

شناسایی و اولویت بندی عوامل موثر بر افزایش ریسک زلزله در بافت‌های فرسوده شهری با رویکرد ترکیبی تکنیک دلفی فازی و مدل BMW^۱

دریافت مقاله: ۹۸/۲/۲۲ پذیرش نهایی: ۹۹/۳/۲۹

صفحات: ۲۹۱-۳۰۶

احسان ارکانی: دانشجوی دکتری مدیریت، مدیریت بحران، موسسه آموزش عالی غیرانتفاعی شیخ بهایی، اصفهان، ایران.

Email: ehsan.arkani2016@gmail.com

حسین حاتمی‌نژاد: دانشیار جغرافیا و برنامه ریزی شهری، دانشگاه تهران، تهران، ایران.^۲

Email: Hataminejad@ut.ac.ir.

سهیل قره: دانشیار دانشگاه پیام نور، مشهد، ایران.

Email: ghareh_soheil@pnu.ac.ir

چکیده

امروزه، آسیب‌پذیری شهرها و به خصوص بافت‌های قدیمی و فرسوده در برابر زلزله، به عنوان مسئله‌ای جهانی پیش روی متخصصان رشته‌های گوناگون قرار گرفته است. این وضع در کشورهای دارای ساختار طبیعی مخاطره‌آمیز، از جمله ایران، طی دهه‌های اخیر به صورتی حادث‌تر نمود یافته است. بافت‌های فرسوده شهری به عنوان نقطه جوشش اصلی یک شهر نشان دهنده هویت آن شهر می‌باشند این بافت‌ها علاوه بر دارا بودن آثار و بناهای فرهنگی، تاریخی، محل سکونت و معیشت میلیون‌ها نفر از شهروندان هستند که در مقابل سوانح و پدیده‌های طبیعی به خصوص زلزله ناپایدار و آسیب‌پذیرند. این پژوهش با هدف شناسایی و اولویت‌بندی عوامل موثر بر افزایش ریسک زلزله در بافت‌های فرسوده شهری تدوین شد. پژوهش حاضر از نظر هدف کاربردی و از نظر روش تحلیلی مبتنی بر رویکرد چندمعیاره است. برای جمع‌آوری اطلاعات از روش کتابخانه‌ای و میدانی استفاده شد. جامعه آماری پژوهش را کارشناسان و متخصصین حوزه شهری تشکیل می‌دادند که حجم نمونه ۳۰ نفر برآورد شد. در جهت دستیابی به اهداف مدنظر در این پژوهش از تکنیک دلفی فازی و مدل BMW استفاده شد. نتایج حاصل از تکنیک دلفی فازی تایید کننده عوامل و زیرعوامل‌های شناسایی شده بود. نتایج منتج از مدل BMW حاکی از آن بود که از بین عوامل شناسایی شده عوامل طبیعی با امتیاز نهایی ۰/۳۲۱ در رتبه اول، عامل کیفیت مسکن با امتیاز نهایی ۰/۲۸۷ در رتبه دوم، عامل فاصله از کاربری‌های ویژه با امتیاز نهایی ۰/۲۵۵ در رتبه سوم و عامل جمعیتی و اقتصادی با امتیاز نهایی ۰/۱۳۷ در رتبه چهارم جای گرفته است. همچنین در این پژوهش نتایج حاصل از اولویت‌بندی زیرعوامل‌های مربوط به هرکدام از عامل نیز ارائه شده است.

کلید واژگان: ریسک زلزله، بافت فرسوده شهری، تکنیک دلفی فازی، مدل BMW.

۱ این مقاله مستخرج از رساله دکتری نویسنده اول می‌باشد.

۲ نویسنده مسئول: تهران دانشگاه تهران، دانشکده جغرافیا، گروه جغرافیا و برنامه ریزی شهری، ۰۲۱۶۱۱۱۳۵۳۴

مقدمه

زندگی بشر همواره با دو گونه مساله عام و پیش بینی پذیری طبیعی و انسانی مواجه است. در پیدایش بلایای طبیعی بر خلاف مسائل انسانی، دست بشر چندان در کار نیست و این حوادث هر از گاهی رخ می‌دهند و فاجعه‌های دلخراشی می‌آفرینند (وحیدا و همکاران، ۱۳۹۱: ۱۰). در حال حاضر نیمی از جمعیت در شهرها زندگی می‌کنند و انتظار افزایش آن در دهه‌های آینده نیز وجود دارد به طوری که پیش‌بینی می‌شود در سال ۲۰۵۰ جمعیت جهان در شهرها به بیش از ۷۰ درصد برسد (هونکزه‌ی و فنی، ۱۳۹۸: ۱۹۳). یکی از موضوعات اساسی و مهم، بقای شهر و زندگی جاری در آنها در برابر سوانح و بلایای طبیعی است. چرا که خطرات ناشی از بلایایی مانند زلزله می‌تواند به شدت به پهنه‌های شهری آسیب برساند (نات^۳، و همکاران، ۲۰۱۹: ۷۲۶)؛ که این موضوع در ایران با قرارگیری بسیاری از شهرهای بزرگ و کوچک کشورمان در نقاط زلزله خیز اهمیتی دوچندان می‌یابد افزایش نقاط شهری و توسعه افقی و عمودی شهرها که بیشترین جمعیت دنیا را در خود جای داده اند، از مهم‌ترین پدیده‌های عصر جدید محسوب می‌شود. با گسترش شهر و شهرنشینی و با افزایش بارگذاری‌های محیطی و اقتصادی بر بستر آن‌ها، باید اذعان کرد که این رشد باعث ایجاد تسهیلات زیادی می‌شود ولی در عین حال عامل تشدید کننده بحران نیز شده و باعث می‌شود فرصت تسهیلات محیطی با عدم مدیریت و برنامه‌ریزی صحیح تبدیل به تهدید شود (سرور و کاشانی اصل، ۱۳۹۵: ۳۴). امروزه، آسیب‌پذیری شهرها و به خصوص بافت‌های قدیمی و فرسوده در برابر زلزله، به عنوان مسئله‌ای جهانی پیش روی متخصصان رشته‌های گوناگون قرار گرفته است. این وضعیت در کشورهای دارای ساختار طبیعی مخاطره آمیز، از جمله ایران، طی دهه‌های اخیر به صورتی حادث‌تر نمود یافته است (منزوی و همکاران، ۱۳۸۹: ۳). بافت‌های فرسوده یکی از انواع مختلف بافت‌های شهری هستند که به دلیل فرسودگی کالبدی و برخورداری نامناسب، و وجود زیرساخت‌های آسیب‌پذیر دارای ناپایداری مکانی-فضایی می‌باشند. هنگامی که حیات شهری در محدوده ای از شهر، به هرعلتی روبه رکود می‌گذارد و کوششی جهت رونق مجدد آن صورت نمی‌گیرد، بافت شهری آن محدوده در روند فرسودگی قرار می‌گیرد. اصولاً پایداری باید روی اهداف انسانی به عنوان هسته اصلی هر راهکار توسعه شهری تاکید نماید، به واسطه این که فشار نهایی در موضوع کارایی یک شهر، متوجه کیفیت سکونتگاه‌های انسانی آن است. ساکنین بافت‌های فرسوده شهری غالباً واجد اصالت اجتماعی و فرهنگی بوده و در برخی مناطق واجد ارزش‌های غنی معماری و شهرسازی نیز می‌باشند، لیکن دارای مشکلات گسترده زیربنایی و روبنایی است (باقری و تقوایی، ۱۳۹۶: ۳۴۸). بافت‌های فرسوده شهری به عنوان نقطه جوشش اصلی یک شهر نشان دهنده هویت آن شهر می‌باشند. چرا که مکان اصلی فراز و فرودهای شهر در طول تاریخ و ریشه‌های شکل گیری و بلوغ یک شهر در طی زمان می‌باشند. این بافت‌ها علاوه بر دارا بودن آثار و بناهای فرهنگی-تاریخی، محل سکونت و معیشت میلیون‌ها نفر از شهروندان هستند که در مقابل سوانح و پدیده‌های طبیعی به خصوص زلزله ناپایدار و آسیب پذیرند. به نحوی که تقریباً تمامی بافت‌های تاریخی کشور در معرض پدیده‌های گوناگون طبیعی قرار دارند. این بافت‌ها در برابر سوانح طبیعی خصوصاً زلزله، نه تنها به دلیل وجود ساختمان‌ها و بناهای غیر مقاوم، بلکه به علت فرسودگی زیرساخت‌های شهری، از قبیل معابر و شبکه‌های خدمات‌رسانی که

³ Nath

نوسازی نشده اند، بسیار آسیب پذیرند (کلانتری خلیل آباد و همکاران، ۱۳۸۸: ۵۶). با عنایت به موارد گفته شده این پژوهش در پی پاسخگویی به این سوال است که چه عواملی بر افزایش ریسک زلزله در بافت‌های فرسوده شهری تاثیر گذار است و اولویت بندی این عوامل از دیدگاه کارشناسان چگونه است؟

پیشینه تحقیق

خدادادی و همکاران (۱۳۹۹) پژوهشی با عنوان تحلیل آسیب پذیری شهری در برابر مخاطره زلزله با روش ELECTRE FUZZY (مطالعه موردی: کلان شهر کرج) انجام داده‌اند. نتایج حاصله حاکی از آسیب پذیر بودن مناطق ۶، ۸، ۱ و ۷ شهرداری کرج در برابر زلزله است طوری که بیش از ۷۰ درصد از شهر کرج از نظر خطر آسیب پذیری در برابر زلزله در طبقه خیلی کم و کم قرار گرفته است و تنها حدود ۲۰ درصد از شهر کرج بخاطر نزدیکی به گسل و وجود تراکم بالای جمعیتی، ساختمانی و... در مناطق با خطر زیاد و خیلی زیاد قرار گرفته است که با رعایت اصول شهرسازی و رعایت آیین نامه ۲۸۰۰ می‌توان از خسارات ناشی از زلزله در این مناطق کاست.

جزایری و همکاران (۱۳۹۸) پژوهشی با عنوان ارزیابی ظرفیت تاب آوری شهری در برابر خطر زمین لرزه با تاکید بر ابعاد اجتماعی و نهادی (مطالعه موردی: منطقه ۱۲ شهرداری تهران) انجام داده‌اند. نتایج یافته‌ها حاکی از این است که در بین شاخص‌های اجتماعی، وضعیت شاخص ساختار سنی جمعیت، ساختار جنسی جمعیت بالاتر از حد بهینه محاسبه شده است. در مقابل، وضعیت پوشش سلامتی، فاصله‌ای زیاد با مقدار بهینه محاسبه شده دارد. در بین شاخص‌های مربوط به تاب آوری نهادی، همه شاخص‌ها فاصله محسوسی با مقدار بهینه دارند. در این بین، شاخص روابط نهادی با ۴۶ درصد فاصله از مقدار بهینه وضعیت نامناسب تری دارد. بعد از آن، شاخص عملکرد نهادی با ۴۱ درصد و بستر نهادی با ۳۲ درصد فاصله از مقدار بهینه در رده‌های بعدی قرار دارند.

جمال آبادی و همکاران (۱۳۹۸) پژوهشی با عنوان مکان یابی مراکز اسکان موقت جمعیت پس از زلزله در سکونتگاه‌های شهری مطالعه موردی: شهر سبزوار انجام داده‌اند. نتایج تحقیق نشان می‌دهد، کمبود فضاهای مناسب از جمله پارک‌ها و فضاهای باز شهری برای اسکان موقت شهروندان در سطح شهر سبزوار کاملاً مشهود است. در عین حال، نقاطی از شهر که دارای فضاهای باز کافی و سازگار با کاربری‌های اطراف می‌باشند، دارای پتانسیل نسبتاً بهتری برای استقرار هستند. بر این اساس، بهترین مکان‌ها برای اسکان موقت جمعیت پس از وقوع زمین لرزه در شهر سبزوار شامل پارک ارم در شمال، پارک امام رضا (ع) و استادیوم فوتبال در جنوب شرق شهر، شهربازی، باغ ملی و هنرستان شریعتی در مرکز شهر، مهمانسرای جهانگردی، فضاهای سبز و زمین ورزشی در غرب و در نهایت هنرستان فنی و حرفه‌ای در شهرک توحید پیشنهاد می‌گردد. به منظور بهبود شرایط در فردای وقوع زلزله پیشنهادهای در این پژوهش ارائه گردیده است. رحمانی و همکاران (۱۳۹۷) مکان یابی بهینه برای کاهش آسیب پذیری شهری بعد از زلزله (مطالعه موردی: شهر بجنورد) انجام داده‌اند. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد حوزه شرق و شمال شرق بجنورد به دلیل قابلیت اراضی و وجود عرصه، مستعدترین و بهترین گزینه برای مکان گزینی موقت زلزله زدگان هست و در پایان پیشنهادها در قالب نقشه و مکان یابی مناسب ارائه شده است که با مشخص کردن پهنه‌های خطر در شهر می‌توان در مورد استقرار شریان‌های حیاتی در مناطق کم خطر تصمیم گیری نمود. شمعی و همکاران (۱۳۹۲) پژوهشی با عنوان سنجش

عوامل آسیب رسان ناشی از زلزله در منطقه یک شهر تهران با استفاده از GIS انجام داده‌اند. یافته‌های حاصل از این پژوهش نشان داده که مهمترین عوامل آسیب رسان در محدوده مورد مطالعه عبارت است از فاصله از گسل، شیب زمین، همجواری با کاربری‌های سازگار، عمر بنا، تراکم زیاد جمعیت و عدم دسترسی به فضاهای باز شهری می‌باشد.

هاکان^۴ (۲۰۰۲) در اسکی شهر ترکیه با استفاده از تصاویر ماهواره ای و RS به پهنه بندی خطر زلزله در شهر انجام گرفت که نتایج این پژوهش مشخص ساخت در این شهر از سال ۱۹۸۷ تا ۱۹۹۹ در مناطقی که دارای شیب بالا می باشد، پتانسیل روانگرایی خاک بالا است و ساخت و ساز کمتری صورت گرفته است و همچنین در مناطقی از شهر شیب مناسب تری دارد و پتانسیل روانگرایی خاک پایین می باشد ساخت و ساز بیشتری صورت گرفته است. در این پژوهش عنوان شده است که در حد امکان و با نظارت بخش دولتی از ساخت و ساز در مناطق با شیب بالا جلوگیری شود. استراسر و همکاران (۲۰۰۸) به مطالعه چند زلزله وارد شده در اروپا و ترکیه می‌پردازند. از نتایج به دست آمده از این مطالعه به مقایسه و بررسی زلزله‌ای به بزرگی ۵ / ۷ ریشتر که در مرکز شهر استانبول اتفاق افتاده، می‌پردازند. آن‌ها از نتایج تلفات به دست آمده در هر دو منطقه مورد نظر راهکارهای کلیدی و موردنیاز برای کشف و شناسایی سریع تلفات بعد از وقوع زلزله می‌پردازند. ایبرت و همکاران (۲۰۰۸) به بررسی آسیب‌پذیری اجتماعی شهرها در برابر مخاطرات طبیعی پرداخته‌اند، در این مطالعه که با استفاده از سنجش از دور و سیستم اطلاعات انجام گرفته است، استانداردهایی برای کاهش آسیب‌پذیری اجتماعی ارائه داده‌اند که از آن جمله؛ تشکل واحدهای همسایگی است. همچنین آن‌ها برای کاهش آسیب‌ها معتقد به ترکیب روش‌های سنتی و روش‌های نوین مانند سنجش از دور در مواقع بحران هستند. بیلهام (۲۰۰۹) به مطالعه و بررسی وقوع زلزله در شهرهای با بافت قدیمی با توجه به افزایش جمعیت و افزایش ساخت و ساز می‌پردازد. هدف از این مطالعه مقایسه این مناطق با کشورهای درحال توسعه می‌باشد آنها راهکارهای برای کاهش هزینه‌های ساخت و ساز و نگهداری و مرمت در شهرهای قدیمی نسبت به زلزله‌های که در آتیه اتفاق خواهد افتاد، ارائه کرد. دی بوک و لیل (۲۰۱۳) یک ارزیابی مقایسه‌ای احتمالاتی برای تلفات زلزله انجام دادند. آن‌ها به بررسی تأثیر مستقیم پاسخ ساختمان‌ها در مقابل تلفات زلزله پرداختند و بهترین شیوه برای پیش بینی ساختمان‌های آسیب دیده را نشان دادند آن‌ها همچنین نقش عمر ساختمان را در این ارزیابی خسارت بررسی کردند. آن‌ها در نهایت روش‌های ساده و پیشرفته را برای محاسبه تلفات لرزه‌ای منطقه-ای و احتمالاتی توصیه نمودند. ونگ چانگ^۵ و همکاران (۲۰۱۸) در مقاله ای تحت عنوان "سرمایه اجتماعی به عنوان منبعی حیاتی در کاهش اثرات مخاطره سیل در مالزی سرمایه اجتماعی، در میان سازمان‌های مربوط با مدیریت بحران همکاری و مشارکت را ایجاد می‌کند، مردم را به عنوان داوطلبین فاجعه بسیج می‌کند، انعطاف-پذیری جامعه را تقویت می‌کند و روابط خانوادگی را عمیق‌تر می‌کند. چائولاکن و همکاران (۲۰۱۶) به مطالعه و بررسی حوضه دریاچه‌های دره کاتماندو در کشور نپال می‌پردازند. زیرا در ساله‌ای اخیر این منطقه به طور قابل توجهی با افزایش زلزله روبرو بوده و به علت ساخت و ساز ضعیف و عدم آگاهی مقامات این منطقه با آسیب-

4 Hakan

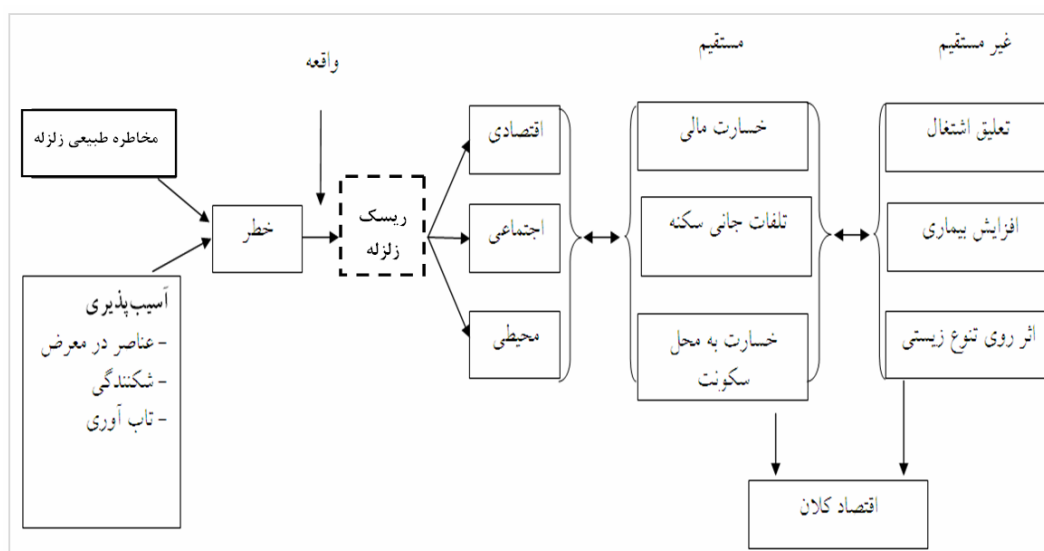
5 Weng Chan

های فراوانی ساختاری مواجهه بوده است. سپس آنها به مطالعه و بررسی مسائل ساختاری و زیرساختی و تلفات وارده بر سه شهر از این منطقه نظیر: ۱- حومه کاتماندو، ۲- لالیتهپور، ۳- بهاکتاپور، می‌پردازند. فریر را و همکاران (۲۰۱۳) به مطالعه و بررسی آسیب‌پذیری ساختمان‌های قدیمی و با ارزش تاریخی و میراث فرهنگی و ساختمان‌های مسکونی (ضعیف) می‌پردازند. آن‌ها به بررسی ۵۰۰ ساختمان قدیمی در منطقه سئیشال در کشور پرتغال پرداختند و میزان خسارات و تلفات تحت اثر زلزله را در این مناطق به دست آوردند. در نهایت با ارائه این نتایج، مقامات منطقه ای و شوراهای شهری می‌توانند طرحی برای ایمنی و کاهش خسارات بیان کنند. کومارنات و همکاران (۲۰۱۹) در پروژه‌ای آسیب‌پذیری و ریسک لرزه‌ای در شهر کلکته هند را ارزیابی و با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی، تصاویر ماهواره‌ای و گوگل ارث به برآورد ریسک ساختاری (فیزیکی)، در معرض ریسک اقتصادی، اجتماعی بودن و تحلیل احتمالی خطر زمین لرزه پرداخته و به این نتیجه رسیدند که روان‌گرایی خاک و شکست شیب از پدیده‌های ثانویه‌ای هستند که ریسک و خطر پدیده‌های مذکور را در منطقه بعد از وقوع زلزله می‌تواند بالا ببرد و آسیب‌پذیرترین قسمت شهر کلکته، از نظر پدیده روانگرایی در بخش‌های شرقی و جنوب شرقی آن واقع شده است.

مبانی نظری

زلزله یکی از بلایای طبیعی است. بلایای طبیعی تغییر در شرایط محیطی است که سبب گسسته شدن روند زندگی طبیعی مردم و قرار گرفتن آن‌ها در معرض عناصر مضر و خطرناک می‌شود و می‌توان آن را به این صورت تعریف کرد: بلایای طبیعی عملی از طبیعت است با چنان شدتی که وضعی فاجعه‌انگیز ایجاد می‌کند و در این وضع شیرازه زندگی روزمره ناگهان گسیخته می‌شود و مردم دچار رنج و درماندگی می‌شوند و در نتیجه به غذا، پوشاک، سرپناه و مراقبت‌های پزشکی و پرستاری و سایر ضرورت‌های زندگی و به محافظت در مقابل عوامل و شرایط نامساعد محیط محتاج می‌گردند (طیبیان و مظفری، ۱۳۹۷: ۹۶). از مهمترین و معمول ترین بلایای طبیعی به ویژه در ایران، زلزله است. زلزله؛ لرزش ناگهانی پوسته جامد زمین را زلزله یا زمین لرزه می‌گویند. آثار سطحی زلزله ممکن است به صورت گسیختگی گسل خوردگی و حرکت پوسته زمین، نشست زمین و آبگونی، گسیختگی دامنه‌ها در خشکی و دریا و... باشد. به عبارتی دیگر زلزله پدیده‌ای آنی و سریع است و بحرانی با پیامد تلفات و خسارات سنگین شناخته می‌شود (ریاحی و زمانی، ۱۳۹۲: ۱۵۵). محلی که منشأ زمین-لرزه است را کانون و نقطه‌ی بالای کانون در سطح زمین را مرکز سطحی زمین لرزه می‌گویند. وقوع زلزله می‌تواند دو منشأ داشته باشد، یا عواملی از بیرون موجب ارتعاشات می‌شود انفجارهای اتمی، سنگ‌های آسمانی و... و یا از درون زمین (جابه‌جایی صفحات زیر اقیانوسی، گسل‌ها و فعالیت آتشفشان‌ها)؛ اما عمده‌ترین و اساسی ترین منشأ وقوع زلزله عوامل درونی است. درواقع پوسته‌ی زمین از صفحاتی تشکیل شده که بر روی مواد مذاب گوشته در حال حرکت است و در محل‌هایی که گسل نامیده می‌شود، دارای برخورد است و نتیجه‌ی این برخوردها، زمین لرزه را ایجاد می‌کند (نوروزی و فرهادی، ۱۳۹۶: ۳۱). مقابله با مخاطرات طبیعی و به ویژه زلزله، با توجه به تأثیرات مستقیم و غیر مستقیمی که بر جامعه می‌نهند، به عنوان چالشی مهم در فرایند توسعه مطرح‌ند، به طوری که مخاطره‌های طبیعی برای مردم و مناطق فقیر، دربردارنده تأثیرات ناگوارتری هستند این به گونه‌ای است که تنها ۱۱ درصد از کل افراد در معرض خطر زلزله در کشورهای توسعه نیافته

سکونت دارند، ولی ۵۳ درصد از مرگ و میر ناشی از آن در همین کشورها رخ می‌دهد (سازمان ملل، ۲۰۰۴: ۱). مخاطرات طبیعی و در این بین زلزله با تخریب منابع درآمد، امکانات زیستی و مراکز فعالیت مردم خانه‌ها، کارگاه‌ها، مزارع و جز این‌ها به افزایش آسیب‌های اقتصادی و فیزیکی آن‌ها دامن می‌زنند و رفاه جامعه را از طریق تأثیر مستقیم در تخریب زیرساخت‌ها و دارایی‌هایی عمومی تحت فشار قرار می‌دهند (جانسون، ۲۰۰۴: ۴۵). و منجر به ایجاد اختلال در عملکردهای معمول جامعه می‌شوند. بنابراین، همان طور که شکل (۱) نشان می‌دهد، تأثیرات ناشی از مخاطرات بر روی جوامع، در سه بخش کلی اقتصادی و اجتماعی و محیطی دسته بندی می‌شود (پورطاهری و همکاران، ۱۳۸۹: ۲۹).



شکل (۱). تأثیرات مستقیم و غیرمستقیم مخاطرات طبیعی (زلزله) بر جامعه (منبع: پورطاهری و همکاران، ۱۳۸۹)

روش تحقیق

پژوهش پیش رو از نظر هدف کاربردی و از نظر روش توصیفی تحلیلی مبتنی بر روش چندمعیاره است. هدف این پژوهش شناسایی و اولویت‌بندی عوامل موثر بر افزایش ریسک زلزله در بافت‌های فرسوده شهری بود. در این پژوهش به منظور شناسایی عوامل افزایش ریسک زلزله در بافت‌های فرسوده شهری از روش کتابخانه‌ای و میدانی استفاده شد. از نظر ترسین و ریگزا (۱۹۷۶) و بریدی (۲۰۰۲)، در صورت همگن بودن گروه مشارکت-کنندگان، برای ایجاد نتایج اثربخش، حجم نمونه ای متشکل از ۱۰ الی ۱۵ نفر کفایت می‌کند. در برخی منابع نیز تعداد مطلوب خبرگان، ۱۰ الی ۲۰ نفر توصیه شده است (جمالی و همکاران، ۱۳۹۷: ۲۲). لذا در پژوهش حاضر برای دستیابی به نتایج معتبر، حجم نمونه در نظر گرفته شده برای تکمیل پرسشنامه ۳۰ نفر از اساتید دانشگاهی و متخصصان حوزه پژوهش تعیین شد. ابزار گردآور داده‌های پرسشنامه منطبق بر روش دلفی فازی

⁶ Johnson

و تکنیک BMW بود؛ که روایی آن از نظر صوری و محتوایی به تایید خبرگان رسید، و پایایی آن با استفاده از آلفای کرونباخ مورد بررسی قرار گرفت. مقدار آلفای کرونباخ بدست آمده برای پرسشنامه برابر با ۰/۷۸ بود؛ که این مقدار حاکی از تایید پایایی پرسشنامه بود. در این پژوهش به منظور دستیابی به اهداف پژوهش از روش دلفی فازی و تکنیک BMW استفاده شد که در ادامه گام‌های روش‌های مورد استفاده توضیح داده شده است.

رویکرد دلفی فازی^۷

روش دلفی فازی در سال ۱۹۹۳ توسط ایشیگاوا و همکارانش پیشنهاد شد. در واقع روش دلفی فازی از ترکیب روش دلفی سنتی و نظریه مجموعه فازی حاصل گردید. نوردر هابن (۱۹۹۵)، دریافت که استفاده از روش دلفی فازی برای تصمیمات گروهی می‌تواند منجر به درک مشترک از نظرات کارشناسان و خبرگان شود. همان گونه که برای انتخاب توابع عضویت فازی، تحقیقات قبلی مبتنی بر عدد فازی مثلثی، عدد فازی دوزنقه ای و عدد فازی گوسی بودند، در این تحقیق از توابع عضویت مثلثی و تئوری فازی برای حل تصمیمات گروه استفاده شده است (صمدی و همکاران، ۱۳۹۶: ۲۳). در این پژوهش از روش دلفی فازی برای یافتن نظرات خبرگان نسبت به یک معیار استفاده شده است، فرض بر این است که ارزش ارزیابی معیار j از نگاه خبره i از مین n خبره $wij = (aij, bij, cij)$ که مقدار j برابر با $j=1,2,...,m$ و میزان I برابر با $i=1,2,3,...,n$ است بدین ترتیب ارزش فازی معیار j از رابطه (۱) محاسبه می‌شود.

رابطه (۱):

$$\begin{aligned} a_j &= \min\{a_{ij}\} \\ b_j &= \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n b_{ij} \\ c_j &= \max\{c_{ij}\} \end{aligned}$$

برای دی فازی کردن نیز از رابطه (۲) استفاده می‌کنیم:

رابطه (۲):

$$S_j = \frac{a_j + b_j + c_j}{3}, \quad j = 1, 2, \dots, m$$

⁷ Fuzzy Delphi Method

در نهایت برای استخراج معیارهای مورد نظر حدی را برای قبول یا عدم قبول آن معیار در نظر می‌گیریم. در این مطالعه با توجه به قانون ۳۰-۷۰، مرز قابل قبول بودن معیار در حدود ۰/۷ است (هسو و همکاران، ۲۰۱۰). اگر مقدار دی فازی شده عدد فازی مثلی با توجه به نظر خبرگان نزدیک به ۰/۷ یا بالاتر از آن باشد، به عنوان معیار قابل قبول، پذیرش شده و در غیر این صورت مورد قبول واقع نمی‌شود.

تکنیک BMW

تکنیک بهترین بدترین یکی از جدیدترین و کاراترین تکنیکهای تصمیم‌گیری چند معیاره است که در سال ۲۰۱۵ توسط دکتر جعفر رضایی معرفی شد. این روش به منظور وزن‌دهی معیارهای تصمیم‌گیری به کار می‌رود. در این روش، ابتدا بهترین مهم‌ترین و بدترین (کم‌اهمیت‌ترین معیارها توسط تصمیم‌گیرنده مشخص می‌شود؛ سپس مقایسه زوجی بین هر کدام از این دو شاخص، با دیگر شاخص‌ها صورت می‌گیرد؛ آن‌گاه مسئله تبدیل به یک مسئله برنامه‌ریزی خطی می‌شود که وزن شاخص‌ها به صورتی به دست آید که تفاوت‌های مطلق اوزان حداقل شود. تعداد مقایسات زوجی کمتر و دستیابی به مقایسات زوجی سازگارتر از برتری‌های این متد نسبت به سایر تکنیک‌های چند معیاره است.

مراحل انجام این تکنیک به شرح زیر است:

گام اول: ابتدا معیارهای مؤثر در تصمیم‌گیری انتخاب می‌شوند.

گام دوم: انتخاب بهترین و بدترین معیار در این مرحله انجام می‌گیرد.

گام سوم: ابتدا برتری بهترین معیار نسبت به سایر معیارها، سپس برتری هر معیار نسبت به بدترین معیار با اعداد صحیح ۱ تا ۹ مطابق جدول (۱) سنجیده می‌شود.

جدول (۱). اعداد متناظر با انواع ترجیحات در مقایسه‌های زوجی

ترجیحات بینابین	کاملاً مرجح	ترجیح خیلی قوی	ترجیح قوی	کمی مرجح	ترجیح یکسان	ترجیحات
۲، ۴، ۶، ۸	۹	۷	۵	۳	۱	اعداد صحیح

(منبع: جمالی و همکاران، ۱۳۹۷)

بردار برتری، بهترین معیار نسبت به سایر معیارها و برتریسایرین به بدترین به صورت رابطه (۳) است که در آن برتری معیار ajw و z برتری بهترین معیار z به معیار ajw بر بدترین است.

رابطه (۳)

$$A_B = (a_{B1}, a_{B2}, \dots, a_{Bn}), A_w = (a_{1w}, a_{2w}, \dots, a_{nw})^T$$

مرحله چهارم: در این مرحله اوزان بهینه به دست می‌آیند. وزن بهینه برای معیارها وزنی است که برای هر زوج wb/w و ww/w روابط (۵ و ۴) برقرار باشد که در آن Wz وزن معیار z است. این مسأله مطابق رابطه (۴) برنامه نویسی می‌شود.

رابطه (۴)

$$W_j / W_w = a_{jw} \quad W_b / W_j = a_{Bj}$$

رابطه (۵)

$$\begin{aligned} & \min \xi; \\ & s.t. \\ & \left| \frac{wb}{wj} - a_{Bj} \right| \leq \xi; \\ & \left| \frac{wj}{ww} - a_{jw} \right| \leq \xi; \\ & \sum_j w_j = 1; \\ & w_j \geq 0; \end{aligned}$$

در رابطه (۵) ξ متغیری است که از آن برای محاسبه‌ی نرخ سازگاری در مرحله بعد استفاده می‌شود و مقدار بهینه آن یعنی ξ^* طی تکرارهای متوالی به همراه وزن معیارها حساب می‌شود. مرحله پنجم: در این مرحله نسبت ناسازگاری با رابطه‌ی (۶) بدست می‌آید.

$$\frac{\xi^*}{\text{شاخص سازگاری}} = \text{نرخ ناسازگاری} \quad \text{رابطه (۶)}$$

شاخص سازگاری رابطه (۶) از جدول (۲) حساب می‌شود که a_{BW} همان وزن مقایسه‌ی بهترین نسبت به بدترین معیار است. نرخ ناسازگاری عددی در بازه‌ی ۰ تا ۱ است و هرچه به صفر نزدیک‌تر باشد نشان دهنده‌ی ثبات بالایی مقایسه‌ها است.

جدول (۲). شاخص سازگاری

a_{BW}	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹
شاخص سازگاری	۰/۰۰	۰/۴۴	۱/۰۰	۱/۶۳	۲/۳۰	۳/۰۰	۳/۷۳	۴/۴۷	۵/۲۳

نتایج

از تعداد ۳۰ نفر نمونه آماری پژوهش از نظر سطح تحصیلات ۱۸ نفر سطح تحصیلات خود را دکتری و ۱۲ نفر سطح تحصیلات خود را کارشناسی ارشد عنوان کرده‌اند. در ارتباط با وضعیت تاهل ۲۴ نفر متاهل و ۶ نفر هم مجرد بودند. از نظر سن بیشترین تعداد نمونه آماری پژوهش در گروه سنی ۳۱ الی ۴۰ سال قرار داشت. از نظر جنس نیز ۲۱ نفر مرد و ۹ نفر حنیست خود را زن بیان کرده‌اند. جدول (۳).

جدول (۳). ویژگی‌های دموگرافیکی نمونه آماری پژوهش

متغیر	گروه بندی	فراوانی	درصد فراوانی
تحصیلات	فوق لیسانس	۱۲	۴۰
	دکتری	۱۸	۶۰
جنس	زن	۹	۳۰
	مرد	۲۱	۷۰
سن	۲۰ الی ۳۰ سال	۷	۲۳/۳
	۳۱ الی ۴۰ سال	۱۵	۵۰
	۴۱ الی ۵۰ سال	۸	۲۶/۶

پایاده سازی تکنیک دلفی فازی

ابتدا تلاش شد، با مطالعه مبانی نظری و ادبیات تحقیق و همچنین مصاحبه با اساتید و افراد متخصص معیارها و زیرمعیارهای موثر در افزایش ریسک ناشی از زلزله در بافت‌های فرسوده شهری شناسایی شود در جدول (۴) معیارها و زیرمعیارهای شناسایی شده ارائه شده است.

جدول (۴). معیارها و زیرمعیارهای شناسایی شده

معیار	زیرمعیار
کیفیت مسکن	نوع مصالح ساختمانی
	عمر بنا
	تراکم ساختمانی
	تعداد طبقات ساختمانی
	کیفیت ابنیه
فاصله از کاربری‌های ویژه	دسترسی به فضای باز
	دسترسی به کاربری بهداشتی
	دسترسی به کاربری درمانی
	فاصله از ایستگاههای گاز
	فاصله از ایستگاههای آتش نشانی
عوامل طبیعی	فاصله از گسل
	شیب زمین
	شرایط لیتولوژیکی
	تراکم جمعیت
جمعیتی و اقتصادی	وضعیت مالی ساکنین

پس از شناسایی و نهایی شدن معیارها و زیرمعیارها اقدام به تهیه پرسشنامه شد و در اختیار نمونه آماری پژوهش قرار داده شد و دور اول دلفی پس از جمع آوری پرسشنامه‌های پژوهش به پایان رسید میانگین فازی زدایی شده بدست آمده برای معیارهای پژوهش در دور اول به شرح جدول (۵) است

جدول (۵). نتایج حاصل از دور اول دلفی فازی

معیار	زیرمعیار	میانگین فازی مرحله اول	میانگین فازی زدایی شده
کیفیت مسکن	نوع مصالح ساختمانی	(۰,۳۶,۰,۸۶,۱)	۰,۷۴
	عمر بنا	(۰,۲۵,۰,۷۰,۰,۹۵)	۰,۶۳
	تراکم ساختمانی	(۰,۴۳,۰,۹۳,۱)	۰,۷۹
	تعداد طبقات ساختمانی	(۰,۳۴,۰,۸۰,۰,۹۵)	۰,۷۰
	کیفیت ابنیه	(۰,۵۶,۰,۷۴,۰,۸۶)	۰,۷۳
فاصله از کاربری‌های ویژه	دسترسی به فضای باز	(۰,۲۵,۰,۷۳,۰,۹۸)	۰,۷۵
	دسترسی به کاربری بهداشتی	(۰,۲۳,۰,۷۰,۰,۹۸)	۰,۶۹
	دسترسی به کاربری درمانی	(۰,۳۰,۰,۷۳,۰,۹۱)	۰,۶۵
	فاصله از ایستگاههای گاز	(۰,۳۰,۰,۷۰,۰,۹۱)	۰,۶۴
	فاصله از ایستگاههای آتش نشانی	(۰,۲۷,۰,۷۰,۰,۹۳)	۰,۶۳
عوامل طبیعی	فاصله از گسل	(۰,۲۳,۰,۷۰,۰,۹۵)	۰,۶۳
	شیب زمین	(۰,۲۳,۰,۶۸,۰,۹۵)	۰,۶۲
	شرایط لیتولوژیکی	(۰,۳۶,۰,۸۴,۰,۹۵)	۰,۷۲
جمعیتی و اقتصادی	تراکم جمعیت	(۰,۳۲,۰,۷۷,۰,۹۵)	۰,۶۸
	وضعیت مالی ساکنین	(۰,۲۳,۰,۶۱,۰,۸۶)	۰,۵۷

پس از بررسی نتایج مرحله نخست، میانگین فازی زدایی شده زیرمعیارها، در پرسشنامه‌ی جدید به افراد نمونه آماری پژوهش اعلام شد و پرسشنامه دوم همراه با میانگین بدست آمده در اختیار آنها قرار داده شد. نتایج حاصل از پرسشنامه مرحله دوم به شرح جدول (۶) ارائه شده است.

جدول (۶). نتایج حاصل از دوردوم دلفی فازی

معیار	زیرمعیار	میانگین فازی	میانگین فازی زدایی شده مرحله دوم	میانگین فازی زدایی شده مرحله اول	اختلاف میانگین
کیفیت مسکن	نوع مصالح ساختمانی	(۰,۳۲,۰,۸۰,۰,۹۸)	۰,۷۰	۰,۷۴	۰/۰۴
	عمر بنا	(۰,۳۹,۰,۵۵,۰,۹۹)	۰,۷۵	۰,۶۳	۰/۱۲
	تراکم ساختمانی	(۰,۴۳,۰,۹۳,۱)	۰,۷۴	۰,۷۹	۰/۰۵
	تعداد طبقات ساختمانی	(۰,۳۲,۰,۷۷,۰,۹۵)	۰,۷۲	۰,۷۰	۰/۰۲
	کیفیت ابنیه	(۰,۲۵,۰,۶۶,۰,۹۱)	۰,۸۳	۰,۷۳	۰/۰۴
فاصله از کاربری-های ویژه	دسترسی به فضای باز	(۰,۲۵,۰,۶۶,۰,۹۱)	۰,۷۹	۰,۷۵	۰/۰۴
	دسترسی به کاربری بهداشتی	(۰,۲۹,۰,۷۸,۰,۱)	۰,۷۵	۰,۶۹	۰/۰۶
	دسترسی به کاربری درمانی	(۰,۳۶,۰,۷۸,۰,۹۲)	۰,۷۱	۰,۶۵	۰/۰۶
	فاصله از ایستگاههای گاز	(۰,۴۹,۰,۸۲,۰,۱)	۰,۷۳	۰,۶۴	۰/۰۷
	فاصله از ایستگاههای آتش نشانی	(۰,۲۶,۰,۷۵,۰,۹۶)	۰,۷۵	۰,۶۳	۰/۱۲
عوامل طبیعی	فاصله از گل	(۰,۲۵,۰,۷۳,۰,۹۸)	۰,۷۰	۰,۶۳	۰/۰۴
	شیب زمین	(۰,۲۷,۰,۶۹,۰,۹۵)	۰,۷۰	۰,۶۲	۰/۰۸
	شرایط لیتولوژیکی	(۰,۲۰,۰,۶۸,۰,۹۸)	۰,۷۵	۰,۷۲	۰/۰۳
جمعیتی و اقتصادی	تراکم جمعیت	(۰,۱۶,۰,۶۱,۰,۹۵)	۰,۷۳	۰,۶۸	۰/۰۵
	وضعیت مالی ساکنین	(۰,۵۳,۰,۸۱,۰,۹۶)	۰,۷۰	۰,۵۷	۰/۱۳

با توجه به نتایج مندرج در جدول (۶)، باتوجه به اینکه اختلاف نظرات خبرگان درخصوص کلیه سوالات، طی ۲ مرحله اجرای دلفی کمتر از ۰/۱۵ شده است می توان نتیجه گرفت اجماع کافی بین خبرگان حاصل شده است. بنابراین اجرای روش دلفی متوقف می گردد. همچنین با توجه به اینکه مقدار میانگین فازی زدایی شده زیرمعیارهای مربوط به هرکدام از معیارها بیشتر از ۰/۷ می باشد از این رو تمامی معیارهای شناسایی شده مورد تایید قرار می گیرد.

پیاده سازی مدل BMW

بعد از نهایی شده عوامل و زیرعواملها، پرسشنامه مبنی بر انتخاب بهترین و بدترین عامل به کارشناسان ارسال و معیارها به ترتیب به عنوان بهترین و بدترین معیار انتخاب شدند. سپس پرسشنامه ی دیگر شامل جداول مقایسه ی بهترین با سایر معیارها و سایر معیارها با بدترین به کارشناسان ارسال شد. پس از جمع آوری داده ها مطابق رابطه (۵) در نرم افزار متلب گزاره ها و قیودهای مختلف برنامه نویسی شد. همزمان با انجام عملیات مربوط به تکنیک میزان نرخ ناسازگاری نیز محاسبه شد و در این پژوهش مقدار آن ۰/۹۳ بدست آمد که حاکی

از آن است که مقایسات تا حد زیادی استوار است. پس از انجام این مراحل وزن نهایی عوامل و زیرعوامل‌ها مطابق آنچه که در جدول (۷) ارائه شده است بدست آمد.

جدول (۷). اوزان نهایی عوامل و زیرعوامل‌ها

عوامل	وزن عوامل	زیرعوامل‌ها	wj	وزن نهایی زیرعوامل‌ها
کیفیت مسکن	۰/۲۸۷	نوع مصالح ساختمانی	۰/۲۰۳	۰/۰۵۸
		عمر بنا	۰/۲۴۵	۰/۰۷۰
		تراکم ساختمانی	۰/۱۸۹	۰/۰۵۴
		تعداد طبقات ساختمانی	۰/۰۹۶	۰/۰۲۷
		کیفیت ابنیه	۰/۲۶۷	۰/۰۷۶
فاصله از کاربری‌های ویژه	۰/۲۵۵	دسترسی به فضای باز	۰/۲۷۷	۰/۰۷۰
		دسترسی به کاربری بهداشتی	۰/۱۹۸	۰/۰۵۰
		دسترسی به کاربری درمانی	۰/۲۲۱	۰/۰۵۶
		فاصله از ایستگاه‌های گاز	۰/۲۰۹	۰/۰۵۳
		فاصله از ایستگاه‌های آتش نشانی	۰/۰۹۵	۰/۰۲۴
عوامل طبیعی	۰/۳۲۱	فاصله از گسل	۰/۳۹۵	۰/۱۲۶
		شیب زمین	۰/۳۰۷	۰/۰۹۸
		شرایط لیتولوژیکی	۰/۲۹۸	۰/۰۹۵
جمعیتی و اقتصادی	۰/۱۳۷	تراکم جمعیت	۰/۶۳۴	۰/۰۸۶
		وضعیت مالی ساکنین	۰/۳۶۶	۰/۰۵۰

با عنایت به نتایج مندرج در جدول (۷) از بین عوامل اصلی شناسایی شده عوامل طبیعی با امتیاز نهایی ۰/۳۲۱ در رتبه اول، عامل کیفیت مسکن با امتیاز نهایی ۰/۲۸۷ در رتبه دوم، عامل فاصله از کاربری‌های ویژه با امتیاز نهایی ۰/۲۵۵ در رتبه سوم و عامل جمعیتی و اقتصادی با امتیاز نهایی ۰/۱۳۷ در رتبه چهارم جای گرفته است. نتایج حاصل از رتبه‌بندی هر یک از زیرعوامل حاکی از آن است که در ارتباط با عامل کیفیت مسکن از بین زیرعوامل‌ها، عامل کیفیت ابنیه با امتیاز نهایی ۰/۲۶۷ در رتبه اول، عامل عمر بنا با امتیاز نهایی ۰/۰۷۰ در رتبه دوم، عامل نوع مصالح ساختمانی با امتیاز نهایی ۰/۰۵۸ در رتبه سوم، عامل تراکم ساختمانی با امتیاز نهایی ۰/۰۵۴ در رتبه چهارم و عامل تعداد طبقات ساختمانی با امتیاز نهایی ۰/۰۲۷ در رتبه پنجم جایی گرفته است. در ارتباط با زیرعوامل‌های مربوط به عامل فاصله از کاربری‌های ویژه، عامل دسترسی به فضای باز با امتیاز نهایی ۰/۰۷۰ در رتبه اول، عامل دسترسی به کاربری درمانی با امتیاز نهایی ۰/۰۵۶ در رتبه دوم، عامل فاصله از ایستگاه‌های گاز با امتیاز نهایی ۰/۰۵۳ در رتبه سوم، دسترسی به کاربری بهداشتی با امتیاز نهایی ۰/۰۵۰ در رتبه چهارم و عامل فاصله از ایستگاه‌های آتش نشانی با امتیاز نهایی ۰/۰۲۴ در رتبه پنجم جایی گرفته است. در ارتباط با عوامل طبیعی سه زیرعوامل شناسایی شد. نتایج حاصل از رتبه بندی نهایی زیرعوامل‌های مربوط به این عامل حاکی از آن است که عامل فاصله از گسل با امتیاز نهایی ۰/۱۲۶ در رتبه اول، عامل شیب زمین با امتیاز نهایی ۰/۰۹۸ در رتبه دوم و عامل شرایط لیتولوژیکی با امتیاز نهایی ۰/۰۹۵ در رتبه سوم جایی گرفته

است. در ارتباط با زیرعامل‌های مربوط به عامل جمعیتی و اقتصادی، تراکم جمعیت با امتیاز نهایی ۰/۰۸۶ در رتبه اول و وضعیت مالی ساکنین با امتیاز نهایی ۰/۰۵۰ در رتبه دوم قرار گرفته است.

نتیجه گیری

این پژوهش با هدف شناسایی و اولویت‌بندی عوامل موثر بر افزایش ریسک زلزله در بافت‌های فرسوده شهری اجرا شد. در جهت دستیابی به هدف پژوهش از مدل‌های دلفی فازی و مدل BMW استفاده شد. مدل مورد استفاده یکی از جدیدترین مدل‌های تصمیم‌گیری چند معیاره در جهت اولویت‌بندی معیارها است. در این پژوهش ابتدا به منظور تایید نهایی عوامل و زیرعامل‌های شناسایی شده از تکنیک دلفی فازی استفاده شد و نتایج حاصل حاکی از آن بود که کلیه زیرعامل‌های شناسایی شده مورد تایید قرار گرفت. نتایج حاکی از پیاده سازی مدل BMW برای رتبه بندی عوامل اصلی حاکی از آن بود که از بین عوامل اصلی شناسایی شده عامل محیطی با امتیاز نهایی ۰/۳۲۱ در رتبه اول، عامل کیفیت مسکن با امتیاز نهایی ۰/۲۸۷ در رتبه دوم، عامل فاصله از کاربری‌های ویژه با امتیاز نهایی ۰/۲۵۵ در رتبه سوم و عامل جمعیتی و اقتصادی با امتیاز نهایی ۰/۱۳۷ در رتبه چهارم قرار گرفت. در ارتباط با رتبه بندی زیرعامل‌ها مربوط به هر کدام از عامل‌های اصلی نتایج در ارتباط با عامل کیفیت مسکن، از بین زیرعامل‌های شناسایی شده برای این عامل که در برگرنده پنج زیرعامل بود، زیرعامل کیفیت ابنیه با امتیاز نهایی ۰/۰۷۶ در رتبه اول قرار گرفت. نتایج این قسمت با یافته‌های هاگان (۲۰۰۲) همسو است. در تبیین این نتیجه می‌توان عنوان نمود که کیفیت ابنیه نشان دهنده مقاومت ساختمان‌ها در برابر زلزله است به گونه‌ای کیفیت ابنیه دارای کیفیت نوساز و قابل نگهداری باشد، می‌تواند مسکن در مقابل زلزله مقاومت بهتری از خود نشان دهد. در ارتباط با زیرعامل‌های مربوط به عامل فاصله از کاربری‌های ویژه نتایج نشان دهنده آن بود که از بین زیرعامل‌های مربوط به این عامل، دسترسی به فضای باز با امتیاز نهایی ۰/۰۷۰ در رتبه اول قرار گرفت نتایج این بخش از یافته‌های پژوهش با نتایج پژوهش دی بوک لیل (۲۰۱۳) و فریر را و همکاران (۲۰۱۳) همخوانی دارد. در تبیین نتایج این قسمت می‌توان عنوان نمود که هر چه فضای باز در فاصله کمتری از کاربری‌ها قرار داشته باشد، آسیب‌پذیری نیز به علت دسترسی سریع به آن‌ها و پناه‌گیری، کمتر خواهد شد. باید توجه داشت که در مواقع بحران بویژه زلزله، منظور از فاصله تا فضای باز، دسترسی به فضای باز غالباً از نوع پیاده می‌باشد. از طرف دیگر، وسعت و اندازه این فضاها نیز برای پناه‌گیری و مفید بودن از نظر عملکردی بسیار مهم است. در ارتباط با عوامل طبیعی، سه زیرعامل شناسایی شد که از بین این سه عامل، عامل فاصله از گسل با امتیاز نهایی ۰/۱۲۶ در رتبه اول جایی گرفت. در تفسیر این نتایج میتوان عنوان نمود که هرچه ساخت و سازهای شهری از گسل فاصله بیشتری داشته باشد زمینه برای وقوع زلزله و افزایش آسیب‌های ناشی از آن نیز کاهش می‌یابد. در ارتباط با عامل جمعیتی و اقتصادی، دو عامل شناسایی شد به گونه‌ای که عامل تراکم جمعیت با امتیاز نهایی ۰/۰۸۶ در رتبه اول قرار گرفت. در تبیین نتایج این بخش می‌توان عنوان نمود که هر چه تراکم جمعیت کمتر باشد آسیب‌پذیری نیز کمتر می‌شود. تراکم جمعیتی بالا در شهر به معنای خسارت‌های بیشتر به هنگام وقوع زلزله است و این علاوه بر از بین بردن تعداد بیشتری از مردم در اثر فرو ریختن به دلیل بسته شدن راه‌ها و معابر و کاهش امکان گریز از موقعیت‌های خطرناک و

دسترسی به مناطق امن و نیز مشکل شدن نجات مجروحان در اثر مسدود شدن راه های ارتباطی است. تراکم بالای جمعیت به دنبال خود تراکم ساختمانی بالا و کمبود فضاهای باز و کافی در زمان ازدحام، مختل شدن شرایط فرار، پناهگیری و امدادرسانی را در پی خواهد داشت.

منابع

- باقری، کیوان، تقوایی، مسعود. (۱۳۹۶). برنامه‌ریزی راهبردی مدیریت بحران زلزله در بافت‌های فرسوده شهری (مطالعه موردی: بافت فرسوده شهر سنجند). دانش پیشگیری و مدیریت بحران. ۶ (۴): ۳۴۴-۳۵۷.
- پورطاهری، مهدی، عینالی، جمشید، افتخاری، عبدالرضا. (۱۳۸۹). نقش ظرفیت سازی در کاهش تاثیرات مخاطرات طبیعی در مناطق روستایی با تاکید بر روش‌های کمی، فصلنامه پژوهش‌های جغرافیای انسانی، ۷۴: ۲۳-۳۹.
- جمال آبادی جواد، سلمانی مقدم محمد، شکاری بادی علی، نوده مرضیه. (۱۳۹۸). مکان‌یابی مراکز اسکان موقت جمعیت پس از زلزله در سکونتگاه‌های شهری مطالعه موردی: شهر سبزوار. نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی. ۱۹ (۵۵): ۱۵۳-۱۷۱.
- جمالی، فیروز، روستایی، شهرپور؛ یاپنگ غراوی، محمد. (۱۳۹۷). ارزیابی الگوی علی معیارهای رقابت پذیری شهری، فصلنامه اقتصاد و مدیریت شهری، ۲۳: ۱۵-۳۳.
- خدادادی فاطمه، انتظاری مژگان، ساسان پور فرزانه. (۱۳۹۹). تحلیل آسیب پذیری شهری در برابر مخاطره زلزله با روش ELECTRE FUZZY (مطالعه موردی: کلان‌شهر کرج). نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی. ۲۰ (۵۶): ۹۳-۱۱۳.
- رحمانی ثنا، واحدی سید حسین، عابدی فرد لیلا، ابراهیمی پور صالح. (۱۳۹۷). مکان‌یابی بهینه برای کاهش آسیب پذیری شهری بعد از زلزله (مطالعه موردی: شهر بجنورد). نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی. ۱۸ (۵۰): ۲۱۷-۱۹۹.
- ریاحی، وحید، زمانی، لقمان. (۱۳۹۲). مدیریت بحران زلزله در سکونتگاه‌های روستایی، فصلنامه اقتصاد فضا و توسعه روستایی، ۲ (۱): ۱۵۱-۱۶۹.
- سرور، رحیم، کاشانی اصل، امیر. (۱۳۹۵). ارزیابی آسیب پذیری کالبدی شهر اهر در برابر زلزله، فصلنامه آمایش محیط، ۳۴: ۸۸-۹۷.
- شماعی، علی، حیدرزاده، نجمه و بابک لطفی مقدم. (۱۳۹۲). سنجش عوامل آسیب رسان ناشی از زلزله در منطقه یک شهر تهران با استفاده از GIS، فصلنامه جغرافیا و برنامه ریزی، ۴۳: ۹۳-۱۲۲.
- طیبیان، منوچهر، مظفری، نگین (۱۳۹۷). ارزیابی آسیب پذیری بافت‌های مسکونی در برابر زلزله و راهکارهای کاهش آسیب پذیری، فصلنامه مطالعات شهری، ۲۷: ۹۳-۱۰۲.
- کلانتری خلیل آباد، حسین، حاتمی نژاد حسین، آقاصفری، عارف. (۱۳۸۸). آسیب پذیری بافت تاریخی شهر یزد در برابر زلزله، فصلنامه سپهر، ۶۱: ۸۸-۱۰۱.

- منزوی، مهشید، سلیمانی، محمد، تولایی، سیمین و اسماعیل چاووشی. (۱۳۸۹). آسیب پذیری بافت های فرسوده بخش مرکزی شهر تهران در برابر زلزله، فصلنامه پژوهش های جغرافیای انسانی، ۷۳: ۱-۱۸.
- نوروزی، اصغر، فرهادی، مریم. (۱۳۹۶). سنجش آسیب پذیری و برنامه ریزی راهبردی مدیریت بحران زلزله در نواحی روستایی، فصلنامه مدیریت بحران، ۱۱: ۳۱-۴۶.
- وحید، فریدون، سلطانی نژاد، امیر و ایوب سلطانی نژاد. (۱۳۹۱). تحلیل جامعه شناختی زلزله بم، فصلنامه مطالعات جامعه شناختی ایران، ۲(۷): ۹-۲۳.
- هونکرهی، محمدامین، فنی، زهره (۱۳۹۸) کاهش اثرات مخاطرات طبیعی (زلزله) بر محیط زیست شهری با تأکید بر ظرفیت سازی (موردپژوهشی: شهر زاهدان)، پژوهش های دانش زمین، ۱۰(۳۰): ۱۹۱-۲۱۳.
- A.Ebert, N. Kerle (2008), "Urban Social Vulnerability Assessment Using Object-oriented Analysis of Remot Sensing and GIS Data", A Case Study for Tegucigalpa, Honduras, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Vol. xxxvii, part B7, Beijing, pp1307-1311.
- Bilham, R. (2009). **The seismic future of cities**. Bulletin of Earthquake Engineering, 46.
- F. O. Strasser, J. J. (2008). **A Comparative Study of European Earthquake Loss Estimation Tools for a Scenario in Istanbul**, Journal of Earthquake Engineering, 246-256.
- Hakan A. Nefeslioglu, Muammer Tun, Can Ayday (2002), "Change Detection of Structures in the Earthquake Hazard Zoning Map of Eskisehir City, Turkey, by Using Satellite Images", 2nd GRSS/ISPRS Joint Workshop on Data Fusion and Remote Sensing over Urban Areas, pp177-181.
- Hsu, Y. L., Lee, C. H., Kreng, V. B. (2010). **The application of Fuzzy Delphi Method and Fuzzy AHP in lubricant regenerative technology selection**. Expert Systems with Applications, 37, 419-425.
- Johnson, J. Dayton, 2004, **Natural Disasters and Adaptive Capacity**, Oecd DEVELOPMENT CENTRE, Working Paper, No. 237.
- Nath, S. K., Adhikari, M. D., Maiti, S. K., & Ghatak, C. (2019). **Earthquake hazard potential of Indo-Gangetic Foredeep: its seismotectonism, hazard, and damage modeling for the cities of Patna, Lucknow, and Varanasi**. Journal of Seismology, 23(4), 725-769.
- UNDP, 2004, **The Links between Disaster and Development are Elaborated in Detail, in the UNDP's 2004 report Reducing Disaster Risk: A challenge for development**, NewYork.
- Weng Chan, N., Roy, R., Hui Lai, CH. and Tan, M.L., (2018). **Social capital as a vital resource in flood disaster recovery in Malaysia**, International Journal of Water Resources Development, (23)23-56.