Archive of SID.ir

مدیریت مخاطرات محیطی (دانش مخاطرات سابق)/ دورهٔ ۹، شمارهٔ ۳، پاییز ۱۴۰۱/ ص ۲۱۷-۲۰۵
DOI: 10.22059/jhsci.2022.349160.747

ارزیابی و تحلیل آسیب‌پذیری شهر یزد در برابر زلزله با استفاده از مدل‌های ترکیبی

سید احمد میردهقان اشکذری
دانشجوی دکتری جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، واحد یزد، دانشگاه آزاد اسلامی، یزد، ایران
سید علی المدرسی*
استاد گروه جغرافیا، دانشکدهٔ جغرافیا، واحد یزد، دانشگاه آزاد اسلامی، یزد، ایران
محمدرضا رضایی
دانشیار گروه جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشگاه یزد
محمدرضا نوجوان بشنغیان
دانشیار گروه ژئومورفولوژی، واحد میبد، دانشگاه آزاد اسلامی، میبد، ایران
مصطفی خبازی
دانشیار گروه جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشگاه شهید باهنر کرمان

(تاریخ دریافت ۱۴۰۱/۷/۳- تاریخ پذیرش ۱۴۰۱/۹/۱۶)

چکیده

زلزله پدیده‌ای است طبیعی که بی‌توجهی به آن خسارات جبران‌ناپذیری در پی خواهد داشت. وقوع زلزله‌های شدید بشر را بر آن داشته است که در فکر تدوین برنامه‌ای زیربنایی برای کاهش خطرها و آسیب‌های ناشی از آن باشد. هدف این تحقیق، بررسی خسارات ناشی از زلزله در شهر یزد با استفاده از مدل RADIUS و فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی در محیط GIS در سناریوهای مطرح‌شده است. بر این اساس عوامل تعداد طبقات ساختمان، نوع خاک، نوع مصالح، موقعیت نسبت به گسل، قدمت ساختمان، شیب، تراکم جمعیت و شبکهٔ معابر به‌کار گرفته شد. عوامل استفاده‌شده به‌صورت لایه‌های جداگانه در نرم‌افزار ArcGIS10 بررسی شد و اطلاعات لازم برای مدل‌ها استخراج و برای دستیابی به نتایج به مدل‌های مورد استفاده وارد شد. نتایج تحقیق نشان می‌دهد که براساس سناریوی گسل انار، ۲۱ درصد شهر آسیب خواهد دید و منطقهٔ ۲ آسیب‌پذیرتر از بقیهٔ مناطق است؛ براساس سناریوی گسل مهریز-تفت نیز ۳۸ درصد شهر آسیب خواهد دید و منطقهٔ ۲ آسیب‌پذیرتر از مناطق دیگر است. تحقیقات زیادی در زمینهٔ آسیب‌پذیری انجام گرفته است. در تحقیقات، اغلب زلزله در شهر با داده‌های مکانی و براساس مدل‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره و با شدت یکسان در سراسر شهر در مورد ساختمان‌ها بررسی شده، اما در این تحقیق با استفاده از مدل RADIUS شدت زلزله در بخش‌های مختلف شهر محاسبه و در سناریوهای مختلف شدت خسارت برآورد شده است.

واژه‌های کلیدی: آسیب‌پذیری، زلزله، شهر یزد، مدل RADIUS.

* نویسندهٔ مسئول
Email: malekian@ut.ac.ir

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

مقدمه

وقوع زلزله‌های شدید بشر را بر آن داشته که در فکر تدوین برنامه‌ای زیربنایی برای کاهش خطرها و آسیب‌های ناشی از این پدیدهٔ طبیعی باشد. براساس گزارش سازمان ملل، در سال ۲۰۰۳ میلادی، ایران در بین کشورهای جهان رتبهٔ نخست را در تعداد زلزله‌های با شدت بیش از ۵/۵ ریشتر و یکی از بالاترین رتبه‌ها را در زمینهٔ آسیب‌پذیری از زلزله و شمار تلفات ناشی از آن داشته است [۲۲].

ایران با آسیب‌پذیری لرزه‌ای گروه‌های خاصی از ساخت‌وسازها مانند ساختمان‌های عمومی با مصالح غیرمسلح بنایی، ساختمان‌های پرجمعیت قدیمی در مراکز شهری، بافت‌های فرسوده، منازل مسکونی و سازه‌های بتنی که در دهه‌های ۱۹۶۰ تا ۱۹۸۰ با مصالح و طراحی ضعیف سر برآورده‌اند روبه‌روست [۱]. شهرها مکان تجمع جمعیت و افزایش بارگذاری‌های محیطی و اقتصادی‌اند. این موضوع مهم ضرورت کاهش آسیب‌پذیری در برابر زلزله را مطرح می‌کند.

براساس نقشهٔ پهنه‌بندی خطر زمین‌لرزه ایران، شهر یزد در پهنهٔ با خطر به‌نسبت کم قرار گرفته است، اما با توجه به وجود گسل‌های زلزله در استان که می‌توانند این حوزه و شهر یزد را تحت تأثیر قرار دهند، ارزیابی آسیب‌پذیری آن با استفاده از مدل‌های کارا و مناسب از ضروریات مدیریت بحران شهری است. در تحقیقاتی که دربارهٔ زلزله و ارزیابی خطر آن صورت گرفته، اغلب زلزله در شهر با داده‌های مکانی و براساس مدل‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره در مورد ساختمان‌ها بررسی شده، اما در این تحقیق از ترکیب مدل‌های RADIUS و AHP استفاده شده است. تا کنون تحلیل‌ها و ارزیابی‌های متعددی در زمینهٔ تخمین خسارت و ارزیابی آسیب‌پذیری در برابر زلزله انجام گرفته که هر یک از آنها از مدل‌ها و روش‌های متعدد با توجه به اهداف و فرضیه‌ها استفاده کرده است.

در پژوهش صالحی‌پور میلانی و همکاران با هدف شناسایی آسیب‌پذیری و همچنین تعیین تاب‌آوری شهر رزن در برابر زلزله، نتایج پهنه‌بندی آسیب‌پذیری نشان می‌دهد که ۵۵ درصد وسعت شهر رزن در محدودهٔ آسیب‌پذیری زیاد و بسیار زیاد قرار داشته و محلهٔ ۵ بیشترین آسیب‌پذیری را دارد [۹]. نتایج تحقیقی دیگر به‌روش توصیفی- تحلیلی در بستر پیمایشی با هدف سنجش آسیب‌پذیری بافت‌های مسکونی در کلانشهر ساری در برابر زلزله نشان می‌دهد که در مناطق ۱ تا ۴ ساری به‌ترتیب ۶۳، ۶۶، ۷۲ و ۶۷ درصد ساختمان‌های مسکونی که از نوع خشتی‌اند و مصالح آنها از نوع بلوک سیمانی است، به‌هنگام وقوع زلزله کاملاً تخریب می‌شوند. از سوی دیگر، کمترین خرابی در همهٔ ساختمان‌های فولادی و ساختمان‌های بتنی دارای شش طبقه و بیشتر پیش‌بینی شده است [۲]. در پژوهشی دیگر که با هدف ارزیابی آسیب‌پذیری کالبدی شهر آذرشهر در برابر زلزله با استفاده از مدل فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی و سیستم اطلاعات جغرافیایی صورت گرفت، نتایج نشان داد که آسیب‌پذیری کالبدی در محدودهٔ شهر، در حد متوسط و در بخش مرکزی و قدیمی شهر بسیار

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

شدید است [۱۱]. نتایج پژوهشی دیگر در زمینهٔ بررسی آسیب‌پذیری شهر جوانرود با استفاده از ANP و GIS، حاکی از آن است که حدود ۲۰ درصد فضاهای ساخته‌شدهٔ شهری جوانرود در برابر این نوع مخاطرات، آسیب‌پذیری متوسط به بالا دارد [۶]. امینی و همکاران در پژوهشی به ارزیابی مدل RADIUSپرداختند و ضمن بررسی مزایا و معایب این مدل، خسارات ناشی از زلزله را در منطقهٔ ۱ شهرداری برآورد کردند [۴]. گولاتی ضمن مقایسهٔ مدل‌های ارزیابی آسیب‌پذیری شهر در برابر زلزله (RADUIS و TELES) با استفاده از مدل Hazus به ارزیابی خطر ساختمان‌های شهر دهرادون هند در برابر زلزله پرداخت و به این نتیجه رسید که این مدل به‌دلیل کثرت و تنوع داده‌ها و متغیرهای مورد استفاده مدل مناسبی است [۱۶]. راشد و همکاران در پژوهشی به بررسی تأثیر سیستم اطلاعات جغرافیایی و سنجش از دور، در مدل‌سازی و پیش‌بینی آسیب‌پذیری شهر کالیفرنیا در برابر زلزله پرداختند و با استفاده از توابع تحلیلی و سیستم اطلاعات جغرافیایی، آسیب‌پذیری شهر را مدل‌سازی کردند [۲۰]. مارتینلی و همکاران در تحقیقی به ارزیابی آسیب‌پذیری ساختمان‌ها و سناریوهای مختلف آسیب در شهر سلانو در ایتالیا پرداختند و ضمن تقسیم ساختمان‌ها به دو دستهٔ بتنی و بنایی، آسیب‌پذیری آنها را با استفاده از مدل RISK_UE در شدت‌های مختلف زلزله بررسی کردند و خسارات ناشی از زلزله‌های احتمالی را تخمین زدند و مدل‌سازی کردند [۱۹]. لانتادا و همکاران در تحقیقی ضمن مدل‌سازی آسیب‌پذیری بارسلون با استفاده از مدل RISK_UE، با به‌کارگیری مدل‌های موجود در زمینهٔ تخمین خسارات به ارزیابی خسارت‌های انسانی و اقتصادی این شهر پرداختند [۱۸]. تانگ و ون در تحقیقی از سیستم هوش مصنوعی برای ارزیابی خطر زلزله در شهر دیانگ چین مبنی بر توسعهٔ GIS و شبکهٔ مصنوعی استفاده کردند. این سیستم برای تشخیص ضعف لرزه‌ای ساختارها در شرایط پیش از زلزله، ارزیابی سریع خسارت زلزله و فراهم ساختن شرایط فوری هوشمند پاسخگویی عمومی و دولتی در طول زلزله و بعد از آن کاربرد دارد [۲۱] رئیسیان و همکاران در تحقیقی با هدف تحلیل جامع تاب‌آوری شهری در برابر مخاطرات با استفاده از تحلیل عاملی در ساری نتیجه گرفتند که بیشترین ضریب در مؤلفه‌ها به شاخص اجتماعی اختصاص داده شده است [۸]. در پژوهش اصلانی و همکاران مشخص شد که معیارهای چهارگانهٔ برونو در ارتقای تاب‌آوری در برابر زلزله علی‌رغم فراهم کردن مقطعی خوب در مقیاس محله و واحد همسایگی، جامع نیستند و باید برای دستیابی به محلهٔ تاب‌آور در برابر زلزله در کنار معیارهای برونو، معیارهای دیگری مانند سازگاری، انعطاف، تنوع، تمرکز، تراکم، محصوریت، خوانایی، نظم، تعادل، همکاری و همبستگی نیز در نظر گرفته شود [۳].

در تحقیقات پیشین، اغلب زلزله در شهر با داده‌های مکانی و براساس مدل‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره و با شدت زلزلهٔ یکسان در سراسر شهر، در مورد ساختمان‌ها بررسی

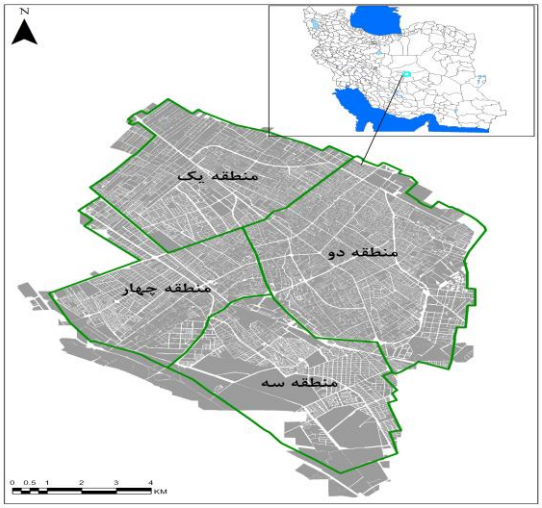
Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

شده، اما در این تحقیق با استفاده از مدل RADIUS شدت زلزله در بخش‌های مختلف شهر محاسبه و در سناریوهای مختلف شدت خسارت برآورد شده است.

منطقهٔ پژوهش

شهر یزد برای اجرای این تحقیق انتخاب شد. این شهر با وسعت تقریبی ۲۴۶۲ کیلومتر مربع در شرق استان یزد در حد فاصل دو پهنهٔ کویری لوت و مرکزی واقع شده است. این شهرستان در سه جهت اصلی خود با فواصل ۶۰ تا ۹۰ کیلومتر توسط کویر و ارتفاعات کوهستانی احاطه شده و حوزهٔ بسته‌ای را تشکیل می‌دهد [۱۲]. شکل ۱ موقعیت منطقه را نشان می‌دهد.



شکل ۱. موقعیت منطقهٔ پژوهش

روش تحقیق

نوع تحقیق کاربردی و روش پژوهش معیاری- تحلیلی است. این روش با تلاش برای کشف روابط علت و معلولی موضوع و به‌کارگیری روش‌های کمی و کیفی و تحلیل روابط حاکم بر آنها در پی رسیدن به هدف است. گردآوری داده‌ها برای این تحقیق اغلب برپایهٔ مشاهدات میدانی شامل برداشت خصایص مورد نظر در مورد ویژگی‌های ساختمانی و کالبدی شهر، و به‌صورت کتابخانه‌ای شامل استفاده از نقشه‌های ۱:۲۰۰۰ شهری و تصاویر ماهواره‌ای برای بهنگام‌سازی نقشه‌ها و همچنین استفاده از آمار و اطلاعات موجود در زمینهٔ موضوع تحقیق است.

داده‌های به‌کاررفته در این تحقیق شامل تراکم جمعیت، شبکهٔ معابر، تعداد طبقات، شیب،

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

موقعیت نسبت به گسل، نوع سازه و قدمت ساختمان است. در این تحقیق از نرم‌افزارهای ArcGIS و RADIUS نیز استفاده شده است.

تعریف سناریو: پیش‌بینی رویدادهای احتمالی و آثار آنها تهیهٔ سناریو نامیده می‌شود.

مدل RADIUS

رویکرد RADIUS در سال ۱۹۹۶ با هدف تهیهٔ سناریوی زلزله و تدوین برنامهٔ اقدام برای شهرهای در معرض خطر زلزله در کشورهای در حال توسعه به‌کار گرفته شد. هدف اصلی پروژهٔ RADIUS که با حمایت سازمان ملل آغاز شد، ارتقای آگاهی و ایجاد ابزاری علمی و کاربردی برای کاهش خطر زلزله در مناطق شهری است. این رویکرد با اصلاحات انجام‌گرفته، به‌صورت نوعی نرم‌افزار تخمین خسارت و تهیه و تدوین سناریوی زلزله به‌کار گرفته شد. این برنامه در برنامه‌های اطلاع‌رسانی و آگاه‌سازی همهٔ ذی‌نفعان در شهر کاربرد دارد [۲۲]. در این تحقیق برای تعیین سناریوی زلزله از مدل RADIUS استفاده شد. وضعیت زمین، داده‌های آماری و عملکرد آسیب‌پذیری ساختمان‌ها مهم‌ترین داده‌های ورودی برای تخمین خسارت زلزله هستند. برای تهیه و تدوین یک سناریوی خسارت زلزله، باید ناحیهٔ هدف مشخص شده و با توجه به زمین‌شناسی و موقعیت گسل‌ها، بزرگی، مرکز زلزله و مدل افت قدرت موج تعیین شود. تخمین خسارت با توجه به مخاطره و سازه‌های موجود و تعداد و نوع سازه‌ها و شریان‌های حیاتی برآورد خواهد شد. نقشهٔ خسارت بیان‌کنندهٔ ارتباط بین شدت لرزه‌ای و درجهٔ خسارت به سازه‌ها خواهد بود. تلفاتی همچون مرگ و جراحت هنگام وقوع زلزله در شب یا روز تخمین زده می‌شوند. بنابراین کل فرایند تخمین خسارت به آگاهی از مجموع خسارت و چگونگی توزیع آنها در صورت وقوع زلزله منجر می‌شود. البته باید توجه داشت که هنگام رخداد زلزله، تأثیرات و نتایج آن بی‌گمان تفاوت‌های زیادی با نتایج سناریو خواهد داشت. سناریو تنها فرضیه‌ای است برای اینکه بدانیم اثرهای وقوع زلزله بدتر یا شبیه به چیزی است که سناریو محاسبه کرده است.

فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی

فرایند تحلیل سلسله مراتبی که توسط توماس ساعتی بنا نهاده شده، از جامع‌ترین سیستم‌های طراحی‌شده برای تصمیم‌گیری با معیارهای چندگانه است، زیرا امکان فرموله کردن مسئله را به‌صورت سلسله‌مراتبی فراهم می‌کند و نیز امکان در نظر گرفتن معیارهای مختلف کمی و کیفی را در مسئله دارد و گزینه‌های مختلف را در تصمیم‌گیری دخالت می‌دهد و به‌کمک آن، تحلیل حساسیت روی معیارها و زیرمعیارها ممکن می‌شود [۱۰].

AHP برای ارزیابی تعداد زیادی از معیارها و حل مسائل چندمتغیره به‌صورت گسترده

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

کاربرد دارد و گروه تصمیم‌گیرندگان عضو هر گروهی که باشند می‌توانند از آزمون‌پذیری این مدل بهره گیرند و مسئله را به کمک آن حل کنند [۱۵]. AHP برمبنای مقایسهٔ زوجی بنا نهاده شده و قضاوت و محاسبات را تسهیل می‌کند و نیز میزان سازگاری و ناسازگاری تصمیم را نشان می‌دهد که از مزایای ممتاز این روش در تصمیم‌گیری چندمعیاره بوده و از مبنای نظری قوی برخوردار است. اساس روش AHP، مقایسهٔ زوجی یا دوبه‌دویی گزینه‌ها و معیارهای تصمیم‌گیری است [۱۳] که در این مقایسه‌ها تصمیم‌گیرندگان از قضاوت‌های شفاهی استفاده خواهند کرد.

داده‌ها و تحلیل

برای تخمین خسارات ناشی از زلزله در شهر یزد با استفاده از مدل‌های AHP و RADIUS و مبانی نظری بیان‌شده دربارهٔ این مدل‌ها، ابتدا معیارهای به‌کاررفته که اهمیت هر کدام از آنها در آسیب‌پذیری ناشی از زلزله متفاوت است، با استفاده از مدل AHP و با توجه به نظرهای کارشناسی با هم مقایسه شدند و اهمیت و وزن هر کدام از معیارها با استفاده از این مدل در نرم‌افزار IDRISI محاسبه شد که نتیجهٔ آن در جدول ۱ مشاهده می‌شود و مقدار CR=۰/۰۳ کمتر از ۰/۱ است که قابل قبول است. هر کدام از پارامترها نیز زیرمعیارهایی دارند که به هر کدام از آنها وزنی براساس نظرهای کارشناسی اختصاص داده شد (جدول ۳). وزن اختصاص‌یافته به این معیارها بین صفر و ۱ است که ۱ نشان‌دهندهٔ حداکثر و صفر نشان‌دهندهٔ حداقل آسیب‌پذیری است. مقدار به‌دست‌آمده برای آسیب‌پذیری هر ساختمان عددی بین صفر و ۱ است. در ادامه این مقادیر مطابق با جدول ۲ گروه‌بندی می‌شوند و هر یک از ساختمان‌ها در یکی از گروه‌های آسیب‌پذیری قرار می‌گیرند.

جدول ۱. مقایسهٔ زوجی معیارهای استفاده‌شده

Preference Matrix	موقعیت نسبت به گسل	نوع مصالح	قدمت ساختمان	تعداد طبقات	تراکم جمعیت	نوع خاک	شیب	شبکهٔ معابر	وزن معیار
موقعیت نسبت به گسل	۱								۰/۲۷۲۵
نوع مصالح	۱/۲	۱							۰/۲۲۳۱
قدمت ساختمان	۱/۲	۱/۵	۱						۰/۱۷۱۹
تعداد طبقات	۱/۴	۱/۴	۱/۲	۱					۰/۱۳۲۴
تراکم جمعیت	۱/۴	۱/۴	۱/۲	۱/۲	۱				۰/۰۹۰۳
نوع خاک	۱/۵	۱/۵	۱/۴	۱/۳	۱/۳	۱			۰/۰۵۸۸
شیب	۱/۸	۱/۸	۱/۷	۱/۶	۱/۶	۱/۴	۱		۰/۰۳۰۷
شبکهٔ معابر	۱/۹	۱/۸	۱/۸	۱/۶	۱/۵	۱/۴	۱/۳	۱	۰/۰۲۰۳

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

جدول ۲. درجه‌بندی آسیب واردشده به ساختمان‌ها [۱۴]

درجه آسیب	محدوده (دامنه)	شرح
D0	۰	بدون آسیب
D1	۰,۰-۰,۲	آسیب کم
D2	۰,۲-۰,۴	آسیب متوسط
D3	۰,۴-۰۶	آسیب شایان توجه تا سنگین
D4	بیش از ۰,۶	آسیب بسیار سنگین تا نابودی کامل

جدول ۳. وزن‌دهی به معیارهای به‌کاررفته براساس نظر کارشناسان

عوامل آسیب‌پذیری	نوع	وزن پیشنهادی
نوع خاک	تیپ IV	۱
	تیپIII	۰/۷۵
	تیپI	۰/۱۲۵
شیب	۰ تا ۵ درجه	۰/۲۵
	۶ تا ۱۵ درجه	۰/۷۵
	بیش از ۱۵ درجه	۱
شبکهٔ معابر	عرض ۶ متر و کمتر از ۶ متر	۱
	عرض ۶ تا ۱۰ متر	۰/۷۵
	عرض ۱۰ تا ۱۵ متر	۰/۳۷۵
	عرض بیش از ۱۵ متر	۰/۱۲۵
قدمت ساختمان	۱ تا ۱۰ سال	۰/۲۵
	۱۰ تا ۲۰ سال	۰/۷۵
	بیش از ۲۰ سال	۱
تعداد طبقات	۱ و ۲	۰/۲۵
	۳ و ۴ و ۵	۰/۷۵
	۶ و بیشتر	۰/۵۶
تراکم جمعیت	کم	۰/۲۵
	متوسط	۰/۶۲۵
	زیاد	۱
نوع مصالح	اسکلت خشت	۱
	اسکلت آجر	۰/۷۵
	اسکلت فلزی	۰/۳۷۵
	اسکلت بتنی	۰/۲۵
موقعیت منطقه نسبت به گسل	۵ تا ۵/۸ ریشتر	۰/۲۵
	۵/۹ تا ۶/۶ ریشتر	۰/۶۲۵
	۶/۷ تا ۸ ریشتر	۱

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

تعیین سناریوی زلزله: در این تحقیق برای ایجاد تصویری مناسب از وقوع آسیب و خسارات در شهر یزد و تهیهٔ انواع خسارت ممکن بر اثر وقوع زلزلهٔ احتمالی، دو زلزلهٔ ناشی از فعال شدن دو گسل انار و مهریز- تفت در نظر گرفته شده و در آخر دو مدل برای زلزلهٔ سناریو در مدل RADIUS منظور شد (جدول ۴).

نتایج تخمین خسارات ناشی از زلزله در شهر یزد

اکنون برای تخمین خسارات ناشی از زلزله در شهر یزد با استفاده از مدل‌های AHP و TOPSIS، در ابتدا برای طراحی سناریوی زلزله و محاسبهٔ شدت زلزله در بخش‌های مختلف منطقه از مدل RADIUS استفاده شد. منظور از زلزلهٔ سناریو، تعیین بزرگی، شدت و دیگر پارامترهای زلزله‌ای است که نرم‌افزار آن را به‌منزلهٔ زلزلهٔ احتمالی در منطقه در نظر می‌گیرد. پارامترهای ورودی به سیستم برای تعیین سناریوی زلزله عبارت‌اند از: موقعیت مکانی وقوع زلزله، عمق زلزله، بزرگی زلزله و زمان وقوع زلزله. برای طراحی سناریوی زلزله، با توجه به اینکه در مناطق شهری، هر بخش از منطقه خصوصیات مختلفی مانند وضعیت زمین، نوع و کاربری متفاوت ساختمان‌ها و همچنین اطلاعات آماری متفاوت دارد، برای محاسبهٔ شدت زلزله در بخش‌های مختلف منطقه، شهر یزد، به ۳۹ شبکهٔ مساوی، ۲۰۰۰ متر در ۲۰۰۰ متر تقسیم و اطلاعات مورد نیاز برنامه، به تفکیک هر شبکه وارد نرم‌افزار شد. شبکه‌بندی منطقه در نرم‌افزار ArcGIS و با توجه به مرزهای منطقه و توزیع کاربری‌های موجود در آن صورت گرفته است.

جدول ۴. مشخصات مدل‌های سناریوی زلزله

مشخصات	مدل گسل انار	مدل گسل مهریز- تفت
موقعیت نسبت به منطقه	شمال شرقی	جنوب
بزرگی زلزله	۷/۲	۷/۲
عمق زلزله	۵/۲ کیلومتر	۵/۲ کیلومتر

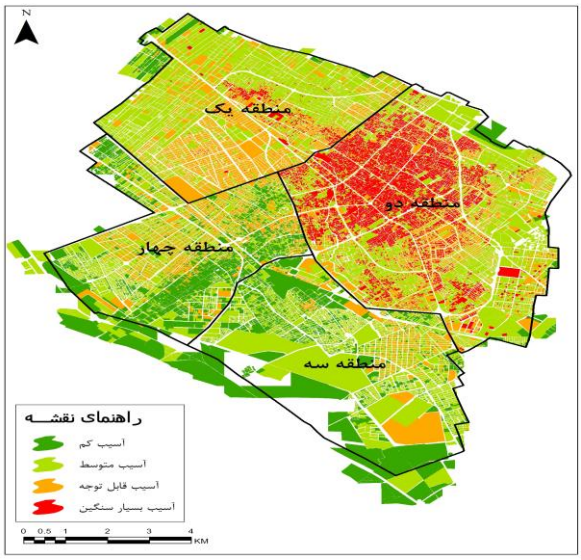
برآورد آسیب‌پذیری ساختمان‌ها و توزیع آنها در منطقه براساس سناریوی گسل انار

وضعیت آسیب‌پذیری مساکن منطقه براساس سناریوی گسل انار در شکل ۲ مشاهده می‌شود. نتایج حاکی از آن است که ۲۱ درصد شهر آسیب زیاد، ۳۱ درصد آسیب شایان توجه، ۳۳ درصد آسیب متوسط و ۲۷ درصد آسیب کم خواهد دید. بیشترین آسیب مربوط به منطقهٔ ۲ و بخشی از منطقهٔ ۱ است که دلایل آن، رعایت نشدن معیارهای فنی و مهندسی نوین، ناکارامدی

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

شبکهٔ ارتباطی، کمبود فضای باز و وجود بافت‌های خودرو و قدیمی است که در برابر زلزله پایداری اندکی دارند. مشکل دیگر این‌گونه بافت‌ها دسترسی‌های نامناسب و محدود آنهاست که امدادرسانی به ساکنان را مشکل می‌سازد و ممکن است با بحرانی شدن شرایط، فاجعه‌ای انسانی را دامن بزند. کمترین آسیب مربوط به منطقهٔ ۳ است که دلیل آن وجود ساختمان‌های با مصالح مقاوم و شبکهٔ معابر بزرگ‌تر و وجود فضاهای باز بیشتر است. از دیگر علت‌های کم بودن آسیب‌پذیری در این قسمت شهر، وجود قطعه‌های بزرگ، تراکم ساختمانی کم، سلسله‌مراتب مناسب و اصولی معابر شهری و کاربری‌هایی با آسیب‌پذیری کم (پارک و فضای سبز، مراکز آموزش عالی) است.



شکل ۲. نقشهٔ تخریب ساختمان‌ها براساس سناریوی گسل انار

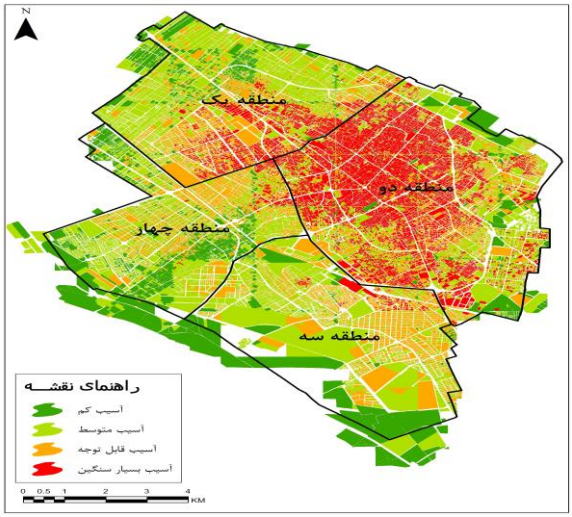
برآورد آسیب‌پذیری ساختمان‌ها و توزیع آنها در منطقه براساس سناریوی گسل مهریز- تفت

شدت آسیب در این سناریو از سناریوی قبلی بیشتر است که دلیل آن نزدیکی گسل مهریز- تفت نسبت به گسل انار به شهر یزد است. وضعیت شدت آسیب‌پذیری منطقه براساس سناریوی گسل مهریز- تفت در شکل ۳ مشاهده می‌شود. نتایج حاکی از آن است که ۳۸ درصد شهر آسیب زیاد، ۳۲ درصد آسیب شایان توجه، ۲۰ درصد آسیب متوسط و ۱۱ درصد آسیب کم خواهند دید. بیشترین آسیب مربوط به منطقهٔ ۲ و بخشی از منطقهٔ ۱ است

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

که دلیل آن، رعایت نشدن معیارهای فنی و مهندسی نوین، ناکارامدی شبکهٔ ارتباطی، کمبود فضای باز و وجود بافت‌های خودرو و قدیمی در منطقهٔ ۲ است که پایداری اندک در برابر زلزله از مشخصه‌های اصلی این‌گونه بافت‌های شهری است. مشکل دیگر این‌گونه بافت‌ها دسترسی‌های نامناسب و محدود آنهاست که امدادرسانی به ساکنان آنها پس از وقوع زلزله را مشکل می‌سازد و می‌تواند با بحرانی شدن شرایط، فاجعه‌ای انسانی را دامن بزند. کمترین آسیب مربوط به مناطق ۳ و ۴ است که دلیل آن، وجود ساختمان‌های با مصالح مقاوم و شبکهٔ معابر بزرگ‌تر و وجود فضاهای باز بیشتر است. از دیگر علت‌های کم بودن آسیب‌پذیری در این قسمت شهر می‌توان به وجود قطعه‌های بزرگ، تراکم ساختمانی کم، سلسله‌مراتب مناسب و اصولی معابر شهری و کاربری‌های با آسیب‌پذیری کم (پارک و فضای سبز، مراکز آموزش علی) است.



شکل ۳. نقشهٔ تخریب ساختمان‌ها براساس سناریوی گسل مهریز- تفت

نتیجه‌گیری

کاهش آثار زلزله برای ساکنان شهرها و محیط‌های شهری چه قبل و چه بعد از وقوع آن از مهم‌ترین دغدغه‌های مسئولان شهرهاست. با شناسایی نواحی پرخطر می‌توان با برنامه‌ریزی مناسب وضعیت کالبدی ساختمان‌ها، خدمات اضطراری در این نواحی را بهبود بخشید. بررسی نتایج حاصل از تخمین خسارات ناشی از زلزله در منطقهٔ پژوهش براساس دو سناریوی تدوین‌شده، حاکی از آن است که بیشترین خسارات را گسل مهریز- تفت ایجاد خواهد کرد. با

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

توجه به شاخص‌ها و مدل‌های به‌کاررفته، منطقهٔ ۲ شهری یزد آسیب‌پذیرترین منطقه در برابر زلزله است و مناطق ۱، ۴ و ۳ شهری به‌ترتیب در رتبه‌های بعدی قرار دارند. بررسی آسیب‌پذیری منطقه به‌صورت جزئی و در قالب قطعات تفکیکی مطابق با مدل مورد استفاده انتخاب شده و درجهٔ آسیب به‌دست آمده و در دو سناریوی مدنظر بررسی شده است. براساس این تحقیق گسترهٔ شهر از لحاظ خطر زلزله چندان آسیب‌پذیر نیست، اما به‌دلیل موقعیت جغرافیایی این شهر و پیشینهٔ تاریخی فعالیت گسل‌های موجود، می‌توان گفت که رخداد زلزله در این منطقه در آینده گریزناپذیر است و با توجه به وجود گسل‌های فراوان در نزدیکی و داخل شهر، آسیب‌پذیری شهر در برابر خطر زلزله بیشتر می‌شود. تحقیقات زیادی دربارهٔ آسیب‌پذیری انجام گرفته که اغلب زلزله در شهر را با داده‌های مکانی و براساس مدل‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره و با شدت یکسان در سراسر شهر دربارهٔ ساختمان‌ها بررسی کرده‌اند، اما در این تحقیق با استفاده از مدل RADIUS شدت زلزله در بخش‌های مختلف شهر محاسبه و در سناریوهای مختلف شدت خسارت برآورد شده که در تحقیقات پیشین مشاهده نمی‌شود. مورد دیگر وجود بافت‌های خودرو و قدیمی در منطقهٔ ۲ شهر یزد است که پایداری اندک در برابر زلزله از مشخصه‌های اصلی این‌گونه بافت‌های شهری است. مشکل دیگر این‌گونه بافت‌ها دسترسی‌های نامناسب و محدود آنهاست که امدادرسانی به ساکنان آنها پس از وقوع زلزله را مشکل می‌کند و می‌تواند با بحرانی شدن شرایط، فاجعه‌ای انسانی را دامن بزند.

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

منابع

[۱]. احدنژاد، محسن (۱۳۸۸). مدل‌سازی آسیب‌پذیری شهرها در برابر زلزله (مطالعهٔ موردی: شهر زنجان)، رسالهٔ دکتری جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشگاه تهران.

[۲]. احمدی، فریال؛ اسکندری‌نژاد، علیرضا (۱۴۰۰). «ارزیابی میزان آسیب‌پذیری بافت مسکونی کلانشهر ساری در مخاطرهٔ طبیعی زلزله»، *آمایش محیط*، سال ۱۴، دورهٔ ۵۲، ص ۱۸-۱.

[۳]. اصلانی، فرشته؛ امینی حسینی، کامبد؛ فلاحی، علیرضا (۱۳۹۷). «چارچوب تاب‌آوری کالبدی و اجتماعی محله در برابر زلزله (مطالعهٔ موردی: محلهٔ کشاورز واقع در منطقهٔ ۶ تهران)، *مدیریت مخاطرات محیطی*، دورهٔ ۵، شمارهٔ ۴، ص ۴۳۳-۴۱۷.

[۴]. امینی، جمال؛ کرمی، جلال؛ علیمحمدی؛ عباس؛ صفرراد؛ طاهر (۱۳۹۰). «ارزیابی مدل RADIUS در تخمین خسارات ناشی از زلزله در محیط GIS (مطالعهٔ موردی منطقهٔ یک شهرداری تهران)»، *مطالعات و پژوهش‌های شهری و منطقه‌ای دانشگاه اصفهان*، دورهٔ ۳، شمارهٔ ۱۱، ص ۴۰-۲۳.

[۵]. پویان، محمدحسن؛ صنایعی، علی؛ انصاری، آذرنوش (۱۳۹۹). «مدل‌سازی آسیب‌پذیری بافت‌های شهری تحت سناریوهای مختلف به‌منظور مدیریت بحران در برابر زلزله (مطالعهٔ موردی: منطقهٔ یک شهرداری تهران)، *پژوهش‌های جغرافیای انسانی*، دورهٔ ۵۲، شمارهٔ ۴، ص ۱۲۹۳-۱۲۷۵.

[۶]. حیدری‌فر، محمدرئوف؛ و محمودی، عبدالله (۱۴۰۰). «تحلیل آسیب‌پذیری کاربری اراضی شهری جوانرود در برابر زلزله با استفاده از تحلیل شبکه‌ای (ANP) و سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS)»، *پژوهش‌های جغرافیای انسانی*، دورهٔ ۵۳، شمارهٔ ۱، ص ۱۳۷-۱۱۹.

[۷]. رجایی، سیدعباس؛ زیاری، کرامت‌الله؛ زنگنه شهرکی، سعید؛ و شهسواری، محمدسینا (۱۳۹۸). «تحلیل فضایی تغییرات اندازهٔ شهر با میزان آسیب‌پذیری اجتماعی؛ مطالعهٔ موردی: شهرهای با بیش از ۱۰ هزار نفر جمعیت در ایران»، *برنامه‌ریزی فضایی (جغرافیا)*، دورهٔ ۹، شمارهٔ ۳، ص ۲۲-۱.

[۸]. رئیسیان، میثم؛ ایلانلو، مریم؛ ابراهیمی، لیلا؛ و بزرگمهر، کیا (۱۳۹۹). «تحلیل جامع تاب‌آوری شهری در مواجهه با خطر وقوع زلزله (مطالعهٔ موردی: شهر ساری)»، *مدیریت مخاطرات محیطی*، دورهٔ ۷، شمارهٔ ۴، ص ۴۰۰-۳۸۳.

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

[۹]. صالحی‌پور میلانی، علیرضا؛ زمانی، مهدی؛ و صدوق، سیدحسن (۱۴۰۰). «ارزیابی آسیب‌پذیری و تاب‌آوری شهر رزن در برابر زلزله»، *مدیریت مخاطرات محیطی*، دورهٔ ۸، شمارهٔ ۳، ص ۲۸۲-۲۶۷.

[۱۰]. قدسی‌پور، سیدحسن (۱۳۸۷). *فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی*، چاپ پنجم، تهران: انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر.

[۱۱]. مبارکی، امید؛ اسمعیل‌پور، مرضیه؛ و امینی، شیرین (۱۴۰۰). «ارزیابی آسیب‌پذیری کالبدی شهر آذرشهر در برابر زلزله»، *شهر ایمن*، دورهٔ ۲، شمارهٔ ۷.

[۱۲]. مهندسین مشاور عرصه (۱۳۸۶). گزارش طرح جامع شهر یزد.

[۱۳]. نیکمردان، علی (۱۳۸۶). *معرفی نرم‌افزار* Expert choice 11، تهران: انتشارات جهاد دانشگاهی واحد صنعتی امیرکبیر.

[14]. Cardona, Cynthia N. (2002). “Earthquake Damage Scenarios for Thimphu Valley- implementation of Case Study-, Geo hazards International, Vol 38-42.

[15]. Chang, N.B.; Parvathinathan, G.; & Breeden, J. (2008). “Combining GIS with fuzzy multicriteria decision-making for landfill siting in a fast-growing urban region”, Journal of Environmental Management, 87, pp: 139–153.

[16]. Gulati, B. (2006). Earthquake Risk Assessment of Buildings Applicability of HAZUS in Dehradun, India, Unpublished MS Thesis, ITC, the Netherlands.

[17]. ISDR (2004). *Living with risk: A global review of disaster reduction initiatives United Nations international strategy for disaster reduction*, London: Addison-Wesley.

[18]. Lantada, N.; Pujades, L.; & Barbat, A. (2009). “Vulnerability index and capacity spectrum based methods for urban seismic risk evaluation, A comparison”, *Nat Hazards, 51*, pp: 501–524.

[19]. Martinelli, A.; Cifani, G.; Cialone, G.; Corazza L.; Petracca, A.; Petrucci, G. (2008). Building vulnerability assessment and damage scenarios in Celano (Italy) using a quick survey data-based methodology, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 28, pp: 875– 88.

[20]. Rashed, T.; Weeks, J.; Couclelis, H.; & Herold, M. (2007). “an integrative GIS and remote sensing model for place-based urban vulnerability analysis”.

[21]. Tang, A.; & Wen, A. (2009). “an intelligent simulation system for earthquake disaster assessment”, *Computers & Geosciences, 35*, pp: 871– 879.

[22]. UNDP (2004). *Reducing Disaster Risk, A Challenge for Development.*

[23]. Villacis, Carlos A.; &. Cardona, Cynthia N. (1999). “Guidelines for the implementation of earthquake risk management projects”, *Geo hazards International*, Palo Alto, California.

Archive of SID.ir