

تحلیل فضایی خوشه‌های آسیب‌پذیر بافت کالبدی شهر گرگان در برابر زلزله (با استفاده از آمار فضایی)

علی زنگی‌آبادی* - دانشیار جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری دانشگاه اصفهان
عبدالرضا دادبود - دانشجوی دکتری جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشگاه اصفهان

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۵/۱۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۲/۲۰

چکیده

زلزله یکی از خطرناک‌ترین، مخرب‌ترین، و غیرقابل پیش‌بینی‌ترین مخاطرات طبیعی شهری به‌شمار می‌آید. طبق اعلام سازمان مدیریت بحران کشور، ۷۸ درصد از مساحت کشور در محدوده خطر لرزه‌خیزی بالا قرار دارد و ۱۰ درصد از تلفات انسانی ناشی از بلایا در نتیجه زلزله است. استان گلستان جزو استان‌های رده دوم خطر زلزله و در رده خود اولین استان پرخطر است. بر همین اساس، هدف از پژوهش حاضر سنجش و تحلیل مکانی خوشه‌های آسیب‌پذیر بافت کالبدی شهر گرگان در شرایط بحرانی به‌منظور تعیین نقاط نیازمند مداخله فوری است. پژوهش حاضر از نوع کاربردی و روش بررسی آن توصیفی-تحلیلی است. جامعه آماری شامل مرزهای جغرافیایی شهر گرگان بر اساس سرشماری سال ۱۳۹۵ است. برای تعیین پهنه‌های آسیب‌پذیر از مدل‌هایی نظیر ANP و VIKOR استفاده شده است. برای تحلیل فضایی خوشه‌های آسیب‌پذیر بافت کالبدی نیز از آماره فضایی Getis-Ord بهره گرفته شده است. یافته‌های پژوهش نشان‌دهنده آن است که شاخص مصالح ساختمانی با وزن ۰/۴۵۲ و شاخص ریزدانه‌گی (مساحت قطعات) با وزن ۰/۱۲۶ به ترتیب بیشترین و کمترین تأثیرگذاری را در ارزیابی آسیب‌پذیری بلوک‌های شهر گرگان دارند. همچنین، بیشترین میزان آسیب‌پذیری از لحاظ کالبدی مربوط به مناطق مرکزی و جنوبی و حاشیه‌های شرقی و تا حدودی غربی شهر گرگان است. تحلیل Hotspot به طور واضح شکاف بین مرکز و جنوب را با سایر مناطق شهر گرگان نشان می‌دهد. درواقع، پهنه‌های آسیب‌پذیر شهر گرگان عمدتاً بر بافت‌های تاریخی و مناطق حاشیه‌نشین منطبق است.

کلیدواژه‌ها: آسیب‌پذیری، بافت کالبدی، خوشه‌های آسیب‌پذیر، زلزله، شهر گرگان.

مقدمه

تمرکز مردم، ساختمان‌ها، زیرساخت‌ها، و فعالیت‌های اقتصادی در شهرها این شهرها را به کانون حوادث کوچک و بزرگ مقیاس (جین، ۲۰۱۵: ۲۴۰) و بردار جدیدی از ریسک (ترومر، ۲۰۱۲: ۱۸۱۱) تبدیل کرده است. عوامل اصلی این آسیب‌پذیری شامل نوع ساختمان‌ها، مصالح به‌کاررفته در ساختمان‌ها، فرم و اسکلت‌بندی به‌کاررفته در ساختمان‌ها، نوع جنس ساختمان زمین زیر بستر شهر، تراکم‌های شهری (تراکم جمعیتی، ارتفاعی و تراکم کاربری) و پراکندگی عناصر در شهر است (زنگی‌آبادی و همکاران، ۱۳۹۱: ۱۱۴). در واقع، مهم‌ترین عاملی که در هنگام بروز زلزله به بروز بحران منجر می‌شود آسیب‌پذیری کالبدی ابنیه است (قرخلو، ۲۰۰۹: ۲؛ روتر و همکاران، ۲۰۱۷: ۱۲۳۱). از سال ۲۰۰۴ تاکنون، بیش از ۷۴۴۰۰۰ نفر در نتیجه سونامی و زلزله‌هایی نظیر اندونزی (۲۰۰۴)، پاکستان (۲۰۰۵)، چین (۲۰۰۸)، هائیتی (۲۰۱۰)، ژاپن (۲۰۱۱)، نپال (۲۰۱۵)، و ایتالیا (۲۰۱۶) جان خود را از دست داده‌اند (آرماس و همکاران، ۲۰۱۷: ۱۸۲). در سال ۲۰۱۱، بیش از سیصد فاجعه زیست‌محیطی به‌وقوع پیوست که در نتیجه آن بیش از ۳۰۰۰۰ نفر جان خود را از دست دادند (تنها در نتیجه سونامی و زلزله مارس ۲۰۱۱ در ژاپن ۲۰۰۰۰ نفر جان باختند)، ۲۰۶ میلیون نفر از این بلاها متأثر شدند و ۳۶۶ میلیارد دلار خسارت اقتصادی به بار آوردند (مالدی، ۲۰۱۲: ۱).

پژوهش‌های داخلی و خارجی زیادی در ارتباط با موضوع آسیب‌پذیری منتشر شده است. رودانس و همکاران (۲۰۱۸) در پژوهشی با نام «تخمین آسیب‌پذیری لرزه‌ای ساختمان‌ها» به ارائه یک ساختار روش‌شناختی برای سناریوهای برنامه‌ریزی قبل از وقوع زلزله در مناطق شهری پرداخته‌اند. روسیدی و همکاران (۲۰۱۷) در مقاله‌ای به پهنه‌بندی آسیب‌پذیری زلزله پالو^۱ اندونزی پرداخته‌اند. نتایج بیانگر آن است که بیشترین آسیب‌پذیری مربوط به منطقه ۲۲ این شهر بوده است. یانوس و همکاران (۲۰۱۷) در مقاله‌ای به ترسیم نقشه قابلیت دسترسی مرکز تاریخی شهر بخارست در واکنش به زلزله مبادرت کرده‌اند. نتایج نشان می‌دهد، با فروریختن ساختمان‌ها، مسیرهای دسترسی بافت تاریخی این شهر مسدود خواهد شد. بنابراین، باید برنامه‌ریزی لازم برای خدمات اضطراری و فعالیت‌های بازیابی فاجعه انجام گیرد؛ زیرا این شهر در سال‌های ۱۹۴۰ و ۱۹۷۰، دو زلزله بالای ۷ ریشتر را تجربه کرده است. کوشه و همکاران (۲۰۱۷) به خطر زلزله و آسیب‌پذیری در شهر کارونگا^۲ پرداخته‌اند. نتایج پژوهش نشان می‌دهد مردم شهر از زلزله و چگونگی کاهش اثرهای آن آگاه‌اند؛ اما پایگاه اقتصادی ضعیف آن‌ها مانع توسعه زیرساخت‌ها برای مقابله با اثرهای زلزله و بازیابی سریع شده است.

نتایج پژوهش مهربان مطلق و معتمدی (۱۳۹۷) بیانگر آن است که نواحی مرکز شهر یعنی نواحی ۴، ۵، ۸ و ۹ بیشترین آسیب‌پذیری را در برابر زلزله دارند. نتایج پژوهش پیوسته‌گر و همکاران (۱۳۹۶) در خصوص آسیب‌پذیری بافت فرسوده شهر شیراز نشان می‌دهد ۲۸ درصد محله قانی، ۸۱ درصد محله کوشک عباسعلی، و ۸۰ درصد محله دباغی در مقابل زلزله به‌شدت آسیب‌پذیرند. نتایج پژوهش ایمانی و همکاران (۱۳۹۵) درباره آسیب‌پذیری بافت‌های فرسوده امام‌زاده حسن تهران نشان‌دهنده آن است که تعریض معابر برای خدمات‌رسانی در شرایط بحرانی مهم‌ترین راهبرد فعلی است. بر اساس یافته‌های پژوهش بزی و همکاران (۱۳۹۶)، ۱۷٫۳۳ درصد از مجموع کل فضاهای ساخته‌شده شهری گرگان در محدوده پُرخطر یا با آسیب‌پذیری بیش از ۷۵ درصد (خرابی و ریزش ساختمان، وجود احتمال تلفات جانی) قرار دارد. بخش عمده محدوده یادشده در بافت‌های فرسوده، بافت‌های تاریخی، و هسته اولیه شهر قرار دارند. این امر به دلیل رعایت‌نکردن استانداردهای ساخت‌وساز، قدمت و عمر زیاد بنا، کیفیت نامناسب مصالح، فقدان پی و شناژ در ساخت ابنیه، فقدان سیستم سازه‌ای و اسکلت در ساخت ابنیه، استفاده از مصالح بنایی و کم‌دوام در ساخت‌وساز ابنیه، پلان نامناسب و نامتقارن

1. Palu

2. Karonga

ساختمان‌هاست. چنانچه بیش از ۸۵ درصد ساختمان‌های این محدوده نیازمند نوسازی، بهسازی، و باززنده‌سازی‌اند. نتایج پژوهش ایمانی و همکاران (۱۳۹۵) دربارهٔ آسیب‌پذیری بافت‌های فرسودهٔ امامزاده حسن تهران نشان‌دهندهٔ آن است که راهبردهای اجرای برنامه‌های نوسازی و بهسازی و توجه ویژه به مدیریت بحران، ایجاد سازمان مرکزی برای تنظیم برنامه‌های مربوط به بافت‌های فرسوده، و ایجاد بستر مناسب برای افزایش فعالیت‌های اقتصادی در محله به‌عنوان اولویت‌دارترین راهبردها و اجرای برنامه‌های بازسازی و نوسازی بافت محله در راستای تعریض معابر برای خدمات‌رسانی در شرایط بحرانی جهت سامان‌دهی بافت فرسودهٔ محلهٔ امامزاده حسن به‌عنوان مؤثرترین راهبرد مشخص شدند.

همین‌طور بر مبنای نتایج پژوهش صیامی و همکاران (۱۳۹۲)، با حرکت از جنوب شهر به مرکز شهر، بر میزان آسیب‌پذیری آن افزوده می‌شود. همچنین، بیشترین آسیب‌پذیری ساختمان‌ها در زون‌های ۱۰ و ۶ است (بافت‌های قدیم شهر گرگان). قدیری (۱۳۹۴) در مقاله‌ای با استفاده از روش‌های آماری به بررسی عوامل اجتماعی-اقتصادی مؤثر بر میزان آسیب‌پذیری بافت مسکونی شهر تهران در برابر زلزله پرداخته است. مطابق نتایج رگرسیون چندمتغیره حدود ۸۳ درصد میزان آسیب‌پذیری مسکونی توسط متغیرهای پایگاه اجتماعی، سن، سرمایه اجتماعی، ادراک خطرپذیری، و کیفیت محله تبیین شد. نتایج نشان داد عامل پایگاه اجتماعی نقش بیشتری در تبیین میزان آسیب‌پذیری بافت مسکونی نسبت به عوامل سن، ادراک خطرپذیری، و سرمایه اجتماعی دارد. نحوهٔ تأثیرگذاری عوامل بر میزان آسیب‌پذیری نیز با استفاده از مدل تحلیل مسیر تبیین شد. نتیجه اینکه جهت کاهش آسیب‌پذیری، علاوه بر عوامل فنی و مهندسی، باید عوامل اجتماعی-اقتصادی نیز به‌طور جدی مورد توجه قرار گیرد. مشکینی و همکاران (۱۳۹۳) در مقالهٔ خود آسیب‌پذیری بافت شهری در برابر زلزله در منطقهٔ دو تهران را ارزیابی کرده‌اند. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که بافت شهری منطقهٔ دو با آسیب‌پذیری متوسط بالا و این میزان در مناطق شرقی و جنوبی بیشتر است.

طبق اعلام سازمان مدیریت بحران کشور، ۷۸ درصد از مساحت کشور در محدودهٔ خطر لرزه‌خیزی بالا قرار دارد و ۱۰ درصد از تلفات انسانی ناشی از بلایا در نتیجهٔ زلزله است. استان گلستان جزو استان‌های رده دوم خطر زلزله و در ردهٔ خود اولین استان پُرخطر است. در آمار سال‌های ۱۳۵۶ تا ۱۳۸۶، گلستان در این زمینه رتبهٔ هفتم را داشته است. حوادث و بلایای طبیعی نظیر سیل و زلزله هر سال خسارت‌های زیادی در استان گلستان برجای می‌گذارد و این استان از نظر وقوع این حوادث در کشور رکورددار است. سالانه بیش از ۱۰ هزار زلزله در کشور رخ می‌دهد که درصد قابل‌توجهی از این حادثه در گلستان به‌وقوع می‌پیوندد. برآیند بررسی‌ها نشان می‌دهد تاکنون ۸۴۰ زمین‌لرزه در گلستان ثبت شده است و مناطق زیادی از مساحت این استان مستعد زمین‌لغزش‌اند. نقشه‌های پهنه‌بندی لرزه‌ای که برای بستر لرزه‌ای بر پایهٔ پیشینهٔ شتاب جنبش نیرومند زمین و برای دورهٔ بازگشت ۴۷۵ و ۲۴۷۵ سال تهیه‌شده نشان می‌دهد که بدون درنظرگرفتن تأثیر آبرفت‌ها، استان گلستان دارای چهار پهنه، نواحی با خطر لرزه‌ای بسیار زیاد، زیاد، متوسط، و پایین است که شهر گرگان در پهنه‌های بسیار زیاد و زیاد قرار دارد. شایان ذکر است گسل البرز در دامنهٔ شمالی رشته‌کوه‌های البرز با طول ۵۵۰ کیلومتر از لاهیجان تا مینودشت ادامه دارد که در حال حاضر این گسل به‌شدت فعال است. شهر گرگان نیز بر پهنهٔ این گسل واقع شده و درصد زیادی از نواحی این شهر را در معرض آسیب‌پذیری ناشی از زلزله قرار داده است (مه‌دی‌ویان، ۱۳۹۲: ۱۶۷). بر همین اساس، هدف از مقالهٔ حاضر تعیین و تحلیل مکانی خوشه‌های آسیب‌پذیر بافت کالبدی شهر گرگان در برابر زلزله جهت برنامه‌ریزی صحیح و مناسب برای مقابله با آن است.

مبانی نظری

به‌طور کلی، چهار نظریهٔ اصلی در ارتباط با آسیب‌پذیری شهرها مطرح شده است: نخست، نظریهٔ اکولوژی انسانی که بر

پیوند گسست‌ناپذیر فرایندهای بیوفیزیکی و فرایندهای اجتماعی تأکید می‌ورزد (پیکت و همکاران، ۱۹۹۷: ۱۸۳)؛ دوم، نظریه اقتصاد سیاسی، که دیدگاه‌های کلان و خرد را با هم تلفیق می‌کند و چارچوب تحلیلی بهتری برای درک جامع پیچیدگی و وابستگی عوامل به‌وجودآورنده آسیب‌پذیری ارائه می‌دهد (شوته، ۲۰۰۴: ۴۰). از دیدگاه بوهل (۲۰۰۱)، آسیب‌پذیری دارای دو جنبه بیرونی و درونی است؛ جنبه بیرونی مربوط به در معرض گرفتن خطرها و شوک‌هاست و از رویکردهای اقتصاد سیاسی (از جمله نابرابری‌های اجتماعی، تقسیم نامتناسب دارایی‌ها)، دیدگاه‌های اکولوژی انسانی (پویایی‌های جمعیتی و ظرفیت‌های مدیریت زیست‌محیطی)، و نظریه حق (آسیب‌پذیری به ظرفیت افراد برای به‌دست‌آوردن یا مدیریت دارایی‌ها از راه ابزارهای اقتصادی مشروع مربوط است) تأثیر می‌پذیرد. جنبه درونی «از عهده برآمدن» نامیده می‌شود و مربوط به ظرفیت مشارکت، مقابله، مقاومت، و بازیابی از اثرهای مخاطره است. این موضوع از نظریه تضاد و بحران^۱ (کنترل دارایی‌ها و منابع، ظرفیت مدیریت موقعیت‌های بحرانی، و حل تضادها)، رویکردهای نظریه اقدام (چگونه مردم در نتیجه محدودیت‌های حکومتی، اقتصادی، و اجتماعی به‌طور آزادانه اقدام می‌کنند و واکنش نشان می‌دهند) و مدل‌های دسترسی به دارایی‌ها (کاهش آسیب‌پذیری از راه دسترسی به دارایی‌ها) تأثیر پذیرفته است. چارچوب مفهومی ساختار دوگانه آسیب‌پذیری نشان‌دهنده آن است که بدون توجه به ظرفیت مقابله و مدیریت نمی‌توان به آسیب‌پذیری پرداخت (پرفونگ، ۲۰۱۴: ۲۹)؛ سوم، نظریه انطباق اجتماع‌مبنا، این نظریه بر این امر استوار است: «شناسایی، کمک، و اجرای فعالیت‌های اجتماع‌مبنا که ظرفیت مردم محلی برای انطباق با زندگی در یک موقعیت ریسک‌پذیر و غیرقابل پیش‌بینی را تقویت می‌نماید» (برکیست، ۲۰۱۴: ۱۸). به سخن بهتر، کاهش فاجعه با استفاده از مداخله‌های نهادی و دولتی به‌تنهایی کافی نیست؛ زیرا توجه کمی به پویایی‌ها، ادراکات، و اولویت‌های اجتماع مبذول می‌شود (تیندا، ۲۰۰۹: ۱۶)؛ چهارم، تاب‌آوری که عبارت است از ظرفیت یا توانایی اجتماع جهت پیش‌بینی، آمادگی، واکنش، و بازیابی سریع از اثرها و پیامدهای فاجعه.

این به معنای آن است که صرفاً اندازه‌نگیریم چگونه اجتماع می‌تواند به‌سرعت خود را از اثرهای فاجعه بازیابی کند، بلکه باید توانایی یادگیری، مقابله، و انطباق با خطرها نیز مورد توجه قرار گیرد (مایونگا، ۲۰۰۸: ۵). از دیدگاه پژوهش حاضر، آسیب‌پذیری محصول رویکردهای اقتصاد سیاسی (از جمله توزیع ناعادلانه امکانات و خدمات) و دیدگاه‌های اکولوژی انسانی (پویایی‌های جمعیتی، کالبدی، و مدیریت زیست‌محیطی) است.

روش پژوهش

پژوهش حاضر از نوع کاربردی و روش بررسی آن توصیفی-تحلیلی است. معیارهای تعیین‌کننده میزان آسیب‌پذیری بافت کالبدی شهر گرگان در چهار معیار-تعداد طبقات، ریزدانی، قدمت ابنیه، و مصالح-بررسی شدند. نخست با استفاده از آرای کارشناسان به اولویت‌بندی معیارها اقدام شد (جدول ۱) و وزن نهایی هر یک از شاخص‌ها با استفاده از مدل ANP محاسبه شد. هر چه وزن محاسبه‌شده بیشتر باشد اولویت بیشتری به آن اختصاص داده می‌شود؛ در نتیجه، امکان آن وجود دارد که بهترین گزینه را انتخاب کرد. پس از ارزیابی معیارها و تبدیل آن‌ها به مقیاس‌های قابل مقایسه و استاندارد، از مدل تحلیل شبکه‌ای (ANP) برای تعیین وزن نسبی هر معیار استفاده شد. اولویت‌بندی شاخص‌ها با توجه به آرای کارشناسی و ارزیابی شاخص‌های مورد مطالعه انجام پذیرفت. درنهایت، با مدل VIKOR بلوک‌ها به لحاظ آسیب‌پذیری سطح‌بندی‌شده و نقشه آسیب‌پذیری کالبدی واحدهای ساختمانی در سطح بلوک‌های شهری شهر گرگان تولید شده است.

جدول ۱. وزن نهایی معیارهای سنجش آسیب‌پذیری کالبدی شهر گرگان

Raw	Normal	Ideals	Name
۰,۱۷۶	۰,۱۷۶	۰,۳۹	تعداد طبقات
۰,۱۲۶	۰,۱۲۶	۰,۲۸	ریزدانگی
۰,۲۴۳	۰,۲۴۳	۰,۵۷	قدمت ابنیه
۰,۴۵۲	۰,۴۵۲	۱	مصالح

مأخذ: محاسبات نگارندگان، ۱۳۹۸

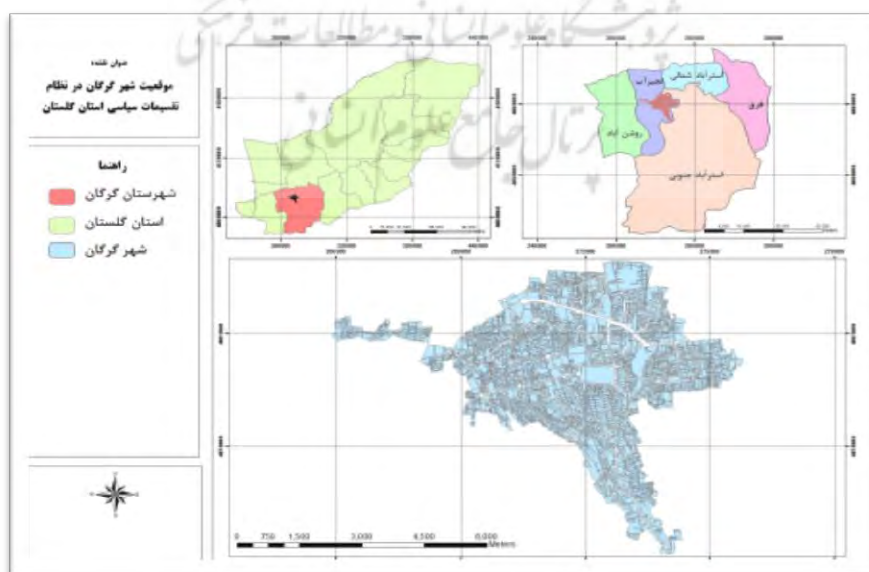
سپس، با استفاده از مدل Getis-Ord به تحلیل خوشه‌های فضایی آسیب‌پذیر شهر گرگان پرداخته شد. این مدل مبتنی بر انباشتگی مکانی است. بنابراین، می‌تواند به تعمیق تحلیل برای تشخیص خوشه‌های مکانی اطراف هر ناحیه i بدون تأثیرپذیری از ارزش متغیر در ناحیه i کمک کند. آماره $Getis\ Ord$ برای هر ناحیه این گونه محاسبه شده است:

$$G_i^* = \frac{\sum_{j=1}^n w_{ij} x_j - \bar{X} \sum_{j=1}^n w_{ij}}{S \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n w_{ij}^2}{n-1} - \frac{(\sum_{j=1}^n w_{ij})^2}{n(n-1)}}}$$

که در آن G_i مقدار شاخص $Getis\ Ord$ برای پلیگون i ام، S انحراف معیار ارزش‌های مربوط به نواحی مورد مطالعه و سایر پارامترها نیز مطابق شاخص موران است. ارزش مثبت برای این آماره نشان‌دهنده خوشه‌ای بودن ارزش‌های بالا و ارزش منفی نشان‌دهنده خوشه‌ای بودن ارزش‌های پایین است (مهدنژاد، ۱۳۹۴: ۲۱).

یافته‌های پژوهش

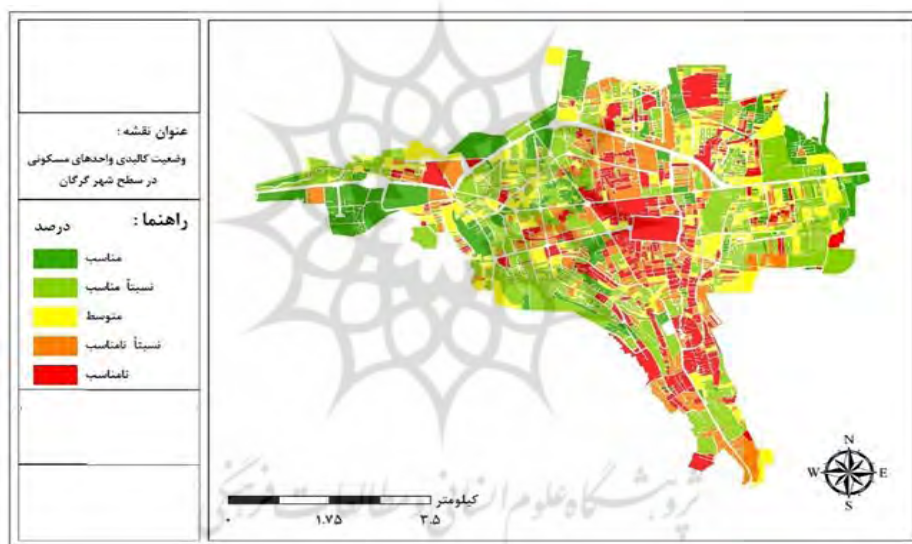
استان گلستان از نظر جغرافیایی در محدوده منطقه معتدله شمالی در شمال کشور واقع است. این استان از شمال به کشور ترکمنستان، از شرق به استان خراسان، از غرب به دریای خزر و استان مازندران، و از جنوب به استان سمنان محدود است. شهر گرگان، مرکز استان گلستان، واقع در جنوب شرق دریای خزر است (شکل ۱).



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

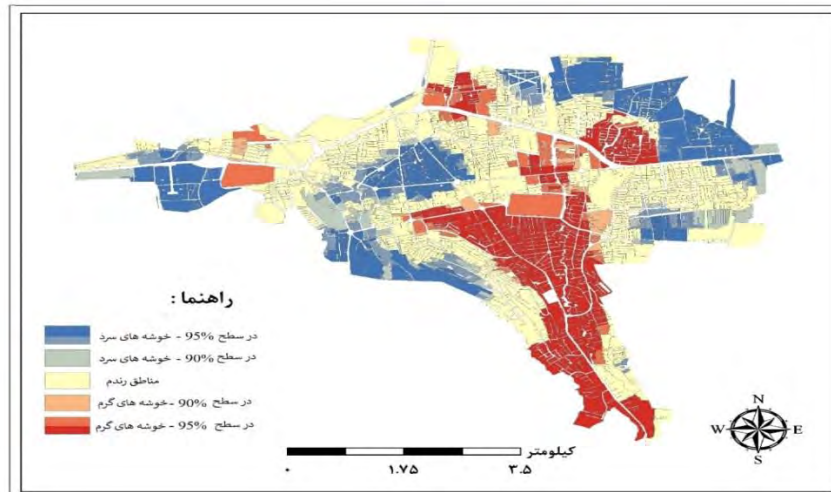
مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۸

این شهر در ۵۵ درجه و ۲۶ دقیقه طول شرقی و ۳۶ درجه و ۵۰ دقیقه عرض شمالی در دامنه شمال رشته‌کوه‌های البرز گسترده شده است. ارتفاع متوسط آن از سطح دریا ۱۵۵۵ متر است. گرگان کنونی تا سال ۱۳۱۶ «آسترآباد» یا «آسترآباد» نام داشت. گرگان دارای آب و هوای معتدل و اقلیم بسیار گوناگون و متنوع است و کوه، جنگل و چمنزار، جلگه و دشت، بیابان و شوره‌زار، دریا و خلیج، رودخانه و تالاب و زمین کشاورزی را در کنار هم جای داده است. جمعیت این شهر بنابر سرشماری سال ۱۳۹۵، ۳۲۹۵۳۶ نفر بوده است و دارای سه منطقه شهرداری است. یافته‌های پژوهش حاضر نشان‌دهنده آن است که، بر اساس مدل ویکور، پهنه‌های مرکزی و جنوب شهر گرگان از آسیب‌پذیری بیشتری برخوردارند. نتایج حاصل از تحلیل فضایی با استفاده از آماره فضایی Getis-Ord نیز تأییدکننده این مطلب هست. بر این اساس، شاخص مصالح ساختمانی با بیشترین وزن (۰/۴۵۲)، بیشترین میزان تأثیرپذیری و شاخص ریزدانی (مساحت قطعات) با وزن ۰/۱۲۶ کمترین تأثیر را در ارزیابی آسیب‌پذیری بلوک‌های شهر گرگان دارد. در نهایت، با مدل VIKOR بلوک‌ها به لحاظ آسیب‌پذیری سطح‌بندی شدند. نتایج نشان می‌دهد بیشترین میزان آسیب‌پذیری از لحاظ کالبدی مربوط به مناطق مرکزی و تا حدودی جنوبی شهر گرگان است و مناطق شرقی و غربی و تا حدودی شمال شهر از وضعیت بهتری در این شاخص برخوردارند (شکل ۲).

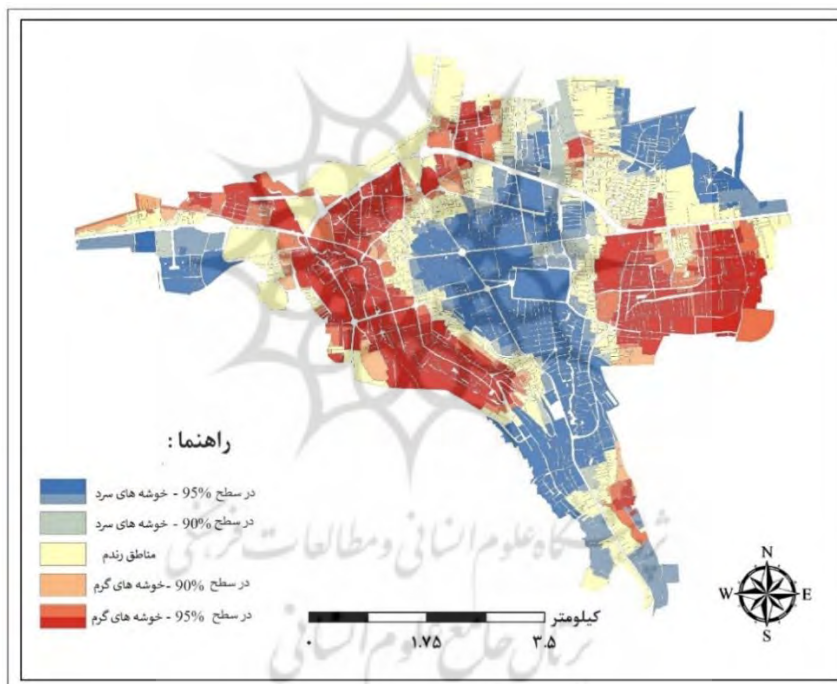


شکل ۲. آسیب‌پذیری بلوک‌های شهر گرگان در برابر زلزله استفاده از مدل VIKOR
 مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۸

بدین منظور، واحدهای شهری در پنج دسته شامل کمتر از ۷۵، ۷۵-۱۰۰، ۱۰۰-۲۰۰، ۲۰۰-۳۰۰، و بالای ۳۰۰ دسته‌بندی شده‌اند. به منظور شناسایی محدوده و موقعیت خوشه‌های مکانی با ارزش‌های بالا یا پایین از شاخص Getis-Ord استفاده شده است. تحلیل Hotspot به طور واضح شکاف بین مرکز را با سایر مناطق شهر گرگان نشان می‌دهد. چنانچه مناطق شرقی و غربی شهر گرگان از لحاظ آسیب‌پذیری در زمان زلزله در وضعیت نامناسبی قرار دارند و مناطق مرکزی و جنوبی شهر با توجه به اندازه بزرگ‌تر قطعات از آسیب‌پذیری کمتری در زمان زلزله برخوردارند. بنابراین، با توجه به آسیب‌پذیری بالاتر از میانگین مناطق شرقی و غربی شهر گرگان، نتایج مدل VIKOR نیز تأیید می‌شود. بر اساس معیار ریزدانی، بلوک‌های دارای ارزش‌های بالاتر از میانگین در مرکز و تا حدودی به طرف جنوب شهر قرار دارند و بلوک‌های دارای ارزش پایین‌تر از میانگین در شرق و غرب شهر گرگان قرار گرفته‌اند (شکل ۳).



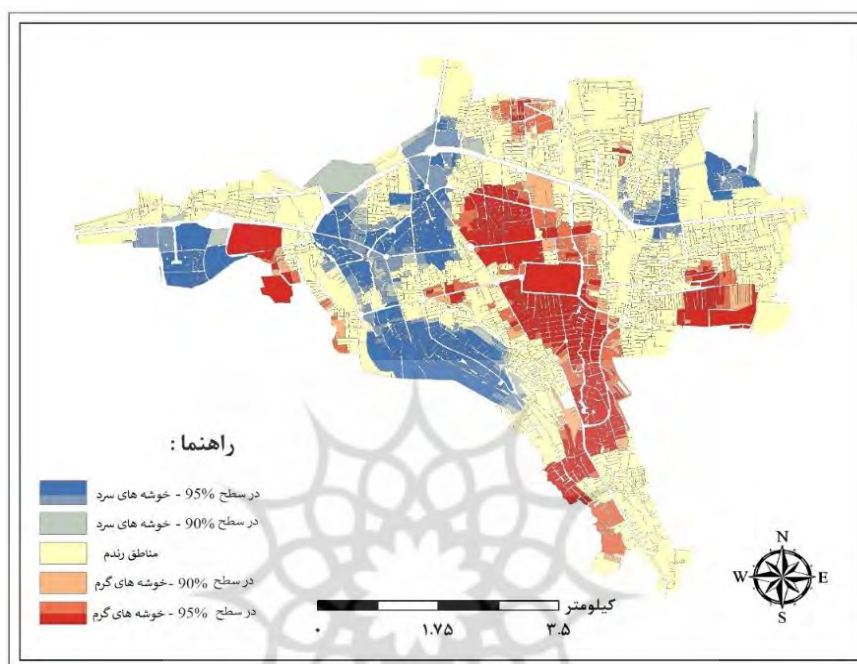
شکل ۳. خوشه‌های مطلوب و نامطلوب ریزدائگی بر اساس مدل Getis-Ord
 مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۸



شکل ۴. خوشه‌های مطلوب و نامطلوب تعداد طبقات بر اساس مدل Getis-Ord
 مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۸

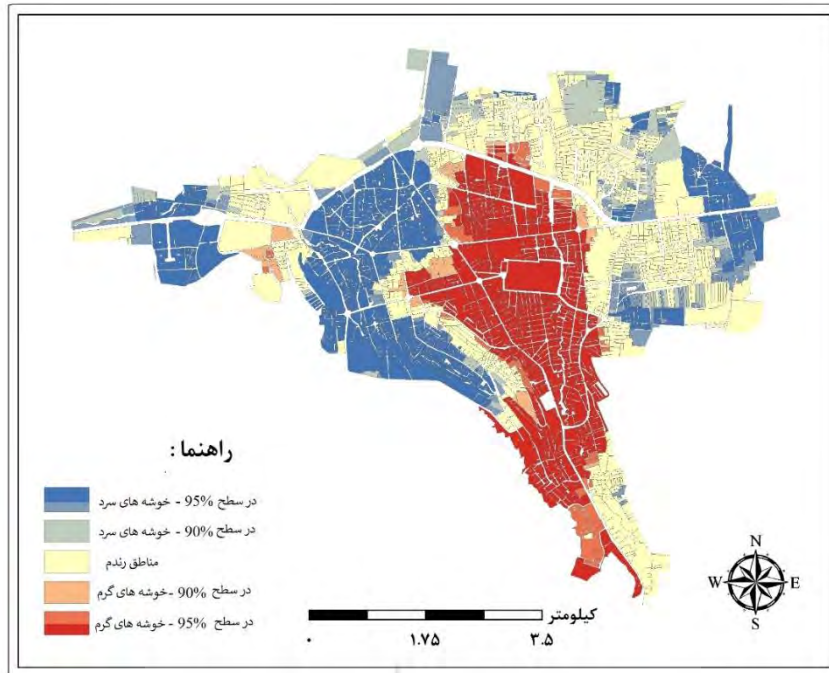
ساختمان‌های شهری به چهار دسته ساختمان‌های یک‌طبقه، دوطبقه، بیشتر از دوطبقه و کپر و چادر دسته‌بندی شده‌اند. تحلیل Hotspot به طور واضح شکاف بین مرکز را با سایر مناطق شهر گرگان نشان می‌دهد. در این شاخص مناطق شرقی و غربی شهر گرگان به دلیل ارتفاع کمتر ساختمان‌ها از لحاظ آسیب‌پذیری در زمان زلزله در وضعیت مناسب‌تری قرار دارند و مناطق مرکزی و جنوبی و تا حدودی شمال غربی شهر با توجه به ناپایداری و ارتفاع کمتر ساختمان‌ها از آسیب‌پذیری بیشتری در زمان زلزله برخوردارند. بنابراین، با توجه به آسیب‌پذیری کمتر از میانگین مناطق غربی و تا حدودی جنوب شرقی شهر، نتایج مدل VIKOR نیز تأیید می‌شود. مناطق دارای ارزش‌های پایین‌تر از میانگین یعنی ساختمان‌هایی با ارتفاع بیشتر در مرکز و تا حدودی به طرف جنوب و شمال شرقی شهر قرار دارند و بلوک‌ها دارای

ارزش بالاتر از میانگین در شرق و غرب شهر گرگان قرار گرفته‌اند (شکل ۴). ساختمان‌های شهری به چهار دسته کمتر از ۱۰ سال، ۱۰ تا ۲۰ سال، ۲۰ تا ۳۰ سال، و بیش از ۳۰ سال دسته‌بندی شده‌اند. تحلیل Hotspot به طور واضح شکاف بین مرکز، جنوب، و تا حدودی جنوب شرق را با سایر مناطق شهر گرگان نشان می‌دهد. در این شاخص مناطق غربی و تا حدودی شمال شرقی شهر گرگان به دلیل قدمت بیشتر ساختمان‌های شهری از لحاظ آسیب‌پذیری در زمان زلزله در وضعیت نامناسب‌تری قرار دارند و مناطق مرکزی و جنوبی و تا حدودی شمال غربی شهر با توجه به قدمت کمتر ساختمان‌ها از آسیب‌پذیری کمتری در زمان زلزله برخوردارند.

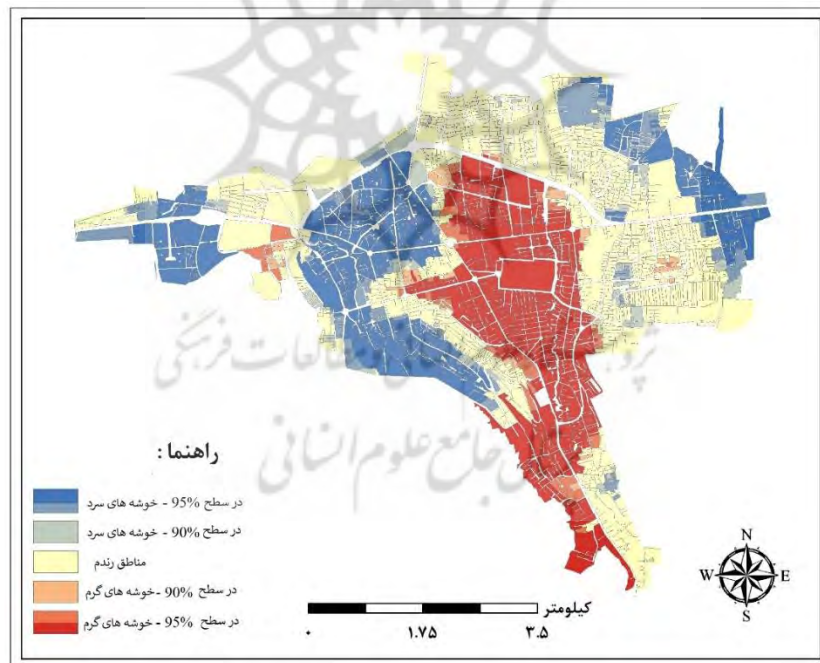


شکل ۵. خوشه‌های مطلوب و نامطلوب قدمت ابنیه بر اساس مدل Getis-Ord
مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۸

بنابراین، با توجه به آسیب‌پذیری کمتر از میانگین مناطق غربی و تا حدودی جنوب شرقی شهر نتایج مدل VIKOR نیز تأیید می‌شود. مناطق دارای ارزش‌های پایین‌تر از میانگین یعنی ساختمان‌هایی با قدمت بیشتر در مرکز و تا حدودی به طرف جنوب و شمال شرقی شهر قرار دارند و بلوک‌های دارای ارزش بالاتر از میانگین در شرق و غرب شهر گرگان قرار گرفته‌اند (شکل ۵). نتایج پژوهش تأکید می‌کند ساختمان‌های شهری به پنج دسته - بتن آرمه، اسکلت فلزی، آجر، آهن و سنگ، بلوک و چوب، و خشت و چوب- دسته‌بندی شده‌اند. تحلیل Hotspot به طور واضح شکاف بین مرکز و جنوب را با سایر مناطق شهر گرگان نشان می‌دهد. در این شاخص مناطق غربی و شرقی شهر گرگان، به دلیل کیفیت پایین‌تر مصالح ساختمانی، ساختمان‌های شهری از لحاظ آسیب‌پذیری در زمان زلزله در وضعیت نامناسب‌تری قرار دارند و مناطق مرکزی و جنوبی و تا حدودی شمال غربی شهر با توجه به کیفیت بالاتر مصالح ساختمانی، ساختمان‌ها از آسیب‌پذیری کمتری در زمان زلزله برخوردارند. بنابراین، با توجه به آسیب‌پذیری کمتر از میانگین مناطق غربی و تا حدودی جنوبی شهر نتایج مدل VIKOR نیز تأیید می‌شود. مناطق دارای ارزش‌های پایین‌تر از میانگین یعنی ساختمان‌هایی با کیفیت بالاتر مصالح ساختمانی در مرکز و تا حدودی جنوب شهر قرار دارند و بلوک‌های دارای ارزش پایین‌تر از میانگین در شرق و غرب شهر گرگان قرار گرفته‌اند (شکل ۶).



شکل ۶. خوشه‌های مطلوب و نامطلوب مصالح ساختمانی بر اساس مدل Getis-Ord
 مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۸



شکل ۷. خوشه‌های مطلوب و نامطلوب کالبدی شهر گرگان بر اساس مدل Getis-Ord
 مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۸

ساختمان‌های شهری با توجه به چهار شاخص- ریزدانی قطعات، ارتفاع ساختمان‌ها، مصالح ساختمانی، و قدمت ابنیه- دسته‌بندی شده‌اند. تحلیل Hotspot به طور واضح شکاف بین مرکز و جنوب را با سایر مناطق شهر گرگان نشان می‌دهد. مناطق غربی و شرقی شهر گرگان با توجه به ویژگی‌های کالبدی از لحاظ آسیب‌پذیری در زمان زلزله در وضعیت نامناسب‌تری قرار دارند و مناطق مرکزی و جنوبی شهر با توجه به ویژگی‌های کالبدی ابنیه از آسیب‌پذیری کمتری در

زمان زلزله برخوردارند. بنابراین، با توجه به آسیب‌پذیری کمتر از میانگین مناطق مرکزی و تا حدودی جنوبی شهر، نتایج مدل VIKOR نیز تأیید می‌شود. مناطق دارای ارزش‌های پایین‌تر از میانگین یعنی ساختمان‌هایی با کیفیت بالاتر در مرکز و تا حدودی جنوب شهر قرار دارند و بلوک‌های دارای ارزش پایین‌تر از میانگین در شرق و غرب شهر گرگان قرار گرفته‌اند (شکل ۷).

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

پژوهش‌هایی نظیر رودانس و همکاران (۲۰۱۸)، روسیدی و رحماوتی (۲۰۱۷)، یانوس و همکاران (۲۰۱۷)، کوشه و همکاران (۲۰۱۷)، مهربان مطلق و معتمدی (۱۳۹۷)، و پیوسته‌گر و همکاران (۱۳۹۶) عمدتاً بر پهنه‌بندی مکان‌های آسیب‌پذیر در شهرهایی نظیر پالو، بخارست، کارونگا، و امامزاده حسن تهران پرداخته‌اند.

با وجود این، در پژوهش حاضر، علاوه بر پهنه‌بندی، به تحلیل مکانی پهنه‌های آسیب‌پذیر شهر گرگان و تعیین خوشه‌ها نیز توجه شده است. با تحلیل تطبیقی آسیب‌پذیری در شهر گرگان می‌توان نتیجه گرفت:

- منطقه مرکزی نسبت به منطقه پیرامونی شهر گرگان از واحدهای مسکونی کمتری برخوردار است؛
- ساختمان‌های بخش مرکزی از قدمتی بیشتری برخوردارند؛
- ساختمان‌های بخش پیرامونی نسبت به مرکزی از ارتفاع بیشتری برخوردارند؛
- همچنین، ساختمان‌های بخش پیرامونی از لحاظ دسترسی به معابر وضعیت بهتری دارند و نسبت به بخش مرکزی شهر گرگان عریض‌ترند؛

- در مجموع، میزان آسیب‌پذیری ساختمان‌های بخش پیرامونی نسبت به بخش مرکزی شهر گرگان کمتر است. در این راستا توجه به پیشنهادهای زیر الزامی است:

- احداث مراکز مدیریت بحران و خدمات اضطراری در غرب و شرق شهر؛
- ایجاد سازوکار مناسب برای دستیابی به مدیریت یکپارچه شهری در مدیریت بحران در شهر گرگان؛
- جلوگیری از تراکم‌فروشی به خصوص در پهنه‌های پُرخطر؛
- بازگشایی معابر تنگ و پُرخطر؛
- اعطای بسته‌های تشویقی برای مقاوم‌سازی ساختمان‌های فرسوده توسط دولت و شهرداری.

منابع

۱. ایمانی، بهرام؛ کانونی، رضا؛ بی‌نیاز، محمد و عالی‌محمدی، احمد، ۱۳۹۵، راهبردهای کاهش آسیب‌پذیری بافت‌های فرسوده در برابر زلزله، مطالعه موردی: محله امامزاده حسن تهران، فصل‌نامه باغ نظر، دوره ۱۳، ش ۳۹، صص ۶۷-۸۲.
۲. بزی، خدارحم؛ صادقی، نوشین؛ خواجه شاهکویی، علیرضا و رضایی، حامد، ۱۳۹۶، تحلیل و برآورد آسیب‌پذیری مسکن شهری در برابر زلزله (مطالعه موردی: شهر گرگان)، مجله آمایش جغرافیایی فضا، دوره ۷، ش ۲۵، صص ۷۳-۸۸.
۳. پیوسته‌گر، یعقوب؛ محمدی‌دوست، سلیمان؛ حیدری، علی‌اکبر و مشکسار، پریسا، ۱۳۹۶، ارزیابی و سنجش آسیب‌پذیری بافت فرسوده شهری کلان‌شهر شیراز در برابر زلزله با بهره‌گیری از AHP، فصل‌نامه جغرافیا (برنامه‌ریزی منطقه‌ای)، دوره ۸، ش ۱، صص ۳۳-۵۶.
۴. زنگی‌آبادی، علی؛ قائد رحمتی، صفر و سلطانی، لیلی، ۱۳۹۱، برنامه‌ریزی مدیریت بحران زلزله در شهرها، مشهد: شریعه توس.
۵. صیامی، قدیر؛ لطیفی، غلامرضا؛ تقی‌نژاد، کاظم و زاهدی کلانکی، ابراهیم، ۱۳۹۲، آسیب‌پذیری پدافندی ساختار شهری با استفاده از تحلیل سلسله‌مراتبی AHP و GIS، مطالعه موردی: شهر گرگان، مجله آمایش جغرافیایی فضا (فصل‌نامه علمی - پژوهشی دانشگاه گلستان)، دوره ۳، ش ۱۰، صص ۲۱-۴۲.
۶. قدیری، محمود، ۱۳۹۴، عوامل اجتماعی - اقتصادی مؤثر بر میزان آسیب‌پذیری بافت مسکونی شهر تهران در برابر زلزله، فصل‌نامه فضای جغرافیایی، دوره ۱۵، ش ۵۱، صص ۲۴۱-۲۶۲.
۷. مهدنژاد، حافظ، ۱۳۹۴، سنجش و تحلیل مکانی گسترده‌های فقر شهری (مورد مطالعه: شهر ورامین)، پایان‌نامه برای دریافت مدرک دکتری، رشته جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران، تهران.
۸. مهدویان، عباس، ۱۳۹۲، پهنه‌بندی لرزه‌ای استان گلستان. نشریه علوم زمین، ش ۸۹، صص ۱۶۵-۱۷۴.
۹. مهربان مطلق، هادی و معتمدی، محمد، ۱۳۹۷، تحلیل میزان آسیب‌پذیری بافت‌های فیزیکی - کالبدی شهر بجنورد در مقابل مخاطرات طبیعی (با تأکید بر زلزله)، فصل‌نامه دانش انتظامی خراسان شمالی، دوره ۵، ش ۱۷، صص ۶۷-۸۲.
10. Armas, I.; Toma-Danila, D.; Ionescu, R. and Gavris, A., 2017, Vulnerability to Earthquake Hazard: Bucharest Case Study, *Romania. Int J Disaster Risk Sci*, No. 8, PP. 182-195.
11. Berquist, M.; Daniere, A. and Drummond, L., 2014, Planning for global environmental change in Bangkok's informal settlements. *Journal of environmental planning and management*, Vol. 58, No. 10, PP. 1711-1730.
12. Ghadiri, M., 2015, Socio- economic Factors in Residential Vulnerability to Earthquake in Tehran City, *Journal of Geographic Space*, Volume 15, Issue 51, pp. 241-262.
13. Gharakhlou, M., 2009, *Crisis risk in urban slum*. CAG, ETAVA, PP. 25-31.
14. Ianoş, I.; Merciu, G.L.; Merciu, C. and Pomeroy, G., 2017, Mapping Accessibility in the Historic Urban Center of Bucharest for Earthquake Hazard Response. *Natural Hazards Earth System Science*, No. 13, PP. 1-24.
15. Imani, B.; Kanoni, R.; Biniiaz, M. and Ali Mohammadi, A., 2016, Strategies to reduce the vulnerability of worn tissues to earthquakes (case study: Imamzadeh Hassan neighborhood of Tehran), *Bagh-e Nazar Journal*, Volume 13, Issue 39, pp. 67- 82.
16. Jain, G., 2015, The role of private sector for reducing disaster risk in large scale infrastructure and real estate development: Case of Delhi. *Environment & Urbanization*, Vol. 23, No. 2, PP. 238-255.
17. khodarahm, b.; Sadeghi, N.; Khajeh Shakhkouei, A. and Rezaei, H., 1396, An Analysis of Vulnerability Indicators of Urban Settlements Against Earthquake (Case Study: Gorgan City), *Geographical Planning of Space Quarterly Journal*, Volume 7, Issue 25, pp. 73-88.
18. Kushe, J.; Manda, M.; Mdala, H. and Wanda, E., 2017, The earthquake/seismic risk, vulnerability and capacity profile for Karonga town. *African Journal of Environmental Science and Technology*, Vol.

- 11, No. 1, PP. 19-32.
19. Mahdavian, A., 2013, Seismic zonation of Golestan province. *Journal of GeoScience*, Vol. 23(89), pp. 165-174.
20. Mahdnezhad, H., 2015, *Assessment and Spatial Analysis of Urban Poverty Areas (Case Study: Varamin)*, Thesis for PhD, Geography and Urban Planning, Faculty of Geography, University of Tehran, Tehran.
21. Malladi, V. P. T., 2012, *Earthquake Building Vulnerability and Damage Assessment with Reference to Sikkim Earthquake 2011*. Master of Science in Geo-information Science and Earth Observation, Faculty of Geo-information Science and Earth Observation, Twente: University of Twente.
22. Mayunga, J. S., 2008, Understanding and Applying the Concept of Community Disaster Resilience: A capital-based approach. *Paper prepared for the summer academy for social vulnerability and resilience building*, 22 -28 July 2007, Munich, Germany.
23. Mehraban Motlagh, H. and Motamedi, M., 1397, Analyzing the Level of Vulnerability of Bojnourd City's Spatio-Physical Texture against the Natural Hazards (with special reference on earthquake), *Quarterly Journal of North Khorasan Police Science*, Volume 5, Issue 17, pp. 67-82.
24. Peyvastehgar, Y., Mohammadidoost, S.; Heydari, A. A. and Meshksar, P., 2017, Assessing the vulnerability of urban distressed areas of the metropolis Shiraz against earthquakes using Analytical Hierarchy Process (AHP), *Quarterly of Geography (Regional Planning)*, Volume 8, Issue 1, pp. 33-56.
25. Pickett, S. T. A.; Burch, W. R.; Jr. Dalton, S. D. and Foresman, T. W., 1997, Integrated urban ecosystem research. *Urban Ecosystems*, No. 1, PP. 183-184.
26. Prüfung, T. D. M., 2014, *Exploring Social Vulnerability to Natural Disasters in Urban Settlements- Perspectives Flooding in the Slums of Lagos*. Lagos: Universität zu Köln.
27. Ródenas, J. L.; García-Ayllón, S. and Tomás, A., 2018, Estimation of the Buildings Seismic Vulnerability: A Methodological Proposal for Planning Ante-Earthquake Scenarios in Urban Areas. *Applied Sciences*, Vol. 1208, No. 8, PP. 2-17.
28. Ruitter, M. C.; Ward, P. J.; Daniell, J. E. and Aerts, J. C. J. H., 2017, A comparison of flood and earthquake vulnerability assessment indicators. *Natural Hazards Earth System Science*, No. 17, PP. 1231-1251.
29. Rusydi, H. and Rahmawati, R. E., 2017, Vulnerability zoning of earthquake disaster of Palu. *International Journal of Science and Applied Science: Conference Series*, Vol. 1, No. 2, PP. 137-143.
30. Siami, Gh.; Latifi, Gh.; Taghinezhad, K. and Zahedi Kalaki, E., 2013, Pathology of Defensive Urban Structure using Analytical Hierarchy Process AHP and GIS. Case Study: Gorgan, *Geographical Planning of Space Quarterly Journal*, Volume 3, Issue 10, pp. 21-42.
31. Schütte, S., 2004, *Urban Vulnerability in Afghanistan: Case Studies from Three Cities*. Kabul: Afghanistan Research and Evaluation Unit.
32. Thinda, T. K. A., 2009, *Community-Based Hazard and Vulnerability Assessment: A case study in Lusaka Informal Settlement, City of Tshwane, Degree of Masters in Disaster Risk Management*. University of the Free State, Faculty of Natural and Agricultural Science Centre for Disaster Risk Management Education and Training for Africa.
33. Tromeur, E.; Menard, R.I Bailly, J. B. and Soulie, C., 2012, Urban vulnerability and resilience within the context of climate change. *Hazards Earth Syst*, No. 12, PP. 1811-1821.
34. World Bank (WB)., 2010, *Natural hazards, unnatural disasters: the economics of effective prevention*. Washington: The International Bank for Reconstruction and Development.
35. Zangiabadi, A.; Ghaed Rahmati, S. and Soltani, L., 2012, *Planning for Earthquake Crisis Management in Cities*, Mashhad: Sharia Toos.