



Evaluating the Seismic Vulnerability of Important and Vital Buildings in Urban Spaces: A Case Study of Khorramabad City

Maryam Biranvandzadeh¹, Mostafa Fallahi Khoshhi², Siamak Sharfi³ & Amir Hosseinian Rad^{4*}

¹ Ph.D. in Geography and Urban Planning, and Researcher of Lorestan Academic Jihad, Khorramabad, Iran.

² PhD in Climatology, Lorestan Academic Jihad Researcher, Khorramabad, Iran.

³ Associate Professor, Department of Geography, Lorestan University, Khorramabad, Iran.

⁴ Assistant Professor, Department of Geography, Lorestan University, Khorramabad, Iran.

* Corresponding Author, hoseinianrad.a@lu.ac.ir

Receive Date: 16 February 2024

Accept Date: 25 July 2024

ABSTRACT

Introduction: Earthquakes, potent harbingers of devastation, cast a long shadow over urban landscapes. Beyond the immediate threat of building collapse and human casualties, their impact often ripples through the intricate texture of city life, disrupting critical infrastructure and hindering post-disaster recovery. In this perilous scenario, ensuring the resilience of "important and vital buildings" becomes paramount. One of the fundamental steps in mitigating earthquake risk is to determine the vulnerability of existing buildings and identify their weaknesses against earthquakes.

Objectives: This research uses an exploratory method to evaluate seismic vulnerability and provide a crisis management model for critical, sensitive, and vital buildings in Khorramabad.

Methodology: The research utilizes a researcher-made checklist, 1:25000 geological maps, a 10-meter resolution digital elevation model (DEM), and 1:2000 scale urban land use maps. First, the criteria affecting the vulnerability of the studied buildings were extracted from the mentioned resources and maps. Then, by visiting the case study areas, the designed checklist was completed, and the data was analyzed in Arc GIS software using fuzzy logic. The vulnerability of the studied spaces was determined based on the extracted indicators.

Geographical Context: The research's geographical scope includes 50 important and vital buildings in Khorramabad, the center of Lorestan province, such as hospitals, fire stations, shelters, fuel distribution centers, food warehouses, political, administrative, and religious activities centers, and urban facilities centers.

Results and Discussion: The results showed that 22% of the studied buildings are in the very low vulnerability class, 38% have moderate vulnerability, 34% have high vulnerability, and 6% are in the very high vulnerability class.

Conclusion: The most important factors affecting the vulnerability of the studied spaces include the distance from the fault, hazardous facilities, structural system, age of structures, and plan shape.

KEYWORDS: Seismic Vulnerability, Earthquake, Crisis Management, Khorramabad City.



ارزیابی آسیب‌پذیری لرزه‌ای ساختمان‌های مهم و حیاتی در فضاهای شهری (مطالعه موردی: شهر خرم‌آباد)

مریم بیرانوندزاده^۱، مصطفی فلاحی خوشحی^۲، سیامک شرفی^۳، امیر حسینیان‌راد^{۴*}

۱. دکتری جغرافیا و برنامه ریزی شهری، و پژوهشگر جهاد دانشگاهی لرستان، خرم‌آباد، ایران.

۲. دکتری اقلیم‌شناسی، پژوهشگر جهاد دانشگاهی لرستان، خرم‌آباد، ایران.

۳. دانشیار، گروه جغرافیا، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران.

۴. استادیار، گروه جغرافیا، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران.

* نویسنده مسئول، Email: hoseinianrad.a@lu.ac.ir

تاریخ دریافت: ۲۷ بهمن ۱۴۰۲

تاریخ پذیرش: ۰۴ مرداد ۱۴۰۳

چکیده

مقدمه: زمین لرزه‌ها که منادی قوی ویرانی هستند، سایه‌ای طولانی بر فضاهای شهری می‌افکند. فراتر از تهدید فوری فروریختن ساختمان و تلفات انسانی، تأثیر آنها اغلب در بافت پیچیده زندگی شهری موج می‌زند، زیرساخت‌های حیاتی را مختل می‌کند و مانع از بازیابی پس از فاجعه می‌شود. در این سناریوی خطرناک، اطمینان از انعطاف‌پذیری ساختمان‌های مهم و حیاتی در درجه اول اهمیت قرار می‌گیرد. یکی از گام‌های اساسی در کاهش خطر زلزله، تعیین میزان آسیب‌پذیری ساختمان‌های موجود و شناخت نقاط ضعف آنها در برابر زلزله می‌باشد.

هدف: پژوهش حاضر با هدف ارزیابی آسیب‌پذیری لرزه‌ای و ارائه مدل مدیریت بحران جهت ساختمان‌های مهم، حساس و حیاتی شهر خرم‌آباد با روش اکتشافی تدوین شده است.

روش‌شناسی: ابزار مورد استفاده شامل تهیه چک لیست محقق‌ساخته و استفاده از نقشه‌های زمین‌شناسی ۱:۲۵۰۰۰، مدل رقومی ارتفاع با قدرت تفکیک ۱۰ متر و نقشه کاربری اراضی شهری با مقیاس ۱:۲۰۰۰ می‌باشند. ابتدا معیارهای اثرگذار بر آسیب‌پذیری ساختمان‌های مورد مطالعه از منابع و نقشه‌های ذکر شده استخراج شد. سپس با حضور در فضاهای مورد مطالعه، چک لیست طراحی شده، تکمیل و در ادامه داده‌ها در محیط نرم افزار Arc GIS با استفاده از منطق فازی مورد تحلیل قرار گرفتند و میزان آسیب‌پذیری فضاهای مورد مطالعه بر اساس شاخص‌های استخراج شده مشخص گردید.

قلمرو جغرافیایی: قلمرو جغرافیایی تحقیق شامل ۵۰ ساختمان مهم و حیاتی شهر خرم‌آباد در مرکز استان لرستان مانند بیمارستان‌ها، مراکز آتش‌نشانی، پناهگاه‌ها، مراکز توزیع سوخت، انبارهای مواد غذایی، مراکز فعالیت‌های سیاسی، اداری، مذهبی، مراکز تاسیسات شهری می‌باشد.

یافته‌ها و بحث: نتایج نشان داد که ۲۲ درصد ساختمان‌های مورد مطالعه، در طبقه با آسیب‌پذیری خیلی کم، ۳۸ درصد ساختمان‌ها آسیب‌پذیری متوسط، ۳۴ درصد آسیب‌پذیری زیاد و ۶ درصد در طبقه با آسیب‌پذیری خیلی زیاد قرار دارند.

نتیجه‌گیری: مهمترین شاخص‌های اثرگذار بر میزان آسیب‌پذیری فضاهای مورد مطالعه شامل معیار فاصله از گسل، فاصله از تاسیسات خطرناک، سامانه سازه‌ای، عمر سازه‌ها و شکل سازه پلان می‌باشند.

کلیدواژه‌ها: آسیب‌پذیری لرزه‌ای، زلزله، مدیریت بحران، شهر خرم‌آباد.

مقدمه

مخاطرات بخش اجتناب‌ناپذیر زندگی به شمار می‌روند (اسمیت، ۱۳۹۰: ۱۱) و این پدیده اساساً اثراتی نسبی بر روی سیستم‌های انسانی و طبیعی اعمال می‌کند. به این مفهوم که درجه‌ی آسیب‌پذیری کشورها و واکنش انسان‌ها نسبت به مخاطرات محیطی از منطقه‌ای به منطقه‌ی دیگر تفاوت دارد (جوان و همکاران، ۱۴۰۴: ۴۴). اصولاً هدف از کاهش خطر می‌تواند تلاش بیشتر به منظور ایجاد روندی پایدار در کاهش یافتن یا حذف نمودن دوره‌های بلند مدت مخاطرات بر روی سیستم‌های انسانی و نیز رسیدن به توانایی بیشتر برای پیشگیری معقولانه مخاطرات باشد. اساساً مخاطرات به صورت تهدیدی چه به صورت مکرر و چه کمیاب در مقیاسی وسیع ناشی از تغییرات محیطی جهانی می‌باشد (کرمی، ۱۳۹۴: ۳۴). مخاطرات طبیعی، پیشامدهای ناگهانی یا تدریجی با خاستگاه طبیعی یا انسانی به شمار می‌روند که متاثر از آن، سلامت و امنیت گستره زیست و اسکان بشر با خطر مواجه می‌شود (برقی و همکاران، ۱۳۹۶: ۲۴۸؛ صادقی و جوان، ۱۴۰۴: ۱۵۴). شهرها سیستم‌های پیچیده و وابسته به هم هستند که به دلیل تمرکز جمعیت، ساختمان‌ها و زیرساخت‌ها در برابر مخاطرات طبیعی بسیار آسیب‌پذیر هستند (گودزچالک، ۲۰۰۳: ۳۶؛ مونتویا و ماسر، ۲۰۰۵: ۴۹۳). هنگام برنامه‌ریزی محیط‌های شهری معمولاً فقط پارامترهای اقتصادی و اجتماعی در نظر گرفته می‌شوند. در نتیجه شهرها در مکان‌های مستعد رخداد مخاطرات طبیعی احداث و خسارات زیادی در آنها در نتیجه این مخاطرات به وجود می‌آید (باترلس و همکاران، ۲۰۱۲: ۵۳۷؛ صادقی و جوان، ۱۴۰۳: ۸۶). افزایش جمعیت و رشد سریع شهرنشینی همراه با دخالت‌های نسنجیده انسانی در محیط‌های طبیعی از جمله ساخت و سازهای بی‌قاعده انسان در حریم گسل‌ها، بی‌توجهی به ضوابط و رعایت استانداردهای ساخت و ساز و عوامل دیگر سبب شده است تا تهدید بحران‌های ناشی از مخاطرات طبیعی به ویژه زلزله تشدید شود و بر اثر وقوع آن بحران یا فاجعه انسانی پیش‌آید (ناطق الهی، ۱۳۷۹). کاهش آسیب‌پذیری جوامع شهری در برابر زلزله زمانی به وقوع خواهد پیوست که ایمنی در برابر زلزله در تمامی سطوح برنامه‌ریزی مد نظر قرار گیرد که در میان تمامی سطوح میانی برنامه‌ریزی کالبدی یعنی شهرسازی یکی از کارآمدترین سطوح برنامه‌ریزی برای کاهش آسیب‌پذیری در برابر زلزله می‌باشد (حبیبی و همکاران، ۱۳۸۷: ۲۹). ایران در ردیف ۱۰ کشور بلاخیز دنیا قرار دارد و زلزله مسبب بیشترین تلفات انسانی آن می‌باشد (آوازه و جعفری، ۱۳۸۵: ۲)، زیرا به طور متوسط هر ۴/۲ سال یک زلزله با بزرگی ۵/۶ ریشتر یا بزرگتر رخ می‌دهد. براساس گزارش دفتر برنامه‌ریزی سازمان ملل متحد در سال ۲۰۰۲ میلادی، ایران در میان کشورهای جهان رتبه نخست را از نظر تعداد زلزله‌های با شده ۵/۵ ریشتر در سال به خود اختصاص داده است (شریف زادگان و فتحی، ۱۳۸۷: ۱۰۹). در ایران بیشتر ساختمان‌های کوتاه از نوع ساختمان‌های بنای غیرمسلح هستند. نتایج مطالعات نشان می‌دهد که ساختمان‌های بنا شده به دلیل ضعف مصالح، شکل‌پذیری کم و عدم وجود انسجام و یکپارچگی کافی بین عناصر تشکیل دهنده آن، در برابر زمین لرزه‌ها آسیب‌پذیر هستند و بیشتر تلفات جانی و مالی در هنگام وقوع زلزله‌ها، از گسیختگی و انهدام این ساختمان‌ها ناشی می‌شود (خلیل‌زاده وحیدی، ۱۳۸۶). یکی از موثرترین روش‌ها برای کاستن صدمات و تلفات ناشی از زمین لرزه‌ها به ویژه در محیط‌های شهری، ساختن ساختمان‌هایی است که در برابر زلزله مقاومت کافی داشته باشند. هم‌چنین مکان‌یابی مناسب سکونتگاه‌ها و توسعه منطقی و اصولی شهرها، نقش اساسی در کاهش آسیب‌پذیری و خسارات ناشی از زلزله ایفا می‌کند (ناطق، ۲۰۰۰: ۲۰۵). اما با توجه به اینکه بخش عمده‌ای از محیط‌های شهری و ساختمان‌های مهم در شهرها، در چند دهه گذشته و یا حتی در زمان حاضر بدون توجه به مخاطرات محیطی از جمله زلزله ساخته شده‌اند و جابجایی و تغییر مکان آنها یا امکان‌پذیر نیست و یا نیاز به صرف هزینه‌های هنگفت دارد، بنابراین می‌توان به بررسی و ارزیابی آسیب‌پذیری آنها پرداخت. اما با این وجود به دلیل پیچیدگی و فراوانی پارامترهای موثر در مورد ارزیابی آسیب‌پذیری لرزه‌ای ساختمان‌ها، دانش کافی و یا به عبارتی مدل‌ها و روش‌های ارزیابی جامع وجود ندارد (بهادری و همکاران، ۲۰۱۷: ۱۱۸). ارزیابی ریسک لرزه‌ای ساختمان‌ها شامل تجزیه و تحلیل سطح خطر زلزله منطقه، آسیب‌پذیری ساختمان و در معرض قرار گرفتن آن است (ویسنه و همکاران، ۲۰۱۴: ۳۰۷) که در بیشتر مطالعات این موارد به صورت جامع مورد بررسی قرار نمی‌گیرند.

تحلیل وضعیت لرزه خیزی شهر خرم‌آباد در مرکز استان لرستان به عنوان منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد که در نقشه لرزه‌خیزی ایران، این شهر در پهنه با خطر بالا قرار گرفته است. هم‌چنین نتایج تحقیق زهرا و همکاران (۱۳۹۰) بیانگر این است که گسل زاگرس مرتفع می‌تواند بیشترین تاثیر را بر روی شهر خرم‌آباد داشته باشد. از ۹ زلزله ای که در ۴۵ سال اخیر در شعاع ۱۰ و ۲۰ کیلومتری شهر خرم‌آباد رخ داده است، ۸ زلزله آن در روی خط گسل جنوب خرم‌آباد (گسل پنهان) و یا بسیار نزدیک به آن اتفاق افتاده و تنها یک مورد در فاصله زیاد از این گسل اتفاق افتاده است. از طرفی وجود بافت‌های فرسوده وسیع و ساختمان‌های مهم شهری بنا شده در داخل و یا خارج از این بافت‌ها مربوط به چندین دهه گذشته که اصول پایداری لرزه‌ای در آنها لحاظ نشده است، می‌طلبد که این ساختمانها از نظر آسیب‌پذیری لرزه‌ای بررسی شوند. بنابراین در این پژوهش، ضرورت مطالعه و بررسی این موضوع یعنی بررسی و ارزیابی آسیب‌پذیری لرزه‌ای ساختمان‌های حساس و حیاتی موجود در شهر خرم‌آباد، به منظور کاهش خطرات ناشی از زلزله و افزایش ایمنی عمومی صورت گرفته است. زیرا وقوع زمین لرزه، ایمنی سکونت‌گاه‌ها، تاسیسات حیاتی، مراکز امداد رسانی و... را به مخاطره می‌اندازد. پس راهبرد کاهش آسیب‌پذیری فضاهای اقتصادی، اجتماعی، فرهنگی و سیاسی در برابر زلزله ضرورتی اجتناب‌ناپذیر است و بی‌توجهی به آن بحران‌ها و فجایع انسانی را به دنبال دارد. بنابراین در تحقیق حاضر هدف آن است تا آسیب‌پذیری لرزه‌ای ساختمان‌های مهم در شهر خرم‌آباد بررسی شده و راهکارهایی در راستای بالا بردن کیفیت و مقاوم‌سازی آنها در صورت وقوع زمین لرزه ارائه گردد. هم‌چنین به سوال " چگونه می‌توان میزان آسیب‌پذیری ساختمان‌های مهم و حیاتی شهر خرم‌آباد را بر اساس شاخص‌های مستخرج شده، مورد ارزیابی قرار داد" پاسخ داده شود.

این مقاله به وظیفه حیاتی ارزیابی آسیب‌پذیری لرزه‌ای چنین ساختمان‌های حیاتی در فضاهای شهری می‌پردازد. ما فراتر از شناسایی ساختارهای حساس حرکت می‌کنیم تا چارچوبی جامع برای ارزیابی آسیب‌پذیری آنها ایجاد کنیم. این چارچوب شامل تعریف معیارهای روشن برای "اهمیت" و "سرزندگی"، جمع‌آوری و تجزیه و تحلیل دقیق داده‌ها، و انتخاب عاقلانه روش‌های ارزیابی آسیب‌پذیری است. با اولویت‌بندی ساختمان‌های آسیب‌پذیر بر اساس ریسک لرزه‌ای و بحرانی بودن آنها، هدف ما ارائه بینش‌های عملی برای استراتژی‌های کاهش هدمند و مقاوم‌سازی است. هدف نهایی ما کمک به آینده ای است که در آن فضاهای شهری خرم‌آباد بتوانند با انعطاف پذیری بیشتر در برابر حوادث لرزه‌ای مقاومت کنند.

ارزیابی آسیب‌پذیری لرزه‌ای ساختمان‌های حیاتی در فضاهای شهری مستلزم بکارگیری یک چارچوب نظری چندوجهی است که بر مفاهیمی از رشته‌های مختلف تکیه می‌کند. در اینجا، نظریه‌های کلیدی شکل دهنده این تحلیل را به صورت مختصر مرور می‌کنیم:

نخستین دیدگاه به آسیب‌پذیری لرزه‌ای و عملکرد^۱ مربوط می‌شود که شامل مهندسی زلزله^۲ و طراحی لرزه‌ای مبتنی بر عملکرد^۳ می‌شود. مهندسی زلزله به اصول تحلیل و دینامیک سازه به درک چگونگی واکنش ساختمان‌ها به نیروهای لرزه‌ای، شناسایی نقاط ضعف بالقوه و پیش‌بینی سطوح آسیب کمک می‌کند. (چوپرا، ۲۰۰۰) و چارچوب طراحی لرزه‌ای مبتنی بر عملکرد با تعریف سطوح عملکرد مطلوب ساختمان برای سناریوهای زلزله خاص، و تطبیق ارزیابی آسیب‌پذیری بر اساس بحرانی سازه‌ها، فراتر از کدهای تجویزی حرکت می‌کند. (-FEMA P-441، ۲۰۱۶). دومین نظریه کلیدی به سیستم‌های شهری و ملاحظات فضایی^۴ شامل جغرافیای شهری و تحلیل فضایی^۵ و تئوری سیستم‌های پیچیده^۶ مربوط می‌شود. جغرافیای شهری و تحلیل فضایی، با اذعان به پیوستگی ساختمان‌ها و زیرساخت‌ها در بافت شهری، به ما اجازه می‌دهد تا شکست‌های آبشاری و الگوهای فضایی آسیب‌پذیری در سراسر شهر

¹ Seismic Vulnerability and Performance

² Earthquake Engineering

³ Performance-Based Seismic Design (PBSD)

⁴ Urban Systems and Spatial Considerations

⁵ Urban Geography and Spatial Analysis

⁶Complex Systems Theory

را در نظر بگیریم. (جا و همکاران، ۲۰۱۳) تئوری سیستم‌های پیچیده شامل تعاملات پیچیده بین ساختمان‌ها، زیرساخت‌ها و شبکه‌های اجتماعی نیازمند تجزیه و تحلیل آسیب‌پذیری فراتر از ساختارهای فردی است، و درک اینکه چگونه اختلالات در یک منطقه می‌تواند بر مناطق دیگر تأثیر می‌گذارد. (لوی، ۲۰۱۱) سومین دیدگاه و نظریه مربوط به تصمیم‌گیری و اولویت‌بندی می‌شود که شامل تصمیم‌گیری چند معیاره^۲ و تجزیه و تحلیل هزینه-فایده اجتماعی می‌باشد. چارچوب تصمیم‌گیری چند معیاره به اولویت‌بندی مداخلات در هنگام برخورد با عوامل آسیب‌پذیری متعدد و اهداف رقیب کمک می‌کند، نه تنها جنبه‌های فنی بلکه ارزش‌های اجتماعی و امکان‌سنجی اقتصادی را نیز در نظر می‌گیرد. (کالاماراس و همکاران، ۲۰۱۸) و دیدگاه تجزیه و تحلیل هزینه-فایده اجتماعی^۳ با کسب درآمد از خسارات احتمالی زلزله و مقایسه آنها با هزینه‌های کاهش، به اولویت‌بندی سرمایه‌گذاری‌ها بر اساس تأثیر کلی اجتماعی-اقتصادی آنها کمک می‌کند. (رز، ۲۰۰۴). چهارمین دیدگاه تاب‌آوری و پایداری^۴ است. این دیدگاه شامل کاهش خطر بلایا^۵ و توسعه پایداری^۶ می‌باشد. چارچوب کاهش خطر بلایا یک رویکرد فعال را اتخاذ می‌کند و بر اهمیت ارزیابی آسیب‌پذیری و استراتژی‌های کاهش برای ایجاد انعطاف‌پذیری و به حداقل رساندن اختلالات پس از زلزله تأکید می‌کند. (استراتژی بین‌المللی کاهش سوانح سازمان ملل متحد، ۲۰۰۴) و دیدگاه توسعه پایدار با تشخیص پیوند بین یکپارچگی محیطی و آمادگی در برابر بلایا، تشویق می‌کند تا ملاحظات پایداری بلندمدت را در ارزیابی آسیب‌پذیری و استراتژی‌های کاهش ایجاد کند. (کمیسون جهانی محیط زیست و توسعه، ۱۹۸۷).

پیشینه تحقیقات جانی و مالی ناشی از رخداد زلزله‌ها در محیط‌های شهری که هر ساله چند شهر در جهان را متاثر می‌سازد، باعث شده در بین مخاطرات طبیعی زلزله بیشتر مورد تحقیق و پژوهش قرار گیرد که در زیر چند مورد از تحقیقات انجام شده در داخل و خارج از کشور در زمینه تحقیق حاضر مورد بررسی قرار گرفته‌اند.

درخشان (۱۳۸۷) در پژوهشی با هدف ایجاد و توسعه یک روش کلی برای ایجاد سناریوهای آسیب‌پذیری ابنیه در برابر زلزله که مشخصه‌های سیمای شهری شهرهای ایران را داشته باشد، به ارزیابی آسیب‌پذیری ساختمان‌های مسکونی شهر زنجان در برابر زلزله پرداخته است. عزیز و همکاران (۱۳۹۱) آسیب‌پذیری لرزه‌ای معابر شهری محله کارمندان شهر کرج را مطالعه نموده‌اند. براساس نتایج تحلیل سلسله‌مراتبی، از میان ۱۰ معیار آسیب‌پذیری معیارهای جمعیت مرتبط با معبر، موقعیت و ویژگی‌های زیرساخت‌های شهری و شیب معبر بیشترین و معیارهای دسترسی و کیفیت کف معبر از کمترین اهمیت در تعیین سطح آسیب‌پذیری معبر برخوردارند. کامل باسمنج و همکاران (۱۳۹۱) بررسی ارزیابی آسیب‌پذیری لرزه‌ای در منطقه یک شهر تبریز را با استفاده از مدل ارزیابی چند متغیره فضایی^۷ مورد بررسی قرار داده و نتیجه گرفتند که بخش‌های شمالی و شرقی منطقه یک به عنوان محدوده‌های بحرانی از نظر میزان آسیب‌پذیر بودن در برابر زلزله احتمالی شناخته شده‌اند. نزدیکی به گسل، افزایش شیب زمین، فرسودگی بافت ساختمان‌ها و عدم دسترسی مناسب به شبکه معابر شهری به ترتیب از عوامل مهم افزایش آسیب‌های ناشی از زلزله در این منطقه است. قائد رحمتی و همکاران (۱۳۹۲) به تحلیل میزان ریسک‌پذیری سکونت‌گاه‌های شهری استان لرستان از دیدگاه خطر زلزله پرداخته و نتیجه گرفتند که مناطق مسکونی در حریم گسل‌ها قرار گرفته و در معرض خطر و آسیب‌پذیری بالا قرار دارند. حسینی و همکاران (۱۳۹۳) آسیب‌پذیری لرزه‌ای و شبیه‌سازی آن در مدیریت بحران در ناحیه ۱۳ شهر کرمان را با استفاده از تحلیل‌های مکانی و کارمانیا خطر بررسی نموده‌اند. بررسی گزارش‌ها و نقشه‌های آسیب‌پذیری سناریوی زلزله ۶/۳ ریشتری گسل کوهبنان در نرم افزار کارمانیا

¹ Decision-Making and Prioritization

² Multi-Criteria Decision Making (MCDM)

³ Social Cost-Benefit Analysis (SCBA)

⁴ Resilience and Sustainability

⁵ Disaster Risk Reduction (DRR)

⁶ Sustainable Development

⁷ UNISDR

⁸ World Commission on Environment and Development

⁹ SMCE

خطر، به غیر از ۷ بیمارستان، بقیه مراکز واکنش اضطراری غیر قابل استفاده خواهند شد و همچنین، با توجه به جمعیت بیش از ۲۸ هزار نفر ساکن در ناحیه، فضای باز کافی برای اسکان اضطراری و موقت و برپایی مراکز امدادی وجود ندارد. احدنژاد روشتی و همکاران (۱۳۹۴) ارزیابی آسیب‌پذیری شبکه معابر شهری در برابر زلزله با رویکرد مدیریت بحران منطقه یک شهر تبریز را بررسی نموده و نتیجه گرفتند که آسیب‌پذیری شبکه معابر محدوده‌ی مورد مطالعه (جز در محلات نوساز)، بیشتر از حد متوسط، و عمدتاً زیاد و خیلی زیاد است. آسیب‌پذیری شبکه معابر در محلات اسکان غیررسمی بیشتر به چشم می‌خورد که در برنامه‌ریزی‌ها باید در اولویت قرار بگیرند. عباسی و همکاران (۱۳۹۶) با بررسی مخاطرات ژئومورفیک تهدید کننده سکونت‌گاه‌های شهری استان لرستان، به این نتیجه رسیدند که شهرهای غرب استان لرستان در معرض خطر سیلاب و شهرهای شرق استان در معرض زلزله قرار دارند.

باربات و همکاران (۲۰۰۴) آسیب‌پذیری لرزه‌ای و روش‌های ارزیابی ریسک برای مناطق شهری (مروری بر کاربردها در شهر بارسلونا اسپانیا) را با یک رویکرد جامع نگر مورد بررسی قرار داده و نتیجه گرفتند که بیشتر ساختمان‌های این شهر آسیب‌پذیری بالایی در برابر زلزله دارند. ال حمومی و همکاران (۲۰۰۹) ارزیابی آسیب‌پذیری لرزه‌ای ساختمان‌های شهری در مراکش را مطالعه نموده‌اند. آنها با استفاده از انواع مختلف مسکن و ساختار آنها و اطلاعات آسیب زلزله‌های گذشته، ساختمانها را به ۴ کلاس از A تا D تقسیم کردند. سپس روش نیمه تجربی را برای محاسبه شاخص آسیب‌پذیری ساختمان استفاده نموده و نتیجه گرفتند که عواقب برای کلاس A فاجعه‌آمیز و تاثیر بسیار کمی بر ساختمان‌های کلاس D خواهد داشت.

رفعت سعادت و همکاران (۲۰۱۰) ارزیابی آسیب‌پذیری لرزه‌ای شهر داکا را با روش نمایش سریع بصری (R.V.S) و روش ترکیه مورد مطالعه قرار دادند. نتایج نشان داد که اکثر ساختمان‌های مناطق هدف بدون توسعه سیستم مناسب پیشگیری از حوادث در برابر زمین لرزه‌های احتمالی ساخته شده‌اند. هم‌چنین برای تجزیه و تحلیل بیشتر ساختمان‌ها، از روش ترکی و نرم افزار ETABS استفاده شود. دولس و همکاران (۲۰۱۲) یک روش چند منظوره برای ارزیابی آسیب‌پذیری لرزه‌ای مناطق شهری را در منطق شهری ایتالیا در ۳ سطح مورد تجزیه و تحلیل قرار داده‌اند. ردل و همکاران (۲۰۱۵) ارزیابی آسیب‌پذیری لرزه‌ای در محیط‌های شهری با خطر متوسط تا کم در فرانسه را با روش‌های یادگیری ماشین و قوانین وابستگی مطالعه نموده‌اند. نتایج نشان داد که به دلیل تغییر شکل آسیب‌پذیری در شهرها، در صورت وقوع زمین لرزه‌های تاریخی می‌توان انتظار داشت که تعداد ساختمان‌های آسیب‌دیده دو یا سه برابر شود. مایو و همکاران (۲۰۱۶) ارزیابی آسیب‌پذیری لرزه‌ای مراکز تاریخی شهری: مطالعه موردی مرکز قدیمی شهر فارو، پرتغال را روش مبتنی بر آسیب‌پذیری را بررسی نموده و نتیجه گرفتند که کاربرد این روش وزن دهی در مقیاس بزرگ، مفادیر متوسط تا زیاد را برای آسیب‌پذیری این منطقه خاص که همراه با لرزه‌خیزی بالای آن است، تأیید کرده است. رودناس و همکاران (۲۰۱۸) برآورد آسیب‌پذیری لرزه‌ای ساختمانها: پیشنهاد روش شناسی برای برنامه ریزی سناریوهای ضد زلزله در مناطق شهری لورکا (جنوب شرقی اسپانیا) را بعد از زلزله ۱۱ مه سال ۲۰۱۱ مورد مطالعه قرار داده‌اند. نتایج نشان داد که این روش، زمانی که با تکنیک‌های اطلاعات جغرافیایی همراه است، اطلاعات ارزشمندی را برای برنامه ریزی و مدیریت شرایط اضطراری پس از زلزله فراهم می‌کند.

روش شناسی

نوع تحقیق کاربردی و روش آن اکتشافی می‌باشد. از ابزارهای مختلفی مانند نقشه‌های کاربری شهری با مقیاس ۱:۲۰۰۰، زمین‌شناسی ۱:۲۵۰۰۰، مدل رقومی ارتفاع با قدرت تفکیک ۱۰ متر و نرم افزارهای Arc GIS و SPSS در مراحل مختلف تحقیق جهت رسیدن به نتایج مورد نظر استفاده شده است. در ابتدا با نظر متخصصین و کارشناسان ۵۰ ساختمان مهم و حیاتی شهر خرم‌آباد در مرکز استان لرستان مانند بیمارستان‌ها، مراکز آتش‌نشانی، پناهگاه‌ها، مراکز توزیع سوخت، انبارهای مواد غذایی، مراکز فعالیت‌های سیاسی، اداری، مذهبی، مراکز تاسیسات شهری و... انتخاب شد (شکل ۱). سپس یک چک لیست با همکاری کارشناسان صاحب نظر طراحی و برای هر ساختمان معیارهای مورد نظر

که در جدول ۱ آمده است، تکمیل گردید. در مرحله بعد، میزان آسیب‌پذیری ساختمان‌های مورد مطالعه با استفاده از منطق فازی ارزیابی شد. به منظور وزن دهی، نخست مسئله تصمیم‌گیری به سلسله مراتبی که شامل مهم‌ترین عناصر تصمیم‌گیری است، تجزیه گردید. برای فازی‌سازی لایه‌ها بر اساس منطق فازی، از نرم‌افزار Arc GIS استفاده شده است. در این روش ابتدا بر اساس نظر کارشناسان و مبانی تئوری مطالعه شده، توابع عضویت فازی تعیین شده است. سپس مقادیر لایه‌ها در بازه صفر تا یک (بر اساس میزان مطلوبیت) قرار گرفته و میزان آسیب‌پذیری ساختمان‌های مورد مطالعه طبقه‌بندی گردید. در ادامه، تحلیل عوامل درونی و بیرونی اثر گذار بر میزان و کاهش آسیب‌پذیری ساختمان‌های مورد مطالعه در قالب مدل تحلیلی SWOT مورد بررسی و نتایج نهایی ارائه شد.

جدول ۱. چک لیست ارزیابی آسیب‌پذیری لرزه‌ای ساختمان‌های مورد مطالعه در شهر خرم‌آباد

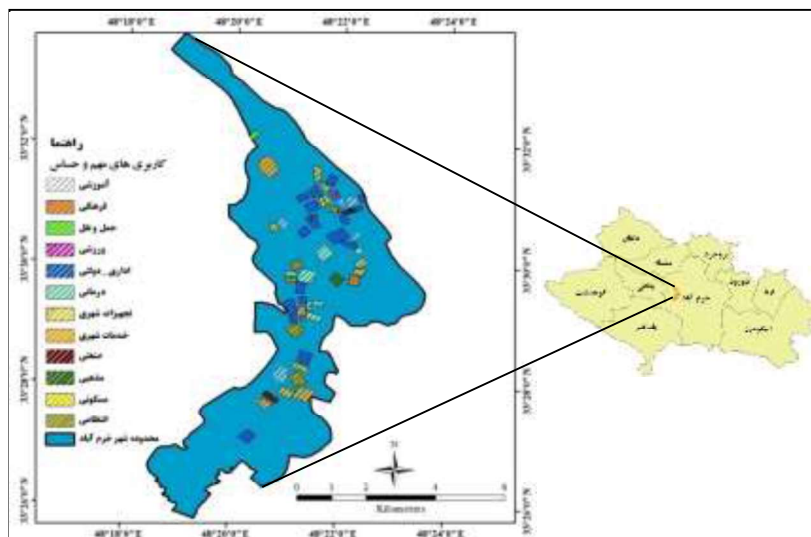
ردیف	عنوان	الزامات (امتیاز دهی بر اساس میزان انطباق با الزامات زیر خواهد بود)
۱	نوع کاربری	مسکونی- تجاری- اداری- صنعتی- تاسیسات و تجهیزات شهری
۲	نوع مصالح	- بادوام که شامل اسکلت فلزی، بتنی، سنگ و آهن، و آجر و آهن است. - نیمه بادوام که شامل آجر و چوب، سنگ و چوب، بلوک سیمانی، تمام آجر و سنگ و آجر است. - کم دوام که شامل تمام چوب، خشت و چوب، و خشت و گل است. - بی دوام که شامل چادر، حصیر و مشابه آن است.
۳	سامانه سازه‌ای	سازه با سامانه دیوارهای باربر، سازه با سامانه قاب ساختمانی ساده، سازه با سامانه قاب خمشی، سازه با سامانه دوگانه یا ترکیبی و سایر سامانه‌های سازه‌ای.
۴	عمر سازه	- پیش از ۵۰ سال: آسیب‌پذیری بسیار زیاد - تا ۵۰ سال: آسیب‌پذیری زیاد - تا ۲۰ سال: آسیب‌پذیری متوسط - کمتر از ۷ سال: آسیب‌پذیری کم
۵	تعداد طبقات	معادل با ارتفاع ساختمان می‌باشد. اگر افزایش ارتفاع ساختمانها با اصول ایمنی همراه نباشد، آسیب‌پذیری را بالا خواهد برد، حتی اگر افزایش ارتفاع با رعایت ضوابط و محاسبات مناسب صورت گیرد. چون در این صورت عملیات تخلیه، جستجو و کمک‌رسانی را با سختی مواجه می‌کند.
۶	شبکه‌های ارتباطی	- معابر با عرض بیشتر از ۱۴ متر: آسیب‌پذیری کم - معابر با عرض کمتر از ۹ تا ۱۴ متر: آسیب‌پذیری متوسط - معابر با عرض کمتر از ۳ تا ۹ متر: آسیب‌پذیری زیاد - معابر با عرض کمتر از ۶ متر و بن‌بست: آسیب‌پذیری بسیار زیاد
۷	بررسی میزان سازگاری زمین با کاربری واقع در آن	- سایت بسیار کم خطر (احتمال خیلی کم نشست خاک) - سایت کم خطر (احتمال کم نشست خاک) - سایت خطرناک (احتمال متوسط نشست خاک و داشتن پتانسیل متوسط روانگرایی و ۳۰۰ متری از گسل‌ها) - سایت پرخطر (احتمال بالای نشست خاک و آثار جابه‌جایی زمین ناشی از جنبش گسل‌ها تا فاصله کمتر از ۳۰۰ متر از خط گسل اصلی و داشتن پتانسیل زمین لغزش و پتانسیل)
۸	آسیب‌پذیری ناشی از تراکم جمعیت	- تراکم‌های مساوی یا کمتر از ۴۰۰ نفر در هکتار: آسیب‌پذیری کم - ۴۰۰ تا ۵۰۰ نفر در هکتار: متوسط - ۵۰۰ تا ۶۰۰ نفر در هکتار: آسیب‌پذیری قابل توجه - بیشتر از ۶۰۰ نفر در هکتار: آسیب‌پذیری زیاد
۹	سازگاری بین کاربری‌ها	سازگاری و ناسازگاری بین کاربری‌های شهری به دلیل اثرات مثبت و منفی است که کاربری‌های همسایه بر رویهم دارند.
۱۰	شکل سازه پلان	- متقارن - نامتقارن
۱۱	تراکم ساختمانی	درصدی از مساحت زمین است که به صورت عمودی برای ساختمان سازی استفاده می‌شود و با بیشتر شدن آن، احتمال تخریب و آسیب‌پذیری بیشتر می‌شود. برای مثال رایج است که ۶۰ درصد سطح زمین را به بنا اختصاص دهند، از این رو تراکم ۱۲۰ درصد، یعنی از یک ساختمان دو طبقه ۶۰ درصد زمین زیر بنای هر طبقه خواهد بود. شایان ذکر است که در بحث تراکم ساختمانی، باید به عرض معبر در چگونگی روند اعطای تراکم‌ها توجه کرد که از دسته مقوله‌های مهم در امر ساختمان سازی است.
۱۲	مساحت قطعات	آسیب‌پذیری در قطعات کوچک‌تر به علت خرد شدن فضای باز و کاسته شدن فضای مفید و امن برای کمک‌رسانی

نسبت به قطعات بزرگ بیشتر است. بنابراین هر چه مساحت قطعات پایین تر باشد، به تبع آن آسیب پذیری نیز بیشتر خواهد بود.	
به معنای نسبت ارتفاع ساختمان به عرض معبر آن است که با افزایش مقدار آن آسیب پذیری ساختمانها افزایش می یابد. با افزایش درجه محصوریت احتمال بسته شدن معابر افزایش می یابد که باعث می شود با ریختن آوار ساختمانها در خیابان ها و بسته شدن آن ها، در کمک رسانی های مختلف مانند خاموش کردن آتش ساختمان مشکل پیش آید	۱۳ درجه محصوریت
در خاک نرم، به ویژه در جایی که بافت مواد ریز و از آب اشباع شده اند، تکان ها و شتاب بعدی، امواج ارتعاشی را خیلی بیشتر می کنند. ثابت شده است که در بیشتر موارد، خسارت ایجاد شده در خاک های نرم ۵ تا ۱۰ برابر بیشتر از مناطق سنگی سخت مجاور است.	سازندهای سطحی
هر چه فاصله ساختمان ها از گسل موجود کمتر باشد، آسیب پذیری بیشتر خواهد بود و برعکس، کارشناسان حداقل فاصله از گسل را ۳۰۰ متر در نظر گرفته اند (کامل باسمنج و همکاران، ۱۳۹۱).	۱۴ فاصله از گسل
استقرار کاربری های با پتانسیل بالای آسیب رسانی در کنار سایر کاربری ها، میزان آسیب پذیری را افزایش می دهد.	۱۵ فاصله از تأسیسات خطر زا
بر اساس آیین نامه ۲۸۰۰ و نقشه پهنه بندی خطر زلزله استان	۱۶ شتاب افقی (g)

منبع: نویسندگان، ۱۴۰۲

قلمرو جغرافیایی پژوهش

خرم‌آباد، مرکز استان لرستان، در ناحیه غربی ایران و میان رشته‌کوه‌های زاگرس واقع شده است. این شهر در دره‌ای سرسبز و بر کرانه رودخانه کشکان قرار دارد و از نظر طبیعی یکی از زیباترین شهرهای کشور محسوب می‌شود. با ارتفاعی حدود ۱,۱۴۷ متر از سطح دریا، دارای اقلیم معتدل کوهستانی با زمستان‌های سرد و تابستان‌های نسبتاً گرم است. خرم‌آباد علاوه بر طبیعت چشم‌نواز خود، آثار تاریخی ارزشمندی چون قلعه فلک‌الافلاک، پل شکسته و سنگ‌نوشته‌های کهن را در دل دارد و از نظر فرهنگی و قومی غنی است؛ مردم آن عمدتاً از قوم لر با زبان لری هستند. از لحاظ شهری، خرم‌آباد یکی از مراکز مهم غرب ایران است که نقش اداری، آموزشی، تجاری و فرهنگی استان لرستان را بر عهده دارد. بافت شهری آن ترکیبی از مناطق تاریخی و نوساز است؛ مرکز شهر پیرامون قلعه فلک‌الافلاک شکل گرفته و توسعه شهری به‌ویژه در سال‌های اخیر به سمت جنوب و شرق گسترش یافته است. وجود پارک‌ها و فضاهای سبز مانند پارک شریعتی و کیو، دانشگاه لرستان و چند مرکز آموزش عالی، به همراه رشد زیرساخت‌های شهری در حوزه حمل‌ونقل و خدمات عمومی، خرم‌آباد را به شهری پویا و در حال توسعه تبدیل کرده است. هرچند در برخی نواحی با چالش‌های رشد نامتوازن و بافت‌های فرسوده روبه‌رو است.



شکل ۱. نقشه نوع کاربری‌های مهم و حساس مورد مطالعه در شهر خرم‌آباد

یافته‌ها و بحث

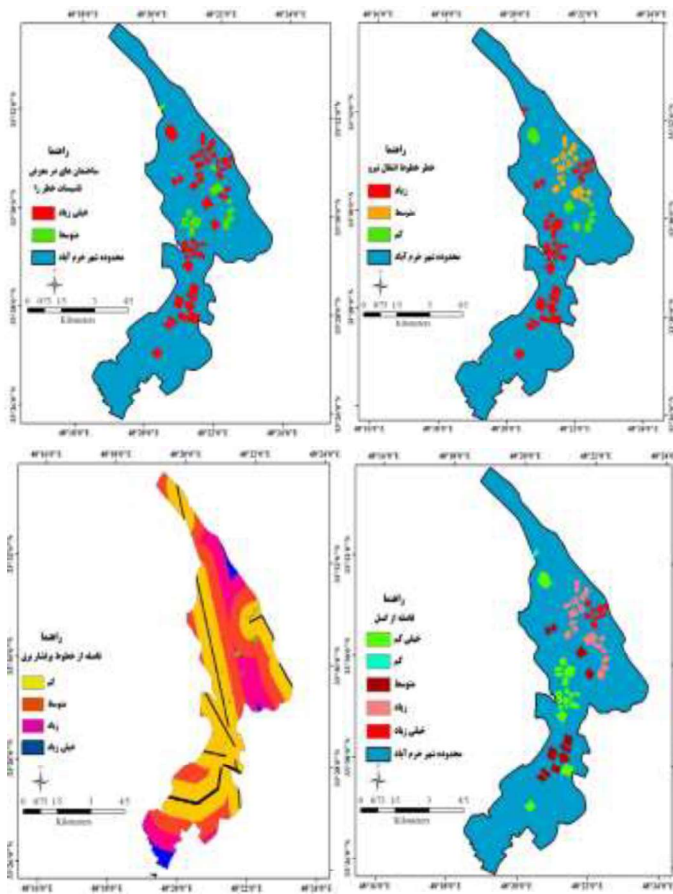
پس از مشخص شدن کاربری‌های مهم و حیاتی شهر خرم‌آباد که شامل کاربری اداری، درمانی، آموزشی، تجهیزات شهری، خدمات شهری، صنعتی، مذهبی، مسکونی، انتظامی، فرهنگی، حمل و نقل و ورزشی می‌باشند، با استفاده از نظر کارشناسان و متخصصان به مقایسه زوجی معیارها و نرمال سازی آنها با استفاده از مدل AHP فازی پرداخته شد که نتایج آن در جداول شماره ۲ و ۳ آمده است.

جدول ۲. ماتریس مقایسات زوجی اولیه

شاخص‌ها	حداکثر مدت تداوم زلزله	فاصله از تأسیسات خطر زا	فاصله از گسل	سامانه سازه‌ای	عمر سازه	سازندهای سطحی	شکل سازه پلان	درجه محصوریت	تعداد طبقات	نوع مصالح	آسیب پذیری ناشی از تراکم شبکه‌های ارتباطی	مساحت قطعات	نوع کاربری	تراکم ساختمانی	بررسی میزان سازگاری زمین با	همچواری بین کاربری‌ها
حداکثر مدت تداوم زلزله	۱	۱	۲	۲	۱	۱	۲	۴	۲	۱	۱	۲	۱	۱	۱	۲
فاصله از تأسیسات خطر زا	۱	۳	۲	۲	۳	۱	۴	۲	۱	۲	۲	۵	۱	۲	۵	
فاصله از گسل	۰.۳۳۳	۱	۴	۲	۲	۳	۲	۵	۱	۳	۳	۳	۱	۲	۳	
سامانه سازه‌ای	۰.۵	۰.۵	۰.۲۵	۳	۲	۱	۵	۲	۴	۵	۲	۲	۱	۲	۳	
عمر سازه	۰.۵	۰.۵	۰.۵	۰.۳۳۳	۴	۲	۲	۱	۵	۲	۱	۴	۲	۲	۳	
سازندهای سطحی	۱	۰.۳۳۳	۰.۵	۰.۵	۰.۲۵	۱	۴	۲	۱	۲	۴	۲	۲	۳	۲	
شکل سازه پلان	۱	۱	۰.۳۳۳	۱	۰.۵	۰.۲۵	۱	۴	۲	۲	۳	۲	۲	۲	۴	
درجه محصوریت	۰.۵	۰.۲۵	۰.۵	۰.۲	۰.۳۳۳	۰.۵	۰.۲۵	۱	۴	۱	۳	۲	۳	۴	۱	
تعداد طبقات	۰.۲۵	۰.۵	۰.۲	۰.۵	۱	۰.۵	۰.۲۵	۱	۱	۲	۲	۴	۱	۱	۴	
نوع مصالح	۰.۵	۱	۱	۰.۲۵	۰.۲	۱	۰.۵	۰.۵	۰.۵	۲	۳	۲	۲	۴	۲	
آسیب پذیری ناشی از تراکم جمعیت	۱	۰.۵	۰.۳۳۳	۰.۲	۰.۵	۰.۵	۰.۳۳۳	۰.۵	۰.۵	۱	۴	۳	۵	۴	۳	
شبکه‌های ارتباطی	۱	۰.۵	۰.۳۳۳	۰.۵	۱	۰.۲۵	۰.۳۳۳	۱	۰.۵	۰.۳۳۳	۰.۲۵	۴	۲	۳	۴	
مساحت قطعات	۱	۰.۵	۰.۲	۰.۵	۰.۵	۱	۰.۵	۰.۵	۰.۲۵	۰.۵	۰.۲۵	۴	۴	۵	۲	
نوع کاربری	۰.۵	۰.۲	۰.۳۳۳	۱	۰.۲۵	۰.۵	۰.۵	۰.۳۳۳	۱	۰.۵	۰.۳۳۳	۰.۲۵	۴	۲	۳	

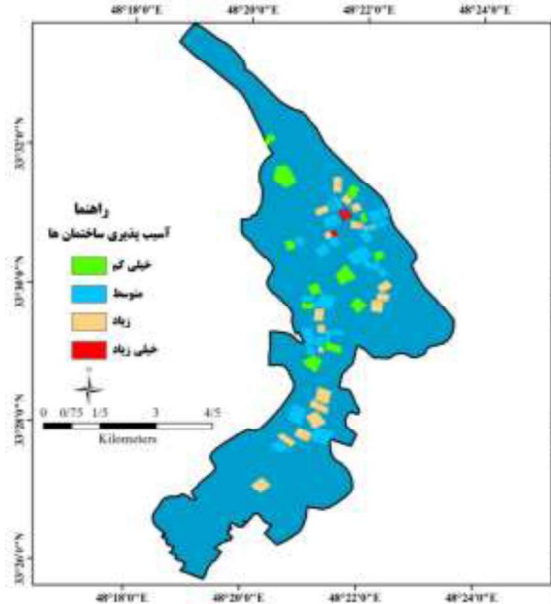
جدول ۴. وزن نهایی شاخص‌های مورد مطالعه

شاخص	وزن معیارها	رتبه
نوع کاربری	۰.۰۰۱۱۲	۱۷
فاصله از تأسیسات خطر زا	۰.۱۰۴۳۴	۲
فاصله از گسل	۰.۱۰۸۵۲	۱
سامانه سازه ای	۰.۰۸۹۴۶	۳
عمر سازه	۰.۰۸۳۹	۴
سازندهای سطحی	۰.۰۶۸۳۸	۶
شکل سازه پلان	۰.۰۷۱۷۹	۵
درجه محصوریت	۰.۰۵۴۷۴	۱۰
تعداد طبقات	۰.۰۵۱۷	۱۱
نوع مصالح	۰.۰۶۱۹۷	۷
آسیب پذیری ناشی از تراکم جمعیت	۰.۰۵۷۱۴	۸
شبکه های ارتباطی	۰.۰۴۹۲	۱۲
مساحت قطعات	۰.۰۴۷۷۵	۱۳
حداکثر مدت تداوم زلزله	۰.۰۳۵۵۶	۱۴
تراکم ساختمانی	۰.۰۵۶۳۲	۹
بررسی میزان سازگاری زمین با کاربری واقع در آن	۰.۰۲۷۷۱	۱۵
همجواری بین کاربری ها	۰.۰۲۰۸۶	۱۶



شکل ۲. نقشه میزان آسیب پذیری ساختمان‌های مورد مطالعه بر اساس فاصله از خطوط انتقال نیرو، تأسیسات خطر زا، فاصله از گسل، خطوط پرفشار برق

بررسی‌ها نشان داد که اکثر کاربری‌های مورد مطالعه در فاصله بیش از ۱۰۰۰ متری گسل‌های موجود در شهر خرم آباد قرار دارند و بر اساس طبقه بندی صورت گرفته به لحاظ آسیب پذیری در رده متوسط قرار دارند. به لحاظ فاصله از تأسیسات خطرناک، اکثر ساختمان‌های مورد مطالعه دارای آسیب پذیری خیلی زیادی می‌باشند. فاصله از خطوط انتقال نیرو نشان می‌دهد که اکثر واحدهای مورد مطالعه در رده ساختمان‌های با آسیب پذیری کم می‌باشند. همپوشانی لایه‌های مورد مطالعه نشان می‌دهد که ۲۲ درصد ساختمان‌های مورد مطالعه در رده آسیب پذیری خیلی کم، ۳۸ درصد ساختمان‌ها آسیب پذیری متوسط، ۳۴ درصد آسیب پذیری زیاد و ۶ درصد در رده آسیب پذیری خیلی زیاد قرار دارند (شکل ۳).



شکل ۳. میزان آسیب‌پذیری ساختمان‌ها بر اساس شاخص‌های مورد مطالعه

در ادامه برای تحلیل نقاط قوت، ضعف، فرصت‌ها و تهدیدهای اثرگذار بر میزان آسیب‌پذیری فضاهای مورد مطالعه، از روش‌های برنامه‌ریزی و مدیریت راهبردی استفاده شد که نتایج تحلیل‌ها با استفاده از این روش در جداول ۵ و ۶ آمده است.

جدول ۵. تحلیل عوامل درونی اثر گذار بر میزان و کاهش آسیب‌پذیری فضاهای مورد مطالعه

رتبه	نمره (امتیاز نهایی)	رتبه (امتیاز عامل)	اهمیت (وزن)	قوت
۴	۰.۱۲۲۱	۳	۰.۰۴۰۷	استفاده از مصالح مناسب و بادام و مقاوم در برابر حوادث طبیعی
۶	۰.۰۸۵۵	۲.۵۱	۰.۰۳۴۱	شبکه ارتباطی مناسب در فضاهای مورد مطالعه
۱	۰.۲۰۴۲	۳.۸۸	۰.۰۵۲۶	شکل متقارن سازه‌ها
۳	۰.۱۳۲۱	۳.۱۲	۰.۰۴۲۳	اعطای تسهیلات و وام‌های بلندمدت به ساختمانهای آسیب پذیر جهت تقویت آنها در برابر حوادث غیرمترقبه
۹	۰.۰۵۹۸	۲.۱	۰.۰۲۸۵	ارتفاع نسبتا یکسان و کم واحدهای مسکونی آسیب پذیر
۷	۰.۰۷۳	۲.۳۲	۰.۰۳۱۵	تدوین قوانین مدیریت بحران در کشور
۴	۰.۱۲۲۱	۳	۰.۰۴۰۷	تدوین برخی از طرح‌های مدیریت بحران از جمله پدافند غیرعامل، طرح امداد و نجات هلال احمر، طرح پایگاه اطلاعاتی جمعیت در اداره ثبت احوال، طرح جامع مدیریت بحران به وسیله شهرداری‌ها
۲	۰.۱۴۸۶	۳.۳۱	۰.۰۴۴۹	افزایش آموزش‌های عمومی به مردم و آموزش‌های تخصصی مدیران

۸	۰.۰۶۳۹	۲.۱۷	۰.۰۲۹۴	شکل‌گیری مبانی اولیه و ضرورت مدیریت بحران در دستگاه‌های اجرایی
۱۰	۰.۰۲۳۶	۱.۳۲	۰.۰۱۷۹	واگذاری بخشی از اقدامات مدیریت بحران به بخش خصوصی
۴	۰.۱۷۱۹	۳.۵۶	۰.۰۴۸۳	عمر بالای برخی واحدهای مسکونی مورد مطالعه
۱۱	۰.۰۸۵۵	۲.۵۱	۰.۰۳۴۱	تراکم بالای جمعیتی
۱۵	۰.۰۵۴۳	۲	۰.۰۲۷۱	تراکم بالای ساختمانی
۱۶	۰.۰۳۱۳	۱.۵۲	۰.۰۲۰۶	درجه بالای محصوریت
۱	۰.۲۵۴۴	۴.۳۳	۰.۰۵۸۷	نزدیکی برخی ساختمان‌های مورد مطالعه به گسل
۲	۰.۲۴۵	۴.۲۵	۰.۰۵۷۷	نزدیکی به تاسیسات خطر زای عمومی
۸	۰.۱۳۱۲	۳.۱۱	۰.۰۴۲۲	نزدیکی به خطوط انتقال نیرو برق
۹	۰.۰۹۴۶	۲.۶۴	۰.۰۳۵۸	مجهز نبودن واحدهای مسکونی به سیستم اطفاء حریق در هنگام زلزله
۵	۰.۱۶۳۴	۳.۴۷	۰.۰۴۷۱	آشفتگی سیما و منظر شهری ساختمانهای آسیب‌پذیری در داخل شهر
۷	۰.۱۳۲۱	۳.۱۲	۰.۰۴۲۳	نبود برنامه ریزی برای مراحل مختلف پیش‌گیری، آمادگی، مقابله و بازسازی
۱۳	۰.۰۷۲۴	۲.۳۱	۰.۰۳۱۳	تمرکز برنامه ریزی‌ها بر مقابله با بحران بدون توجه به مراحل قبل و بعد آن
۳	۰.۲۱۷۱	۴	۰.۰۵۴۳	ناکافی بودن برنامه‌های آموزشی چه آموزشهای تخصصی برای مدیران و چه آموزش‌های عمومی برای شهروندان
۱۰	۰.۰۹۲۴	۲.۶۱	۰.۰۳۵۴	عدم کاربردی بودن جلسه‌های بین‌سازمانی و مانورهای برگزار شده
۱۲	۰.۰۷۳	۲.۳۲	۰.۰۳۱۵	موازی کاری، ناهماهنگی، تداخل وظایف و گاه‌نامشخص بودن متولیان برخی امور مرتبط با مدیریت بحران
۶	۰.۱۳۲۹	۳.۱۳	۰.۰۴۲۵	اجرای نشدن مفاد قوانین و دستور کارهای پیشین در میان قوانین و دستورالعمل
۱۴	۰.۰۵۹۸	۲.۱	۰.۰۲۸۵	کلی‌گویی قوانین و نپرداختن به جزئیات منجر به عدم پاسخگویی سازمان‌ها در صورت بروز مشکلات و فراقکنی آنها می‌شود

بعد از شناسایی عوامل داخلی اقدام به رتبه‌بندی عوامل قوت‌ها و ضعف‌ها گردید. نتایج حاصل از عوامل قوت‌ها (جدول ۵)، نشان می‌دهد که شکل تقارن سازه‌ها با کسب امتیاز ۰,۲۰۴ در جایگاه نخست واقع شده است و نشان‌دهنده بیشترین اهمیت آن در بین عوامل ذکر شده می‌باشد. همچنین عوامل نیاز مانند افزایش آموزش‌های عمومی به مردم و آموزش‌های تخصصی مدیران با کسب امتیاز ۰,۱۴۸ و در نهایت عامل اعطای تسهیلات و وام‌های بلندمدت به ساختمانهای آسیب‌پذیر جهت تقویت آنها در برابر حوادث غیرمترقبه با کسب امتیاز ۰,۱۳۲ در جایگاه سوم واقع شده‌اند و سایر عوامل نیز در جایگاه‌های بعدی قرار دارند. در بین ضعف‌ها می‌توان به نزدیکی برخی ساختمان‌های مورد مطالعه به گسل، نزدیکی به تاسیسات خطرزای عمومی و ناکافی بودن برنامه‌های آموزشی چه آموزش‌های تخصصی برای مدیران و چه آموزش‌های عمومی برای شهروندان به ترتیب با کسب امتیازهای (۰,۲۵۴، ۰,۲۴۵ و ۰,۲۱۷) در جایگاه‌های اول تا سوم واقع شده‌اند و بیانگر میزان اهمیت هر یک از آنها در افزایش آسیب‌پذیری ساختمانها در هنگام زلزله می‌باشد و باید برنامه‌هایی جهت برون‌رفت از آنها سنجیده شود تا میزان خسارت حاصل از زلزله به حداقل ممکن برسد.

در نهایت عوامل تهدید نیز مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفت که در آن مولفه عدم مقاوم‌سازی ساختمان‌ها با عمر بالا، فقدان سیاست کلان و برنامه‌های میان‌مدت و کوتاه‌مدت در عرصه مدیریت بحران برای ساختمانهای کم‌مقاوم و ناپایداری منابع درآمدی شهرداری در جهت حمایت از ساختمانهای آسیب‌پذیر به ترتیب در جایگاه‌های اول تا سوم قرار دارند. سایر عوامل نیز در جایگاه‌های بعدی قرار دارند که با توجه میزان امتیاز هر یک از آنها نشان‌دهنده تهدیدکننده ساختمانهای مورد مطالعه در شهر خرم‌آباد می‌باشد (جدول ۶).

جدول ۶. تحلیل عوامل بیرونی اثر گذار بر میزان کاهش آسیب پذیری فضاهای مورد مطالعه

رتبه	وزن نهایی	وزن	امتیاز	فرصت	
۱۳	۰,۰۵۷۷۵۱	۳,۲	۰,۱۸۴۸۰۴	برگزاری دوره ها و مانورهای زلزله برای شهروندان و دانش آموزان	فرصت
۴	۰,۰۵۴۱۴۲	۳	۰,۱۶۲۴۲۶	توجیه شهروندان و مدیران اجرایی نسبت به مقاوم سازی ساختمان	
۵	۰,۰۶۳۱۶۵	۳,۵	۰,۲۲۱۰۷۹	تدوین ضوابط و آیین نامه های مقررات ساختمانی	
۳	۰,۰۲۷۲۵۱	۱,۵۱	۰,۰۴۱۱۵	ورود مباحث پدافند غیرعامل در راستای مقاوم سازی ساختمانها	
۸	۰,۰۴۲۳۳۱	۲,۳۴	۰,۰۹۸۸۲	بالا بودن امکان مشارکت مردم و مسئولین در ساماندهی ساختمانهای آسیب پذیر	
۶	۰,۰۶۶۹۵۵	۳,۷۱	۰,۲۴۸۴۰۵	عدم آسیب پذیری بخش قابل توجهی از مسکن منطقه	
۲	۰,۰۴۱۶۸۹	۲,۳۱	۰,۰۹۶۳۰۲	توجه مسئولان به آموزش و اقدامات عملی موردی در خصوص ساختمانهای آسیب پذیر و بحران آنها	
۷	۰,۰۷۲۱۸۹	۴	۰,۲۸۸۷۵۷	تعیین و مشخص نمودن پهنه های آسیب پذیر در هنگام وقوع زلزله	
۱	۰,۰۴۱۵۰۹	۲,۳۰	۰,۰۹۵۴۷	نگاه صرف سودگرا بودن پیمانکاران به ساخت و سازها	
۹	۰,۰۷۲۰۰۹	۳,۹۹	۰,۲۸۷۳۱۵	عدم مقاوم سازی ساختمان ها با عمر بالا	
۱	۰,۰۵۶۳۰۸	۳,۱۲	۰,۱۷۵۶۷۹	عدم کارایی مناسب ساختمانهای قدیمی و آسیب پذیر در برابر حوادث	تهدید
۴	۰,۰۴۴۲۱۶	۲,۴۵	۰,۱۰۸۳۲۹	ناتوانی توان مالی مردم و عدم مشارکت بخش خصوصی در جهت باسازی ساختمانهای آسیب پذیر	
۷	۰,۰۳۹۷۰۴	۲,۲	۰,۰۸۷۳۴۹	بالا بودن تعداد ساختمانهای آسیب پذیر و مشکل بودن آنها در هنگام وقوع زلزله و غیره	
۱۰	۰,۰۵۵۹۴۷	۳,۱۰	۰,۱۷۳۴۳۴	محدودیت تحرک و پویایی در شیوه های ساخت و الگوی مسکن مقاوم	
۵	۰,۰۵۹۵۵۶	۳,۳	۰,۱۹۶۵۳۵	ناپایداری منابع درآمدی شهرداری در جهت حمایت از ساختمانهای آسیب پذیر	
۳	۰,۰۲۶۱۶۹	۱,۴۵	۰,۰۳۷۹۴۴	عدم توجه به زیرساخت های مورد نیاز ساختمانهای آسیب پذیر	
۱۲	۰,۰۴۶۹۲۳	۲,۶	۰,۱۲۲	عدم توجه مسئولان شهر مورد مطالعه برای ایجاد برنامه های پیشگیری از ساختمانهای با عمر بالا	
۶	۰,۰۲۷۹۷۳	۱,۵۵	۰,۰۴۳۳۵۹	ضعف مدیریت در برنامه ریزی و مدیریت بحران برای اقدامات سازنده جهت کاهش خسارت ناشی از ساختمانهای آسیب پذیر	
۱۱	۰,۰۴۱۶۸۹	۲,۳۱	۰,۰۹۶۳۰۲	عدم توجه به ضوابط ساخت و ساز در سطح شهر مورد مطالعه	
۸	۰,۰۶۲۶۲۴	۳,۴۷	۰,۲۱۷۳۰۶	فقدان سیاست کلان و برنامه های میان مدت و کوتاه مدت در عرصه مدیریت بحران برای ساختمانهای کم مقاوم	
۱		۵۵,۴۱	۲,۹۸۲۸	مجموع	

نتیجه گیری

پژوهش حاضر با هدف ارزیابی آسیب پذیری لرزه ای و ارائه مدل مدیریت بحران جهت ساختمانهای مهم، حساس و حیاتی شهر خرم آباد با روش اکتشافی تدوین شده است. نتایج تحقیق نشان داد که ۲۲ درصد ساختمان های مورد مطالعه در رده آسیب پذیری خیلی کم، ۳۸ درصد ساختمانها در رده آسیب پذیری متوسط، ۳۴ درصد آسیب پذیری زیاد و ۶ درصد در رده آسیب پذیری خیلی زیاد قرار دارند. نتایج حاصل از بررسی عوامل قوت های اثر گذار بر میزان یا کاهش آسیب پذیری ساختمان های مورد مطالعه نشان می دهد که شکل تقارن سازها با کسب امتیاز ۰,۲۰۴ در جایگاه نخست واقع شده است و نشان دهنده بیشترین اهمیت آن در بین عوامل ذکر شده می باشد. همچنین عوامل نیاز مانند افزایش آموزش های عمومی به مردم و آموزش های تخصصی مدیران با کسب امتیاز ۰,۱۴۸ و در نهایت عامل اعطای تسهیلات و وام های بلندمدت به ساختمانهای آسیب پذیر جهت تقویت آنها در برابر حوادث غیرمترقبه با کسب امتیاز ۰,۱۳۲ در جایگاه سوم واقع شده اند و سایر عوامل نیز در جایگاه های بعدی قرار دارند.

در بین عوامل ضعف می توان به نزدیکی برخی ساختمان های مورد مطالعه به گسل، نزدیکی به تاسیسات خطر زای عمومی و ناکافی بودن برنامه های آموزشی چه آموزشهای تخصصی برای مدیران و چه آموزش های عمومی برای شهروندان به ترتیب با کسب امتیازهای (۰,۲۵۴، ۰,۲۴۵ و ۰,۲۱۷) در جایگاه های اول تا سوم واقع شده اند و بیانگر

- میزان اهمیت هر یک از آنها در افزایش آسیب پذیری ساختمانها در هنگام زلزله می باشد و باید برنامه های جهت برون رفت از آنها سنجیده شود تا میزان خسارت حاصل از زلزله به حداقل ممکن برسد.
- در بین عوامل فرصت های نیز می توان به تعیین و مشخص نمودن پهنه های آسیب پذیر در هنگام وقوع زلزله اشاره کرد که با کسب امتیاز ۰,۰۷۲۱ در جایگاه نخست واقع شده است و مهمترین فرصت پیش روی منطقه مورد مطالعه است. دومین عامل می توان به عدم آسیب پذیری بخش قابل توجهی از مسکن منطقه می توان اشاره کرد که در جایگاه دوم واقع شده است و در نهایت مولفه تدوین ضوابط و آیین نامه های مقررات ساختمانی اشاره کرد که با قرار گرفتن در جایگاه سومین بیانگر میزان اهمیت آن در مقاوم سازی ساختمانها در برابر زلزله می باشد.
- در نهایت ارزیابی عوامل تهدید نشان داد که مولفه عدم مقاوم سازی ساختمانها با عمر بالا، فقدان سیاست کلان و برنامه های میان مدت و کوتاه مدت در عرصه مدیریت بحران برای ساختمانهای کم مقاوم و ناپایداری منابع درآمدی شهرداری در جهت حمایت از ساختمانهای آسیب پذیر به ترتیب در جایگاه های اول تا سوم قرار دارند. سایر عوامل نیز در جایگاه های بعدی قرار دارند که با توجه میزان امتیاز هر یک از آنها می توانند تهدید کننده ساختمانهای مورد مطالعه در شهر خرم آباد باشند. از مهمترین راهکارهای پیشنهادی تحقیق جهت کاهش آسیب پذیری ساختمانهای مورد مطالعه و یا در حال ساخت در محدوده شهر خرم آباد می توان به موارد زیر اشاره نمود.
- ✓ مقاوم سازی ساختمان های با عمر زیاد در راستای کاهش آسیب پذیری ناشی از زلزله مانند مقاوم سازی بیمارستان شهدای عشایر خرم آباد که در چند سال گذشته انجام شده و یا در حال انجام است؛
 - ✓ تهیه نقشه ریز پهنه بندی زلزله در محدوده قانونی شهر و مشخص نمودن وضعیت ساختمان های مهم در ارتباط با پهنه های با خطر بالای زلزله و اقدام به مقاوم سازی و یا جابجایی آنها؛
 - ✓ جابجایی ساختمان های مهم به نقاط امن و دور از پهنه های خطرناک مانند جابجایی ساختمان استانداری لرستان به نقطه ای دیگر که در حال ساخت است؛
 - ✓ بررسی وضعیت لرزه خیزی محل ساخت سازه های مهم و جدید در محدوده شهر قبل از آغاز عملیات عمرانی پروژه ها. زیرا به دلیل واقع شدن بخش عمده ای از محدوده شهر در واحدهای آبرفتی، احتمال وجود گسل های پنهان وجود دارد؛
 - ✓ به منظور آمادگی و مقابله با بحران، دوره بازگشت گسل های اصلی اطراف شهر مانند گسل زاگرس مرتفع و گسل درود مشخص شود؛
 - ✓ با توجه به این که شهر خرم آباد در پهنه لرزه خیزی بالا قرار دارد، ضروری است از مکان یابی مراکز حساس و کلیدی و سرمایه بر در این پهنه ها جلوگیری شود و اصول مکان یابی ساختمان های با کاربری مهم در نظر گرفته شود؛
 - ✓ در نظر گرفتن محل اسکان موقت یا جایگزین برای هر یک از ساختمان های مهم و حیاتی شهر خرم آباد در صورت رخداد زلزله؛
 - ✓ تهیه نقشه مسیرهای تخلیه اضطراری ساختمان های حیاتی شهر خرم آباد در هنگام وقوع رخداد زلزله یا دیگر مخاطرات طبیعی مانند سیل؛ و
 - ✓ با توجه به نقش مهم و حیاتی شبکه های ارتباطی شهر در امر امداد رسانی در هنگام وقوع بحران و پراکنش ساختمان های مهم شهر خرم آباد در نقاط مختلف محدوده شهر، بررسی دقیق وضعیت این شبکه ها در شهر، همچنین اصلاح هندسی و بازسازی تمام نقاط و گره های شبکه های ارتباطی ضروری به نظر می رسد تا امر امداد رسانی با تکیه بر شاخص زمان دسترسی و ارتباط مستقیم تسهیل شود.

منابع

- احدنژاد روشتی، محسن، روستایی، شهریور و کاملی فر، محمد جواد، ۱۳۹۴، ارزیابی آسیب پذیری شبکه معابر شهری در برابر زلزله با رویکرد مدیریت بحران مطالعه موردی: منطقه ۱ شهر تبریز، اطلاعات جغرافیایی (سپهر)، شماره (۹۵) ۲۴، ۵۰-۳۷.
- اسمیت، کیت، ۱۳۹۲، مخاطرات محیطی، ترجمه ابراهیم و شاپور گودرزی نژاد، سمت.
- آوازه، آذر، جعفری، نسرین، ۱۳۸۵، بررسی توانمندی های و محدودیتهای بیمارستان های آموزشی دانشگاه علوم پزشکی زنجان در مدیریت بحران، همایش سراسری راهکارهای ارتقاء مدیریت بحران در حوادث و سوانح غیر مترقبه، زنجان.

برقی، حمید، حسنی نژاد، آسیه و شایان، محسن، ۱۳۹۶، ارزیابی آثار سموم شیمیایی کشاورزی بر محیط زیست روستاها: مطالعه موردی روستاهای شهرستان زرین دشت، مدیریت مخاطرات محیطی، شماره ۴، ۳، ۲۴۷-۲۶۲.

جوان، فرهاد، آتش‌بهار، رامین و مطلب پور، آزاده. (۱۴۰۴). پهنه‌بندی مخاطرات محیطی در مقاصد گردشگری با تأکید بر سیلاب (مطالعه موردی: شهرستان سروآباد، استان کردستان). پژوهش‌های محیطی در قلمروهای کوهستانی، ۱(۳)، ۴۳-۵۶.

حبیبی، کیومرث، پوراحمد، احمد، مشکینی، ابوالفضل، عسگری، علی، نظری عدلی، سعید، ۱۳۸۷، تعیین عوامل سازه‌ای/ ساختمانی موثر در آسیب پذیری بافت کهن شهری زنجان با استفاده از FUZZY LOGIC و GIS، نشریه هنرهای زیبا، شماره ۳۳، ۳۶-۲۷.

حسینی، زهرا، علوی، اکبر، حسن زاده، رضا و دهقانی، مژگان، ۱۳۹۳، آسیب پذیری لرزه‌ای و شبیه‌سازی آن در مدیریت بحران (مطالعه موردی: ناحیه ۱۳ شهر کرمان)، تحقیقات جغرافیایی، شماره (۴) ۲۹، ۱۶۴-۱۴۷.

خلیل زاده وحیدی، ابراهیم، ۱۳۸۶، بررسی رفتار ساختمانهای بنایی در برابر زلزله و نحوه تقویت آنها، دومین همایش مقابله با سوانح طبیعی، تهران.

درخشان، سحر، ۱۳۸۷، ارزیابی آسیب پذیری ساختمان‌های مسکونی شهر زنجان در برابر زلزله، پایان نامه کارشناسی ارشد دانشکده محیط زیست دانشگاه تهران.

رفیعه، زهرا، زارع، مهدی، قیطانچی، محمد رضا، ملکی، زهرا، ۱۳۹۰، پهنه بندی و تحلیل خطر زمین لرزه در گستره استان لرستان، نشریه زمین، شماره ۶، ۱۹۶، ۵۱-۶۳.

شرف زادگان، محمد حسین، فتحی، حمید، ۱۳۸۷، طراحی و کاربرد مدل‌های فضایی ارزیابی و تحلیل آسیب پذیری لرزه‌ای در برنامه ریزی و مدیریت شهری، نشریه صفا، شماره ۱۷، ۱۲۴-۱۰۹.

صادقی، حجت و جوان، فرهاد. (۱۴۰۳). ارزیابی روستاهای گردشگری ایران از لحاظ آسیب‌پذیری ژئوفیزیکی با استفاده از سناریوهای فازی. پژوهش‌های روستائی، ۱۵(۴)، ۸۵-۱۰۰.

صادقی، حجت و جوان، فرهاد. (۱۴۰۴). آسیب پذیری روستاهای گردشگری ایران از لحاظ مخاطره زمین لغزش با استفاده از GIS. جغرافیا (نشریه انجمن جغرافیایی ایران)، ۲۳(۸۴)، ۱۵۳-۱۷۰.

عباسی، حامد، شرفی، سیامک، مریناجی، زهره، ۱۳۹۶، تحلیل فضایی مخاطرات ژئومورفیک تهدیدکننده مجتمعهای زیستی شهری در استان لرستان، نشریه تحلیل فضایی مخاطرات محیطی، ۲، ۱۲۵-۱۰۷.

عزیزی، محمد مهدی؛ همافر، میلاد، ۱۳۹۱، آسیب شناسی لرزه‌ای معابر شهری (مطالعه موردی: محله کارمندان شهر کرج)، هنرهای زیبا- معماری و شهرسازی، شماره (۳) ۱۷، ۵-۱۵.

قائد رحمتی، صفر، خادم الحسینی، احمد، سیاوشی، طاهره، ۱۳۹۲، تحلیل میزان ریسک پذیری سکونت‌گاه‌های شهر استان لرستان از خطر زلزله، جغرافیا و آمایش شهری، شماره ۹، ۱۴-۱.

کامل باسمنج، بنول، میرجعفری، بابک، علوی، سید علی، ۱۳۹۱، بررسی ارزیابی آسیب‌پذیری لرزه‌ای در منطقه یک شهر تبریز با استفاده از مدل تحلیل چندمعیاره فضایی، برنامه ریزی و آمایش فضا، شماره (۲) ۱۶، ۱۴۰-۱۲۲.

کرمی، احمد، ۱۳۹۴، ارزیابی مخاطرات ناشی از توسعه فیزیکی شهر صحنه طی ۵۰ سال گذشته و پیش بینی برای آینده، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران.

ناطق الهی، فریبرز، ۱۳۷۹، مدیریت بحران زلزله ابر شهرها با رویکرد به برنامه مدیریت بحران زلزله شهر تهران، تهران: پژوهشگاه بین المللی زلزله شناسی

Bahadori, H., Hasheminezhad, A., & Karimi, A. 2017. Development of an integrated model for seismic vulnerability assessment of residential buildings: application to Mahabad City, Iran. *Journal of Building Engineering*, 12, 118-131. <https://doi.org/10.1016/j.jobee.2017.05.014>

Barbat, A. H., Carreño, M. L., Pujades, L. G., Lantada, N., Cardona, O. D., & Marulanda, M. C. 2010. Seismic vulnerability and risk evaluation methods for urban areas. A review with application to a pilot area. *Structure and Infrastructure Engineering*, 6(1-2), 17-38. <https://doi.org/10.1080/15732470802663763>

Bathrellos, G. D., Gaki-Papanastassiou, K., Skilodimou, H. D., Papanastassiou, D., & Chousianitis, K. G. 2012. Potential suitability for urban planning and industry development using natural hazard maps and geological-geomorphological parameters. *Environmental earth sciences*, 66(2), 537-548. <https://doi.org/10.1007/s12665-011-1263-x>

Chopra, A. K. 2000. *Dynamics of structures: Theory and applications to earthquake engineering*. Prentice Hall.

- Dolce, M., Di Pasquale, G., Speranza, E., & Fumagalli, F. 2012. A multipurpose method for seismic vulnerability assessment of urban areas. In Proceedings of the 15th world conference on earthquake engineering. Lisbon, September (pp. 24-28).
- El Hammoumi, Abdallah, Iben Brahim, Aomar, Birouk, Abdelouhad, Toto, El Arbi, El Mouraouah, Azelarab, Kerroum, Mohamed, Gueraoui, Kamal & Kasmi, Mohamed 2009. Assessment of Seismic Vulnerability of Urban Buildings in Morocco, international journal of earthquake engineering and hazard mitigation, 3(1), 44-48.
- FEMA P-441 2016. Performance-based seismic design of new buildings and other structures. Federal Emergency Management Agency.
- Godschalk, D. R. 2003. Urban hazard mitigation: creating resilient cities. Natural hazards review, 4(3), 136-143. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)1527-6988\(2003\)4:3\(136\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)1527-6988(2003)4:3(136))
- Jha, A. K., Sheherbani, A., & Shaw, R. 2013. Building urban resilience: Municipalities in a changing climate. World Bank Publications.
- Kalamaras, I., Kapsiris, S., & Karapentakis, M. 2018. Seismic vulnerability assessment methodologies for buildings: A multi-criteria decision making approach. Engineering Structures, 169, 1-12.
- Levine, S. (2011). A guidance framework for coupled infrastructure system resilience analysis. Journal of Infrastructure Systems, 17(1), 32-43.
- Maio, R., Ferreira, T. M., Vicente, R., & Estêvão, J. 2016. Seismic vulnerability assessment of historical urban centres: Case study of the old city centre of Faro, Portugal. Journal of Risk Research, 19(5), 551-580.
- Montoya, L., & Masser, I. 2005. Management of natural hazard risk in Cartago, Costa Rica. Habitat International, 29(3), 493-509.
- Nateghi-A, F. 2000. Existing and proposed earthquake disaster management organization for Iran. Disaster prevention and management, 9(3), 200. <https://doi.org/10.1108/09653560010335130>
- Riedel, I., Guéguen, P., Dalla Mura, M., Pathier, E., Leduc, T., & Chanussot, J. 2015. Seismic vulnerability assessment of urban environments in moderate-to-low seismic hazard regions using association rule learning and support vector machine methods. Natural hazards, 76(2), 1111-1141. DOI: 10.1007/s11069-014-1538-0
- Ródenas, J., García-Ayllón, S., & Tomás, A. 2018. Estimation of the Buildings Seismic Vulnerability: A Methodological Proposal for Planning Ante-Earthquake Scenarios in Urban Areas. Applied Sciences, 8(7), 1208. <https://doi.org/10.3390/app8071208>
- Rose, A. 2004. Economic principles of risk analysis: Applications to natural hazards. Cambridge University Press.
- Sadat, M. R., Huq, M. S., & Ansary, M. A. 2010. Seismic vulnerability assessment of buildings of Dhaka city. J Civil Eng (IEB), 38(2), 159-172. <https://doi.org/10.18485/ijdrm.2022.4.2.5>
- UNISDR 2004. Hyogo Framework for Action 2005-2015: Building the Resilience of Nations and Communities to Disasters. United Nations International Strategy for Disaster Reduction.
- Vicente, R., Dina, D., Ferreira, T. M., Varum, H., Costa, A., da Silva, J. M., & Lagomarsino, S. 2014. Seismic vulnerability and risk assessment of historic masonry buildings. In Structural Rehabilitation of Old Buildings (pp. 307-348). Springer, Berlin, Heidelberg.
- World Commission on Environment and Development. 1987. Our common future. Oxford University Press.