

چکیده

مدل سازی توزیع ساختمان های مسکونی و جمعیت وابسته به آن جزء لاینفک در تجزیه و تحلیل خطر پذیری مستقیم و غیرمستقیم مرتبط با سوانح طبیعی از جمله زلزله در محیط های شهری است. در این مطالعه، توزیع جمعیت مسکونی همبسته با بناهای مسکونی برآورد گردیده است. این پژوهش مدلی جامع با وضوح مکانی مناسب برای ایران، متناسب با شرایط منطقه ای و در نظر گرفتن بانک های اطلاعاتی موجود و قابل دسترس ارائه کرده است. روش داسیمتری، روشی کارا جهت توزیع مناسب داده های موجود به تناسب شرایط محیطی - منطقه ای است که بر اساس نیازها و شرایط مورد نظر امکان تلفیق با داده های رقمی کمکی را داشته و توسط مدل های آماری توسعه می یابد. در این تحقیق، داده های آماری (مرتبط با حوزه ها و یا بلوک های آماری - مرکز آمار) و تصاویر رقمی (شامل تصاویر ماهواره ای و داده های مدل توزیع جمعیت جهانی لندسکن) گردآوری شده که پس از بررسی، پردازش و پالایش، ادغام داده ها صورت گرفت. همچنین شاخص هایی مهم و قابل استخراج از تصاویر اپتیکی با وضوح بسیار بالا برای قسمتی از یک شهر معرفی شد که در تکمیل بانک اطلاعات ساختمان مفید می باشد. به عنوان یک مطالعه موردی، خسارات لرزه ای در قالب میزان تخریب ساختمان ها و تلفات انسانی در منطقه مطالعاتی بررسی شده است. در گام اول، با هدف تکمیل و توسعه بانک های اطلاعات محیط ساخته شده و برای دستیابی به پارسل های ساختمان های موجود، روش های استخراج اشیاء (ساختمان ها) از تصاویر ماهواره ای در بلوک های شهری مورد استفاده قرار گرفت. در فاز دیگر، اطلاعات سازه ای و جمعیتی با رویکرد داسیمتری برای منطقه مورد نظر به دست آمدند و بانک اطلاعات با توزیع مکانی مناسب توسعه یافت. سپس، پهنه بندی حرکت توانمند زمین برای سناریوهای مطرح در منطقه مورد مطالعه تولید شد. در نهایت در گام آخر، برآورد میزان خسارات سازه ای و تلفات انسانی مرتبط برحسب سناریوهای مورد نظر به دست آمد. در منطقه مطالعاتی، برآورد خسارات فیزیکی حاکی از این است که برای سناریوی مفروض زلزله گسل خزر بیش از ۵۰۰۰۰ واحد مسکونی در معرض تخریب شدید تا فروریزش خواهد بود.

واژگان کلیدی: ارزیابی آسیب پذیری، مدل سازی توزیع جمعیت، داسیمتری، سنجش از دور، برآورد خسارات و تلفات.

مدل سازی توزیع ساختمان های مسکونی و جمعیت وابسته به آن با رویکرد داسیمتری در برآورد ریسک لرزه ای شهری؛ مطالعه موردی: شهر ساری

بابک منصوری (نویسنده مسئول)

دانشیار، پژوهشکده مدیریت خطرپذیری و بحران، پژوهشگاه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله، تهران، ایران،
mansouri@iies.ac.ir

پرهام جلیوند

دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی عمران - زلزله، پژوهشگاه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله، تهران، ایران

محسن غفوری آشتیانی

استاد، پژوهشکده مهندسی سازه، پژوهشگاه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله، تهران، ایران

۱ - مقدمه

سبب آشفتگی در بافت شهری و افزایش تراکم جمعیتی ساکن در آن می شود. ارائه مدل توزیع جمعیتی مطابق با میزان ریسک منطقه و متناسب با شرایط بومی و تحلیل نتایج واقع بینانه ابزاری مفید در جهت مطالعات کاهش تأثیرات سوانح به حساب

از دهه های گذشته، شاهد افزایش رخداد سوانح طبیعی شهری، بالا رفتن تعداد کشته شدگان در اثر گسترش بافت های آسیب پذیر شهری بوده ایم. متأسفانه تعداد زیادی از شهرها، به دلیل عدم برنامه ریزی با محدودیت فضا روبه رو هستند و این امر

طریق جزئیات تحلیل تاریخچه زمانی و هم از روش‌های ساده‌شده مشتق شده باشد. البته روش‌های قضاوتی و ترکیبی نیز به‌وفور مورد استفاده قرار گرفته‌اند و در تنظیم نتایج از سایر روش‌ها نقش داشته‌اند. اولین تابع آسیب‌پذیری تجربی گزارش شده برای کشور مربوط به زلزله رودبار-منجیل سال ۱۳۶۹ است که بیشتر برای ساختمان‌های مسکونی نیمه‌مهندسی‌ساز ارائه گردیده است. این منحنی بر اساس تعیین نواحی هم‌خسارت و هم‌شدت زلزله و میزان خسارات شدید تا کامل در مناطق آسیب‌دیده مشخص شده‌اند [۱]. در سال ۲۰۰۰ میلادی، به‌منظور تکمیل مطالعات ریسک لرزه‌ای تهران بزرگ، اطلاعات آسیب‌پذیری برای تعدادی از زلزله‌های ایران که توسط افراد و سازمان‌های مختلف انجام شده بود گردآوری، با توابع برخی کشورهای دیگر مقایسه و نقصان اطلاعات بر اساس اطلاعات سایر کشورها و تنظیم آنها برای کشور صورت گرفت به‌طوری‌که گونه‌های ساختمانی موجود در بانک‌های اطلاعات آمار نفوس و مسکن مرکز آمار ایران را پوشش داده است [۲]. هیسادا و همکاران [۳] مطالعات توسعه توابع آسیب‌پذیری را با برداشت‌های تخریب ساختمان‌ها در زلزله بم ۱۳۸۲ انجام دادند. در مطالعاتی دیگر، منصوری و همکاران [۴-۵] مطالعات ریسک شهری را برای شهر تهران و نیز مناطقی زلزله‌زده در شمال غربی کشور (منطقه اهر-ورزقان) با توسعه توابع شکنندگی و آسیب‌پذیری همساز با ساخت‌وساز کشور بر اساس به‌روز رسانی بانک‌های اطلاعات ساختمانی انجام دادند. همچنین در تکمیل مدل لرزه‌ای جهانی (GEM) [۲]، منحنی‌های شکنندگی و توابع آسیب‌پذیری برای گونه‌های سازه‌ای بانک اطلاعات آمار کشور و بر اساس پارامترهای آسیب‌پذیری و شکل‌پذیری سازه‌ها بیان شد [۶]. در خصوص مطالعات آسیب‌پذیری انسانی، جانکمن و همکاران [۷] روشی کلی برای برآورد تلفات انسانی با در نظر گرفتن سه موضوع: (۱) برآورد آثار فیزیکی مرتبط با سانحه، (۲) تعیین تعداد افراد در معرض خطر با توجه به هشدارها و تخلیه، و (۳) برآورد مرگ‌ومیر افراد در معرض خطر ارائه دادند. این روش تلاش می‌نماید پایه‌ای جهت استانداردسازی و تخمین

می‌آیند. مدل‌سازی توزیع جمعیت و برآورد خسارات ناشی از تخریب سازه‌ها با در نظر گرفتن توزیع انواع سازه‌ها با آسیب‌پذیری گوناگون می‌تواند به بالا بردن دقت نتایج محاسبات ریسک زلزله منجر گردد.

به‌منظور به دست آوردن توزیع مکانی مناسب داده‌های ساختمانی و نیز جمعیت وابسته به آن با توجه به شرایط محیطی و متناسب با ویژگی‌های منطقه از روش داسیمتری استفاده شد. این روش امکان تلفیق بانک‌های اطلاعات کلی را با داده‌های رقومی کمکی فراهم می‌سازد و همچنین قابلیت توسعه پایگاه داده توسط مدل‌های آماری را دارد. هدف از مدل‌سازی توزیع جمعیت با روش داسیمتری ارائه‌ی یک مدل تکمیلی و با جزئیات توزیع مکانی بیشتر بوده که متناسب با ویژگی‌های منطقه قابل حصول می‌باشد. در این پژوهش، پس از ارائه مدل داسیمتری، توزیع ساختمان‌ها و جمعیت وابسته به آن برای شهر ساری پیاده‌سازی گردید که بر اساس مدل آسیب‌پذیری، میزان خسارات و تلفات برای سه سناریوی زلزله محاسبه انجام شد. برآورد خسارات فیزیکی حاکی از این است که برای سناریوی زلزله گسل خزر (بزرگ‌ای ۷ با کانون شهر ساری) بیش از ۵۰۰۰۰ واحد مسکونی در معرض تخریب شدید تا فروریزش خواهد بود که باید مطالعات دقیق‌تر در این خصوص انجام پذیرد و برنامه‌ریزی مدیریت بحران متناسب با آن تدوین شود.

۲- مطالعات آسیب‌پذیری

مطالعات آسیب‌پذیری شامل تحلیل‌ها و محاسبات کمی خسارات و تلفات سوانح نقش بسیار مهمی را در تصمیم‌سازی‌های کاهش ریسک ایفا می‌نمایند. تحلیل آسیب‌پذیری شامل برآورد پهنه خطر، شناسایی عناصر در معرض خطر (فیزیکی، اقتصادی، اجتماعی) و ارائه روابط آسیب‌پذیری می‌باشد. دو روش اصلی برای تولید روابط آسیب‌پذیری سازه‌ها وجود دارد. روش اول مبتنی بر برداشت داده‌های مشاهده شده و تجربی تخریب در ساختمان‌هاست. روش دوم مبتنی بر تحلیل عددی سازه‌ها که می‌تواند هم از

می‌باشند. چیزی که نتایج را بهبود می‌بخشد، استفاده از مقادیر قابل انتظار در تقسیمات مکانی ریزتر و یا وضوح مکانی بالاتر می‌باشد. یکی از روش‌های تجزیه مکانی^۴ روش نگاشت داسیمتری می‌باشد که دنت [۹]، لانگفورد و اونوین [۱۰]، و لانگلی و همکاران [۱۱] مطالعاتی در زمینه استخراج سطوح اشغال جمعیت بر اساس پهنه‌های مکانی - جغرافیایی مفروض انجام داده‌اند. همچنین منصوری و امینی حسینی [۶] نقشه‌های توزیع جمعیت و نیز توزیع واحدهای مسکونی کشوری را با روش داسیمتری بر اساس ترکیب داده‌های بومی و برخی مدل‌های توزیع جمعیت در شبکه‌های حدود یک کیلومتر در یک کیلومتر و نیز پنج کیلومتر در پنج کیلومتر برای کل ایران به دست آوردند.

در این پژوهش برای دستیابی به دقت مناسب در توزیع مکانی اطلاعات و با هدف برآورد میزان و گستره خسارات احتمالی و تلفات، از رویکرد داسیمتری استفاده شده است. داده‌های خام نفوس و مسکن از مرکز آمار ایران برای شهر ساری تهیه و برحسب بلوک‌های آماری بررسی و پالایش گردید. با علم به اینکه در هر بلوک فضاهایی وجود دارد که منطبق با فضای سکونت نمی‌باشد (جاده‌ها و فضای سبز و ...)، و به منظور ارائه دقت بالاتر و خطای کمتر و ارزیابی آسیب‌پذیری دقیق‌تر، تخصیص داده‌های جمعیتی و آماری به پارسل‌ها (اعیان ساختمان‌ها) در بلوک‌ها صورت پذیرفت. باید متذکر شد که بلوک‌های شهری تقسیمات شهرداری بر اساس محاط‌شدگی بین نزدیک‌ترین معابر و بلوک‌های آماری تقسیم‌بندی‌های شهر بر اساس ملاحظات برداشت اطلاعات مرکز آمار می‌باشند. در این پروژه از اطلاعات بلوک‌های آماری استفاده شده است.

در استفاده از روش داسیمتری به دست آوردن پارسل‌های ساختمانی و مشخص نمودن مساحت هر یک از آنها جهت تخصیص اطلاعات مورد نظر است. در این روند، استخراج داده‌های ساختمانی (پارسل‌ها) با بهره‌گیری از فناوری سنجنش‌زدور (برای قسمتی از شهر) و نیز داده‌های مکانی کمکی شهری (پارسل‌های موجود در نقشه‌ی طرح تفصیلی شهر ساری) انجام شده است.

خسارت برای مناطق و نواحی گسترده تهیه کند. در این مطالعه از توابع آسیب‌پذیری که تحت پروژه GEM برای کشور انجام شده بود استفاده شد.

۳- رویکرد داسیمتری

روش داسیمتری یک روش کارا جهت توزیع مناسب داده‌های موجود به تناسب شرایط محیطی - منطقه‌ای است که بر اساس نیازها و شرایط مورد نظر امکان تلفیق با داده‌های رقومی کمکی را داشته و توسط مدل‌های آماری توسعه می‌یابد. در کارتوگرافی توزیع جمعیت بیش از هر روش دیگری از این روش بهره برده می‌شود که این مهم به دلیل توانایی این روش در انطباق واقع‌بینانه داده‌ها بر جغرافیای محل است. در روش داسیمتری عموماً از داده‌های استاندارد شده استفاده می‌شود که در واقع تخصیص داده‌ها به مکان‌های مورد نظر منوط به در نظر گرفتن توزیع تراکم در محدوده‌ی نقشه با توجه به شرایط منطقه‌ای است که برای این کار به اطلاعات جانبی نیاز است.

چن و همکاران [۸] رویکردی داسیمتری برای تعیین ریسک مناطق مختلف فضاهای اشغال شده مسکونی در جهت تخمین خسارات ارائه کردند. این مدل بر روی ترکیب اطلاعات خطر و نحوه توزیع مکانی مستحدثات که تخمین خسارات را بهبود می‌بخشد تأکید دارد. توصیفات خطر، مانند توزیع شدت‌های زلزله معمولاً به راحتی به صورت پیکسلی یا رستری قابل بیان می‌باشند، ولی داده‌های المان‌های در معرض خطر مانند جمعیت و یا واحدهای ساختمانی اغلب به صورت مناطق تجمیع شده به صورت لکه‌ها یا مناطق نسبتاً وسیع در نقشه مشخص می‌شوند.

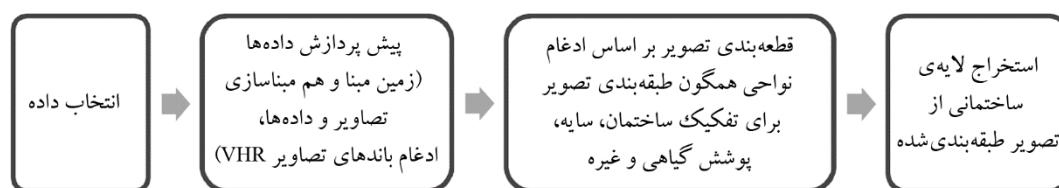
روش کورولت^۳ در تولید نقشه بسیار متداول می‌باشد و در این روش توصیفات مکانی به صورت یکنواخت و به صورت میانگین در پهنه هر رکورد آماری در نظر گرفته می‌شود که اغلب با واقعیت انطباق ندارد. همان‌طور که مشهود است، توزیع واحدهای ساختمانی به صورت نامنظم پخش شده‌اند و یا تمرکز ساختمان‌ها در نقاطی بسیار بالا و در برخی نواحی بسیار تنک

۴- استخراج ساختمان‌ها

تصاویر وضوح بسیار بالا کارآیی مناسبی دارد. در این مرحله به واسطه محدودیت و استفاده از تصاویر فشرده شده و پردازش شده از قبل که توسط سرویس نقشه گوگل ارائه شده است، برای تصویر شهر ساری، مقیاس‌های ۳۰ و ۶۰ و ۱۰۰ انتخاب شد و قطعه‌بندی‌های ایجاد شده با این مقیاس‌ها بررسی گردید. هرچه پارامتر مقیاس افزایش یافت، قطعات ایجاد شده در تصویر نیز بزرگ‌تر می‌شدند و تعداد قطعاتی که ایجاد می‌شوند کمتر و تفکیک بین جزئیات کاهش می‌یابد. همچنین تنظیمات مرتبط با پارامترهای وزن شکل و وزن فشردگی نیز مورد بررسی قرار گرفت تا بهترین تنظیمات مطابق با استخراج ساختمان‌ها از تصویر به دست آمد که با توجه به تصویر مورد استفاده وزن فشردگی و وزن شکل هر دو برابر با ۰/۵ و مقیاس برابر با ۳۰ انتخاب شدند.

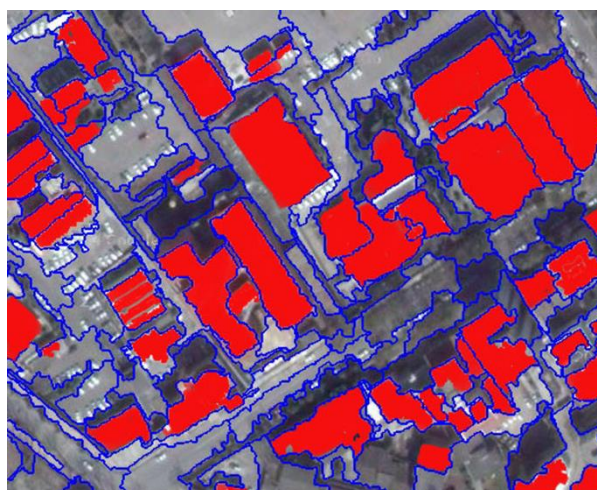
پس از استخراج ساختمان‌ها، در مرحله طبقه‌بندی، تعدادی کلاس برای تصویر در نظر گرفته می‌شود و برای هر کلاس یک سری داده‌های آموزشی به الگوریتم معرفی می‌شوند. در بحث استخراج ساختمان‌ها عموماً چهار کلاس (ساختمان، غیر از ساختمان، سایه و پوشش گیاهی) در نظر گرفته می‌شود؛ که در اینجا با در نظر گرفتن اینکه از تصویر سه‌باند استفاده شده است، تعریف کلاس پوشش گیاهی به دلیل عدم وجود باند مادون قرمز نزدیک امکان‌پذیر نیست. به منظور طبقه‌بندی بقیه کلاس‌ها تعدادی نمونه آموزشی برای هر کلاس انتخاب و طبقه‌بندی به کمک روش نزدیک‌ترین همسایه انجام شد. شکل (۱) مراحل الگوریتم استخراج ساختمان‌ها را به روش ادغام نواحی و طبقه‌بندی تصویر نشان می‌دهد. نتایج اعمال الگوریتم استخراج ساختمان‌ها برای قسمتی از شهر ساری در شکل (۲) آورده شده است.

استخراج ساختمان‌ها را می‌توان با استفاده از فناوری سنجش‌ازدور به کمک تصاویر ماهواره‌ای و همچنین اطلاعات به‌روز شده از محل مورد مطالعه انجام داد که دربرگیرنده دو قسمت اصلی قطعه‌بندی و طبقه‌بندی می‌باشد. در ابتدا تصویر موجود با مقیاس مورد نظر و تنظیمات مطلوب قطعه‌بندی می‌گردد. در روند انجام مراحل استخراج ساختمان‌ها با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای، یک راه مناسب استفاده از داده‌های VHR با وضوح مکانی اصلی (بدون فشرده‌سازی و تغییر وضوح مکانی) می‌باشد. در این روند تولید تصاویر پنتاشارپین^۵ بسیار راهگشا می‌باشد که از تلفیق تصویر پانکروماتیک^۶ با وضوح مکانی بسیار بالا با باندهای چند طیفی^۷ با وضوح مکانی کمتر ولی جزئیات طیفی بیشتر به دست می‌آید. با توجه به در دسترس نبودن و برخی مشکلات در جهت تهیه تصاویر هوایی و یا ماهواره‌ای وضوح بسیار بالا و چند باند برای شهر ساری، برای استخراج ساختمان‌ها در بخش‌هایی از شهر از تصاویر گوگل مپ^۸ در سه باند طیفی (قرمز، سبز و آبی) استفاده شده است. لازم به ذکر است که در اصل، تصاویر گوگل مپ تصاویری VHR بوده که به صورت پنتاشارپین در آمده ولی فشرده‌سازی رقومی روی آن اعمال شده است که اگرچه کاستی‌هایی دارد ولی در روند کلی مفید واقع شده است. الگوریتم بر اساس ادغام نواحی در تصویر پنتاشارپین شده و ابزار مورد استفاده در این مرحله نرم‌افزار Ecognition [۱۲] می‌باشد که دستیابی به خروجی مطلوب توسط تنظیم پارامترهای تصاویر را میسر می‌نماید. راهنمای این نرم‌افزار مباحث علمی موارد گفته شده را به صورت مفید ارائه می‌دهد. پیاده‌سازی این الگوریتم برای



شکل (۱): مراحل استخراج لایه‌ی ساختمانی.

مشخص می‌شود که طبق نتایج الگوریتم و پردازش، تعداد ۸۳ ساختمان با داده‌های زمینی وفاق داشته ولی تعداد ۳۷ مورد دیگر را الگوریتم ساختمان تشخیص داده حال آنکه داده‌های مرجع این امر را تأیید نکرده و به‌عنوان سایر کلاس‌ها تلقی کرده‌اند. دقت کاربر نسبت تعداد هر کلاس مورد توافق بین الگوریتم و مرجع به تعداد کل همان کلاس در نتیجه محاسبات الگوریتم می‌باشد. دقت تولید کننده نسبت تعداد هر کلاس مورد توافق بین الگوریتم و مرجع به تعداد کل همان کلاس در داده‌های مرجع می‌باشد. دقت کلی برابر جمع کل توافقات به کل تعداد داده‌ها می‌باشد.



شکل (۲): ساختمان‌های استخراج شده (بام ساختمان‌ها).

بدیهی است دقت ایجاد شده رابطه‌ی مستقیمی با ویژگی‌های تصویر نظیر قدرت تفکیک مکانی و تفکیک طیفی و چگونگی بافت شهری دارد. در ادامه، به‌منظور دستیابی به دقت بالاتر و تکمیل اطلاعات برای کل شهر ساری، از پارسل‌های موجود در نقشه‌ی طرح تفصیلی شهر ساری بهره‌برده شد. با توجه به بررسی و مقایسه نتایج از تصاویر و همچنین اطلاعات طرح جامع تفصیلی، برخی پارسل‌های بسیار کوچک در خارج از اعیان ساختمان‌ها دیده شد که این پارسل‌ها برخی به سرویس‌های بهداشتی داخل حیاط و یا بخش‌هایی نظیر انباری تعلق داشتند و همچنین در مواردی مشاهده گردید که برخی از پارسل‌ها هم‌پوشانی دارند و به‌عنوان مثال در نمونه‌هایی به‌جای شمردن دو پارسل مجاور، تعداد بیشتری در نظر گرفته می‌شود. در صورت در نظر گرفتن و به‌حساب آوردن این پارسل‌ها در هر بلوک، تعداد پارسل‌ها افزایش یافته و به دلیل اینکه جمعیت موجود در هر بلوک باید به کل تعداد پارسل‌ها اختصاص یابد، این امر باعث می‌شود که اطلاعات مکانی نادرستی از منطقه مورد نظر به دست آید. برای این منظور پارسل‌های با مساحت کمتر از ده متر مربع از لایه پارسل‌های موجود در تمامی مناطق شهر ساری حذف گردید. در مواردی دیگر نیز برخی پارسل‌ها نظیر برخی مخازن آب، مخازن نفت و فضاهای تجاری بزرگ و غیره در شهر مشاهده شد که این مستحذات مساحت زیادی را در بلوک‌های آماری دربرمی‌گیرند. به همین علت به‌منظور حذف این پارسل‌ها

به‌منظور ارزیابی دقت کار انجام شده تعداد ۲۳۳ نمونه به‌صورت کاملاً تصادفی در تصویر گرفته شده از شهر ساری انتخاب و برای این نمونه‌ها و اشیاء موجود در تصاویر ماتریس خطا تشکیل گردید. با توجه به اینکه از ۱۲۰ نمونه‌ای که به‌عنوان کلاس ساختمان انتخاب و طبقه‌بندی شد، ۸۳ مورد آن به این کلاس تعلق دارند. دقت ایجاد شده در این کلاس ۶۹ درصد و دقت اندازه‌گیری شده برای کلاس‌های غیر ساختمانی و سایه نیز مطابق با نمونه‌های تصادفی بررسی و محاسبه گردید که نتایج در جدول (۱) گزارش شده است.

جدول (۱): ماتریس خطا برای کلاس ساختمان و سایر کلاس‌ها.

دقت کاربر	داده‌های زمینی			اطلاعات پردازش شده
	جمع کل	سایر کلاس‌ها	ساختمان	
۶۹ درصد	۱۲۰	۳۷	۸۳	ساختمان
۸۱ درصد	۱۱۱	۹۰	۲۱	سایر کلاس‌ها
-	۲۳۳	۱۲۷	۱۰۴	جمع کل
-	-	۷۰ درصد	۷۹ درصد	دقت تولیدکننده

در ماتریس خطای جدول (۱)، قدرت الگوریتم در تفکیک بین کلاس ساختمان و کلاس غیر ساختمان بیان شده است. در هر سطر تعداد اشیائی که در داده‌های مبنا (زمینی) به‌صورت مرجع در نظر گرفته شده‌اند در مقایسه با نتایج طبقه‌بندی الگوریتم آمده است. به‌طور مثال، در سطر اول ماتریس،

- بین ۱۳۷۵ تا ۱۳۸۵ (رده ۲)
 - از ۱۳۸۵ تا ۱۳۹۰ (رده ۱)

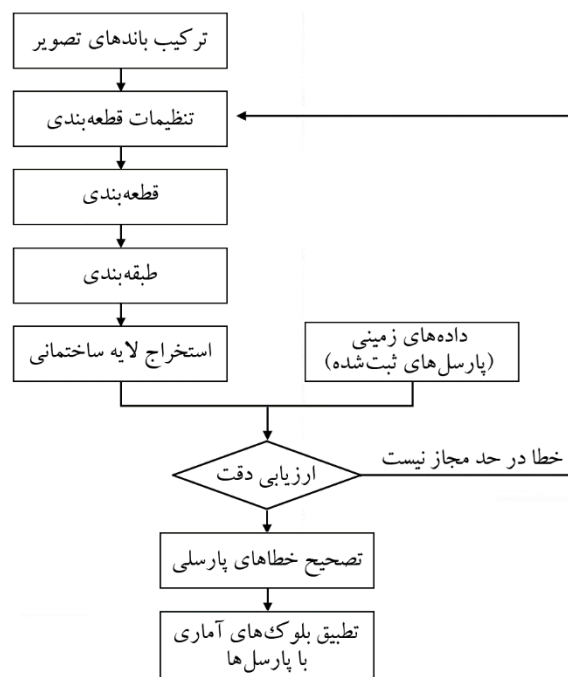
بنابر این دسته‌بندی، ۹ گونه سازه‌ای حاصل از سه نوع سازه از دیدگاه نوع مصالح و سه رده کیفیتی لرزه‌ای حاصل می‌گردد. تعداد واحدهای ساخته‌شده در هر یک از دسته‌بندی‌های سازه‌ای در هر بلوک با توجه به سال ساخت آنها مشخص گردید و در سه بازه‌ی زمانی برای هر بلوک منظم شدند. جدول (۲) نام‌گذاری این دسته‌بندی‌ها را نشان می‌دهد. در ادامه تعداد و سهم هر یک از گونه‌های سازه‌ای در هر بلوک تعیین شدند و به همان نسبت به پارسل‌های هر بلوک اختصاص یافتند. بانک داده اخیر به‌عنوان یک ورودی برای مرحله‌ی بعدی یعنی تحلیل خطرپذیری منطقه و با توجه به سناریوهای لرزه‌ای مورد نظر جهت بررسی و برآورد خسارات و تلفات قرار گرفت.

جدول (۲): دسته‌بندی سیستم سازه‌ای برحسب سال ساخت.

نوع سازه	بازه زمانی ساخت	برچسب
فلزی	قبل از سال ۱۳۷۵	S3
فلزی	بین سال‌های ۱۳۷۵ تا ۱۳۸۵	S2
فلزی	از سال‌های ۱۳۸۵ تا ۱۳۹۰	S1
بتنی	قبل از سال ۱۳۷۵	RC3
بتنی	بین سال‌های ۱۳۷۵ تا ۱۳۸۵	RC2
بتنی	از سال‌های ۱۳۸۵ تا ۱۳۹۰	RC1
بنایی	قبل از سال ۱۳۷۵	M3
بنایی	بین سال‌های ۱۳۷۵ تا ۱۳۸۵	M2
بنایی	از سال‌های ۱۳۸۵ تا ۱۳۹۰	M1

داده‌های مرکز آمار مورد استفاده، برحسب تعداد خانوار و واحدهای مسکونی در بلوک‌های آماری شهر ساری ارائه شده‌اند. مطابق داده‌های مرکز آمار در سال ۹۰ تعداد کل جمعیت ۴۱۷،۲۹۶ نفر و تعداد خانوارهای موجود در این شهر ۷۹۸،۹۰ اعلام گردید. با این احتساب میانگین کل یا مقدار قابل انتظار جمعیت هر خانوار در ساری ۳/۲۶ نفر به دست می‌آید. از طرفی بر اساس این آمار، مساحت میانگین هر واحد مسکونی یا

و کاهش خطای ایجاد شده اقدام به حذف پارسل‌هایی با مساحت بالای پنج هزار مترمربع نیز گردید. با این اصلاحات، پارسل‌های موجود به واحدهای ساختمانی اختصاص داده شدند. شکل (۳) الگوریتم ادغام و تکمیل بانک اطلاعات ساختمانی را مشخص می‌کند.



شکل (۳): فلوجارت توسعه بانک داده‌ها.

۳- تنوع سازه‌ها و تعیین ارتفاع متوسط بلوک‌های شهری

در انجام این پروژه، اطلاعات آمار مورد استفاده و در دسترس آمار سال ۱۳۹۰ بوده است. با توجه به نوع سیستم سازه‌ای مشخص شده در اطلاعات آمار، دسته‌بندی سازه‌ها بر اساس نوع بنایی، بتنی و فلزی انجام شد. همچنین دسته‌بندی کیفیت بر اساس قدمت ساخت و در نظر گرفتن تأثیر زمان در عملکرد لرزه‌ای آنها از طرفی بر اساس فرسودگی و از طرف دیگر بر مبنای اعمال آیین‌نامه‌های لرزه‌ای در دوره‌های متفاوت بوده است. در این خصوص سه تفکیک زمانی منطبق با دوره‌های آمار و نیز آیین‌نامه‌ها و دوره‌های مربوط به اعمال استانداردهای طراحی لرزه‌ای دسته‌بندی گردید که به شرح زیر است:

- قبل از ۱۳۷۵ (رده ۳)

موجود نبوده و این امر میسر نشده است. بدیهی است که در دیدگاه وضوح مکانی ریزمقیاس (در حد ساختمان) این گونه مدل‌ها دارای تقریب و عدم قطعیت آشکار می‌باشند ولی در جایی که اطلاعات پارسل‌ی مناسب از مناطق شهری موجود نباشد، برآورد میانگین تعداد طبقات، توزیع واحدهای مسکونی و جمعیت وابسته به آن در گستره بزرگ‌تر مانند بلوک شهری، معنادار و مناسب خواهد بود.

۴- مدل خطرپذیری منطقه مورد مطالعه

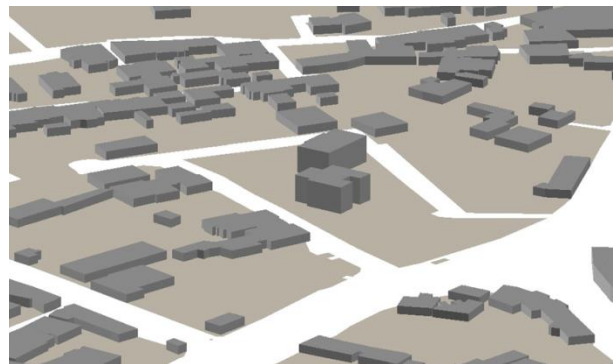
در این بخش از پژوهش، مدل انتخابی آسیب‌پذیری منطبق با مدل ارائه شده برای کشور تحت پروژه مدل لرزه‌ای جهانی بوده است [۵-۶]. در انجام آن، بانک‌های اطلاعاتی برای کل کشور توسعه داده شد و توابع آسیب‌پذیری ساختمان‌های مسکونی بر اساس اطلاعات تجربی، تحلیلی و قضاوتی جمع‌بندی و ارائه شدند. بر اساس توضیحات ارائه شده در بخش قبل، اطلاعات ساختمانی با جزئیات بیشتر و با دقت مکانی بهتر برای شهر ساری به دست آمد که پایگاه داده در مقیاس پارسل و بلوک‌های آماری توسعه یافتند. برای تحلیل خطر و تعیین ورودی زلزله به مدل ریسک، عمق وقوع زلزله در این شهر با توجه به مطالعات انجام‌شده و نظر کارشناسان در حدود ۲۰ کیلومتر و جهت بررسی سناریوی زلزله‌ی محتمل گسل خزر در نظر گرفته شده است [۱۳]. مشخصات جغرافیایی این گسل به‌عنوان ورودی به نرم‌افزار تحلیل خطر و ریسک مورد استفاده (ELER.V3, 2010) [۱۴] مطالعه وارد شد. به‌عنوان یک

سطح اشغال میانگین هر خانوار قابل استخراج می‌باشد. به عبارتی میانگین مساحت هر واحد مسکونی که محل سکونت یک خانوار می‌باشد، برای شهر و یا بلوک‌های آماری قابل محاسبه می‌باشند. رابطه (۱) نحوه به دست آوردن کل سطح اشغال خانوارهای هر بلوک آماری را مشخص می‌کند. این در صورتی است که اطلاعات مساحت واحدهای مسکونی برای تقسیم‌بندی‌های بزرگ‌تر مانند حوزه‌های آماری و یا شهر در دسترس باشد که در صورت وجود اطلاعات جزئی‌تر در هر بلوک، میزان سطح اشغال کل مستقیماً به دست می‌آید. رابطه (۲) برآوردی از میانگین تعداد طبقات در یک بلوک را به دست می‌دهد. شکل (۴) نمای سه‌بعدی شهر را بر اساس مقدار محاسبه شده ارتفاع بلوک‌های آماری نشان می‌دهد.

$$(1) \quad \text{تعداد خانوار هر بلوک} \times \text{میانگین مساحت هر واحد مسکونی هر بلوک} = \text{سطح اشغال کل واحدهای مسکونی هر بلوک}$$

$$(2) \quad \text{میانگین تعداد طبقات هر بلوک} = \frac{\text{سطح اشغال کل واحدهای مسکونی هر بلوک}}{\text{مجموع مساحت پارسل‌های هر بلوک}}$$

در روش پیشنهادی، ارتفاع میانگین ساختمان‌ها در هر بلوک شهری به صورت یک الگوی کلی مشخص شد. بدیهی است که در واقعیت، مقادیر برداشتی برای هر ساختمان داخل بلوک شهری مفروض حول این میزان متغیر باشند. در بازدید میدانی، نویسندگان مشاهدات و تصاویر قابل توجهی از مناطق گرفته و متقاعد شده است که در کلیات مدل مناسب است. به جهت مقایسه دقیق‌تر، داده‌های واقعی ارتفاعی شهری برای مقایسه



شکل (۴): نمایش ارتفاع دهی به ساختمان‌ها بر اساس میانگین ارتفاعی هر بلوک آماری.

در بررسی و محاسبات خسارات مربوط به سناریوهای مطرح سعی بر این شد که شرایط جمعیتی و سازه‌های منطقه‌ی مورد بررسی توأمأ مد نظر قرار گیرد.

در ارزیابی خسارات، درجات آسیب‌پذیری سازه‌های منطبق با روش EMS-98 طبق جدول (۳) و سطوح مختلف خسارات انسانی به شرح جدول (۴) تقسیم‌بندی شدند [۱۶]. همچنین مدل خسارات جانی بر اساس مدل جهانی کابرن-اسپنس (۱۹۹۲) محاسبه شده است [۱۷].

جدول (۳): درجات آسیب‌پذیری سازه‌های

علامت اختصاری	تعریف میزان خسارت
D1	خسارت جزئی
D2	خسارت متوسط
D3	خسارت قابل توجه تا سنگین
D4	خسارت بسیار سنگین
D5	تخریب

جدول (۴): سطوح خسارات انسانی.

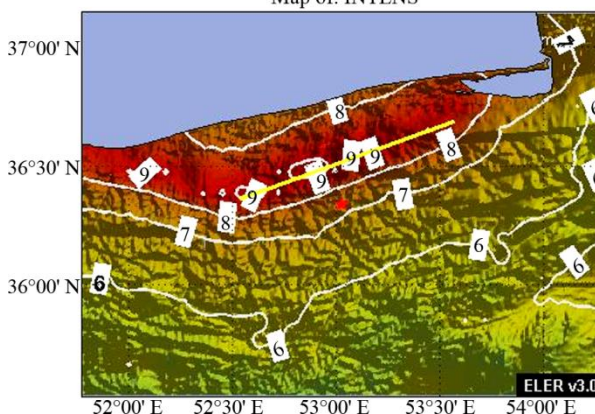
علامت اختصاری	تعریف میزان خسارت انسانی
S1	جراحات ضعیف
S2	جراحات نیازمند درمان در بیمارستان
S3	جراحات شدید
S4	مرگ یا غیر قابل احیاء

۵- نتایج

بانک اطلاعات مکانی جمعیتی و ساختمانی بر اساس رویکرد داسیمتری و تحلیل‌های مکانی داده‌های جمعیتی و ساختمانی بر اساس داده‌های رقومی مرکز آمار کشور، نقشه‌های طرح تفصیلی و تا بخشی از تصاویر ماهواره‌ای به دست آمدند. یکی از رویکردهای متداول در برآورد خطرپذیری و نمایش نقشه‌های ریسک استفاده از شبکه گرید و یا مش‌های مربعی است به طوری که سطح منطقه مورد نظر با وضوح مورد نظر به صورت یکنواخت مش‌بندی گردد و فارغ از عوارض شهری و ساده‌سازی نمایش داده شود. نتایج سناریوهای مورد بررسی با ترکیب اطلاعات در یک سیستم جامع GIS پیاده‌سازی شد. در

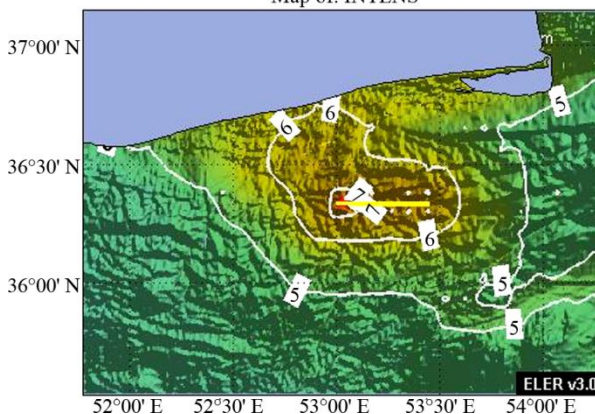
سناریوی محتمل بسیار ویران کننده و بسیار نادر سناریوی گسل خزر با بزرگای ۷ در نظر گرفته شد. شکل (۵) منحنی‌های هم‌شدت را برای مورد سناریوی گسل خزر نمایش می‌دهد. یک سناریوی مطرح دیگر تحت گسل فرضی شناور نیز بررسی گردید به طوری که مسیر آن از پرجمعیت‌ترین و متراکم‌ترین مناطق شهر ساری عبور کند. در این سناریو، بزرگای زلزله‌ی احتمالی برابر ۶ در نظر گرفته شده است که این مقدار تقریبی بوده و در حدود مقادیری است که مطالعات صورت پذیرفته در منطقه و قدرت لرزه‌خیزی گسل‌های موجود نشان می‌دهند [۱۵]. شکل (۶) خطوط هم‌شدت این زلزله سناریو را مشخص می‌کند. بر اساس مشاهدات میدانی، خطوط متصل به منطقه‌ی میدان ساعت، باغ سنگ و میدان سلمان فارسی برای این گسل در نظر گرفته شد.

M7 Depth = 20 Lat = 36.3357 Lon = 53.033
Map of: INTENS



شکل (۵): نقشه توزیع شدت جنبش زمین بر حسب سناریوی گسل خزر.

M6 Depth = 20 Lat = 36.3357 Lon = 53.033
Map of: INTENS

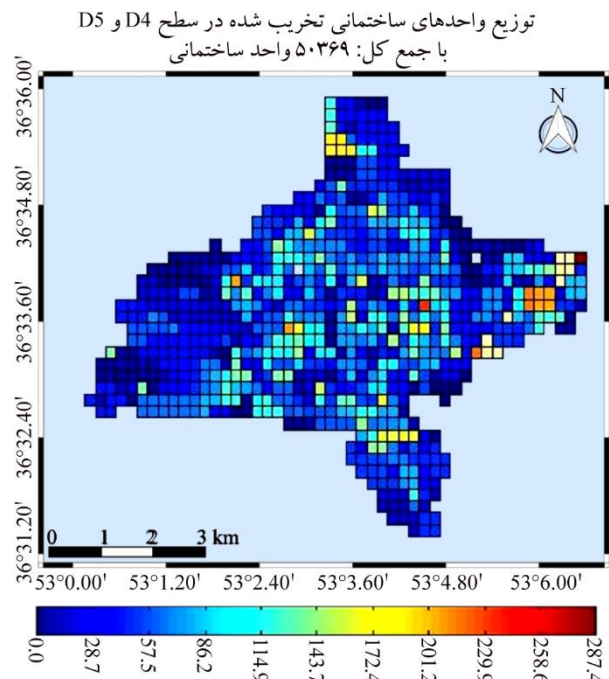
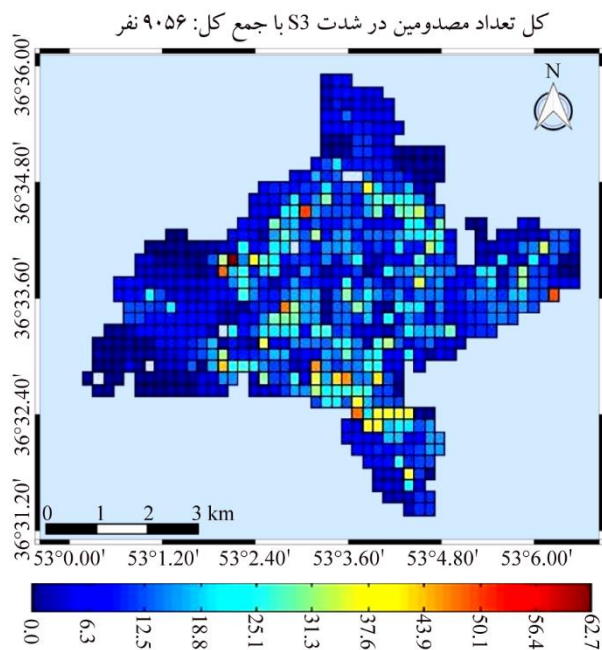


شکل (۶): نقشه شدت جنبش زمین بر حسب سناریوی گسل شناور مرکزی.

این تحلیل‌ها از محیط نرم‌افزاری ELER (ELER V3.0, 2010) استفاده شده است. علاوه بر انجام محاسبات ریسک در بلوک‌های شهری، از رویکرد شبکه‌گریز نیز استفاده شد که نقشه‌های مربوطه ارائه گردیدند. نقشه توزیع تخریب واحدهای ساختمانی در شکل (۷) و توزیع تلفات (جراحات شدید) در شکل (۸) به صورت گریز نمایش داده شده است. جدول (۵) به طور خلاصه میزان تلفات انسانی را در سناریوهای مورد بررسی.

جدول (۵): میزان تلفات انسانی در سناریوهای مورد بررسی.

تعداد مصدومین بر حسب سطح شدت آسیب جانی			زلزله سناریو
S3 + S4	S4	S3	
۲۵۰۱۹	۱۵۹۶۳	۹۰۵۶	گسل خزر
۳۳۱	۲۵۶	۷۵	گسل شناور



شکل (۸): توزیع تلفات انسانی (درجه S3 جراحات شدید) مدل جهانی تلفات انسانی (کوبون- اسپنس) برای سناریوی گسل خزر.

شکل (۷): توزیع خرابی واحدهای مسکونی برای سناریوی گسل خزر آسیب‌های بسیار شدید تا کامل (درجه D4+D5).

جدول (۶): برآورد تخریب واحدهای مسکونی مطابق درجه تخریب بسیار سنگین تا تخریب کامل.

مجموع	M3	M2	M1	RC3	RC2	RC1	S3	S2	S1	نوع ساختمان
D4+D5	D4+D5	D4+D5	D4+D5	D4+D5	D4+D5	D4+D5	D4+D5	D4+D5	D4+D5	حالات آسیب دیده
۵۰۳۶۰	۹۲۶۱	۲۰۴۴	۲۵۸۱	۱۰۶۲۸	۶۴۸۴	۲۶۹۰	۴۲۶۹	۴۱۴۹	۱۲۵۳	سناریوی گسل خزر
۱۵۳۵	۴۴۶	۴۳۸	۱۲	۴۶۴	۲۸	۸	۸۸	۴۷	۴	سناریوی گسل شناور

۶- جمع بندی

ریسک شامل وضعیت موجود و نیز مطالعات کاهش اثرات زلزله به عمل آید و سناریوهای محتمل و مهم دیگر نیز مورد بررسی قرار گیرد و نتایج بر اساس آمار ملموس مدیران و مفید برای جامعه بیان گردد.

تشکر و قدردانی

این مطالعات در راستای انجام پروژه ارتباط با صنعت «مطالعات ریز پهنه‌بندی زلزله و مدیریت بحران شهر ساری» (کد: 7728) در پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله تکمیل شده است.

ELER© v3.0, ELER (Earthquake Loss Estimation Routine) (2010) is a computer code prepared and provided by KOERI (Kandili Observatory Earthquake Research Institute of Bogazici University, Department of Earthquake Engineering Istanbul. KOERI is acknowledged for providing the software free of charge.

مراجع

1. Tavakoli, B. and Tavakoli, S. (1993) Estimating the vulnerability and loss functions of residential buildings. *Natural Hazards*, 7(2), 155-171.
2. JICA-Japan International Cooperation Agency (2000) The Study on Seismic Microzoning of the Greater Tehran Area in the Islamic Republic of Iran, Final Report, Main Report, SSF JR 00-186.
3. Hisada, Y., Shibayama, A., and Ghayamghamian, M.R. (2005) Building Damage and seismic intensity in Bam city from the 2003 Bam, earthquake. *Bull. Earthquake Research Inst. (ERI)*, 79, 81-93.
4. Mansouri, B., Ghafory-Ashtiany, M., Amini-Hosseini, K., Nourjou R., and Mousavi, M. (2010) Building seismic loss model for Tehran. *Earthquake Spectra, Journal of Earthquake Engineering Research Institute (EERI)*, 26(1), 153-168.
5. Mansouri, B., Kiani, A., and Amini-Hosseini, K. (2014) A platform for earthquake risk assessment in iran – case studies: Tehran Scenarios and Ahar-Varzeghan Earthquake. *Journal of Seismology and Earthquake Engineering, JSEE*, 16(1).

با توجه به سطح داده‌های شهری در دسترس و به‌منظور ارائه اطلاعات ساختمانی و جمعیتی با توزیع مکانی هر چه مناسب‌تر، روش داسیمتری در ترکیب و تبیین اطلاعات مورد استفاده قرار گرفت. این اطلاعات محصولی مرکب از پردازش تصاویر ماهواره‌ای، داده‌های طرح تفصیلی که به‌گونه‌ای از تصاویر پردازش شده هوایی بهره‌جسته و نیز داده‌های نفوس و مسکن که در بلوک‌های آماری ارائه شده‌اند می‌باشد. واحدهای مسکونی موجود در شهر به تفکیک نوع کلی سازه و کیفیت ساخت منسوب به سه بازه زمانی طبقه‌بندی شده‌اند و بر اساس مطالعات پیشین توابع آسیب‌پذیری برای این گونه‌ها تعیین گردید. با توجه به مطالعات لرزه‌خیزی منطقه، گسل خزر با بزرگای فرضی ۷ به جهت مدل‌سازی تبعات یک زلزله فاجعه‌بار و بسیار نادر ولی همچنان محتمل در نظر گرفته شد. همچنین برای مقایسه و برآوردهای کلی و بررسی زلزله‌های محتمل‌تر، تبعات لرزه‌ای یک گسل شناور با بزرگای ۶ در عمق ۲۰ کیلومتری در شهر ساری نیز بررسی شد. برای هر دو سناریوی فوق برآورد میزان خسارت ساختمانی و تلفات انسانی به دست آمد که نشان می‌دهد در مورد زلزله بزرگ‌تر که عملاً انتظار می‌رود شدت‌های ۸ تا ۹ در مقیاس MMI تجربه شود حدود نیمی از واحدهای مسکونی دچار آسیب شدید تا فروریزش خواهد شد و ۸/۵ درصد جمعیت دچار آسیب شدید یا مرگ‌ومیر خواهند شد. این به‌واسطه این است که غالب ساختمان‌های مسکونی در رده بنایی و بتنی با کیفیت نامطلوب قرار گرفته‌اند. در خصوص سناریوی زلزله خفیف‌تر که شدت‌های قابل انتظار در محدوده ۶ تا ۷ مرکالی به‌دست آمده، انتظار می‌رود بیش از ۱۵۰۰ واحد مسکونی فقط در شهر ساری خسارت شدید تا فروریزش کامل را تجربه کنند و بیش از ۲۵۰ نفر کشته شوند. این مطالعات به‌عنوان یک برآورد مقدماتی و کلی است که می‌تواند به‌عنوان ابزار مفیدی برای مدیریت خطرپذیری و بحران نقش داشته باشد. همچنین لازم به نظر می‌رسد تا مطالعات دقیق‌تر در همه مقاطع برآورد

Scale 1998, Cahiers du Centre Europeen de G'eodynamique et de S'eismologie. Conseil de l'Europe, Luxembourg.

17. Coburn, A. and Spence, R. (1992) *Earthquake Protection*. John Wiley & Sons.

واژه‌نامه

Objects Extraction (Buildings)	۱- استخراج اشیاء (ساختمان‌ها)
Global Earthquake Model (GEM)	۲- مدل لرزه‌ای جهانی
Choropleth	۳- کوروپلت
Disintegration	۴- تجزیه مکانی
Pansharpen	۵- پنشارپن
Panchromatic	۶- پانکروماتیک
Multispectral	۷- چند طیفی
GoogleMap	۸- گوگل‌مپ

6. Mansouri, B. and Amini-Hosseini, K. (2013) *Global Earthquake Risk Model (GEM) - Earthquake Model of the Middle East Region (EMME) - Work Package 4: Seismic Risk Assessment*. Final Report, IIEES Internal Contract #AM 7-269 (15/5/90).

7. Jonkman, S.N., Lentz, A., and Vrijling, J.K. (2010) A general approach for the estimation of loss of life due to natural and technological disasters. *Reliab. Eng. Syst. Saf.*, **95**(11), 1123-1133.

8. Chen, K., McAneney, J., Blong, R., Leigh, R., Hunter, L., and Magill, C. (2004) Defining area at risk and its effect in catastrophe loss estimation: a dasymetric mapping approach. *Appl. Geogr.*, **24**(2), 97-117.

9. Dent, B.D. (1996) *Cartography: Thematic Map Design (4th Ed.)*. Dubuque, IA: Wm. C. Brown Publishers.

10. Langford, M. and Unwin, D.J. (1994) Generating and mapping population density surfaces within a geographical information system. *The Cartographic Journal*, **31**, 21-26.

11. Longley, P.A., Goodchild, M.F., Maguire, D.J., and Rhind, D.W. (2001) *Geographic Information Systems and Science*. Chichester: John Wiley & Sons.

12. Definiens Imaging (2004) e-Cognition 4.0, User Guide, Definiens Imaging GmbH, Munich, Germany.

13. Hessami-Azar, K. (2016) Personal Communication.

14. Hancilar, U., Tuzun, C., Yenidogan, C., and Erdik, M. (2010) ELER software- a new tool for urban earthquake loss assessment. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, **10**(12), 2677-2696.

15. Tatar, M., Jackson, J., Hatzfeld, D., and Bergman, E. (2007) The 2004 May 28 Baladeh earthquake (Mw 6.2) in the Alborz, Iran: overthrusting the South Caspian Basin margin, partitioning of oblique convergence and the seismic hazard of Tehran. *Geophysical Journal International*, **170**(1), 249-261.

16. Grunthal, G. (Ed.) (1998) *European Macroseismic*

Developing Building and Population Inventories Using Dasyetry and Remote Sensing Techniques for Urban Loss Estimation – Case Study: City of Sari

Babak Mansouri^{1*}, Parham Jalilvand², and Mohsen Ghafory-Ashtiany³

1. Associate Professor, Earthquake Risk Management Research Center, International Institute of Earthquake Engineering and Seismology (IIEES), Tehran, Iran, *Corresponding Author, email: mansouri@iiees.ac.ir
2. M.Sc. Graduate, International Institute of Earthquake Engineering and Seismology (IIEES), Tehran, Iran
3. Professor, Structural Engineering Research Center, International Institute of Earthquake Engineering and Seismology (IIEES), Tehran, Iran

Residential buildings and associated population distribution modeling, is an integral part for assessing and estimating the direct and indirect risks/losses related to natural disasters, including earthquakes in the built environments such as in urban and rural settings. In this study, the geospatial database for the buildings were derived by compiling existing census data sets and the geospatial map that was derived by the comprehensive urban planning and development of the study area (Sari metropolitan area in Mazandaran, north of Iran) as obtained by the related consultant engineering firm. Combining the information from different data sets with different scales or spatial resolution involves some techniques that are mainly based on statistical inferencing methods and/or utilizing some spatial distribution patterns that exhibit the built environment topology. Once the distribution of the buildings or the residential units are derived and finalized, the population distribution pattern can be extracted based on similar aforementioned concepts. The second step in this research involved the development of the population inventory.

In this study, as mentioned earlier, the statistical datasets from different sources (related to urban zones and city blocks) were combined first. For the purpose of comparison and overall verifications, some digital imageries such as aerial and satellite images were collected in order to extract urban features such as buildings. In this fashion, detailed geometric information concerning each individual building footprint are extracted that can be summarized according to their related city block polygons. This scheme was applied for some selected parts of the city that can be evenly utilized and extended for any desired geographic extents. In conducting the present research, a simplified method for building height (or city parcel height) assignment was also delivered that indicates the average number of stories within each city block.

After the urban database has been developed (building and population inventories), the earthquake damage to the elements at risks (i.e. building destruction and human casualty) can be assessed in the study area. As a case study, the metropolitan area of Sari was focused, and some probable hypothetical scenario earthquakes were considered. For each scenario earthquake, damages to the building stock and the associated human losses were estimated according to some predefined domestic vulnerability functions and a global human casualty model as reported. For example, as a result, considering the Khazar Fault earthquake scenario, more than 5000 housing units are expected to experience very heavy damage to destruction.

This study has presented a comprehensive model according to the existing data sets and the local conditions for the study area that can be modified, upgraded and updated with newer and more accurate data whenever accessible. Also the same method can be applied for other parts of the country. Moreover, the results indicate that the expected damages, losses and human casualties are high and alarming suggesting more detailed study on the region and also devising and implementing suitable disaster management measures for the region.

Keywords: Risk Assessment, Risk Modeling, Loss Estimation, Geospatial Databases, Building Inventory, Population Distribution, Dasyetry, Remote Sensing.