

ارزیابی طیف آسیب‌پذیری لرزه‌ای با معیار تلفات انسانی (نمونه موردی: منطقه ۳ کلانشهر شیراز)

پریسا مشک‌سار - دانشجوی دکتری شهرسازی، واحد یاسوج، دانشگاه آزاد اسلامی، یاسوج، ایران
یعقوب پیوسته گر* - استادیار گروه معماری و شهرسازی، واحد یاسوج، دانشگاه آزاد اسلامی، یاسوج، ایران
علی شمس‌الدینی - استادیار گروه جغرافیا و برنامه ریزی شهری، واحد مرودشت، دانشگاه آزاد اسلامی، مرودشت، ایران

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۹/۲۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۵/۱۵

چکیده

مخاطرات طبیعی به دلیل شدت و زمان کوتاه اثرگذاری بر اجتماعات بشری تبدیل به یکی از دغدغه‌های اصلی برنامه‌ریزان و مدیران شهری در سال‌های اخیر شده‌اند. سهم کشور ما از این مخاطرات بیش‌تر مربوط به زلزله است. شهر شیراز یکی از کانون‌های پرخطر از نظر احتمال وقوع زلزله در ایران است. این مساله تهدیدی جدی برای پایداری توسعه این شهر محسوب می‌شود. منطقه ۳ شهر شیراز یکی از مهم‌ترین مناطق این شهر است که با دو گسل مهم (سلطان II و سعدی) تهدید شده است. با توجه به اهمیت موضوع ارزیابی آسیب‌پذیری شهرها در برابر زلزله در مباحث مربوط به برنامه‌ریزی شهری، در این مقاله سعی شده است تا با به‌کارگیری روش RADIUS با استفاده از شاخص‌هایی چون جنس خاک منطقه، فاصله از گسل، داده‌های تراکم جمعیتی و نوع ساختمان‌ها و توزیع آن‌ها با تدوین سناریوی زلزله احتمالی روزانه و شبانه، برآورد مناسبی از تلفات انسانی منطقه ۳ شهرداری شیراز در برابر زلزله ارائه شود. در تحلیل اطلاعات نیز از روش‌های کمی و کیفی استفاده شده است. بر اساس نتایج به دست آمده از تحقیق مشخص شد که تعداد تلفات جانی ناشی از سناریوی زلزله‌ای با بزرگی ۶/۲ ریشتر در ساعت ۱۲ ظهر حدود ۷۱۳ نفر خواهد بود و ۹۸۷۶ زخمی برجا خواهد گذاشت. در ساعت ۳ صبح، ۶۴۸ نفر جان خود را از دست خواهند داد و حدود ۷۳۴۲ نفر مجروح خواهند شد. این مطالعه نشان می‌دهد، این منطقه به دلیل ویژگی‌های کالبدی، وجود ساختمان‌های فرسوده، نزدیکی به گسل‌های فعال و کیفیت سازه‌ای نامناسب به عنوان یک منطقه با آسیب‌پذیری بالا در برابر زلزله شناخته می‌شود. این ارزیابی می‌تواند در پیش‌بینی برنامه‌های شهری برای کاهش تلفات استفاده شود.

کلیدواژه‌ها: روش RADIUS، آسیب‌پذیری لرزه‌ای، تلفات انسانی، سناریوی زلزله، منطقه ۳ کلانشهر شیراز

E-mail: peyvastehgar@gmail.com

* (نویسنده مسئول):

این مقاله برگرفته از رساله دکتری پریسا مشک‌سار با عنوان «تحلیلی بر میزان تاب‌آوری اجتماعی و اقتصادی مناطق شهری در برابر زلزله (مطالعه موردی: منطقه ۳ شهرداری شیراز)» به راهنمایی دکتر یعقوب پیوسته‌گر و مشاوره دکتر علی شمس‌الدینی است.

ارجاع به این مقاله:

مشک‌سار، پریسا، پیوسته‌گر، یعقوب، شمس‌الدینی، علی. (۱۳۹۷). ارزیابی طیف آسیب‌پذیری لرزه‌ای با معیار تلفات انسانی (نمونه موردی: منطقه ۳ کلانشهر شیراز). دانش

شهرسازی ۳(۳)، ۹۹-۱۱۳. doi: 10.22124/upk.2019.11016.1117

بیان مساله

امروزه افزایش جمعیت و تمرکزطلبی، زمینه‌ساز شکل‌گیری کانون‌های شهری عموماً ناامن در برابر مخاطرات و حوادث غیرمترقبه شده است (محمدی ده‌چشمه و محمدی ده‌چشمه، ۱۳۹۱). زلزله یکی از مخاطرات طبیعی است که همواره احتمال رخ دادن آن وجود دارد. زلزله‌ها می‌توانند محیط فیزیکی و اجتماعی را تغییر دهند و به طور مستقیم و غیرمستقیم بر جوامع اثر گذارند (Green and Miles, 2011: 2). اغلب آثار زیان‌بار ناشی از زلزله‌ها در این است که الگوهای شهری روی پهنه‌های گسلی توسعه یافته‌اند. شکل‌گیری مناطق شهری همراه با دخالت‌های نسنجیده انسانی در حریم گسل موجب شده است تا بر اثر وقوع زلزله، فاجعه انسانی به وجود آید (عابدینی و سرمستی، ۱۳۹۵: ۳۶).

این حوادث علاوه بر این که سبب تلفات جانی و معضلات اجتماعی چون شوک، افسردگی و عزاداری، سردرگمی و نگرانی‌های اجتماعی، خشم و عصبانیت، جرم و رفتار مجرمانه در روزها و هفته‌ها پس از واقعه می‌شوند، مسبب خسارت‌های مالی و ناهنجاری‌های اقتصادی عدیده‌ای بوده که معمولاً بازماندگان این سوانح در ماه‌ها و سال‌ها بعد از واقعه با آن گریبانگیر هستند (Gail Cas et al., 2014: 437-439 and Xu et al., 2016: 2). به طور کلی، سطح اقتصادی، بهداشتی، شادی و رفاه افراد پس از وقوع زلزله کاهش می‌یابد (Aoki, 2014: 1 and Wang and Liu, 2012: 212-213).

هشتاد درصد از تلفات جانی ناشی از زلزله‌های اخیر در ۶ کشور چین، ایران، پرو، شوروی سابق، گواتمالا و ترکیه بوده است (احدنژاد روشتی و جلیل پور، ۱۳۹۰: ۱). همچنین آسیب‌پذیر بودن بیش از ۹۰ درصد از سکونتگاه‌ها در برابر یک زلزله ۵/۵ در مقیاس ریشتر و وقوع ۱۷/۶ درصد از زلزله‌های مخرب دنیا در محدوده‌ی جغرافیایی ایران، اهمیت توجه به تحلیل خطر و خسارات ناشی از سانحه‌ی زلزله را مشخص می‌کند (سادین و همکاران، ۱۳۹۶: ۹۴).

طی سال‌های ۱۹۰۰ تا ۲۰۱۰، ۱۶۳۶ مورد زمین‌لرزه که بزرگای آن‌ها بین ۲.۵ تا ۶.۹ ریشتر بوده، در استان فارس ثبت شده است. مراکز بزرگ جمعیتی استان، همانند شیراز در پهنه‌های با خطر نسبی زیاد قرار گرفته‌اند (شایان و زارع، ۱۳۹۳: ۱۰۱). نتایج حاصل از برآورد پارامترهای لرزه‌خیزی که به روش کیجکو-سلوول-گراهام انجام شده بیانگر وقوع زمین‌لرزه‌ای با بزرگای بین ۶ تا ۶.۷ ریشتر در دوره‌ی بازگشت ۵۰ تا ۱۰۰ سال برای این گستره می‌باشد (عشرتی، ۱۳۹۳: ۱۵). با توجه به عبور گسل سعدی از منطقه ۳ شهرداری شیراز و نزدیکی آن به گسل سلطان II، این منطقه دارای درجه لرزه‌خیزی بالا بوده و آسیب‌پذیری لرزه‌ای نیز باتوجه به نوع و عمر ساختمان‌ها و فرسودگی بخش‌های عمده‌ای از منطقه، نسبتاً شدید خواهد بود. بنابراین با توجه به مطالب بیان شده، تعیین نقاط آسیب‌پذیر انسانی منطقه ۳ شهرداری شیراز و برآورد میزان تلفات انسانی ناشی از وقوع زلزله‌ای با بزرگی ۶/۲ ریشتر در طول روز و شب از اهداف این تحقیق می‌باشد. بر این اساس، این پژوهش مسئله‌ی اخیر را در کانون توجه خود قرار داده و با به-کارگیری روش RADIUS با استفاده از شاخص‌هایی چون جنس خاک منطقه، فاصله از گسل، داده‌های تراکم جمعیتی و نوع ساختمان‌ها و توزیع آن‌ها با تدوین سناریوی زلزله احتمالی روزانه و شبانه به برآورد مناسبی از تلفات انسانی منطقه ۳ شهرداری شیراز در برابر زلزله پرداخته است.

مشخص است که برآورد میزان و گستره تلفات جانی به طور مؤثری در برنامه‌ریزی‌های مراحل آمادگی و تنظیم عملیات مقابله در شرایط بحرانی مورد استفاده قرار می‌گیرد (سمائی و همکاران، ۱۳۹۶: ۱۴۴). این موضوع توجه به این منطقه و ارائه‌ی برنامه‌هایی جهت مقاوم‌سازی آن در برابر بلایای طبیعی چون زلزله را الزامی می‌گرداند.

مبانی نظری

براساس برنامه‌ی راهبردی بین‌المللی کاهش بلایای سازمان ملل، همه مخاطرات دو منشأ اصلی دارند: ۱- مخاطرات طبیعی و ۲- مخاطرات ناشی از فناوری (مخاطرات ناشی از فعالیت انسانی). زلزله به عنوان یک عامل طبیعی، اثرات گوناگونی را بر محیط پیرامون خود می‌گذارد. درجه‌ی آسیب‌پذیری با عواملی مانند وضعیت اجتماعی-اقتصادی، ثروت، قومیت، جنسیت، سن و توانایی افراد تعریف می‌شود. آسیب‌پذیری یکی از پارامترهای اصلی در مطالعات برآورد خسارت می‌باشد. برآورد خسارت ابزاری کارآمد برای گسترش برنامه‌ی آمادگی و کاهش خطر زلزله است (هاشمی و همکاران، ۱۳۹۵: ۸۰). این مخاطرات به دلیل ماهیت غیرمنتظره‌ی خود در بیش‌تر موارد خسارت مالی و جانی بسیاری را برجای می‌گذارند.

این مخاطرات در مقیاس‌های مختلف رخ می‌دهند که انواع تهدید عبارتند از: ۱- خطرات وارد بر انسان (مرگ، جراحت و ...); ۲- خطرات وارد بر کالا (خسارت مالی و اقتصادی و ...); ۳- خطرات وارد بر محیط (آلودگی ها و ...). گفتنی است که خطرات اغلب

سلسله‌ای از فرایندها را شامل شده و تأثیرات آن‌ها منجر به مصیبت می‌گردد که در درون خود به معنای دقیق آسیب‌پذیری، ویرانی و ناپایداری در سکونتگاه‌های شهری و روستایی است (سادین و همکاران، ۱۳۹۶: ۹۵). با عنایت به آنچه که آمد، می‌توان بیان نمود که ارزیابی آسیب‌پذیری و تخمین خسارات ناشی از زلزله در نواحی شهری، علاوه بر مسکن و محیط کالبدی شهر (خسارات مالی و ابعاد غیرانسانی آن) به تعداد تلفات انسانی (کشته‌ها، مصدومین و مجروحین و ...) و دیگر عوامل مرتبط با آن (خسارات جانی و ابعاد انسانی آن) نیز وابسته است. بنابراین مدل‌هایی برای برآورد تلفات انسانی به وجود آمده است که در ادامه به آن‌ها اشاره شده است.

در دو دهه گذشته چندین مدل برای محاسبه میزان آسیب‌پذیری بافت برای جهت دادن به تصمیمات جوامع به منظور کاهش آسیب‌پذیری ناشی از زلزله ارائه شده است. به طور کلی ۴ نوع مدل برای تخمین خسارات زلزله وجود دارد: ۱- رویکرد تجربی (بر اساس داده‌های آماری) ۲- رویکرد نیمه تجربی ۳- رویکرد تحلیلی (بر اساس مدل‌سازی) ۴- رویکرد ترکیبی. در جدول ۱ مزایا و معایب این مدل‌ها آورده شده است.

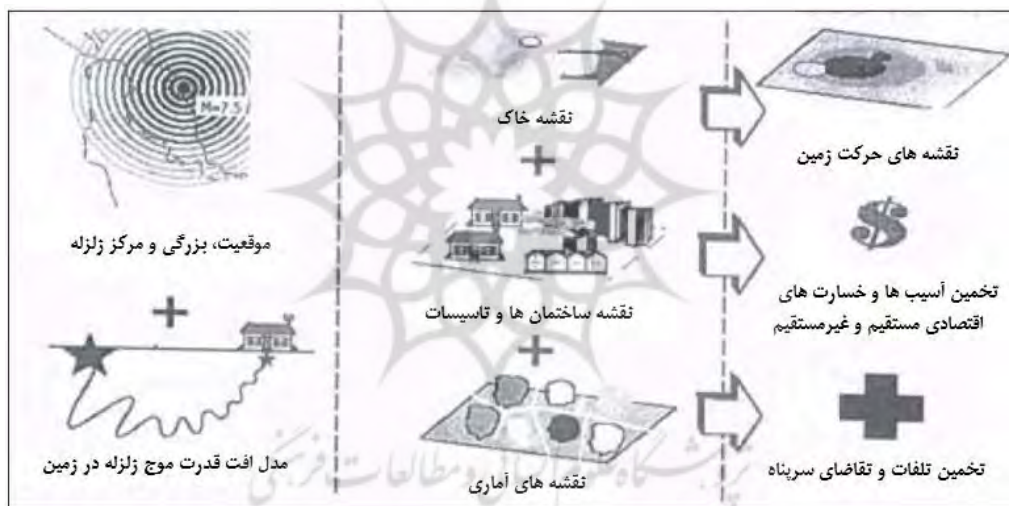
جدول ۱. مقایسه‌ی روش‌های ارزیابی خطرات زلزله

نام مدل	هدف مدل	مزایا	معایب
رویکرد تجربی	برآورد نرخ تلفات مخصوص هر کشور به صورت تابعی از شدت زمین‌لرزه‌های بزرگ	استفاده از داده‌ی زلزله‌های تاریخی نمایش نموداری خسارات برآورد نرخ تلفات مخصوص هر کشور امکان بررسی اثرات زلزله با استفاده از یک پارامتر خاص (مانند: بزرگی، شدت و تراکم جمعیت) توجه به شاخص‌های توسعه‌ی انسانی و شرایط آب و هوایی برآورد مرگ و میر در سطح جهانی برآورد تلفات زلزله‌های بزرگ با مقیاس طبیعی و واقعی با دقت بالا	نادیده گرفتن بسیاری از متغیرهای مرتبط، مانند آسیب-پذیری ساختارها و ساختمان‌ها و جمعیت درون ساختمان‌ها در زمان زلزله عدم قطعیت در تعداد جمعیت خطاهای ممکن در تعداد مرگ و میرهای ثبت شده آزمون گام به گام آسیب‌پذیری شهری ناهمگنی احتمالی داده‌های مورد استفاده
رویکرد نیمه-تجربی	برآورد خسارات ناشی از زلزله، در ساعات اولیه‌ی پس از زلزله‌های بزرگ سراسر جهان	توزیع کل جمعیت به تفکیک گروه‌های ساکن در ساعات شبانه‌روز توجه به مساحت زمین و گونه‌ی ساختمانی در برآورد تلفات استفاده از اطلاعات محلی آسیب‌پذیری برآورد توزیع انواع ساختمان‌ها بر اساس نوع مصالح، سیستم مقاومت نیروهای جانبی و نوع اشغال (مسکونی یا غیر مسکونی، شهری یا روستایی)	عدم قطعیت در تعداد جمعیت خطاهای ممکن در تعداد مرگ و میرهای ثبت شده
رویکرد تحلیلی	شبیه‌سازی کامپیوتری خسارات ناشی از زلزله	امکان شبیه‌سازی کامپیوتری پردازش حجم عظیم اطلاعات در مرحله پیشگیری و حفاظت سوانح طراحی راه‌های تخلیه‌ی مردم، مراکز اقدامات فوریتی و اورژانس و طراحی سیستم-های هشدار	ناتوانی در مدل‌سازی داده‌های اجتماعی و اقتصادی در تمامی نرم‌افزارها کمبود اطلاعات مناسب مورد نیاز در تجزیه-تحلیل آسیب‌پذیری گاهی امکان توجه به تمامی معیارها به طور هم‌زمان وجود ندارد وجود مشکل در کمی کردن معیارها
روش ترکیبی	تخمین تعداد کشته‌شدگان ناشی از تخریب انواع ساختمان‌ها	توجه به شدت زمین‌لرزه‌ها امکان استفاده از این روش در شهرهای ایران تخمین کمی تعداد کل کشته‌شدگان بر اساس معادله زیر: $K = K_s + K' + k_2$	عدم توجه به تلفات زلزله‌های گذشته
روش کوبرن	روشی کاربردی در برآورد تلفات انسانی زلزله	میزان تلفات ناشی از آسیب‌های مرگ و میر ناشی از خسارت سازه‌ای، K' میزان تلفات ناشی از آسیب‌های غیر سازه‌ای و K_2 میزان تلفات ناشی از خطرات رویدادهای در پی زمین‌لرزه	وجود مشکل در تعیین استانداردها و ضرایب مناسب

ماخذ: منصور و همکاران، ۱۳۹۰: ۲۳، اسفندیاری و همکاران، ۱۳۹۳: ۲۶، Gulati, 2006: 22، Jaiswal and Wald, 2010: 9

از آنجا که رویکرد نیمه تجربی، انواع ساختمان‌ها، تعداد جمعیت حاضر در محل در زمان‌های مختلف و نوع جراحات با توجه به شرایط اجتماعی و اقتصادی را مورد بررسی قرار می‌دهد؛ نسبت به سایر رویکردها در تخمین تلفات و خسارت‌ها عملکرد مناسب‌تری دارد (Wei et al., 2015: 600).

مجمع عمومی سازمان ملل، سال‌های ۱۹۹۱-۲۰۰۰ را به عنوان دهه‌ی جهانی کاهش بلایای طبیعی نامگذاری کرد. در این ارتباط در سال ۱۹۹۷ سازمان بین‌المللی مخاطرات زمین در آمریکا پروژه‌ی RADIUS را برای تخمین میزان خسارات ناشی از زلزله طراحی نمود. هدف اولیه‌ی این روش فراهم کردن ابزاری ساده است تا با ارزیابی خطر زلزله، خطر زلزله در مناطق شهری را به ویژه در کشورهای در حال توسعه کاهش دهد. این روش، خطر را در سطح ناحیه محاسبه می‌کند. بیش‌تر تکنیک‌ها و روش‌های مدیریت بحران در کشورهای صنعتی گسترش یافته‌اند. به همین دلیل نمی‌توانند مستقیماً در کشورهای در حال توسعه مورد بهره‌برداری قرار گیرند (Gulati, 2006: 21). این رویکرد با اصلاحات انجام شده، به صورت یک نرم‌افزار تخمین خسارت و تهیه و تدوین سناریوی زلزله مورد استفاده قرار گرفت. این مدل در برنامه‌های اطلاع رسانی و آگاه‌سازی تمامی ذینفعان در شهر کاربرد دارد. یکی از اهداف عمده این پروژه توسعه ابزار تجربی برای مدیریت ریسک شهر بود. روش RADIUS در فرآیند تخریب ساختمان‌ها، تعیین سناریوی زلزله، محاسبه میرایی با استفاده از تابع، محاسبه تقویت‌کنندگی ناشی از شرایط محلی خاک با استفاده از نقشه خاک، تبدیل PGA به شدت مرکزی اصلاح شده، به کارگیری تابع آسیب‌پذیری برای انواع ساختمان، به کارگیری تابع آسیب‌پذیری برای انواع زیرساخت‌ها، به کارگیری تابع آسیب‌پذیری برای تلفات مد نظر قرار می‌گیرد (امینی و همکاران، ۱۳۹۰: ۲۹). در شکل ۱ چهارچوب روش RADIUS مشخص شده است.



شکل ۱. چهارچوب روش RADIUS (ماخذ: المدرسی و میردهقان اشکذری، ۱۳۹۶: ۹۵).

از جمله مهم‌ترین تحقیقات داخلی و خارجی مرتبط با آسیب‌پذیری لرزه‌ای شهرها می‌توان به این موارد اشاره کرد؛ احدنژاد روشتی و همکاران (۱۳۸۹)، با استفاده از امکانات تحلیلی و نمایشی سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) و ارائه‌ی سناریوهای زلزله در شدت‌های مختلف به مدل‌سازی و ریزپهنه‌بندی آسیب وارده به ساختمان‌ها، تلفات انسانی و خسارات اقتصادی شهر زنجان در برابر زلزله پرداختند. نتایج حاصل از این مقاله نشان می‌دهد که منطقه‌ی سه شهر زنجان و بناهای واقع شده در آن به دلیل فرسودگی بافت و استفاده از مصالح کم دوام در ساخت و ساز از آسیب‌پذیری بسیار بالایی برخوردار بوده اما از نظر تلفات انسانی، با توجه به تراکم جمعیتی آن، رتبه سوم را دارد.

آقامحمدی و همکاران (۱۳۸۹) در مقاله‌ای با عنوان برآورد تعداد مصدومان زلزله و نحوه توزیع مکانی آن‌ها با عنوان تابعی از خرابی از زلزله با بکارگیری شبکه عصبی مصنوعی و با استفاده از داده‌های زلزله بم در سال ۲۰۰۳ نشان دادند که این شبکه می‌تواند شدت و نحوه توزیع صدمات انسانی را با دقت مناسب برآورد نماید.

اسفندیاری و همکاران (۱۳۹۳) به تخمین میزان خسارت مالی و جانی به وجود آمده در اثر زلزله‌های احتمالی در شهر اردبیل پرداختند. با استفاده از روش ارائه شده توسط Coburn تعداد تلفات انسانی ناشی از زلزله در شرایط مختلف زمانی و امدادسانی

تعیین گردید. در وضعیت وقوع زلزله در شب، بدون هیچ‌گونه امدادسانی، ۷۴۹۴۵ نفر از ساکنان یا حدود ۱۷/۵۵٪ کل جمعیت اردبیل کشته خواهند شد.

قنبری و زلفی (۱۳۹۳)، نواحی شهری کاشمر را از نظر آسیب‌پذیری کالبدی با استفاده از مدل VIKOR اولویت‌بندی نمودند. نتایج این تحقیق نشان داد که ناحیه ۸ کاشمر کم‌ترین و ناحیه ۳ آن بیش‌ترین آسیب‌پذیری کالبدی در برابر زلزله را دارد و تراکم بالا سبب افزایش میزان آسیب‌پذیری در نواحی این شهر می‌شود.

زارع و حسینی (۱۳۹۵) در تحقیق خود به تحلیل خطر لرزه‌ای و ارزیابی خطرپذیری برای مدارس شهر مقدس قم پرداختند. ارزیابی لرزه‌ای ارتعاشات زمین در قالب تحلیل خطرپذیری لرزه‌ای به وسیله نرم‌افزار CRISIS2007 انجام شده است. ساختمان‌های مدارس موجود مورد شناسایی قرار گرفته و سپس نمودارها و توابع شکست، تهیه گردیده‌اند. پس از طراحی سناریوهای آسیب‌پذیری و تخمین تلفات انسانی مدارس شهر قم، راهبردهایی در جهت کاهش تلفات ناشی از وقوع زلزله ارائه نمودند.

Villacis (1999)، دستاوردهای روش RADIUS برای کاهش اثرات زلزله در مناطق شهری و افزایش آگاهی جوامع در این مورد و نقش آن در بخش‌های مختلف جامعه در فرایند مدیریت ریسک را بیان نمود. وی با استفاده از روش RADIUS، اقدامات بلندمدت در زمینه مدیریت ریسک در ۹ شهر^۱ منتخب را مطرح نمود و معتقد است ادامه‌ی این روند آگاهی از آسیب‌پذیری جوامع بر عهده‌ی مسئولین شهر است.

Maithani & Sokhi (2004) بر این باورند که اولین قدم برای ایمنی شهرها در برابر خطرات طبیعی چون زلزله شناسایی قابلیت آسیب‌پذیری آن منطقه است. از آن‌جاکه غالب روش‌های تخمین خسارت به داده‌های پیچیده و وسیع و افراد حرفه‌ای نیاز دارند، در این تحقیق نحوه‌ی استفاده از روش RADIUS در محیط GIS به عنوان ابزاری آسان برای برنامه‌ریزان شهری برای مدیریت آتی بحران زلزله مشخص شده است.

Tang & Wen (2009)، در مقاله خود با استفاده از GIS و هوش مصنوعی^۲ AI یک سیستم شبیه‌سازی هوشمند ارزیابی اثرات فاجعه‌بار زلزله را برای ارزیابی خطر زلزله در شهر دیانگ کشور چین مورد استفاده قرار دادند. این سیستم برای تشخیص ضعف لرزه‌ای ساختارها در شرایط پیش از زلزله، ارزیابی سریع خسارت و فراهم ساختن شرایط فوری هوشمند پاسخگویی عمومی و دولتی در طول زلزله و بعد از آن کاربرد دارد.

Santos (2010)، در تحقیق خود به بررسی تاثیرات زلزله بر کودکان روستای ال‌سالوادور پرداخته است. این تحقیق بر تاثیر ارزیابی‌های ذهنی و کیفی بیش‌تر خانواده‌ها بر شوک‌های متعدد متمرکز است. وقوع دو زلزله بزرگ در این منطقه موجب ترک تحصیل کودکان و کار کردن اجباری آنان (۲۳ درصد کودکان بین ۶-۷ سال و ۶۹ درصد کودکان ۱۰ ساله و ۸۹ درصد کودکان ۱۵ ساله) شده است.

Hashemi & Alesheikh (2011)، به ارزیابی خسارت‌های زمین‌لرزه با استفاده از مطالعات مبتنی بر GIS در کلانشهر تهران پرداخته‌اند. ایشان در این پژوهش، با مینا قرار دادن گسل مشاء و طراحی سناریوی زلزله به ارزیابی تلفات انسانی و انسداد خیابان‌ها در اثر فرو ریختن ساختمان‌ها پرداخته‌اند. نتایج این طرح نشان می‌دهد که میزان خسارات وارده با تخریب ۶۴ درصد ساکنین و انسداد ۲۲ درصد معابر برابر است.

Hosseini et al (2015)، در مقاله‌ی خود با توجه به گسل‌های فعال اطراف شهر کرمان، آسیب‌پذیری انواع کاربری‌های منطقه ۱۳ این شهر را ارزیابی کردند. آنان با کمک نرم افزار کارمانیا و GIS، میزان خسارت کاربری‌ها و تعداد تلفات را محاسبه نمودند. پس از آن نرخ بهره‌وری انواع مراکز اورژانس بررسی گردید. با شبیه‌سازی زلزله‌ای به بزرگی ۶٫۳ مشخص گردید که به غیر از ۷ بیمارستان، بقیه مراکز واکنش اضطراری غیرقابل استفاده خواهند شد. همچنین با توجه به جمعیت شهر، فضای کافی برای عملیات امداد و نجات وجود ندارد.

با مشاهده تحقیقات انجام شده می‌توان گفت که مدل‌های زیادی برای ارزیابی و کاهش آسیب‌پذیری شهرها در برابر زلزله ارائه شده است. این مدل‌ها باید با توجه به شرایط اقتصادی، اجتماعی و فرهنگی محلی تهیه شوند. از آن‌جا که غالب روش‌ها و تکنیک-

^۱(Addis Ababa (Ethiopia), Antofagasta (Chile), Bandung (Indonesia), Guayaquil, (Ecuador), Izmir (Turkey), Skopje (TFYR Macedonia), Tashkent (Uzbekistan), Tijuana (Mexico), Zigong (China))

^۲Artificial Intelligence (AI)

های موجود مدیریت بحران در کشورهای صنعتی تهیه می‌شوند، به طور مستقیم از آن‌ها در کشورهای در حال توسعه نمی‌توان استفاده نمود. با توجه به این مساله که نرم‌افزار RADIUS برای کشورهای در حال توسعه مطرح شده، در این مطالعه برای ارزیابی تلفات انسانی از این مدل استفاده شده است. همچنین تحقیقات انجام شده تاکنون، اکثراً زلزله در شهر را با داده‌های مکانی و در مورد ساختمان‌ها بررسی نموده‌اند. اما در این تحقیق با استفاده از مدل RADIUS تعداد کشته‌شدگان و مصدومین برآورده شده است.

روش پژوهش

در این تحقیق به دلیل کاربردی بودن و برای تعیین نقاط ضعف و قوت ساختار منطقه ۳ شهرداری شهر شیراز در هنگام زلزله از روش تحقیق از نوع تحلیلی و توصیفی استفاده شده است. سؤال این تحقیق این است که میزان تلفات انسانی زلزله با بزرگی ۶٫۲ ریشتر در منطقه ۳ شهرداری شیراز در طول روز و شب چقدر است؟ برای پاسخگویی به این سوال ابتدا با جستجوی مقالات و کتاب‌ها و منابع موجود، کار کتابخانه‌ای و توصیفی شروع گردید. در ادامه با بررسی زمین‌شناسی و موقعیت زمین‌ساختی منطقه ۳ شهرداری شیراز، روش پیمایشی و تحلیلی انجام شد. برداشت‌های میدانی شامل جمع‌آوری اطلاعات مربوط به پارامترهای ساختمانی صورت پذیرفت. سپس به ارزیابی خطر زلزله با استفاده از روش RADIUS پرداخته شد.

اولین گام در هر گونه ارزیابی خطرات زلزله، شناسایی خصوصیات منابع زلزله می‌باشد. تعیین پارامترهای زلزله‌ی محتمل مانند مکان گسل، هندسه‌ی آن جهت‌گیری و حداکثر بزرگی زلزله ضروری است (Wong et al, 2000: 2). تعیین این پارامترها، سناریو زلزله را تشریح می‌کنند که در آنالیز آسیب‌پذیری شهری و تخمین تلفات هر سناریو استفاده می‌شود. لذا در این تحقیق برای برآورد شدت لرزه‌ای (شدت حرکت زمین) و خسارت وارده به ساختمان‌ها، داده‌های تراکم جمعیتی، نوع ساختمان‌ها و توزیع آن‌ها، اندازه و حد و مرز منطقه مورد مطالعه و نوع خاک در روش RADIUS به عنوان اطلاعات پایه وارد شده است.

در کل فرآیند تخمین خسارات ناشی از زلزله در نرم‌افزار RADIUS در مراحل زیر قابل اجرا است:
- شبکه‌بندی منطقه: برای انجام تخمین خسارت باید منطقه مورد بررسی شبکه‌بندی شود. لذا برای اجرای شبکه‌بندی از شبکه‌های بین ۵۰۰ مترمربع تا ۲ کیلومترمربع استفاده می‌کنند. هر چه اندازه شبکه‌ها کوچک‌تر باشد، میزان اطلاعات بیش‌تری نیز به تعداد شبکه‌ها باید وارد سیستم شود. در این مطالعه برای برآورد تلفات، منطقه ۳ شهرداری شیراز به شبکه‌های ۱ کیلومترمربع تقسیم شده که شبکه‌بندی منطقه در نرم‌افزار Arc GIS و با توجه به مرزهای منطقه و توزیع کاربری‌های موجود در آن صورت گرفته است.

- تعیین وضعیت خاک منطقه: روش RADIUS طبقه‌بندی ساده‌ای برای جنس خاک پیشنهاد می‌کند که در این طبقه‌بندی جنس خاک به چهار دسته سنگ سخت، سنگ نرم، خاک متوسط و خاک نرم که فاکتورهای تشدید شدت لرزه نیز مطابق با آن‌ها توسط نرم‌افزار اعمال می‌شود، تقسیم شده است. جنس خاک در این محدوده رس و ماسه است.
- طبقه‌بندی ساختمان‌ها: از آن‌جا که فروریختن ساختمان‌ها، اصلی‌ترین دلیل تلفات در زمان رخداد زلزله می‌باشد؛ محاسبه تلفات بر اساس ساختمان‌های خسارت‌دیده انجام می‌شود (گیاه‌چین و مهرجو، ۱۳۹۰: ۵). در این روش طبقه‌بندی ساختمان‌ها با توجه به نوع مصالح به کار رفته در ساخت و ساز، کاربری و تعداد طبقات انجام می‌گیرد که شرح آن در ادامه در جدول ۲ آمده است. در این روش متوسط فاصله‌ی هر کاربری از کاربری‌های حساس میزان آسیب‌پذیری را نشان می‌دهد. همچنین در این برنامه جمعیت روز و شب با توجه به طبقه‌بندی ساختمان‌ها برآورد می‌شود.

جدول ۲. طبقه‌بندی ساختمان‌ها در روش RADIUS

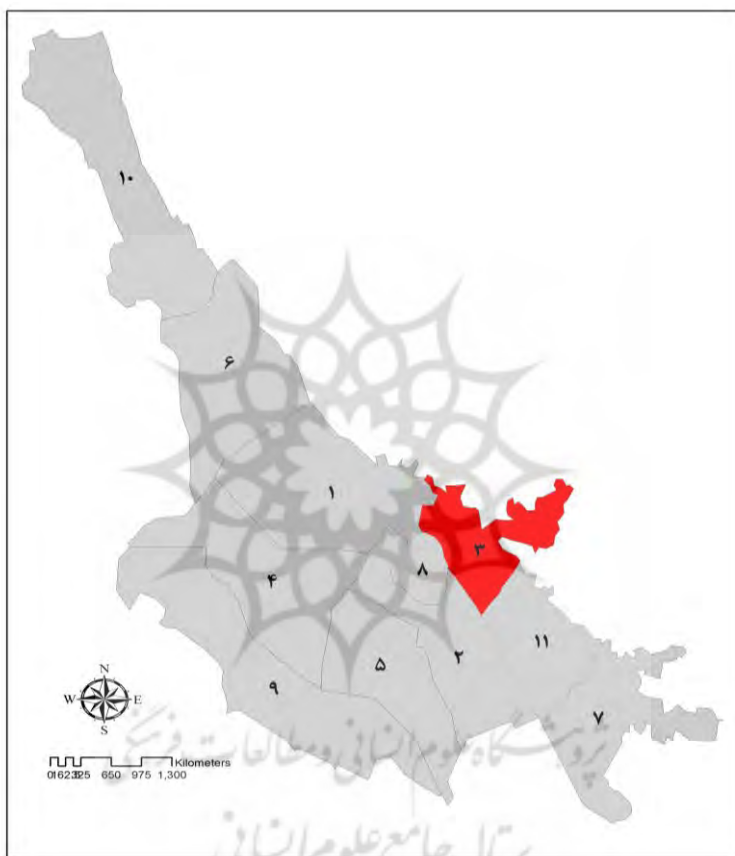
گروه ساختمان	تعریف	گروه ساختمان	تعریف
مسکونی ۱	ساخت و ساز غیررسمی: زاغه‌ها و خانه‌های پراکنده	آموزشی ۲	ساختمان مدرسه بلندتر از ۲ طبقه
مسکونی ۲	ساخت و ساز ترکیبی بتن مسلح- بنای غیرمسلح	پزشکی ۱	بیمارستان‌های کوتاه تا متوسط
مسکونی ۳	ساخت ترکیبی بتن مسلح- URM	پزشکی ۲	بیمارستان‌های بلندمرتبه
مسکونی ۴	ساخت و ساز بتن تقویت شده مهندسی	تجاری	مراکز خرید
آموزشی ۱	ساخت مدرسه تا ۲ طبقه	صنعتی	تسهیلات صنعتی

ماخذ: کاظمیان و آریش، ۱۳۹۴: ۱۴.

-تدوین سناریو: در این تحقیق پارامترهای ورودی به سیستم برای سناریو زلزله عبارت از: موقعیت نسبت به گسل‌ها، عمق، بزرگی و زمان وقوع زلزله می‌باشد. این روش متوسط فاصله از گسل را با توجه به موقعیت قرارگیری گسل‌ها محاسبه می‌نماید.

محدوده مورد مطالعه

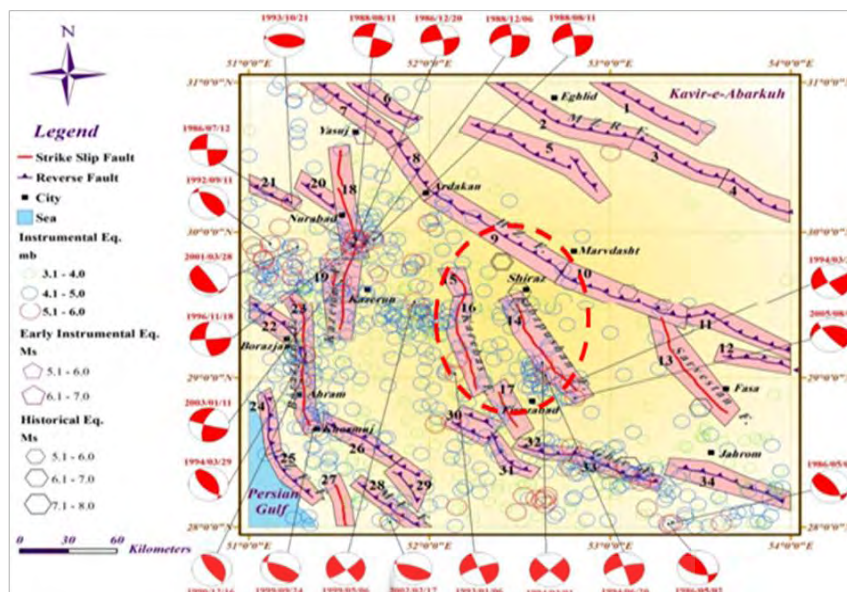
یکی از مناطق آسیب‌پذیر شهر شیراز منطقه ۳ می‌باشد. این منطقه در شمال شرقی شهر شیراز قرار دارد و از جنوب به بلوار مدرس، خیابان تختی و فردوسی از شرق به بلوار فضیلت، از شمال به بلوار جمهوری، شهرک سعدی و بلوار سرداران شهید و از غرب به خیابان حر ختم می‌شود. با توجه به آمار سال ۱۳۹۵، منطقه ۳ با مساحت ۱۴۴۷ هکتار ۷ درصد مساحت کل شهر شیراز را در بر می‌گیرد. جمعیت این منطقه حدود ۱۴۲۳۲۷ نفر برآورد گردیده و تراکم جمعیتی آن حدود ۹۸ نفر در هکتار است. در شکل ۲ موقعیت منطقه ۳ شهرداری شیراز نشان داده شده و در ادامه خصوصیات کالبدی این منطقه مشخص شده است.



شکل ۲. موقعیت منطقه ۳ در شهر شیراز (ماخذ: شهرداری شیراز، ۱۳۹۶).

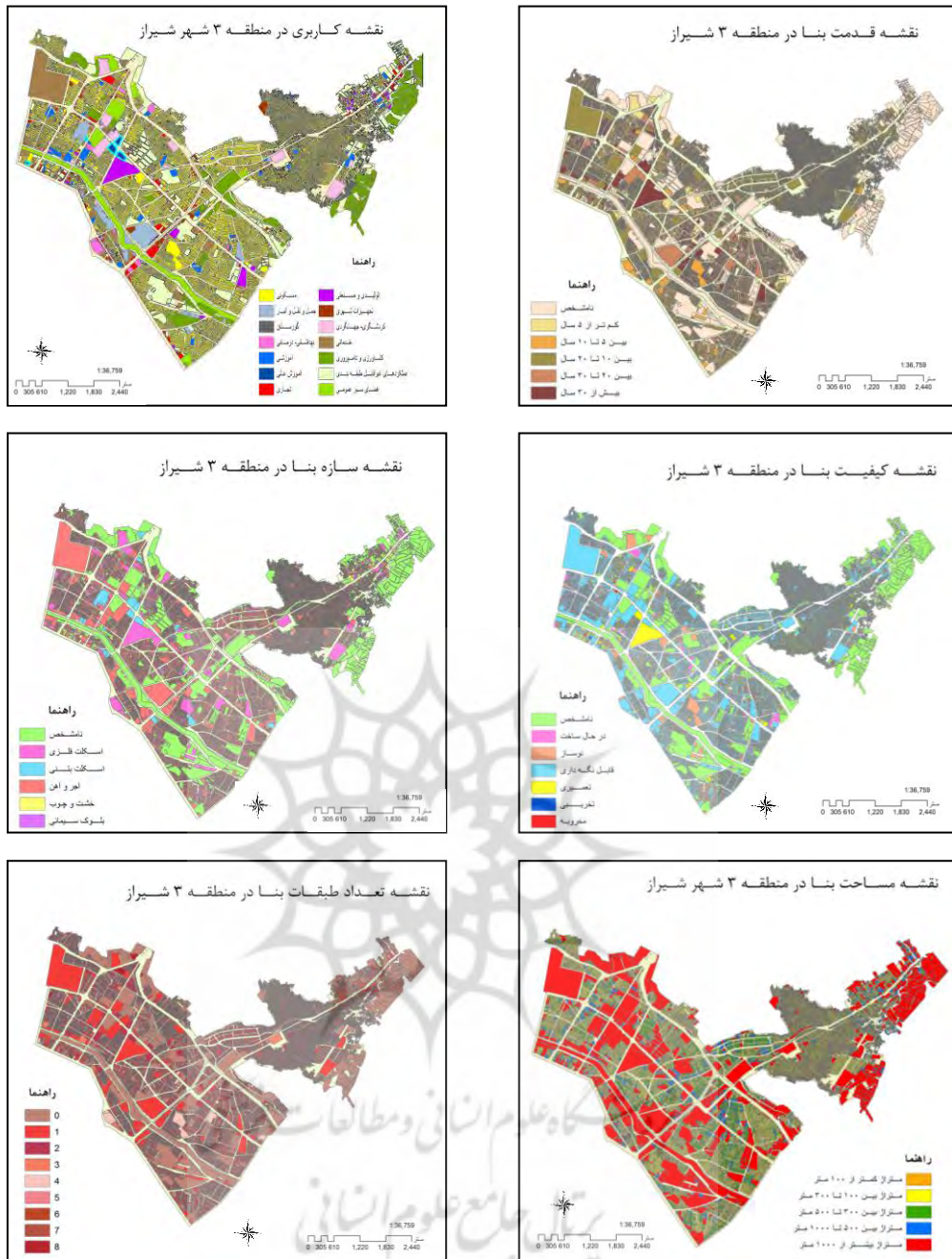
هرچه ساخت و سازها در فاصله‌ی کمتری نسبت به گسل‌ها قرار گیرند، امکان آسیب دیدن آن‌ها افزایش می‌یابد (Rojahn et al., 1997: 1). تعداد سی و چهار گسل اصلی در شهرستان شیراز شناخته شده‌اند که بیست و پنج گسل از آن‌ها فعال می‌باشند. با توجه به اطلاعات طرح تفصیلی منطقه ۳ شیراز، گسل‌های زیر به عنوان اصلی‌ترین گسل‌ها شناسایی شده‌اند. راستای گسل سلطان II در دشت شیراز باختری - خاوری بوده و در پهنه بلافاصل محدود به گسل راهدار می‌پیوندد. این گسل با روند غربی - شرقی خود نواحی جنوبی این منطقه را تحت تاثیر خود قرار داده است. این گسل در فاصله ۱۰ کیلومتری منطقه قرار دارد. به علاوه گسل رانده سعدی از درون قسمت شرقی منطقه (از کنار آرامگاه سعدی) عبور می‌کند. همچنین گسل بمو در فاصله ۱۹ کیلومتری با طول تقریبی ۲۱ کیلومتر در شرق منطقه ۳ شیراز قرار دارد. علاوه بر گسل‌های یاد شده، در پهنه منطقه ۳ شیراز، تعدادی گسل فرعی نیز وجود دارند که اغلب از گسل‌های کوتاه‌تر بوده و دارای امتداد شرقی - غربی می‌باشند. همان گونه که در شکل ۳ مشخص است، موقعیت گسل‌های فعال واقع در این منطقه نشان از لرزه‌خیز بودن سراسر پهنه شیراز دارد و از دیدگاه لرزه

زمین ساختی این شهرستان با داشتن گسل‌های با پتانسیل بالا و انشعابات متعدد، منطقه‌ای با پتانسیل بالا برای زلزله‌های بزرگ ارزیابی شده است.



شکل ۳. موقعیت گسل‌های شهرستان شیراز (ماخذ: عنایبی و اوپسی، ۱۳۸۱: ۱۲۵).

تفاوت در آسیب‌پذیری لرزه‌ای هر نوع کاربری در زمان وقوع زلزله اهمیت بسیاری دارد (شریف‌زادگان و فتحی، ۱۳۹۰: ۱۱۵). با توجه به پایگاه GIS شهرداری شیراز، در این منطقه کاربری مسکونی با اختصاص حدود ۳۹۰ هکتار، نیمی از مساحت کل قطعات منطقه را در بر می‌گیرد و کاربری غالب منطقه می‌باشد. میانگین مساحت قطعات مسکونی منطقه ۳ معادل ۱۸۹ مترمربع و سرانه زمین مسکونی حدود ۲۷ مترمربع است. از آن‌جا که این کاربری حدود ۸۱ درصد کاربری‌های منطقه را تشکیل می‌دهد، مشخص می‌شود که این قطعات ریزدانه هستند. همچنین کمبود خدمات بهداشتی-درمانی و پایین بودن درصد کاربری تجاری (حدود ۲/۵ درصد) به چشم می‌خورد. در سطح منطقه ۳ بیش‌ترین سهم متعلق به بناهایی است که بین سال‌های ۱۳۷۵ الی ۱۳۸۵ احداث شده‌اند. این دسته سهمی معادل ۵۰ درصد از کل بناها را در بر می‌گیرد. حدود ۷۴ درصد بناهای منطقه قابل نگهداری هستند. این بناها ۴۷۱۲۷۹۸ مترمربع را به خود اختصاص داده‌اند. پس از آن نیز بناهای تعمیری بیش‌ترین درصد قطعات را به خود اختصاص داده‌اند. بناهای تعمیری بیش‌تر در محله‌ی سعدی قرار دارند. نوع مصالح به کار رفته در ساخت واحد مسکونی یکی از شاخص‌های سنجش کیفیت مسکن محسوب می‌گردد. هرچند که میزان آسیب‌پذیری سازه‌ها با هم متفاوت بوده؛ حتی ممکن است در یک گروه نیز متغیر باشد که این عامل به نحوه احداث و کیفیت اجراء نوع مصالح به کار رفته در سازه بستگی دارد (حسینی و همکاران، ۱۳۹۳: ۱۵۳). حدود ۹۶ درصد از ساختمان‌های مسکونی منطقه ۳ از مصالح آجر و آهن ساخته شده‌اند. همچنین حدود ۵ درصد کل قطعات از مصالح اسکلت فلزی و بتنی می‌باشند که گذشته از استفاده صحیح یا غلط از مصالح، می‌توان گفت که این ساختمان‌ها از مصالح بادوام ساخته شده‌اند. میزان افت کارایی فضای باز با ارتفاع ساختمان‌ها ارتباط مستقیم دارد. متوسط تعداد طبقات ساختمان‌های مسکونی منطقه ۳ برابر ۱/۳ است. حدود ۹۰ درصد کل ساختمان‌ها و حدود ۸۰ درصد ساختمان‌های مسکونی ۱ و ۲ طبقه هستند. در شکل ۴ نقشه‌های کالبدی این منطقه نشان داده شده است.



شکل ۴. ویژگی‌های کالبدی منطقه ۳ شهرداری شیراز (ماخذ: شهرداری شیراز، ۱۳۹۶).

طراحی و آزمون سناریوها، رویکردهای مناسبی برای مدل‌سازی حوادث زلزله هستند که برنامه‌ریزان را به تفهیم سطح لرزه‌زایی زلزله و تلفات ناشی از آن توانمند می‌سازد.

براساس گزارش دفتر برنامه‌ریزی سازمان ملل متحد در سال ۲۰۰۲ میلادی، ایران در میان دیگر کشورهای جهان، رتبه نخست را از نظر تعداد زلزله‌هایی با شدت بالای ۵/۵ ریشتر در سال و یکی از بالاترین رتبه‌ها را در زمینه آسیب‌پذیری ناشی از وقوع زلزله و تعداد تلفات این سانحه به خود اختصاص داده است (ملکی و مودت، ۱۳۹۲: ۱۴۳) که در این مقاله شدت زلزله با توجه به این مطلب تعیین و در ادامه سناریوی مطرح شده در این تحقیق آورده شده است.

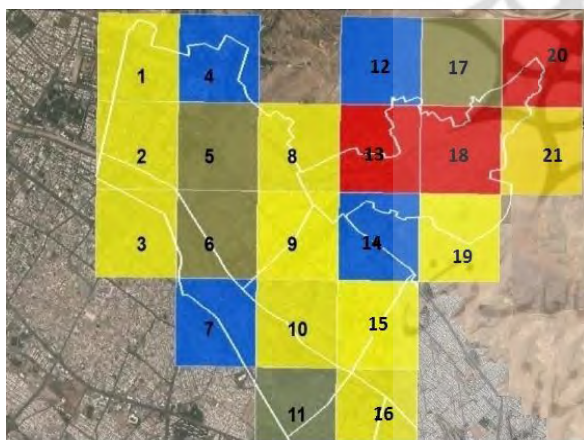
محل وقوع خطر: محل وقوع خطر زلزله در منطقه ۳ شهرداری شیراز تعریف شده است. گسل فعال: به دلیل نزدیک بودن منطقه ۳ به گسل فعال سلطان II، گسل بمو و سعدی فرض بر این است که بر اثر رخداد زلزله این گسل‌ها فعال شوند. ساعت وقوع زلزله:

زلزله‌ی فرضی در ساعت ۱۲ ظهر و ۳ صبح رخ می‌دهد. بزرگی زلزله: با توجه به احتمالات متخصصین امر بزرگی زلزله ۶/۲ ریشتر در نظر گرفته شده است. عمق زلزله: در این پژوهش عمق زلزله ۸ کیلومتر فرض شده است. با توجه به داده‌های ورودی، روش RADIUS آمار تلفات را به صورت زیر نشان داده است.

یافته‌های پژوهش

برای مطالعات تخمین آسیب، ارزیابی میزان احتمالی تلفات انسانی (مجروحان و کشته‌شدگان) ناشی از زلزله ضروری است. معمولاً عمده‌ترین تلفات انسانی زلزله ناشی از آسیب وارده به ساختمان‌ها و سازه‌ها بوده و طبق برآوردهای انجام شده در زلزله‌های به وقوع پیوسته در جهان بالای ۷۵ درصد از مرگ و میرها در زلزله ناشی از ریزش مستقیم ساختمان‌ها بوده و اگر حوادث ثانویه زلزله را هم به آن اضافه کنیم، بیش از ۹۰ درصد مرگ و میرها به ریزش ساختمان‌ها بر می‌گردد. برای تخمین تلفات انسانی زلزله از نظریه‌ای تحت عنوان نسبت مرگ‌آوری برای هر کدام از ساختمان‌ها که در درجات آسیب‌پذیری قرار می‌گیرند، استفاده می‌شود. نسبت مرگ‌آوری به عنوان نسبتی از تعداد افراد کشته‌شده به تعداد ساکنین موجود در حین ریزش ساختمان تعریف می‌شود. بنابراین تخمین تلفات تابعی از تخمین تعداد ساختمان‌های تخریب‌شده در هر گروه از درجات آسیب می‌باشد. با استفاده از این روش می‌توان نسبت مرگ‌آوری هر یک از ساختمان‌های موجود در شهر را مورد ارزیابی و تخمین قرار داد. نسبت مرگ‌آوری می‌تواند با عملکرد سازه در برابر زلزله، سطح اشغال، مشخصات زلزله از جمله شدت و فاصله‌ی کانونی زلزله تا شهر مورد نظر، رفتار ساکنین و آموزش‌های داده شده به آنان، تراکم جمعیت، تعداد طبقات ساختمان و زمان وقوع زلزله و... ارتباط مستقیم داشته باشد (احدئزادروشتی و همکاران، ۱۳۸۹: ۱۸۹). بنابراین میزان تلفات منطقه ۳ شهرداری شیراز مورد بررسی قرار گرفت (جدول ۳).

جدول ۳. نقشه تعداد کشته‌شدگان در سناریوی ۶/۲ ریشتر در ساعت ۱۲ ظهر (چپ) و ساعت ۳ صبح (راست)



۱	۴		۱۲	۱۷	۲۰
۲	۵	۸	۱۳	۱۸	۲۱
۳	۶	۹	۱۴	۱۹	
	۷	۱۰	۱۵		
		۱۱	۱۶		

تعداد کشته‌شدگان				
رنگ‌های استفاده شده در جدول	از(نفر)در ۳ صبح	تا(نفر)در ۳ صبح	از(نفر)در ۱۲ ظهر	تا(نفر)در ۱۲ ظهر
	۱۰	۲۰	۱۱	۲۲
	۲۰	۲۹	۲۲	۳۲
	۳۹	۳۹	۳۲	۴۲
	۳۹	۴۸	۴۲	۵۳

ماخذ: خروجی روش RADIUS

در اثر وقوع زلزله‌ای با بزرگی ۶/۲ در این منطقه در ساعت ۱۲ ظهر ۶۹۸ نفر و در ساعت ۳ صبح، ۶۳۴ نفر جان خود را از دست خواهند داد. در سناریوی ۱۲ ظهر، شبکه ۱۸ با حدود ۵۳ نفر بیش‌ترین تلفات را خواهد داشت. کم‌ترین میزان تلفات مربوط به شبکه‌ی ۱۴ (۱۱ نفر) می‌باشد. از تعداد کشته‌شدگان ۳ صبح حدود ۴۸ نفر در شبکه ۱۸، ۴۵ نفر در شبکه ۱۳ و ۳۸ نفر در شبکه‌ی ۹ اسکان دارند. کم‌ترین میزان تلفات مربوط به شبکه‌ی ۱۴ (۱۰ نفر) و شبکه‌ی ۱۲ (۱۲ نفر) می‌باشد. پس از تعیین تعداد کشته‌شدگان، آنچه اهمیت می‌یابد تعداد مجروحین است. دانستن تعداد این افراد در برنامه‌ریزی برای یافتن محلی برای اسکان آنان، مورد استفاده قرار می‌گیرد. از سوی دیگر می‌توان بر این اساس به مکان‌یابی درستی برای تاسیس

بیمارستان و استقرار خدمات پزشکی پرداخت. در اشکال زیر نحوه‌ی پراکنش مجروحین براساس سناریوهای پیشنهاد شده، ارائه شده است.

جدول ۴. نقشه توزیع تعداد مجروحین در منطقه در سناریوی ۶/۲ ریشتر در ساعت ۱۲ ظهر

تعداد مجروحین					
رنگ‌های استفاده شده در جدول	از (نفر)	تا (نفر)			
۱	۱۵۳	۲۸۴	۲۰	۱۷	۱۲
۲	۲۸۴	۴۱۴	۲۱	۱۸	۱۳
۳	۴۱۴	۵۴۴		۱۹	۱۴
	۵۴۴	۶۷۴			۱۵
					۱۶
					۱۱
					۷
					۴
					۵
					۸
					۹
					۱۰

ماخذ: خروجی روش RADIUS

جدول ۵. نقشه توزیع تعداد مجروحین در منطقه در سناریوی ۶/۲ ریشتر در ساعت ۳ صبح

تعداد مجروحین					
رنگ‌های استفاده شده در جدول	از (نفر)	تا (نفر)			
۱	۱۱۴	۲۱۳	۲۰	۱۷	۱۲
۲	۲۱۳	۳۱۱	۲۱	۱۸	۱۳
۳	۳۱۱	۴۰۹		۱۹	۱۴
	۴۰۹	۵۰۷			۱۵
					۱۶
					۱۱
					۷
					۴
					۵
					۸
					۹
					۱۰

ماخذ: خروجی روش RADIUS

چنانچه زلزله‌ای با بزرگی ۶/۲ ریشتر در ساعت ۱۲ ظهر رخ دهد، حدود ۹۶۳۴ نفر زخمی و مجروح خواهند شد. از این میان شبکه‌ی ۱۸ با ۶۷۴ نفر و شبکه‌های ۹ و ۱۵ با ۵۸۱ نفر بیش‌ترین سهم و شبکه‌ی ۱۴ با ۱۵۳ نفر و شبکه‌ی ۱۲ با تعداد ۱۶۷ نفر کم‌ترین سهم را خواهند داشت. در این سناریو از میان ۷۱۶۵ مجروح، حدود ۵۰۷ مجروح در شبکه‌ی ۱۸ و حدود ۱۱۴ مجروح در شبکه‌ی ۱۴ خواهند بود.

تحلیل یافته‌های پژوهش

مهم‌ترین هدف برنامه‌های کاهش آسیب‌پذیری شهرها در برابر زلزله، حفظ حیات و زندگی ساکنین می‌باشد (Green and Miles, 2011: 6). با پیش‌بینی پراکنندگی خسارات جانی و مالی پیش از وقوع زلزله، می‌توان اطلاعات لازم در خصوص نحوه‌ی تخلیه امن شهروندان، وضعیت توزیع اقلام امدادی در منطقه‌ی آسیب‌دیده و سایر اطلاعات مرتبط را کسب نمود (امینی حسینی و پیشنهادی، ۱۳۸۵: ۸۵). براساس مطالب بیان شده، نتایج خسارات و تلفات ناشی از وقوع زلزله براساس سناریوی پیشنهادی در منطقه مورد مطالعه مطابق (جدول ۶) است.

از آن‌جا که روش RADIUS برحسب تعداد جمعیت منطقه، جمعیت روز و شب منطقه را محاسبه می‌نماید؛ در نتیجه زمان نقش تعیین‌کننده‌ای در میزان تلفات انسانی ایفا می‌کند. در شرایط طبیعی و زندگی روزمره، درون بافت الگوهای فعالیتی متفاوتی وجود دارد که در بستر زمان و مکان متغیر می‌باشد. به عنوان مثال کاربری‌های تجاری موجود در این منطقه در روزهای کاری از ساعت ۸ تا ۱۴ و از ۱۶ الی ۲۳ و گاهی تا پاسی از شب دارای فعالیت می‌باشند. فضاهای باز اطراف همچون پارکینگ‌ها نیز در این ساعات

دارای بیشترین حجم وسایل نقلیه می‌باشند. بدیهی است این فضاها در ساعات اوج دارای بیشترین میزان آسیب‌پذیری و در ساعات غیر کاری کمترین میزان آسیب‌پذیری را خواهند داشت. شب‌ها به هنگام بازگشت جمعیت به درون بافت، فضاهای مسکونی دارای تراکم جمعیتی بالا می‌باشند (عبدلی، ۱۳۸۸: ۱۷۵). این عوامل موجب می‌شود تا در هنگام وقوع زلزله‌ای با بزرگی ۶/۲ ریشتر در ساعت ۱۲ ظهر ۶۹۸ نفر کشته و ۹۶۳۴ نفر مجروح شوند. همچنین در ساعت ۳ صبح، ۶۳۴ نفر جان خود را از دست خواهند داد و حدود ۷۱۶۵ نفر زخمی و مجروح خواهند شد.

جدول ۶. آمار خسارات و تلفات منطقه ۳ شهرداری شیراز در سناریوی ۶/۲ ریشتر

شماره شبکه	اطلاعات منطقه ۳		سناریوی ۱۲ ظهر		سناریوی ۳ صبح		تعداد مسکونی ۱	تعداد مسکونی ۲	تعداد مسکونی ۳	تعداد مسکونی ۴	آموزشی ۱	آموزشی ۲	دریغی ۱	تجزی	تعداد مسکونی	تعداد مسکونی	تعداد مسکونی	تعداد مسکونی
	تعداد	جمعیت	تعداد	جمعیت	تعداد	جمعیت												
۱	۳۸۳	۱۳۶۸۴	۵۵۱	۱۶,۰	۴۰۷	۳۴	۱۲,۳	۸,۰	۲۸,۳	۱۹,۶	۲۹,۶	۲۱,۰	۱۶,۸	۱۶,۰	۵۵۱	۱۶,۰	۴۰۷	۳۴
۲	۳۷۳	۱۳۶۸۴	۵۱۰	۱۵,۵	۳۹۲	۳۳	۱۲,۰	۷,۸	۲۷,۵	۱۹,۰	۲۹,۰	۲۰,۵	۱۶,۴	۱۵,۵	۵۱۰	۱۵,۵	۳۹۲	۳۳
۳	۳۶۱	۱۳۶۸۴	۵۱۰	۱۵,۰	۳۷۴	۳۰	۱۱,۶	۷,۵	۲۶,۶	۱۸,۳	۲۸,۳	۲۰,۰	۱۶,۰	۱۵,۰	۵۱۰	۱۵,۰	۳۷۴	۳۰
۴	۲۰۲	۶۸۴۲	۲۹۶	۱۷,۵	۲۲۰	۱۹	۱۳,۰	۸,۵	۲۹,۹	۲۰,۹	۳۰,۹	۲۱,۹	۱۶,۹	۱۷,۵	۲۹۶	۱۶,۹	۲۲۰	۱۹
۵	۲۹۵	۱۰۲۶۳	۴۲۸	۱۷,۱	۳۱۷	۲۷	۱۲,۶	۸,۲	۲۹,۱	۲۰,۲	۳۰,۲	۲۱,۴	۱۶,۴	۱۷,۱	۴۲۸	۱۶,۴	۳۱۷	۲۷
۶	۲۸۵	۱۰۲۶۳	۴۱۰	۱۶,۷	۳۰۳	۲۵	۱۲,۲	۷,۹	۲۸,۱	۱۹,۵	۲۹,۵	۲۰,۸	۱۶,۷	۱۶,۷	۴۱۰	۱۵,۸	۳۰۳	۲۵
۷	۱۸۳	۶۸۴۲	۲۵۹	۱۵,۲	۱۹۱	۱۶	۱۱,۸	۷,۶	۲۶,۹	۱۸,۶	۲۸,۶	۲۰,۲	۱۶,۱	۱۵,۲	۲۵۹	۱۵,۲	۱۹۱	۱۶
۸	۳۰۹	۱۰۲۶۳	۴۵۶	۱۷,۳	۳۴۰	۳۰	۱۳,۲	۸,۷	۳۰,۵	۲۱,۴	۳۱,۴	۲۲,۳	۱۷,۹	۱۷,۳	۴۵۶	۱۷,۳	۳۴۰	۳۰
۹	۳۹۹	۱۳۶۸۴	۵۸۱	۱۶,۷	۴۳۱	۳۸	۱۲,۸	۸,۳	۲۹,۵	۲۰,۶	۳۰,۶	۲۱,۷	۱۷,۳	۱۶,۷	۵۸۱	۱۶,۷	۴۳۱	۳۸
۱۰	۳۸۳	۱۳۶۸۴	۵۵۱	۱۶,۰	۴۰۷	۳۴	۱۲,۳	۸,۰	۲۸,۳	۱۹,۶	۲۹,۶	۲۱,۰	۱۶,۸	۱۶,۰	۵۵۱	۱۶,۰	۴۰۷	۳۴
۱۱	۲۷۴	۱۰۲۶۳	۳۸۹	۱۵,۲	۲۸۶	۲۳	۱۱,۸	۷,۶	۲۶,۹	۱۸,۶	۲۸,۶	۲۰,۲	۱۶,۱	۱۵,۲	۳۸۹	۱۵,۲	۲۸۶	۲۳
۱۲	۱۱۱	۳۴۲۱	۱۶۷	۱۴,۳	۱۲۵	۱۲	۱۱,۲	۷,۲	۲۵,۵	۱۷,۴	۲۷,۴	۱۹,۳	۱۴,۳	۱۴,۳	۱۶۷	۱۴,۳	۱۲۵	۱۲
۱۳	۴۳۰	۱۳۶۸۴	۶۴۳	۱۸,۷	۴۸۱	۴۵	۱۴,۱	۹,۴	۳۲,۸	۲۳,۳	۳۳,۳	۲۳,۷	۱۹,۰	۱۸,۷	۶۴۳	۱۸,۷	۴۸۱	۴۵
۱۴	۱۰۴	۳۴۲۱	۱۵۳	۱۸,۱	۱۱۴	۱۰	۱۳,۸	۹,۱	۳۱,۹	۲۲,۵	۳۲,۵	۲۳,۱	۱۸,۵	۱۸,۱	۱۵۳	۱۸,۱	۱۱۴	۱۰
۱۵	۳۹۹	۱۳۶۸۴	۵۸۱	۱۷,۴	۴۳۱	۳۸	۱۳,۳	۸,۷	۳۰,۷	۲۱,۶	۳۱,۶	۲۲,۴	۱۸,۰	۱۷,۴	۵۸۱	۱۷,۴	۴۳۱	۳۸
۱۶	۳۸۰	۱۳۶۸۴	۵۴۶	۱۶,۷	۴۰۳	۳۴	۱۲,۸	۸,۳	۲۹,۵	۲۰,۶	۳۰,۶	۲۱,۷	۱۷,۳	۱۶,۷	۵۴۶	۱۶,۷	۴۰۳	۳۴
۱۷	۲۳۰	۶۸۴۲	۳۵۱	۱۵,۸	۲۶۴	۲۶	۱۲,۲	۷,۹	۲۸,۱	۱۹,۵	۲۹,۵	۲۰,۸	۱۶,۷	۱۵,۸	۳۵۱	۱۵,۸	۲۶۴	۲۶
۱۸	۴۴۶	۱۳۶۸۴	۶۷۴	۱۵,۰	۵۰۷	۴۸	۱۱,۶	۷,۵	۲۶,۶	۱۸,۳	۲۸,۳	۲۰,۰	۱۶,۰	۱۵,۰	۶۷۴	۱۵,۰	۵۰۷	۴۸
۱۹	۳۲۳	۱۰۲۶۳	۴۸۲	۱۴,۰	۳۶۱	۳۳	۱۱,۰	۷,۰	۲۵,۰	۱۷,۰	۲۷,۰	۱۹,۰	۱۴,۰	۱۴,۰	۴۸۲	۱۴,۰	۳۶۱	۳۳
۲۰	۲۵۵	۱۰۲۶۳	۵۲۸	۱۹,۵	۴۱۴	۴۱	۱۴,۶	۹,۷	۳۴,۱	۲۴,۳	۳۴,۳	۲۴,۵	۱۹,۶	۱۹,۵	۵۲۸	۱۹,۵	۴۱۴	۴۱
۲۱	۳۴۵	۱۰۲۶۳	۵۲۶	۱۸,۸	۳۹۷	۳۹	۱۴,۲	۹,۴	۳۳,۱	۲۳,۵	۳۳,۵	۲۳,۸	۱۹,۱	۱۸,۸	۵۲۶	۱۸,۸	۳۹۷	۳۹
مجموع	۶۵۷۰	۲۲۲۲۶	۹۶۳۴	۱۷,۱	۷۱۶۵	۶۳۴	۱۲,۶	۲۹	۲۰,۲	۳۰,۲	۳۰,۲	۲۱,۴	۱۷,۱	۱۶,۴	۹۶۳۴	۱۶,۴	۷۱۶۵	۶۳۴

ماخذ: خروجی روش RADIUS

نتیجه گیری

وقوع زلزله در مناطق شهری به دلیل شرایط پیچیده‌ی حاکم بر آن می‌تواند تبعات ناگواری در پی داشته باشد. تبعاتی که با سرنوشت ساکنین آن می‌تواند در ارتباط کامل باشد. بنابراین اولین قدم در مدیریت هوشمندانه ریسک سوانح، برآورد خسارات و احتمال وقوع آن‌ها می‌باشد. ارائه تخمین‌هایی واقع‌بینانه از خسارات احتمالی سوانح، امکان تمرکز بیش‌تر و هوشمندانه‌تر بر ابزار مدیریت ریسک را برای این چنین ریسک‌هایی فراهم می‌سازد. از آنجایی که ارزیابی تمامی عوامل دخیل در آسیب‌پذیری شهر به طور یکجا امکان‌پذیر نمی‌باشد لذا در این مقاله سعی گردید که ویژگی‌های لرزه‌خیزی و همین‌طور میزان آسیب‌پذیری منطقه ۳ شهرداری شیراز از بعد تعداد تلفات انسانی با استفاده از قدرت تحلیل ابزارهای GIS و RADIUS انجام پذیرد.

در ارتباط با شاخص تلفات، گفته شده است که با بالا بودن تراکم انسانی، میزان تلفات افزایش می‌یابد و همچنین میان تراکم انسانی، تراکم ساختمانی و میزان تلفات ارتباط مستقیم وجود دارد. پس از بررسی‌های انجام شده مشخص شد که این منطقه به دلیل ویژگی کالبدی ابنیه، وجود ساختمان‌های فرسوده، نزدیکی به گسل‌های فعال و کیفیت سازه‌های نامناسب به عنوان یک منطقه آسیب‌پذیر شناخته می‌شود. همچنین وجود بافت‌های خودرو و قدیمی در دل این منطقه که عموماً از خانه‌های یک طبقه و دو طبقه با زیر بنای کم که به صورت متراکم در کنار یکدیگر ساخته شده‌اند، آسیب‌پذیری این منطقه را افزایش می‌دهد. این خانه‌ها غالباً مطابق استانداردهای فنی نبوده و ایستایی لازم در برابر زلزله را ندارند. به‌گونه‌ای که در هنگام وقوع زلزله‌ای با بزرگی ۶/۲

ریستر، ۶۵۷۰ ساختمان دچار آسیب‌پذیری شدید می‌گردد. به این ترتیب در تمامی نواحی‌ای که بیش‌ترین خسارات ساختمانی را دارند، میزان تلفات انسانی افزایش می‌یابد. در کل با توجه به نتایج به دست آمده از مطالعات، در هر حوزه از منطقه ۳ شهرداری شیراز که تراکم بالای جمعیت با وضعیت نامناسب و نامقاوم سازه‌ها همراه شده، تعداد و میزان تلفات به همان میزان بالا رفته است. تلفات در حوزه ۱۸ واقع در شرق منطقه ۳ شهرداری به علت تعداد زیاد جمعیت ساکن در آن و همچنین وضعیت نامناسب سازه‌های موجود در آن، بسیار وسیع خواهد بود. تلفات در حوزه ۱۳ و حوزه ۲۰ واقع در بخش شرقی منطقه ۳ به ترتیب در رتبه‌های بعدی به لحاظ تعداد تلفات قرار دارند. در این سه حوزه کاربری مسکونی نوع ۱ بیش‌ترین درصد را دارند که این نشان‌دهنده‌ی اهمیت سازه‌ی ساختمان‌ها در آسیب‌پذیری این منطقه می‌باشد. همچنین بیش‌ترین درصد تجاری در حوزه ۲۰ می‌باشد. بنابراین در صورت آسیب دیدن این حوزه خسارت اقتصادی این منطقه افزایش می‌یابد.

این در حالی است که در حوزه‌ی ۶ که جزء بخش‌های نوساز این منطقه به شمار می‌رود، توجه به مسئله تراکم ساختمانی و اندازه بلوک‌ها و متناسب با آن توزیع یکنواخت‌تر جمعیت ساکن در آن و مقاومت مناسبی که سازه‌های موجود در این منطقه در برابر زلزله می‌توانند از خود نشان دهند، به طور چشم‌گیری از بالا رفتن تعداد تلفات جلوگیری کرده است. البته با توجه به چگونگی توزیع نقاط آسیب‌پذیر مشخص می‌شود که نقاط ضعف و مستعد آسیب‌پذیری در سراسر منطقه دیده می‌شود. حتی برخی قسمت‌های نوساز نیز به دلیل استقرار در نزدیکی گسل‌های فعال دچار آسیب‌پذیری شدید هستند (مانند حوزه‌ی ۱۶).

همچنین تفاوت میزان آسیب‌پذیری در بستر زمان، در مناطق مسکونی نیز کاملاً محسوس می‌باشد. فضاهای مذکور به دلیل وجود جمعیت شناور، در ساعات کاری روز دارای کم‌ترین جمعیت می‌باشند. در این منطقه هرچند تعداد کشته‌شدگان در ساعت ۱۲ ظهر بیش‌تر است اما درصد آن با توجه به جمعیت روز بسیار کم‌تر از درصد کشته‌شدگان جمعیت شب است. زیرا وضعیت وقوع زلزله در روز و با امدادسانی گروه‌های مردمی و امدادسازان اضطراری و حرفه‌ای تلفات کم‌تری را موجب می‌گردد. این می‌تواند به دلیل سطح هوشیاری بیش‌تری باشد که مردم در روزها می‌توانند داشته باشند. به علاوه بخش قابل توجهی از مردم در روز خارج از محیط سر بسته و در فضای باز به سر می‌برند.

منابع و مآخذ

احدنژاد روشتی، محسن، جلیل‌پور، شهناز. (۱۳۹۰). ارزیابی عوامل بیرونی تأثیرگذار در آسیب‌پذیری ساختمانی بافت قدیم شهرها در برابر زلزله (مطالعه موردی: ناحیه ۱ شهر خوی)، سمینار ملی کاربرد GIS در برنامه‌ریزی اقتصادی، اجتماعی و شهری، صص ۱۲-۱.

احدنژاد روشتی، محسن، فرخلو، مهدی، زیاری، کرامت‌اله. (۱۳۸۹). مدل‌سازی آسیب‌پذیری ساختمانی شهرها در برابر زلزله با استفاده از روش فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی (نمونه موردی: شهر زنجان). *جغرافیا و توسعه*، ۱۹، ۱۷۱-۱۹۸.

اسفندیاری، فریبا، غفاری گیلانده، عطا، لطفی، خداداد. (۱۳۹۳). بررسی توان لرزه‌زایی گسل‌ها و برآورد تلفات انسانی ناشی از زلزله در مناطق شهری مطالعه موردی: (شهر اردبیل)، *پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی*، ۲(۴)، ۱۷-۳۶.

آقامحمدی، حسین، مسگری، محمدسعدی، منصوریان، علی، کریمی، وحید. (۱۳۸۹). برآورد تعداد مصدومان زلزله و نحوه توزیع مکانی آن‌ها به عنوان تابعی از خرابی‌های سازه‌ای، همایش سیستم‌های اطلاعات مکانی، شهر تهران.

المدرسی، سید علی، میردهقان اشکذری. (۱۳۹۶). تخمین خسارات ناشی از زلزله با استفاده از مدل RADIUS و GIS (مطالعه موردی شهرستان اشکذر). *مخاطرات محیط طبیعی*، ۱۶، ۸۹-۱۰۴.

امینی، جمال، کرمی، جلال، علیمحمدی سراب، عباس، صفرراد، طاهر. (۱۳۹۰). ارزیابی مدل رادیوس در تخمین خسارات ناشی از زلزله در محیط GIS (مطالعه موردی، منطقه یک شهرداری تهران). *مطالعات و پژوهش‌های شهری و منطقه‌ای*، ۱۱، ۲۳-۴۰.

امینی حسینی، کامبد، پیش‌نمازی، پروانه. (۱۳۸۵). بررسی نحوه اطلاع‌رسانی در زلزله‌های رودبار- منجیل و بم. *پژوهش‌نامه زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله*، ۱۳(۱ و ۲)، ۵۷-۶۵.

حسینی، زهرا، علوی، اکبر، حسن‌زاده، رضا، دهقانی، مژگان. (۱۳۹۳). تحلیلی بر آسیب‌پذیری لرزه‌ای و شبیه‌سازی آن در مدیریت بحران مطالعه موردی: ناحیه ۱۳ شهر کرمان. *تحقیقات جغرافیایی*، ۲۹(۴)، ۱۴۷-۱۶۴.

- محمدی ده چشمه، مصطفی، محمدی ده چشمه، مسعود. (۱۳۹۱). تحلیلی جغرافیایی بر نتایج اکولوژیکی ناشی از مهاجرت در شهر اهواز. فصلنامه جمعیت، ۱۹، ۸۲-۶۹.
- زارع، احمدعلی، حسینی، سیداحمد. (۱۳۹۵). تخمین تلفات انسانی مدارس شهر قم در صورت وقوع زلزله، مقاله منتشر شده در چهارمین همایش ملی مصالح ساختمانی و فناوری های نوین در عمران، معماری و شهرسازی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد میبد.
- سادین، حسین، میرزاعلی، محمد، کوثری صفا، معصومه. (۱۳۹۶). تحلیل خطر و خسارات زمین لرزه مناطق روستایی با استفاده از روش های AHP و GIS مطالعه ی موردی: دهستان ابرشویه ی دماوند. مدیریت بحران، ۱۱، ۹۳-۱۰۴.
- سمائی، مقداد، بزرگری، امیر، جعفری، فرهاد، قویمی پناه، محمدرضا، شامی، ابوالفضل. (۱۳۹۶). شبیه سازی سناریوهای محتمل رخداد زمین لرزه در تهران. علوم زمین، ۱۰۳، ۱۴۱-۱۵۶.
- شایان، سیاوش، زارع، غلامرضا. (۱۳۹۳). پهنه بندی زمین لرزه های رخ داده در استان فارس طی سال های ۱۹۰۰ تا ۲۰۱۰ میلادی و مقایسه آن با دیگر یافته های پژوهشی. تحقیقات جغرافیایی، ۲۹(۱)، ۸۹-۱۰۴.
- شریف زادگان، محمدحسین، فتحی، حمید. (۱۳۹۰). طراحی و کاربرد مدل های فضایی ارزیابی و تحلیل آسیب پذیری لرزه ای در برنامه ریزی و مدیریت شهری. صفا، ۴۶، ۱۰۹-۱۲۴.
- عابدینی، موسی، سرمستی، نادر. (۱۳۹۵). ارزیابی ضریب آسیب پذیری کلان شهر تبریز در برابر خطر زلزله و برآورد تلفات انسانی. جغرافیای طبیعی، ۳۳، ۳۵-۵۶.
- عشرتی، لیلا. (۱۳۹۳). گزارش پهنه بندی خطر آسیب پذیری کالبدی و انسانی در برابر زلزله (مطالعه موردی: منطقه ۱ و ۶ شهرداری شیراز). شیراز: مدیریت بحران شهرداری شیراز.
- عندلیبی، محمد جمیل، اویسی، بهنام. (۱۳۸۱). ساینموتکتونیک مدرن، شیراز: تخت جمشید.
- قنبری، ابوالفضل، زلفی، علی. (۱۳۹۳). ارزیابی آسیب پذیری شهری در برابر زلزله با تاکید بر مدیریت بحران شهری در شهر کاشمر. تحلیل فضایی مخاطرات محیطی، ۱(۴)، ۵۹-۷۴.
- گیاه چین، نسرن، مهرجو، محسن. (۱۳۹۰). ارزیابی کاربری زمین شهری با توجه به خطرات زلزله (مطالعه موردی ناحیه ۴ منطقه ۲۰). مقاله منتشر شده در همایش ملی ژئوماتیک ۹۰، سازمان نقشه برداری کشور، تهران.
- ملکی، سعید، مودت، الیاس. (۱۳۹۲). ارزیابی طیف آسیب پذیری لرزه ای در شهرها بر اساس سناریوهای شدت مختلف با استفاده از مدل های TOPSIS و GIS (مطالعه موردی: شهر یزد). جغرافیا و مخاطرات محیطی، ۵، ۱۲۷-۱۴۲.
- منصوری، بابک، قائمقامیان، محمدرضا، امینی حسینی، کامبد، گواهی، نعیمه. (۱۳۹۰). توسعه مدل لرزه ای خسارت جانی (مطالعه موردی منطقه ۱۷ شهر تهران)، تهران: پژوهشگاه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله.
- هاشمی، نرگس، هاشمی، سید غلامرضا، نظری، فاطمه، فقیه، عارف. (۱۳۹۵). ارزیابی تلفات انسانی ناشی از زلزله بر اساس سطوح تریاز در شهر قم. امداد و نجات، ۱(۴)، ۷۸-۸۹.
- Aoki, Yu., 2014, *More Schooling, Less Youth Crime? Learning from an Earthquake in Japan*, IZA Discussion Paper, No. 8619.
- Cas, A. G., Frankenberg, E., Suriastini, W., & Thomas, D. (2014). The impact of parental death on child well-being: evidence from the Indian Ocean tsunami. *Demography*, 51(2), 437-457.
- Green, R., & Miles, S. (2011). Social impacts of the 12 January 2010 Haiti earthquake. *Earthquake Spectra*, 27(S1), S447-S462.
- Gulati, B., (2006). *Earthquake Risk Assessment of Buildings Applicability of HAZUS in Dehradun, India*, M.Sc Thesis, International Institute for Geo- information Science and Earth Observation, Supervisors: M.J.G. Mark Brussel, Sandeep Maithani and Cees J van Westen.
- Hashemi, M., & Alesheikh, A. A. (2011). A GIS-based earthquake damage assessment and settlement methodology. *Soil dynamics and earthquake engineering*, 31(11), 1607-1617.
- Hosseini, Z. Alavi, A. Hassanzadeh, R. & Dehghani, M. (2015). Seismic Vulnerability Analysis and Simulation in Disaster Management, Case Study: 13th Area of Kerman City. *Geographical Research*, 29(4), 147-163.

- Jaiswal, K., & Wald, D. (2010). An empirical model for global earthquake fatality estimation. *Earthquake Spectra*, 26(4), 1017-1037.
- Jaiswal, K. S., & Wald, D. J. (2010, July). Development of a semi-empirical loss model within the USGS Prompt Assessment of Global Earthquakes for Response (PAGER) System. In *Proceedings of the 9th US and 10th Canadian conference on earthquake engineering: reaching beyond borders* (pp. 25-29).
- Maithani, S. & Sokhi, B.S. (2004). RADIUS: A Methodology for Earthquake Hazard Assessment in Urban Areas in a GIS Environment, Case Study Dehradun Municipal Area. *ITPI Journal 1* (3), 55-64.
- Rojahn, C. (1997). *Applied Technology Council Annual Report, Advancing Engineering Applications for Natural Hazard Mitigation*. Redwood City, California 94065.
- Santos, I. V. (2010). The Effects of Earthquakes on Children and Human Development in Rural El Salvador. In *Risk, Shocks, and Human Development* (pp. 128-151). Palgrave Macmillan, London.
- Tang, A., & Wen, A. (2009). An intelligent simulation system for earthquake disaster assessment. *Computers & Geosciences*, 35(5), 871-879.
- Villacis, C.A. & Cardona, C.N. (1999). *Guidelines for the Implementation of Earthquake Risk Management Projects*. California: Geohazards International Palo Alto.
- Wang, X. & Liu, K. (2012). Earthquake and Mental Health, Post Traumatic Stress Disorders in a Global Context, ISBN: 978-953-307-825-0, InTech, Available from: <http://www.intechopen.com/books/post-traumatic-stress-disorders-in-a-global-context/earthquake-and-mental-health>.
- Wei, H. H., Shohet, I. M., Skibniewski, M. J., Shapira, S., Levy, R., Levi, T., ... & Zohar, M. (2015). Assessment of casualty and economic losses from earthquakes using semi-empirical model. *Procedia Engineering*, 123, 599-605.
- Wong, I., Silva, W., Bott, J., Wright, D., Thomas, P., Gregor, N., ... & Wang, Y. (2000). Earthquake scenario and probabilistic ground shaking maps for the Portland, Oregon, metropolitan area. *Portland Hills fault M*, 6.
- Xu, J., Dai, J., Rao, R., & Xie, H. (2016). The association between exposure and psychological health in earthquake survivors from the Longmen Shan Fault area: the mediating effect of risk perception. *BMC public health*, 16(1), 417.