

ارزیابی میزان آسیب‌پذیری بافت مسکونی کلان‌شهر ساری در مخاطره طبیعی زلزله^۱

تاریخ دریافت مقاله: ۹۶/۱۱/۲۵ تاریخ پذیرش نهایی مقاله: ۹۷/۰۴/۱۷

فریال احمدی* (استادیار گروه معماری، دانشکده هنر و معماری، دانشگاه مازندران، بابلسر، ایران)
علیرضا اسکندری نژاد (استادیار گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه گلستان، گرگان، ایران)

چکیده

پژوهش حاضر با هدف سنجش سطح آسیب‌پذیری بافت‌های مسکونی به عنوان مهم‌ترین بخش از سامانه‌های شهری در کلان‌شهر ساری در برابر مخاطره طبیعی زلزله شکل‌گرفته‌است. روش پژوهش توصیفی-تحلیلی در بستر پیمایشی می‌باشد. ابتدا با بررسی‌های میدانی و ارزیابی طرح جامع شهر ساری، اطلاعات مربوط به به قدمت، نوع سازه و تعداد طبقات بناهای مسکونی در مناطق چهارگانه شهر ساری استخراج گردیده‌است. سپس کلاس‌بندی ساختمان‌های مسکونی و گزینش منحنی‌های آسیب‌پذیری متناسب هر کلاس ساختمانی به‌همراه نتایج حاصل از تحلیل خطر لرزه‌ای برای تعیین درصد و درجه خرابی ساختمان‌های مسکونی شهر ساری مورد استفاده قرار گرفته‌است. نتایج حاصل از پژوهش نشان می‌دهد که در مناطق ۱، ۲، ۳ و ۴ شهر ساری به ترتیب، ۶۳٪، ۶۶٪، ۷۲٪ و ۶۷٪ ساختمان‌های مسکونی که از نوع کلاس خشتی و مصالح بنایی از نوع بلوک سیمانی می‌باشند، به هنگام وقوع زلزله کاملاً تخریب می‌گردند. از سوی دیگر، کمترین میزان خرابی در کلیه ساختمان‌های فولادی و همچنین ساختمان‌های بتنی دارای ۶ طبقه و بالاتر پیش‌بینی شده‌است.

واژه‌های کلیدی: مخاطره طبیعی، زلزله، آسیب‌پذیری بافت مسکونی، شهر ساری.

^۱ این طرح با اعتبار ویژه پژوهشی دانشگاه مازندران اجرا گردید.

* نویسنده رابط: f.ahmadi@umz.ac.ir

مقدمه

شهر اثر ماندگار تاریخی و از نظر اجتماعی دارای ساختاری تکامل پذیر است که با توجه به رشد شهرنشینی و افزایش تدریجی تعداد شهرها، توجه بیشتر به آن‌ها در ابعاد مختلف محیطی، اقتصادی و اجتماعی را ضروری ساخته است. در واقع شهر همواره نیازمند مدیریتی همه جانبه می باشد (شیعه، ۱۳۸۲: ۳۷؛ فرجی و قرخلو: ۱۴۴). یکی از موضوعاتی که بیشتر شهرهای جهان با آن دست به گریبانند، سوانح و مخاطرات طبیعی است. یکی از این سوانح طبیعی زلزله می باشد. در دهه های اخیر زلزله هایی با شدت های مختلف باعث گردیده است تا تلفات انسانی و اقتصادی بسیار زیادی را رقم زند. کشور ایران از جمله کشورهایی است که گسل های فعال و خطرناک دارد و بسیاری از شهرها، سکونتگاه ها و تأسیسات انسانی یا روی گسل ها و یا در مجاورت آن ها واقع شده است و در بسیاری از زمین لرزه های حادث شده، تخریب زیادی دیده شده است. وقوع زمین لرزه های شدیدی چون مازندران (۱۳۳۶)، بویین زهرا (۱۳۴۱)، قیر و کارزین (۱۳۵۰)، منجیل و رودبار (۱۳۶۹)، قائنات (۱۳۷۶)، بم (۱۳۸۲)، غرب مازندران (۱۳۸۳)، فهرج (۱۳۸۹)، اهر و ورزقان (۱۳۹۱)، سنبه (۱۳۹۲)، مورموری (۱۳۹۳)، فریمان (۱۳۹۶)، سر پل ذهاب (۱۳۹۶) و مانند آن ها، گواه این مدعا است. با وجود آنکه جلوگیری از وقوع رویداد زلزله امکان پذیر نمی باشد؛ اما می توان با تخمین خسارات ناشی از وقوع زلزله با توجه به ویژگی ساختمان های موجود در کلان شهرها از لحاظ سه مؤلفه نوع سازه، تعداد طبقات و قدمت و پیش بینی تأثیرات ناشی از آن، به راهکارهای کاهش خسارات و چگونگی افزایش تاب آوری شهری در مقابل سانحه طبیعی زلزله دست یافت. از این رو پژوهش حاضر در جهت تخمین خسارات لرزه ای ساختمان های مسکونی کلان شهر ساری با توجه به میزان تعداد طبقات، قدمت ابنیه و نوع سازه شکل گرفته است تا با تخمین شدت حرکت ناشی از زلزله های محتمل آینده در محدوده مورد مطالعاتی، میزان خسارات مشخص گردد و چگونگی مدیریت و برنامه ریزی صحیح در زمینه کاهش خسارات ناشی از این سانحه طبیعی در قالب راهکارهای طراحی ارایه گردد.

پیشینه پژوهش

با توجه به اهمیت توانایی تخمین آسیب پذیری شهرها ناشی از مخاطرات طبیعی زلزله به مثابه شالوده اساسی برای مدیریت ریسک شهری، تاکنون مطالعات و پژوهش های مختلفی در این زمینه در ایران و خارج از ایران انجام شده است. مشک ساز و همکاران

(۱۳۹۲) با استفاده از روش RADIUS، خسارات فیزیکی بافت شهری ناشی از زلزله منطقه ۳ شهرداری شیراز را ارزیابی نمودند. ایشان علل اصلی آسیب‌پذیری این ناحیه را بافت ارگانیک، شبکه ارتباطی نامنظم و نبود تجهیزات شهری مناسب معرفی نمودند. در پژوهشی دیگر میزان آسیب‌پذیری بافت شهری کاشمر به هنگام وقوع زلزله، زیاد گزارش شده‌است (قنبری و زلفی، ۱۳۹۳). علاوه بر این نتایج حاصل از پژوهش قائدرحمتی و همکاران (۱۳۹۳) نشان می‌دهد که بافت مرکزی و حاشیه شهر بروجرد در دسته مناطق پرخطر به هنگام وقوع زلزله قرار می‌گیرند. شهر بروجرد عیسی‌لو و همکاران (۱۳۹۵) در مقاله خود به تخمین میزان آسیب‌پذیری بافت شهری منطقه ۱ شهر تهران با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی پرداختند. نگارندگان مقاله در این پژوهش بر ناامن و آسیب‌پذیر بودن بخش شمالی منطقه ۱ تهران در برابر مخاطره زلزله تأکید نمودند. نتایج حاصل از ارزیابی آسیب‌پذیری کالبدی شهر اهر در برابر بحران زلزله، حاکی از آن است که حدود ۳۰ درصد از فضاهای ساخته‌شده این شهر در برابر زلزله، آسیب‌پذیری متوسط به بالایی دارند و ساختار کالبدی مطلوبی برای مدیریت بحران ناشی از زلزله را ارائه نمی‌نمایند (سرور و کاشانی اصل، ۱۳۹۵). در پژوهشی دیگر ارزیابی میزان آسیب‌پذیری بافت فرسوده‌ی شهر میناب در برابر زمین لرزه انجام شده‌است. یافته‌های این پژوهش نشان می‌دهد که ۱۸ درصد از اراضی بافت‌های فرسوده شهر میناب آسیب‌پذیری متوسط و ۱۲ درصد آسیب‌پذیری زیاد داشته‌اند و ۲۴ درصد نیز در معرض آسیب‌پذیری خیلی زیاد بوده‌اند که عمدتاً حول هسته قدیمی شهر قرار گرفته‌اند (علوی و همکاران، ۱۳۹۵). همچنین نتایج حاصل از پهنه‌بندی خطر زلزله در شهر تبریز نشان می‌دهد که مناطق مرکزی، غرب و جنوب غربی این شهر در پهنه لرزه‌خیزی با ریسک بسیار بالا و بالا قرار دارند (پاشاپور و همکاران، ۱۳۹۸).

در پژوهش‌های خارجی نیز کول و همکاران با انجام تحلیل خطر زمین‌لرزه برای شهر شانگهای و حومه به مطالعه آسیب‌پذیری این مناطق پرداختند. در این مطالعه، پس از طبقه‌بندی انواع ابنیه از منظر سازه‌ای، قدمت بنا و تعداد طبقات با استفاده از ضریب خرابی میانگین ارائه شده در ادبیات فنی به تخمین خرابی این ابنیه تحت شدت حرکات مختلف زمین‌لرزه پرداختند (Cole et al., 2008). تخمین خسارات ناشی از زلزله در شهر قاهره مصر با انجام تحلیل خطر زلزله بر اساس تدوین تاریخچه لرزه‌خیزی در کنار در نظر گرفتن پیکربندی تکتونیکی منطقه مورد مطالعه به‌وسیله محرم و همکاران (Moharam et al., 2008a) صورت گرفته است. ایشان با ناحیه‌بندی زمین‌شناسی ناحیه

مورد مطالعه و همچنین بررسی نهشته‌های خاکی مختلف با استفاده از نتایج گمانه‌های حفاری و همچنین بهره‌گیری از روابط پیش‌بینی حرکت زمین به تخمین نسبتاً دقیق حرکات زمین ناشی از زلزله‌های محتمل آینده پرداختند. در مرحله پایانی با ترکیب این نتایج با دستاوردهای مطالعات آسیب‌پذیری ساختمان‌ها با توجه به قدمت آن‌ها، یک چارچوب برای مدل ریسک لرزه‌ای شهر قاهره ارائه دادند. همچنین لازم به ذکر است محرم و همکاران (2008b, Moharam et.al) در ادامه مطالعه قبلی خود، همین کار را با در نظر گرفتن چهار سناریو زلزله مختلف برای شهر قاهره توسعه دادند. مشابه این مطالعات با استفاده از روش HAZUS برای مناطق مختلف دنیا نظیر شهر نیویورک (2008, Tantala et.al) و شهر مانیل فیلیپین با کمک گرفتن از قضاوت متخصصان محلی (2008, Miura et. al) انجام شده است.

مبانی و رویکردهای نظری

زلزله یکی از اجتناب ناپذیرترین وقایع طبیعی است و باعث می‌شود که نیروهای محبوس در پوسته زمین آزاد شده و پوسته آرامش و ایستایی خود را بازابد (کردوانی و همکاران، ۱۳۹۰: ۱). این پدیده طبیعی، در اثر جابجایی نسبی صفحات عظیم تکتونیکی تشکیل دهنده پوسته جامد کره زمین و آزاد شدن انرژی پس از بروز گسیختگی در محل درگیری صفحات تکتونیکی به وقوع می‌پیوندد (بیات، ۱۳۸۲: ۲۸). "اغلب خاموش و در عین حال بالقوه مستعد ایجاد آسیب است، به طور سالانه بیش از ۱۵۰۰۰۰ نفر تلفات جانی و بیش از ۱۴۰ میلیارد دلار خسارت مالی در کشورها به ویژه کشورهای در حال توسعه به بار می‌آورد" (جمعیت هلال احمر جمهوری اسلامی ایران، ۱۳۸۵: ۱۲). گستردگی ویرانی‌ها به شدت و عمق زلزله بستگی دارد. زلزله‌هایی با عمق کمتر و شدت بیشتر، ویرانی بیشتری ایجاد می‌نمایند (اصغری مقدم، ۱۳۷۸: ۴۹). بنابراین پیش‌بینی خسارت‌های احتمالی ناشی از زلزله، امری ضروری است. در حال حاضر، ارزیابی آسیب‌پذیری و مدل کردن رفتار ساختمان‌ها در مقابل زلزله به یکی از مفاهیم اساسی در مطالعه خطر بدل شده است (2008: 783, Cole et al.). آسیب‌پذیری شهری به میزان خسارت وارد شده به یک شهر و ساکنان آن (اعم از جانی، مالی و معنوی) در برابر مخاطرات احتمالی اطلاق می‌گردد (احد نژاد و همکاران، ۱۳۹۰). به واقع آسیب‌پذیری به نداشتن ظرفیت کافی افراد جهت رویارویی و مقابله با مخاطرات طبیعی اشاره دارد (2002: 53, Lorena Montoyo Morales). اما کاهش آسیب‌پذیری شهر تنها زمانی

محقق خواهد شد که ایمنی شهر در مواجهه با زلزله به عنوان هدف اصلی در برنامه‌ریزی شهری مورد توجه قرار گیرد (موسی پور، ۱۳۸۰: ۳۶). مهم‌ترین بخش از اقدامات مدیریت بحران باید به پیشگیری وقوع بحران و کاهش خطرات و آسیب‌پذیری‌ها معطوف می‌گردد (حمیدی، ۱۳۷۴: ۱۶۵۴). باید توجه داشت که در کشورهای توسعه یافته در برنامه‌ریزی شهری، به منظور کاهش تأثیرات بلند مدت ناشی از مخاطرات طبیعی شناخته شده، طرح‌های پیشگیری از مخاطرات طبیعی تهیه می‌شود (بمانیان و همکاران، ۱۳۹۱: ۱۰) نکته حائز اهمیت این است که واحدهای مسکونی در زمره حساس‌ترین و آسیب‌پذیرترین کاربری‌ها به هنگام وقوع سوانح طبیعی قرار دارد (پاپلی یزدی و وثوقی، ۱۳۷۵: ۳۰) و برای مقابله با آسیب‌پذیری آن در برابر خطرات طبیعی همچون زلزله مدیریت و برنامه‌ریزی صحیح صورت پذیرد. از این‌رو سنجش و آگاهی در زمینه میزان آسیب‌پذیری بافت‌های مسکونی جهت ارائه برنامه‌های کوتاه و بلند در جهت ارتقای تاب‌آوری شهری، بسیار حایز اهمیت می‌باشد.

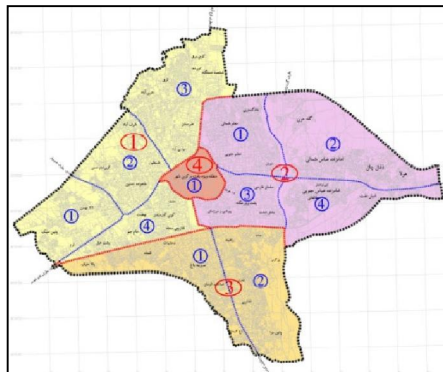
روش تحقیق

پژوهش حاضر به لحاظ هدف غایی، در غالب پژوهش‌های کاربردی قرار می‌گیرد و از روش توصیفی- تحلیلی در سه مرحله تبیین، تدقیق و ارزیابی استفاده‌نموده‌است. در مرحله نخست با استفاده از مطالعات کتابخانه‌ای به بررسی مفهوم آسیب‌پذیری کالبدی پرداخته‌شده و متغیرهای مؤثر بر آن مورد ارزیابی قرار گرفته‌است. سپس با بررسی مطالعات پیشین به سابقه تخمین خطر زمین‌لرزه و تناسب نتایج حاصله با اهداف پژوهش حاضر پرداخته شده‌است. در مرحله بعد، پس از اتمام تخمین شدت حرکت زمین‌لرزه‌ای محتمل آینده در محدود مطالعاتی، به بررسی میدانی و ارزیابی طرح جامع شهر ساری جهت دسترسی به اطلاعات مربوط به قدمت، نوع سازه و تعداد طبقات بناهای مسکونی در مناطق چهارگانه در شهر ساری پرداخته شده‌است. سپس جهت تخمین میزان آسیب‌پذیری بافت مسکونی شهر ساری در مخاطره زلزله، کلاس‌بندی ساختمان‌ها بر اساس روش پیشنهادی آژانس همکاری‌های بین‌المللی ژاپن ارائه‌شده در گزارش ریزپهنه‌بندی تهران بزرگ (جایکا، ۱۳۸۱) انجام گرفته‌است تا از این رهگذر میزان خرابی ساختمان‌های مسکونی شهر ساری به هنگام وقوع زلزله مشخص گردد. در گام بعدی با تخمین شدت زمین‌لرزه‌های محتمل آینده در شهر ساری، درصد و درجه خرابی بافت

مسکونی مشخص شده‌است. در نهایت با استفاده از نتایج حاصل از این مرحله، پیشنهادها و راهکارهایی جهت ارتقای تاب‌آوری کالبدی بافت مسکونی شهر ساری داده شده‌است.

یافته‌های پژوهش

شهر ساری (مرکز استان مازندران) در جنوب دریای خزر در منطقه جلگه‌ای و در طول شرقی ۵۳ درجه و ۳ دقیقه و عرض شمالی ۳۶ درجه و ۳۴ دقیقه و ارتفاع متوسط ۴۰ متری از سطح دریا واقع شده‌است. این شهر در طی شصت سال اخیر با توجه به نوسازی‌های صورت گرفته، متحول شده‌است. ذکر این نکته حایز اهمیت است که در طرح جامع شهری، شهر ساری به ۴ منطقه مرکزی (با ۱ ناحیه)، شرقی (با ۴ ناحیه)، غربی (با ۴ ناحیه) و جنوبی (با ۲ ناحیه) تقسیم شده‌است.



شکل ۱: منطقه‌بندی شهر ساری. منبع: مهندسین مشاور مازند طرح، ۱۳۹۴

در پژوهش حاضر، جهت بررسی میزان آسیب‌پذیری کالبدی بافت مسکونی شهر ساری، در مرحله نخست به بررسی قدمت ابنیه‌های مسکونی در نواحی مختلف شهر ساری با استفاده از برداشت‌های میدانی و اطلاعات گزارش شده در طرح جامع شهر ساری پرداخته شده‌است. نتایج حاصل از بررسی‌ها نشان می‌دهد که بیشتر بناهای مسکونی شهر ساری دارای قدمتی بین ۲۰-۱۱ می‌باشند. همچنین در منطقه ۴ بیشترین تعداد واحد مسکونی با قدمتی بین ۵۰-۳۱ سال مشاهده می‌گردد. لازم به ذکر است که تنها یک بنا با قدمت بیش از ۵۰ سال در منطقه ۴ وجود دارد و در بقیه مناطق، بناهایی با قدمت بیش از ۵۰ سال وجود ندارد (شکل ۲). در گام بعدی با توجه به میزان تأثیر گذاری سازه بنا در شدت میزان آسیب‌پذیری در مخاطره زلزله، به تفکیک در کلیه مناطق و نواحی موجود در شهر ساری، نوع سازه به کار رفته در بناها مورد تدقیق و ارزیابی قرار گرفته‌است. لازم به

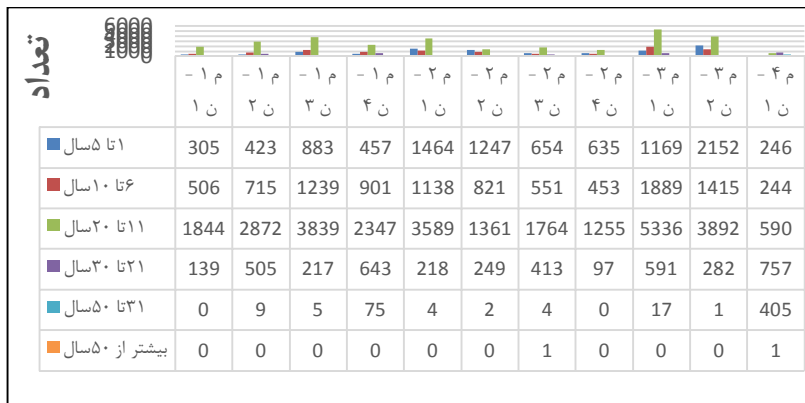
ذکر است در ارزیابی‌های صورت گرفته، سازه بنا به دو گونه سازه‌های فولادی و بتنی و سازه‌های بنایی طبقه‌بندی گردیده‌است. همچنین سازه‌های بنایی نیز با توجه به مصالح استفاده شده در آن به سه گونه آجر و فولاد، سنگ و آجر و رس و چوب طبقه‌بندی شده است. نتایج حاصل از ارزیابی‌ها در این بخش نشان می‌دهد که بیشتر بناهای مسکونی دارای سازه‌های بنایی بوده و بیشتر از مصالح فولادی و آجری استفاده نموده‌اند و کمتر از سازه‌های فولادی و بتنی بهره‌گرفته شده‌است. بیشترین درصد استفاده از سازه‌های فولادی و بتنی (۴۶,۳٪) مربوط به منطقه ۱ (ناحیه ۳) می‌باشد. همچنین ۶۹,۶٪ بناهای موجود در منطقه ۳ (ناحیه ۱)، دارای سازه‌های بنایی (استفاده از فولاد و آجر به عنوان مصالح اصلی) می‌باشد. در شکل ۳، نوع سازه‌های استفاده شده در بناهای مسکونی به تفکیک نواحی آمده‌است.

جهت تخمین میزان آسیب‌پذیری بافت مسکونی شهر ساری در مخاطره زلزله، کلاس‌بندی ساختمان‌ها بر اساس روش پیشنهادی آژانس همکاری‌های بین‌المللی ژاپن (جایکا، ۱۳۸۱) انجام گرفته‌است. در تعیین کلاس‌های ساختمانی ارایه‌شده توسط جایکا، تعداد طبقات، قدمت ابنیه و سازه و نوع مصالح لحاظ شده‌است (جدول شماره ۱). پس از مرحله کلاس‌بندی ساختمان‌ها، باید شدت زلزله‌های احتمالی آینده تخمین‌زده‌شود تا با تعیین این شدت‌ها و استفاده از شکل‌های آسیب‌پذیری ارایه شده توسط جایکا برای هر کلاس ساختمانی، به تعیین میزان خرابی محتمل ساختمان‌ها مبادرت نمود. در شکل ۴، توزیع نوع کلاس ساختمانی بر اساس جدول شماره ۱ و بررسی داده‌های موجود به نمایش درآمده‌است.

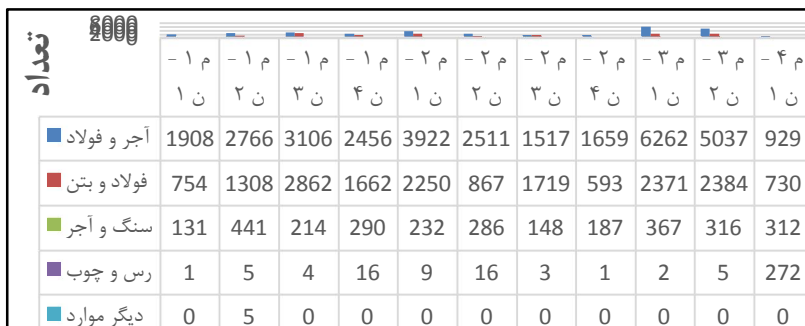
جدول شماره ۱: کلاس‌بندی ساختمان‌ها توسط آژانس همکاری‌های بین‌المللی ژاپن.

نوع سازه	تعداد طبقات	سال ساخت	نوع کلاس ساختمانی
فولادی	کمتر از ۳	بعد از ۱۳۷۰	S ₁
	بالاتر از ۴	قبل از ۱۳۷۰	S ₂
بتنی	بالای ۶	همه سال‌ها	C ₀
	کمتر از ۲	بعد از ۱۳۷۰	C ₁
	بین ۳ تا ۵	قبل از ۱۳۷۰	C ₂
بنایی (آجر و فولاد و یا سنگ)	هر تعداد طبقه	همه سال‌ها	M _B
بنایی (بلوک‌های سیمانی)	هر تعداد طبقه	همه سال‌ها	M _C
خشتی	هر تعداد طبقه	همه سال‌ها	A

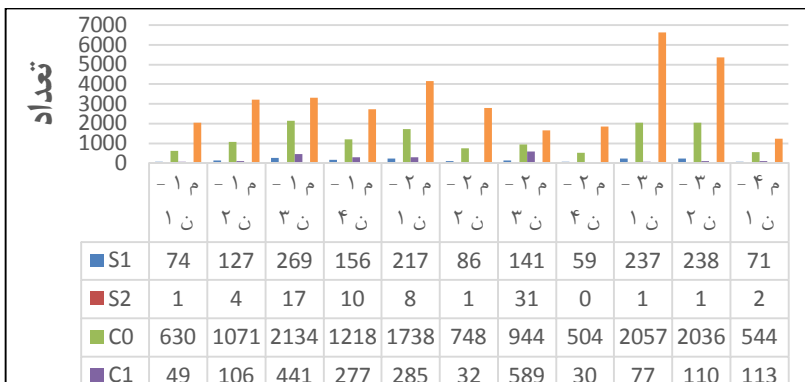
منبع: (جایکا، ۱۳۸۱)



شکل ۲: توزیع سن ساختمان‌های مسکونی در نواحی مختلف شهر ساری. منبع: نگارندگان



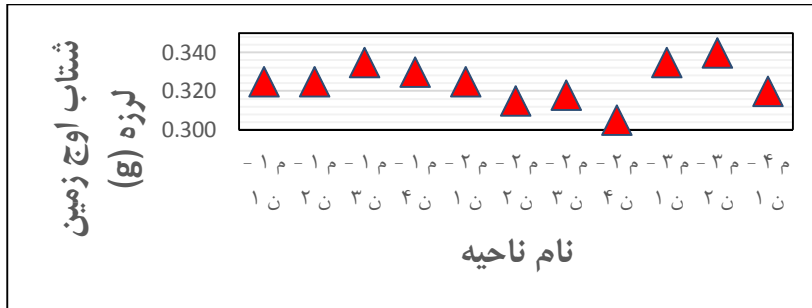
شکل ۳: انواع ساختمان‌های مسکونی از نظر نوع مصالح و سازه در شهر ساری. منبع: نگارندگان



شکل ۴: توزیع انواع کلاس ساختمانی برای نواحی مناطق مختلف شهر ساری. منبع: نگارندگان

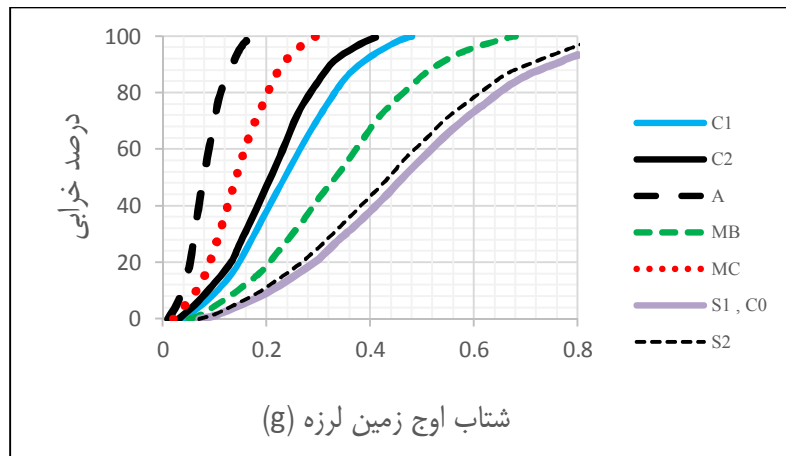
برای پیش‌بینی خرابی‌های ناشی از وقوع زلزله در سازه‌های مختلف از قبیل ساختمان‌های مسکونی، با توجه به اهمیت این سازه‌ها، سطوح مختلف خطر وقوع زلزله

برای طراحی آن‌ها تعیین می‌گردد. اکثر آیین‌نامه‌های لرزه‌ای ساختمانی، سطح خطر زلزله طرح را برای طراحی سازه‌ای مدنظر قرار می‌دهند. همچنین از این سطح خطر لرزه‌ای، در مطالعات پهنه‌بندی لرزه‌ای شهری بهره‌گرفته می‌شود، از این‌رو در مطالعه حاضر نیز، این سطح خطر که بیانگر زلزله‌های با دوره بازگشت ۴۷۵ سال (که معادل احتمال رخداد زلزله برابر با ۱۰ درصد در ۵۰ سال عمر ساختمان است) است مبنای مطالعه قرار گرفته‌است. شدت زلزله مورد استفاده در این مطالعه، شتاب اوج زمین (یا PGA) می‌باشد و شکل‌های آسیب‌پذیری بر حسب این پارامتر توسعه داده شده‌اند (Sadeghi et al, 2015). با توجه به گزارش تحلیل خطر لرزه‌ای احتمالاتی طرح جامع شهر ساری، مقادیر میانگین شتاب اوج زمین برای دوره بازگشت ۴۷۵ سال (زلزله طرح استاندارد ۲۸۰۰) استخراج و در شکل ۵ نمایش داده شده‌است. همچنین شکل‌های آسیب‌پذیری لرزه‌ای انواع کلاس‌های ساختمانی تعیین شده در مراحل قبلی در شکل ۶ قابل رویت می‌باشد. بر طبق این شکل‌ها، می‌توان با دانستن مقدار شتاب اوج زمین و کلاس ساختمانی، میزان درصد خرابی یک ساختمان را تعیین نمود. لازم به ذکر است در هنگام وقوع زلزله ۶ نوع درجه خرابی ممکن است ایجاد شود که رابطه میان درجه خرابی و درصد خرابی در جدول شماره ۲ آمده‌است.



شکل ۵: توزیع شتاب اوج زمین میانگین برای نواحی چهارگانه شهر ساری

منبع: نگارندگان



شکل ۶: شکل آسیب‌پذیری کلاس‌های ساختمانی مختلف. منبع: (2015, Sadeghi et.al)

جدول شماره ۲: رابطه درصد خرابی و درجه خرابی

مشخصات درجه خرابی	درصد خرابی	درجه خرابی
خسارت ناچیز است	۰ تا ۲	بدون خرابی (D۱)
ترک‌های خیلی زیر	۳ تا ۱۰	خرابی کم (D۵)
ترک‌های با عرض ۵ تا ۲۰ میلی‌متر در ساختمان	۱۱ تا ۳۰	خرابی متوسط (D۴)
ترک‌های با عرض بیشتر از ۲۰ میلی‌متر در ساختمان و خرابی بعضی از اجزا ساختمان مانند دیوارها	۳۱ تا ۶۰	خرابی زیاد (D۳)
قسمتی از سقف و همچنین یکی از دیوارهای ساختمان خراب شده‌باشد.	۶۱ تا ۸۰	خرابی خیلی زیاد (D۲)
سقف به طور کامل و همچنین بیشتر از یک دیوار در ساختمان خراب شده‌باشد.	۸۱ تا ۱۰۰	خرابی کامل (D۱)

منبع: (201, Hasanzadeh et.al)

در جداول شماره ۳ تا ۶، درصد و درجه خرابی محاسبه‌شده برای انواع کلاس‌های ساختمانی نواحی مختلف هر یک از مناطق چهارگانه شهر ساری ارائه شده‌است. این جداول حاوی درصدها و درجات خرابی‌های مربوط به دوره بازگشت ۴۷۵ سال هستند. جدول شماره ۳، میزان خرابی‌های احتمالی را برای ساختمان‌های مسکونی منطقه ۱ شهر ساری گزارش می‌دهد. همانگونه که از نتایج حاصل از این جدول پیداست، پیش‌بینی می‌شود در صورت وقوع زلزله طرح، ساختمان‌های کلاس خشتی و مصالح بنایی از نوع بلوک سیمانی در تمامی نواحی این منطقه کاملاً خراب شوند. با بررسی هرچه بیشتر این جدول می‌توان گفت که آسیب‌پذیرترین ناحیه، ناحیه شماره ۳ خواهد بود. همچنین بر

اساس درجات خرابی پیش‌بینی‌شده، درجه خرابی متوسط (D_4)، ضعیف‌ترین نوع خرابی در این منطقه است که در کلاس‌های ساختمانی S_1 ، S_2 و C_0 رخ خواهد داد. هرچند که باید ذکر نمود که در نواحی ۳ و ۴، ساختمان‌های با کلاس S_2 دچار خرابی زیاد خواهند شد.

طبق جدول شماره ۴، آسیب‌پذیرترین ناحیه منطقه ۲ شهر ساری، ناحیه ۱ خواهد بود و در مقابل، خطر آسیب‌پذیری ناحیه ۴ از همه نواحی کمتر بدست آمده است. در این منطقه نیز مشابه منطقه ۲، درصد خرابی ساختمان‌های کلاس خشتی و مصالح بنایی از نوع بلوک سیمانی، برابر با ۱۰۰٪ بدست آمده است. محاسبات نشان می‌دهد که مشابه با منطقه ۱، ساختمان‌های بتنی ۳ تا ۵ طبقه که زمان ساخت آن‌ها به قبل از سال ۱۳۷۰ برمی‌گردد، دچار خرابی کامل گردند (یعنی درجه خرابی D_1).

جدول شماره ۳: درصد و درجه خرابی کلاس‌های ساختمانی نواحی چهارگانه منطقه ۱ ساری.

کلاس ساختمان	S_1		S_2			C.		C_1		C_2		M_B		M_C		A	
	نام ناحیه	درجه	درجه	درجه	درجه	درجه	درجه	درجه	درجه	درجه	درجه	درجه	درجه	درجه	درجه	درجه	درجه
منطقه ۱	۱	۲۵	D_4	۳۰	D_4	۲۵	D_4	۷۸	D_2	۹۰	D_1	۴۹	D_3	۱۰۰	D_1	۱۰۰	D_1
	۲	۲۵	D_4	۳۰	D_4	۲۵	D_4	۷۸	D_2	۹۰	D_1	۴۹	D_3	۱۰۰	D_1	۱۰۰	D_1
	۳	۲۶	D_4	۳۲	D_3	۲۶	D_4	۸۱	D_1	۹۲	D_1	۵۱	D_3	۱۰۰	D_1	۱۰۰	D_1
	۴	۲۷	D_4	۳۱	D_3	۲۷	D_4	۸۰	D_2	۹۱	D_1	۵۰	D_3	۱۰۰	D_1	۱۰۰	D_1

منبع: نگارندگان

جدول شماره ۴: درصد و درجه خرابی کلاس‌های ساختمانی نواحی چهارگانه منطقه ۲ ساری.

کلاس ساختمان	S_1		S_2			C.		C_1		C_2		M_B		M_C		A	
	نام ناحیه	درجه	درجه	درجه	درجه	درجه	درجه	درجه	درجه	درجه	درجه	درجه	درجه	درجه	درجه	درجه	درجه
منطقه ۲	۱	۲۵	D_4	۳۰	D_4	۲۵	D_4	۷۸	D_2	۹۰	D_1	۴۹	D_3	۱۰۰	D_1	۱۰۰	D_1
	۲	۲۴	D_4	۲۸	D_4	۲۴	D_4	۷۶	D_2	۸۸	D_1	۴۶	D_3	۱۰۰	D_1	۱۰۰	D_1
	۳	۲۴	D_4	۲۸	D_3	۲۴	D_4	۷۶	D_2	۸۹	D_1	۴۷	D_3	۱۰۰	D_1	۱۰۰	D_1
	۴	۲۲	D_4	۲۶	D_3	۲۲	D_4	۷۳	D_2	۸۶	D_1	۴۴	D_3	۱۰۰	D_1	۱۰۰	D_1

منبع: نگارندگان

با بررسی جدول شماره ۵ که برای دو ناحیه منطقه ۳ ارائه شده است و همچنین مقایسه با نتایج قبلی مناطق ۱ و ۲، می‌توان دریافت که آسیب‌پذیری این دو ناحیه در مقابل زلزله طرح بیشتر است. همچنین با مقایسه جدول شماره ۶ که برای تنها ناحیه منطقه ۴ (یعنی منطقه مرکزی شهر ساری) با نواحی بررسی شده قبلی مشخص می‌گردد که آسیب‌پذیری در این منطقه برای ساختمان‌های فولادی با تعداد طبقات کمتر از ۳ (ساخته شده قبل از سال ۱۳۷۰) و ساختمان‌های بتنی بالای ۶ طبقه (C۰) حدود ۲۴٪ می‌باشد. همچنین کلیه ساختمان‌های خشتی (A) و بنایی با بلوک سیمانی (MC) در زلزله‌ای با دوره بازگشت ۴۷۵ سال تخریب می‌گردند.

جدول شماره ۵: درصد و درجه خرابی کلاس‌های ساختمانی نواحی دوگانه منطقه ۳ ساری.

کلاس ساختمان	S _۱		S _۲		C.		C _۱		C _۲		M _B		M _C		A		
	نام ناحیه	درجه خرابی	درجه خرابی	درجه خرابی	درجه خرابی	درجه خرابی	درجه خرابی	درجه خرابی	درجه خرابی	درجه خرابی	درجه خرابی	درجه خرابی	درجه خرابی	درجه خرابی	درجه خرابی	درجه خرابی	
منطقه ۳	۱	۲۷	D۴	۳۲	D۳	۲۷	D۴	۸۱	D۱	۹۲	D۱	۵۱	D۳	۱۰۰	D۱	۱۰۰	D۱
	۲	۲۸	D۴	۳۲	D۳	۲۸	D۴	۸۲	D۱	۹۳	D۱	۵۲	D۳	۱۰۰	D۱	۱۰۰	D۱

منبع: نگارندگان

جدول شماره ۶: درصد و درجه خرابی کلاس‌های ساختمانی در منطقه ۴ ساری.

کلاس ساختمان	S _۱		S _۲		C.		C _۱		C _۲		M _B		M _C		A		
	نام ناحیه	درجه خرابی	درجه خرابی	درجه خرابی	درجه خرابی	درجه خرابی	درجه خرابی	درجه خرابی	درجه خرابی	درجه خرابی	درجه خرابی	درجه خرابی	درجه خرابی	درجه خرابی	درجه خرابی	درجه خرابی	
منطقه ۴	۱	۲۴	D۴	۲۹	D۴	۲۴	D۴	۷۷	D۲	۹۱	D۱	۴۷	D۳	۱۰۰	D۱	۱۰۰	D۱

منبع: نگارندگان

نتیجه‌گیری

زلزله به عنوان یکی از مهم‌ترین مخاطرات طبیعی در کشور ایران شناخته می‌گردد که تاکنون تلفات جانی و مالی بسیار زیادی را برای شهروندان و ساختارهای شهری با

توجه به عدم طراحی مناسب ساختارها و بافت‌های شهری جهت مقابله با زلزله، به همراه داشته‌است. در این زمینه، ذکر این نکته حایز اهمیت است که افزایش تراکم ساخت و سازها به همراه عدم بهره‌مندی از ساختارهای سازه‌ای مناسب، رشد کند بازسازی و نوسازی بافت‌های فرسوده، رشد و توسعه نامتوازن شهری، توسعه بافت‌ها و زیرساخت‌های شهری بر روی گسل‌ها و مانند آن‌ها موجب گردیده‌است تا شهرها آسیب‌پذیرتر گردند. بنابراین مدیریت و برنامه‌ریزی صحیح شهری در جهت کاهش سطح آسیب‌پذیری شهرها و کاهش تلفات جانی و مالی شهروندان اجتناب‌ناپذیر است.

با توجه به اهمیت و ضرورت ذکر شده، در این پژوهش به بررسی میزان و سطح آسیب‌پذیری بافت مسکونی کلان شهر ساری در برابر مخاطره احتمالی زلزله پرداخته شد. در فرآیند تحلیل آسیب‌پذیری جهت تدوین برنامه‌های جامع کوتاه و بلند شهری، باید در مرحله نخست ساختمان‌ها با توجه نوع سازه و مصالح مورد استفاده، تعداد طبقات و قدمت مورد ارزیابی گیرند. در مرحله بعد با توجه به نتایج حاصل از مرحله نخست، کلاس‌بندی ساختمان‌های مسکونی جهت گزینش منحنی‌های آسیب‌پذیری متناسب صورت پذیرد تا نهایت با استفاده از نتایج تحلیل خطر لرزه‌ای، درصد و میزان خرابی ساختمان‌ها بر اساس منحنی‌های آسیب‌پذیری مشخص گردید (شکل ۷).



شکل ۷: فرآیند ارزیابی آسیب‌پذیری لرزه‌ای بافت مسکونی

نتایج حاصل از پژوهش در شهر ساری نشان می‌دهد که با توجه به میزان خرابی پیش‌بینی شده برابر با ۱۰۰٪ برای ساختمان‌های از نوع کلاس خشتی و مصالح بنایی از نوع بلوک سیمانی، لزوم جایگزینی این نوع ساختمان‌ها با ساختمان‌های جدیدتر و نیاز به اندیشیدن تدابیر مناسب جهت کاهش خطر خرابی ناشی از وقوع زمین‌لرزه‌های آتی کاملاً احساس می‌شود. همچنین بر اساس نتایج حاصل، باید نسبت به مقاوم‌سازی، تغییر کلاس ساختمانی در هنگام نوسازی و همچنین بازسازی مجدد ساختمان‌ها بر اساس آیین‌نامه‌های طراحی لرزه‌ای ساختمانی جدید که قواعد سخت‌گیرانه‌تری برای طراحی و اجرای ساختمان‌ها قائل می‌شوند اقدام نمود. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده از پژوهش حاضر با تکیه بر راهکارهای طراحی و برنامه‌ریزی موارد زیر را می‌توان در جهت کاهش آسیب‌پذیری لرزه‌ای ساختمان‌های مسکونی شهر ساری ارایه داد:

(۱) در توسعه‌های جدید بافت‌های مسکونی باید توجه شود که مطالعه در زمینه ویژگی‌های طبیعی بستر شامل عمق و نوع گسل‌ها، سابقه زلزله‌های تاریخی شهر ساری، نوع و جهت شیب و همچنین نوع خاک از اصول اولیه مکان‌یابی ایمن بافت‌های مسکونی در زمان مخاطره طبیعی زلزله می‌باشد.

(۲) افزایش تراکم جمعیتی و تعداد طبقات در مجموعه‌های مسکونی بدون توجه به طراحی و اجرای دقیق سازه‌های مقاوم در برابر زلزله، سطح آسیب‌پذیری لرزه‌ای را افزایش خواهد داد. از این‌رو توجه به مقاوم‌سازی لازم در زمینه سازه و تغییر نوع کلاس‌های ساختمانی خشتی و بنایی نقش بسیار مؤثری در کاهش سطح آسیب‌پذیری ساختمان‌های مسکونی در مخاطره زلزله دارد. نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که کلاس ساختمانی C^۱ (ساختمان‌های بتنی ۲ طبقه ساخته شده بعد از سال ۱۳۷۰)، کلاس ساختمانی C^۲ (ساختمان‌های بتنی ۳ تا ۵ طبقه ساخته شده قبل از سال ۱۳۷۰)، MB (ساختمان‌های بنایی با آجر و فولاد و یا سنگ)، MC (ساختمان‌های بنایی با بلوک سیمانی) و A (ساختمان‌های خشتی) در تمامی مناطق شهر ساری با زلزله‌ای با دوره بازگشت ۴۷۵ سال دارای درصد خرابی بین ۷۰٪ تا ۱۰۰٪ خواهند بود. از این‌رو توجه به نوسازی و مقاوم‌سازی این کلاس‌های ساختمانی در شهر ساری باید مورد توجه قرار گیرد تا کاهش سطح آسیب‌پذیری کالبدی امکان‌پذیر گردد.

(۳) افزایش قدمت ابنیه، افزایش آسیب‌پذیری لرزه‌ای ساختمان‌های مسکونی را به همراه دارد، از این‌رو انجام اقدامات مقاوم‌سازی سازه‌ای بناهای فرسوده حایز اهمیت است.

با توجه به سن ساختمانی در منطقه ۴ و افزایش لکه فرسودگی در این منطقه، آگاهی استفاده‌کنندگان فضاهای مسکونی نسبت به سطح آسیب‌پذیری بالایی ساختمان‌های مسکونی، می‌تواند نقش بسیار مؤثری در ترغیب آنان به بازسازی و نوسازی بافت مسکونی داشته باشد. همچنین با توجه به اینکه بیشترین لکه فرسوده در منطقه چهار شهر ساری دیده می‌شود و آسیب‌پذیری فیزیکی و کالبدی این منطقه در سطح بالایی قرار دارد، پیشنهاد می‌گردد تا جهت ارتقای سطح تاب‌آوری این منطقه، احداث فضاهای باز میان ساختمان‌های مسکونی مورد توجه قرار گیرد تا به هنگام وقوع زلزله‌های احتمالی، تلفات جانی به حداقل ممکن برسد.

منابع و مأخذ:

- ۱- احد نژاد، م.، زلفی، ع.، نوروزی، م.ج.، جلیلی، ک. ۱۳۹۰. ارزیابی آسیب پذیری اجتماعی شهرها در برابر زلزله. نمونه موردی: شهر خرمدره. فصل نامه جغرافیایی چشم انداز زاگرس، ۷(۳) شماره ۷: ۸۱-۹۸.
- ۲- مرکز تحقیقات، مسکن و شهرسازی. ۱۳۹۳. استاندارد ۸۴-۲۸۰۰: آیین نامه طراحی ساختمانها در برابر زلزله. چاپ اول. مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی. ۱۶۰ صفحه.
- ۳- اصغری مقدم، م.ر. ۱۳۷۸. جغرافیایی طبیعی شهر (ژئومورفولوژی). چاپ اول. انتشارات مسعی. ۲۰۲ صفحه.
- ۴- بیات، ح. ۱۳۸۲. ارزیابی آسیب پذیری واحدهای ساختمانی و رهیافت هایی برای ایجاد دگرگونی. همایش یافته های زلزله بم، ۱۵ بهمن ۱۳۸۲، سازمان ملی زمین و مسکن، تهران، ۳۱-۴۲.
- ۵- بمانیان، م.ر.، رفیعیان، م.، خالصی، م.م.، بمانیان، ر. ۱۳۹۱. کاهش خطرپذیری شهر از بلایای طبیعی از طریق برنامه ریزی کاربری زمین. مدیریت بحران، ۲: صص ۱۵-۵.
- ۶- پاپلی یزدی، م.ح.، وثوقی، ف. ۱۳۷۵. مسکن روستایی، فرهنگ و توسعه، نمونه: استان خراسان. فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، ۴۱: ۴۶-۲۶.
- ۷- پاشاپور، ح.، قربانی، ر.، فرهادی، ا.، درودی نیا، ع. ۱۳۹۸. پهنه بندی خطر زلزله با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (مطالعه موردی: کلان شهر تبریز). آمایش محیط، ۴۵: ۴۹-۶۹.
- ۸- پور احمد، ا.، سیفال دینی، ف.، نیک پور، ع. ۱۳۸۸. بررسی کاربری اراضی در بخش مرکزی شهر آمل. فصلنامه پژوهش های جغرافیای انسانی، ۶۷: ۱۶-۱.
- ۹- جمعیت هلال احمر جمهوری اسلامی ایران. ۱۳۸۵. بلایای طبیعی. پیام هلال، ۱۲۱: ۱۲.
- ۱۰- حمیدی، م. ۱۳۷۴. نقش برنامه ریزی و طراحی شهری در کاهش خطرات و مدیریت بحران. دومین کنفرانس بین المللی زلزله و مهندسی زلزله، تهران، ۲۷-۲۵ اردیبهشت، ۱۶۶۵-۱۶۵۴.
- ۱۱- سرور، ه.، کاشانی اصل، ا. ۱۳۹۵. ارزیابی آسیب پذیری کالبدی شهر اهر در برابر بحران زلزله. فصلنامه آمایش محیط، ۳۴ (۹): ۸۷-۱۰۸.
- ۱۲- شیعه، ا. ۱۳۸۲. لزوم مدیریت شهری در ایران. جغرافیا و توسعه، ۱: ۶۲-۳۷.

- ۱۳- فرجی، ا.، قرخلو، م. ۱۳۸۹. زلزله و مدیریت بحران شهری (مطالعه موردی: شهر بابل). فصلنامه جغرافیا، ۸: ۱۶۴-۱۴۳.
- ۱۴- قائدرحمتی، ص.، گندمکار، ا.، خوشکلام‌پور، ا. ۱۳۹۳. ارزیابی متغیرهای تأثیر گذار بر آسیب‌پذیری مسکن شهری در برابر زلزله (مطالعه موردی: شهر بوجرد). آمایش محیط، ۷ (۲۴): ۱۰۴-۸۳.
- ۱۵- قنبری، ا.، زلفی، ع. ۱۳۹۳. ارزیابی آسیب‌پذیری شهری در برابر زلزله با تأکید بر مدیریت بحران شهری در شهر کاشمر. تحلیل فضایی مخاطرات محیطی، ۴: ۷۴-۵۹.
- ۱۶- عبداله‌ای، م. ۱۳۸۸. مدیریت بحران در نواحی شهری (زلزله و سیل). چاپ اول. انتشارات سازمان شهرداریهای کشور. ۱۳۵ صفحه.
- ۱۷- علوی، س.ع.، ابراهیمی، م.، نجف‌پور محمودآباد، ب.، خالدی، ع. ۱۳۹۵. ارزیابی میزان آسیب‌پذیری بافت فرسوده‌ی شهر میناب در برابر زمین‌لرزه. دوفصلنامه مدیریت بحران، ۱: ۷۱-۸۲.
- ۱۸- عیسی‌لو، ش.، لطیفی، غ.ر.، گودرزی، و. ۱۳۹۵. ارزیابی آسیب‌پذیری کالبدی بافت منطقه یک شهر تهران در برابر زلزله احتمالی با استفاده از روش " IHWP " و سیستم " GIS ". فصلنامه اطلاعات جغرافیایی، ۱۰۰: ۸۷-۷۳.
- ۱۹- مرکز مطالعات زلزله و زیست محیطی تهران بزرگ و آژانس همکاری‌های بین‌المللی ژاپن (جایکا). ۱۳۸۱. ریز پهنه‌بندی لرزه‌ای تهران بزرگ. چاپ اول. شهرداری تهران.
- ۲۰- کردوانی، پ.، قنبری، ع.ر.، اطلسی، ل. ۱۳۹۰. برنامه‌ریزی مدیریت بحران حوزه شهری فسا، جهت کاهش خسارات ناشی از زلزله. جغرافیای طبیعی، ۴ (۱۳): ۱۴-۱.
- ۲۱- مشک‌ساز، پ.، ایزدی، ح.، سلطانی، ع.، بذرگر، م.ر. ۱۳۹۲. ارزیابی آسیب‌پذیری فیزیکی بافت‌های شهری در برابر زلزله در روش RADIUS. پژوهش‌های جغرافیایی برنامه‌ریزی شهری، ۱ (۱): ۱۲۹-۱۱۵.
- ۲۲- موسی‌پور. ۱۳۸۰. مشارکت شهروندان در برنامه‌ریزی شهری. پایان نامه کارشناسی ارشد رشته جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری. دانشگاه شهید بهشتی. ۱۲۰ صفحه.
- ۲۳- مهندسین مشاور مازند طرح. ۱۳۹۴. طرح جامع شهر ساری. چاپ اول. اداره کل راه و شهرسازی استان مازندران، مدیریت شهرسازی و معماری.
- 24- Amini Hosseini، K.، Hosseini، M.، Jafari، M.، & Hosseinioon، S. 2009. Recognition of Vulnerable Urban Fabrics in Earthquake Zones: A Case Study of the Tehran Metropolitan Area. JSEE، 10(4): 174-187.

- 25- Cole, S. W., Xu, Y., & Burton, P. W. 2008. Seismic hazard and risk in Shanghai and estimation. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 28(10-11): 778–794.
- 26- Hasanzadeh, R., Nedovic, Z., Budic, Z., Alavi Razavi, A., Norouzzadeh, M., Hodhodkian, H. 2013. Interactive approach for GIS-based earthquake scenario development and resource estimation (Karmania hazard model). *Computer and Geoscience*, 51: 324-338.
- 27- Hashemi, M., & Alesheikh, A. 2011. A GIS-based earthquake damage assessment and settlement methodology. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 31(11): 1607-1617.
- 28- Lorena Montoyo Morales, A. 2002. Urban disaster management: a case study of earthquake risk assessment in Cartago. Ph.D Thesis in disaster risk management, University of Utrecht. 235 pages.
- 29- Miura, H., Midorikawa, S., Fujimoto, K., Pacheco, B. M., & Yamanaka, H. 2008. Earthquake damage estimation in Metro Manila, Philippines based on seismic performance of buildings evaluated by local experts' judgments. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 28 (10-11): 764–777.
- 30- Moharram, A., Elghazouli, A., & Bommer, J. 2008a. A framework for a seismic risk model for Greater Cairo. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 28(10-11): 795–811.
- 31- Moharram, A., Elghazouli, A., & Bommer, J. 2008b. Scenario-based earthquake loss estimation for the city of Cairo, Egypt. *Georisk: Assessment and Management of Risk for Engineered Systems and Geohazards*, 2 (2): 92-112.
- 32- Sadeghi, M., Hochrainer-Stigler, S., Ghafory-Ashtiany, M. 2015. Evaluation of earthquake mitigation measure to reduce economic and human losses: a case study to residential property owners in the metropolitan areas of Shiraz, Iran. *Natural Hazards*, 78(3): 1811-1826.
- 33- Tantala, M. W., Nordenson, G. J., Deodatis, G., & Jacob, K. 2008. Earthquake loss estimation for the New York City Metropolitan Region. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 28(10-11): 812–835.