

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

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۵/۱۰/۰۷

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۶/۱۲/۱۲

صفحات: ۱۰۴ - ۸۹

## تخمین خسارات ناشی از زلزله با استفاده از مدل RADIUS و GIS (مطالعه موردی شهرستان اشکذر)

سید علی المدرسی<sup>۱\*</sup>، سیداحمد میردهقان اشکذری<sup>۲</sup>

### چکیده

زلزله پدیده‌ای است طبیعی که بی توجهی به آن خسارات جبران ناپذیری به دنبال خواهد داشت. بر این اساس بررسی‌های مربوط به آسیب‌پذیری لرزه‌ای مناطق مسکونی یکی از ضروریات مدیریت شهری است که با ایجاد یک مدل مناسب و به کارگیری انواع داده‌های مکانی و غیرمکانی و انجام تحلیل‌های مربوط در سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی و سیستم‌های تصمیم‌گیری چند معیار، بتوان به ارزیابی و تحلیل آسیب‌پذیری شهرها در برابر زلزله کمک نمود. در این پژوهش شهرستان اشکذر به عنوان یکی از شهرهای استان یزد جهت بررسی آسیب‌پذیری انتخاب گردید. در این پژوهش برای تعیین آسیب‌پذیری، از مدل رادیوس استفاده شد. داده‌های ورودی این مدل عبارتند از: ۱- اندازه و حد و مرز منطقه مورد مطالعه ۲- جمعیت کل منطقه ۳- تعداد کل ساختمان ۴- نوع خاک ۵- اطلاعات شریان‌های حیاتی ۶- انتخاب سناریوی زلزله و خروجی‌های این نرم افزار عبارتند از: شدت لرزه‌ای، خسارات وارده به ساختمان و شریان‌های حیاتی و تلفات. نتایج حاصل از این پژوهش نشان می‌دهد خسارات ناشی از زلزله در دو سناریوی احتمالی وقوع زلزله در منطقه مورد مطالعه ناچیز است، به گونه‌ای که در سناریو گسل جنوب غرب، خسارات اندکی وارد می‌شود و در سناریوی گسل شرقی، میزان خسارت صفر است.

واژگان کلیدی: آسیب‌پذیری، زلزله، مدل RADIUS، شهرستان اشکذر.

almodaresi@iauyazd.ac.ir

mirdehghan.ahmad@gmail.com

<sup>۱</sup>- دانشیار، دکترای تخصصی، دانشگاه آزاد اسلامی یزد (نویسنده مسئول)

<sup>۲</sup>- دانشجوی دکتری جغرافیا، دانشگاه آزاد اسلامی یزد

## مقدمه

زلزله پدیده‌ای است طبیعی که بی‌توجهی به آن خسارات جبران‌ناپذیری به دنبال خواهد داشت. وقوع زلزله‌های شدید بشر را بر آن داشته است که در فکر تدوین یک برنامه زیربنایی برای کاهش خطرات و آسیب‌های ناشی از آن باشد. ویژگی‌های زمین‌ساخت کشور، زلزله را به‌عنوان یکی از مخرب‌ترین عوامل انهدام حیات انسانی مطرح نموده است. بررسی‌های تاریخی نشان می‌دهد که مناطق وسیعی از کشورمان توسط این حادثه طبیعی متحمل آسیب‌های جانی و مالی گردیده است. 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 کشته‌شده در اثر این سانحه، داشته است. بر اساس همین گزارش، در کشور ایران زلزله وجه غالب را در بین سوانح طبیعی دارا است (UNDP, 2004).

کشور 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 دهه ۱۹۶۰ تا ۱۹۸۰ با مصالح و طراحی ضعیف سر برآورده‌اند روبرو است. شهرها مکان تجمع جمعیت و افزایش بارگذاری‌های محیطی و اقتصادی هستند، وجود این مسئله مهم ضرورت کاهش آسیب‌پذیری در برابر زلزله را مطرح می‌کند. شهر تنها مجموعه‌ای از ساختمان‌ها نیست، بلکه پدیده‌ای انسانی، اجتماعی، فرهنگی، اقتصادی و کالبدی است. بدین ترتیب شهر به‌عنوان مجموعه‌ای از عناصر تعریف می‌گردد تا بتوان به روش‌های مناسبی جهت ارزیابی کالبد شهر و تعیین شاخص‌های آسیب‌پذیری رسید و نیز راهکارهایی برای کاهش آسیب‌پذیری ارائه نمود.

بر اساس نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لرزه ایران، شهر اشکدر در پهنه با خطر نسبتاً پایین قرار گرفته است، با این حال و با توجه به وجود گسل‌های زلزله‌زا در استان که می‌توانند این حوزه و شهر اشکدر را تحت تأثیر قرار دهند، ارزیابی آسیب‌پذیری آن با استفاده از مدل‌های کارا و مناسب از ضروریات مدیریت بحران شهری است. پس با توجه به مطالب بیان‌شده، این ضرورت به‌طور جدی احساس می‌شود که با ایجاد یک مدل مناسب و به‌کارگیری انواع داده‌های مکانی و غیر مکانی و انجام تحلیل‌های مربوط در سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی و نیز با استفاده از تجربیات جهانی موجود در این زمینه بتوان به ارزیابی و تحلیل آسیب‌پذیری شهرهای ایران، به‌طور نمونه شهر اشکدر در برابر زلزله کمک نمود و در کنار کسب آمادگی‌های لازم در برابر این خطر طبیعی، در یک فرایند سیستماتیک به مدیریت بحران‌های ناشی از سوانح طبیعی پرداخت. باید بیان نمود که تحقیقاتی که در ارتباط با زلزله و ارزیابی خطر آن صورت گرفته اکثراً زلزله در شهر را با داده‌های مکانی و بر اساس مدل‌های تصمیم‌گیری چند معیار و در مورد ساختمان‌ها بررسی نموده اما در این تحقیق با استفاده از مدل رادیوس هم آسیب‌پذیری ساختمان‌های شهری بررسی شده و هم‌زمان تعداد کشته‌شدگان و مصدومان و نیز وضعیت شریان‌های حیاتی در سناریوهای مختلف شدت زلزله بررسی شده که در تحقیقات دیگر مشاهده نمی‌شود.

### پیشینه تحقیق

تابه حال تحلیل‌ها و ارزیابی‌های متعددی در ارتباط با تخمین خسارت و ارزیابی آسیب‌پذیری در برابر زلزله، در قالب تحقیقات گوناگون انجام گرفته است که هر یک از آنها از مدل‌ها و روش‌های متعددی با توجه به اهداف و فرضیات خود استفاده نموده‌اند.

در تحقیقی یکی از مهم‌ترین اقداماتی که برای تعیین آسیب‌پذیری فیزیکی ساختمان‌ها لازم است انجام شده است. نتیجه بررسی‌های آنها منجر به برآورد منحنی‌های شکست برای سه نوع مختلف ساختمان بر اساس زلزله رودبار و منجیل گردیده است. آنها خسارت وارده به روستاهای نزدیک به مرکز زمین‌لرزه ۱۹۹۰ منجیل را مطالعه و رابطه بین پیشینه شتاب زمین و خسارت دیدگی ساختمان‌ها را استخراج نمودند (توکلی‌ها، ۱۹۹۳). مورد دیگر مربوط به تخمین آسیب‌پذیری، پروژه شرکت جایکا (JICA) برای شهر تهران است. در این پروژه آسیب‌پذیری شهر تهران در جنبه‌های گوناگون فیزیکی، انسانی و همچنین برای اماکن خاص بر اساس منحنی‌های شکست تهیه شده توسط توکلی‌ها بررسی شده است (جایکا، ۱۳۸۰). در پژوهشی دیگر که به صورت پیمایشی، تحلیلی و مبتنی بر مشخصات کمی و کیفی بوده است، به تحلیل شاخص‌های آسیب‌پذیری مسکن شهر اصفهان در برابر زلزله پرداخته شده است که نتایج تحقیق نشان می‌دهد، میزان آسیب‌پذیری مسکن شهر اصفهان در برابر خطر زلزله بالا است و دسترسی به مراکز امداد و نجات در مواقع بحرانی مانند وقوع زلزله در وضعیت نامطلوبی قرار دارد (زنگی‌آبادی و همکاران، ۱۳۸۷). در پژوهشی با به‌کارگیری معیارهای شهرسازی و با استفاده از AHP و GIS به بررسی سنجش آسیب‌پذیری شهر در برابر زلزله احتمالی پرداخته شد که نتایج تحقیق آنها نشان داد که با افزایش مقدار متغیرهایی چون شیب زمین، تراکم جمعیت، تراکم ساختمانی، عمر ساختمان‌ها و فاصله از فضاهای باز میزان آسیب‌پذیری افزایش می‌یابد. در مقابل، افزایش مقدار متغیرهایی نظیر فاصله از گسل، دسترسی بر اساس عرض معبر و سازگاری کاربری‌ها از نظر هم‌جواری باعث کاهش آسیب‌پذیری می‌شود (عزیزی و اکبری، ۱۳۸۷). در پژوهشی دیگر با استفاده از روش تحلیلی ارزیابی آسیب‌پذیری لرزه‌ای و با بهره‌گیری از AHP و GIS، آسیب‌پذیری منطقه ۱۰ شهر تهران بررسی شد و برای این کار از شاخص‌های: نوع مصالح، عمر سازه، تراکم جمعیت و شبکه ارتباطی استفاده شده است (حاتمی نژاد، ۱۳۸۸). در پژوهشی دیگر با استفاده از دو مدل RISK\_UE و AHP آسیب‌پذیری شهر زنجان در برابر زلزله مدل‌سازی شد و در نهایت با ارائه سناریوهای زلزله در شدت‌های مختلف و با استفاده از مدل‌های موجود در زمینه تخمین خسارات، به ارزیابی خسارات انسانی و اقتصادی و اجتماعی شهر زنجان پرداخته شده است (احدنژاد، ۱۳۸۸). در پژوهشی با بهره‌گیری از دو مدل RISK\_UE و TOPSIS Fuzzy و GIS و معیارهای مکانی و غیر مکانی و با توجه به نظرات کارشناسان، به بررسی و تحلیل آسیب‌پذیری مسکن منطقه ۹ شهرداری تهران در برابر زلزله پرداخته و آسیب‌پذیری این منطقه را در شدت‌های مختلف زلزله بررسی نموده و نتایج نشان داده است که این منطقه در برابر زلزله احتمالی آسیب‌پذیر است (امینی، ۱۳۸۹). همچنین وی در تحقیق دیگری به ارزیابی مدل RADIUS پرداخته

و مزایا و معایب این مدل را مورد بررسی قرار داده است و اقدام به برآورد خسارات ناشی از زلزله در منطقه یک شهرداری نموده است (امینی، ۱۳۹۰). در پژوهشی، ضمن مقایسه مدل‌های ارزیابی آسیب‌پذیری شهر در برابر زلزله (RADUIS و TELES) به ارزیابی خطر ساختمان‌های شهر دهرادون هند در برابر زلزله، با استفاده از مدل Hazus پرداخته و به این نتیجه می‌رسد که مدل Hazus به دلیل کثرت و تنوع داده‌ها و متغیرهای مورد استفاده می‌تواند به‌عنوان مدل مناسبی جهت ارزیابی و کاهش آسیب‌پذیری شهرها در برابر زلزله مورد استفاده قرار گیرد (گولاتی<sup>۱</sup> ۲۰۰۶). پژوهشی دیگر به بررسی نقش سیستم اطلاعات جغرافیایی و سنجش‌ازدور، در مدل‌سازی و پیش‌بینی آسیب‌پذیری شهر کالیفرنیا در برابر زلزله پرداخته و با استفاده از توابع تحلیلی و سیستم اطلاعات جغرافیایی، آسیب‌پذیری شهر را مدل‌سازی نموده است. (راشد<sup>۲</sup> و همکاران ۲۰۰۷). در تحقیقی به ارزیابی آسیب‌پذیری ساختمان‌ها و سناریوهای مختلف آسیب در شهر سلانو<sup>۳</sup> ایتالیا پرداخته و برای انجام کار خود ساختمان‌ها را به دو دسته بتنی و بنایی تقسیم نموده و آسیب‌پذیری آن‌ها را با استفاده از مدل RISK\_UE در شدت‌های مختلف زلزله بررسی و نیز در شدت‌های مختلف زلزله به تخمین و مدل‌سازی خسارات ناشی از زلزله‌های احتمالی پرداخته‌اند (مارتینلی<sup>۴</sup> و همکاران ۲۰۰۸). در تحقیقی ضمن مدل‌سازی آسیب‌پذیری شهر بارسلون با استفاده از مدل RISK\_UE، با به‌کارگیری مدل‌های موجود در زمینه تخمین خسارات به ارزیابی خسارات انسانی و اقتصادی در شهر بارسلون پرداخته‌اند (لانتادا<sup>۵</sup> و همکاران ۲۰۰۹). در پژوهشی، سیستم هوش مصنوعی را برای ارزیابی خطر زلزله در شهر دیانگ<sup>۶</sup> کشور چین مبنی بر توسعه GIS و شبکه مصنوعی مورد استفاده قرار دادند. 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 بعدازآن کاربرد دارد (تانگ و ون<sup>۷</sup> ۲۰۰۹).

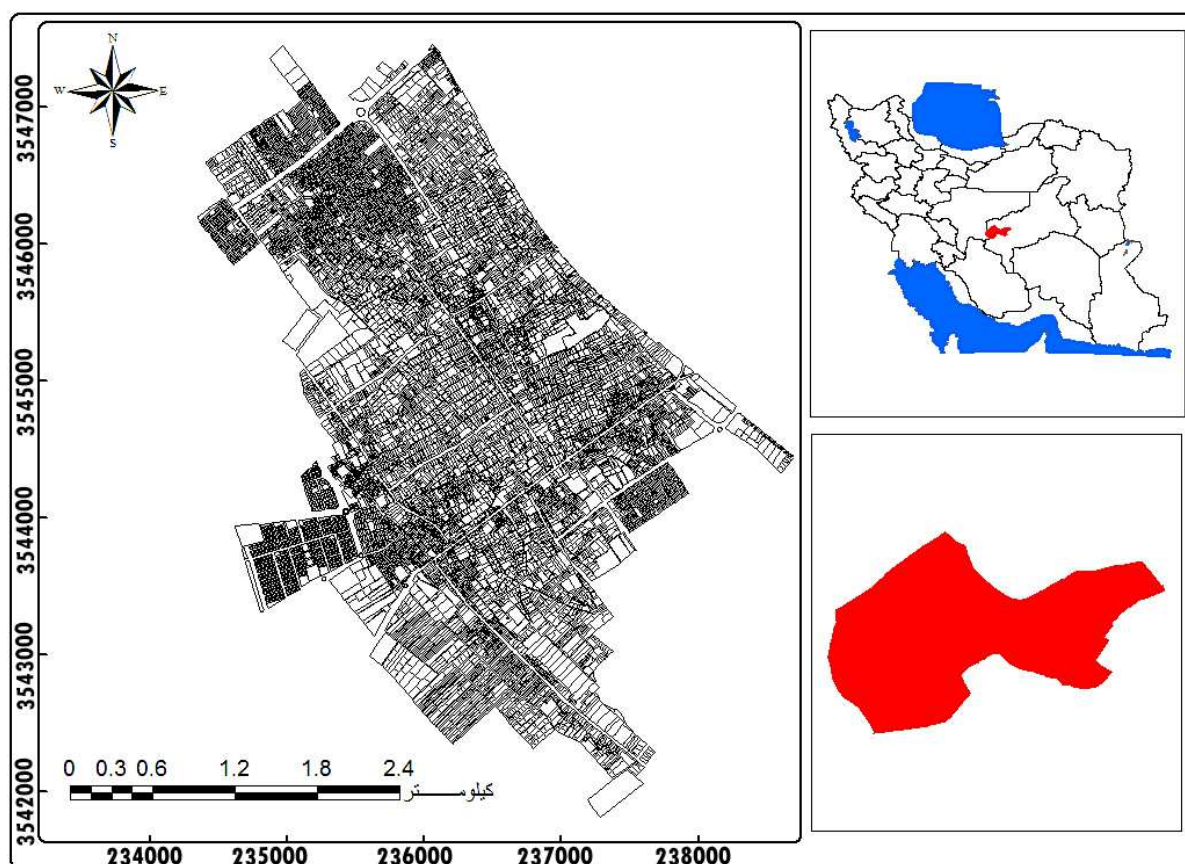
در تحقیقات انجام‌شده تاکنون، اکثراً زلزله در شهر را با داده‌های مکانی و بر اساس مدل‌های تصمیم‌گیری چند معیار و در مورد ساختمان‌ها بررسی نموده‌اند اما در این تحقیق با استفاده از مدل رادیوس هم آسیب‌پذیری ساختمان‌های شهری و هم‌زمان تعداد کشته‌شدگان و مصدومان و نیز وضعیت شریان‌های حیاتی در سناریوهای مختلف شدت زلزله بررسی و میزان خسارت برآورد شده است که در تحقیقات انجام‌شده مشاهده نمی‌شود.

### منطقه مورد مطالعه

برای انجام تحقیق شهر اشکذر انتخاب شد، شهر اشکذر با وسعت تقریبی ۱۲۱۸/۸ هکتار در طول ۵۴ درجه و ۱۱ دقیقه و ۱۵ ثانیه تا ۵۴ درجه و ۱۴ دقیقه و ۱۰ ثانیه شرقی و ۳۱ درجه و ۵۸ دقیقه و ۵ ثانیه تا ۳۲ درجه و ۳ دقیقه

1 - Gulati  
2 - Rashed  
3 - Celano  
4 - Martinelli  
5 - Lantada  
6 - Diang  
7 - Tang and Wen

و ۲۰ ثانیه عرض شمالی قرار گرفته است. اشکدر از چهار طرف به وسیله اراضی کشاورزی و روستاهای دهستان رستاق احاطه شده است. پس از آن از سمت شمال به شهرستان میبد، از سمت جنوب شرق به شهر زارچ، از سمت جنوب غرب به شهر خضراباد و از سمت غرب به اراضی مزروعی و باغی و تپه‌های ماسه‌ای محدود شده است. شکل (۱) موقعیت منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.



شکل ۱: موقعیت منطقه مورد مطالعه

## داده‌ها و روش‌ها

نوع تحقیق در این مطالعه کاربردی و روش پژوهش معیاری-تحلیلی می‌باشد. روش به کار رفته سعی در کشف روابط علی و معلولی موضوع مورد مطالعه داشته و با به کارگیری روش‌های کمی و کیفی و تحلیل روابط حاکم بر آن‌ها سعی در اثبات فرضیات مورد نظر دارد. داده‌های این تحقیق عمدتاً بر پایه مشاهدات میدانی شامل برداشت خصایص مورد نظر در مورد ویژگی‌های ساختمانی و کالبدی شهر گردآوری شده است و به صورت کتابخانه‌ای شامل استفاده از نقشه‌های ۱:۲۰۰۰ شهری و تصاویر ماهواره‌ای برای بهنگام سازی نقشه‌ها و همچنین استفاده از آمار و اطلاعات موجود در ارتباط با موضوع تحقیق است.

بر اساس مدل RADIUS داده‌های مورد استفاده در این تحقیق شامل تعداد ساختمان‌های منطقه مورد مطالعه با توجه به نوع سازه و کاربری آن‌ها، تعداد طبقات ساختمانی، جمعیت کل منطقه و شریان‌های حیاتی منطقه (شبکه معابر، مخازن آب، پست‌های برق و مخابرات، خطوط آب و فاضلاب، ایستگاه‌های پمپ‌بنزین) است.

### مدل RADIUS

رویکرد RADIUS در سال ۱۹۹۶ با هدف تهیه سناریوی زلزله و تدوین برنامه اقدام برای شهرهای در معرض خطر زلزله در کشورهای در حال توسعه به کار گرفته شد. هدف اصلی پروژه RADIUS که با حمایت سازمان ملل آغاز گردید، بالا بردن آگاهی و ایجاد یک ابزار علمی و کاربردی برای کاهش خطر زلزله در مناطق شهری است. این رویکرد با اصلاحات انجام شده، به صورت یک نرم‌افزار تخمین خسارت و تهیه و تدوین سناریوی زلزله مورد استفاده قرار گرفت. این برنامه در برنامه‌های اطلاع‌رسانی و آگاه‌سازی تمامی ذینفعان در شهر کاربرد دارد. اهداف برنامه RADIUS عبارت‌اند از (Carlos and Cynthia, 1999):

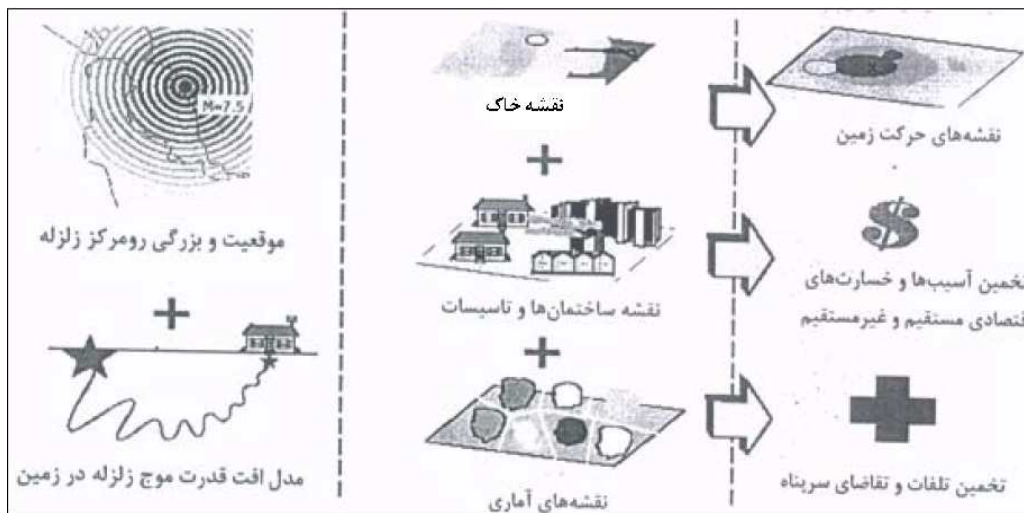
- ۱- طراحی ابزاری برای مدیریت خطرپذیری لرزه‌ای که بتواند پاسخگوی شهرهای لرزه‌خیز باشد.
  - ۲- هدایت مطالعات مقایسه‌ای برای درک خطرپذیری لرزه‌ای در مناطق شهری جهان RADIUS برنامه‌ای است که در محیط Excel کار می‌کند و کاربر بایستی اطلاعات زیر را در این نرم‌افزار وارد نماید:
  - ۳- اندازه و حدود مرز منطقه مورد مطالعه از طریق شبکه‌بندی
  - ۴- جمعیت کل منطقه مورد مطالعه شدت لرزه‌ای به صورت شدت PGA و MMI
  - ۵- خسارات وارده به ساختمان‌ها
- یکی از اهداف عمده این پروژه توسعه ابزار تجربی برای مدیریت ریسک شهر است. روش RADIUS برای تخریب ساختمان‌ها به ۱۰ مرحله زیر می‌تواند تفکیک شود (Carlos and Cynthia, 1999):

- ۱- تعیین سناریوی زلزله
- ۲- محاسبه میرایی با استفاده از تابع
- ۳- محاسبه تقویت‌کنندگی ناشی از شرایط محلی خاک با استفاده از نقشه خاک
- ۴- تبدیل PGA به شدت مرگالی اصلاح شده
- ۵- به کارگیری تابع آسیب‌پذیری برای انواع ساختمان
- ۶- به کارگیری تابع آسیب‌پذیری برای انواع زیرساخت‌ها
- ۷- به کارگیری تابع آسیب‌پذیری برای تلفات
- ۸- به کارگیری اطلاعات هزینه ساختمان‌ها و ترکیب با آسیب‌پذیری برای محاسبه تخریبات برای دوره‌های برگشت مختلف

۹- ترکیب اطلاعات تخریب برای دوره‌های برگشت مختلف و محاسبه ریسک با اضافه کردن تخریبات از این دوره‌ها

۱۰- ترکیب اطلاعات و خلاصه‌سازی

فرایند کلی تخمین خسارت در این برنامه در شکل (۲) نشان داده شده است.



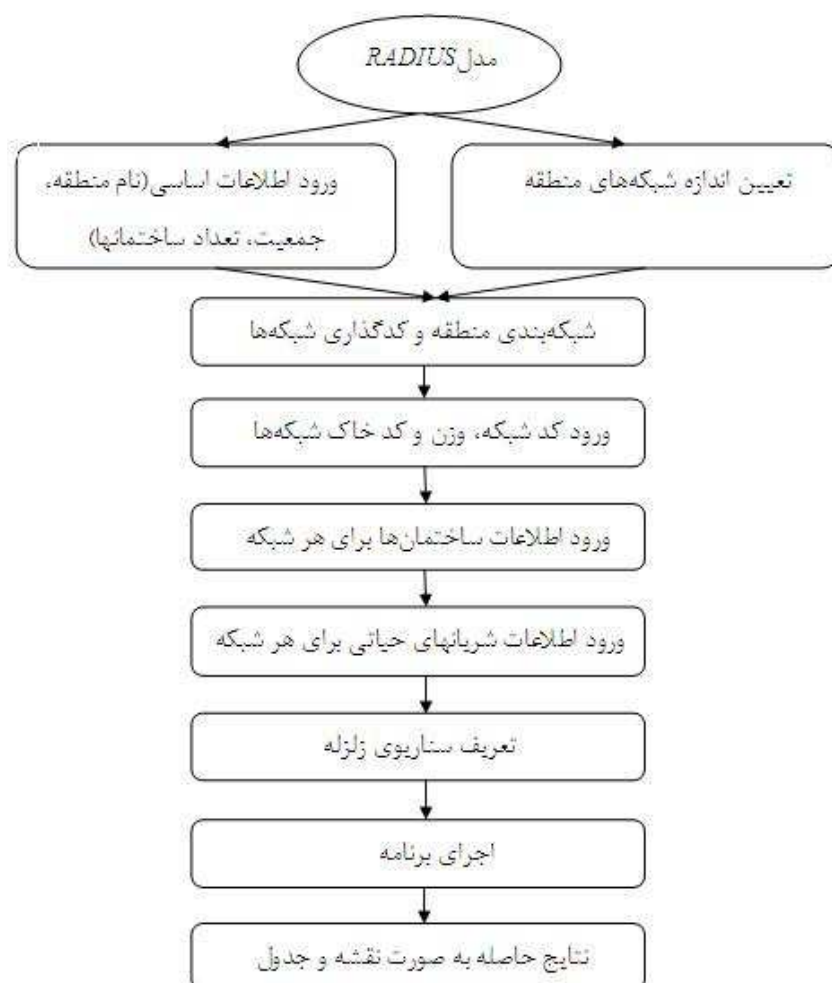
شکل ۲: فرایند تخمین خسارت در برنامه RADIUS (Cynthia, 2002)

### تخمین خسارات ناشی از زلزله با استفاده از نرم‌افزار RADIUS

روش انجام کار برای تخمین خسارت با استفاده از برنامه RADIUS در شکل (۳) مشاهده می‌شود. در سناریوی زلزله، 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 ناحیه هدف مشخص شود و با توجه به زمین‌شناسی و موقعیت گسل‌ها، بایستی بزرگی، مرکز زلزله و مدل افت قدرت موج مشخص شود. تخمین خسارت با توجه به مخاطره و سازه‌های موجود و تعداد و نوع سازه‌ها و شریان‌های حیاتی برآورد خواهد شد. نقشه خسارت بیان‌کننده ارتباط بین شدت لرزه‌ای و درجه 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 منجر به آگاهی از مجموع خسارت و چگونگی توزیع آن‌ها در صورت وقوع زلزله است. البته باید توجه داشت، زمانی که یک زلزله رخ می‌دهد اثرات و نتایج آن قطعاً تفاوت‌های زیادی با نتایج سناریو خواهد داشت. سناریو تنها فرضیه‌ای است برای اینکه بدانیم که اثرات وقوع زلزله بدتر یا شبیه به چیزی است که سناریو محاسبه نموده است.

یکی از مهم‌ترین مزیت‌های مدل رادیوس این است که تمامی روابط و توابع استفاده‌شده در برنامه به صورت مشخص نشان داده شده و در دسترس است و در صورت نیاز امکان تغییر و بومی‌سازی آن‌ها بر اساس توابع موجود در کشور امکان‌پذیر است. با به کارگیری این رویکرد جهت تدوین سناریوی زلزله و تخمین خسارات احتمالی، می‌توان درک

بهتری از زلزله و میزان ریسکی که با آن روبرو هستیم را داشته باشیم، همچنین گستره و دامنه خسارت و مناطق آسیب‌پذیر در شهر مشخص خواهند شد. مدل رادیوس از ساختار ساده‌ای برخوردار است و استفاده از آن نیاز به تخصص‌های پیچیده ندارد، لذا کارشناسان محلی به‌سادگی می‌توانند از آن استفاده نمایند. این نرم‌افزار برای تدوین سناریوی زلزله و تخمین خسارت فرآیند گام‌به‌گام و مشخصی دارد. بدین‌صورت که هنگام وارد نمودن اطلاعات موردنیاز در هر قسمت، اطلاعات توسط نرم‌افزار به‌صورت خودکار بررسی شده و در صورت ناقص بودن اطلاعات هشدار داده و اجازه اجرای سناریوی زلزله در ادامه داده نمی‌شود. در برنامه رادیوس منطقه مورد نظر به شبکه‌های مساوی تقسیم‌بندی شده و اطلاعات مورد نیاز برای انجام برنامه وارد شبکه‌ها شده و می‌توان به‌آسانی اندازه و تعداد شبکه‌ها را تغییر داد، مثلاً به‌راحتی می‌توان اندازه شبکه‌ها را کوچک نموده و با کوچک نمودن اندازه شبکه‌ها می‌توان به نتایج دقیق‌تری در ارتباط با آسیب‌پذیری منطقه دست یافت.



شکل ۳: فرایند کلی تخمین خسارت با استفاده از برنامه RADIUS

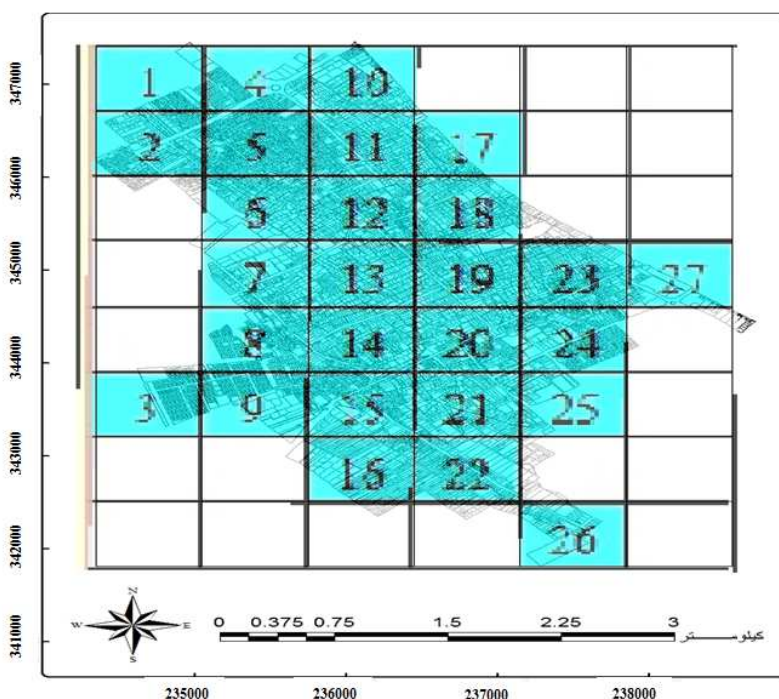


### یافته‌های تحقیق

مراحل انجام فرآیند تخمین خسارات ناشی از زلزله در شهر اشکدر در نرم‌افزار RADIUS، شامل شش مرحله اصلی است که عبارت‌اند از:

#### ۱- شبکه‌بندی منطقه

با توجه به اینکه در مناطق شهری، هر بخش از منطقه دارای خصوصیات مختلفی از قبیل وضعیت زمین، نوع و کاربری متفاوت ساختمان‌ها و همچنین اطلاعات آماری متفاوت است، برای برآورد و تخمین خسارت، شهر اشکدر، به ۲۷ شبکه مساوی، ۷۰۰ متر در ۷۰۰ متر، تقسیم و اطلاعات موردنیاز 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 که شکل (۴) شبکه‌بندی منطقه را در مدل RADIUS نشان می‌دهد.



شکل ۴: شبکه‌بندی منطقه مطابق با مدل RADIUS

#### ۲- تعیین وضعیت خاک منطقه

وضعیت خاک منطقه، در میزان خسارات ناشی از زلزله مؤثر است، زیرا وضعیت زمین به‌طور مستقیم، لرزش زمین و اثرات لرزه‌ای را تشدید می‌کند. نرم‌افزار RADIUS طبقه‌بندی ساده‌ای برای جنس خاک

پیشنهاد می‌کند که در این طبقه‌بندی جنس خاک به ۴ دسته، سنگ سخت، سنگ نرم، خاک متوسط و خاک نرم که فاکتورهای تشدید شدت لرزه نیز مطابق با آن‌ها توسط نرم‌افزار اعمال می‌شود، تقسیم‌شده است که گروه‌بندی خاک منطقه مطابق جدول (۱) است.

جدول ۱: گروه‌بندی خاک منطقه بر اساس برنامه RADIUS

نوع خاک	توصیف و نوع آن
سنگ سخت	-
سنگ نرم	سنگ آهک دولومیتی ضخیم لایه
خاک متوسط	آبرفت‌های سیلابی
خاک نرم	-

### ۳- طبقه‌بندی ساختمان‌های منطقه مورد مطالعه

آسیب‌پذیری ساختمان‌ها از جمله مسائل کلیدی در خطرپذیری لرزه‌ای است، تخریب ساختمان‌ها علت اصلی کشته شدن، کشته‌شدگان است. خسارات وارده به ساختمان‌ها در اثر زلزله مستقیماً تحت تأثیر دو عامل نوع و جنس ساختمان‌ها قرار دارد؛ که اولین گام در تعیین خسارات ساختمان‌ها گروه‌بندی آن‌ها است. نرم‌افزار RADIUS طبقه‌بندی ساختمان‌ها را با توجه به نوع مصالح بکار رفته در ساخت‌وساز، کاربری و تعداد طبقات انجام می‌دهد. آگاهی از تعداد ساختمان‌های موجود در هر شبکه برای محاسبه میزان خسارات ضروری است که تعداد انواع مختلف ساختمان‌های موجود در هر شبکه از طریق نرم‌افزار ArcGIS محاسبه و وارد نرم‌افزار RADIUS شد. طبقه‌بندی ساختمان‌ها مطابق مدل RADIUS و نیز وضعیت آن‌ها در منطقه مورد مطالعه در جدول (۲) آورده شده است.

جدول ۲: گروه‌بندی ساختمان‌ها مطابق با برنامه RADIUS

درصد	تعداد	مشخصات	ساختمان
۱۹/۹	۲۷۱۵	نوع ۱: ساختمان‌های با مصالح بنایی و غیر مقاوم در برابر زلزله‌های احتمالی، ساخته شده از آجر، کاه‌گل و سقف‌ها و دیوارهای بدون شناژ	مسکونی
۷۶/۸	۱۰۴۵۳	نوع ۲: سازه‌های ترکیبی، سازه‌های غیراستاندارد و غیر منطبق با آئین‌نامه‌های ساختمانی، ارتفاع تا سه طبقه	
۲/۲۵	۳۰۶	نوع ۳: ساختمان‌های با اسکلت فلزی یا بتنی، غیر منطبق با آئین‌نامه‌های ساختمانی، ارتفاع ۴ تا ۶ طبقه	
۰/۴۲	۵۷	نوع ۴: ساختمان‌های با اسکلت فلزی یا بتن مسلح، مهندسی ساز، نوساز و چندین طبقه	
۰/۰۲	۳	نوع ۱: ساختمان مدارس تا ۲ طبقه	آموزشی
۰	۰	نوع ۲: ساختمان مدارس بالاتر از ۲ طبقه	
۰/۰۰۷	۱	نوع ۱: بیمارستان‌های کوچک و متوسط	درمانی
۰	۰	نوع ۲: بیمارستان‌های بزرگ	
۰/۵۵	۷۵	مراکز خرید	تجاری
۰/۰۰۷	۱	ساختمان‌ها و تأسیسات صنعتی	صنعتی

#### ۴- تعیین خسارات وارده به شریان‌های حیاتی

اگر شریان‌های حیاتی از قبیل شبکه‌های آب‌رسانی، شبکه‌های برق یا سایر شبکه‌های ارتباطی در اثر وقوع زلزله خسارت ببینند، ضمن اینکه در زلزله خساراتی به آن‌ها وارد شده است، خسارات و آسیب‌های بعدی نیز به دنبال دارند، برای مثال می‌توان به شبکه معابر اشاره نمود که معابر به‌عنوان یکی از عناصر مهم شهری، بلافاصله بعد از وقوع زلزله اهمیت ویژه‌ای می‌یابند، چراکه نیاز به تخلیه مجروحین در اسرع وقت می‌باشد. این تخلیه از طریق جاده‌های بین‌شهری، خیابان‌های درون‌شهری و معابر فرعی انجام می‌گیرد و در صورت بسته شدن یکی از جاده‌های اصلی و یا حتی معابر فرعی، خسارات و صدمات ناشی از زلزله چندین برابر شده و این احتمال وجود دارد که بازگشت به وضع عادی روزها و یا حتی ماه‌ها به طول انجامد. برنامه RADIUS برای تخمین خسارات شریان‌های حیاتی از آمار کلی و مجموع شریان‌های حیاتی در کل منطقه و ارتباط آن با میزان شدت لرزه‌ای، استفاده می‌نماید، بدین معنی که با بالا رفتن شدت زلزله، میزان خسارت وارده به شریان‌های حیاتی، برای هر یک از تأسیسات، به‌صورت یک منحنی افزایش می‌یابد. گروه‌بندی شریان‌های حیاتی مطابق مدل RADIUS، در جدول (۳) آورده شده است که در این جدول وضعیت آن در شهر اشکذر نشان داده شده است.

جدول ۳: وضعیت شریان‌های حیاتی شهر اشکذر

توصیف	واحد	میزان	شریان‌های حیاتی
جاده‌های محلی به مناطق اطراف	کیلومتر	۲۸	جاده نوع اول
شاهراه‌ها و بزرگراه‌ها	کیلومتر	۴	جاده نوع دوم
-	تعداد	۰	پل
-	تعداد	۰	تونل
تعداد دکل‌های برق و مخابرات	تعداد	۱۵	برق ۱
تعداد ایستگاه‌های برق و مخابرات	تعداد	۸	برق ۲
طول خطوط آب و فاضلاب	کیلومتر	۱۰	آب ۱
تعداد ایستگاه‌های پمپاژ آب	تعداد	۱	آب ۲
تعداد ایستگاه‌های آب و فاضلاب صنعتی	تعداد	۰	آب ۳
تعداد آب‌انبارها و آب‌بندها	تعداد	۶	مخزن آب ۱
تعداد مخازن مرتفع	تعداد	۰	مخزن آب ۲
تعداد ایستگاه‌های پمپ‌بنزین و غیره	تعداد	۲	سوخت‌های بنزینی و گازوئیلی

#### ۵- تعیین سناریوی زلزله

پیش‌بینی رویدادهای احتمالی و آثار آن‌ها، تهیه سناریو نامیده می‌شود. تهیه سناریو اغلب به‌منظور تهیه برنامه و ایجاد آمادگی در جوامع سانحه‌خیز، صورت می‌گیرد و به درک بهتر آینده محتمل کمک می‌کند. البته باید توجه

داشت، زمانی که یک زلزله رخ می‌دهد اثرات و نتایج آن قطعاً تفاوت‌هایی با نتایج سناریو خواهد داشت. سناریو تنها فرضیه‌ای است برای اینکه بدانیم که اثرات وقوع زلزله بدتر یا شبیه به چیزی است که سناریو محاسبه نموده است. آماده بودن بر اساس سناریو زلزله به ما کمک می‌کند که برای رویارویی با یک زلزله واقعی در آن منطقه آماده شویم و اقدامات لازم را برای کاهش خسارت و تلفات ناشی از زلزله احتمالی در آن منطقه انجام دهیم. از میان بسیاری از گسل‌های موجود در منطقه، محتمل‌ترین گسل‌های خطرناک دو گسل جنوب غربی و شرقی انتخاب شدند. با مطالعه زلزله‌های تاریخی، منطقه بزرگی که شدت زلزله از ۵/۲ ریشتر بیشتر نبوده و عمق زلزله نیز ۲۵ کیلومتر بوده، انتخاب شده است (مهندسین مشاور کریاس بنا، طرح جامع اشکذر، ۱۳۸۶).

در نتیجه، دو مدل برای زلزله‌های سناریو در برنامه RADIUS در نظر گرفته شدند که مشخصات آن‌ها در جدول (۴) مشاهده می‌شود و زمان زلزله نیز ساعت یک بامداد در نظر گرفته شده است. باید توجه نمود در صورتی که زلزله در شب روی دهد میزان تلفات انسانی افزایش می‌یابد، اما تعداد ساختمان‌های تخریب شده در شب یا روز به همان میزان خواهد بود.

جدول ۴: مشخصات مدل‌های سناریوی زلزله

مشخصات	مدل گسل جنوب غربی منطقه	مدل گسل شرقی منطقه
موقعیت نسبت به منطقه	جنوب غربی	شرقی
بزرگی زلزله	۵/۲	۵/۲
عمق زلزله	۲۵Km	۲۵Km
فاصله از شبکه مرجع (۱۳)	۶۸Km	۵۷ km

## بحث و نتایج

### نتایج تخمین خسارات ناشی از زلزله در شهر اشکذر با استفاده از رویکرد RADIUS

بعد از استخراج اطلاعات مورد نیاز مدل رادیوس (نوع کاربری ساختمان، تعداد طبقات ساختمان، نوع خاک، وضعیت شریان‌های حیاتی منطقه) از GIS، این اطلاعات وارد مدل رادیوس شدند، بعد از تجزیه و تحلیل صورت گرفته در مدل رادیوس این نتایج که در شکل‌های (۵) و (۶) و جداول (۵) و (۶) نشان داده شده‌اند، به دست آمده است. در کل نتایج خسارات و تلفات ناشی از وقوع زلزله بر اساس سناریوهای در نظر گرفته شده در منطقه مورد مطالعه مطابق جدول (۵) است. آمار و ارقام جدول حاکی از آن است که بر اساس سناریوی گسل جنوب غربی، ۵۳۳ ساختمان تخریب، ۲۳ نفر کشته و ۲۰۵ نفر مصدوم خواهند شد. مطابق سناریوی گسل شرقی نیز، ۱۳۵ ساختمان تخریب، ۰ نفر کشته و ۰ نفر مصدوم خواهند شد. برای اینکه از لحاظ مکانی نیز دیدی در ارتباط با میزان تلفات نسبت به منطقه مورد مطالعه داشته باشیم و آمار و ارقام بیان شده در جدول از لحاظ موقعیت مکانی نیز مشخص شوند، میزان تخریب ساختمان‌ها بر اساس سناریوهای مدنظر در شکل‌های (۵) و (۶) نشان داده شده‌اند. لازم به ذکر است که میزان کشته‌شدگان و مصدومان، متأثر از میزان تخریب ساختمان‌ها است، به همین دلیل فقط نقشه تخریب ساختمان‌ها ذکر شده است.

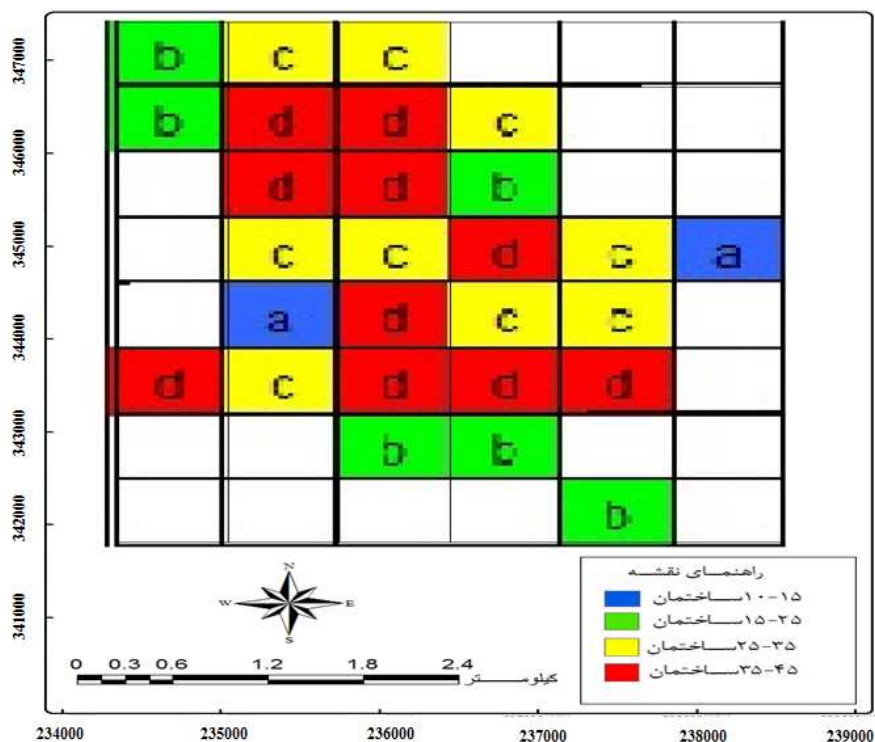
نتایج حاصل از آسیب شریان‌های حیاتی بر اساس سناریوهای مدنظر در جدول (۶) نشان داده شده است، آمار جدول بیانگر این مطلب است که مطابق مدل گسل جنوب غربی، یک درصد از شبکه معابر، ۰/۰۲ درصد از خطوط آب و فاضلاب و ۰/۵ درصد از جایگاه‌های سوخت در منطقه مورد مطالعه تخریب خواهند شد، نیز بر اساس مدل گسل شرقی، آسیب جدی به شریان‌های حیاتی منطقه وارد نخواهد شد. در کل سناریوی گسل جنوب غربی بیشترین آسیب را برای منطقه به همراه دارد که این به دلیل فاصله اندکی است که این گسل با منطقه مورد مطالعه دارد.

جدول ۵: میزان خسارات و تلفات وارده در نواحی ده‌گانه منطقه در سناریوهای مختلف

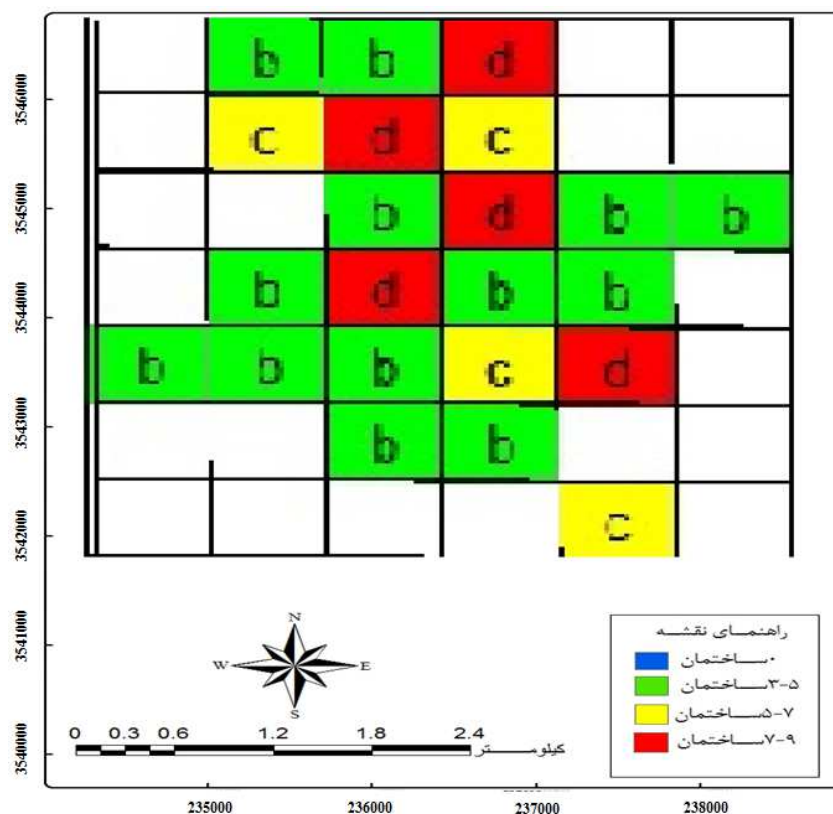
سناریوی زلزله	ساختمان	کشته‌شدگان	مصدومان
مدل گسل جنوب غربی	۵۳۳	۲۳	۲۰۵
مدل گسل شرقی	۱۳۵	۰۰	۰

جدول ۶: درصد خسارات وارده به شریان‌های حیاتی منطقه در سناریوهای مختلف

سناریوی زلزله	جاده نوع ۱	جاده نوع ۲	خطوط آب و فاضلاب	جایگاه‌های بنزین
مدل گسل جنوب غربی	۱	۰	۰/۰۲	۰/۵
مدل گسل شرقی	۰	۰	۰	۰



شکل ۵: نقشه تخریب ساختمان‌ها بر اساس سناریوی گسل جنوب غربی



شکل ۶: نقشه درصد ساختمان‌ها بر اساس سناریوی گسل شرقی

### نتیجه‌گیری

بررسی نتایج حاصل از تخمین خسارات ناشی از زلزله در منطقه مورد مطالعه بر اساس دو سناریوی تدوین‌شده، حاکی از آن است که بیشترین خسارات وارده به منطقه را گسل جنوب‌غربی منطقه ایجاد خواهد نمود که آن‌هم ناچیز است و میزان خسارات وارده به منطقه ناشی از گسل شرقی صفر است که نتایج حاصله با پهنه‌بندی خطر زلزله منطقه که در منطقه خطر نسبتاً پایین قرار دارد همخوانی دارد. بررسی آسیب‌پذیری منطقه به‌صورت جزئی و در قالب مناطق کوچک مطابق با مدل مورد استفاده انتخاب‌شده است و درجه آسیب به‌دست‌آمده در دو سناریوی مدنظر بررسی شده است. با توجه به سناریوهای تدوین‌شده میزان خسارات ناشی از زلزله در منطقه مورد مطالعه ناچیز است و بیشترین خسارات ایجادشده ناشی از سناریوی گسل جنوب‌غربی منطقه است. با وجود اینکه در این تحقیق گسترده شهر از لحاظ خطر زلزله چندان آسیب‌پذیر نیست، با این حال و با توجه به وجود گسل‌های زلزله‌زا در استان که می‌توانند شهر اشکدر را تحت تأثیر قرار دهند، رعایت آیین‌نامه طراحی ساختمان در برابر زلزله برای ساخت‌وسازهای مسکونی و غیرمسکونی شهر لازم و ضروری می‌باشد.

## منابع

- احدنژاد محسن، (۱۳۸۸)، مدل سازی آسیب پذیری شهرها در برابر زلزله مطالعه موردی شهر زنجان، رساله دکتری جغرافیا و برنامه ریزی شهری به راهنمایی فرخلو مهدی، دانشگاه تهران، صص ۴۵-۶۰.
- آژانس همکاری های بین المللی ژاپن (جایکا)، ۱۳۸۰، پروژه ریز پهنه بندی لرزه ای تهران بزرگ، صص ۱۰-۱۲.
- امینی جمال، (۱۳۸۷)، تحلیل آسیب پذیری مسکن شهری در برابر زلزله (مطالعه موردی منطقه ۹ شهرداری تهران)، پایان نامه کارشناسی ارشد سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی به راهنمایی فرج زاده اصل منوچهر، دانشگاه تربیت مدرس تهران، صص ۵-۹.
- امینی جمال، کرمی جلال، علی محمدی عباس، صفراد طاهر، (۱۳۹۰)، ارزیابی مدل RADIUS در تخمین خسارات ناشی از زلزله در محیط GIS (مطالعه موردی منطقه یک شهرداری تهران)، نشریه مطالعات و پژوهش های شهری و منطقه ای دانشگاه اصفهان، سال سوم، شماره ۱۱، صص ۲۳-۴۰.
- حاتمی نژاد حسین، فتحی حمید، عشق آبادی فرشید، (۱۳۸۸)، ارزیابی میزان آسیب پذیری لرزه ای در شهر، نمونه موردی: منطقه ۱۰ شهر تهران، نشریه پژوهش های جغرافیایی انسانی، شماره ۶۸، صص ۱-۲۰.
- زنگی آبادی علی، محمدی جمال، صفایی همایون، قائد رحمتی صفر، (۱۳۸۶)، تحلیل شاخص های آسیب پذیری مسکن شهری در برابر خطر زلزله (نمونه موردی: مسکن شهر اصفهان)، جغرافیا و توسعه، شماره ۱۲، صص ۶۱-۷۹.
- عزیزی محمدمهدی، اکبری رضا، (۱۳۸۷)، ملاحظات شهرسازی در سنجش آسیب پذیری شهرها از زلزله، نشریه هنرهای زیبا، شماره ۳۴، صص ۳۶-۲۵.
- مهندسین مشاور؛ کریاس بنا، (۱۳۸۶)، گزارش طرح تفصیلی شهر اشکذر.
- Carlos A. Villacis and Cynthia N. Cardona, (1999), Guidelines for the implementation of earthquake risk management projects. Geo hazards International. Palo Alto, California.
- Cynthia N. cardona, (2002), Earthquake Damage Scenarios for Thimphu Valley- implementation of Case Study- Geo hazards International, Vol 38-42.
- Ebert. A, Kerle. N, Stein. A, (2009), Urban social vulnerability assessment with physical proxies and spatial metrics derived from air- and spaceborne imagery and GIS data, Nat Hazards 48, 275-294.
- Gulati.B, (2006), Earthquake Risk Assessment of Buildings Applicability of HAZUS in Dehradun, India, Unpublished MS Thesis, ITC, the Netherlands.
- HAZUS-MH MR3 Technical Manual (2007), Federal Emergency Management Agency (FEMA).
- Lantada. N, Pujades. L, Barbat. A (2009), Vulnerability index and capacity spectrum based methods for urban seismic risk evaluation. A comparison, Nat Hazards 51:501-524.
- 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, 875-88.
- Rashed. T, Weeks. J, Couclelis. H, Herold. M, (2007), an integrative GIS and remote sensing model for place-based urban vulnerability analysis.
- Tang. A, Wen. A, (2009), an intelligent simulation system for earthquake disaster assessment, Computers & Geosciences 35, 871-879.
- Tavakoli. B, Tavakoli. S, (1993), Estimating the Vulnerability and Loss functions of Residential Buildings, Journal of the International Society for the Presentational Mitigation of Natural Hazard 7(2).
- UNDP (2004), Reducing Disaster Risk, A Challenge for Developmen

## Estimates of the damage caused by the earthquake by using RADIUS and GIS (Case Study city Ashkezar)

Ali Almodaresi\*<sup>1</sup>, Ahmad Mirdehghan<sup>2</sup>

Received: 27-12-2016

Accepted: 03-03-2018

### Abstract

Earthquake is a natural phenomenon that ignoring it causes irreparable damage, therefore seismic vulnerability assessment of residential districts is one of the necessities of urban management. By creating an appropriate model and employing a variety of spatial and non-spatial data and analyzing geographic information and multi-criteria decision-taking systems one can assess and analyze seismic vulnerability of cities against earthquakes. In this study Ashkezar city as one of Yazd province cities is chosen for vulnerability assessment. In this study Radius model is used for vulnerability assessment. This model's input data is: 1-the size of the district under study 2-district population 3-total number of buildings 4-soil properties 5-vital arteries information 6-earthquake scenario; and its output data is earthquake magnitude, damages on buildings, vital arteries and casualties. The results show that earthquake damages by two possible scenarios in the district under study are very low so that in southwest fault scenario the damage is low and in eastern fault scenario there is no damage.

**Keywords:** vulnerability, earthquake, RADIUS model, Ashkezar.

<sup>1</sup>\*- Associate Prof., GIS &RS Dept., Yazd branch Islamic Azad University, Iran

<sup>2</sup>- PhD Student, Geography Dept. Yazd branch Islamic Azad University, Iran

Email: almodaresi@iauyazd.ac.ir