

نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، سال بیستم، شماره ۵۶، بهار ۹۹

## تحلیل آسیب پذیری شهری در برابر مخاطره زلزله با روش ELECTRE FUZZY (مطالعه موردی: کلان شهر کرج)

دریافت مقاله: ۹۷/۳/۱۷ پذیرش نهایی: ۹۷/۷/۱۵

صفحات: ۹۳-۱۱۳

فاطمه خدادادی: دانشجوی دکتری رشته مخاطرات ژئومورفیک، دانشکده علوم جغرافیایی و برنامه ریزی، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران.

Email: f.khodadady@gmail.com

مژگان انتظاری: دانشیار گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم جغرافیایی و برنامه ریزی، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران.<sup>۱</sup>

Email: Entezary54@yahoo.com

فرزانه ساسان پور: دانشیار گروه جغرافیا و برنامه ریزی شهری، دانشکده علوم جغرافیایی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران.

Email: sasanpour@khu.ac.ir

### چکیده

در این تحقیق کلان شهر کرج به عنوان منطقه مورد مطالعه انتخاب گردیده است، روش تحقیق و تجزیه و تحلیل اطلاعات جمع آوری شده با توجه به روشهای مبتنی بر پایگاه اطلاعاتی و با بهره گیری از مدل ELECTRE FUZZY معیارهای مصالح ساختمانی، تعداد طبقات، کیفیت ابنیه، تراکم جمعیت، تراکم ساختمان، مساحت قطعات، عرض معابر، زمین شناسی، فاصله از گسل، فاصله از مراکز درمانی، فاصله از فضای باز عمومی، فاصله از تأسیسات شهری و سازگاری کاربریها برای انجام پژوهش مورد استفاده قرار گرفتند. نتایج حاصله حاکی از آسیب پذیری بودن مناطق ۶، ۸، ۱ و ۷ شهرداری کرج در برابر زلزله است به طوری که بیش از ۷۰ درصد از شهر کرج از نظر خطر آسیب پذیری در برابر زلزله در طبقه خیلی کم و کم قرار گرفته است و تنها حدود ۲۰ درصد از شهر کرج به دلیل نزدیکی به گسل و وجود تراکم بالای جمعیتی، ساختمانی و... در مناطق با خطر زیاد و خیلی زیاد قرار گرفته است که با رعایت اصول شهرسازی و رعایت آیین نامه ۲۸۰۰ می توان از خسارات ناشی از زلزله در این مناطق کاست.

کلید واژگان: آسیب پذیری، زلزله، کلان شهر کرج، مخاطره، مدل ELECTRE FUZZY

۱- نویسنده مسئول: دانشگاه اصفهان، دانشکده علوم جغرافیایی و برنامه ریزی، گروه جغرافیای طبیعی ۰۹۱۳۳۳۱۳۱۹۳

## مقدمه

مخاطرات طبیعی با انواع گوناگون و گستره ی نفوذشان، به عنوان پدیده هایی تکرار شدنی و مخرب، همواره در طول دوران حیات کره زمین وجود داشته اند و پس از پیدایش بشر نیز همیشه خطری جدی برای انسان بوده اند. در واقع حوادث طبیعی، زمانی مخاطره قلمداد می شوند که انسان ها از آن ها متضرر و یا متاثر گردند. شهرها نیز به عنوان یک مکان تجمع برای جمعیت انسانی از وقوع این بلایای طبیعی مستثنی نمی باشند و لازم است چاره اندیشی ها ی جدی جهت کاهش آسیب پذیری این سکونتگاه ها در برابر بلایای طبیعی صورت پذیرد (قنواتی، ۱۷:۱۳۹۰). با این وجود می توان اذعان داشت که شناخت صحیح ابعاد و اصول مدیریت بحران ناشی از زمین لرزه در مناطق شهری می تواند به عنوان اولین گام در فرآیند مدیریت بحران و به عنوان یکی از اساسی ترین دستورالعمل ها جهت اجرائی نمودن مدیریت بحران زمین لرزه محسوب گردد (ساسانپور، ۱۳۹۶: ۱). امروزه با توجه به رشد سریع جمعیت که به تبع آن، توسعه ساخت وسازها اجتناب ناپذیر شده است، هر روز بر فشار نیازهای زمینی بشر افزوده شده و بهره برداری از مناطق اطراف شهرها و روستاها برای ایجاد خانه و تأسیسات اقتصادی و صنعتی فزونی می یابد و گاهی سکونتگاه های جدید استقرار اجباری دارند، اما آنچه حائز اهمیت است، وضعیت اسفبار شهرها و کلانشهرهایی است که روی گسل ها یا در مجاورت آن ساخته شده و در معرض خطر زلزله قرار دارند. زلزله پدیده ای است طبیعی که بی توجهی به آن خسارات جبران ناپذیری به دنبال خواهد داشت. وقوع زلزله های شدید بشر را بر آن داشته است که در فکر تدوین یک برنامه زیربنایی برای کاهش خطرات و آسیب های ناشی از آن باشد. ویژگیهای زمین ساخت کشور، زلزله را به عنوان یکی از مخرب ترین عوامل انهدام حیات انسانی مطرح نموده است.

زلزله خیز بودن یک منطقه خطر طبیعی جدی به حساب می آید. این موضوع در کشور ایران به دلیل قرار گیری در کمربند گسل آلپ هیمالیا از اهمیت خاصی برخوردار است (ساسانپور، موسی وند، ۱۳۸۹: ۲۹). امروزه کلانشهرها، در نقاط مختلف دنیا به دلایل متعدد در معرض آسیب ناشی از مخاطرات طبیعی قرار دارند، این مخاطرات که آسیب های جانی و مالی فراوانی را با خود به همراه دارند نیازمند اقدامات فوری و پیشگیرانه می باشند (همان). با آن که در طی سال های اخیر در برنامه ریزی برای توسعه فیزیکی شهرها اقداماتی جهت کاهش مخاطره طبیعی انجام گرفته است ولی رشد سریع اغلب شهرها به افزایش میزان مخاطره طبیعی در محدوده شهرها منجر شده است. میزان آسیب پذیری این شهرها در مقابل خطرات و بلایای طبیعی بسیار متفاوت بوده و شهرهایی که محدوده توسعه و گسترش کالبدی آنها بر روی نواحی آسیب پذیر از قبیل بستر یا توپوگرافی پرشیب، نزدیک به خط گسل، نواحی در معرض ریزش سنگ و سیل بوده به صورت زیادتری آسیب پذیر بوده اند (طالب زاده، ۱۳۸۸: ۹۹).

با توجه به اهمیت موضوع ارزیابی آسیب پذیری شهرها در برابر زلزله در مباحث مربوط به جغرافیا و برنامه ریزی شهری، در این پژوهش سعی شده است تا با بکارگیری روش منطق فازی در محیط GIS، برآورد مناسبی از خطرپذیری شهر کرج در برابر زلزله با استفاده از داده های مکانی و توصیفی اجزا و عناصر اصلی و رفتاری ساختمانی انجام گیرد و تأثیر هر یک از معیارهای بکاررفته در میزان آسیب پذیری تعیین شود. ابعاد کالبدی را می توان محسوس ترین و مهم ترین بخش برنامه ریزی شهری در کاهش آثار زلزله دانست. شکل و

کالبد شهر، شامل عناصر مختلفی است که سازماندهی آن‌ها از طریق برنامه ریزی و طراحی شهری صورت می‌گیرد. شاخص‌های کالبدی و برنامه ریزی شهری این پژوهش عبارتند از: ۱. تراکم جمعیتی؛ ۲. فاصله از گسل؛ ۳. دسترسی و شبکه معابر؛ ۴. مساحت و اندازه قطعات؛ ۵. دسترسی به فضای باز عمومی؛ ۶. جنس مصالح نما؛ ۷. فاصله از تأسیسات شهری؛ ۸. دسترسی به مراکز امداد؛ ۹. تراکم ساختمانی؛ ۱۰. تعداد طبقات؛ ۱۱. زمین‌شناسی؛ ۱۲. کیفیت ساختمان؛ ۱۳. کاربری اراضی

وجود دو گسل مهم شمال تهران و باغستان؛ و در فاصله این گسل‌های اصلی ده‌ها گسل قائم و یا مایل کوچک و محلی که بیشترین زیربنای زمین کرج را در بر گرفته و ساختمان صدها هزار مسکن روی سطح این زمین‌های شکسته قرار گرفته‌اند و عوامل دیگری نظیر، وجود بافت فرسوده که در اکثر نقاط شهر کرج حدود ۵۹۷ هکتار را شامل می‌شود و مشکلات مراکز درمانی و بیمارستان‌ها (عدم وجود مراکز درمانی به حد کافی، عدم استحکام مراکز درمانی)، ترافیک بسیار شدید معابر اصلی شهر و کوچه‌های کوچک و تنگ و عدم وجود مکان‌هایی برای اسکان اضطراری، ضخامت متوسط خاک کرج (۳۰۰ متر) و قرار گرفتن شهر بر روی مخروط‌افکنه، و نیز وجود انبوه جمعیت (حدود ۲ میلیون نفر) و وجود تراکم بالای آن از عواملی هستند که گویای آن است که خطرات زلزله کل شهر کرج را تهدید می‌کند لذا پرداختن به بحث آسیب‌پذیری در کلان‌شهر کرج به دلیل اهمیت اقتصادی آن در بعد منطقه ای و ملی و تراکم جمعیت میلیونی آن ضروری است تا با ارائه یک نگاه یکپارچه، کلان‌شهر کرج را از نظر وضعیت آسیب‌پذیری این شهر در برابر مخاطره زلزله بررسی نماییم.

تحلیل‌ها و ارزیابی‌های متعددی در ارتباط با آسیب‌پذیری در برابر زلزله در قالب تحقیقات گوناگون انجام گرفته است. با مشاهده تحقیقات انجام شده می‌توان گفت، که مدل‌های زیادی جهت ارزیابی و کاهش آسیب‌پذیری شهرها در برابر زلزله ارائه شده است. صدری کیا و همکاران (۲۰۱۷) آسیب‌پذیری ناشی از زمین لرزه را در مناطقی که داده‌های ناکافی در این زمینه دارند با استفاده از سه روش AHP، تکنیک مجموعه‌های فازی و روش TOPSIS ارزیابی نمودند. نمونه موردی آنها در این مطالعه شهر تبریز بود. شاخص‌های مورد بررسی در پژوهش آنها شامل شیب، فاصله از گسل، زمین‌شناسی، نوع بافت، سن بافت، سطح آب زیرزمینی، تعداد طبقات و سن ساختمان‌ها می‌باشد. با توجه به نتایج به عمل آمده روش فازی در تعیین تأثیرات معیارهای آسیب‌پذیری لرزه‌ای از اولویت بالاتری برخوردار است. محمد پور و همکاران (۲۰۱۶) در مقاله‌ای به شناسایی و توسعه ارتباط برنامه ریزی شهری و مدیریت بحران زلزله به منظور کاهش آسیب‌پذیری لرزه‌ای در بافت قدیمی محله سیروس شهرداری تهران، منطقه ۱۲ پرداختند. و در نهایت به این نتیجه رسیدند که می‌توان از طریق تحلیل آسیب‌پذیری لرزه‌ای در بافت قدیمی شهری به نقش برنامه‌ریزی شهر برای پارامترهای ساختاری در زمینه مقابله با زلزله اشاره نمود. چن نن هانگ و همکاران (۲۰۱۴) در مقاله خود به بررسی آسیب‌پذیری و وابستگی متقابل زیرساخت‌های حیاتی شهر در تایوان پرداخته‌اند. شمسی پور (۲۰۱۰) در مقاله خود با استفاده از روش AHP و منطق فازی مناطق حساس و محیط‌های آسیب‌پذیر در غرب استان فارس را پهنه بندی کرد. و نتیجه گرفت که با توجه به این که تاکنون مطالعات دقیقی در زمینه مناطق حساس و آسیب‌پذیر از لحاظ مخاطرات ژئومورفیک صورت نگرفته است. مطالعات ترکیبی در زمینه آسیب‌پذیری جوامع مختلف و مخاطرات طبیعی با استفاده از لایه‌های اطلاعاتی و داده‌های موجود بسیار لازم

و ضروری می‌باشد. کریمی کردآبادی و همکار (۱۳۹۴) در پژوهش خود با استفاده از مدل ترکیبی FUZZY-AHP و با به کارگیری نرم افزارهای Arc GIS و Expert Choice به پهنه بندی خطر زلزله و تأثیر آن در امنیت شهری منطقه یک شهر تهران پرداخته‌اند. متغیرها و شاخص های به کار گرفته شده جهت ارزیابی و پهنه بندی خطر زلزله در منطقه یک کلان‌شهر تهران شامل: کاربری اراضی، فاصله از مراکز خدمات شهری، زمین‌شناسی، فاصله از گسل ها، فاصله از جاده، ناپایداری مصالح و فاصله از مناطق پر تراکم جمعیت است. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که منطقه یک کلان‌شهر تهران به شدت در خطر زلزله خیزی قرار دارد و مناطق دارای خطر خیلی زیاد و زیاد در حدود ۵۰ درصد مساحت منطقه یک را دربر می‌گیرند. جلالیان و همکار (۱۳۹۴) با استفاده از مدل فرایند تحلیل سلسله مراتبی و روش تحلیل چند معیاری فضایی و با به کارگیری پنج شاخص گسل، جنس زمین، شیب، زمین لغزش و تراکم جمعیت به پهنه بندی آسیب‌پذیری زلزله در بخش چورزق شهرستان طارم اقدام نمودند. نتایج حاصل از تحقیق آنها نشان می‌دهد که بخش عمده ای از شهرستان طارم و سکونتگاه های روستایی منطقه در پهنه‌های با خطر بالا (۴۵,۷۱ درصد) و خیلی بالا (۱۴,۷۱ درصد) قرار گرفته است. امینی ورکی و همکاران (۱۳۹۳) در پژوهشی به شناسایی دیدگاه های حاکم بر آسیب‌پذیری شهرها در برابر مخاطرات محیطی و استخراج مولفه های تاثیر گذار در آن با استفاده از روش کیو پرداختند و با تجمیع دیدگاه های مختلف، مولفه های تاثیر گذار در آسیب‌پذیری شهرها شناسایی و تعیین شد. یافته های پژوهش بر پایه تحلیل عاملی کیو بیانگر سه دیدگاه در زمینه آسیب‌پذیری شهری در ایران است. پور عبدل (۱۳۹۲) در پژوهشی به تحلیل آسیب‌پذیری ناشی از زلزله در بافت کالبدی شهر کرج پرداختند و عوامل آسیب زا و آسیب پذیر در رابطه با زلزله را مورد مطالعه قرار دادند همچنین درجات آسیب‌پذیری هر یک از متغیرها و چگونگی پراکنش آنها را مورد بررسی قرار داده و با استفاده از منطق فازی و تلفیق لایه ها به این نتیجه رسیدند که متغیرهای تراکم جمعیت، فاصله از گسل و عرض معابر دارای بیشترین تأثیر در میزان آسیب‌پذیری نواحی می باشند. قنبری و همکاران (۱۳۹۲) در مقاله خود به شناسایی و پهنه بندی محدوده شهر تبریز از نظر میزان آسیب‌پذیری در مقابل خطر زمین لرزه پرداختند. سپس با استفاده از توابع تحلیلی نرم افزار GIS و مدل های وزن دهی معیار، تحلیل سلسله مراتبی و شاخص همپوشانی نقشه نهایی پهنه بندی آسیب‌پذیری شهر در مقابل زلزله تهیه گردید شریفی کیا و همکاران (۱۳۹۰) در مقاله ای به تحلیل آسیب‌پذیری ناشی از مخاطرات زمینی در ناحیه پر مخاطره و پر جاذبه ولشت پرداختند. یافته تحقیق آنها موید آسیب پذیر بودن کلیه مساکن و جمعیت ساکن در آن با درجه آسیب‌پذیری متفاوت بود. ساسان پور و همکاران (۱۳۸۹) در مقاله ای افزایش شدت میزان و نحوه آسیب‌پذیری مناطق و واحدهای شهری از زلزله را در اثر عوامل انسان ساخت در منطقه پنج کلان‌شهر تهران ارزیابی نمودند. چنین مطالعاتی هرچند در سطح جهانی مورد توجه نسبی بوده است اما در کشور ایران و به خصوص در کلان‌شهر کرج کم تر مورد توجه قرار گرفته است. تحقیقات اندکی به صورت پراکنده در مناطق مختلف استان البرز در زمینه مخاطرات طبیعی (لغزش، زمین لرزه و سیل) صورت گرفته که در همه آنها کمتر به مسأله آسیب‌پذیری پرداخته شده است. در این پژوهش تحلیل و شناخت آسیب‌پذیری شهری از مخاطرات ژئومورفیک به عنوان اقدامی ابزاری برای پیشگیری از زایش فاجعه بر مبنای زیستن در نواحی پر خطر استوار است که مهمترین تفاوت این پژوهش با

سایر تحقیقات در زمینه مخاطرات طبیعی می‌باشد. همچنین جدول (۱) پیشینه‌ای از مطالعات گذشته و انواع شاخص‌های بکار رفته جهت آسیب‌پذیری شهری در راستای مخاطره زمین لرزه را نشان می‌دهد که در تعیین شاخص‌های آسیب‌پذیری شهری از آنها بهره گرفته می‌شود.

جدول (۱). شاخص‌های مورد استفاده جهت آسیب‌پذیری شهری مخاطره زمین لرزه در مطالعات گذشته

محقق - سال نشر اثر	شاخص‌های مورد استفاده جهت پهنه بندی خطر
ساسان پور- (۱۳۸۹)	دسترسی به فضاهای باز عمومی، دسترسی به معابر، فاصله از گسل، مساحت و اندازه قطعات
منزوی- (۱۳۸۹)	تراکم جمعیت، فضاهای باز عمومی، کاربری اراضی، مساحت و اندازه قطعات، نوع مصالح
فراهانی- (۱۳۹۰)	تعداد طبقات، کیفیت ابنیه، دسترسی به معابر، مساحت و اندازه قطعات، نوع مصالح
فرج زاده اصل و همکاران- (۱۳۹۰)	تراکم جمعیت، تعداد طبقات، کیفیت ابنیه و جنس مصالح، کاربری اراضی، جنس زمین
قنبری- (۱۳۹۲)	تراکم جمعیت، کیفیت ابنیه و جنس مصالح، دسترسی به فضاهای باز عمومی، دسترسی به معابر، کاربری اراضی، مساحت و اندازه قطعات، تراکم ساختمان
پورعبدل- (۱۳۹۲)	تراکم جمعیت، تعداد طبقات، کیفیت ابنیه و جنس مصالح، دسترسی به فضاهای باز عمومی، دسترسی به معابر، فاصله از گسل
مشک‌ساز- (۱۳۹۲)	فاصله از گسل، کاربری اراضی، مساحت و اندازه قطعات، تراکم ساختمان
اسفندیاری- (۱۳۹۳)	تراکم جمعیت، تعداد طبقات، کیفیت ابنیه و جنس مصالح، دسترسی به معابر، فاصله از مراکز درمانی، فاصله از گسل، کاربری اراضی، نوع مصالح، تراکم ساختمان
حاتمی نژاد- (۱۳۹۳)	تراکم جمعیت، دسترسی به فضاهای باز عمومی، دسترسی به معابر، فاصله از مراکز درمانی، فاصله از گسل، مساحت و اندازه قطعات، نوع مصالح، تراکم ساختمان، جنس زمین
تقوایی- (۱۳۹۴)	تعداد طبقات، کیفیت ابنیه و جنس مصالح، دسترسی به معابر، فاصله از مراکز درمانی، فاصله از گسل، کاربری اراضی، مساحت و اندازه قطعات
ساسان پور- (۱۳۹۶)	تعداد طبقات، کیفیت ابنیه، جنس مصالح، عرض معابر، دسترسی به فضای باز، فاصله از گسل، کاربری اراضی، مساحت قطعات، قدمت ابنیه
استرادا- (۲۰۱۲)	تعداد طبقات، کیفیت ابنیه و جنس مصالح، کاربری اراضی، نوع مصالح، جنس زمین
بزازان لطفی- (۲۰۱۷)	فاصله از گسل، کاربری اراضی
صدری کیا- (۲۰۱۷)	تعداد طبقات، کیفیت ابنیه و جنس مصالح، فاصله از گسل، نوع مصالح، جنس زمین

### روش تحقیق

این پژوهش از نظر روش تحقیق توصیفی- تحلیلی و از نظر هدف از نوع تحقیقات کاربردی محسوب می‌شود که به تبیین وضعیت آسیب‌پذیری ناشی از مخاطره زلزله در محدوده شهر کرج می‌پردازد. ابزار گردآوری داده‌ها در این مطالعه مشتمل بر اسناد و مدارک نوشتاری، داده‌های آماری (آمار کمی و کیفی)، اسناد تصویری و بررسی‌های میدانی می‌باشد. همچنین نقشه‌های توپوگرافی ۱/۲۵۰۰۰، زمین‌شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ و نقشه‌های شهری ۱/۲۰۰۰، مدل ارتفاع رقومی (DEM) ده متر، نقشه طبقات ارتفاعی، نقشه شیب، نقشه گسل‌های اصلی و فرعی، نقشه واحدهای سنگ شناسی، زمین‌شناسی، نقشه کاربری اراضی کرج داده‌های رقومی مورد استفاده در پژوهش بودند.

جامعه مورد مطالعه شامل تمامی پهنه کالبد شهر کرج می باشد، در این مطالعه از مرزها و تقسیم‌بندی مناطق استفاده شد که در آن کالبد شهر کرج محدودهای را به نام طرح جامع شهر کرج (بدون حریم مناطق) در بر گرفته بود. این تقسیم‌بندی به صورت مناطق، در سال ۱۳۹۱ و در طرح تفصیلی شهر کرج توسط کارشناسان مربوطه صورت پذیرفته است.

روش تجزیه و تحلیل اطلاعات با استفاده از نرم افزارهای مبتنی بر رویکرد سیستم اطلاعات جغرافیایی انجام گرفته است. به منظور وزندهی به شاخص‌ها و متغیرهای مورد استفاده از مدل فازی استفاده شده و سپس به منظور شناخت میزان آسیب پذیری بافت کالبدی شهر، با استفاده از GIS شاخص‌های وزن دار شده در یک تابع قرار داده شدند.

### معرفی متغیرها و شاخص‌ها

با در نظر داشتن پارامترهای موجود و روش مورد استفاده در تحقیق، شکل ۱ فلوچارت شاخص‌ها و مراحل تحقیق را نشان می‌دهد.

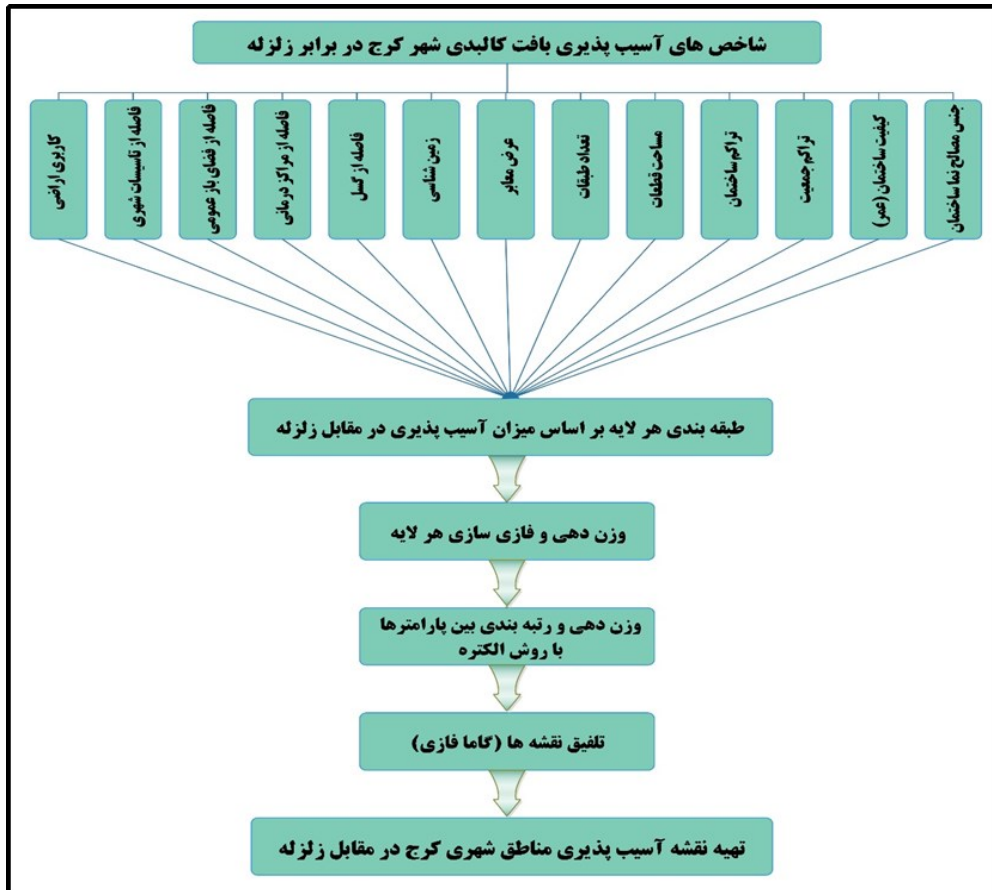
### فازی‌سازی داده‌ها

فازی‌سازی می‌تواند به صورت مستقیم صورت گیرد و با استفاده از الگوریتم‌ها یا عبارات منطقی انجام شود. شیوه استفاده شده جهت فازی‌سازی اعداد در این پژوهش مبتنی بر دو روش، محاسبه مستقیم و محاسبه کارشناسانه می‌باشد. در روش محاسبه کارشناسانه بعد از تعیین دامنه تغییرات هر پارامتر، دامنه‌ها بر اساس پژوهش‌های قبلی طبقه‌بندی شده و سپس به صورت دستی، منطبق با واقعیت و طبق نظر کارشناسان، وزن‌دهی می‌شوند.

برای ایجاد لایه‌ها و مجموعه‌های فازی می‌توان توابع ریاضی چون آستانه خطی سیگموئیدال، S شکل، هایپربولیک و... را به کار برد، به‌عنوان مثال اگر برای خطرپذیری بافت شهری متغیری مانند نزدیکی به گسل مورد بررسی قرار گیرد، تعیین درجه عضویت به شرح مقابل است:

$$F(X) \begin{cases} \text{امتیاز (۱)} \rightarrow \text{متر } x < 1000 \text{ اگر} \\ \text{امتیاز} = \frac{X_{\max} - X}{\Delta x} \rightarrow \text{متر } 4000 < x < 1000 \text{ اگر} \\ \text{امتیاز (۰)} \rightarrow \text{متر } x > 4000 \text{ اگر} \end{cases}$$

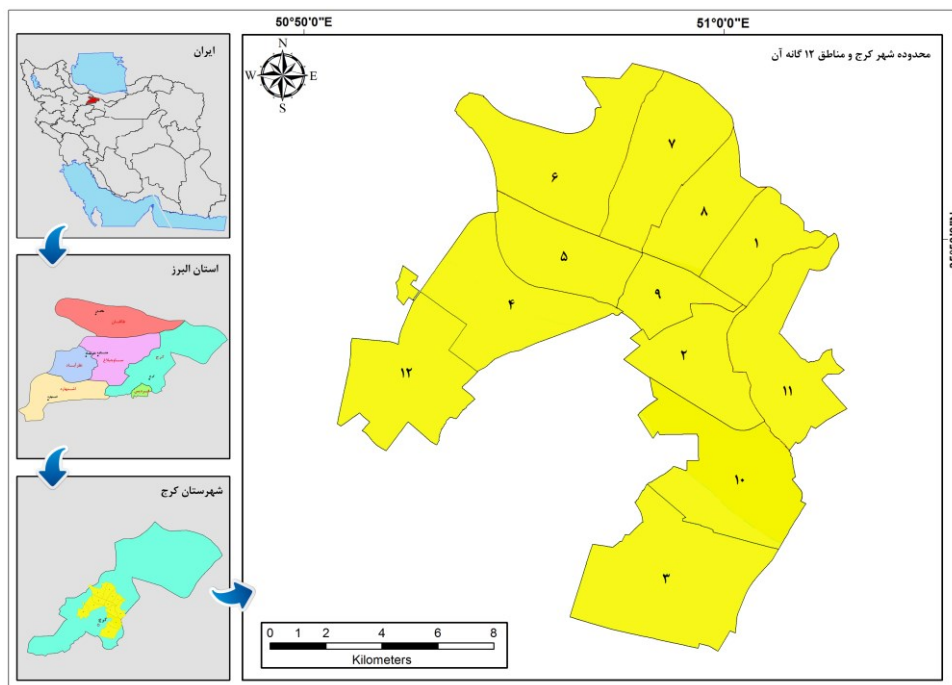
بدین معنی که مقدار فازی نقطه ۱۰۰۰ متری از گسل برابر با (۱)، مقدار فازی نقطه ۴۰۰۰ متری از گسل برابر با (۰) و مقدار فازی نقطه ۱۶۰۰ با استفاده از تابع آستانه خطی برابر با ۰,۴۶ خواهد بود. برای تمام لایه‌های دیگر همین عملیات را پیاده‌سازی و فضای منطقه ارزش‌گذاری می‌شود. توانایی سیستم GIS در آنالیز رستری نقشه، امکان پیاده‌سازی تکنیک‌های مختلفی چون فازی و تحلیل سلسله مراتبی را فراهم می‌سازد زیرا با تعیین آستانه مثبت و منفی داده‌ها (۰ تا ۱ و نه صفر و یک) درجه عضویت متغیرها مشخص می‌شود.



شکل (۱). مراحل و شاخص های مورد استفاده جهت آسیب پذیری شهری مخاطره زمین لرزه

### محدوده و قلمرو پژوهش

کرج در ۳۶ کیلومتری غرب تهران و در کرانه غربی رود کرج و در دامنه جنوبی رشته کوه البرز قرار گرفته است. این شهرستان از شمال به استان مازندران، از جنوب به شهرستان شهریار و استان مرکزی، از غرب به شهرستان ساوجبلاغ و استان قزوین و از شرق به شهرستان تهران محدود است. شهر کرج با مساحتی معادل ۱۷۵/۴ کیلومتر مربع و حریمی به وسعت ۱۷۸/۹ کیلومتر مربع با ارتفاع متوسط ۱۲۹۷ متر از سطح دریا قرار دارد. شهر کرج از نظر مطالعه اقلیمی دارای آب و هوای معتدل و نیمه خشک با تابستان های گرم و خشک و زمستان های نسبتاً سرد می باشد. جمعیت این شهر ۱۹۷۳۴۷۰ نفر در سال ۱۳۹۵ بود که در حال حاضر پس از شهرهای تهران و مشهد و اصفهان به عنوان چهارمین شهر پرجمعیت ایران به شمار می رود. شکل (۲).



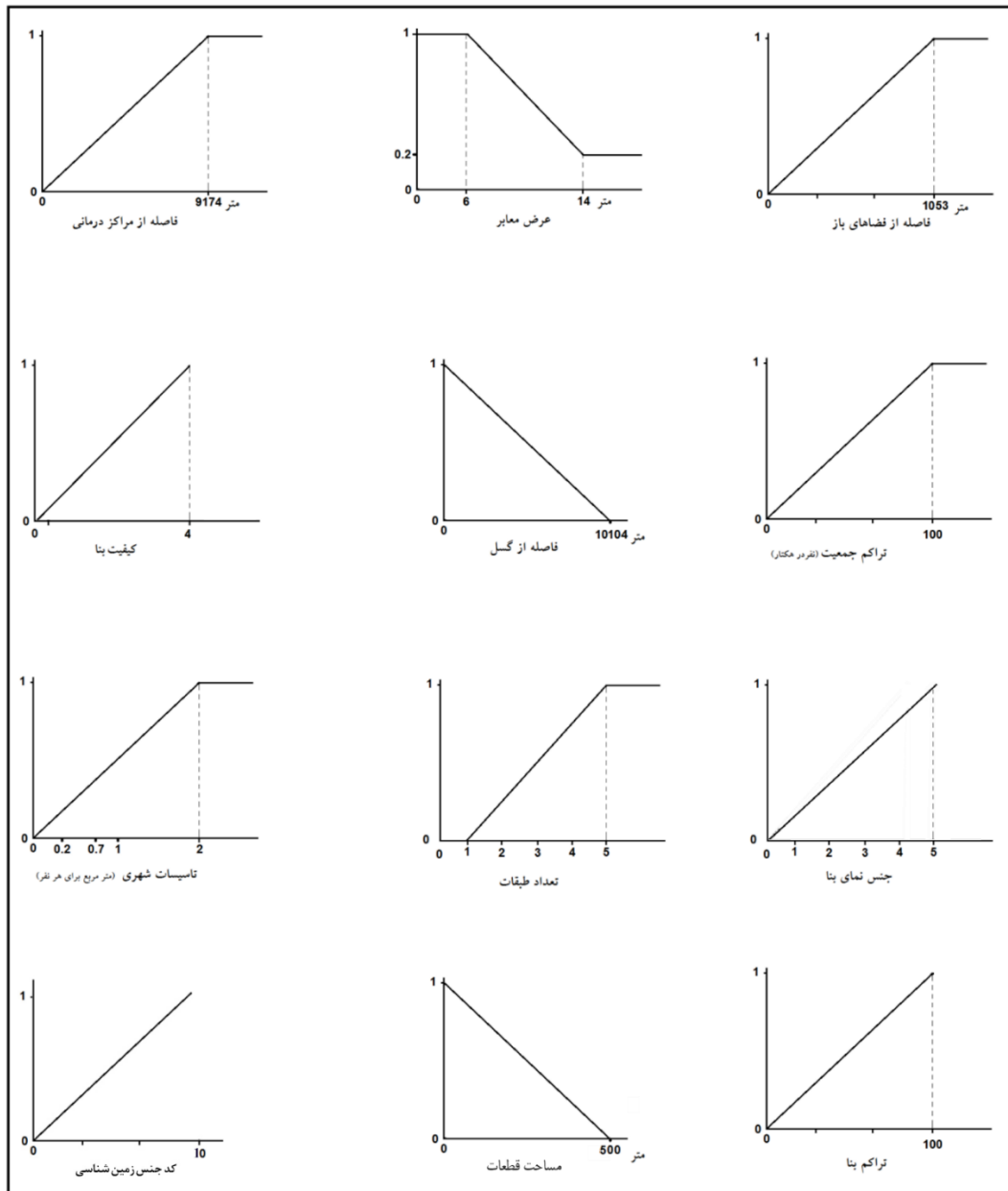
شکل (۲). موقعیت شهر کرج

### نتایج

#### وزن دهی و طبقه بندی آسیب پذیری هر کدام از متغیرها

پس از تطبیق دقیق نواحی مشخص شده در طرح تفصیلی شهر کرج با نقشه طرح جامع شهری، حدود و مرزهای مناطق به دقت مشخص شد. سپس به هر پارامتر در Arc Map اطلاعات جدولی مربوطه داده شد. پس از تخصیص داده‌ها به هر لایه، با توجه به طیف آسیب‌پذیری هر کدام از پارامترها، وزن‌دهی پارامترها صورت گرفت. اساس طبقه بندی‌ها بر اساس مطالعات و پژوهش‌های پیشین بوده است. توابع مربوط به هر کدام از پارامترها و وزن دهی به آنها بر اساس توابع موجود در شکل (۳) انجام شد:





شکل (۳). توابع شاخص های مورد استفاده در تعیین آسیب پذیری زلزله کرج به روش فازی

شاخص های مورد استفاده در تعیین میزان آسیب پذیری شهر کرج در مقابل زلزله

تراکم جمعیت

اولین مقوله ای که در مطالعه مناطق شهری به نظر می رسد، جمعیت آن منطقه است. با افزایش جمعیت، نواحی شهری مستعد خسارت بیشتر ناشی از زلزله هستند و در نتیجه ریسک زندگی و دارایی ها در برابر

خطرات زلزله افزایش می‌یابد. هرچه تراکم جمعیت در شهر کمتر باشد و این تراکم به‌طور متعادل در سطح شهر توزیع شده باشد، آسیب‌پذیری شهر در برابر زلزله کمتر خواهد بود. برعکس، تراکم‌های جمعیتی بالا در شهر به معنای تلفات و خسارت‌های بیشتر در هنگام وقوع زلزله است. همچنین تراکم‌های بالای شهری به معنای کمبود فضای خالی برای اسکان موقت آسیب دیدگان است. با توجه به اهمیت شاخص تراکم جمعیت مقدار آسیب‌پذیری به صورت جدول (۲) طبقه‌بندی شد (حاتمی‌نژاد و همکاران، ۱۳۹۳: ۷۰۲).

جدول (۲). رابطه آسیب‌پذیری و تراکم جمعیت

وزن فازی متغیر	تراکم جمعیت	میزان آسیب‌پذیری
۰/۲	مساوی یا کمتر از ۳۰۰ نفر در هکتار	آسیب‌پذیری خیلی کم
۰/۴	۳۰۰-۵۰۰ نفر در هکتار	آسیب‌پذیری کم
۰/۶	۴۰۰-۵۰۰ نفر در هکتار	آسیب‌پذیری متوسط
۰/۸	۵۰۰-۶۰۰ نفر در هکتار	آسیب‌پذیری زیاد
۱	مساوی یا بالای ۶۰۰ نفر در هکتار	آسیب‌پذیری خیلی زیاد

### تعداد طبقات ساختمان

تعداد طبقات ساختمانی در ارتباط با نسبت عرض معابر و ارتفاع دیوارهای ساختمان‌ها، شاخص بسیار مهمی است؛ چرا که با بالا رفتن تعداد طبقات ساختمانی، احتمال بسته شدن معابر به دلیل ریختن آوار ساختمان‌های بلندمرتبه بالا می‌رود و موجب اختلال در امر امداد رسانی می‌شود. همچنین به دلیل جمعیت زیاد ساکن در ساختمان‌های چندطبقه، در زمان بروز حادثه تخلیه ساکنان در این واحدها کندتر انجام می‌گیرد و به علت حجم آواربرداری بسیار زیاد نجات جان ساکنان ساختمان‌های بلند بسیار مشکل و دشوارتر است. بدیهی است در حالت کلی با افزایش تعداد طبقات درجه آسیب‌پذیری ساختمان در برابر زلزله افزایش خواهد یافت. جدول (۳) ارتباط بین تعداد طبقات ساختمان و میزان آسیب‌پذیری در برابر زلزله را نشان می‌دهند (قائد رحمتی و همکاران، ۱۳۹۰: ۱۱۶).

جدول (۳). رابطه آسیب‌پذیری و تعداد طبقات ساختمان

وزن فازی متغیر	تعداد طبقات	میزان آسیب‌پذیری
۰/۲	۱ طبقه	آسیب‌پذیری خیلی کم
۰/۴	۲ طبقه	آسیب‌پذیری کم
۰/۶	۳ طبقه	آسیب‌پذیری متوسط
۰/۸	۴ طبقه	آسیب‌پذیری زیاد
۱	۵ طبقه بیشتر	آسیب‌پذیری خیلی زیاد

### کیفیت ابنیه (عمر ساختمان)

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. قدمت یک سازه الزاماً رابطه مستقیمی با کیفیت ندارد، اما در بیشتر موارد ساختمان‌هایی با سن بیش از ۳۰ سال، نیاز به

تعمیر اساسی دارند در عین حال رعایت نکردن اصول آیین نامه زلزله در ساخت و ساز ساختمان نیز باعث کاهش کیفیت بنا می شود. به طور کلی با افزایش عمر بناهای ساختمانی، آسیب پذیری آن ها در برابر زلزله افزایش می یابد. جدول (۴) ارتباط بین کیفیت ابنیه و میزان آسیب پذیری در برابر زلزله را نشان می دهند (اسفندیاری و همکاران، ۱۳۹۲: ۵۱).

جدول (۴). رابطه آسیب پذیری و کیفیت ابنیه

میزان آسیب پذیری	کیفیت ابنیه	وزن فازی متغیر
آسیب پذیری کم	نوساز	۰/۲
آسیب پذیری متوسط	مرمتی	۰/۵
آسیب پذیری زیاد	تخریبی	۱

### جنس مصالح نمای ساختمان

در تحلیل آسیب پذیری، نقش مصالح نمای ساختمان همواره در کنار کیفیت بنا اثرگذار است. نوع مصالح سازه ها یکی از معیارهای مهم و مؤثر در تعیین ضریب آسیب پذیری شهرها در برابر زلزله محسوب می شود. بدیهی است سازه هایی که با مصالح مقاوم و استاندارد بالا ساخته شده اند، ایمنی مناسبی در برابر زلزله داشته و امنیت بالایی برای ساکنان فراهم می کند. جدول (۵) ارتباط جنس مصالح نمای ساختمان و میزان آسیب پذیری در برابر زلزله را نشان می دهند (اسفندیاری و همکاران، ۱۳۹۲: ۵۱).

جدول (۵). رابطه آسیب پذیری و جنس مصالح نما

میزان آسیب پذیری	جنس مصالح نمای ساختمان	وزن فازی متغیر
آسیب پذیری خیلی کم	سیمان	۰/۱
آسیب پذیری کم	کامپوزیت	۰/۳
آسیب پذیری متوسط	آجر	۰/۶
آسیب پذیری زیاد	سنگ	۰/۸
آسیب پذیری خیلی زیاد	شیشه	۱

### فاصله از فضاهای باز عمومی

فضاهای باز، نقش مهمی در کاهش وسعت عمل و نتایج اکثر حوادث طبیعی و مصنوعی دارند. از مهم ترین عملکرد های آن ها در هنگام بروز زلزله، جداسازی یک منطقه خطرناک از دیگری و بدین ترتیب متمرکز کردن فعالیت نیرو های مخرب و جلوگیری از توسعه زنجیره ای وقایع است. کاربری های شهری هر چه بیشتر به فضاهای باز نزدیک تر باشند از آسیب پذیری کمتری برخوردارند. فضاهای باز دارای ارزش عددی ۰ و دورترین فاصله از آنها دارای ارزش ۱ خواهد بود. مابقی به نسبت فاصله ارزش عددی کسب می کنند. جدول (۶) ارتباط بین فاصله از فضاهای باز و میزان آسیب پذیری در برابر زلزله را نشان می دهند (حاتمی نژاد و همکاران، ۱۳۹۳: ۷۰۳).

جدول (۶). رابطه آسیب پذیری و فاصله از فضاهای باز

وزن فازی متغیر	فاصله از فضای باز عمومی	میزان آسیب پذیری
۰	کمترین فاصله	آسیب پذیری خیلی کم
طبق تابع خطی مربوطه	حداقل کمترین و بیشترین فاصله	آسیب پذیری متوسط
۱	بیشترین فاصله	آسیب پذیری خیلی زیاد

### مساحت قطعات

منظور از مساحت قطعات این است که همه کاربری های سطح منطقه هر یک مساحتی را به خود اختصاص داده اند که در محاسبات فازی این معیار در کل کاربری ها در نظر گرفته شده است. تفکیک اراضی در ابعاد کوچک باعث خرد شدن فضاهای باز شده و عملاً از مفید بودن فضاهای باز برای گریز و پناه گیری و عملیات امدادی کاسته می شود. بنابراین هرچه مساحت قطعات تفکیکی با توجه به نوع کاربری آن کوچک تر باشد، آسیب پذیری ناشی از زلزله بیشتر می شود. جدول (۷) ارتباط بین مساحت قطعات و میزان آسیب پذیری در برابر زلزله و نقشه فازی پراکندگی آسیب پذیری را نشان می دهند (ساسان پور و همکار، ۱۳۸۹: ۳۸).

جدول (۷). رابطه آسیب پذیری و مساحت قطعات

وزن فازی متغیر	مساحت قطعات	میزان آسیب پذیری
۰	بیش از ۵۰۰ متر مربع	آسیب پذیری خیلی کم
۰/۲	۵۰۰-۲۰۰	آسیب پذیری کم
۰/۵	۲۰۰-۱۰۰	آسیب پذیری متوسط
۰/۸	۱۰۰-۷۵	آسیب پذیری زیاد
۱	زیر ۷۵ متر مربع	آسیب پذیری خیلی زیاد

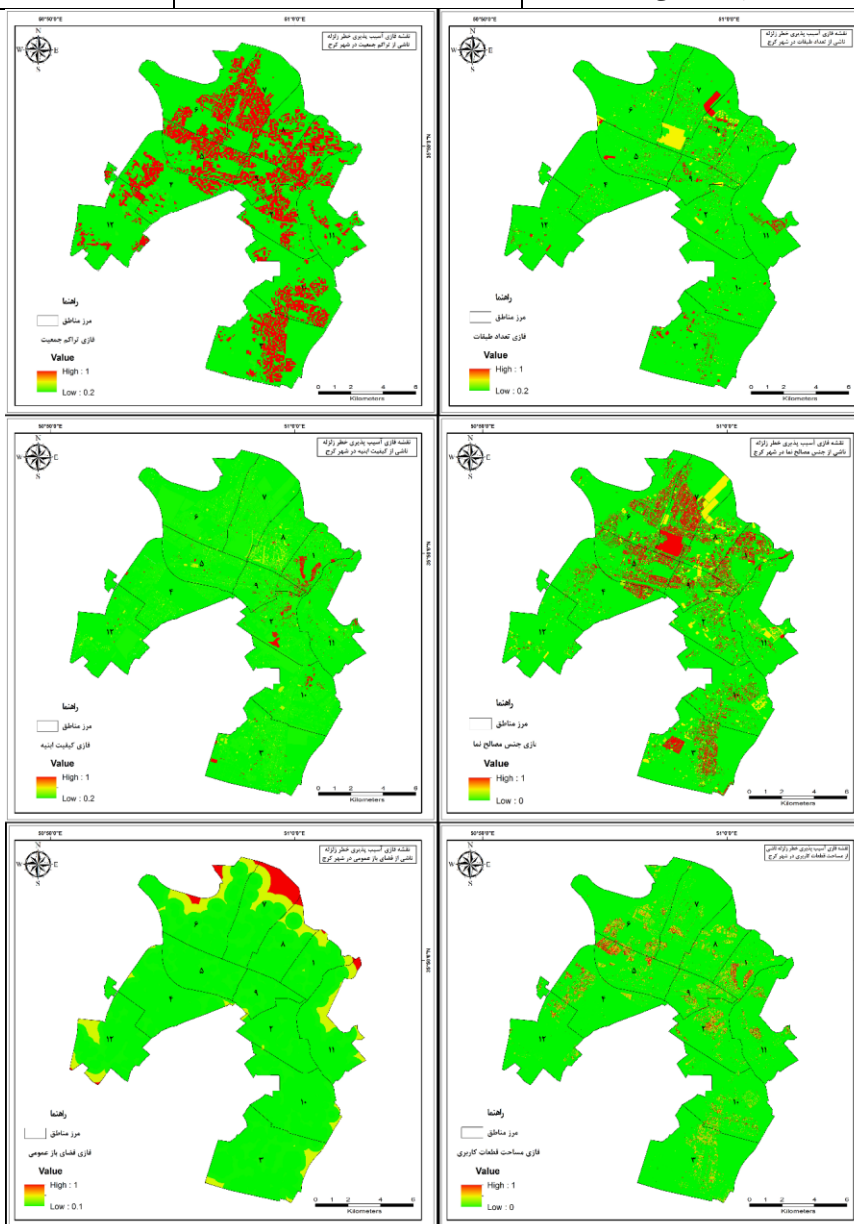
### عرض شبکه معابر (دسترسی به معابر)

آسیب پذیری معابر به ساختار فضایی معابر پرداخته و در زمینه تخلیه عمومی به کار می رود تا قسمت های آسیب پذیر ساختار شهری مشخص شود. آسیب پذیری به ساختار شبکه به این دلیل اهمیت می یابد که در شبکه راه ها، هرچه تعداد تقاطع ها و لوپ ها بیشتر باشد و معابر از عرض بیشتری برخوردار باشند، دسترسی و امداد رسانی سریع تر و راحت تر انجام می گیرد؛ زیرا در صورت مسدود شدن یا تخریب یکی از راه ها، می توان از مسیرهای دیگر به محل مورد نظر رسید. از سوی دیگر، باید به مقوله ترافیک معابر و جریان رفت و آمد در شبکه های ارتباطی، به ویژه در ساعات اوج تردد توجه ویژه ای کرد. با مطالعه وضعیت معابر، می توان قسمت های آسیب پذیر در زمان تخلیه را مشخص کرد. در این میان سهولت دسترسی نقش حیاتی دارد.

در هنگام وقوع زلزله، بسیاری از معابر شهری بر اثر ریزش آوار ساختمانی یا پل ها مسدود خواهند شد و این مسئله، زمینه اختلال و تأخیر در عملکرد سیستم مدیریت بحران پس لرزه را فراهم خواهد ساخت؛ بنابراین، نحوه آسیب پذیری معابر شهری به دلیل ارتباط بیشتر با موضوع پژوهش، به صورت تفصیلی بررسی می شود. جدول (۸) ارتباط بین عرض شبکه معابر و میزان آسیب پذیری در برابر زلزله را نشان می دهند (اسفندیاری و همکاران، ۱۳۹۲: ۵۴).

جدول (۸). رابطه آسیب‌پذیری و عرض شبکه معابر شهری

وزن فازی متغیر	عرض شبکه معابر	میزان آسیب‌پذیری
۰/۱	معابر با عرض بیش از ۱۴ متر	آسیب‌پذیری کم
۰/۴	معابر با عرض ۹ تا ۱۴ متر	آسیب‌پذیری متوسط
۰/۷	معابر با عرض ۶ تا ۹ متر	آسیب‌پذیری زیاد
۱	معابر با عرض ۶ متر و کمتر	آسیب‌پذیری خیلی زیاد



شکل (۴). نقشه فازی آسیب‌پذیری خطر زلزله کرج ناشی از پارامترهای تراکم جمعیت، تعداد طبقات، کیفیت ابنیه، جنس مصالح نما، فاصله از فضای باز عمومی و مساحت قطعات کاربری

## فاصله از مراکز درمانی

فاصله نزدیک از مراکز درمانی (بیمارستان و درمانگاه)، امداد و نجات در زمان پس از وقوع زلزله تاثیر به سزایی در انتقال مصدومین در حداقل زمان ممکن به این مراکز، جهت امدادرسانی و نجات جان آنها دارد. بیمارستان‌ها و درمانگاه‌های متعددی در سطح شهر پراکنده‌اند. این شاخص بیشتر با زمان بعد از وقوع حادثه در ارتباط است. از این رو دسترسی سریع و آسان به مراکز امداد و نجات، موجب تسریع عملیات امداد و نجات و خدمات رسانی می‌شود. جدول (۹) ارتباط بین تراکم ساختمانی و میزان آسیب‌پذیری در برابر زلزله را نشان می‌دهند (اسفندیاری و همکاران، ۱۳۹۲:۵۴).

جدول (۹). رابطه آسیب‌پذیری و فاصله از مراکز درمانی

میزان آسیب‌پذیری	فاصله از مراکز درمانی	وزن فازی متغیر
آسیب‌پذیری خیلی کم	کمترین فاصله	۰
آسیب‌پذیری متوسط	حدافاصل کمترین و بیشترین فاصله	طبق تابع خطی مربوطه
آسیب‌پذیری خیلی زیاد	بیشترین فاصله	۱

## فاصله از تأسیسات و تجهیزات شهری

آسیب‌دیدن تأسیسات و تجهیزات زیربنایی شهر نظیر شبکه های آب، برق، گاز و مخابرات، تلفات ناشی از زلزله را به شدت افزایش می‌دهد. تأسیسات شهری به عنوان شریان‌های حیاتی شهر، امکاناتی چون آب، برق، گاز، تلفن و سیستم جمع‌آوری فاضلاب را در شبکه‌هایی پیچیده برای شهر فراهم می‌سازند. افزایش سرانه تأسیسات به معنای افزایش آسیب‌پذیری منطقه در برابر زلزله خواهد بود. در جدول (۱۰) مقدار آسیب‌پذیری برای طیف‌های متعدد این پارامتر تعیین شده است. جدول (۱۰) ارتباط بین فاصله از تأسیسات شهری و میزان آسیب‌پذیری در برابر زلزله را نشان می‌دهند (حاتمی‌نژاد و همکاران، ۱۳۹۳:۷۰۳).

جدول (۱۰). رابطه آسیب‌پذیری و فاصله از تأسیسات شهری

میزان آسیب‌پذیری	فاصله از تأسیسات شهری	وزن فازی متغیر
آسیب‌پذیری خیلی کم	بیشترین فاصله (کمترین سرانه)	۰
آسیب‌پذیری متوسط	حدافاصل کمترین و بیشترین فاصله	طبق تابع خطی مربوطه
آسیب‌پذیری خیلی زیاد	کمترین فاصله	۱

## تراکم ساختمانی

درصدی از مساحت زمین است که به صورت عمودی برای ساختمان سازی استفاده می‌شود و با بیشتر شدن آن، احتمال تخریب و آسیب‌پذیری بیشتر می‌شود. جدول (۱۱) ارتباط بین تراکم ساختمانی و میزان آسیب‌پذیری در برابر زلزله را نشان می‌دهند (اسفندیاری و همکاران، ۱۳۹۲:۵۶).

جدول (۱۱). رابطه آسیب‌پذیری و تراکم ساختمانی

میزان آسیب‌پذیری	تراکم ساختمانی	وزن فازی متغیر
آسیب‌پذیری خیلی کم	کمترین تراکم	۰
آسیب‌پذیری متوسط	حدافاصل کمترین و بیشترین تراکم	طبق تابع خطی مربوطه
آسیب‌پذیری خیلی زیاد	بیشترین تراکم	۱

## فاصله از گسل

گسل‌ها می‌توانند نقش عمده‌ای در افزایش شدت و حتی در بوجود آوردن زلزله‌ها داشته باشند. بدیهی است تاسیس پدیده‌های انسان ساخت در حوالی گسل‌ها می‌تواند مقدار آسیب‌پذیری آنها در برابر زلزله را افزایش دهد. لذا با نزدیک شدن به محدوده گسل انتظار بالا رفتن مقدار آسیب‌پذیری بیشتر می‌شود. جدول (۱۲) ارتباط بین فاصله از گسل و میزان آسیب‌پذیری در برابر زلزله و نقشه فازی پراکندگی آسیب‌پذیری آن را نشان می‌دهند (پورعبدل، ۱۳۹۲: ۱۰۰).

جدول (۱۲). رابطه آسیب‌پذیری و فاصله از گسل

وزن فازی متغیر	فاصله از گسل	میزان آسیب‌پذیری
۰	بیشترین فاصله	آسیب‌پذیری خیلی کم
طبق تابع خطی مربوطه	حداقل کمترین و بیشترین فاصله	آسیب‌پذیری متوسط
۱	کمترین فاصله	آسیب‌پذیری خیلی زیاد

## شاخص زمین‌شناسی

عامل زمین‌شناسی به عنوان یکی از پارامترهای اصلی در ایجاد خسارت ناشی از زمین لرزه به شمار می‌رود. اگر سری زمین‌شناسی سست‌تر باشد، باعث تشدید توان موج لرزه‌ای شده و هر قدر سری زمین‌شناسی سخت‌تر باشد باعث کم شدن توان انتقال موج زمین لرزه و در نتیجه تضعیف قدرت تخریبی زمین لرزه می‌گردد لذا به لایه‌ها بنا به مقاومت در برابر تنش‌های برشی و خمشی کد داده شد. جدول (۱۳) ارتباط بین میزان مقاومت سازندهای زمین‌شناسی و میزان آسیب‌پذیری در برابر زلزله را نشان می‌دهند (شهبایی و همکار، ۱۳۹۲: ۷۴).

جدول (۱۳). رابطه آسیب‌پذیری و میزان مقاومت سازندهای زمین‌شناسی

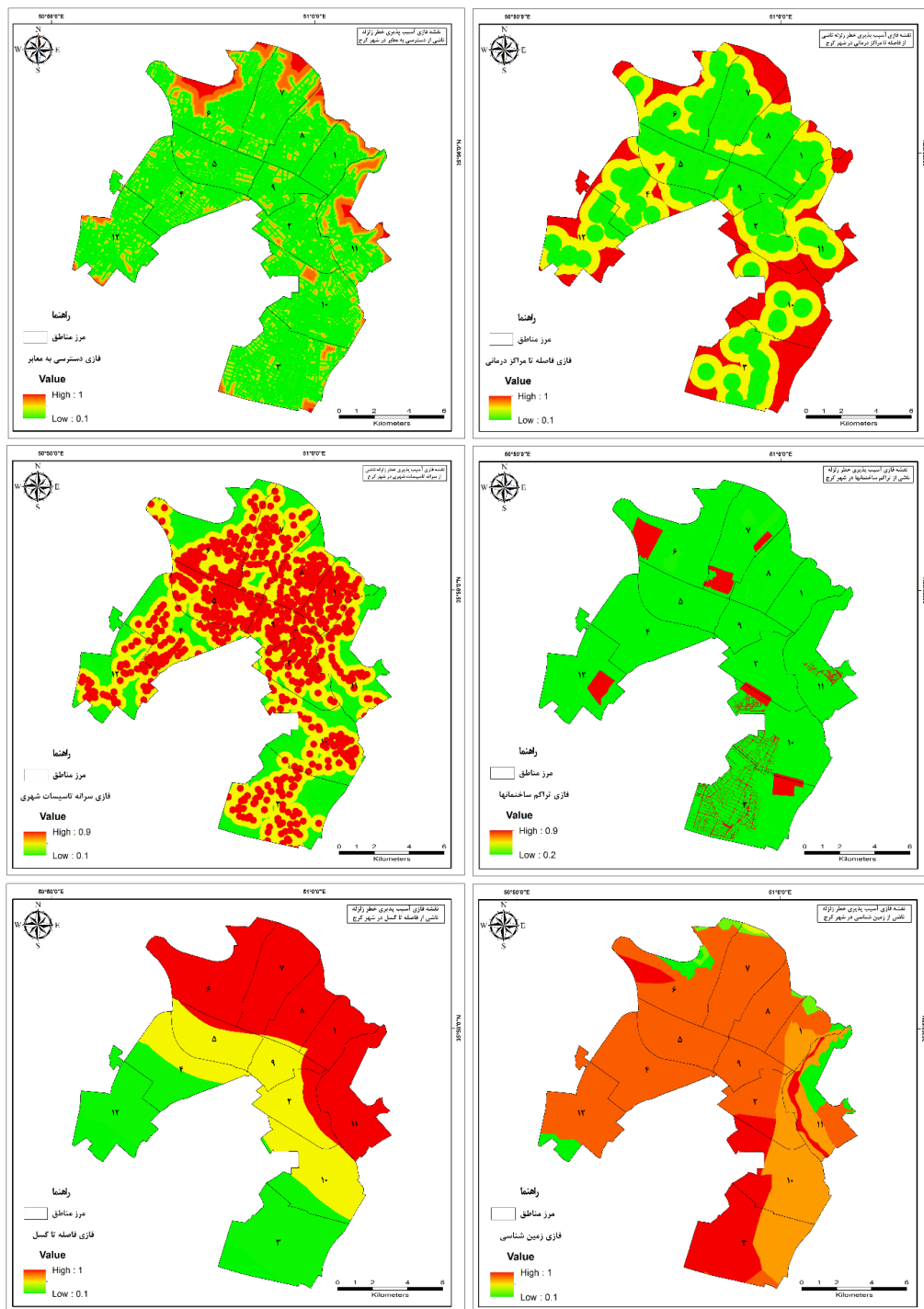
وزن فازی متغیر	میزان مقاومت زمین‌شناسی	میزان آسیب‌پذیری
۰	بیشترین مقاومت	آسیب‌پذیری خیلی کم
طبق تابع خطی مربوطه	حداقل کمترین و بیشترین مقاومت	آسیب‌پذیری متوسط
۱	کمترین مقاومت	آسیب‌پذیری خیلی زیاد

## کاربری اراضی

کاربری‌های مسکونی یکی از مهم‌ترین کاربری‌هایی است که در سطح اراضی شهری به طور گسترده وجود دارد. در عین حال کاربریهایی در شهر وجود دارند که در بحث چگونگی کنترل بحران ناشی از زلزله و کاهش اثرات سوء آن، اهمیت حیاتی پیدا می‌کنند. فرارگیری ساختمان‌ها در کنار یکدیگر می‌تواند در میزان آسیب‌پذیری مؤثر باشد، مثل فرارگیری تأسیسات و تجهیزات شهری در کنار کاربری مسکونی که می‌تواند باعث ایجاد خسارت جانی و مالی شود. جدول (۱۴) ارتباط بین کاربری اراضی و آسیب‌پذیری را نشان می‌دهند (اسفندیاری و همکاران، ۱۳۹۲: ۵۴).

جدول (۱۴). رابطه آسیب‌پذیری و نوع کاربری اراضی

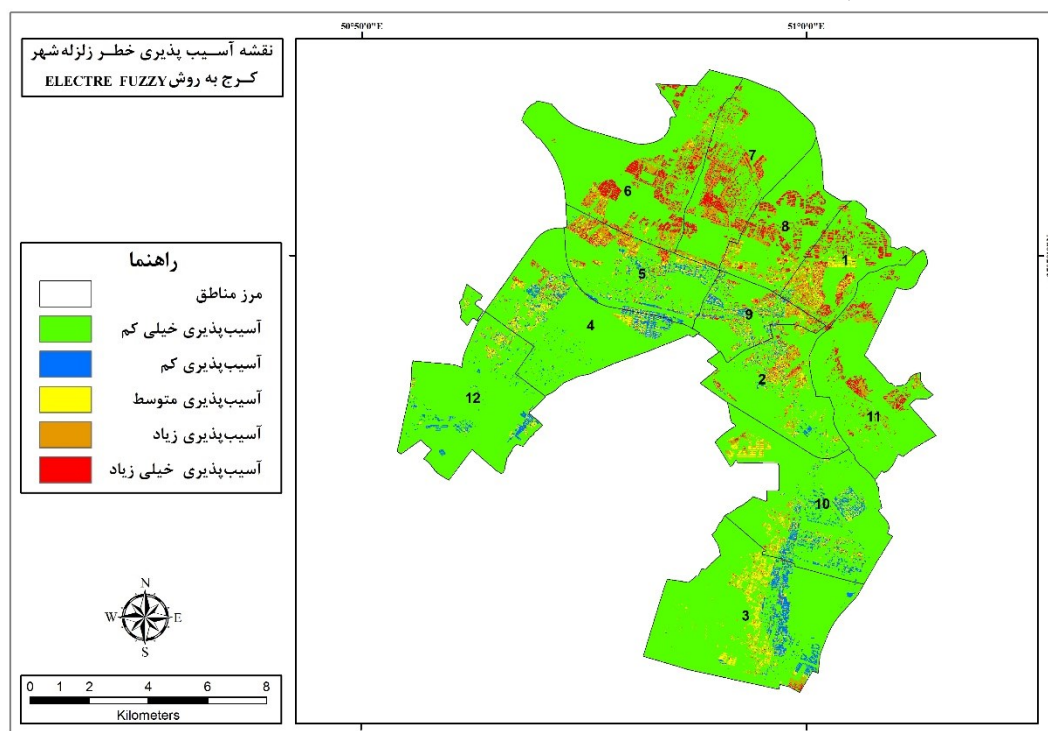
وزن فازی متغیر	کاربری اراضی	میزان آسیب‌پذیری
۰	کاربری‌های بایر	آسیب‌پذیری خیلی کم
۰/۲	کاربری‌های فضای سبز و باغ	آسیب‌پذیری کم
۰/۵	کاربری‌های تجاری، خدماتی و...	آسیب‌پذیری متوسط
۰/۸	کاربری‌های مسکونی	آسیب‌پذیری زیاد
۱	کاربری‌های حساس و استراتژیک	آسیب‌پذیری خیلی زیاد



شکل (۵). نقشه فازی آسیب‌پذیری خطر زلزله کرج ناشی از پارامترهای تراکم جمعیت، تعداد طبقات، کیفیت ابنیه، جنس مصالح نما، فاصله از فضای باز عمومی و مساحت قطعات کاربری



تهیه نقشه نهایی آسیب‌پذیری خطر زلزله در شهر کرج برای تهیه نقشه نهایی جهت رتبه‌بندی بین طبقات مختلف هر پارامتر از گامای فازی استفاده شد. پس از فازی‌سازی داده‌های فوق به‌منظور تلفیق لایه‌های فازی شده با یکدیگر و استنتاج نقشه نهایی و رتبه‌بندی بین پارامترهای مختلف از روش ELECTRE بهره بردیم تا نقشه‌های فازی شده هر پارامتر وزن‌دار شده و تأثیر هر پارامتر در آسیب‌پذیری در برابر مخاطره زلزله متفاوت و واقعی باشد. لذا در نهایت نقشه‌هایی با گاماهای ۰/۹۵، ۰/۹۰، ۰/۸۵، ۰/۸۰، ۰/۷۵ و ۰/۷۰ استخراج و مورد بررسی قرار گرفت. در نهایت مناسب‌ترین گاما جهت تلفیق نقشه‌ها انتخاب شد. مقادیر Min و Max هر یک از گاماها با استفاده از ابزار zonal statistics برای هر منطقه، محاسبه شد و از میان گاماها انتخاب‌شده، گامای ۰/۹۵ به‌عنوان مناسب‌ترین گاما جهت پهنه‌بندی خطر آسیب‌پذیری منطقه مورد مطالعه انتخاب شد.



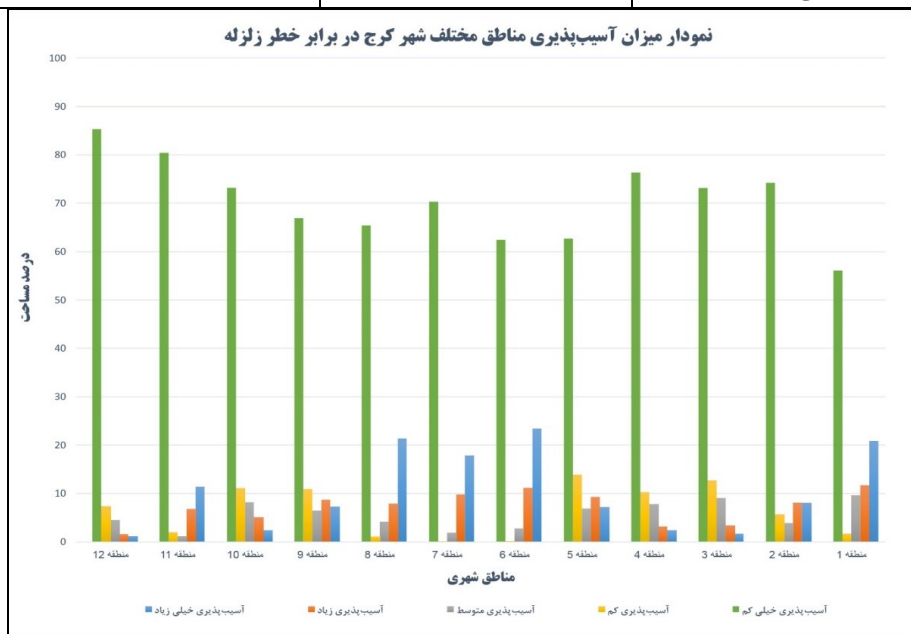
شکل (۶). نقشه آسیب‌پذیری خطر زلزله در شهر کرج با عملگر گامای ۰/۹۵ و روش ELECTRE FUZZY

با مطالعات انجام‌گرفته در این پژوهش و بر اساس یافته‌های آن مشخص گردید، عدم رعایت اصول شهرسازی طبق آنچه در آیین‌نامه و استاندارد ۲۸۰۰ زلزله است، تا چه اندازه می‌تواند میزان آسیب‌پذیری مناطق مجاور گسل را هنگام بروز زلزله، بالا ببرد. طبق یافته‌های فوق در منطقه زلزله‌خیزی مانند کلان‌شهر کرج، در ارتباط با فاصله از گسل، بسیار مشخص است که هر چه فاصله از گسل بیشتر باشد به دلیل فاصله‌گیری از کانون بحران میزان آسیب‌پذیری بسیار کاهش می‌یابد. بنابراین رعایت حریم گسل یکی از مواردی است که رعایت آن الزامی است. همچنین در ارتباط با مساحت قطعات، مشخص شد هر چه مساحت قطعات بزرگ‌تر باشد، شدت

آسیب‌پذیری کمتر می‌گردد. درباره عرض معابر بر اساس یافته‌های تحقیق مشخص شد، هر چه عرض معابر در مناطق تحت گسل بیشتر باشد هنگام وقوع زلزله میزان آسیب‌پذیری بسیار کمتر خواهد بود. عریض‌تر بودن معابر نه تنها در هنگام زلزله با فروریزی ساختمان‌ها فضای بیشتری را جهت تخلیه در اختیار قرار می‌دهند، بلکه جهت امداد و خدمات‌رسانی سرعت عمل امدادگران را بالاتر برده و در نتیجه اثرگذاری مثبت، بسیار بالاتری به همراه دارد. از سویی وجود فضاهای باز یکی از مهم‌ترین عوامل در کاهش اثرات ناشی از زلزله هست. از سویی هرچه سازندهای زمین‌شناسی مقاومت بیشتری در برابر تنش‌های برشی از خود نشان دهند از میزان آسیب‌پذیری در برابر زلزله کاسته می‌شود و افزایش سرانه تأسیسات به معنای افزایش آسیب‌پذیری منطقه در برابر زلزله خواهد بود. در عین حال وجود کاربری‌های استراتژیک و حساس در کنار کاربری‌های مسکونی بر آسیب‌پذیری در مقابل زلزله مناطق می‌افزاید. جدول (۱۵) و شکل (۷) نتایج این تلفیق نقشه آسیب‌پذیری را به تفکیک میزان خطر و مناطق نشان می‌دهد؛ و شکل (۶)، نیز پراکندگی انواع آن را نشان می‌دهد.

جدول (۱۵). مساحت پهنه‌های مختلف آسیب‌پذیری زلزله شهر کرج

پتانسیل خطر	مساحت (km <sup>2</sup> )	درصد مساحت
خیلی کم	۱۲۰/۵۱	۶۸/۶
کم	۱۲/۸۲	۷/۳
متوسط	۸/۰۸	۴/۶
زیاد	۱۰/۱۸	۵/۸
خیلی زیاد	۲۴/۰۶	۱۳/۷



شکل (۷). هیستوگرام وضعیت میزان آسیب‌پذیری در مناطق ۱۲ گانه کرج

## نتیجه‌گیری

بر اساس اطلاعات جدول (۱۵) می‌توان این نتیجه را گرفت که بیش از ۷۰ درصد از شهر کرج از نظر خطر آسیب‌پذیری در برابر زلزله در طبقه خیلی کم و کم قرار گرفته است و تنها در حدود ۲۰ درصد از شهر کرج در مناطق با خطر زیاد و خیلی زیاد قرار گرفته است که این مناطق همان‌طور که شکل ۷ و شکل ۶ نشان می‌دهد بیشتر شامل مناطق ۶، ۸ و ۱ می‌شود که این مناطق به ترتیب عبارت‌اند از: شاهین ویلا و حصارک بالا (منطقه ۶)، بهارستان و جهان شهر (منطقه ۸)، عظیمیه و زورآباد (منطقه ۱). در تحلیل چرایی افزایش میزان خطر آسیب‌پذیری در این مناطق باید نکات زیر مدنظر باشد:

منطقه ۶ و ۸ کرج که شامل مناطق شاهین ویلا، حصارک و بهارستان، جهان شهر و بخش‌های از غرب باغستان هستند که در شمال و شمال غرب کرج واقع شدند که ارزیابی پارامترهای مؤثر در خطر آسیب‌پذیری زلزله آن گویای آن است که وضعیت پارامتر تراکم جمعیت در این مناطق شکل (۲) در طیف آسیب‌پذیری زیاد (۵۰۰ تا ۶۰۰ نفر) هست. در پارامتر تعداد طبقات این مناطق نیز میانگین تعداد طبقات ساختمان‌های این مناطق بر اساس شکل شماره ۳ برابر با ۳ هست که در طیف آسیب‌پذیری متوسط قرار می‌گیرد. وضعیت پارامتر کیفیت ابنیه در این مناطق نیز گویای آن است که باینکه غلبه تعداد ساختمان‌های نوساز بیشتر است ولی ساختمان‌های مرمتی و تخریبی نیز تعداد قابل‌توجهی را شامل می‌شود که در کل وضعیت این پارامتر در مناطق ۶ و ۸ در طیف آسیب‌پذیری متوسط قرار می‌گیرد که یکی از دلایل آن نیز بافت قدیمی شهر و جزء هسته‌های اولیه شهر بودن این مناطق است. در تحلیل وضعیت جنس مصالح نمای این مناطق نیز طبق شکل (۳) شاهد آن هستیم که بیشتر نماهای مورداستفاده در این مناطق از نوع آجر و سنگ و شیشه هست که این نوع مصالح نما باعث شده که وضعیت آسیب‌پذیری در برابر زلزله با توجه به این پارامتر در طیف آسیب‌پذیری زیاد قرار بگیرد. در ارتباط با پارامتر فاصله از فضاهای باز عمومی در این مناطق وضعیت سرانه فضای سبز بالا هست و این باعث شده است که طبق شکل (۳) وضعیت آسیب‌پذیری ناشی از فاصله از فضای باز عمومی در این مناطق کم تا متوسط باشد. وضعیت عرض شبکه معابر در این مناطق نیز به واسطه تراکم بالای جمعیت، ساختمان و بافت قدیمی باعث شده است که آسیب‌پذیری ناشی از این آیتم در برابر زلزله در وضعیت زیاد قرار بگیرد. در مورد فاصله از مراکز درمانی در این مناطق به دلیل کم بودن تعداد مراکز درمانی و گستردگی فیزیکی شهر در این مناطق شاهد خطر آسیب‌پذیری متوسط تا زیاد در برابر زلزله هستیم. وجود تأسیسات شهری و زیربنایی نسبتاً زیاد در این مناطق سبب شده است که فاصله تا این مراکز در این مناطق کم شود و این خود سبب بالا رفتن میزان آسیب‌پذیری این مناطق شده است. در سایر بخش‌های این مناطق شاهد حداقل خطر آسیب‌پذیری در برابر زلزله هستیم. این مناطق از حیث نزدیکی به گسل نیز به خاطر وجود گسل‌های شمال تهران و گسل کردان-برغان در طیف با آسیب‌پذیری خیلی زیاد قرار گرفته است. این مناطق از نظر ساختمان زمین‌شناسی نیز از سازندهای نسبتاً سست در برابر تنش‌های برشی تشکیل شده است که این خود سبب وجود خطر آسیب‌پذیری زیاد در این مناطق شده است. از حیث کاربری‌های اراضی نیز طبق جدول (۱۴) که نشان‌دهنده غلبه واحدهای مسکونی و حساس به واحدهای بایر و سبز است سبب شده است که این مناطق از حیث خطر آسیب‌پذیری ناشی از کاربری در طبقه خیلی زیاد قرار بگیرد.

تحلیل وضعیت مناطق ۱ و ۷ نیز تا حدود زیادی مشابه مناطق ۶ و ۸ است. در کل می‌توان نتیجه‌گیری کرد که اگر وضعیت مدیریت شهری و شهرسازی طبق ضوابط در کلان‌شهر کرج و رعایت اصول آیین‌نامه ۲۸۰۰ زلزله به نحو احسن اجرا و مدیریت بشود شاهد حداقل خطرات ناشی از زلزله خواهیم بود.

### منابع

- اسفندیاری درآباد، فریبا؛ غفاری، عطا؛ لطفی، خداداد. (۱۳۹۳). ارزیابی آسیب‌پذیری شهرها از گسل‌های پیرامونی با استفاده از روش TOPSIS در محیط GIS مطالعه موردی: شهر اردبیل، مجله مخاطرات محیطی، ۲(۲): ۴۳-۷۹.
- امینی ورکی، سعید؛ مدیری، مهدی؛ فتح‌الله، شمسایی؛ قنبری نسب، علی. (۱۳۹۳). شناسایی دیدگاه‌های حاکم بر آسیب‌پذیری شهرها در برابر مخاطرات محیطی و استخراج مولفه‌های تأثیرگذار در آن با استفاده از روش کیو، فصلنامه علمی و پژوهشی مدیریت بحران، ۳(۳): ۵-۱۸.
- انتظاری، مزگان، غلامی، مجید. (۱۳۹۴). ژئومورفولوژی مخاطرات زمینی نواحی جغرافیایی ایران، انتشارات نگارخانه، چاپ اول: ۲۵۴.
- پور عبدل، علیرضا. (۱۳۹۲). تحلیل آسیب‌پذیری ناشی از زلزله در بافت کالبدی شهر کرج؛ پایان‌نامه کارشناسی ارشد، رشته ژئومورفولوژی، دانشگاه خوارزمی
- تقوایی، علی‌اکبر؛ سارا، نیکوپرست. (۱۳۸۵). مدیریت بحران در شهرها؛ مجموعه مقالات اولین همایش ملی مدیریت بحران‌زا در شهرهای دارای بافت تاریخی، دانشگاه یزد
- جلالیان، حمید؛ دادگر، حسین. (۱۳۹۴). پهنه‌بندی آسیب‌پذیری سکونتگاه‌های روستایی در برابر زلزله با مدل AHP، مطالعه موردی بخش چورزق شهرستان طارم، جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، ۲۶(۳): ۲۹-۴۲.
- حاتمی نژاد، حسین؛ منوچهری، ایوب؛ آهار، حسن؛ سالکی، محمدعلی. (۱۳۹۳). ارزیابی و پهنه‌بندی لرزه‌ای شهر تبریز با استفاده از منطق فازی با تلفیق AHP و Topsis، پژوهش‌های جغرافیای انسانی، ۴۶(۴): ۶۹۷-۷۱۷.
- ساسان پور، فرزانه؛ موسی‌وند، جعفر. (۱۳۸۹). تأثیر عوامل انسان‌ساخت در تشدید پیامدهای مخاطرات طبیعی در محیط‌های کلان‌شهری با کاربرد منطق فازی و سیستم اطلاعات جغرافیایی؛ نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، ۱۳(۱۶): ۲۹-۵۰.
- ساسان پور، فرزانه؛ شمعی، علی؛ افسر، مجید؛ سعیدپور، شراره. (۱۳۹۶). بررسی آسیب‌پذیری ساختمان‌های شهر در برابر مخاطرات طبیعی (زلزله) مطالعه موردی محله محتشم کاشان. مجله مخاطرات محیط طبیعی، ۱۴(۱۴): ۱۰۳-۱۲۲
- شهابی، هیمن؛ قلی‌زاده، محمد حسین؛ نیری، هادی. (۱۳۹۰). پهنه‌بندی خطر زمین لرزه با روش تحلیل چند معیاره ی فضایی؛ جغرافیا و توسعه، ۹(۲۱): ۶۵-۸۰.
- فراهانی، نفیسه. (۱۳۹۰). نقش مدیریت بحران زلزله در ساماندهی کالبدی-فضایی بافت‌های فرسوده شهری، نمونه مورد مطالعه: شهر اراک (محله رودکی)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، رشته برنامه‌ریزی شهری دانشگاه خوارزمی

- فرج زاده اصل، منوچهر؛ احدنژاد، محسن؛ امینی، جمال. (۱۳۹۰). ارزیابی آسیب پذیری مساکن شهری در برابر زلزله (مطالعه موردی منطقه ۹ شهرداری تهران)، مطالعات و پژوهش های شهری و منطقه ای، ۳(۹):۱۹-۳۶.
- قنبری، ابوالفضل؛ محمدعلی سالکی؛ قاسمی، معصومه. (۱۳۹۲). پهنه بندی میزان آسیب پذیری شهرها در مقابل خطر زمین لرزه نمونه موردی: شهر تبریز؛ جغرافیا و مخاطرات محیطی، ۵(۵):۲۱-۳۵
- کریمی کردآبادی، مرتضی؛ نجفی، اسماعیل. (۱۳۹۴). ارزیابی خطر زلزله با استفاده مدل ترکیبی FUZZY-AHP در توسعه و امنیت شهری (مطالعه موردی: منطقه یک کلان شهر تهران)، مجله پژوهش های فرسایش محیطی، ۲(۸):۷۷-۹۵.
- مشک ساز، پریسا؛ ایزدی، حسن؛ سلطانی، علی؛ بذرگر، محمدرضا. (۱۳۹۳). ارزیابی آسیب پذیری فیزیکی بافت های شهری در برابر زلزله در روش RADIUS نمونه موردی: منطقه ۳ شهرداری شیراز، پژوهش های جغرافیایی برنامه ریزی شهری، ۱(۱):۱۱۵-۱۲۹.
- منزوی، مهشید؛ سلیمانی، محمد؛ تولایی، سیمین؛ چاووشی، اسماعیل. (۱۳۸۹). آسیب پذیری بافت های فرسوده بخش مرکزی شهر تهران در برابر زلزله (مورد: منطقه ۱۲)، پژوهش های جغرافیای انسانی، ۷۳(۷۳):۱-۱۸.
- Bazazan lotfi S, Rahimi M. (2017). **A Study on Vulnerability of Urban Neighborhoods to Earthquake (Case Study: Farahzad Neighborhood, Tehran)** Journal of Civil Engineering and Materials Application, 1(1):1-7, doi: 10.15412/J.JCEMA.12010101
- Chun-Nen Huang. (2014). **A method for exploring the interdependencies and important of critical in frastructures.** Knowledge- Based Systems, 55(2014): 66-74, <http://dx.doi.org/10.1016/j.knosys.2013.10.010>
- Estrada M, Zavala C, Lazares F, Morales J. (2012). **GIS Tool for Calculating Repair Cost of Buldings Due to Earthquakes Effects (CCRE - CISMID)**, 9th International Conference on Urban Earthquake Engineering/ 4th Asia Conference on Earthquake Engineering, Tokyo Institute of Technology, Tokyo, Japan, pp 1695- 1698.
- Mohammadpour S, Zali N, Pourahmad A. (2016). **Analysis of Seismic Vulnerability Factors in Urban Old Texture with the Approach of Earthquake Crisis Management (Case Study: Sirius Neighborhood)**, Human Geography Research Quarterly, 48(1):33-52
- Paton, D Johnston. (2001). **Disasters and communities: vulnerability, resilience and preparedness.** Disaster Prevention Management; 10(4): 270-277 <https://doi.org/10.1108/EUM0000000005930>
- Sadrykia M, Delavar M, Zare M. (2017). **A GIS-Based Fuzzy Decision Making Model for Seismic Vulnerability Assessment in Areas with Incomplete Data**, ISPRS Int. J. Geo-Inf. 2017, 6(4): 119, doi: 10.3390/ijgi6040119
- Shamsipour A. A, Shekhi M. (2010). **Zoning of Sensitive Area and Environment Vulnerable in West of Fars Province using Fuzzy and AHP Classification**, Physical Geography Research Quarterly, 73(73):53-68
- Sharifikia M. (2011). **Vulnerability Assessment and Earthquake Risk Mapping in Part of North Iran Using Geospatial Techniques**, Springer, Journal of Indian Society of Remote Sensing, 38(4): 708-716, February 20, DOI. 10. 1007/s12524-010-0046-2.
- 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):155-171, ISSN: 0921-030X (Print) 1573-0840 (Online)