

مجله مخاطرات محیط طبیعی، دوره هفتم، شماره ۱۶، تابستان ۱۳۹۷

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۵/۱۰/۰۸

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۶/۰۴/۰۹

صفحات: ۱۲۶ - ۱۰۵

ارزیابی میزان آسیب‌پذیری محدوده شهری کاشان در برابر خطر زلزله با استفاده از مدل IHPW

لیلا گلی مختاری^{۱*}، علی شکاری بادی^۲، زهرا بشکنی^۳

چکیده

کشور ایران بر روی کمربند زلزله‌ی آلیپاید قرار دارد که حدود ۲۱ درصد از کل زلزله‌های جهان در این محدوده‌ی جغرافیایی به وقوع می‌پیوندد، بنابراین، میزان آسیب‌پذیری فیزیکی و انسانی ناشی از زلزله در ایران بسیار زیاد است. با توجه به افزایش روز افزون تراکم جمعیت در شهرها، ضروری است که برای کاهش خسارات جانی و مالی در هنگام وقوع زلزله و پس از آن، مطالعات لازم برای شناسایی میزان آسیب‌پذیری شهرها در برابر زلزله را انجام داد. پژوهش حاضر با هدف ارزیابی آسیب‌پذیری محدوده شهری کاشان در برابر خطر زمین‌لرزه صورت پذیرفته است. در این تحقیق با روش تحلیلی - توصیفی، از فرایند سلسله مراتبی معکوس (IHWP) و نرم‌افزار سیستم اطلاعات جغرافیایی (Arc GIS 10.3) برای سنجش میزان آسیب‌پذیری استفاده شده است. شاخص‌های موثر در آسیب‌پذیری که در پژوهش حاضر به کار گرفته شده عبارتند از: تراکم جمعیتی، کیفیت ابنیه، تعداد طبقات، فاصله از گسل، کانون زلزله، حداکثر شتاب زمین (PGA)، فاصله سکونتگاه‌ها از فضای باز، دانه‌بندی بافت (فضای باز شهری)، فاصله از مراکز درمانی، فاصله از مراکز و تاسیسات خطرزا، عمق سطح ایستابی و کاربری اراضی. نتایج تحقیق نشان می‌دهد ۳۰ درصد محدوده شهری کاشان شامل نواحی خزاق (ناحیه ۸)، راوند (ناحیه ۶) و طاهرآباد (ناحیه ۷) واقع در در شمال غرب با خطر آسیب‌پذیری بالا و بسیار بالا مواجه است از طرفی دیگر، در نواحی بازار (ناحیه ۱۰)، دشت افروز (ناحیه ۳) و شاهد (ناحیه ۲) خطر آسیب‌پذیری به شدت کاهش پیدا می‌کند. بنابراین، این مناطق می‌تواند برای اسکان موقت پس از زمین‌لرزه و یا توسعه‌ی آتی شهر مناسب باشد. در نهایت، پیشنهاد می‌شود برای کاهش تلفات و خسارات ناشی از زلزله به مقاوم‌سازی ساختمان‌های موجود و طراحی اصولی و صحیح بناهای در حال ساخت توجه ویژه شود و از گسترش شهر در مناطق آسیب‌پذیر جلوگیری گردد.

واژگان کلیدی: آسیب‌پذیری، زلزله، IHPW، GIS، شهر کاشان.

L.mokhtari@hsu.ac.ir

ali.shekaryb70@gmail.com

z.beshkani1374@gmail.com

^۱- استادیار ژئومورفولوژی، دانشکده جغرافیا و علوم محیطی، دانشگاه حکیم سبزواری (نویسنده مسئول)

^۲- دانشجوی کارشناسی ارشد هیدروژئومورفولوژی در برنامه‌ریزی محیطی، دانشگاه حکیم سبزواری

^۳- دانشجوی کارشناسی ژئومورفولوژی، دانشکده جغرافیا و علوم محیطی، دانشگاه حکیم سبزواری

مقدمه

خطر زلزله، به مجموعه شرایط ژئوفیزیکی طبیعی که در اثر جابه‌جایی، حرکت و لغزش زمین که صرف نظر از فعالیت انسان به وجود می‌آیند اشاره دارد (فروغی و حیدری‌نژاد، ۱۳۸۹). بر اساس گزارش سازمان ملل، در سال ۲۰۰۳ میلادی، کشور ایران در بین کشورهای جهان رتبه نخست را در تعداد زلزله‌های با شدت بالای ۵/۵ ریشتر و یکی از بالاترین رتبه‌ها را در زمینه آسیب‌پذیری از زلزله و تعداد افراد کشته شده در اثر این سانحه، داشته است (امینی و همکاران، ۱۳۹۰). کشور ایران بر روی کمربند زلزله‌ی آلپاید قرار دارد که حدود ۲۱ درصد از کل زلزله‌های جهان در این محدوده‌ی جغرافیایی به وقوع می‌پیوندد (صیادی و همکاران، ۱۳۹۰). عامل فراوانی زمین‌لرزه‌ها در ایران، بازشدگی دریای سرخ (۱/۵ تا ۲ سانتی‌متر در سال) و حرکت صفحه آفریقا - عربستان در راستای شمال و یا شمال - شمال خاوری و همچنین حرکت صفحه هند در راستای شمال یا شمال - شمال باختری است. مطالعات GPS انجام‌شده نیز نشان‌دهنده کوتاه‌شدگی فلات ایران بین دو فلات عربستان و اوراسیا (۲۰ میلی‌متر در سال) است (فتاحی و همکاران، ۱۳۹۰).

امروزه، اغلب جمعیت جهان در مناطق شهری زندگی می‌کنند. اگر روند رشد کنونی ادامه پیدا کند، نسبت جمعیت ساکنان شهری به دو سوم جمعیت جهان رسیده و تا سال ۲۰۳۰ زمین به مناطق شهری تبدیل خواهد شد. شهرهای آسیایی در طول ۲۰ سال آینده دو برابر شده و بیش از ۴۰ میلیون نفر در سال به آن اضافه خواهد شد (Azami et al., 2015). این فرآیند، آسیب‌پذیری نسبت به مخاطرات طبیعی را به واسطه تمرکز انسان و تملک‌هایش در شهرها افزایش می‌دهد (قائدرحمتی و همکاران، ۱۳۹۰). با افزایش وقوع سوانح طبیعی به‌ویژه زلزله در سده‌های اخیر در نقاط مختلف جهان و به تبع آن افزایش تلفات، خسارات و آسیب‌های ناشی از سوانح، افزایش مقاومت و آمادگی در برابر این بلاها از اهمیت خاصی برخوردار شده است (زنگی‌آبادی و همکاران، ۱۳۸۸). آسیب‌پذیری به‌عنوان مجموعه‌ای از شرایط تعیین شده توسط عوامل یا فرآیندهای فیزیکی، اجتماعی، اقتصادی و زیست‌محیطی که باعث افزایش آمادگی یک جامعه برای تأثیرپذیری از مخاطرات می‌شود، تعریف می‌گردد (Yumarnia et al., 2014). آسیب‌پذیری به‌عنوان درجه‌ای که یک سیستم، یا بخشی از یک سیستم، در طول وقوع یک رویداد خطرناک ممکن است واکنش منفی نشان دهد، تعریف شده است (PROAG, 2014). آسیب‌پذیری شهری در مقابل حوادث طبیعی مانند زمین‌لرزه تابعی از رفتارهای انسانی می‌باشد که نشانگر درجه تأثیرپذیری یا قابلیت ایستادگی واحدهای اقتصادی، اجتماعی و دارایی‌های فیزیکی شهری در مقابل خطر طبیعی می‌باشد (شمس و همکاران، ۱۳۹۰؛ احدنژاد روشتی، ۱۳۸۹). آسیب‌پذیری‌های شهری در همه‌جا از زیرساخت‌ها و سازه‌ها تا سیستم‌های مخابرات، ترابری و خطوط انرژی مشخص است و کاهش آسیب‌پذیری‌ها در مقیاس شهر بسادگی مقاوم‌سازی ساختمان‌ها نیست (صالحی و همکاران، ۱۳۹۰). به عبارتی دیگر؛ دانش آسیب‌پذیری لرزه‌ای ساختمان‌ها زمانی بنیادی است که خطر زلزله، در برنامه‌ریزی فاجعه، در آماده‌سازی برای کاهش اثرات، برنامه‌های مقاوم‌سازی و در توسعه و بهبود اصول ساخت و ساز ارزیابی شود (Bessason & Bjarnason, 2016). از جمله راهکارهای آماده‌سازی سکونتگاه‌های شهری برای کاهش آسیب‌پذیری در برابر زلزله، تعیین مشخصات کالبدی (تیپ ساختمانی، ترکیب کالبدی قطعات و راه‌ها) و مشخصات عملکردی (نوع کاربری‌ها، تراکم جمعیتی) در هر یکی از مقیاس‌های شهری با توجه به میزان آسیب‌پذیری و محدودیت‌های مکان

طبیعی جهت افزایش امکانات گریز و پناه مردم (تیپ ساختمانی مناسب، تراکم ساختمانی کم، استفاده از راه‌ها به عنوان فضاهای گریز و پناه و...) می‌باشد (محمدی احمدیانی و همکاران، ۱۳۸۹). شهر کاشان به عنوان دومین شهر بزرگ استان اصفهان، در طول زمان در اثر وقوع زلزله‌های بزرگ تاریخی چندین مرتبه، بخشی از آن ویران و تخریب شده است که در ادامه به برخی از این زلزله‌های تاریخی اشاره خواهد شد. لذا ضروری است تا میزان آسیب‌پذیری و مقاومت شهر در برابر زلزله مورد ارزیابی و تجزیه و تحلیل قرار گیرد. در این راستا، تحقیق حاضر سعی دارد با بررسی وضعیت کالبدی شهر کاشان، میزان آمادگی این شهر را در برابر وقوع احتمالی زلزله مورد ارزیابی قرار دهد. لذا، تلاش شده است تا با اولویت‌بندی عوامل موثر در آسیب‌پذیری ناشی از زلزله و استفاده از مدل IHWP در محیط نرم‌افزاری GIS، به شناسایی بافت آسیب‌پذیر و نقاط پرخطر بر اساس تقسیمات نواحی ده‌گانه شهرداری پرداخته شود.

تاکنون تحقیقات گسترده‌ای در ارتباط با برآورد تلفات و خسارت شهرها در برابر مخاطره زلزله انجام گرفته است که هر یک از آن‌ها از مدل‌ها و روش‌های گوناگونی برای ارزیابی میزان آسیب‌پذیری استفاده نموده‌اند. برخی از این پژوهش‌ها در ایران و سایر کشورها عبارتند از:

کینزل^۱ و همکاران (۲۰۰۶) در پژوهشی با محوریت سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS)، به میکرو پهنه‌بندی مخاطره زلزله در شهر بخارست رومانی پرداختند. برای اولین بار، یک مدل زمین‌شناسی دیجیتال (DGM) زیرسطحی بخارست بر اساس ادغام داده‌های حاصل از حفاری متعدد و سیستم اطلاعات جغرافیایی به دست آمد. در تحقیق حاضر برای انجام محاسبات از نرم‌افزار مدل‌سازی خطی ProShake[®] و روش درونیابی استفاده شده است. از طریق تجزیه و تحلیل رگرسیون آماری بین خواص مختلف ژئوتکنیکی و پارامترهای مرتبط با خسارت‌های تاریخی، نتایج مهمی در رابطه با عوامل اصلی زمین‌شناسی مؤثر بر خسارات تاریخی مشاهده شده ناشی از زلزله به ساختمان‌ها، گرفته شده است.

ابرت^۲ و کرل^۳ (۲۰۰۸) آسیب‌پذیری اجتماعی شهر تگوسیگالپا^۴ در کشور هندوراس را با استفاده از تجزیه و تحلیل شی‌گرای سنجش از دور و داده‌های GIS مورد ارزیابی قرار دادند. بررسی وضعیت شهر از نقطه نظر مخاطرات طبیعی نشان داد که تجزیه و تحلیل داده‌های جغرافیایی مبتنی بر تقسیم‌بندی بافت می‌تواند در ارزیابی آسیب‌پذیری اجتماعی به طور قابل توجهی نقش داشته باشد و هنگامی که با اطلاعات موجود در این زمینه ترکیب شود منجر به بهینه‌سازی ارزیابی از نظر فرکانس ارزیابی و هزینه می‌شود.

اینل^۵ و همکاران (۲۰۰۸) ریسک لرزه‌ای ساختمان‌ها در مناطق شهری شهرستان دنیزلی ترکیه را با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) بررسی نمودند. ارزیابی وضعیت ساختمان‌های این شهرستان نتایج نشان داد که

1- Kienzle
2- Ebert
3- Kerle
4- Tegucigalpa
5- Inel

در مطالعات آینده، برای کاهش خطرات لرزه‌های بایستی به ترتیب ساختمان‌های ۶ طبقه و بیشتر، ساختمان‌های بنا شده قبل از ۱۹۷۵ و ساختمان‌های ۳ تا ۵ طبقه در اولویت قرار گیرند.

ساریس^۱ و همکاران (۲۰۱۰) به آسیب‌پذیری زلزله و ارزیابی ریسک لرزه‌ای در مناطق لرزه‌ای بالای شهر هانیا^۲ در جزیره کرت یونان با به‌کارگیری از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) پرداختند. نتایج پژوهش حاکی از آن است که نقشه خطر پیشنهادی و مدل مورد استفاده می‌تواند یک ابزار مهم برای مقابله با بحران ناشی از حوادث زلزله آینده شود.

ابو ال‌اِز^۳ و همکاران (۲۰۱۵) در ارزیابی خسارت ناشی از زلزله در شهر کبک کانادا از مدل توابع شکنندگی لرزه‌ای استفاده کردند. نتایج نشان می‌دهد که حدود ۶۱ درصد ساختمان‌های در نظر گرفته شده تا درجه معینی از آسیب را تحمل می‌کنند. در این پژوهش اثر عدم قطعیت در پیش‌بینی زلزله برای تخمین خسارت ارزیابی شده است.

خاکپور و همکاران (۱۳۹۰) به تحلیل آسیب‌پذیری فیزیکی - کالبدی منطقه ۹ شهر مشهد از لحاظ زلزله‌خیزی پرداختند. این تحقیق که با روش توصیفی - تحلیلی و همبستگی انجام شد، نشان داد خطر زلزله‌خیزی شهر مشهد متوسط بوده و ۷۰ درصد مساحت منطقه ۹ در پهنه‌های آسیب‌پذیر در برابر بلایای طبیعی قرار دارد.

فرج‌زاده اصل و همکاران (۱۳۹۰) آسیب‌پذیری مسکن شهری منطقه ۹ شهرداری تهران در برابر زلزله را با روش‌های مبتنی بر پایگاه اطلاعاتی و مدل TOPSIS Fuzzy ارزیابی کردند. نتایج حاکی از آسیب‌پذیر بودن منطقه ۹ در برابر زلزله و کارایی مدل تحقیق در ارزیابی آسیب‌پذیری می‌باشد.

حاتمی نژاد و همکاران (۱۳۹۳) در پژوهشی به ارزیابی و پهنه‌بندی لرزه‌ای شهر تبریز پرداختند. روش مورد استفاده در تحقیق منطق Fuzzy با تلفیق AHP و TOPSIS بود. نتایج نشان داد که مناطق شمالی شهر، بیشترین پهنه‌های خطرپذیری و مناطق جنوبی، کمترین میزان آن را دارد. همچنین مدل ارائه‌شده برای پهنه‌بندی خطرپذیری قابل استفاده است.

صیامی و همکاران (۱۳۹۴) آسیب‌شناسی لرزه‌ای شهر گرگان را مورد تجزیه و تحلیل قرار دادند. این پژوهش با استفاده از تحلیل سلسله مراتبی معکوس (IHWP) و GIS انجام گرفت. نتایج نشان داد که ساختمان‌های موجود در جنوب شهر نسبت به بقیه محدوده مورد مطالعه، دارای آسیب‌پذیری کمتری هستند. با حرکت از سمت جنوب به مرکز شهر، بر میزان آسیب‌پذیری افزوده می‌شود.

یاری حصار و ساربان وکیل (۱۳۹۵) نقش طرح‌های عمرانی را در کاهش آسیب‌پذیری روستاهای شهرستان ورزقان در مقابل بحران زلزله بررسی نمودند. روش تحقیق توصیفی-تحلیلی و داده‌ها با استفاده از SPSS و GIS مورد تحلیل قرار گرفت. از تعداد ۳۷۸۸ روستاییان آسیب دیده ناشی از بحران زلزله به عنوان جامعه آماری این تحقیق، تعداد ۳۵۱ نفر به عنوان نمونه آماری انتخاب شدند. ابزار تحقیق پرسش‌نامه محقق ساخته می‌باشد. نتایج یافته‌ها حاکی از

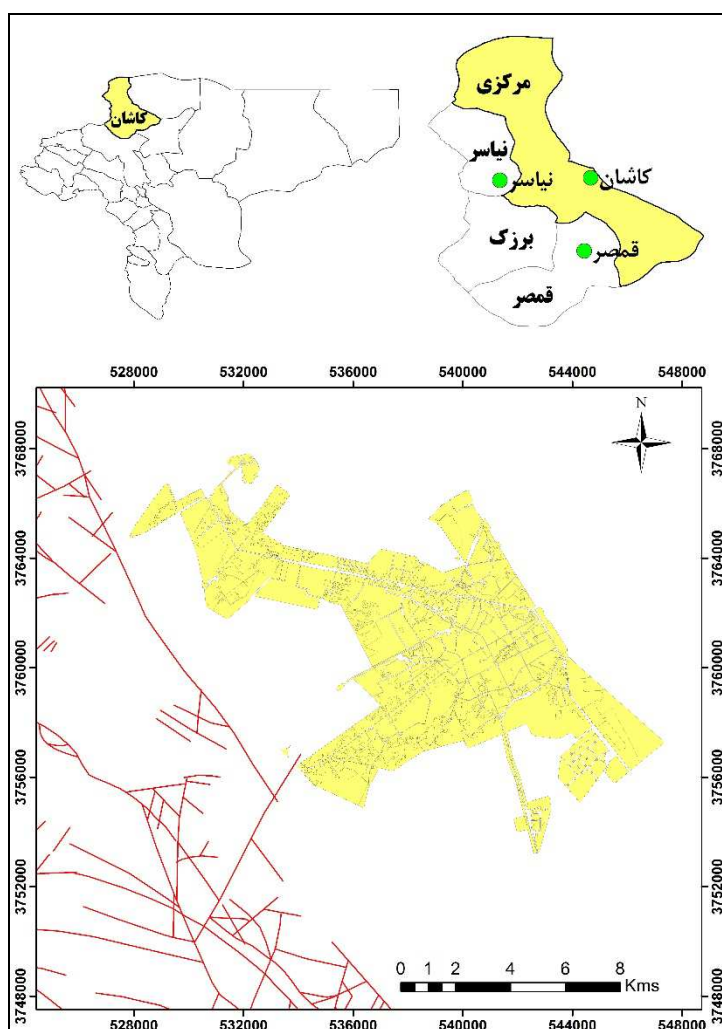
1- Sarris
2- Chania
3- Abo El Ezz

آن است که مولفه کالبدی بیش‌ترین نقش را در آسیب‌پذیری روستاهای نمونه داشته است و تحلیل تطبیقی اثرات زلزله در روستاهای دارا و فاقد طرح هادی روستایی بیانگر آن است که میزان آسیب‌های وارده در روستاهای دارای طرح هادی و به ویژه در روستاهایی که ساخت‌وسازهای جدید با استفاده از پروانه ساختمانی احداث گردیده بودند تا حدود بسیار زیادی کاهش یافته است.

زارع و همکاران (۱۳۹۵) میزان آسیب‌پذیری بافت فرسوده شهر مرودشت را در برابر زلزله ارزیابی نمودند. در این پژوهش تعداد ۹ شاخص از قبیل جنس سازه، قدمت بنا، کیفیت ساختمان‌ها، عرض معابر، تراکم جمعیت، فاصله از آتشنشانی، دسترسی به فضای باز و نزدیکی به مراکز درمانی تعریف شده و وزن‌دهی و اولویت‌بندی شاخص‌ها با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP) و نرم‌افزار Expert choict انجام شد. در انتها با استفاده از GIS، نقشه‌های آسیب‌پذیری بافت فرسوده مرودشت تهیه می‌شود. نتایج تحقیق نشانگر این است که شاخص کیفیت ساختمان‌ها بالاترین وزن و شاخص فاصله از آتش‌نشانی کمترین وزن نهایی را دارند. مناطق با آسیب‌پذیری بالا حدود ۳۲ درصد از مساحت بافت و آسیب‌پذیری متوسط ۳۱ درصد از بافت را در بر گرفته است.

منطقه مورد مطالعه

شهر کاشان با طول جغرافیایی ۵۱ درجه و ۲۷ دقیقه و عرض ۳۳ درجه و ۵۹ دقیقه عرض شمالی در شمال‌غرب استان اصفهان واقع شده است. این شهر با مساحت ۸۵۶۱ هکتار و ۲۷۵۳۲۵ نفر جمعیت در سرشماری عمومی نفوس و مسکن سال ۱۳۹۰، در حد فاصل بین ارتفاعات کرکس و دشت کویر قرار دارد. کاشان با ارتفاع ۹۴۵ متر از سطح دریا بر اساس تقسیم‌بندی اقلیمی کوپن، آب و هوای گرم و بیابانی دارد. شکل ۱ موقعیت جغرافیایی شهر کاشان را نمایش می‌دهد.



شکل ۱: منطقه مورد مطالعه

مهم‌ترین گسل موجود در نزدیکی شهر کاشان، گسل قم - زفره می‌باشد. این پهنه از شمال کاشان تا زفره به قطعه راوند، کاشان و زفره تقسیم شده است (جمالی و همکاران، ۱۳۸۷). داده‌های ارائه شده از زمین‌لرزه‌های تاریخی توسط آمبرسز و ملویل (۱۹۸۲) به زمین‌لرزه سال ۱۷۷۸ میلادی با ۸۰۰۰ کشته در کاشان و سال ۱۸۴۴ میلادی در قهرود با ۱۵۰۰ کشته اشاره می‌کند (قائدرحمتی و فاضل، ۱۳۹۳). یکی از حوادث ناگوار مربوط به وقوع زلزله در سال ۹۸۲ هجری یعنی دوران سلطنت شاه طهماسب اول صفوی است که موجب ویرانی و انهدام حدود سه‌هزار خانه و هلاکت حدود یک‌هزار و دویست نفر و بی‌خانمانی و آوارگی و مهاجرت عده زیادی از مردم شده است. در سده یازدهم و دوازدهم نیز چند زلزله مهم در کاشان و نواحی اطراف آن وقوع یافته و در نتیجه جمع کثیری را از میان برده است (نیکوهمت، ۱۳۵۸). به این ترتیب، سوابق لرزه‌خیزی حکایت از آسیب‌پذیری شهر کاشان دارد.

زمین‌لرزه‌هایی که در کشور ایران رخ می‌دهند، معمولاً سطحی و کم‌عمق (حدود ۳۲ کیلومتر) هستند. به همین علت، زلزله‌ها غالباً قدرت تخریبی بالایی دارند. سطحی بودن عمق زمین‌لرزه‌ها و بافت فرسوده و قدیمی سکونتگاه‌های انسانی باعث شده با وقوع زمین‌لرزه‌های متوسط و حتی کوچک مقیاس نیز، خسارت‌های فراوانی به وجود آید (کریمی و همکاران، ۱۳۸۷).

داده‌ها و روش‌ها

پژوهش حاضر با روش تحلیلی - توصیفی انجام گرفته و بر اساس هدف پژوهش، از نوع کاربردی می‌باشد. برای دستیابی به اطلاعات مورد نیاز از منابع کتابخانه‌ای اعم از کتب، مقالات، گزارشات و طرح جامع شهر کاشان استفاده گردید. لایه‌های اطلاعاتی به کار گرفته شده در تحقیق حاضر از طرح توسعه و عمران (جامع) شهر کاشان، نقشه زمین‌شناسی کاشان با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰، اطلاعات آب‌های زیرزمینی امور آب منطقه‌ای کل استان اصفهان و نقشه کاربری اراضی شهرستان استخراج شده است. تمامی پردازش‌های مربوط به داده‌ها در محیط نرم‌افزاری ArcGIS 10.3 و محاسبات کمی آن در محیط نرم‌افزاری Excel 2013 انجام گرفته است. جامعه آماری تحقیق، محدوده شهری کاشان با مساحت ۸۵۶۱ هکتار و ۲۷۵۳۲۵ نفر جمعیت می‌باشد.

ادبیات آسیب‌پذیری مجموعه‌ای از شاخص‌ها و ویژگی‌ها را شامل می‌شود اما چگونگی درک آن به پیچیدگی مشکلات دخیل در اندازه‌گیری آسیب‌پذیری مشروط شده است (Armas & Gavris, 2013). ارزیابی آسیب‌پذیری سکونتگاه‌های انسانی با روش‌ها و مدل‌های مختلفی امکان‌پذیر است. در این پژوهش، آسیب‌پذیری شهر کاشان با استفاده از مدل سلسله مراتبی معکوس (IHPW) ارزیابی گردیده است. این مدل ترکیبی از منطق فازی و روش فرآیند سلسله مراتبی (AHP) است که اولین بار در پایان‌نامه دکتری کیومرث حبیبی (۱۳۸۵) استفاده شد (زنگی‌آبادی و همکاران، ۱۳۹۲). به کارگیری روش IHWP در ۵ مرحله انجام می‌گیرد:

مرحله اول: انتخاب عوامل موثر در آسیب‌پذیری و تعیین ماتریس داده‌ها

با مطالعه ادبیات پژوهش و آثار دیگر پژوهشگران، مهم‌ترین عوامل موثر در آسیب‌پذیری منطقه شهری کاشان مشخص گردید. سپس با توجه به داده‌های توصیفی موجود در پارسل شهری کاشان ۱۲ شاخص شامل: تراکم جمعیتی، کیفیت ابنیه، تعداد طبقات، فاصله از گسل، کانون زلزله، حداکثر شتاب زمین (PGA)، فاصله سکونتگاه‌ها از فضای باز، دانه‌بندی بافت (فضای باز شهری)، فاصله از مراکز درمانی، فاصله از مراکز و تاسیسات خطرزا، عمق سطح ایستابی، کاربری اراضی انتخاب شد. ماتریس داده‌ها نیز بر اساس شاخص‌های منتخب تشکیل شد.

مرحله دوم: تعیین اهمیت و رتبه داده‌ها

در این تحقیق، وزن‌دهی اولیه شاخص‌ها بر مبنای اوزان اختصاص یافته به داده‌ها در پژوهش‌های قبلی انجام گرفت سپس با استفاده از ابزار پرسش‌نامه و مصاحبه با اساتید وزن نهایی هر عامل تعیین گردید. عوامل موثر در کلاس‌های

مختلف و با درجه اهمیت متفاوت بر اساس روش دلفی وزن دهی شدند. روش دلفی توسط اولاف هلمر^۱، نیکلاس ریسچر^۲ و نورمن دالکی^۳ در موسسه رند ابداع شد این روش برای ارزیابی ظهور موضوعات جدید و مواردی که می‌توانند به صورت کاملاً خلاصه بیان شوند، قابل اجراست. روش اجرای دلفی شامل یک پیمایش دو یا چند دوری است که در دور اول، نظرات کارشناسان خبره و اهل فن در زمینه مورد تحقیق دریافت می‌شود. در دور دوم، نتایج دور اول در دسترس مشارکت‌کنندگان قرار می‌گیرد بطوریکه آن‌ها بتوانند در صورت تمایل ارزیابی‌های اولیه خود را تعدیل کنند یا به نظرات قبلی خود مطالبی اضافه نمایند (ترابی و مهدی‌نژاد، ۱۳۹۱). با توجه به نظرات کارشناسان، عامل تراکم جمعیتی با امتیاز ۹ بیشترین اهمیت و شاخص کاربری اراضی با امتیاز ۱ کم‌ترین اهمیت را دریافت نمود. برخی شاخص‌ها که طبق نظر کارشناسان دارای اهمیت یکسان بودند، با امتیاز مشابه در یک سطح قرار گرفتند.

مرحله سوم: تعیین مبانی نظری و فروض وزن دهی

در این مرحله برای ۱۲ متغیر تحقیق فروضی مورد بررسی قرار می‌گیرد. به عنوان مثال در شاخص تراکم جمعیت با افزایش تراکم میزان آسیب‌پذیری افزایش پیدا می‌کند، هر چه فاصله از گسل‌ها بیشتر باشد میزان آسیب‌پذیری کاهش پیدا می‌کند، دوری یا نزدیکی از فضاهای باز شهری و بی‌کالبد در هنگام بحران‌های شهری می‌تواند تاثیر مستقیم در کاهش یا افزایش آسیب‌پذیری داشته باشد. به همین ترتیب برای تمامی متغیرها چنین معادلاتی قابل فرض می‌باشد.

مرحله سوم: محاسبه وزن معیارها و زیرمعیارها

ارزش‌گذاری لایه‌های اطلاعاتی از طریق دو رابطه انجام می‌گیرد. در رابطه اول امتیاز اولیه هر شاخص محاسبه می‌شود و در معادله‌ی دوم ارزش هر زیرمعیار تعیین می‌شود. معادلات مورد استفاده در روش سلسله مراتبی معکوس به شرح زیر است (صیامی و همکاران، ۱۳۹۴).

$$X = D / N \quad (1)$$

که در این رابطه، X امتیاز اولیه هر شاخص، D معکوس امتیاز به دست آمده از مدل دلفی و N تعداد زیرمعیارها یا کلاس‌های هر شاخص می‌باشد.

$$J = D - (N - i) X \quad (2)$$

در این معادله، J وزن نهایی مدل برای زیر معیارهای هر شاخص و i وزن اولیه کارشناسی زیرمعیارهای هر شاخص می‌باشد.

مرحله پنجم: تلفیق لایه‌ها و تهیه نقشه آسیب‌پذیری نهایی

پس از طبقه‌بندی شاخص‌ها و محاسبه وزن هر یک از طبقات متغیرها با استفاده از روابط یک و دو، ستون‌های امتیازات مربوط به هر یک از لایه‌های اطلاعاتی ایجاد شده به وسیله ابزار Raster Calculator در محیط نرم‌افزاری

1- Olaf Helmer

2- Nicholas Ryschr

3- Norman DALAKI

ArcGIS با یکدیگر جمع می‌شوند تا امتیاز هر واحد ساختمانی از نقطه نظر میزان آسیب‌پذیری در برابر زلزله مشخص گردد. در پایان، نقشه نهایی در ۵ طبقه آسیب‌پذیری بسیار کم، کم، متوسط، زیاد و بسیار زیاد تهیه شد.

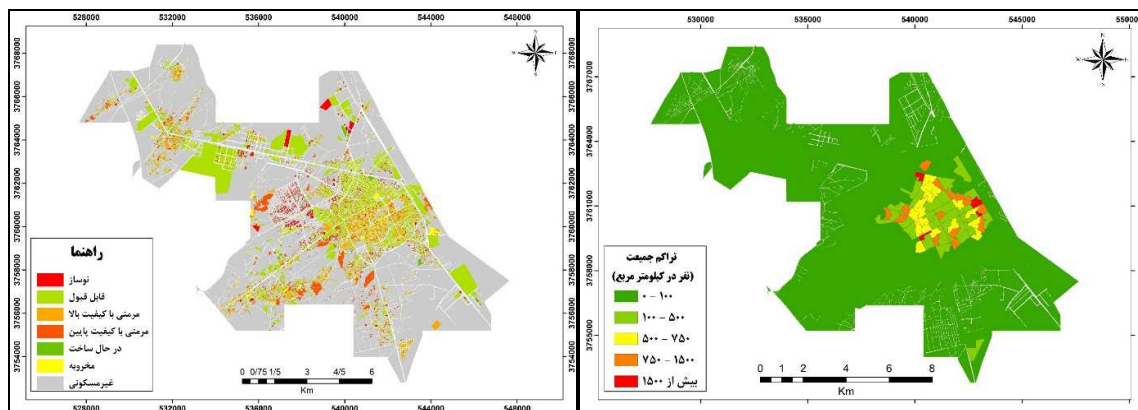
نتایج و بحث

تحلیل عوامل موثر در آسیب‌پذیری

تراکم جمعیتی

از میان مسائل مربوط به جمعیت، توزیع و تراکم آن، نه تنها به‌خاطر اینکه در سایر ویژگی‌های جمعیتی اثر می‌گذارد بلکه از جهت وابستگی مهمی که به کل ویژگی‌های محل مورد مطالعه دارد، در درجه اول اهمیت قرار می‌گیرد. مفهوم تراکم جمعیت، رابطه و نسبت بین انسان و فضای تحت اشغال انسان را بیان می‌کند، یعنی تعداد افراد ساکن در یک واحد سطح را به طور متوسط نشان می‌دهد (نفیسی‌فرد، ۱۳۹۰). تراکم جمعیتی، بار جمعیت بر معابر در مواقع زلزله را نشان می‌دهد و بر اساس آن با افزایش تراکم جمعیتی، سرعت پناه‌گیری و امداد کاهش می‌یابد و بالعکس (شیعه و همکاران، ۱۳۸۹). شکل ۲ وضعیت تراکم جمعیتی منطقه شهری کاشان را نمایش می‌دهد.

کیفیت ابنیه



شکل ۲: تراکم جمعیتی منطقه شهری کاشان

شکل ۳: کیفیت ابنیه شهر کاشان

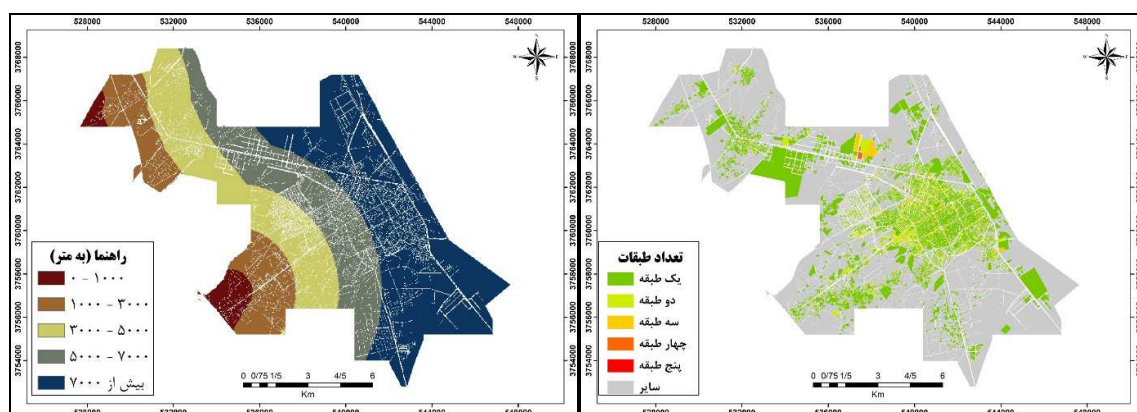
این شاخص تأثیر بسیار مهمی بر میزان آسیب‌پذیری ساختمان دارد. احتمال مقاومت ساختمان‌های با کیفیت بالا (نوساز) در مقابل زلزله، نسبت به ساختمان‌های مخروبه و مرمتی بیشتر است. شایان ذکر است که قدمت یک سازه الزاما رابطه مستقیمی با کیفیت ندارد، اما در بیشتر موارد ساختمان‌هایی با سن بیش از ۱۰ سال، نیاز به تعمیر اساسی دارند (اسفندیاری درآباد و همکاران، ۱۳۹۲). وضعیت کیفیت ابنیه شهر کاشان در شکل ۳ قابل مشاهده است.

تعداد طبقات

در هنگام وقوع زلزله، احتمال فروریختن ساختمان بلندمرتبه با ساختار اسکلتی بتن - فولاد بسیار ضعیف است. آوارهای ساختمانی مهمترین تهدید در ارتباط با تخلیه می‌باشد. به‌ویژه زمانی که نمای ساختمان با پنجره‌های بزرگ و شیشه‌ای تزئین شده است. ساختمان بلندتر تکان بیشتری خورده و ناحیه آسیب دیده وسیع‌تر خواهد شد (Ma & Ohno, 2012). در شکل ۴ تعداد طبقات ساختمان‌های محدوده شهری کاشان قابل مشاهده است.

فاصله از گسل

گسل‌ها شکستگی‌های بزرگ مقیاس با جابه‌جایی زیاد (یعنی لغزش) هستند؛ در نتیجه جابه‌جایی در هر دو لبه آن ایجاد می‌شود (چورلی و همکاران، ۱۳۷۵). فاصله‌ی واحدهای ساختمانی شهر کاشان نسبت به گسل‌های موجود در شکل ۵ نشان داده شده است.

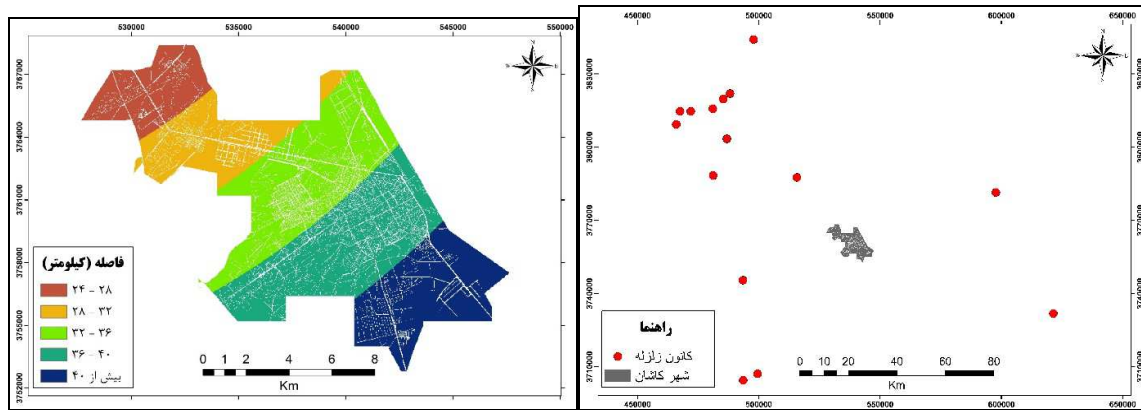


شکل ۵: فاصله از گسل

شکل ۴: تراکم ساختمانی شهر کاشان

کانون زلزله

نقطه‌ای را که امواج از آن منتشر می‌شوند، کانون زلزله^۱ می‌گویند. شدت یک زلزله در نقاط مختلف متفاوت است و در درجه اول به مقدار انرژی آزاد شده در سنگ بستگی دارد که در موقع شکستگی یا گسستگی ایجاد می‌شود و از طرف دیگر رابطه مستقیم با مقاومت سنگ دارد. همچنین هرچقدر از مرکز زلزله دور شویم، از شدت آن کاسته می‌شود (جهانبخش و رجبی، ۱۳۸۸). در شکل ۶ موقعیت کانون زلزله‌های ثبت شده بالای ۴ ریشتر تا شعاع ۱۵۰ کیلومتری و در شکل ۷ فاصله محدوده شهری کاشان از کانون زلزله‌ها نمایش داده شده است.



شکل ۷: فاصله از کانون زلزله

شکل ۶: موقعیت کانون‌های زلزله

حداکثر شتاب زمین (PGA)

به طور سنتی، PGA^۱ برای توصیف حرکت زمین استفاده شده (Chaulagain et al., 2015) و در تجزیه و تحلیل خطر زلزله، به یک ویژگی مرسوم از بزرگی ارتعاشات زمین تبدیل گردیده است (Pavlenko, 2015). این شاخص به عنوان یکی از معیارهای مهم در طراحی و علت اصلی آسیب‌ها در هنگام زلزله، بر اساس ضریبی از g شتاب جاذبه و بر حسب cm/s^2 سنجیده می‌شود (مهدوی‌نژاد و جوانرودی، ۱۳۹۱). انرژی امواج با دور شدن از چشمه لرزه‌ای کاهش می‌یابد. این کاهش انرژی سبب کاهش آسیب‌های ناشی از آن و شدت زمین‌لرزه در فواصل دورتر از چشمه لرزه‌ای می‌شود. کاهش شدت نسبت به فاصله از کانون یا فاصله از چشمه لرزه‌ای (گسل مسبب) به وسیله برخی از پژوهشگران بررسی شده است (رمضی و حسین‌نژاد، ۱۳۸۴). برای تعیین حداکثر شتاب زلزله‌های ایجاد شده توسط گسل‌ها در ساختگاه از رابطه تجربی دونووان (۱۹۷۳) استفاده شد (اسفندیاری و همکاران، ۱۳۹۳):

$$a = \frac{1080e^{0.8M}}{(R+25)^{1.82}} \quad (3)$$

که در این رابطه؛ a: حداکثر شتاب در مقیاس گال؛ e: ضریب ثابت و برابر با مقدار $2/718$ ؛ M: بزرگی زلزله در مقیاس ریشتر و R: فاصله از گسل بر حسب کیلومتر می‌باشد. برای محاسبه شدت زمین‌لرزه در محل شهر یا ساختگاه (مولفه M در رابطه ۳) از رابطه ۴؛ چاندرا و همکاران (۱۹۷۹) که بر پایه‌ی نقشه‌ی خم‌های هم‌لرز زمین‌لرزه‌های سده بیستم ایران زمین تهیه شده مورد استفاده قرار گرفت (همان):

$$I_R = I_0 + 6.453 - 0.00121(R) - 4.960 \text{ Log}(R + 20) \quad (4)$$

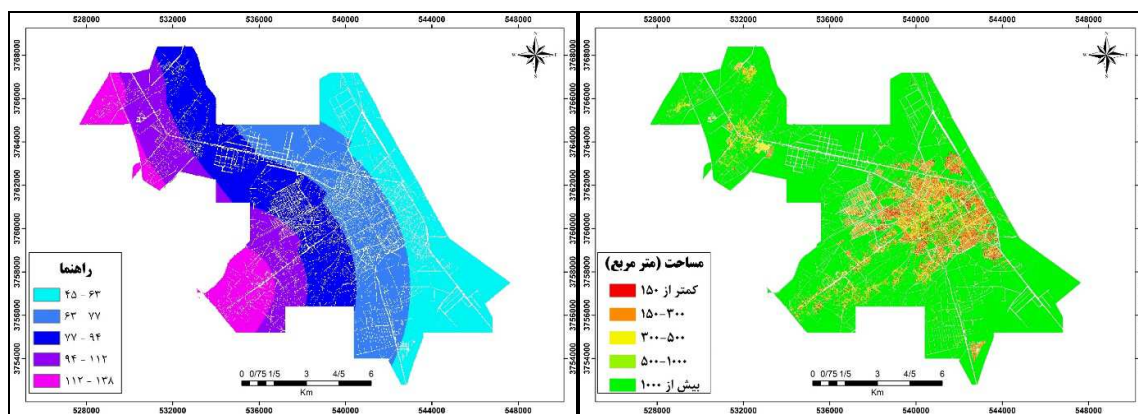
در این رابطه I_R شدت زمین‌لرزه در محل سازه در مقیاس مرکالی، I_0 شدت زمین‌لرزه در محل کانون زمین‌لرزه در مقیاس مرکالی و R فاصله کانونی بر حسب کیلومتر می‌باشد. حداکثر شدت زلزله‌های ایجاد شده در کانون (I_0) از طریق رابطه نوروژی - اشجعی (۱۹۷۸) محاسبه گردید (همان):

$$I = 1.7M_s - 2.8 \quad (5)$$

در این رابطه I شدت زلزله در مقیاس مرکالی و M_s بزرگی زلزله در مقیاس ریشتر است. بر اساس معادلات فوق، نقشه حداکثر شتاب زلزله محاسبه و در شکل ۸ نمایش نمایش داده شده است.

دانه‌بندی بافت (فضای باز شهری)

شکل، اندازه و چگونگی ترکیب کوچک‌ترین اجزای تشکیل‌دهنده شهر، بافت شهری را می‌سازد. هر نوع بافت شهری به هنگام وقوع بحران مقاومت خاصی در برابر مخاطرات طبیعی دارد. فضاهای باز شهری لزوماً جهت امداد رسانی در شرایط زلزله طراحی نمی‌شوند بلکه فضاهای چندمنظوره‌ای می‌باشند که در شرایط عادی جامعه نیز قابل استفاده می‌باشند (اصغری زمانی، ۱۳۹۳). نمونه‌های این فضاها می‌توانند شامل پارک‌ها، شبکه‌های حمل و نقل، فضاهای اطراف ساختمان‌ها، رودخانه‌ها و دریاچه‌ها، حیاط‌های پشتی خانه‌ها و سایر فضاهای باز خصوصی باشند (مظفر و همکاران، ۱۳۹۲). دانه‌بندی بافت شهر کاشان در شکل ۹ قابل مشاهده است.

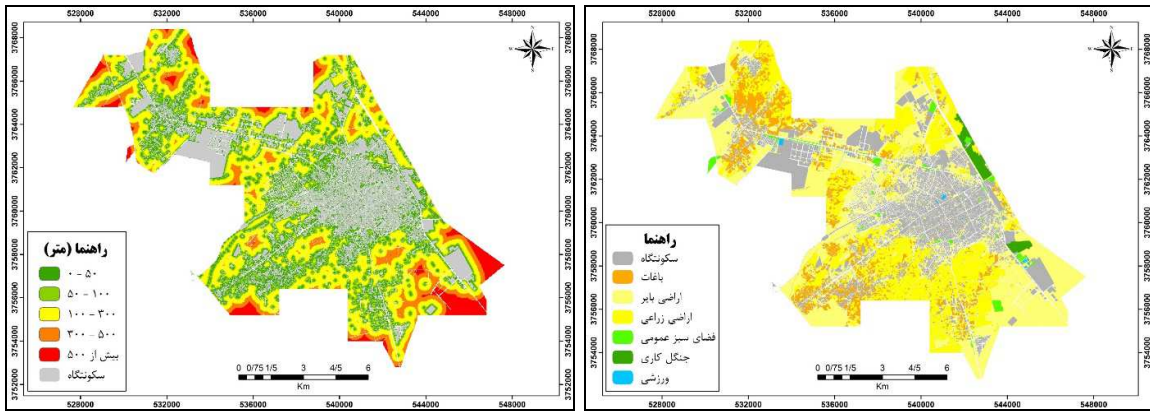


شکل ۹: دانه‌بندی بافت شهر کاشان

شکل ۸: حداکثر شتاب زمین

فاصله سکونتگاه‌ها از فضای باز

سنجش آسیب‌پذیری ناشی از میزان فاصله تا فضاهای باز بر اساس امکان پناه‌گیری و اسکان موقت می‌باشد، بطوری که هر چه فضای باز در فاصله کمتری از کاربری‌های 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 فضاهای 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 می‌باشد (شماعی و همکاران، ۱۳۹۲). کاربری‌هایی که به‌عنوان فضای باز و بی‌کالبد در نظر گرفته شده در شکل ۱۰ و فاصله از این فضاها در شکل ۱۱ قابل مشاهده است.



شکل ۱۱: فاصله سکونتگاه‌ها از فضاهای باز

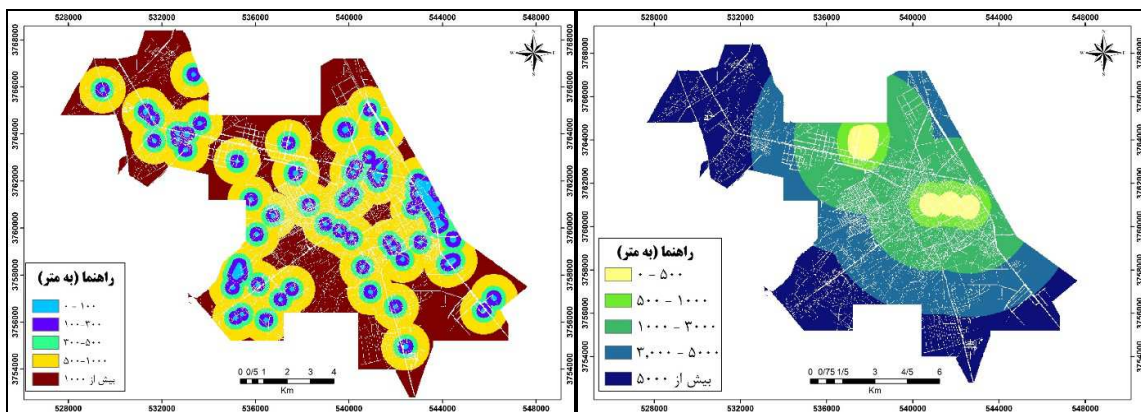
شکل ۱۰: فضاهای بی‌کالبد

فاصله از مراکز درمانی

دسترسی آسان و سریع به مراکز درمانی موجب سرعت بخشیدن به عملیات امداد رسانی می‌شود. هر چه فاصله تا این مراکز بیشتر باشد، زمان بیشتری بین مبدأ و مراکز درمانی طی می‌گردد و درمان به مخاطره می‌افتد. برای مثال یکی از دلایل بالا بودن تلفات در زلزله سال ۱۹۸۸ میلادی ارمنستان، نارسایی در زمینه امداد و نجات مجروحان بود (بهزاد فر، مصطفی و شایان نژاد، ۱۳۹۱).

فاصله از مراکز و تاسیسات خطرزا

آسیب دیدن تأسیسات زیربنایی شهر نظیر شبکه‌های آب، برق، گاز و مخابرات می‌تواند تلفات ناشی از وقوع زلزله را به شدت افزایش دهد. در این حیطة، دو نوع آسیب شامل آسیب‌های ناشی از عدم دسترسی به شریان‌های حیاتی در دوره امداد فوری و آسیب‌های ناشی از رویدادهای سوانح ثانویه مانند آتش‌سوزی، شوک الکتریکی، انفجار و مانند این‌ها وجود دارد. بنابراین، مکان‌یابی صحیح این دسته از تأسیسات شهری بر حسب مکان‌های با خطر نسبی بالا، نوع فناوری به کار رفته در ساخت آنها، نحوه کارکرد و شیوه کنترل مناسب هر یک از این شبکه‌ها، در کاهش یا افزایش میزان آسیب‌پذیری مؤثر است (حاتمی‌نژاد و همکاران، ۱۳۸۸).



شکل ۱۳: فاصله از مراکز و تاسیسات خطرزا

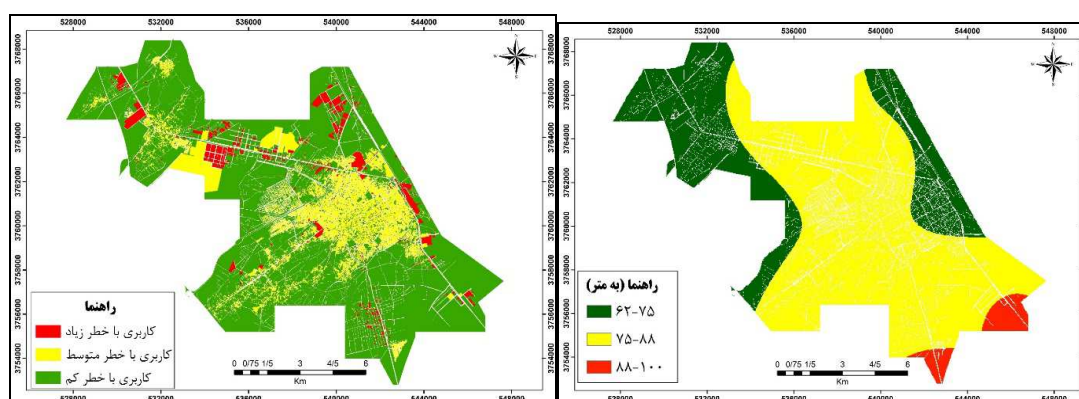
شکل ۱۲: فاصله از مراکز درمانی

عمق سطح ایستابی

توجه به عمق سطح ایستابی برای پهنه‌بندی مناطق در برابر زلزله و تأثیر مشترک آب و خاک در بررسی مسائل ژئوتکتونیک و توان باربری خاک، حائز اهمیت ویژه است. اگرچه در خاک‌های با دانه‌بندی پیوسته، وجود آب در خاک به خودی خود کم اهمیت است؛ اما در بعضی از لایه‌های خاک، درصد بسیاری از مواد ریزدانه به خصوص ذرات رس دیده می‌شود که وجود آب در این لایه‌ها، عامل مهمی در تقلیل خصوصیات مکانیکی خاک و کاهش توان باربری و افزایش نشست خاک تحت بارگذاری است. از این رو بررسی اثرات توام آب و خاک در نواحی که با سطح آب زیرزمینی زیاد، لازم است. در ارزش‌گذاری نقشه معیار عمق سطح ایستابی، مناطقی که در آن عمق سطح ایستابی به سطح زمین نزدیک‌تر بود، جزء مناطقی با ضریب آسیب‌پذیری بالا طبقه‌بندی شدند، چون که آب موجود در خاک در هنگام بروز زلزله، در مقابل تغییر شکل با شکست به صورت سطح بی‌اثر و خنثی عمل می‌کنند (ابراهیمی و همکاران، ۱۳۹۴). شکل ۱۴ نقشه عمق سطح ایستابی شهر کاشان را نشان می‌دهد.

کاربری اراضی

محققان مختلفی کاربری‌های اراضی را بر اساس مخاطرات زمین‌شناسی، شرایط محیطی و تشکیلات کلان شهرهای مورد مطالعه دسته‌بندی کرده‌اند. برای مثال ژانگ و همکاران (۲۰۰۶) کاربری اراضی شهر کینگ نانجینگ^۱ چین را به چهار دسته صنعتی، تجاری و خانگی، مکان‌های دفع زباله و فضای سبز طبقه‌بندی کردند (Tudes and Yigiter, 2010). در این پژوهش، کاربری اراضی شهر کاشان به دسته کاربری‌های با خطر زیاد، کاربری‌های با خطر متوسط و کاربری‌های با خطر کم تقسیم شده است. کاربری‌های پر خطر شامل کاربری‌های انبار، تأسیسات شهری، تجهیزات شهری، صنعتی-کارگاهی، کارگاه‌ها و نظامی است و کاربری‌های کم‌خطر شامل: آثار باستانی و تاریخی، امامزاده، آب انبار، اراضی خالی، اراضی زراعی، باغات، اراضی مخروبه، حوضچه پرورش ماهی، دامداری و مرغداری، رودخانه و مسیل، فضای سبز عمومی، فضای سبز، حریم سبز معابر، جنگلکاری، ورزشی، پارکینگ، گورستان، پرورش گل و گیاه می‌باشد. شکل ۱۵ انواع کاربری اراضی شهر کاشان را نمایش می‌دهد.



شکل ۱۵: کاربری اراضی

شکل ۱۴: عمق سطح ایستابی

پیاده‌سازی مدل IHPW

پس از تعیین متغیرهای تحقیق، رتبه و اهمیت هر یک از شاخص‌ها با توجه به نظرات کارشناسی در مدل وارد گردید. محاسبات عددی روابط ۱ و ۲ مربوط به مدل IHPW در جدول ۱ بیان شده است. وزن نهایی زیرمعیارهای هر شاخص (J) در جدول قابل مشاهده می‌باشد.

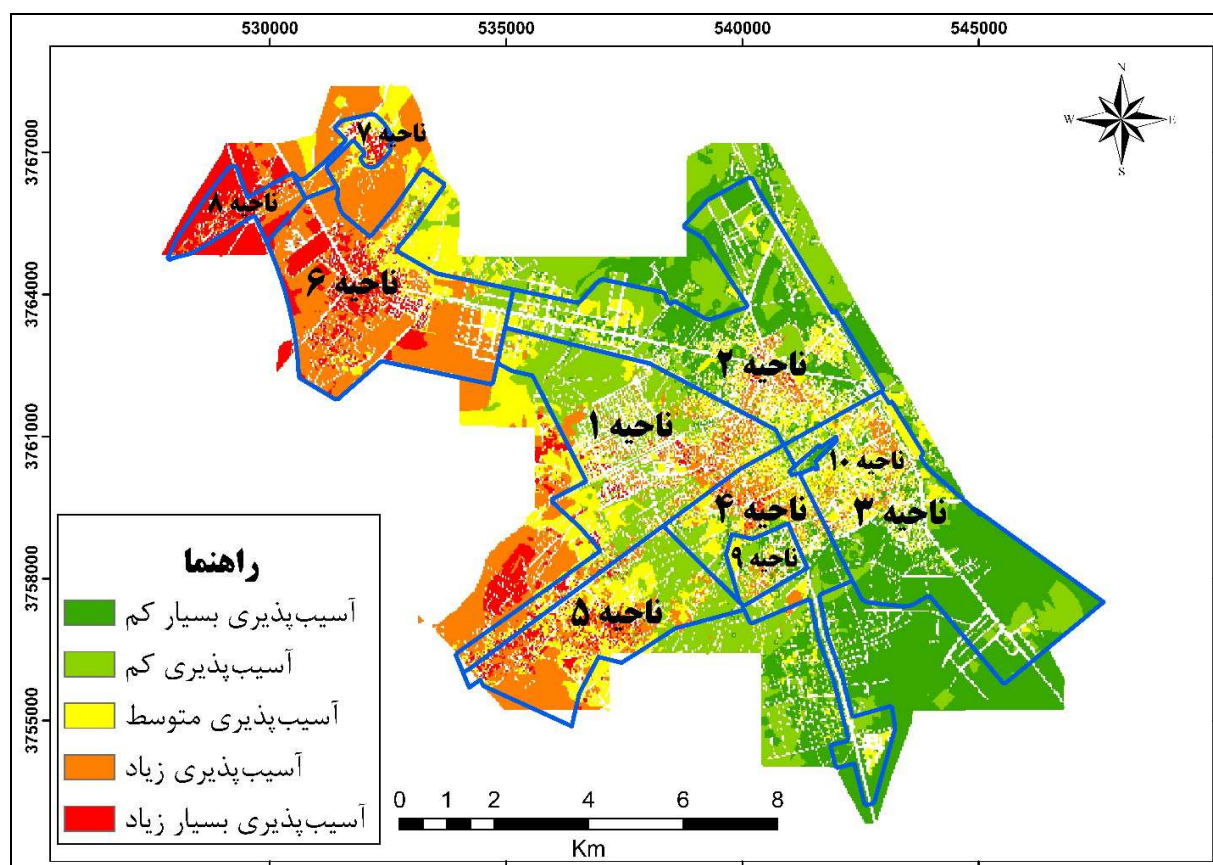
جدول ۱: وزن نهایی زیرمعیارهای هر شاخص بر اساس مدل IHPW

J	X	D*	N	i	زیرمعیار	معیار	J	X	D*	N	i	زیرمعیار	معیار
۰۰/۷	۲	۱۵	۵	۱	۱۰۰۰۰	تراکم جمعیتی	۰۰/۲	۲	۱۴	۷	۱	نوساز	کیفیت ابنیه
۰۰/۹				۲	۵۰۰-۱۰۰		۰۰/۴				۲	قابل قبول	
۰۰/۱۱				۳	۷۵۰-۵۰۰		۰۰/۶				۳	مرمتی با کیفیت بالا	
۰۰/۱۳				۴	۱۵۰۰-۷۵۰		۰۰/۸				۴	مرمتی با کیفیت پایین	
۰۰/۱۵				۵	بیش از ۱۵۰۰		۰۰/۱۰				۵	در حال ساخت	
۰۰/۱۲	۲/۴	۱۲	۵	۵	۲۸-۲۴	فاصله از کانون زلزله	۰۰/۱۲	۲/۴	۱۲	۵	۶	مخروبه	فاصله از گسل
۶۰/۹				۴	۳۲-۲۸		۰۰/۱۴				۷	غیرمسکونی	
۲۰/۷				۳	۳۶-۳۲		۰۰/۱۲				۵	۱۰۰۰۰۰	
۸۰/۴				۲	۴۰-۳۶		۶۰/۹				۴	۳۰۰۰-۱۰۰۰	
۴۰/۲				۱	بیش از ۴۰		۲۰/۷				۳	۵۰۰۰-۳۰۰۰	
۱۷/۲	۲/۱۷	۱۳	۶	۱	سایر	تعداد طبقات	۸۰/۴	۲/۴	۱۲	۵	۲	بیش از ۷۰۰۰	حداکثر شتاب زمین
۳۳/۴				۲	یک طبقه		۴۰/۲				۱	۷۰۰۰-۵۰۰۰	
۵۰/۶				۳	دو طبقه		۴۰/۲				۲	بیش از ۶۳-۴۵	
۶۷/۸				۴	سه طبقه		۸۰/۴				۱	۷۷-۶۳	
۸۳/۱۰				۵	چهار طبقه		۲۰/۷				۳	۹۴-۷۷	
۰۰/۱۳	۶	پنج طبقه	۶۰/۹	۴	۱۱۲-۹۴								
۲۰/۲	۲/۲	۱۱	۵	۱	۵۰۰۰	فاصله سکونتگاه‌ها از فضای باز	۰۰/۱۲	۲/۲	۱۱	۵	۵	۱۳۸-۱۱۲	دانه‌بندی بافت
۴۰/۴				۲	۱۰۰-۵۰		۰۰/۱۱				۵	کمتر از ۱۵۰	
۶۰/۶				۳	۳۰۰-۱۰۰		۸۰/۸				۴	۳۰۰-۱۵۰	
۸۰/۸				۴	۵۰۰-۳۰۰		۶۰/۶				۳	۵۰۰-۳۰۰	
۰۰/۱۱				۵	بیش از ۵۰۰		۴۰/۴				۲	۱۰۰۰-۵۰۰	
۰۰/۹	۱/۸	۹	۵	۵	۱۰۰۰۰	نسبیت خطرزا	۲۰/۲	۲	۱۰	۵	۱	بیش از ۱۰۰۰	فاصله از مراکز درمانی
۲۰/۷				۴	۳۰۰-۱۰۰		۰۰/۲				۱	۵۰۰۰۰	
۴۰/۵				۳	۵۰۰-۳۰۰		۰۰/۴				۲	۱۰۰۰-۵۰۰	
۶۰/۳				۲	۱۰۰۰-۵۰۰		۰۰/۶				۳	۳۰۰۰-۱۰۰۰	
۸۰/۱				۱	بیش از ۱۰۰۰		۰۰/۸				۴	۵۰۰۰-۳۰۰۰	
۰۰/۷	۲/۳۳	۷	۳	۳	با خطر زیاد	کاربری اراضی	۰۰/۱۰	۲/۶۷	۸	۳	۵	بیش از ۵۰۰۰	عمق سطح ایستایی
۶۷/۴				۲	با خطر متوسط		۰۰/۸				۳	۷۵-۶۲	
۳۳/۲				۱	با خطر کم		۳۳/۵				۲	۸۸-۷۵	
							۶۷/۲				۱	۱۰۰-۸۸	

* برای نمایش بهتر اختلاف‌ها در نقشه نهایی آسیب‌پذیری، معکوس رتبه هر متغیر در مدل دلفی با عدد ۶ جمع گردیده است.

تلفیق لایه‌های اطلاعاتی و تهیه نقشه آسیب‌پذیری

مجموع امتیازهای مربوط به هر واحد ساختمانی در لایه‌های اطلاعاتی دوازده‌گانه، میزان آسیب‌پذیری آنرا در مقابل زلزله نمایش می‌دهد. نقشه نهایی آسیب‌پذیری منطقه شهری کاشان در برابر مخاطره زلزله (شکل ۱۶) در ۵ طبقه آماده شد. همانطور که در شکل ۱۶ قابل مشاهده است آسیب‌پذیری احتمالی شهر کاشان از شرق به غرب افزایش پیدا می‌کند. این در حالی است که بخش جنوبی محدوده شهری کاشان کم‌ترین احتمال آسیب‌پذیری را دارد. جدول ۲ میزان آسیب‌پذیری نواحی دهگانه شهر کاشان را به درصد نمایش می‌دهد. نتایج نشان می‌دهد، بیشترین میزان آسیب‌پذیری به ترتیب در نواحی ۸، ۶ و ۷ و کم‌ترین میزان آسیب‌پذیری به ترتیب در نواحی ۱۰، ۳ و ۲ قابل مشاهده است.



شکل ۱۴: پهنه‌بندی آسیب‌پذیری منطقه شهری کاشان در برابر زلزله

جدول ۲: میزان آسیب‌پذیری مناطق ده‌گانه شهری کاشان به درصد

#	نام	بسیار کم	کم	متوسط	زیاد	بسیار زیاد
۱	ناحیه ۱ (ناجی آباد)	۵۶/۱	۵۰/۴۸	۷۳/۲۳	۹۵/۲۱	۲۶/۴
۲	ناحیه ۲ (شاهد)	۵۳/۴۱	۵۳/۳۴	۴۶/۱۸	۰۷/۵	۴۱/۰
۳	ناحیه ۳ (دشت افروز)	۲۵/۶۲	۹۲/۱۶	۸۷/۱۵	۸۸/۴	۰۸/۰
۴	ناحیه ۴ (فیض)	۳۱/۲۹	۵۰/۲۹	۹۰/۲۳	۹۷/۱۵	۳۱/۱
۵	ناحیه ۵ (فین)	۰۶/۰	۵۵/۲۵	۵۰/۲۷	۸۰/۳۵	۰۹/۱۱
۶	ناحیه ۶ (راوند)	۰۰/۰	۹۲/۳	۲۱/۱۳	۴۳/۶۱	۴۳/۲۱
۷	ناحیه ۷ (طاهرآباد)	۰۰/۰	۰۰/۰	۲۴/۲۳	۲۵/۴۱	۵۱/۲۵
۸	ناحیه ۸ (خزاق)	۰۰/۰	۰۰/۰	۰۰/۰	۲۸/۲۹	۷۲/۷۰
۹	ناحیه ۹ (لنجر)	۶۵/۲۱	۰۰/۳۴	۶۹/۲۷	۵۸/۱۶	۰۷/۰
۱۰	ناحیه ۱۰ (بازار)	۸۵/۵۳	۰۹/۲۸	۵۵/۱۶	۵۰/۱	۰۰/۰
۱۱	مجموع نواحی	۸۵/۲۳	۸۶/۲۴	۲۱/۱۹	۶۳/۲۳	۴۶/۸
۱۲	کل محدوده مورد مطالعه	۱۰/۲۸	۱۲/۲۴	۷۴/۱۷	۹۸/۲۱	۰۶/۸

نتیجه‌گیری

کشور ایران به عنوان یکی از لرزه‌خیزترین مناطق دنیا همواره بالاترین آمارها را در زمینه آسیب‌پذیری انسانی و تخریب فیزیکی داشته است. با توجه به رشد روز افزون جمعیت شهرها در ایران و به تبع آن افزایش تراکم جمعیت و ساختمان‌ها، احتمال آسیب‌پذیری در برابر مخاطره زلزله نیز بیشتر می‌شود. بنابراین نیاز است تا با شناسایی وضعیت موجود شهرها از نقطه نظر میزان آسیب‌پذیری، برنامه‌ریزی و آموزش‌های لازم به منظور کاهش تلفات جانی و مالی انجام پذیرد. پژوهش حاضر با هدف ارزیابی آسیب‌پذیری محدوده شهری کاشان در برابر خطر زمین‌لرزه صورت پذیرفته است. مدل مورد استفاده‌ی تحقیق، فرایند سلسله مراتبی معکوس (IHWP) است که ترکیبی از دو مدل AHP و فازی می‌باشد. نتایج تحقیق حاکی از آن است که میزان آسیب‌پذیری بیش از ۵۰ درصد محدوده شهری کاشان در هنگام وقوع زلزله کم و بسیار کم می‌باشد، در عین حال ۳۰ درصد محدوده نیز با خطر آسیب‌پذیری بالا و بسیار بالا مواجه است که برنامه‌ریزی فوری برای مقاوم‌سازی واحدهای ساختمانی را می‌طلبد. نتایج نشان می‌دهد میزان آسیب‌پذیری در شمال‌غرب بیشتر از سایر مناطق بوده و بالاترین خطر در نواحی خزاق (ناحیه ۸)، راوند (ناحیه ۶) و طاهرآباد (ناحیه ۷) وجود دارد که هر سه ناحیه در شمال‌غرب کاشان واقع شده‌اند. بنابراین برنامه‌ریزان و مسؤولان شهری بایستی در سمت توسعه شهری، احتمال آسیب‌پذیری بیشتر این نواحی را در نظر داشته باشند. از طرفی دیگر، در نواحی بازار (ناحیه ۱۰)، دشت افروز (ناحیه ۳) و شاهد (ناحیه ۲) خطر آسیب‌پذیری به شدت کاهش پیدا می‌کند. بنابراین، این مناطق می‌تواند برای اسکان موقت پس از زمین‌لرزه و یا توسعه‌ی آتی شهر مناسب باشد.

نتایج تحقیق برخی دیگر از پژوهشگران در شهرهای مختلف کشور به شرح زیر می‌باشد:

- فرج‌زاده اصل و همکاران (۱۳۹۰): آسیب‌پذیری متوسط ۷۷ درصد ساختمان‌های منطقه ۹ شهرداری تهران

- اسفندیاری درآباد و همکاران (۱۳۹۲): آسیب‌پذیری کم و بسیار کم ۴۱ درصد از مساحت شهر اردبیل

- احدنژاد روشتی (۱۳۸۹): آسیب‌پذیری کم و بسیار کم ۲۷/۵ درصد از مساحت شهر زنجان
 - حاتمی‌نژاد و همکاران (۱۳۹۳): آسیب‌پذیری کم تا متوسط ۶۰ درصد از مساحت شهر تبریز
 - ابراهیمی و همکاران (۱۳۹۴): آسیب‌پذیری کم و بسیار کم ۵۵ درصد از مساحت شهر بردسکن
 - خاکپور و همکاران (۱۳۹۰): آسیب‌پذیری زیاد و بسیار زیاد ۷۰ درصد از مساحت منطقه ۹ شهرداری مشهد
 مقایسه میزان آسیب‌پذیری شهر کاشان (آسیب‌پذیری کم و بسیار کم بیش از ۵۰ درصد) در برابر خطر زلزله بر اساس نتایج پژوهش حاضر با نتایج فوق‌الذکر نشان می‌دهد احتمال آسیب‌پذیری شهر کاشان نسبت به منطقه ۹ شهرداری تهران، شهر اردبیل، شهر زنجان و منطقه ۹ شهرداری مشهد به مراتب کمتر بوده و وضعیت مطلوب‌تری نسبت به آن‌ها دارد.

در پایان پیشنهاد می‌شود در نواحی خزاق (ناحیه ۸)، راوند (ناحیه ۶) و طاهرآباد (ناحیه ۷) که از لحاظ میزان آسیب‌پذیری در گروه با تخریب بسیار زیاد قرار دارند، کاربری‌هایی به‌منظور کاهش آسیب‌های بعد از زلزله مثل بوستان‌ها، پارک‌ها و فضاهای باز شهری احداث شود. همچنین کارشناسان، برنامه‌ریزان و مسؤولان ذیربط در سیاست‌گذاری‌ها و برنامه‌ی توسعه آتی شهر کاشان به نتایج پژوهش حاضر توجه نموده و از توسعه و گسترش شهر در مناطق آسیب‌پذیر جلوگیری نموده و برای کاهش آسیب‌پذیری کالبدی به مقاوم‌سازی سازه‌های موجود و طراحی اصولی و صحیح ساختمان‌های در حال ساخت توجه ویژه شود. به دلیل فاصله بیش از ۵ کیلومتر نواحی سه‌گانه ۶، ۷ و ۸ از بیمارستان و مراکز درمانی، پیشنهاد می‌شود تدابیر لازم برای خدمات‌رسانی درمانی در شرایط پس از زلزله اندیشیده شود. ناحیه ۳ شهری کاشان (دشت افروز) به دلیل وجود فضاهای بی‌کالبد، دوری از گسل، نزدیکی به مراکز درمانی، فضایی بسیار مناسب برای ساخت‌وساز واحدهای مسکونی جهت کاهش تلفات مالی و جانی ناشی از زلزله می‌باشد. بنابراین توصیه می‌شود در توسعه آتی شهر به این مهم توجه شد.

منابع

- ابراهیمی، مجید، سلمانی‌مقدم، محمد، امیراحمدی، ابوالقاسم، نوری، مریم (۱۳۹۴). ارزیابی آسیب‌پذیری لرزه‌ای شهر بردسکن در برابر زلزله با استفاده از مدل سلسله مراتبی وارون (IHPW)، مخاطرات محیط طبیعی، دوره ۴، شماره ۶، صص ۱۰۵-۱۳۷.
- احدنژاد روشتی، محسن (۱۳۸۹). ارزیابی آسیب‌پذیری اجتماعی شهرها در برابر زلزله نمونه موردی: شهر زنجان، مطالعات و پژوهش‌های شهری و منطقه‌ای، سال دوم، شماره هفتم، صص ۹۰-۷۱.
- اسفندیاری درآباد، فریبا، غفاری گیلانده، عطا، لطفی، خداداد (۱۳۹۲). مدل‌سازی ضریب آسیب‌پذیری شهرها در برابر زلزله با استفاده از روش تاپسیس در محیط GIS (مطالعه موردی: شهر اردبیل)، پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، سال دوم، شماره ۲، صص ۷۹-۴۳.
- اسفندیاری، فریبا، غفاری گیلانده، عطا، لطفی، خداداد (۱۳۹۳). بررسی توان لرزه‌زایی گسل‌ها و برآورد تلفات انسانی ناشی از زلزله در مناطق شهری مطالعه موردی: (شهر اردبیل)، پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، سال دوم، شماره ۴، صص ۳۶-۱۷.
- اصغری زمانی، اکبر (۱۳۹۳). بررسی کیفیت دسترسی به فضاهای باز شهری به‌هنگام وقوع حوادث غیرمترقبه طبیعی (مطالعه موردی شهر تبریز)، جغرافیا و برنامه ریزی، سال هیجدهم، شماره ۴۸، صص ۱-۱۶.

امینی، جمال، کرمی، جمال، علیمحمدی سراب، عباس، صفرزاد، طاهر (۱۳۹۰). ارزیابی مدل رادیوس در تخمین خسارات ناشی از زلزله در محیط GIS (مطالعه موردی، منطقه یک شهرداری تهران)، مطالعات و پژوهش‌های شهری و منطقه‌ای، سال سوم، شماره یازدهم، صص ۲۳-۴۰.

بهزاد فر، مصطفی، شایان نژاد، عباس (۱۳۹۱). ارزیابی میزان آسیب‌پذیری ناشی از عامل دسترسی در هنگام وقوع زلزله (مطالعه موردی: محدوده مرکزی شهرداری منطقه ۶ تهران)، فصلنامه نقش جهان، دوره دوم، شماره ۳، صص ۹۱-۱۰۲.

ترابی، کمال، مهدی‌نچاد، عبدالحمید (۱۳۹۱). آسیب‌پذیری بدته شبکه‌های ارتباطی شهرها در برابر حملات هوایی با استفاده از روش IHWP و GIS (منطقه شش تهران)، پدافند غیر عامل، سال سوم، شماره چهارم، صص ۲۹۵-۳۰۳.

جمالی، فرشاد، حسامی آذر، خالد، قرشی، منوچهر (۱۳۸۷). گسل‌های جنوب و قطعه بندی پهنه گسلی قم - زفره در گستره میان زفره تا شمال کاشان، علوم زمین، دوره ۱۷، شماره ۶۸، ۱۸۹-۱۸۲.

جهانبخش، سعید، رجبی، معصومه (۱۳۸۸). مبانی جغرافیای طبیعی، تبریز: انتشارات دانشگاه تبریز.

چورلی، ریچارد جی.، شوم، استانی ای.، سون، دیوید (۱۳۷۵). ژئومورفولوژی جلد دوم (زمین‌شناسی)، ترجمه دکتر احمد معتمد، تهران: انتشارات سمت.

حاتمی نژاد، حسین، منوچهری میاندوآب، ایوب، آهار، حسین، سالکی، محمد علی (۱۳۹۳). ارزیابی و پهنه بندی لرزه‌های شهر تبریز با استفاده از منطق Fuzzy با تلفیق AHP و TOPSIS در محیط ARCGIS، پژوهش‌های جغرافیای انسانی، دوره ۴۶، شماره ۴، صص ۷۱۷-۶۹۷.

حاتمی نژاد حسین، فتحی، حمید، عشق آبادی، فرشید (۱۳۸۸). ارزیابی میزان آسیب‌پذیری لرزه ای در شهر نمونه مورد مطالعه: منطقه ۱۰ شهرداری تهران، پژوهش‌های جغرافیای انسانی (پژوهش‌های جغرافیایی)، دوره ۴۱، شماره ۶۸، صص ۱-۲۰.

خاکپور، براتعلی، زمردیان، محمد جعفر، صادقی، سلیمان، مقدمی، احمد (۱۳۹۰). تحلیل میزان آسیب‌پذیری فیزیکی - کالبدی منطقه‌ی ۹ شهر مشهد از دیدگاه زلزله خیزی، مجله‌ی جغرافیا و توسعه‌ی ناحیه‌ای، شماره شانزدهم، صص ۳۳-۱.

رمضی، حمیدرضا، حسین نژاد، محمدرضا (۱۳۸۴). رابطه میان بزرگی و شدت و کاهیدگی شدت زمین لرزه‌ها در ایران، علوم زمین، سال پانزدهم، شماره ۵۷، صص ۳۳-۲۶.

روستایی، شهرام، جباری، ایرج (۱۳۸۶). ژئومورفولوژی مناطق شهری، تهران: سمت.

زنگی‌آبادی، علی، رضائی، میثم، مؤمنی شهرکی، مهدی، میرزایی، سارا (۱۳۹۲). ارزیابی آسیب‌پذیری بخش مرکزی کلان شهرهای ایران در برابر بحران زلزله با استفاده از مدل IHWP مطالعه موردی: منطقه ۳ شهر اصفهان، آمایش جغرافیایی فضا، سال سوم، شماره مسلسل هشتم، صص ۱۵۶-۱۳۷.

زنگی‌آبادی، علی، صنیعی، راحله، وارثی، حمیدرضا (۱۳۸۸). تحلیل آماری خطرپذیری مناطق ۱۱ و ۱۲ شهر تهران در برابر زلزله، فصلنامه مدرس علوم انسانی، دوره ۱۳، شماره ۳، صص ۹۱-۱۱۱.

شماعی، علی، حیدرزاده، نجمه، لطفی‌مقدم، بابک (۱۳۹۲). سنجش عوامل آسیب‌رسان ناشی از زلزله در منطقه یک شهر تهران با استفاده از GIS، جغرافیا و برنامه‌ریزی (دانشکده جغرافیا)، سال ۱۷، شماره ۴۳، صص ۹۲-۱۲۲.

شمس، مجید، معصوم پور سماکوش، جعفر، سعیدی، شهرام، شهبازی، حسین (۱۳۹۰). بررسی مدیریت بحران زلزله در بافت‌های فرسوده شهر کرمانشاه مطالعه موردی: محله فیض آباد، آمایش محیط، دوره ۴، شماره ۱۳، صص ۶۶-۴۱.

شیعه، اسماعیل، حبیبی، کیومرث، ترابی، کمال (۱۳۸۹). بررسی آسیب‌پذیری شبکه‌های ارتباطی شهرها در مقابل زلزله با استفاده از روش IHPW و GIS، باغ نظر، دوره ۷، شماره ۱۳، صص ۴۸-۳۵.

صالحی، اسماعیل، آقابابایی، محمدتقی، سرمدی، هاجر، فرزادبهباش، محمدرضا (۱۳۹۰). بررسی میزان تاب‌آوری محیطی با استفاده از مدل شبکه علیت، محیط شناسی، دوره ۳۷، شماره ۵۹، صص ۹۹-۱۱۲.

- صیامی، قدیر، تقی نژاد، کاظم، زاهدی کلاکی، علی (۱۳۹۴). آسیب شناسی لرزه‌ای پهنه‌های شهری با استفاده از تحلیل سلسله مراتبی معکوس (IHWP) و GIS (مطالعه موردی شهر گرگان)، مطالعات برنامه ریزی شهری، شماره ۹، ۶۴-۴۳.
- صیدایی، سید اسکندر، قره‌نژاد، حسن، فیروزی، ایوب (۱۳۹۰). تحلیلی بر آسیب پذیری مسکن روستایی: مطالعه موردی: مسکن روستایی شهرستان بافت، سپهر (سازمان جغرافیایی)، سال بیستم بهار، شماره ۷۷، صص ۶۸-۷۳.
- فتاحی، مرتضی، رستمی مهربان، سمیه، طالبیان، مرتضی، بحرودی، عباس، هالینگورث، جیمز، والکر، ریچارد (۱۳۹۰). بررسی فعالیت گسل نیشابور در استان خراسان، علوم زمین، دوره ۲۰، شماره ۷۹، صص ۵۵-۶۰.
- فرج‌زاده اصل، منوچهر، احدنژاد، محسن، امینی، جمال (۱۳۹۰). ارزیابی آسیب‌پذیری مسکن شهری در برابر زلزله (مطالعه موردی منطقه ۹ شهرداری تهران)، مطالعات و پژوهش‌های شهری و منطقه‌ای، سال سوم، شماره نهم، صص ۱۹-۳۶.
- فروغی، محمد، حیدری‌نژاد، نسیم (۱۳۸۹). تحلیل وضعیت سکونتگاه‌ها و راه‌های ارتباطی در رابطه با گسل‌های فعال در استان چهارمحال و بختیاری (وضعیت لرزه‌ای سکونتگاه‌ها و راه‌های استان چهار محال و بختیاری)، امداد و نجات، سال دوم، شماره ۴، صص ۳۱-۲۱.
- قائدرحمتی، صفر، باستانی‌فر، ایمان، سلطانی، لیلا (۱۳۹۰). بررسی تأثیرات تراکم بر آسیب‌پذیری ناشی از زلزله در شهر اصفهان (با رویکرد فازی)، جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، سال ۲۲، شماره پیاپی ۴۱، شماره ۱، صص ۱۰۷-۱۲۲.
- قائدرحمتی، صفر، فاضل، سوگل (۱۳۹۳). ارزیابی حریم امن شهری در ارتباط با ریسک‌پذیری سکونتگاه‌های شهری استان اصفهان، جغرافیا و توسعه، شماره ۳۶، صص ۱۳۴-۱۲۳.
- کریمی، فریبا، بیانی خطیبی، مریم، مختاری، داود (۱۳۸۷). خطر زمین لرزه و تحلیل ریسک پذیری مراکز جمعیتی از زلزله (مورد نمونه: شهرستان بستان آباد، آذربایجان شرقی)، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، سال بیست و سوم، شماره ۴ (پیاپی ۹۱)، صص ۹۶-۷۷.
- محمدی احمدبانی، جمال، صحرائیان، زهرا، خسروی، فرامرز (۱۳۸۹). نقش عوامل مؤثر در آسیب‌پذیری کالبدی شهر جهرم در برابر زلزله، نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، جلد ۱۴، شماره ۱۷، صص ۱۴۳-۱۲۱.
- مظفر، فرهنگ، فیضی، محسن، اسدپور، علی (۱۳۹۲). رویکردهای معاصر در پژوهش‌های محیطی فضاهای باز شهری، فصلنامه علمی-پژوهشی آمایش محیط، شماره ۲۱، صص ۸۹-۱۱۰.
- معاونت برنامه‌ریزی توسعه شهری و امور شورا (۱۳۹۰). معابر شهری - طبقه‌بندی. چاپ اول. آدرس فایل:
<http://peim.tehran.ir/Portals/7/%D9%85%D8%B9%D8%A7%D8%A8%D8%B1%20%D8%B4%D9%87%D8%B1%DB%8C%D8%B7%D8%A8%D9%82%D9%87%20%D8%A8%D9%86%D8%AF%DB%8C%20%D9%85%D8%B9%D8%A7%D8%A8%D8%B1.pdf>
- مهدی‌نژاد، محمدجواد، جوانرودی، کاوان (۱۳۹۱). بررسی آسیب‌پذیری ناشی از زلزله در شبکه‌های ارتباطی تهران بزرگ مطالعه موردی: خیالان ولی عصر (عج) شمالی (میدان ولی عصر (عج) تا چهارراه پارک‌وی)، مدیریت بحران، شماره اول، صص ۲۱-۱۳.
- نقیسی‌فرد، حسن (۱۳۹۰). جغرافیای جمعیت ایران (۱) جمعیت - اقتصاد، چاپ دوم، سبزوار: دانشگاه تربیت معلم سبزوار.
- نیکوهمت، احمد (۱۳۵۸). زلزله‌های تاریخی کاشان، مجله وحید، شماره ۲۶۰ و ۲۶۱، صص ۶۵-۶۲.
- Abo El Ezz, Ahmad, Nollet, Marie-José, Nastev, Miroslav (2015). Assessment of earthquake-induced damage in Quebec City, Canada, *International Journal of Disaster Risk Reduction*, Volume 12, pp 16-24.
- Aramas, I., Gavris, A. (2013). Social vulnerability assessment using spatial multi-criteria analysis (SEVI model) and the Social Vulnerability Index (SoVI model) a case study for Bucharest, Romania, *Natural Hazards and Earth System Sciences*, Volume 13, issue 6, pp 1481-1499.
- Azami, Mohammad, Mirzaee, Elham, Mohammadi, Akbar (2015). Recognition of urban unsustainability in Iran (case study: Sanandaj City), *Cities*, Volume 49, December 2015, Pages 159-168.
- Bessason, Bjarni, Bjarnason, Jón Örvar (2016). Seismic vulnerability of low-rise residential buildings based on damage data from three earthquakes (Mw6.5, 6.5 and 6.3), *Engineering Structures*, Volume 111, pp 64-79.
- Chaulagain, Hemchandra, Rodrigues, Hugo, Silva, Vitor, Spacone, Enrico, Varum, Humberto (2015). Seismic risk assessment and hazard mapping in Nepal, *Natural Hazards*, Volume 78, Issue 1, pp 583-602.
- Inel, Mehmet, Senel, Sevket Murat, Toprak, Selcuk, Manav, Yasemin (2008). Seismic risk assessment of buildings in urban areas: a case study for Denizli, Turkey, *Natural Hazards*, Volume 46, Issue 3, pp 265-285.
- Ma, Xue, Ohno, Ryuzo (2012). Examination of Vulnerability of Various Residential Areas in China for Earthquake Disaster Mitigation, *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, Volume 35. pp 369-377.

- Pavlenko, V. A. (2015). Uncertainty in the Estimates of Peak Ground Acceleration in Seismic Hazard Analysis, *Physics of the Solid Earth*, Volume 51, No. 6, pp 878–884.
- PROAG, Virendra (2014). The concept of vulnerability and resilience, 4th International Conference on Building Resilience, Incorporating the 3rd Annual Conference of the ANDROID Disaster Resilience Network, 8th – 11th September 2014, Salford Quays, United Kingdom.
- Sarris, A. Loupasakis, C. Soupios, Trigkas, P. V., Vallianatos F. (2010). Earthquake vulnerability and seismic risk assessment of urban areas in high seismic regions: application to Chania City, Crete Island, Greece, *Natural Hazards*, Volume 54, Issue 2, pp 395-412.
- Tudes, Sule, Yigiter, Nazan Duygu (2010). Preparation of land use planning model using GIS based on AHP: case study Adana-Turkey, *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, Volume 69, Issue 2, pp 235–245.
- Yumarnia, Tri, Amaratungab, Dilanthi, Haigh, Richard (2014). Assessing gender vulnerability within post-earthquake reconstruction: case study from Indonesia, 4th International Conference on Building Resilience, Incorporating the 3rd Annual Conference of the ANDROID Disaster Resilience Network, 8th – 11th September 2014, Salford Quays, United Kingdom.

Evaluation of the vulnerability of urban areas of Kashan against earthquake risk using IHPW model

Leila Goli Mokhtari*¹, Ali Shekari Badi², Zahra Beshkani³

Received: 28-12-2016

Accepted: 30-06-2017

Abstract

Iran is located in Alpide seismic belt and about 21% of all world earthquakes are occurred in our country, so the extent of human and physical vulnerability in Iran is very high. Due to the increasing rate of population growth in cities, it is essential to identify the earthquake vulnerability of cities in order to reduce the earthquake impacts and the following adverse effects through different studies. The current study has been done with the aim to assess and evaluate the vulnerability of urban areas of Kashan to earthquake risk. In this study, the descriptive-analytical method was selected for investigations and the IHWP method and GIS software were used to evaluate vulnerability. The affecting factors for vulnerability that has been used in this study are as follows: population density, building's quality, number of floors, distance to fault, epicenter of earthquake, pick ground acceleration (PGA), residential area distance from open spaces, city texture (urban open space), distance from medical centers, distance from hazardous centers and installations, depth of water table, and land use. The results of study show that 30 percent of Kashan urban areas, including Khzaq areas (zone 8), Ravand (zone 6), Taher Abad (zone 7) that are located in the northwest of the city are faced with high and very high-risk vulnerability, but in Bazaar areas (zone 10), Dasht Afroz (zone 3), and shahed (zone 2), the risk of vulnerability reduces significantly. Therefore, these areas can be used for temporary housing after the earthquake and can be suitable areas for subsequent development of the city. Finally, it is suggested that the special attention should be given to improving the existing buildings quality and precise designation for buildings under construction to reduce losses and damages caused by the earthquake and also to prevent city development in vulnerable areas.

Keywords: Vulnerability, earthquake, IHPW, GIS, Kashan.

¹*- Assistant Professor of Geomorphology, Faculty of Geography and Environmental Sciences, Hakim Sabzevari University, Iran

Email: L.mokhtari@hsu.ac.ir

²- MA Student of Hydrogeomorphology in environmental planning, Faculty of Geography and Environmental Sciences, Hakim Sabzevari University, Iran

³- MA Student of Geomorphology, Faculty of Geography and Environmental Sciences, Hakim Sabzevari University, Iran