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

تحلیل آسیب‌پذیری شهری در برابر مخاطره زلزله با روش ELECTRE FUZZY (مطالعه موردی: کلان‌شهر کرج)

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

صفحات: ۱۱۳-۹۳

فاطمه خدادادی: دانشجوی دکتری رشته مخاطرات ژئومورفیک، دانشکده علوم جغرافیایی و برنامه‌ریزی، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران.
Email: f.khodadady@gmail.com
مژگان انتظاری: دانشیار گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم جغرافیایی و برنامه‌ریزی، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران.[1]
Email: Entezary54@yahoo.com
فرزانه ساسان‌پور: دانشیار گروه جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشکده علوم جغرافیایی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران.
Email: sasanpour@khu.ac.ir

چکیده

در این تحقیق کلان‌شهرکرج به عنوان منطقه مورد مطالعه انتخاب گردیده است، روش تحقیق و تجزیه و تحلیل اطلاعات جمع‌آوری شده با توجه به روشهای مبتنی بر پایگاه اطلاعاتی و با بهره‌گیری از مدل ELECTRE FUZZY معیارهای مصالح ساختمانی، تعداد طبقات، کیفیت ابنیه، تراکم جمعیت، تراکم ساختمان، مساحت قطعات، عرض معابر، زمین‌شناسی، 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 آسیب‌پذیر بودن مناطق ۶، ۸، ۱ و ۷ شهرداری کرج در برابر زلزله است به طوری که بیش از ۷۰ درصد از شهر کرج ازنظر خطر آسیب‌پذیری در برابر زلزله در طبقه خیلی‌کم 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 قرارگرفته است که با رعایت اصول شهرسازی ورعایت آیین‌نامه ۲۸۰۰ می‌توان از خسارات ناشی از زلزله در این مناطق کاست.

کلید واژگان: آسیب‌پذیری، زلزله، کلان‌شهر کرج، مخاطره، مدل ELECTRE FUZZY

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

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-10]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1399.20.56.8.9]
[DOI: 10.29252/jgs.20.56.93]

مقدمه

مخاطرات طبیعی با انواع گوناگون و گستره ی نفوذشان، به عنوان پدیده هایی تکرار شدنی و مخرّب، همواره در طول دوران حیات کره زمین وجود داشته انـد و پـس از پیدایش بشر نیز همیشه خطری جدی برای انسان بوده اند. در واقع حوادث طبیعی، زمانی مخاطره قلمداد می‌شوند که انسان ها از آن‌ها متضرر و یا متاثر گردند. شهرها نیز به عنوان یک مکان تجمع برای جمعیـت انسانی از وقوع این بلایای طبیعی مستثنی نمی باشـند و لازم اسـت چـاره اندیشـی هـا ی جـدی جهـت کـاهش آسیب‌پذیری این سکونتگاه ها در برابر بلایای طبیعی صورت پذیرد (قنواتی، ۱۷:۱۳۹۰). با این وجود می‌تـوان اذعان داشت که شناخت صحیح ابعاد و اصول مدیریت بحران ناشی از زمین‌لرزه در مناطق شهری می‌تواند به عنوان اولین گام در فرآیند مدیریت بحران و به عنوان یکی از اساسی ترین دستورالعمل ها جهت اجرائی نمودن مدیریت بحران زمین‌لرزه محسوب گردد (ساسان‌پور، ۱۳۹۶: ۱). امروزه با توجه به رشد سریع جمعیت که به تبع آن، توسعهٔ ساخت وسـازها اجتنـاب ناپـذیر شـد ه است، هر روز بر فشار نیازهای زمینی بشر افزوده شده و بهره برداری از مناطق اطـراف شـهرها و روستاها برای ایجاد خانه و تأسیسات اقتصادی و صنعتی فزونی می یابد و گـاهی سـکونتگاه هـای جدید استقرار اجباری دارند، اما آنچه حائز اهمیت است، وضعیت اسفبار شـهرها و کلانشـهرهایی است که روی گسل‌ها یا در مجاورت آن ساخته شده و در معرض خطر زلزله قـرار دارند. زلزله پدیده ای است طبیعی که بی تـوجهی بـه آن خسارات جبران‌ناپذیری به دنبال خواهد داشت. وقوع زلزله‌های شدید بشر را بر آن داشته است کـه در فکـر تدوین یک برنامه زیربنـایی بـرای کـاهش خطـرات و آسیب‌های ناشی از آن باشد. ویژگیهای زمین سـاخت کشور، زلزله را به عنوان یکی از مخرب‌تـر ین عوامـل انهدام حیات انسانی مطرح نموده اسـت.

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 آسیب‌پذیری 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 برنامه‌ریزی 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 داده‌های مکانی و توصیفی اجزا و عناصر اصلی و رفتاری ساختمانی انجام گیرد و تأثیر هریک از معیارهای بکاررفته در میزان آسیب پذیری تعیین شود. ابعاد کالبدی را می توان محسوس ترین و مهم‌ترین بخش برنامه ریزی شهری در کاهش آثار زلزله دانست. شکل و

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-10]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1399.20.56.8.9]
[DOI: 10.29252/jgs.20.56.93]

کالبد شهر، شامل عناصر مختلفی است که سازماندهی آن‌ها از طریق برنامه ریزی و طراحی شهری صورت می گیرد. شاخص های کالبدی و برنامه ریزی شهری این پژوهش عبارتند از: ۱. تراکم جمعیتی؛ ۲. فاصله از گسل؛ ۳. دسترسی و شبکهٔ معابر؛ ۴. مساحت و اندازهٔ 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 برگرفته و ساختمان صدها هزار مسکن روی سطح این زمین‌های شکسته قرارگرفته‌اند و عوامل دیگری نظیر، وجود بافت فرسوده که در اکثر نقاط شهر کرج حدود ۵۹۷ هکتار را شامل می شود 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 داده های ناکافی در این زمینه دارند با استفاده از سه روش AHP، تکنیک مجموعه های فازی و روش TOPSIS ارزیابی نمودند. نمونه موردی آنها در این مطالعه شهر تبریز بود. شاخص های مورد بررسی در پژوهش آنها شامل شیب، فاصله از گسل، زمین‌شناسی، نوع بافت، سن بافت، سطح آب زیرزمینی، تعداد طبقات و سن ساختمان ها می‌باشد. با توجه به نتایج به عمل آمده روش فازی در تعیین تأثیرات معیارهای آسیب‌پذیری لرزه ای از اولویت بالاتری برخوردار است. محمد پور و همکاران (۲۰۱۶) در مقاله ای به شناسایی و توسعه ارتباط برنامه ریزی شهری و مدیریت بحران زلزله به منظور کاهش آسیب‌پذیری لرزه ای در بافت قدیمی محله سیروس شهرداری تهران، منطقه ۱۲ پرداختند. ودر نهایت به این نتیجه رسیدند که می‌توان از طریق تحلیل آسیب‌پذیری لرزه ای 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 زیرساخت های حیاتی شهر در تایوان پرداخته اند. شمسی پور (۲۰۱۰) در مقاله خود با استفاده از روش AHP و منطق فازی مناطق حساس و محیط های آسیب پذیر 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 آسیب پذیر از لحاظ مخاطرات ژئومورفیک صورت نگرفته است. مطالعات ترکیبی در زمینه آسیب‌پذیری جوامع مختلف و مخاطرات طبیعی با استفاده از لایه های اطلاعاتی و داده های موجود بسیار لازم

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-10]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1399.20.56.8.9]
[DOI: 10.29252/jgs.20.56.93]

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 درخطر زلزله خیزی قرار دارد و مناطق دارای خطر خیلی زیاد و زیاد در حدود ۵۰ درصد مساحت منطقه یک را دربر می گیرند. 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 ازنظر 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

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-10]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1399.20.56.8.9]
[DOI: 10.29252/jgs.20.56.93]

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

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

محقق - سال نشر اثر	شاخص های 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 مراکز درمانی، تأسیسات شهری، فاصله از گسل
مشک ساز- (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
ساسان‌پور- (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
بزازان‌لطفی- (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 ازنظر روش تحقیق توصیفی- تحلیلی و ازنظر هدف از نوع تحقیقات کاربردی محسوب می‌شود که به تبیین وضعیت آسیب‌پذیری ناشی از مخاطره لزله در محدوده شهر کرج می پردازد. ابزار گردآوری داده ها 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 نقشه های 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 داده های رقومی مورد استفاده در پژوهش بودند.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-10]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1399.20.56.8.9]
[DOI: 10.29252/jgs.20.56.93]

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 برگرفته 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 شاخص ها

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

فازی‌سازی داده‌ها

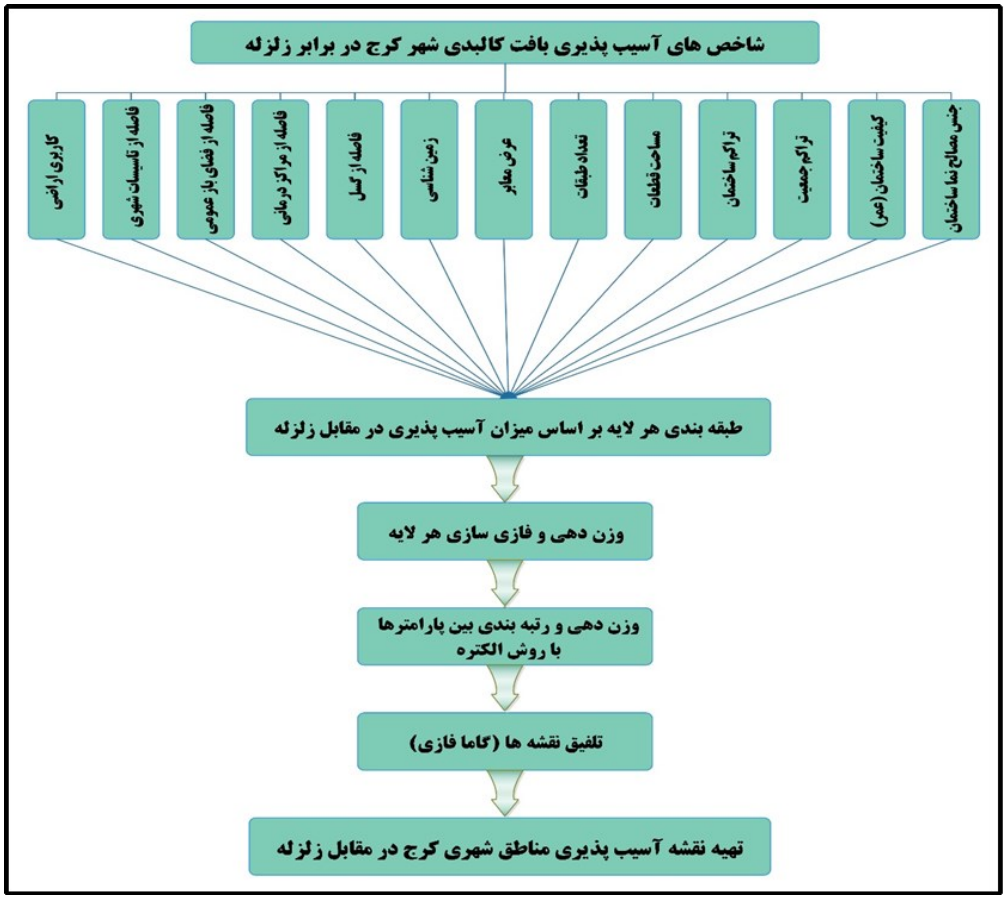
فازی‌سازی می‌تواند به صورت مستقیم صورت گیرد و با استفاده از الگوریتم‌ها یا عبارات منطقی انجام شود. شیوه استفاده شده جهت فازی‌سازی اعداد در این پژوهش مبتنی بر دو روش، محاسبه مستقیم و محاسبه کارشناسانه می‌باشد. در روش محاسبه کارشناسانه بعد از تعیین دامنه تغییرات هر پارامتر، دامنه‌ها بر اساس پژوهش‌های قبلی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

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

$$F(X)\begin{cases} \text{امتیاز (۱)} \rightarrow \text{متر } ۱۰۰۰ > x \text{ اگر} \\ \text{امتیاز} = \dfrac{Xmax - X}{\Delta x} \rightarrow \text{متر } ۱۰۰۰ < x < ۴۰۰۰ \text{ اگر} \\ \text{امتیاز (۰)} \rightarrow x > ۴۰۰۰ \text{ اگر} \end{cases}$$

بدین معنی که مقدار فازی نقطه ۱۰۰۰ متری از گسل برابر با (۱)، مقدار فازی نقطه‌ی 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.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-10]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1399.20.56.8.9]
[DOI: 10.29252/jgs.20.56.93]

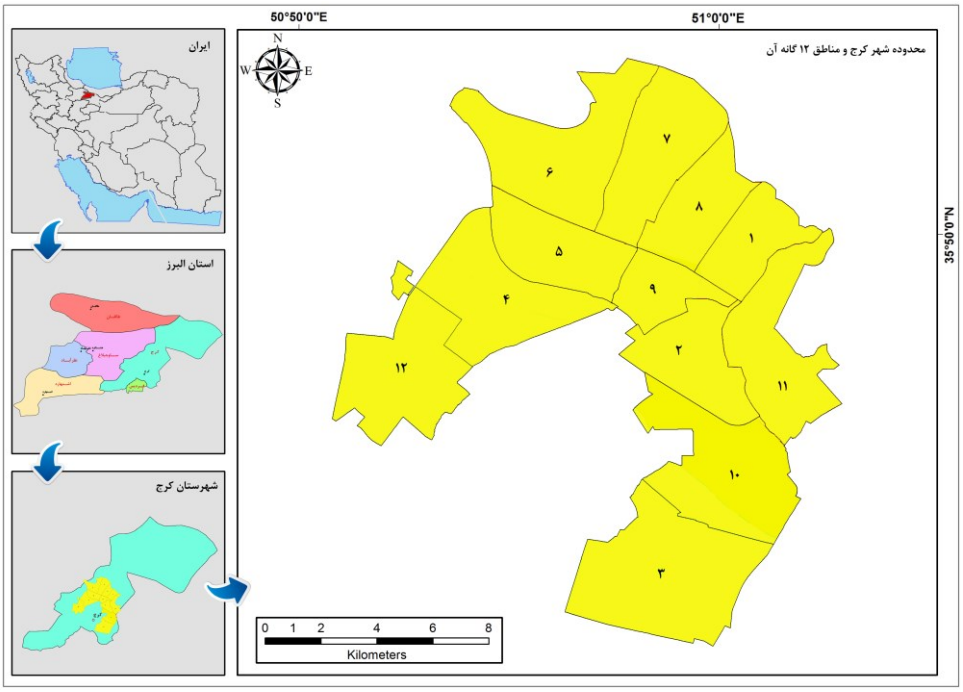


شکل(۱). مراحل و شاخص های مورد استفاده جهت آسیب‌پذیری شهری مخاطره زمین لرزه

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 ازنظر مطالعه اقلیمی دارای آب و هوای معتدل و نیمه خشک با تابستان‌های گرم و خشک و زمستانهای نسبتا سرد می‌باشد. 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).

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-10]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1399.20.56.8.9]
[DOI: 10.29252/jgs.20.56.93]



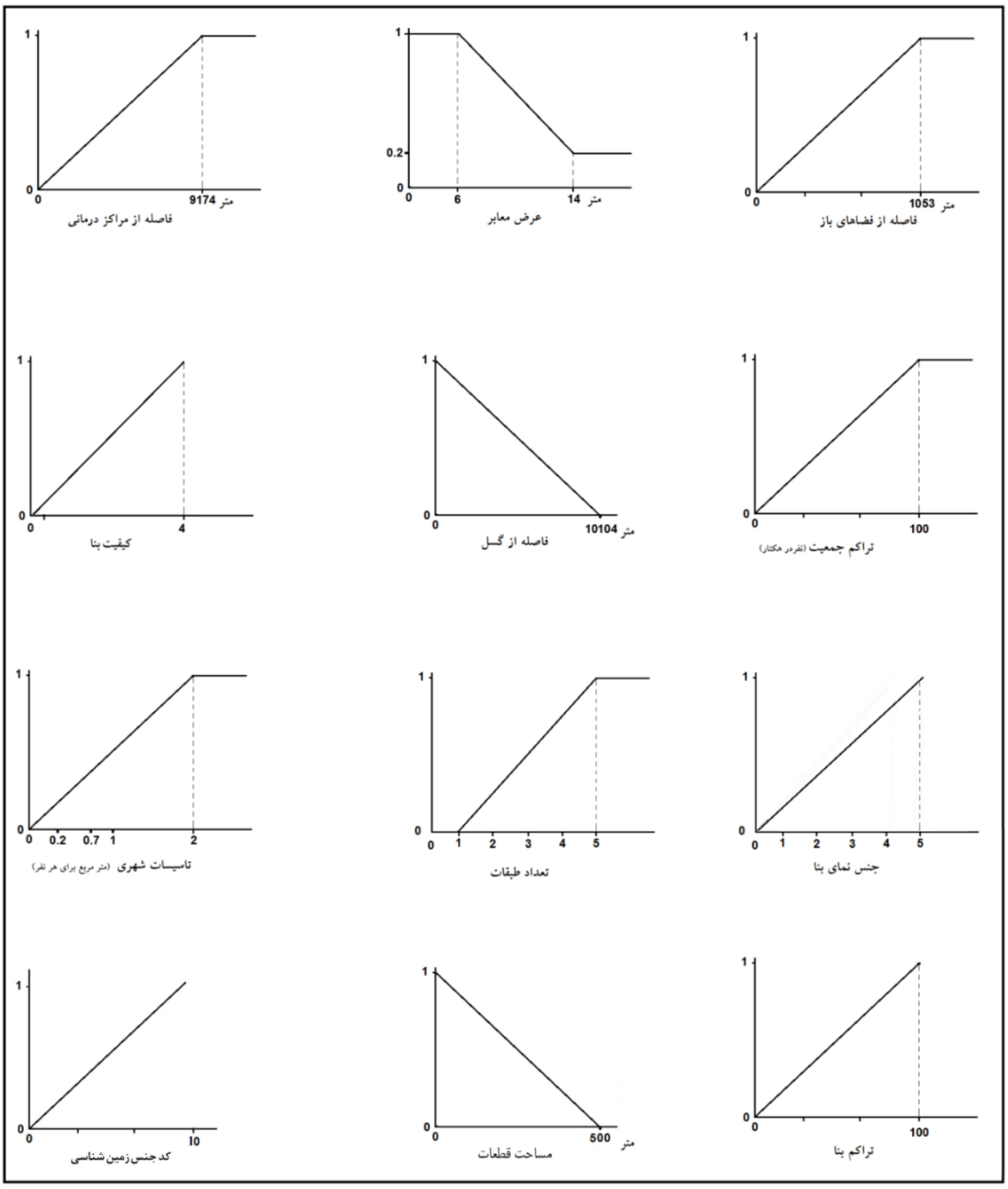
شکل(۲). موقعیت شهر کرج

نتایج

وزن‌دهی و طبقه بندی آسیب‌پذیری 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 پژوهش های پیشین بوده است. توابع مربوط به هر کدام از پارامترها و وزن دهی به آنها بر اساس توابع موجود در شکل(۳) انجام شد:

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-10]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1399.20.56.8.9]
[DOI: 10.29252/jgs.20.56.93]



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

شاخص های مورد استفاده در تعیین میزان آسیب‌پذیری شهر کرج در مقابل زلزله

تراکم جمعیت

اولین مقوله ای که در مطالعه مناطق شهری به نظـر می‌رسد، جمعیت آن منطقه اسـت. با افزایش جمعیت، نواحی شهری مستعد خسارت بیشتر ناشی از زلزله هستند و در نتیجه ریسک زندگی و دارایی‌ها در برابر

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-10]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1399.20.56.8.9]
[DOI: 10.29252/jgs.20.56.93]

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 به‌معنای تلفات و خسارت های بیشتر در هنگام وقوع زلزله است. همچنین تراکم های بالای شهری به‌معنای 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، ۷۰۲:۱۳۹۳).

جدول(۲). رابطه آسیب‌پذیری و تراکم جمعیت

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

تعداد طبقات ساختمان

تعداد طبقات ساختمانی در ارتباط با نسبت عرض معابر و ارتفاع دیوارهای ساختمان ها، شاخص بسیار مهمی است؛ چرا که با بالا رفتن تعداد طبقات ساختمانی، احتمال بسته شدن معابر بـه دلیـل ریختن آوار ساختمان‌های بلندمرتبه بالا می‌رود و موجب اختلال در امر امداد رسانی می‌شود. همچنین به دلیل جمعیت زیاد ساکن در ساختمان های چندطبقه، در زمان بروز حادثه تخلیهٔ ساکنان در این واحدها کندتر انجام می‌گیرد و به علت حجم آواربرداری بسیار زیاد نجات جان ساکنان ساختمان های 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 می دهند (قائد رحمتی و همکاران، ۱۱۶:۱۳۹۰).

جدول(۳). رابطه آسیب‌پذیری و تعداد طبقات ساختمان

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

کیفیت ابنیه (عمر ساختمان)

این شاخص تأثیر بسیار مهمی بر میزان آسیب‌پذیری ساختمان دارد. احتمال مقاومت ساختمان هـا ی بـا کیفیت بالا (نوساز) در مقابل زلزله، نسبت به ساختمان های مخروبه و مرمتی بیشتر است. قدمت یک سازه الزاماً رابطهٔ مستقیمی با کیفیت ندارد، اما در بیشتر موارد ساختمان هایی با سن بیش از ۳۰ سـال، نیـاز بـه

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-10]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1399.20.56.8.9]
[DOI: 10.29252/jgs.20.56.93]

تعمیر اساسی دارند در عین حال رعایت نکردن اصول آیین نامهٔ زلزله در ساخت وساز ساختما ن نیز باعث کاهش کیفیت بنا می‌شود. به طور کلی با افزایش عمر بناهای ساختمانی، آسیب پذیری آن‌ها در برابر زلزله افزایش می یابد. جدول(۴) ارتباط بین کیفیت ابنیه و میزان آسیب‌پذیری در برابر زلزله را نشان می دهند (اسفندیاری و همکاران، ۵۱:۱۳۹۲).

جدول(۴). رابطه آسیب‌پذیری و کیفیت ابنیه

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

جنس مصالح نمای ساختمان

در تحلیل آسیب‌پذیری، نقش مصالح نمای ساختمان همواره در کنار کیفیت بنا اثرگذار است. نوع مصالح سازه‌ها یکی از معیارهای مهم و مؤثر در تعیین ضریب آسیب‌پذیری شهرها در برابر زلزله محسوب می‌شود. 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 میکند. جدول(۵) ارتباط جنس مصالح نمای ساختمان و میزان آسیب‌پذیری در برابر زلزله را نشان می‌دهند (اسفندیاری و همکاران، ۵۱:۱۳۹۲).

جدول(۵). رابطه آسیب‌پذیری و جنس مصالح نما

میزان آسیب‌پذیری	جنس مصالح نمای ساختمان	وزن فازی متغیر
آسیب‌پذیری خیلی کم	سیمان	۰/۱
آسیب‌پذیری کم	کامپوزیت	۰/۳
آسیب‌پذیری متوسط	آجر	۰/۶
آسیب‌پذیری زیاد	سنگ	۰/۸
آسیب‌پذیری 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 آن‌ها در هنگام بروز زلزله، جداسازی یک منطقهٔ خطرناک از دیگری و بدین‌ترتیب متمرکز کردن فعالیت نیرو های مخرب و جلوگیری از توسعهٔ زنجیره ای وقایع است. کاربری های شهری هر چه بیشتر به فضاهای باز نزدیک تر باشند از آسیب‌پذیری 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 می‌کنند. جدول(۶) ارتباط بین فاصله از فضاهای باز و میزان آسیب‌پذیری در برابر زلزله را نشان می دهند (حاتمی‌نژاد و همکاران، ۷۰۳:۱۳۹۳).

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-10]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1399.20.56.8.9]
[DOI: 10.29252/jgs.20.56.93]

جدول(۶). رابطه آسیب‌پذیری و فاصله از فضاهای باز

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

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 خردشدن فضاهای باز شده و عملاً از مفید بودن فضاهای باز برای گریز و پناه‌گیری و عملیات امدادی کاسته می‌شود. بنابراین هرچه مساحت قطعات تفکیکی با توجه به نوع کاربری آن کوچک تر باشد، آسیب‌پذیری ناشی از زلزله بیشتر می‌شود. جدول(۷) ارتباط بین مساحت قطعات و میزان آسیب‌پذیری در برابر زلزله و نقشه فازی پراکندگی آسیب‌پذیری را نشان می دهند (ساسان‌پور و همکار، ۳۸:۱۳۸۹).

جدول(۷). رابطه آسیب‌پذیری و مساحت قطعات

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

عرض شبکه معابر (دسترسی به معابر)

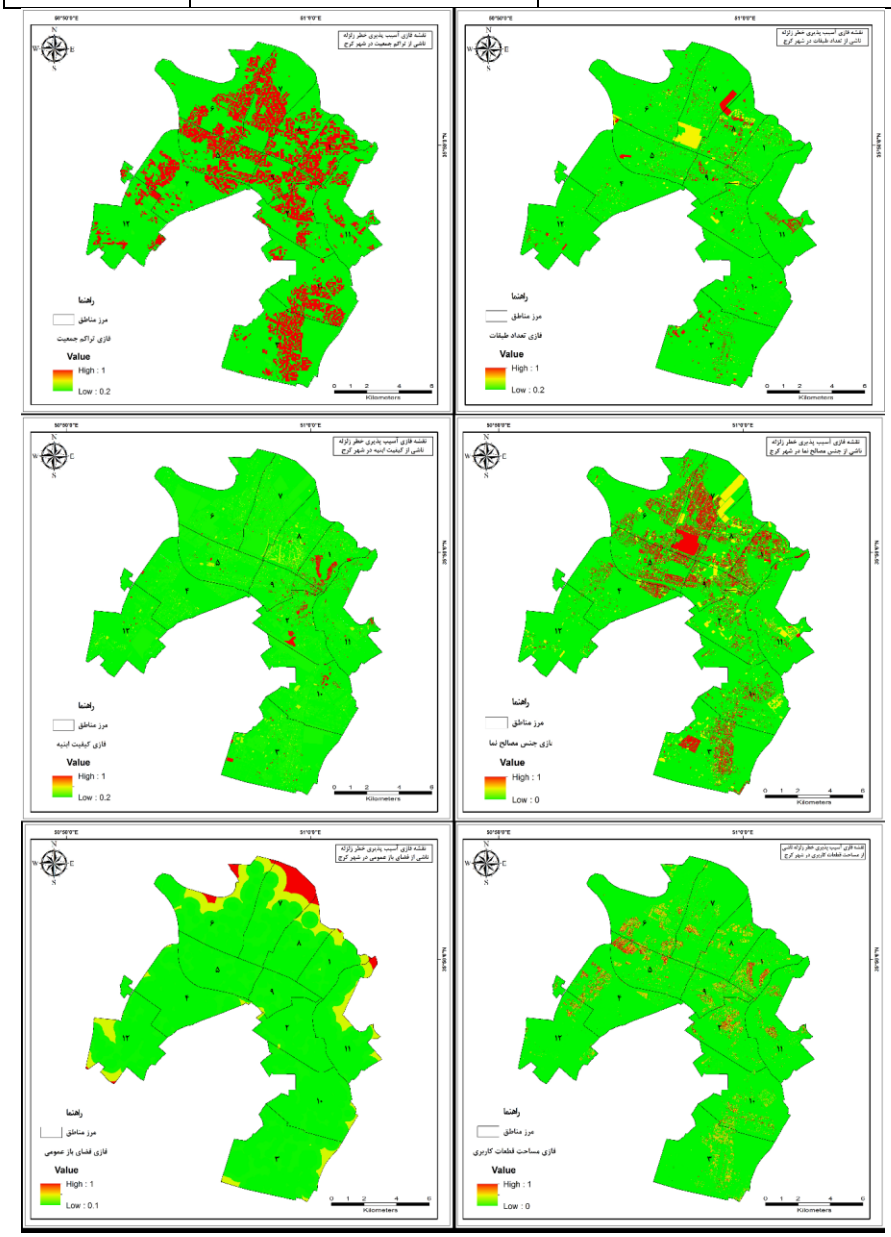
آسیب‌پذیری معابر به ساختار فضایی معابر پرداخته و در زمینهٔ تخلیهٔ عمومی به کار می‌رود تا قسمت‌های آسیب پذیر ساختار شهری مشخص شود. آسیب‌پذیری به ساختار شبکه به این دلیل اهمیت می‌یابد کـه در شبکه راه هـا، هرچه تعداد تقاطع ها و لوپ ها بیشتر باشد و معابر از عرض بیشتری برخوردار باشند، دسترسی و امداد رسانی سریع تـر و راحت تر انجام می‌گیرد؛ زیرا در صورت مسدودشدن یا تخریب یکی از راه ها، می‌توان از مسیرهای دیگر به محل مورد نظر رسید. از سوی دیگر، باید به مقولهٔ ترافیک معابر و جریان رفت و آمد در شبکه های ارتباطی، به ویژه در سـاعات اوج تـردد توجه ویژه ای کرد. با مطالعهٔ وضعیت معابر، می‌توان قسمت های آسیب پذیر در زمان تخلیه را مشخص کرد. در این میـان 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، زمینهٔ اختلال و تأخیر در عملکرد سیستم مدیریت بحران پس لرزه را فراهم خواهد ساخت؛ بنابراین، نحوهٔ آسیب پذیری معابر شهری‌به دلیل ارتباط بیشتر با موضوع پژوهش، به‌صورت تفصیلی بررسی می شود. جدول(۸) ارتباط بین عرض شبکه معابر و میزان آسیب‌پذیری در برابر زلزله را نشان می دهند (اسفندیاری و همکاران، ۵۴:۱۳۹۲).

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-10]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1399.20.56.8.9]
[DOI: 10.29252/jgs.20.56.93]

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

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



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

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-10]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1399.20.56.8.9]
[DOI: 10.29252/jgs.20.56.93]

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 ایـن رو دسترسی سریع و آسان به مراکز امداد و نجات، موجب تسریع عملیات امداد و نجات و خدمات رسـانی می‌شـود. جدول(۹) ارتباط بین تراکم ساختمانی و میزان آسیب‌پذیری در برابر زلزله را نشان می‌دهند (اسفندیاری و همکاران، ۵۴:۱۳۹۲).

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	حدفاصل 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 به‌شدت افزایش می دهد. 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، ۷۰۳:۱۳۹۳).

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	حدفاصل 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 بیشـتر 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، ۵۶:۱۳۹۲).

جدول(۱۱). رابطه آسیب‌پذیری و تراکم ساختمانی

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

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-10]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1399.20.56.8.9]
[DOI: 10.29252/jgs.20.56.93]

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

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

شاخص زمین‌شناسی

عامل زمین‌شناسی به عنوان یکی از پارامترهای اصلی در ایجاد خسارت ناشی از زمین لرزه به شمار می‌رود. اگر سری زمین شناسی سست‌تر باشد، باعث تشدید توان موج لرزه‌ای شده و هر قدر سری زمین شناسی سخت تر 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 (شهابی و همکار، ۱۳۹۲:۷۴).

جدول(۱۳). رابطه آسیب‌پذیری و میزان مقاومت سازند های زمین‌شناسی

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

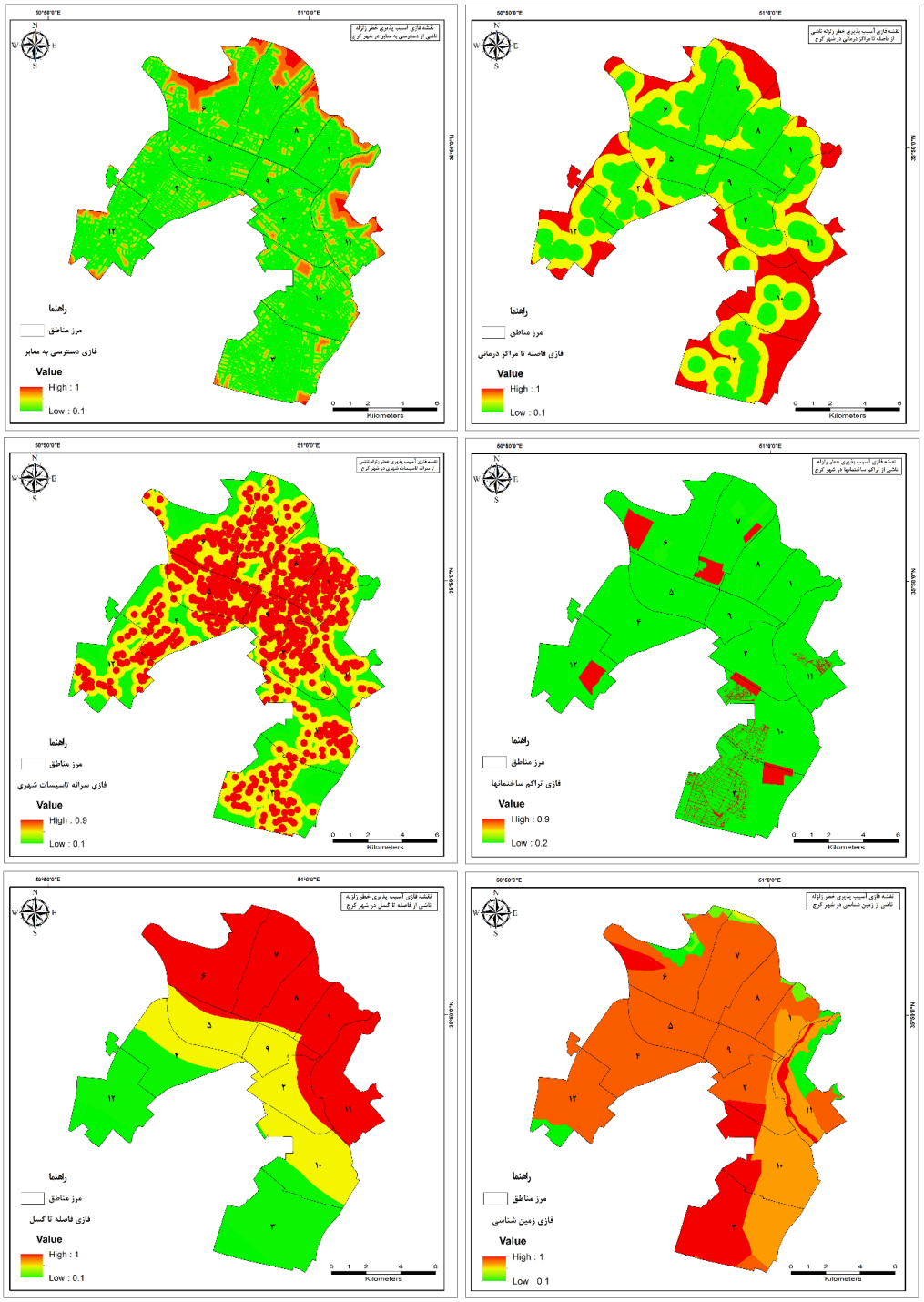
کاربری اراضی

کاربری های مسکونی یکی از مهم ترین کاربری هایی 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. قرارگیری ساختمان‌ها در کنار یکدیگر می‌تواند در میزان آسیب‌پذیری مؤثر باشد، مثل قرارگیری 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

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

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-10]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1399.20.56.8.9]
[DOI: 10.29252/jgs.20.56.93]

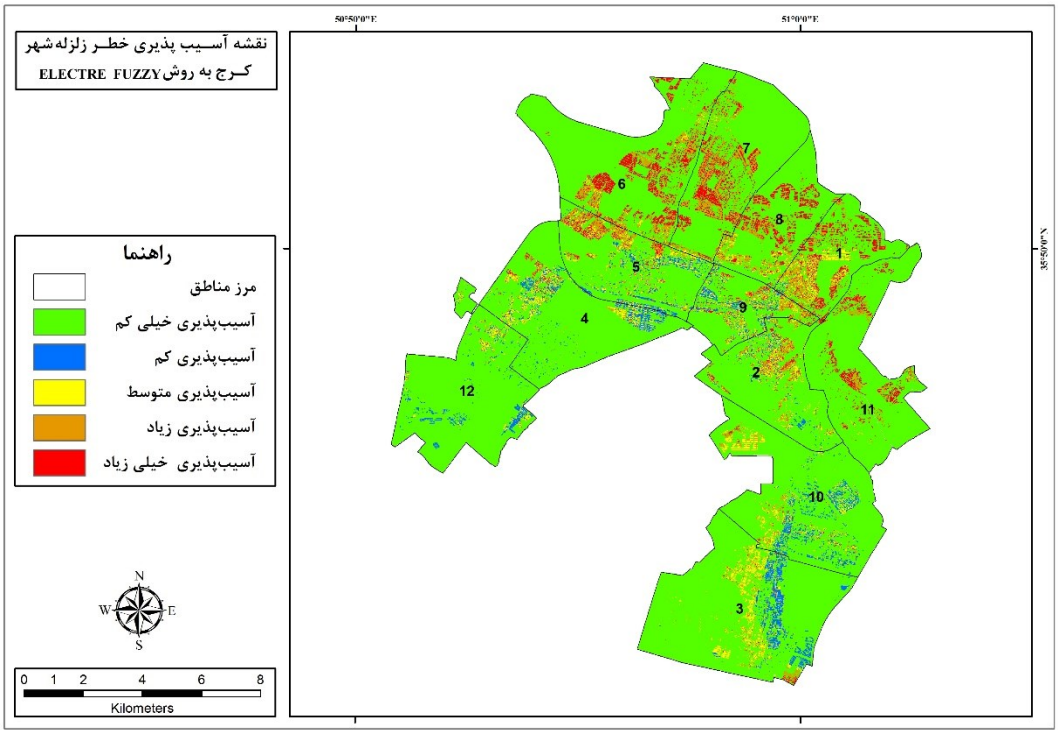


شکل(۵). نقشه فازی آسیب‌پذیری خطر زلزله کرج ناشی از پارامترهای تراکم جمعیت، تعداد طبقات، کیفیت ابنیه، جنس مصالح نما، فاصله از فضای باز عمومی و مساحت قطعات کاربری

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-10]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1399.20.56.8.9]
[DOI: 10.29252/jgs.20.56.93]

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 درنهایت نقشه‌هایی با گاماهای ۰/۹۵، ۰/۹۰، ۰/۸۵، ۰/۸۰، ۰/۷۵ و ۰/۷۰ استخراج و موردبررسی قرار گرفت. درنهایت 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 گاماهای انتخاب‌شده، گامای ۰/۹۵ به‌عنوان مناسب‌ترین گاما جهت پهنه‌بندی خطر آسیب‌پذیری منطقه موردمطالعه انتخاب شد.



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

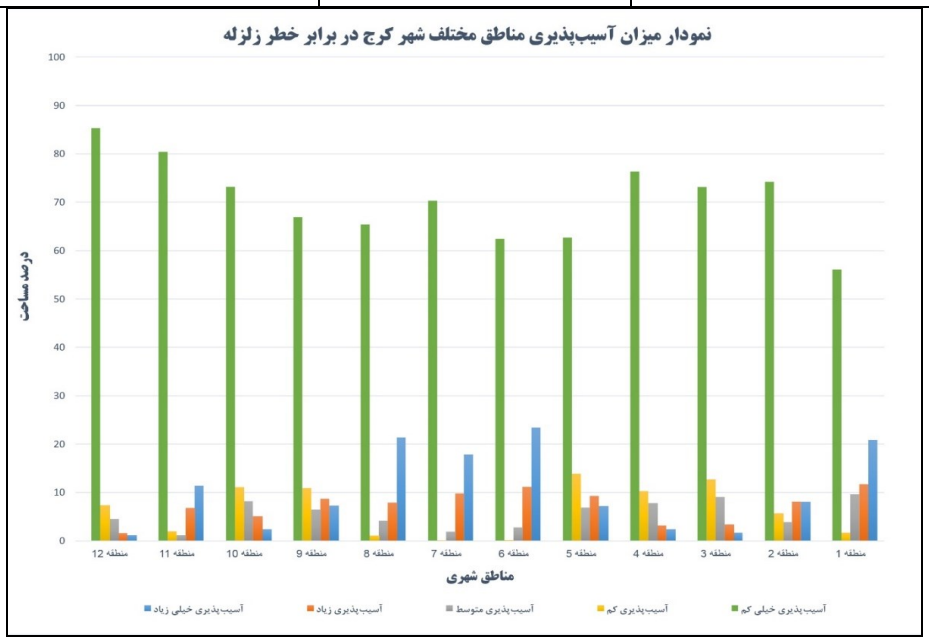
بـا مطالعات انجام‌گرفتـه در این پژوهش و بر اساس یافتـه‌های آن مشخص گردید، عدم رعایت اصول شهرسازی طبق آنچه در آیین‌نامه و استاندارد ۲۸۰۰ زلزله است، تا چه اندازه مـی‌تواند میزان آسـیب‌پذیری مناطق مجاور گسل را هنگام بروز زلزله، بالا ببرد. طبق یافته‌های فوق در منطقه زلزله‌خیزی مانند کلان‌شـهر کـرج، در ارتباط با فاصله از گسل، بسیار مشخص است که هر چه فاصله از گسل بیشتر باشد به دلیل فاصـــــــله‌گیری 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 بزرگ‌تـــر باشد، شدت

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-10]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1399.20.56.8.9]
[DOI: 10.29252/jgs.20.56.93]

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 نه‌تنها 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 درنتیجه 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 آسیب-پذیری منطقه در برابر زلزله خواهد بود. درعین‌حال 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^2)	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

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-10]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1399.20.56.8.9]
[DOI: 10.29252/jgs.20.56.93]

نتیجه‌گیری

بر اساس اطلاعات جدول(۱۵) می‌توان این نتیجه را گرفت که بیش از ۷۰ درصد از شهر کرج ازنظر خطر آسیب‌پذیری در برابر زلزله در طبقه خیلی کم و کم قرارگرفته است و تنها در حدود ۲۰ درصد از شهر کرج در مناطق با خطر زیاد و خیلی زیاد قرارگرفته 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 درخطر 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 بااینکه 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 به‌واسطه 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 قرارگرفته است. این مناطق ازنظر 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.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-10]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1399.20.56.8.9]
[DOI: 10.29252/jgs.20.56.93]

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 مولفه های تأثیرگذار در آن با استفاده از روش کیو**، فصلنامه علمی و پژوهشی مدیریت بحران،۳(۳): ۵-۱۸.

انتظاری، مژگان، 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 fuzzy 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.

ساسان‌پور، فرزانه؛ شماعی، علی؛ افسر، مجید؛ سعیدپور، شراره. (۱۳۹۶). **برسی آسیب‌پذیری ساختمان‌های شهر در برابر مخاطرات طبیعی (زلزله) مطالعه موردی محله محتشم کاشان**. مجله مخاطرات محیط طبیعی،۶(۱۴):۱۰۳-۱۲۲

شهابی، هیمن؛ قلی زاده، محمد حسین؛ نیری، هادی. (۱۳۹۰). **پهنه بندی 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 موردمطالعه: شهر اراک (محله رودکی)**، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، رشته برنامه‌ریزی شهری دانشگاه خوارزمی

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-10]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1399.20.56.8.9]
[DOI: 10.29252/jgs.20.56.93]

فرج زاده اصل، منوچهر؛ احدنژاد، محسن؛ امینی، جمال. (۱۳۹۰). **ارزیابی آسیب‌پذیری مساکن شهری در برابر زلزله (مطالعه موردی منطقه ۹ شهرداری تهران)**، مطالعات و پژوهش‌های شهری و منطقه‌ای، ۳(۹):۱۹-۳۶.

قنبری، ابوالفضل؛ محمدعلی سالکی؛ قاسمی، معصومه. (۱۳۹۲). **پهنه‌بندی میزان آسیب‌پذیری شهرها در مقابل خطر زمین‌لرزه 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 کلان‌شهر تهران)**، مجله پژوهش‌های فرسایش محیطی، ۲(۸):۷۷-۹۵.

مشک ساز، پریسا؛ ایزدی، حسن؛ سلطانی، علی؛ بذرگر، محمدرضا. (۱۳۹۳). **ارزیابی آسیب‌پذیری فیزیکی بافت‌های شهری در برابر زلزله درروش RADIUS نمونهٔ موردی: منطقهٔ ۳ شهرداری شیراز**، پژوهش‌های جغرافیایی برنامه‌ریزی شهری، ۱(۱):۱۱۵-۱۲۹.

منزوی، مهشید؛ سلیمانی، محمد؛ تولایی، سیمین؛ چاووشی، اسماعیل. (۱۳۸۹). **آسیب‌پذیری بافت‌های فرسوده بخش مرکزی شهر تهران در برابر زلزله (مورد: منطقه ۱۲)**، پژوهش‌های جغرافیای انسانی، ۷۳(۷۳):۱-۱۸.

Bazazan lotfi S, Rahimi M. (2017). **A Study on Vulnerability of UrbanNeighborhoods 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 interdepencies 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: Sirus 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 Fazzy 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, February20, 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)

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-10]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1399.20.56.8.9]
[DOI: 10.29252/jgs.20.56.93]