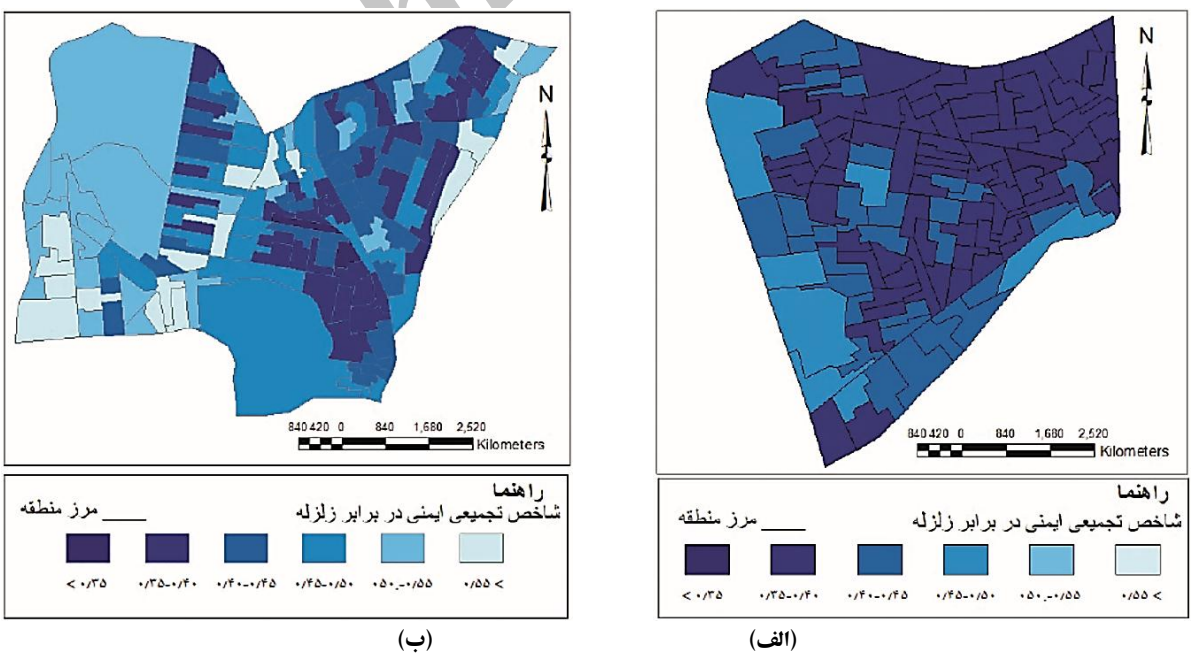
جدول (۱۰): تلفیق پایگاه‌های بحران محله‌ای با مؤلفه برنامه ویژه عملیات.

برنامه ویژه عملیات برای زمان بحران W=۰/۵۰	برنامه سازمان‌های مربوطه در زمان بحران	W=۰/۵۰	برای همه پهنه‌ها ۰/۲۰ فرض شده است.	
	پایگاه‌های بحران محله‌ای	W=۰/۵۰	دارد	۱/۰۰
			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 افزایش‌یافته و در بازه ۰/۴۰ — ۰/۳۵ قرارگرفته است. بدین‌ترتیب می‌توان نتیجه گرفت که ظرفیت‌سازی در سطوح محلی با مشارکت مردم تأثیر خوبی در بهبود ایمنی بافت شهری خواهد داشت.

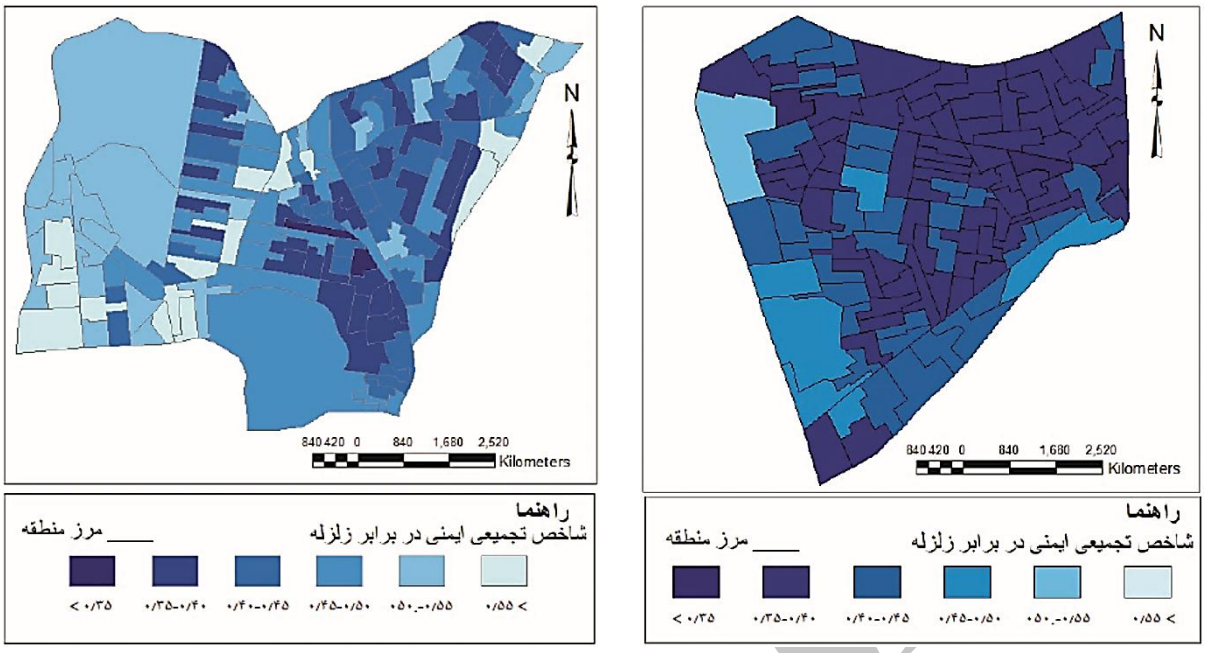
۵-۵- ترکیب مؤلفه‌های امکان‌پذیر برای بهبود وضعیت ایمنی بافت شهری

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 قرارگرفته 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 تک‌مؤلفه‌ای بیشتر شده است. بدین‌ترتیب می‌توان توصیه نمود که در مناطق مورد



شکل (۱۰): 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 و پایگاه بحران محله‌ای.

www.SID.ir



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.

بررسی با ایجاد ظرفیت های پیش بینی شده در قسمت های 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 می باشد و این نشان‌دهنده‌ی وضعیت بهتر منطقه ۳ است. همچنین بخش‌های مرکزی و شمال شرقی منطقه ۱۷ ایمنی کمتری نسبت به سایر بخش های منطقه دارند و نیمه غربی منطقه 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 پهنه های ۴۵ و ۵۸ در منطقه ۱۷ و پهنه های ۱۲۷ و ۱۲۸ در منطقه ۳ به دلیل ظرفیت پایین مدیریت واکنش اضطراری کمترین مقدار ضریب ایمنی را به خود اختصاص داده‌اند که می توان 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 بافت های 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 پایان نامه با عنوان «ارزیابی

Archive of SID

www.SID.ir

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 می گردد.

مراجع

1. Hessami, K., Jamali, F., and Tabassi, H. (2003) *Active Fault Maps of Iran*. Seismotectonic Dept., Seismology Research Center, IIEES, Iran.
2. Hajibabaee, 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., Mahdavifar, M.R., and Mohammadi, M. (2009a) *Local Disaster Management Assessment and Implementation Strategy*. The World Bank Project, 4697-IRN (in Persian).
6. Oklahoma City Fire Deparement (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 Särdqvist, 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. academin. edu on 2nd March*.
10. Iran Standard Institute (2001) T*he 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 Interdiciplinary*, **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*

Archive of SID

www.SID.ir

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 Inistitute of Earthquake Engineering and Seismology (in Persian).

28. Taghvaee, 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.

واژه‌نامه

۱- شاخص تجمیعی ایمنی در برابر زلزله	Integrated Earthquake Safety Index
۲- آژانس ملی حفاظت در برابر آتش	National Fire Protection Agency
۳- کمیسیون بین‌المللی اعتباربخشی آتش	Commission on Fire Accreditation International
۴- اداره ایمنی و بهداشت حرفه‌ای	Occupational Safety and Health Administration
۵- توسط انجمن ملی فناوری زلزله	National Society for Earthquake Technology
۶- آژانس فدرال مدیریت بحران در آمریکا	Federal Emergency Management Agency (FEMA)
۷- پروژه تأثیر	Impact Project
۸- مکان‌های تخلیه محلی در پهنه‌های شهری	Community Evacuation Places

Locating Iran Road Rescue and Relief Stations (in Persian).

17. Ganjehi, 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.

22. Hajibabaee, 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.

Archive of SID

www.SID.ir

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

Archive of SID

www.SID.ir