تاریخ دریافت: ۹۵/۰۸/۰۱
تاریخ پذیرش: ۹۶/۰۲/۲۷

مطالعه‌ی ارزیابی آسیب‌پذیری لرزه‌ای ساختمان‌های متداول شهری به روش آریا مطالعه‌ی موردی: قسمتی از شهرستان کازرون

یاسر آریان‌پور (نویسنده مسئول)، گروه مهندسی عمران، موسسه آموزش عالی لیان، بوشهر، ایران،
yaser.ar@ielian.ac.ir
محمدرضا احسان‌دوست، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد کازرون، باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان، کازرون، ایران

چکیده: *زلزله به‌عنوان یک پدیده‌ی طبیعی ویرانگر است که هر ساله قسمتی از زمین را می‌لرزاند و خرابی به بار می‌آورد. جهت کاهش این خسارت، احداث ساختمان‌های مقاوم در برابر زلزله و مقاوم‌سازی ساختمان‌های موجود ضروری است. گستردگی ساختمان‌های آجری به‌عنوان مسکن بیش از سی درصد مردم جهان بر کسی پوشیده نیست. بخش‌های عمده‌ای از ساختمان‌های موجود در کشور ایران به‌ویژه در شهرهای متوسط و کوچک را ساختمان‌های مصالح بنایی یعنی ساختمان‌هایی که با آجر، بلوک سیمانی و یا سنگ ساخته می‌شوند تشکیل می‌دهد. هدف از مقاله‌ی حاضر شناخت وضعیت موجود گونه‌های مختلف ساختمان متداول در محله‌های فخاران، بولیوار و آهنگران در شهرستان کازرون و ارزیابی آسیب‌پذیری آنها در برابر سطوح مختلف زلزله است. این کار با ارزیابی ۹۰ ساختمان موجود در این مناطق که به‌صورت تصادفی انتخاب شد صورت می‌پذیرد. برای این منظور از بین روش‌های مختلف ارزیابی کمّی و کیفی، روش ارزیابی کیفی آسیب‌پذیری آریا انتخاب و با جمع‌آوری اطلاعات مورد نیاز هر ساختمان انتخابی، آسیب‌پذیری آن محاسبه شد و وضعیت آن در یکی از چهار گروه خسارت کم، قابل‌استفاده؛ خسارت متوسط، تعمیر الزامی؛ خسارت زیاد، بازسازی الزامی؛ و خسارت خیلی زیاد، خرابی و ریزش ساختمان طبقه‌بندی شد. نتایج نشان می‌دهد که آسیب‌پذیری ساختمان‌ها در برابر زلزله‌های طرح بسیار زیاد بوده (حدود ۸۰٪) و برای ساختمان‌های بنایی نگران کننده است.*

واژگان کلیدی: *آسیب‌پذیری، لرزه‌خیزی، ارزیابی کیفی، روش آریا، کازرون.*

۱– مقدمه

به لرزش‌هایی که بر اثر آزاد شدن انرژی‌های تمرکز یافته در لایه‌های زیرین زمین به وجود می‌آید و ممکن است باعث تغییراتی در سطح زمین و بروز خسارات مالی و جانی شود زمین‌لرزه اطلاق می‌شود [۱]. زلزله به‌عنوان یک پدیده‌ی طبیعی پیوسته به وقوع و غافلگیر کردن ما ادامه خواهد داد و با فاصله گرفتن از رخداد آخرین زلزله به وقوع زلزله‌ای دیگر نزدیک می‌شویم. بر اساس گزارش سازمان ملل، در سال ۲۰۰۳ میلادی، کشور ایران در بین کشورهای جهان رتبه‌ی نخست را در تعداد زلزله‌های با شدت بالای ۵/۵ ریشتر و یکی از بالاترین رتبه‌ها را در زمینه‌ی آسیب‌پذیری از زلزله و تعداد افراد کشته شده در اثر این سانحه، داشته است. بر اساس همین گزارش، در کشور ایران زلزله وجه غالب را در بین سوانح طبیعی داراست [۲]. بررسی انجام شده پس از زلزله‌های مختلف در سه دهه‌ی

اخیر نشان از آن داشته که از میان آسیب‌های گوناگون ناشی از مراحل شکل‌گیری ساختمان - از بدو سیاست‌گذاری تا بهره‌برداری - آسیب‌های ناشی از مرحله‌ی اجرا همواره از اهمیت ویژه‌ای برخوردار بوده‌اند. در این مرحله‌ی حساس متأسفانه بیشترین مشکل را باید در بی‌توجهی و عدم التزام عملی مجریان به آئین‌نامه‌های رایج (از جمله آئین‌نامه‌ی طراحی و اجرای ساختمان‌ها در برابر زلزله (آئین‌نامه ۲۸۰۰) و مبحث هشتم مقررات ملی) دانست که از دو جنبه‌ی محاسبات و نیز نظارت و اجرا قابل تأمل و بررسی است. بنابراین کم‌توجهی و اهمال از یک‌سو و دستورالعمل‌های ساختمانی تدوین نشده ولی رایج از سوی دیگر منشأ اصلی ناهنجاری‌ها را تشکیل می‌دهند. آمار تلفات جانی و تخریب کامل بنا، کم‌وبیش و به‌طور کامل به ساختمان‌های آجری تعلق دارد. این وضعیت، عمدتاً از انهدام ساختمان‌های آجری ناشی می‌شود که نوع غالب در معماری شهری و روستایی ماست [۳].

۲- تاریخچه‌ی ارزیابی آسیب‌پذیری لرزه‌ای ساختمان‌ها

در سال ۱۹۷۷ میلادی، برتر و برسلر آسیب‌پذیری موضعی، آسیب‌پذیری تجمعی و آسیب‌پذیری کلی را جهت تعیین میزان آسیب تعریف کردند. در سال ۱۹۸۴ میلادی پارک با ارائه‌ی یک شاخص خسارت، تحقیقات صورت گرفته در گذشته را کامل کرد و توانست تحول بزرگی در ارزیابی آسیب‌پذیری ایجاد نماید. بعد از آنها روش‌های مختلفی توسط کارنتونی و فردیش در سال ۱۹۹۲ میلادی و همچنین کامورا و همکارانش در سال ۱۹۹۲ میلادی ارائه گردید. در سال‌های اخیر روش‌های متعددی جهت ارزیابی آسیب‌پذیری ساختمان‌ها پیشنهاد شد که از آن جمله می‌توان به روش ارزیابی ونزوئلا، روش ارزیابی ATC، روش کمیته کشورهای بالکان، روش آریا و ... اشاره نمود [۴]. در ایران پس از واقعه‌ی مصیبت‌بار زلزله‌ی رودبار- منجیل در سال ۱۳۶۹ با تلاش بیشتری به تحلیل لرزه‌خیزی ایران و بحث ارزیابی آسیب‌پذیری ساختمان‌ها و بررسی روش‌های مقاوم‌سازی در برابر زلزله پرداخته شد؛ به‌خصوص در تهران به دلیل احتمال زلزله‌ی بزرگ قریب‌الوقوع، در مراکز تحقیقاتی از جمله مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله، و مرکز مطالعات مقابله با سوانح طبیعی بر روی موضوع ارزیابی آسیب‌پذیری ساختمان‌ها و بررسی روش‌های مقاوم‌سازی آنها تحقیقاتی صورت گرفته است [۵].

عزیزی و اکبری [۶] با به‌کارگیری معیارهای شهرسازی و با استفاده از GIS و AHP به بررسی سنجش آسیب‌پذیری شهر در برابر زلزله‌ی احتمالی پرداخته‌اند. نتایج تحقیق آنها نشان داد که با افزایش مقدار متغیرهایی چون شیب زمین، تراکم جمعیت، تراکم ساختمانی، عمر ساختمان‌ها و فاصله از فضاهای باز میزان آسیب‌پذیری افزایش می‌یابد. در مقابل، افزایش مقدار متغیرهایی نظیر فاصله از گسل، مساحت قطعات، دسترسی بر اساس عرض معبر و سازگاری کاربری‌ها از نظر همجواری باعث کاهش آسیب‌پذیری می‌شود. زنگی‌آبادی و همکاران [۷] در پژوهشی که به‌صورت پیمایشی، تحلیلی و مبتنی بر مشخصات کمّی و کیفی بوده است، به تحلیل شاخص‌های آسیب‌پذیری مسکن‌های شهر اصفهان در برابر زلزله پرداخته‌اند. مطالعه‌ی آنها نشان داد که میزان آسیب‌پذیری مسکن‌های شهر اصفهان در برابر خطر زلزله بالاست و دسترسی به مراکز امداد و نجات در مواقع بحرانی مانند وقوع زلزله در وضعیت نامطلوبی قرار دارد [۷].

احدنژاد [۸] با استفاده از دو مدل RISK_UE و AHP آسیب‌پذیری شهر زنجان را در برابر زلزله مدل‌سازی کرده و در نهایت با ارائه‌ی سناریوهای زلزله در شدت‌های مختلف و با استفاده از مدل‌های موجود در زمینه‌ی تخمین خسارات، به ارزیابی خسارات انسانی و اقتصادی و اجتماعی شهر زنجان پرداخته است.

حاتمی‌نژاد [۹] با استفاده از روش تحلیلی ارزیابی

آسیب‌پذیری لرزه‌ای و با بهره‌گیری از AHP و GIS، آسیب‌پذیری منطقه‌ی ۱۰ شهر تهران را بررسی نموده و برای این کار از شاخص‌هایی نظیر نوع مصالح، عمر سازه، تراکم جمعیت و شبکه‌ی ارتباطی استفاده کرده است.

جیووناتزی [۱۰] در پژوهشی ابتدا به بررسی مدل‌های مختلف آسیب‌پذیری از جمله مدل RISK_UK و سناریوهای مختلف آسیب پرداخته و سپس با استفاده از مدل RISK_UK ارزیابی آسیب پذیری منطقه‌ی لیگوریا در ایتالیا را بررسی نموده و سناریوهای آسیب را انجام داده است.

لانتادا و همکاران [۱۱] در تحقیقی ضمن مدلسازی آسیب‌پذیری شهر بارسلون با استفاده از مدل RISK_UE، با به‌کارگیری مدل‌های موجود در زمینه‌ی تخمین خسارات به ارزیابی خسارات انسانی و اقتصادی در شهر بارسلون پرداخته‌اند.

نکته‌ی اساسی در مورد ساختمان‌های مصالح بنایی غیر مسلح این است که با توجه به اینکه مصالح مصرفی دارای خاصیت غیر الاستیک هستند درصورتی‌که ضوابط فصل سوم آئین‌نامه‌ی ۲۸۰۰ و مبحث هشتم مقررات ملی در مورد آنها رعایت نشود فاقد شکل‌پذیری کافی خواهند بود؛ و چون نیروی زلزله بیش از حد مقاومت ساختمان بوده و این نیروی اضافی بایستی با شکل‌پذیری ساختمان خنثی شود، لذا ساختمان‌های فاقد شکل‌پذیری کافی در زلزله‌های بزرگ فرو خواهند ریخت. شکل‌پذیری قابلیت تغییر شکل عناصر باربر قبل از رسیدن به حد گسیختگی است [۷]. هدف از انجام این تحقیق ارزیابی آسیب‌پذیری لرزه‌ای ساختمان‌های مناطق فخاران، بولیوار و آهنگران شهرستان کازرون است. به‌طوری‌که با شناخت وضعیت موجود ساختمان‌های این مناطق و انتخاب تصادفی آنها، میزان آسیب‌دیدگی آنها تخمین زده می‌شود. آسیب‌پذیری اصطلاحی است که جهت نشان دادن وسعت و میزان خسارت احتمالی بر اثر وقوع سوانح طبیعی به جوامع، ساختمان‌ها و مناطق جغرافیایی استفاده می‌شود. روش ایده‌آل برای این منظور انجام یکسری مطالعات تحلیلی آماری برای تعداد نمونه‌های کافی از موضوعات مشابه که در معرض عملکرد لرزه‌ای یکسانی قرار دارند می‌باشد. برای نیل به این هدف باید از تمام اجزای مختلف اطلاعات قابل دسترسی که مربوط به موضوعات تحت مطالعه است استفاده کرد. معلومات آسیب‌دیدگی باید توسط مطالعات تجربی، پیش‌بینی عددی یا تحلیلی رفتار لرزه‌ای و اطلاعات کسب شده در حین برداشت‌های میدانی کامل شوند. با ترکیب همه‌ی این داده‌ها، پیش‌بینی آسیب‌پذیری لرزه‌ای بر پایه‌ی روش آماری نتایج قابل قبولی ارائه می‌دهند.

۳- مشخصات عمومی منطقه‌ی مورد مطالعه

شهر کازرون مرکز شهرستان کازرون در بخش باختری استان فارس و در جنوب غربی ایران است. این شهرستان با برخورداری از ارزش‌های معماری و نیز از آنجا که مجموعه‌ای از آثار باستانی و بناهای تاریخی را در خود جای داده است، در بین شهرهای ایران حائز اهمیت است. قرارگیری شهرستان کازرون در بین راه‌های ارتباطی کشور (از خاور به شهر شیراز، از شمال به شهرستان ممسنی و از باختر و جنوب به استان بوشهر و از جنوب خاوری به شهرستان فراشبند)، موقعیت ویژه‌ای به این شهرستان بخشیده است (شکل ۱). در شهرستان کازرون، گسل کازرون که به گسل قطر کازرون معروف است و گسل منطقه‌ی کوهمره سرخی از جمله گسل‌های این شهرستان به شمار می‌روند که نسبت به دیگر گسل‌ها فعال‌ترند سوابق لرزه‌خیزی شهرستان کازرون نشان‌دهنده‌ی آن است که کازرون روی کمربند زلزله است و بارها به سبب زلزله با خاک یکسان شده است. درجه‌ی خطر نسبی زلزله در شهرستان کازرون دارای دامنه زیاد است (جدول ۱). آخرین زلزله در شهرستان کازرون، زلزله‌ی سال ۱۳۸۹ به قدرت ۶/۱ ریشتر بود. جمعیت این شهر در سال ۱۳۹۰ بالغ بر ۱۴۰.۸۶۹ نفر بوده است. ارتفاع این شهر از سطح دریا ۸۶۰ متر بوده و دارای آب و هوایی معتدل است.

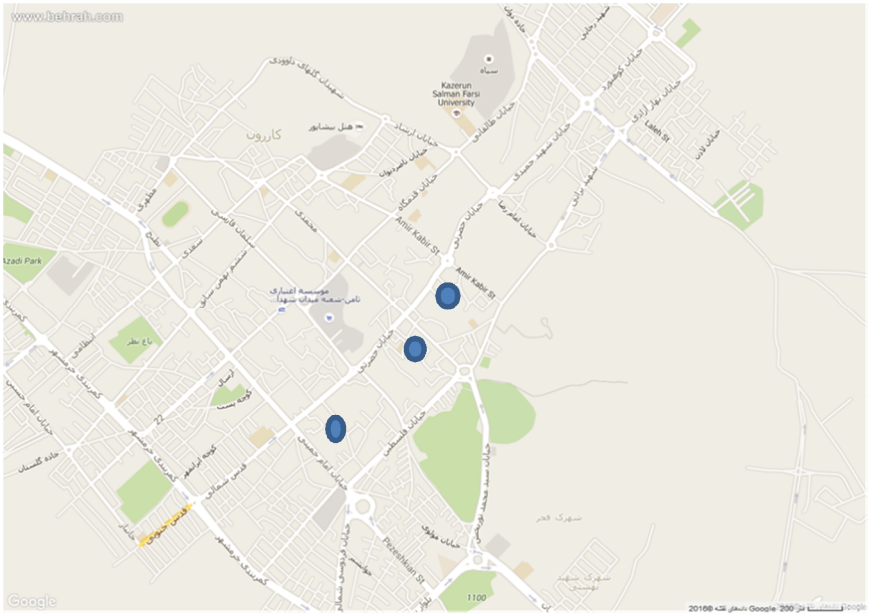
شهرستان کازرون از دو بافت قدیمی و جدید تشکیل شده

است و دارای محلات شمالی، مرکزی و جنوبی است که در این تحقیق به‌عنوان نمونه‌ی موردی قسمتی از مناطق مرکزی شهر که شامل محله‌ی فخاران (که از غرب به نماز جمعه شهر)، محله آهنگران (از جنوب به امامزاده سید محمد نوربخش) و محله بولیوار (از شرق به اداره برق شهر) مورد ارزیابی قرار گرفته است (شکل ۲).

شکل (۱): *نمایی از شهرستان کازرون [۱۲].*

جدول (۱): *خطر نسبی زمین‌لرزه در شهرستان کازرون [۱۳].*

ناحیه‌ی خطر	خطر زمین‌لرزه (کیفی)	محدوده‌ی شتاب مبنای طراحی (g)	محدوده سرعت مبنای طراحی (سانتی‌متر بر ثانیه)	وسعت ناحیه (کیلومتر مربع)
ناحیه ۲	بالا	$0.32<a\leq0.37$	$20<v<15$	۵۶۳۴۰



شکل (۲): *منطقه‌ی مورد مطالعه در شهرستان کازرون [۱۲].*

این مناطق دارای سکونتگاه‌های غیر رسمی زیاد و به دور از رعایت مقررات ملی ساختمان بوده و بیشتر ساختمان‌ها از نوع اسکلت بنایی با کلاف و بدون کلاف با کاربری‌های مسکونی و مسکونی تجاری می‌باشند و تا حدودی از اسکلت‌های بتن مسلح و فلزی استفاده شده است. همچنین ساختمان‌های قدیمی این مناطق از نوع گلی و با سقف‌های چوبی و یا سقف‌های طاق ضربی نیز مشاهده می‌شود و همچنین با توجه به آزمایش‌های انجام شده در این مناطق زمین از نوع II بوده است.

۴- اهمیت ساختمان‌های با مصالح بنایی در کشور

منظور از ساختمان‌های با مصالح بنایی، ساختمان‌هایی است که با آجر، بلوک سیمانی و یا با سنگ ساخته شوند و در آنها تمام و یا قسمتی از بارهای قائم توسط دیوارهای با مصالح بنایی تحمل می‌شود. دلایل عملکرد رفتار نامناسب سازه‌های مصالح بنایی در مقابل زلزله را می‌توان در مواردی همچون شکننده بودن مصالح و کاهش مقاومت بر اثر تکرار بارهای شدید، وزن سنگین، سختی زیاد و در نتیجه پاسخ شدید در مقابل امواج زلزله با پریود طبیعی کوتاه و وابستگی زیاد مقاومت ساختمان به کیفیت ساخت خلاصه نمود. در آیین‌نامه‌ی زلزله ایران (استاندارد ۲۸۰۰)، برای تقویت ساختمان‌های بنایی استفاده از کلاف‌بندهای بتن‌آرمه‌ی افقی و قائم در نقاط زلزله در اطراف دیوارها الزامی شده است. همچنین وجود کلاف بتن‌آرمه، مقاومت و پایداری دیوارهای بنایی را در برابر زلزله بسیار بالا می‌برد [۱۴].

۵- روش تحقیق

آسیب‌پذیری اصطلاحی است که جهت نشان دادن وسعت و میزان آسیب و خسارتی که احتمالاً براثر وقوع سوانح طبیعی به جوامع، ساختمان‌ها و مناطق جغرافیایی وارد آمده است، استفاده می‌شود. بنا به تعریف یونسکو، میزان حساسیت محیط در تقابل وقوع یک سانحه‌ی طبیعی، آسیب‌پذیری آن محیط را مشخص می‌کند. ارزیابی آسیب‌پذیری ساختمان‌های موجود در واقع یک نوع پیش‌بینی خسارت‌دیدگی آنها در مقابل زلزله‌ی احتمالی است. بر اساس آمارهای موجود، زمین‌لرزه یکی از بزرگ‌ترین عوامل نابودی جوامع و مرگ‌ومیر افراد است. در چنین شرایطی است که انجام تحقیقات گسترده‌ی علمی و پژوهشی بر روش زلزله اهمیت فراوانی می‌یابد. ساختمان آسیب‌پذیر در برابر زلزله به ساختمانی اطلاق می‌شود که از نظر طراحی و ساخت دارای اشکالات فنی و اصولی بوده است به‌طوری‌که وجود این نقاط ضعف باعث کاهش مقاومت ساختمان در برابر زلزله و بارهای وارده می‌شود [۱۵].

با توجه به مطالعات انجام شده در دو دهه‌ی اخیر، یافته‌های جدیدی در این زمینه به‌عنوان ابزار مناسب برای شناخت مشکلات، معایب و آسیب‌پذیری سازه‌های موجود در مقابل نیروهای زلزله ارائه گردیده است. از طرفی با به‌کارگیری این ابزار می‌توان به مقاوم‌سازی سازه‌های موجود پرداخت و از طرف دیگر با شناخت وضعیت سازه‌های موجود می‌توان اقدام به اصلاح طرح و اجرای سازه‌های جدید نمود به‌گونه‌ای که در مقابل زلزله‌های احتمالی مقاومت لازم را داشته باشند.

اولین مرحله از مراحل مقاوم‌سازی سازه‌ها در برابر زلزله، ارزیابی لرزه‌ای سازه‌ها می‌باشد. در هنگام زلزله انهدام یا هرگونه خسارت ساختمان‌ها از نقاط ضعف آن شروع می‌شود. بعد از شکست اولین نقاط ضعف، نیروهای زلزله نقاط بعدی را به خطر می‌اندازد. بنابراین در این مرحله ضمن مشخص شدن ضعف‌های عمده‌ی اجرای سازه‌ای و غیر سازه‌ای راهکارهای کلی جهت مقاوم‌سازی، جمع‌آوری اطلاعات، به‌خصوص در رابطه با معماری و سازه‌ی ساختمان می‌باشد. جمع‌آوری اطلاعات درباره ساختمان را می‌توان به کمک مهندسین مشاور ژئوتکنیک و یا اطلاعات ساختگاه مربوط به ساختمان‌های مجاور (۵۰۰ متری) و همچنین اطلاعات موجود در مؤسسه‌های معتبر زمین‌شناسی و

لرزه‌شناسی به دست آورد؛ ولی جمع‌آوری اطلاعات به‌منظور دستیابی به مشخصات معماری و سازه‌ای دارای مشکلات فراوانی می‌باشد.

بر مبنای تحقیقات انجام گرفته در سطح جهان روش‌های آسیب‌پذیری سازه‌ها را می‌توان به دو گروه روش‌های کمّی و روش‌های کیفی طبقه‌بندی کرد.

۶- روش‌های کیفی ارزیابی آسیب‌پذیری لرزه‌ای

در روش‌های کیفی با توجه به شرایط لرزه‌خیزی و شرایط ساختمان‌سازی و بر اساس تجربه‌ی زلزله‌های گذشته، فرم‌های ویژه‌ای تهیه می‌شود. بازرسان ساختمان با استفاده از این فرم‌ها، اطلاعاتی از قبیل سیستم باربر قائم، سیستم مقاوم لرزه‌ای جانبی، کیفیت اتصالات، شکل‌پذیری اعضا، نحوه‌ی ساخت، شرایط محل ساختمان، وضعیت پی و ... را جمع‌آوری نموده و در یک بانک اطلاعاتی ذخیره می‌کنند.

از جمله روش‌های کیفی می‌توان به روش ارزیابی آسیب‌پذیری پیشنهادی سبا [۱۶]، روش ارائه شده توسط انجمن فنّاوری کاربردی آمریکا ATC-21 [۱۷]، روش ارزیابی آسیب‌پذیری آریا [۱۸]، روش آیین‌نامه‌ی نیوزیلند [۱۹]، روش آیین‌نامه‌ی ژاپن [۲۰] و روش ارزیابی آسیب‌پذیری کانادا [۲۱] اشاره کرد.

۶-۱- روش آیین‌نامه‌ی کانادا

کانادایی‌ها نیز با توجه به روش ATC-21 و آیین‌نامه‌ی زلزله‌ی کانادا یک دسته فرم اطلاعاتی تهیه نموده‌اند که دارای شاخص سازه‌ای و شاخص غیر سازه‌ای می‌باشد.

۶-۲- روش آیین‌نامه‌ی نیوزیلند

روش ارائه شده توسط جامعه‌ی مهندسین زلزله‌ی نیوزیلند یک پیش‌نویس آیین‌نامه است. این پیش‌نویس، با یک روش برآورد سریع که بر اساس روش بازدید عینی ATC-21 می‌باشد شروع و در نهایت به یک شاخص خسارت برای ساختمان منتهی می‌شود.

۶-۳- روش آیین‌نامه‌ی ژاپن

در آیین‌نامه‌ی ژاپن، مقاومت موجود یک ساختمان در برابر زلزله در هر طبقه، بر حسب یک شاخص عددی تخمین زده می‌شود. این مقاومت ممکن است مقاومت سازه‌ای و یا مقاومت اعضای غیر سازه‌ای الحاقی به سازه‌ی اصلی باشد. این شاخص‌های سازه‌ای و غیر سازه‌ای ممکن است به سه روش تعیین شوند که به‌ترتیب روش اول، دوم و سوم ارزیابی را تشکیل می‌دهند.

۶-۴- روش ارزیابی آسیب‌پذیری کیفی آریا

این روش بر اساس شدت‌های مختلف زلزله و برای هر پارامتر ساختمان، ضرایبی را ارائه کرده و در نهایت نسبت خسارت کل ساختمان از ترکیب این ضرایب جزئی محاسبه می‌شود. در این روش نیز همانند روش‌های کیفی دیگر، ابتدا پرسش‌نامه‌ی مربوط به ساختمان تکمیل می‌شود. از جمله پارامترهای اصلی این پرسش‌نامه‌ها می‌توان به نوع زمین، نوع سیستم سازه‌ای و کیفیت ساخت اشاره کرد. در مقابل هرکدام از این پارامترها به ازای شدت‌های ۷، ۸ و ۹ در مقیاس MSK یک ضریب خسارت در نظر گرفته شده است. سپس با استفاده از رابطه‌ی ریاضی بین ضرایب خسارت، نسبت خسارت که عددی بین صفر و ۱ است به دست می‌آید. با تقسیم‌بندی نسبت خسارت می‌توان به میزان آسیب‌پذیری ساختمان پی برد.

با توجه به شرایط و مشخصات ساختمان‌های شهر کازرون، به علت حجم بالای اطلاعات و نیاز به سرعت و سهولت در ارزیابی، از بین روش‌های کیفی مختلف موجود، روش ارزیابی آسیب‌پذیری آریا انتخاب شده است. با توجه به تعدّد ساختمان‌های بنایی در محله‌های مورد نظر در شهرستان کازرون و سازگاری کامل این روش با این‌گونه

ساختمان‌ها و شرایط ایران و همچنین موفقیت‌آمیز بودن استفاده از این روش در سایر شهرهای کشور، استفاده از این روش به همراه اصلاحاتی با استناد به تجربیات گذشته، مناسب‌ترین گزینه تشخیص داده شده است.

۷- دلایل انتخاب روش آریا

۱. سادگی و سهولت کاربردی برای برآورد آسیب‌پذیری ساختمان‌های یک منطقه وسیع شهری
۲. عدم نیاز به اطلاعات دقیق نقشه‌های معماری و محاسبات سازه‌ای و جزئیات اجرایی
۳. عدم نیاز به مشخصات دقیق مصالح مورد استفاده
۴. سازگاری نسبی با شرایط ساختمانی کشور

۸- نحوه‌ی محاسبه‌ی میزان آسیب‌پذیری به روش آریا

۸-۱- معرفی و توضیح داده‌ها

روش آریا بر مبنای ارزیابی آسیب‌پذیری ساختمان‌های بنایی پایه‌گذاری شده است، لذا روش فوق در ارزیابی ساختمان‌هایی با اسکلت بتن مسلح و یا فولادی دارای محدودیت‌هایی می‌باشد. از مزایای این روش ارزیابی، قابلیت تغییر و سازگاری با شرایط ساخت‌وساز متفاوت است. در این تحقیق، برای هماهنگی با شرایط ساختمان‌های مورد نظر در شهرستان کازرون، پاره‌ای اصلاحات تکمیلی در این روش صورت گرفته که پارامترهای این روش به همراه اصلاحات صورت گرفته، در جدول (۲) ارائه شده است. در این روش ارزیابی آسیب‌پذیری آریا دارای جدول طبقه‌بندی شده شامل پارامترها و شاخص‌های اصلی آسیب‌پذیری و ضرایب خسارت است به‌طوری‌که ضرایب خسارت برای شدت‌های مختلف زمین‌لرزه قابل محاسبه باشد. در این روش ضرایب خسارت بین صفر تا ۴ بر حسب مقدار تأثیر شاخص در میزان خسارت به ساختمان برای سه شدت زمین‌لرزه ۷، ۸ و ۹ در مقیاس MSK (زلزله‌های ضعیف، متوسط و شدید) تعیین‌شده‌اند و ارزیابی آسیب‌پذیری ساختمان در برابر سطوح مختلف زلزله از ویژگی‌های اصلی این روش است. در روش آریا میزان آسیب با نسبت خسارت ساختمان که از مجموع اثر ضرایب خسارت با استفاده از معادله‌ی نسبت خسارت به دست می‌آید به‌صورت عددی بین صفر تا ۱ تعیین می‌شود. میزان خسارت وارده به ساختمان بر اساس مقدار نسبت خسارت حاصل مشخص می‌شود. همچنین ضرایب خسارت Li و L'i و پارامترهای Fi در این جدول معرفی شده‌اند. علامت پریم در بالای شاخص‌ها نشان‌دهنده‌ی اعمال اصلاحات بر روی آن شاخص می‌باشد. با استفاده از پرسش‌نامه‌ای که منطبق با شرایط ایران و دربرگیرنده‌ی اطلاعات مورد نیاز برای محاسبه‌ی پارامترها تهیه شده، اطلاعات لازم از طریق برداشت‌های میدانی برای ۹۰ ساختمان ثبت شده است [۲۲]. با توجه به وضعیت ساخت‌وساز در محله‌های مورد نظر در شهرستان کازرون، ساختمان‌ها به‌صورت تصادفی طوری انتخاب شده‌اند که معرف جامعه‌ی آماری ساختمان‌های محله‌ی مورد نظر در شهرستان کازرون هستند و به‌این‌ترتیب پایگاه داده‌ها برای مطالعه‌ی آسیب‌پذیری انواع سازه‌ها در محله‌ی مورد نظر در شهرستان کازرون به دست آمده است.

مراحل مختلف ارزیابی آسیب‌پذیری به روش آریا به شرح زیر است:

مرحله‌ی اول: جمع‌آوری اطلاعات با تکمیل پرسش‌نامه‌ها برای ساختمان: در این مرحله اطلاعاتی از قبیل شیب زمین، نوع خاک، ارتفاع بنا، ابعاد بازشوها در دیوارها، فرم پلان، کیفیت ساخت، نوع سیستم سازه‌ای، سیستم کف طبقات، قسمت پیش آمده، پی ساختمان، مصالح نما، توسعه‌ی ساختمان و درز انقطاع جمع‌آوری می‌شود.

مرحله‌ی دوم: تعیین نسبت خسارت کل ساختمان: برای محاسبه‌ی نسبت آسیب‌پذیری (LR) در روش اصلاح شده، از رابطه (۱) استفاده می‌شود که در آن پارامترهای F_i و ضرایب خسارت L_i و L' از جدول (۲) تعیین می‌شوند.

$$LR = L_1 \times L_2 \times L_5 \times L_6 \times L_8 \times L_{A1} \times L_{A2} \times L_{10} \times 0.25 \times \{(F_3 \times L_3) + (F_4 \times L_4) + (F_7 \times L_7) + (F_9 \times L_9)\} \le 1 \quad (۱)$$

مقدار LR باید بین ۰ تا ۱ تعیین شود. ازاین‌رو اگر نتیجه‌ی محاسبه بیش از عدد ۱ شد باید همان عدد ۱ در نظر گرفته شود. در اینجا عدد صفر به معنای عدم آسیب‌پذیری یا عدم خسارت و عدد یک به معنای ریزش ساختمان یا خسارت کلی خواهد بود. این چهار عامل با ضرایب F عبارتند از:

- نوع سیستم سازه‌ای: F= ۰/۶
- سیستم کف طبقات: F= ۰/۳۳
- قسمت‌های پیش‌آمده (جان‌پناه‌ها، بالکن‌ها): F= ۰/۰۴
- مصالح نما: F= ۰/۰۳

انتخاب ضرایب F تقریبی بوده و کاربر می‌تواند آنها را بر پایه‌ی برآورد هزینه‌ی بنا تغییر دهد. چهار پارامتر (نوع سیستم سازه‌ای، سیستم کف طبقات، قسمت‌های پیش‌آمده و مصالح نما) به اجزایی از ساختمان ارتباط دارند که خسارت‌دیدن آنها به معنای از دست رفتنشان است و در ضمن ممکن است باعث خرابی اجزای دیگر نیز بشوند. وزن هریک از پارامترهای فوق متفاوت بوده و با F مشخص می‌شود و بیان‌کننده‌ی هزینه‌ی آن قسمت به هزینه‌ی کل ساختمان است و همچنین انتخاب ضرایب F تقریبی بوده و کاربر می‌تواند آنها را بر پایه‌ی برآورد هزینه‌ی ساختمان تغییر دهد. به‌هرحال، کل این ضرایب نباید بیشتر از یک (نمایانگر کل هزینه ساختمان) باشد (جدول ۲).

جدول (۲): *ارزیابی کیفی آسیب‌پذیری لرزه‌ای به روش آریا [۱۸].*

شاخص	پارامتر و ضرایب آن	زیر پارامتر	ضریب خسارت (L)		
			شدت ۷	شدت ۸	شدت ۹
(L_1)	شیب زمین	۱۵-۰	۱	۱	۱
		۳۰-۱۶	۱	۱	۱/۱
		>۳۰	۱	۱/۱	۱
(L_2)	نوع زمین	سخت (I)	۱	۱	۱
		متوسط (II)	۱	۱/۱	۱/۲
		نرم (III)	۱/۱	۱/۲	۱/۳
		روان (VI)	۱/۳	۱/۵	۲
(LA_1)	پی‌ها و شناژها	پی و شناژ مناسب	۱	۱	۱
		پی و شناژ نامناسب	۱	۱	۱/۰۵
		عدم اجرای پی و شناژ	۱/۰۵	۱/۱۰	۱/۱۵
(L_1')	نوع سیستم سازه‌ای F_3 = ۰/۶ (اگر روکش نما نداشته باشد، شاخص L_9 حذف F_3 = ۰/۶۳)	اسکلت فلزی با بادبند	۰	۰/۵	۱
		اسکلت فلزی بدون بادبند	۱	۱/۲	۲
		اسکلت بتن مسلح	۱	۱/۲	۲
		دیوار بنایی بدون کلاف با آجر	۱/۵	۳	۴
		دیوار بنایی با کلاف افقی با آجر	۱/۲	۲/۵	۳/۵
		دیوار بنایی با کلاف افقی و قائم با آجر با اجرای مناسب	۱	۱/۵	۲/۵
		دیوار بنایی با کلاف افقی و قائم با آجر و اجرای ضعیف	۱/۵	۲	۳
(L_4')		دیوار بنایی با کلاف افقی و قائم با بلوک سیمانی با اجرای مناسب	۰	۱/۵	۲/۵
		دیوار بنایی با کلاف افقی با بلوک سیمانی	۱	۲	۳
		دیوار بنایی با کلاف افقی و قائم با بلوک سیمانی با اجرای ضعیف	۱	۱/۷	۲/۷
		دیوار بنایی بدون کلاف با بلوک سیمانی	۱/۵	۲/۵	۳/۵
		نیمه اسکلت	۲/۵	۳/۵	۴

ادامه جدول (۲)

(L_4')	سیستم کف طبقات F_4 = ۰/۳۳ (اگر پیش‌آمدگی مناسب است و یا وجود ندارد شاخص L_7 حذف شود، F_4=۰/۳۷)	طاق ضربی با تکیه‌گاه مناسب	۱	۱/۵	۳
		طاق ضربی با تکیه‌گاه و پا طاق نامناسب	۲	۳	۴
		تیرچه‌بلوک با شرایط عمومی و تکیه‌گاهی و پوشش میلگرد مناسب	۱	۲	۳
		تیرچه‌بلوک حالت قبل با پوشش میلگرد نامناسب	۱/۵	۲/۵	۳/۵
		دال بتن مسلح	۰	۰	۱
		سقف چوبی با پوشش سبک	۰	۱	۱/۵
		سقف چوبی با مصالح بنایی	۲	۳	۴
		سقف فلزی سبک با مهاربند افقی	۰	۱	۱/۵
(L_5')	ارتفاع ساختمان	یک طبقه ساختمان بنایی یا ساختمان با اسکلت فولادی و بتنی تا سه‌طبقه	۱	۱	۱
		دو طبقه ساختمان بنایی یا ساختمان با اسکلت فولادی یا بتنی بالاتر از ۳ طبقه	۱/۱	۱/۲	۱/۳
(L_6)	بازشو در دیوار با مصالح بنایی	رضایت‌بخش	۱	۱	۱
		متجاوز	۱/۱	۱/۲	۱/۳
(L_7)	پیش‌آمدگی‌ها F_7 = ۰/۰۴	رضایت‌بخش	۰	۰	۰
		متجاوز	۱	۱	۱
(L_8)	نامنظمی در پلان یا ارتفاع	منظم	۱	۱	۱
		نامنظم	۱/۱	۱/۱	۱/۱
(L_9)	نما F_9 = ۰/۰۳	(آجری/ سنگی) ثابت	۰	۰	۰
		(آجری/ سنگی) غیرثابت	۱	۱	۱
		نمای سیمان	۰	۰	۰
		گل	۰/۵	۰/۵	۰/۵
(L_{10})	کیفیت ساختمان (با توجه به عمر ساختمان و شرایط اجرایی)	خوب	۰/۶	۰/۶	۰/۶
		متوسط	۰/۸	۰/۸	۰/۸
		بد	۱	۱	۱
(LA_2)	توسعه ساختمان و ملاحظات درز انقطاع در ساختمان‌های بالای ۴ طبقه	تأثیر متقابل ساختمان جدید در رفتار اصلی زیاد (ساختمان ضعیف ارزیابی)	–	–	–
		متوسط	۱/۱	۱/۳	۱/۵
		کم	۱	۱/۱	۱/۲
		بدون توسعه	۱	۱	۱

مرحله‌ی سوم: ارزیابی آسیب‌پذیری ساختمان‌ها به کمک اندیس نسبت خسارت: بعد از تعیین *LR* میزان آسیب‌پذیری ساختمان به کمک جدول (۳) به‌صورت کیفی ارزیابی می‌شود.

درجات خسارت به جهت تخمین آسیب وارده بر ساختمان:

- بیش از ۷۵٪، خرابی و ریزش، وجود احتمال تلفات جانی،
- بین ۵۰٪ تا ۷۵٪، خسارت زیاد، تخلیه‌ی اجباری ساختمان، نیاز به بازسازی،
- بین ۲۵٪ تا ۵۰٪، خسارت به مقدار متوسط، تعمیرات پس از تخلیه‌ی ساختمان،
- کمتر از ۲۵٪، خسارت کم، ساختمان قابل استفاده، تغییرات جزئی بدون نیاز به تخلیه‌ی ساختمان از ساکنان.

جدول (۳): *میزان آسیب‌دیدگی سازه در روش ارزیابی کیفی آریا.*

ردیف	قضاوت مهندس	محدوده خسارت
۱	احتمال ریزش ساختمان	$LR \geq ۰/۷۵$
۲	خسارت زیاد- بازسازی الزامی	$۰/۵۰ \leq LR < ۰/۷۵$
۳	خسارت متوسط- نیاز به تعمیر زیاد	$۰/۲۵ \leq LR < ۰/۵۰$
۴	خسارت کم- نیاز به تعمیر جزئی	$LR < ۰/۲۵$

۸-۲- برداشت‌های میدانی

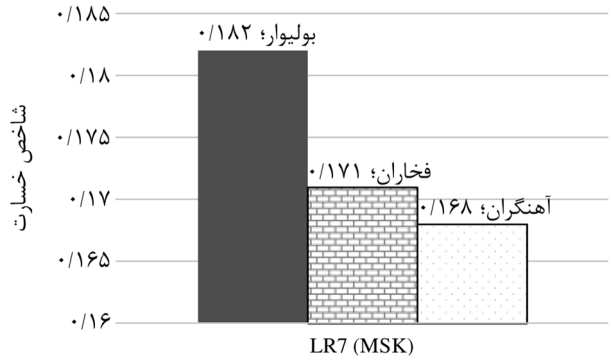
محدوده‌ی مورد مطالعه در شهرستان کازرون به سه محله‌ی فخاران، بولیوار و آهنگران استفاده شده است. جهت برداشت نمونه‌ها با توجه به تراکم محله‌ها (فخاران، بولیوار و آهنگران) شهر و درصد نوع ساختمان‌های موجود (از لحاظ سیستم سازه‌ای و...) در هر محله به‌طور تصادفی ۳۰ ساختمان را انتخاب و جمعاً ۹۰ ساختمان را طبق روش آریا مورد ارزیابی آسیب‌پذیری لرزه‌ای قرار داده‌ایم تا بتوانیم به کمک اطلاعات به‌دست‌آمده آن را به کل محله تعمیم داده و بررسی‌های لازم جهت بهبود کیفی ساختمان‌های موجود، ترمیم و مقاوم‌سازی آنها لحاظ کنیم.

۸-۳- نتایج ارزیابی آسیب‌پذیری از برداشت‌های میدانی

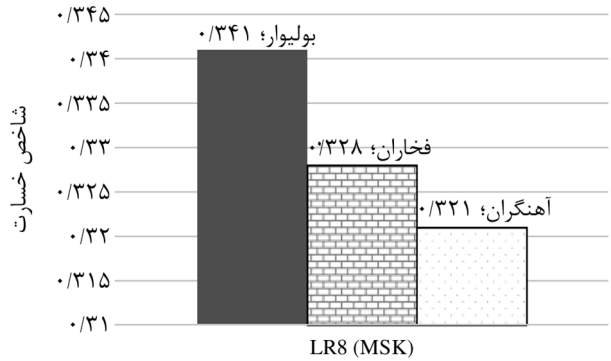
نتایج برداشت‌های میدانی پس از تجزیه‌وتحلیل اطلاعات به‌صورت نمودار ستونی برای مناطق سه‌گانه و ساختمان‌های موجود در شکل‌های (۳) الی (۵) و جدول (۴) ارائه شده است. این نمودارها بر اساس شاخص خسارت در زلزله‌های با شدت 7MSK، 8MSK و 9MSK تنظیم شده‌اند، در این نمودارها محور قائم نشان‌دهنده‌ی شاخص خسارت جهت قضاوت مهندسی در مورد میزان آسیب‌پذیری می‌باشد (شکل ۶).

جدول (۴): *ارزیابی لرزه‌ای نهایی ۹۰ ساختمان انتخابی محله‌ی فخاران، بولیوار، آهنگران*

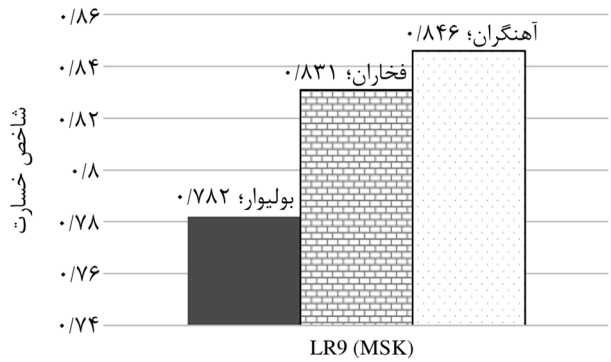
منطقه	LR7(MSK)	LR8(MSK)	LR9(MSK)
	شدت ۷	شدت ۸	شدت ۹
بولیوار	۰/۱۸۲	۰/۳۴۱	۰/۷۸۲
فخاران	۰/۱۷۱	۰/۳۲۸	۰/۸۳۱
آهنگران	۰/۱۶۸	۰/۳۲۱	۰/۸۴۶



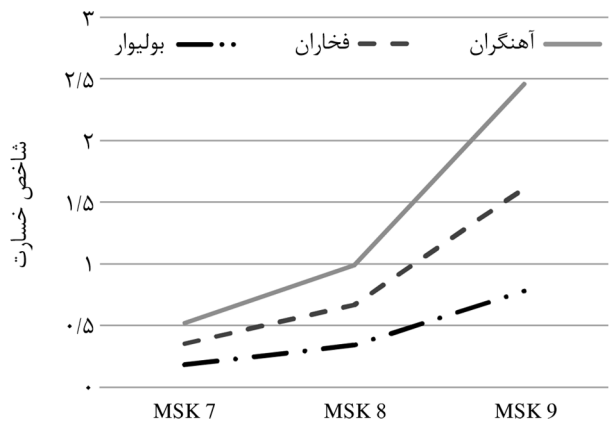
شکل (۳): *شاخص خسارت در زلزله‌های با شدت 7MSK.*



شکل (۴): *شاخص خسارت در زلزله‌های با شدت 8MSK.*



شکل (۵): *شاخص خسارت در زلزله‌های با شدت 9MSK.*



شکل (۶): *مقایسه‌ی محله‌های مختلف مورد مطالعه از لحاظ آسیب‌پذیری.*

۹- نتیجه‌گیری

شهرستان کازرون از جمله مناطقی در کشور است که در منطقه‌ی با لرزه‌خیزی زیاد قرار دارد. در این مقاله، با مقایسه‌ی تعدادی از روش‌های ارزیابی کیفی آسیب‌پذیری لرزه‌ای ساختمان‌های موجود، یک روش ارزیابی مناسب با شرایط ساختمان‌های کشور به نام روش کیفی آریا پیشنهاد شده است. سپس ساختمان‌های شهرستان کازرون با این روش منتخب ارزیابی شده است. بر این اساس نتایج به‌دست‌آمده به شرح زیر است:

۱- غالب ساختمان‌های مورد مطالعه در اثر وقوع یک زلزله‌ی شدید (9 MSK) در ردیف اول آسیب‌پذیری (خرابی و ریزش، وجود احتمال تلفات جانی) قرار می‌گیرد.

۲- غالب ساختمان‌های مورد مطالعه در اثر وقوع یک زلزله‌ی متوسط (8 MSK) در ردیف سوم آسیب‌پذیری (خسارت به مقدار متوسط؛ تعمیرات پس از تخلیه‌ی ساختمان) قرار می‌گیرند.

۳- غالب ساختمان‌های مورد مطالعه در اثر وقوع یک زلزله‌ی ضعیف (7 MSK) در ردیف چهارم آسیب‌پذیری (خسارت کم، ساختمان قابل استفاده، تغییرات جزئی بدون نیاز به تخلیه‌ی ساختمان از ساکنان) قرار می‌گیرد.

قدردانی

بدین‌وسیله از اساتید محترم رشته‌ی مهندسی عمران دانشگاه خلیج‌فارس بوشهر و سازمان نظام مهندسی شهرستان کازرون که در طول انجام این پروژه همکاری‌های لازم را به عمل‌آورده‌اند تشکر به عمل می‌آید.

مراجع

۱. مبحث پنجم مقررات ملی ساختمان ۱۳۹۲.

2. UNDP (2004) *Reducing Disaster Risk*. A Challenge for Development.

۳. نشریه شماره ۳۷۶ (۱۳۸۶) دستورالعمل بهسازی لرزه‌ای ساختمان‌های بنایی غیر مسلح موجود.

۴. شایانفر، محسنعلی، خدام، علی (۱۳۸۸) بررسی و مقایسه دستورالعمل‌های ارزیابی سریع آسیب‌پذیری سازه‌ها در برابر زلزله. *هشتمین کنگره بین‌المللی مهندسی عمران*، دانشگاه شیراز، شیراز.

۵. طایفی نصرآبادی، عباسعلی و رشیدی مهرآبادی، محمدحسین، (۱۳۸۷) مقاوم‌سازی سازه‌های بنایی در مقابل زلزله. *همایش ملی مقاوم‌سازی ایران*، دانشگاه یزد، شهریور.

۶. عزیزی، محمدمهدی و اکبری، رضا (۱۳۸۷) ملاحظات شهرسازی در سنجش آسیب‌پذیری شهرها از زلزله. *نشریه هنرهای زیبا*، شماره ۲۵، ۳۴-۳۶.

۷. زنگی‌آبادی، علی، محمدی، جمال، صفایی، همایون و قائدرحمتی، صفر (۱۳۸۷) تحلیل شاخص‌های آسیب‌پذیری مساکن شهری در برابر خطر زلزله (نمونه موردی: مساکن شهر اصفهان). *جغرافیا و توسعه*، شماره ۱۲، ۶۱-۷۹.

۸. احدنژاد، محسن (۱۳۸۸) *مدل‌سازی آسیب‌پذیری شهرها در برابر زلزله مطالعه موردی شهر زنجان*. رساله دکتری جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری به راهنمایی مهدی قرخلو، دانشگاه تهران.

۹. حاتمی‌نژاد، حسین، فتحی، حمید و عشق آبادی، فرشید (۱۳۸۸) ارزیابی میزان آسیب‌پذیری لرزه‌ای در شهر، نمونه موردی: منطقه ۱۰ شهر تهران. *نشریه پژوهش‌های جغرافیایی انسانی*، شماره ۶۸، ۱-۲۰.

10. Giovinazzi, S., Lagomarsino, S., and Pampanin, S. (2006) Vulnerability methods and damage scenario for seismic risk analysis as support to retrofit strategies: a european perspective. *NZSEE Conference*.

11. Lantada, N., Pujades, L., and Barbat, A. (2009) Vulnerability index and capacity spectrum based methods for urban seismic risk evaluation: A comparison. *Nat. Hazards*, **51**, 501-524.

12. https://www.google.com/maps/@29.6145935,51.6574042,6543m/data=!3m1!1e3?hl=en.

۱۳. آیین‌نامه طراحی ساختمان‌ها در برابر زلزله استاندارد ۲۸۰۰ ویرایش ۴.

۱۴. مبحث هشتم مقررات ملی صفحه‌ی ۱۰-۱۳۹۲.

۱۵. علائی، حسین (۱۳۸۵) آسیب‌پذیری چیست و چگونه مطالعات آن را آغاز کنیم. *نشریه آباد بوم*، شماره۲۲.

۱۶. تسنیمی، عباس‌علی و معصومی، علی (۱۳۷۸) *شناسنامه فنی ساختمان‌های بتن مسلح و آجری*. بنیاد مسکن انقلاب اسلامی، کمیته زلزله و لغزش لایه‌های زمین، چاپ اول.

17. Applied Technology Council (ATC) (1988) *Rapid Visual Screening of Building for Potential Seismic Hazards*. ATC21-1, California.

18. Arya, A.S. (1967) Design and construction of masonry buildings in seismic areas. *Bulletin of Indian Society of Earthquake Technology*.

19. BIA (1996) *The Assessment and Improvement Of Structural Performance of Earthquake Risk Buildings-Draft for General Release*. New Zealand National Society for Earthquake Engineering.

20. Japan Building Disaster Prevention Association (2001) *Standard for Seismic Evaluation of Existing Reinforced Concrete Buildings* (English version).

21. Foo, S., Naumoski, N., and Saatcioglu, M. (2001) *Seismic Hazard, Building Codes and Mitigation Options for Canadian Buildings*. Department of Civil Engineering University of Ottawa, Ontario, Canada.

۲۲. زهرائی، سید مهدی؛ وطنی اسکویی، اصغر، و ارشاد، لیلی (۱۳۸۶) *بررسی کیفی آسیب‌پذیری لرزه‌ای ساختمان‌های شهر قزوین*. تهران، مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن.