

مدل‌سازی ضریب آسیب‌پذیری شهرها در برابر زلزله با استفاده از روش تاپسیس در محیط GIS (مطالعه موردی: شهر اردبیل)

فریبا اسفندیاری درآباد* - دانشیار ژئومورفولوژی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل
عطا غفاری گیلانده - استادیار گروه جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل
خداداد لطفی - کارشناس ارشد ژئومورفولوژی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل

پذیرش مقاله: ۱۳۹۱/۱۱/۲۰ تأیید نهایی: ۱۳۹۲/۰۴/۲۸

چکیده

امروزه با توجه به رشد سریع جمعیت که به تبع آن، توسعه ساخت‌وسازها اجتناب‌ناپذیر شده است، هر روز بر فشار نیازهای زمینی بشر افزوده شده و بهره‌برداری از مناطق اطراف شهرها و روستاها برای ایجاد خانه و تأسیسات اقتصادی و صنعتی فزونی می‌یابد و گاهی سکونتگاه‌های جدید استقرار اجباری دارند، اما آنچه حائز اهمیت است، وضعیت اسفبار شهرها و کلانشهرهایی است که روی گسل‌ها یا در مجاورت آن ساخته شده و در معرض خطر زلزله قرار دارند. منطقه مورد مطالعه (شهر اردبیل) روی یک دشت رسوبی با مواد آبرفتی کمتر تحکیم‌یافته مستقر بوده و با زنجیره‌ای از گسل‌ها احاطه شده است. وجود این گسل‌ها و سابقه لرزه‌خیزی آنها و نیز، قرارگیری شهر اردبیل روی سازندهای سست آبرفتی از یک سو و ناهمگنی در شاخص‌های کالبدی از سوی دیگر، همواره شهر اردبیل را در برابر زمین‌لرزه مستعد آسیب کرده است. از آنجایی که در ارزیابی ریسک زلزله شهر اردبیل، عوامل متعددی دخیل هستند، لذا نیاز به استفاده از روشی که بتواند تلفیقی منطقی بین این عوامل ایجاد کند، ضروری به نظر می‌رسد. در این راستا کاربرد مدل تاپسیس مد نظر بوده است. نتایج حاصل از تحلیل درجات آسیب‌پذیری در مناطق چهارگانه شهر اردبیل، نشان می‌دهد که میزان آسیب وارده در منطقه ۳ بیشتر از سایر مناطق است، به گونه‌ای که ۴/۳۷ درصد از مساحت این منطقه (۶۷/۳۲ هکتار)، رتبه آسیب‌پذیری ۷ را دارد. در برآورد میزان آسیب‌پذیری مناطق مختلف شهری در برابر زلزله، مطالعاتی می‌تواند سودمندتر باشد که با جزئیات و تفصیل بیشتری به این مطالعات بپردازد، تا سلسله‌مراتب آسیب‌ها با جزئیات دقیق‌تری مشخص شود. از این رو در پژوهش حاضر برای دستیابی به این هدف، برآن شدیم که در هر یک از مناطق چهارگانه شهر، به تفکیک محلات، به برآورد ضریب آسیب‌ها بپردازیم. بر اساس نتایجی که از تحلیل درجات آسیب در سطح شهر به تفکیک محلات، به دست آمد، محله ۲ از منطقه ۳ شهر، آسیب‌پذیرترین محدوده شهر شناسایی شد.

کلیدواژه‌ها: آسیب‌پذیری، زلزله، شهر اردبیل، مدل تاپسیس.

مقدمه

به دلیل ذخیره شدن مقادیر زیادی انرژی در درون زمین و با توجه به نظریه جابه‌جایی قاره‌ها، تغییرات عمده‌ای در قسمت‌های سطحی زمین رخ می‌دهد که زمین‌لرزه یکی از این تغییرات است. به گفته دیگر، زمین‌لرزه پدیده انتشار امواج در زمین، به دلیل آزاد شدن مقدار زیادی انرژی ناشی از اغتشاش سریع در پوسته زمین یا در قسمت‌های بالایی گوشته در مدت کوتاه است (برگی، ۱۳۸۲: ۱۱).

زلزله پدیده‌ای طبیعی است که رخداد آن به خودی خود، الزاماً نتایج نامطلوب و ناگواری در پی ندارد؛ بلکه آنچه سبب آسیب و اطلاق واژه بلا به آن است، خسارات وارده و پیامدهای زیانبار ناشی از عدم آمادگی برای مقابله و رویارویی با این پدیده طبیعی است. ایران به دلیل موقعیت خاص جغرافیایی و قرار گرفتن روی کمربند آلپ - هیمالیا، یکی از کشورهای لرزه‌خیز جهان به‌شمار می‌رود (جهانگیری، ۱۳۸۵: ۱۵۶-۱۵۵).

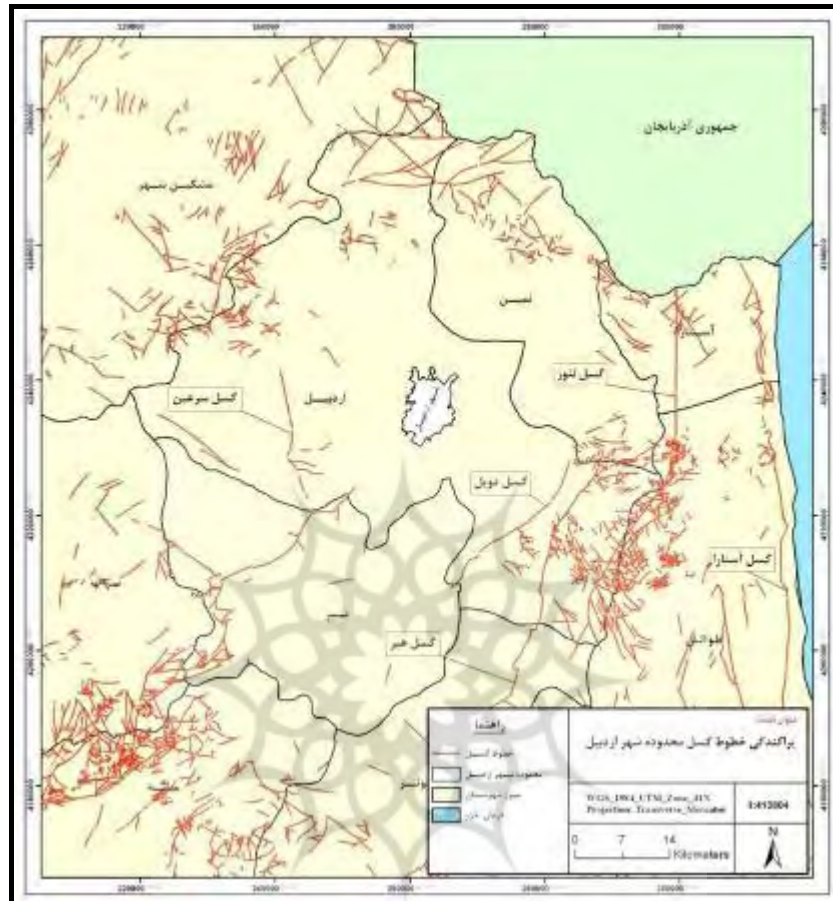
بر اساس گزارش سازمان ملل، کشور ایران در سال ۲۰۰۳ میلادی از میان کشورهای جهان، رتبه نخست را در تعداد زلزله‌های با شدت بالای ۵/۵ ریشتر و یکی از بالاترین رتبه‌ها را در زمینه آسیب‌پذیری از زلزله و تعداد افراد کشته شده در اثر این سانحه داشته است. بر اساس همین گزارش، در کشور ایران زلزله، وجه غالب را در بین سوانح طبیعی دارد (فرج‌زاده اصل، ۱۳۹۰: ۲۰).

استقرار اولیه شهر اردبیل در موقعیت کنونی و رشد آن، به دلیل وجود رودخانه بالقلی و خاک حاصلخیز دشت اردبیل بوده که شرایط مناسب کشت و زرع را برای ساکنان نخستین آن فراهم کرده است. در گذر زمان و با به‌وقوع پیوستن حوادث متعدد تاریخی، به‌ویژه روی کار آمدن خاندان صفویه در ایران، رشد شهر اردبیل با شتاب بیشتری ادامه یافته است، به‌ویژه اینکه در سال‌های اخیر با مطرح شدن شهر اردبیل به‌عنوان مرکز استان و تمرکز یافتن فعالیت‌های سیاسی، اقتصادی، تجاری و خدماتی، شاهد رشد فزاینده شهر و به‌دنبال آن، افزایش جمعیت این شهر بوده‌ایم.

رشد و توزیع غیر متوازن جمعیت و وجود بافت‌های فرسوده و تخریبی در سطح شهر از یک سو و قرارگیری شهر اردبیل روی بستر آبرفتی که نسبت به بسترهای سنگی مقاومت کمتری در برابر ارتعاشات زلزله دارد و وقوع زلزله‌های متعدد، به‌ویژه زلزله ۵/۴ ریشتری اسفند ماه ۱۳۷۵ از سوی دیگر، موجب شده است که همواره محدوده مورد مطالعه با خطر آسیب جدی در برابر زلزله روبه‌رو شود؛ خطری که باید برای مقابله با آن آماده بود.

اگرچه بر اساس شواهد زمین‌شناسی، بستر شهر اردبیل به‌دلیل منفصل بودن مواد تشکیل‌دهنده آن، دچار گسل خوردگی نشده است، اما گسل‌های توانمندی که در دامنه‌های سبلان و ارتفاعات باغرو با فاصله اندک از شهر اردبیل قرار گرفته‌اند، بیشترین تهدید برای آن محسوب می‌شوند که از جمله این گسل‌ها می‌توان به گسل آستارا، گسل هیر، گسل سرعین، گسل دوپیل و گسل نئور اشاره کرد (شکل ۱). از آنجایی که گسل‌ها منشأ بسیاری از زلزله‌ها هستند، بنابراین به دلیل وجود گسل‌های مهم لرزه‌زا پیرامون محدوده مورد مطالعه، زلزله خطری بسیار محتمل برای مردم شهر اردبیل شمرده می‌شود. از این رو در پژوهش پیش رو با استفاده از مدل تاپسیس و اهدافی چون، ارائه و معرفی الگوی سلسله‌مراتبی از وضعیت آسیب‌پذیری شهر اردبیل در برابر زلزله؛ تعیین مهم‌ترین عوامل آسیب‌زا در برابر زلزله در محدوده شهر اردبیل و ارائه راهکاری در چارچوب مدلی واقعی از وضعیت آسیب‌پذیری شهر برای مسئولان در جهت رفع

ضعف‌های موجود و کاهش آسیب‌های احتمالی ناشی از زلزله، به ارزیابی ضریب آسیب‌پذیری شهر اردبیل در برابر زلزله پرداخته خواهد شد.



شکل ۱. پراکنندگی خطوط گسل در محدوده شهر اردبیل

در خصوص سوانح طبیعی، به خصوص زلزله و تعیین آسیب‌پذیری شهرها در برابر آن، مطالعات زیادی را می‌توان در منابع لاتین و فارسی یافت که به برخی از آنها اشاره می‌شود.

روستایی (۱۳۹۰) خطر گسل تبریز بر کاربری‌های مختلف اراضی شهری را پهنه‌بندی کرده است. در این پژوهش شهر تبریز به پهنه‌های با خطر بسیار بالا، بالا، نسبتاً بالا، متوسط، نسبتاً پایین و پایین تقسیم‌بندی شده است. شهایی (۱۳۹۰) خطر زمین‌لرزه را در استان کردستان با استفاده از روش تحلیل چندمعیاره فضایی بررسی کرده است. وی در این پژوهش با مدل تحلیل چندمعیاره، رخدادهای زمین‌لرزه را در استان کردستان به تفکیک شهرستان پهنه‌بندی کرده است. فرج‌زاده اصل (۱۳۹۰) به ارزیابی آسیب‌پذیری مسکن شهری در برابر زلزله در منطقه ۹ شهرداری تهران پرداخته است. این پژوهش با توجه به روش‌های مبتنی بر پایگاه اطلاعاتی و بهره‌گیری از مدل تاپسیس فازی و نرم‌افزارهای مبتنی بر رویکرد سیستم اطلاعات جغرافیایی انجام گرفته است که نتایج حاصله حاکی از آسیب‌پذیر بودن منطقه ۹ تهران در برابر زلزله و کارایی مدل تاپسیس فازی در ارزیابی آسیب‌پذیری منطقه مورد مطالعه است.

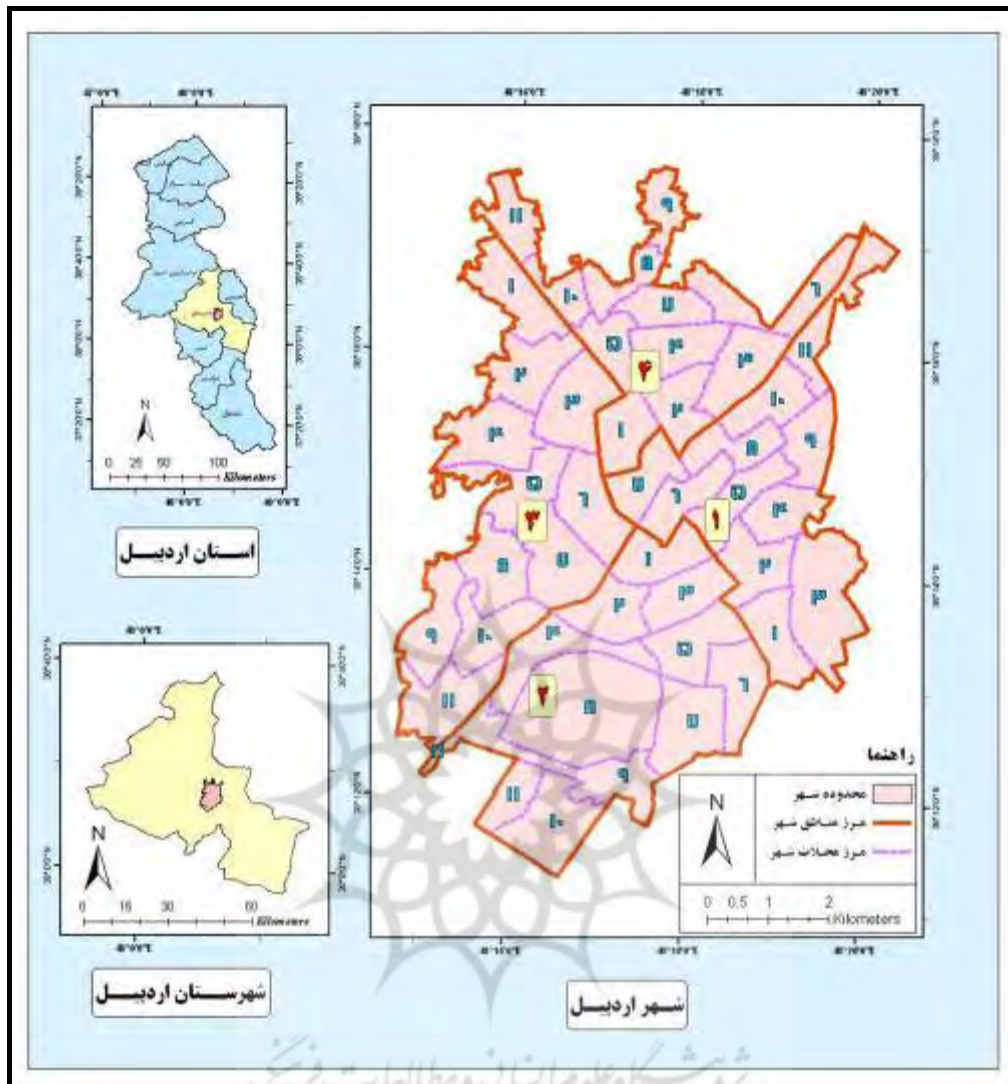
شیعه (۱۳۸۹) آسیب‌پذیری منطقه ۶ شهر تهران را در برابر زلزله با استفاده از روش تحلیل سلسله معکوس (IHWP) و (GIS) و نیز با در نظر گرفتن شاخص‌های درجه محصوریت، تراکم جمعیتی، تراکم ساختمانی، کاربری زمین، پیشینه شتاب (PGA) منطقه و کیفیت ابنیه بررسی کرد و برآوردی از میزان آسیب‌پذیری شهر تهران در مقابل زلزله ارائه داد. شیعه به این نتیجه رسیده است که مناطق با تراکم جمعیت بالا، تراکم ساختمان بالا، کیفیت ابنیه پایین و فاصله زیاد تا مراکز امدادی نسبت به سایر قطعه‌ها، امتیاز آسیب‌پذیری بالاتری دارند. احدنژاد (۱۳۸۹) به مدل‌سازی آسیب‌پذیری ساختمانی شهر زنجان در مقابل زلزله با استفاده از روش تحلیل سلسله‌مراتبی در محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی پرداخته و با استفاده از این روش، به ارائه سناریوهای زلزله در شدت‌های مختلف و ریزپهنه‌بندی آسیب‌های وارده به ساختمان‌ها و تلفات انسانی و خسارات اقتصادی وارده به شهر زنجان پرداخته است. یافته‌های این پژوهش نشان داد که منطقه ۳ شهر زنجان، به دلیل فرسودگی بافت و استفاده از مصالح کم‌دوام در ساخت‌وسازها، آسیب‌پذیری بالایی دارد.

کاوا (۱۹۹۹) برای تهیه یک نقشه آسیب‌پذیری از GIS استفاده کرد و در مدل خود از اطلاعاتی مانند، توپوگرافی و محل گسل‌های منطقه، محل تأسیسات زیربنایی و پراکنش جمعیت برای مدل‌سازی آسیب‌پذیری استفاده کرد. بومر، بنیتو، سوداد و لیمونی (۲۰۰۲) زلزله ژانویه و فوریه ۲۰۰۱ سالوادور که با قدرت ۶/۷ تا ۷/۷ ریشتر رخ داده بود را مورد مطالعه قرار دادند. راشد و ویک (۲۰۰۳) میزان آسیب‌پذیری ناشی از زلزله را با استفاده از روش AHP و نرم‌افزار GIS مدل‌سازی کردند. آنیونیونی (۲۰۰۷) تأثیرات زلزله بر تأسیسات صنعتی را با استفاده از اطلاعات زلزله‌های پیشین بررسی و الگویی را ارائه کرده است. میکائیل (۲۰۰۸) آسیب ناشی از زلزله در متروپولتین شهر نیویورک را بر اساس شرایط ژئوتکتونیک و شرایط خاک منطقه برآورد کرد و به سناریوسازی و مدل‌سازی برای آن پرداخت.

لانتادا، پوجدس و باربت (۲۰۰۹) در پژوهشی ضمن مدل‌سازی آسیب‌پذیری شهر بارسلون، به ارزیابی خسارات انسانی و اقتصادی در شهر پرداختند. زعفرانی، نورزاد، انصاری و برگی (۲۰۰۹) در پژوهشی، مدل‌سازی فرایند زلزله‌های ایران و تخمین جنبش زمین در زلزله‌های آتی تهران بزرگ را انجام داده‌اند. تانگ و ون (۲۰۰۹) با استفاده از هوش مصنوعی و GIS، خطر زلزله را در شهر دیانگ چین ارزیابی کردند.

موقعیت محدوده مورد مطالعه

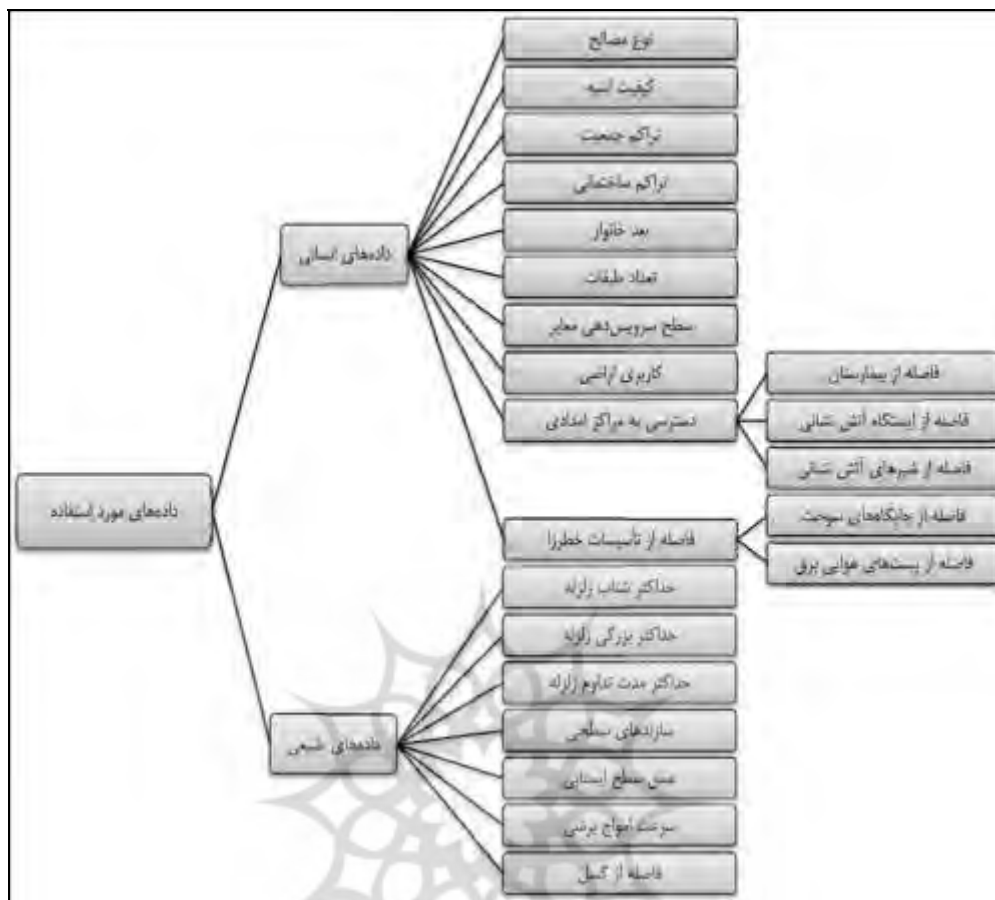
شهر اردبیل در شمال غرب کشور و دامنه‌های شرقی سبلان، در ارتفاع ۱۳۴۰ متری از سطح دریا بین مدارهای ۱۱° ۳۸ تا ۱۸° ۳۸ عرض شمالی از مدار استوا و ۱۴° ۴۸ تا ۲۰° ۴۸ طول شرقی از نصف‌النهار گرینویچ قرار گرفته است. این شهر در سال ۱۳۹۰ جمعیتی افزون بر ۴۸۰,۰۰۰ نفر را در خود جای داده است که با این جمعیت و مساحت ۶۳۰۰ هکتاری، تراکم ناخالص ۷۶ نفر در هر هکتار را نشان می‌دهد. قسمت عمده نشستگاه شهر اردبیل را رسوبات دوران کواترنری پوشانده است. به‌طور کلی، شهر و محدوده‌های اطراف آن (شمال، غرب و شرق) روی رسوبات دشت و پادگانه‌های آبرفتی جوان و مخروطه‌افکنه‌ها پراکنده شده است (شکل ۲).



شکل ۲. نقشه موقعیت محدوده مورد مطالعه

مواد و روش‌ها

موادی که در این پژوهش به کار گرفته می‌شوند، مشتمل بر نقشه‌ها یا آرشیوهای اطلاعاتی مربوط به معیارهایی هستند که در تعیین ضریب آسیب‌پذیری شهرها در برابر زلزله به کار گرفته می‌شوند (شکل ۳). اطلاعات مذکور بر پایه استفاده از منابع کتابخانه‌ای، اسنادی، دیجیتالی و پایگاه‌های اینترنتی مرتبط با موضوع پژوهش و با مراجعه به سازمان‌ها و ارگان‌هایی چون، سازمان مدیریت بحران استان اردبیل، سازمان راه و شهرسازی استان، سازمان آب منطقه‌ای استان و استانداری به دست آمده است. نرم‌افزارهای مورد استفاده در این پژوهش به تناسب کاربرد عبارتند از: نرم‌افزارهای Arc GIS نسخه ۹/۳، Arc view نسخه ۳/۳، IDRISI Kilimanjaro و Grapher 4، در فازهای مربوط به ورود، ذخیره و مدیریت، پردازش و تحلیل داده‌ها و نرم‌افزار اکسل نسخه ۲۰۰۷ برای انجام محاسبات کمی.



شکل ۳. نمودار داده‌های مورد استفاده در فرایند پژوهش

تهیه نقشه معیار: یک معیار، استاندارد برای قضاوت یا قاعده‌ای برای آزمون میزان مطلوبیت گزینه‌های تصمیم‌گیری است و از نقشه‌هایی که معرف تغییرات وضعیت و مقادیر معیار در فضای جغرافیایی هستند، با نام نقشه‌های معیار یاد می‌شود (مالچفسکی، ۱۳۸۵: ۱۵۵). فهرست معیارهای مورد استفاده در بحث ارزیابی و تصمیم‌گیری، از راه‌هایی چون مطالعات اسنادی و کتابخانه‌ای، بررسی ادبیات موضوع و پیمایش نظرات و عقاید افراد صاحب‌نظر، به‌دست می‌آید. مطابق با جدول ۱ در ماتریس معیارهای ارزیابی، هر z_i معرف صورت وضعیت پیکسل i (سلول تشکیل‌دهنده نقشه رستری از محدوده مورد مطالعه) است که به‌ازای وضعیت ثبت‌شده از معیار z_j تعیین شده است.

در این مقاله، مرحله مربوط به ارزش‌گذاری و استانداردسازی به‌صورت توأم و بر مبنای ارزش عضویت در مجموعه فازی در نظر گرفته شده است. ارزش عضویت یا درجه تعلق در یک مجموعه فازی را می‌توان با شماره‌ای تعیین کرد که دامنه آن بین مقادیری چون صفر تا ۱ یا صفر تا ۲۵۵ قرار دارد (آشور، ۱۳۹۰: ۱۵۴). در دامنه بین صفر و ۱، اگر $\mu_A(X) = 1$ باشد، در این صورت عنصر x به‌صورت کامل به دامنه A تعلق دارد. به همین ترتیب اگر $\mu_A(X) = 0$ باشد، در این صورت عنصر x به‌طور مشخص به دامنه A تعلق ندارد. درجه بالای ارزش عضویت یک عنصر، به معنای نسبت بالای تعلق آن به مجموعه است (افروز، ۱۳۹۰: ۱۰۸).

جدول ۱. ماتریس معیارهای مورد استفاده در ارزیابی آسیب پذیری ناشی از زلزله

ف. پمپ بنزین	ف. پست هوایی برق	ف. شبر آتش	ف. بیمارستان	بعد خانوار	تراکم ساختمان	تعداد طبقات	تراکم جمعیت	کیفیت آبینه	نوع مصالح	
...	X ₁₃	X ₁₂	X ₁₁	پیکسل ۱
...	X ₂₃	X ₂₂	X ₂₁	پیکسل ۲
...
...	X _{m3}	X _{m2}	X _{m1}	پیکسل m

سرعت امواج برشی	مدت تداوم زلزله	عمق سطح ایستایی	سازندهای سطحی	حداکثر لرزه زایی توان	ف. گسل	شتاب حداکثر زلزله	معاير	ف. ایستگاه آتش نشانی	کاربری اراضی	
X _{1n}	پیکسل ۱
X _{2n}	پیکسل ۲
...
X _{mn}	پیکسل m

منبع: نگارندگان

در پژوهش حاضر با استفاده از امکاناتی که در تابع فازی از نرم افزار IDRISI Kilimanjaro وجود دارد، برای استانداردسازی نقشه‌هایی که به صورت نقشه‌های معیار تهیه شده‌اند، به تناسب، از توابع عضویت Sigmoidal و linear و در قالب‌هایی چون، الگوهای افزایشی به صورت یکنواخت، کاهشی به صورت یکنواخت و سایمتریک استفاده شده است. در رابطه با هر معیار، دامنه‌ای از مقادیر در نظر گرفته شده است که اگر مقادیر ثبت شده از معیار در پیکسل‌ها، بیشتر یا کمتر از این مقادیر باشند، به منزله درجه عضویت صفر در دامنه تعیین شده تلقی می‌شود و در نتیجه، میزان مطلوبیت برابر با صفر می‌شود. از سوی دیگر، اگر مقادیر اندازه‌گیری شده از معیار در پیکسل‌ها با درجه کامل عضویت، منطبق بر دامنه تعیین شده باشد، به معنای مطلوبیت حداکثر در آن معیار است. سایر سطوح مطلوبیت نیز در حد فاصل درجه عضویت صفر و درجه عضویت حداکثر قرار دارند. تغییرات درجه عضویت می‌تواند در دامنه $(0 \leq \mu_D(X) \leq 1)$ یا $(0 \leq \mu_D(X) \leq 255)$ قرار گیرند که در پژوهش پیش رو برای استانداردسازی تغییرات مقادیر معیار در محیط IDRISI Kilimanjaro از تغییرات درجه عضویت در دامنه $(0 \leq \mu_D(X) \leq 255)$ استفاده شده است. از سوی دیگر مدل تاپسیس، به منزله قاعده تصمیم‌گیری چندمعیاری در ارزیابی ضریب آسیب‌پذیری شهر اردبیل در برابر زلزله، محور اصلی در فرایند روش پژوهش در نظر گرفته شده است. روش مرتب‌سازی اولویت گزینه‌ها بر مبنای میزان مشابهت به راه حل ایده‌آل^۱ (تاپسیس)، یکی از رایج‌ترین روش‌ها در تعیین میزان انفکاک از موقعیت ایده‌آل محسوب می‌شود. بر اساس این روش بهترین گزینه، گزینه‌ای است که به طور همزمان، نزدیک‌ترین واحد به نقطه ایده‌آل و دورترین واحد از نقطه متصف به شرایط نامطلوب باشد. از امتیازهای مهم این روش آن است که همزمان می‌توان از

1. Technique for order preference by similarity to the ideal solution

شاخص‌ها و معیارهای عینی و ذهنی استفاده کرد. با این حال باید هنگام محاسبات ریاضی در این مدل، تمامی مقادیر نسبت داده شده به معیارها از نوع کمی باشند، در صورت کیفی بودن نسبت داده شده به معیارها، بایستی آنها را به مقادیر کمی تبدیل کرد. اگرچه روش تاپسیس را می‌توان هم در محیط رستری و هم در محیط برداری مربوط به GIS به کار برد، اما این روش به‌طور ویژه‌ای مناسب با ساختار داده‌های رستری است. روش کار مبتنی بر GIS، باید طی مراحل زیر انجام گیرد (مالچفسکی، ۱۳۸۵: ۳۷۵-۳۷۴):

مرحله اول: تشکیل ماتریس داده‌ها (رابطه ۱) براساس n آترناتیو و m شاخص که در آن x_{ij} معرف نمره خام پیکسل i ام در معیار j ام است.

$$X_{ij} = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{m1} & x_{m2} & \dots & x_{mn} \end{bmatrix} \quad \text{رابطه ۱}$$

مرحله دوم: در این مرحله با استانداردسازی داده‌ها، دامنه مقادیر (x_{ij}) را که در واحدهای اندازه‌گیری متفاوت (همچون واحد اندازه‌گیری رتبه‌ای، درصدی و متریک) وجود دارند، به یک دامنه استاندارد تبدیل کرده و مقادیر استاندارد شده داده‌ها (v_{ij}) را به دست آوریم. در چنین روندی، لایه‌های نقشه استاندارد می‌آید که می‌توان آنها را با هم مقایسه و ترکیب کرد (رابطه ۲).

$$V_{ij} = \begin{bmatrix} v_{11} & v_{12} & \dots & v_{1n} \\ v_{21} & v_{22} & \dots & v_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ v_{m1} & v_{m2} & \dots & v_{mn} \end{bmatrix} \quad \text{رابطه ۲}$$

مرحله سوم: وزن‌های (w_j) مربوط به هر صفت تعیین می‌شود، مجموع وزن‌ها باید به‌گونه‌ای باشد که $0 \leq w_j \leq 1$ و $\sum_j w_j = 1$ به دست آید.

مرحله چهارم: با ضرب هر ارزش از لایه صفت استاندارد شده v_{ij} در وزن متناظر بر آن (w_j) ، لایه‌های نقشه استاندارد شده وزنی ایجاد می‌شود. هر سلول از لایه‌ها، حاوی ارزش استاندارد شده وزنی v_{ij} هستند.

مرحله پنجم: ارزش حداکثر (v_{+j}) در هر یک از لایه‌های نقشه استاندارد شده وزنی، تعیین می‌شود (ارزش‌ها تعیین کننده نقطه ایده‌آل هستند)؛ یعنی $v_{+j} = (v_{max1}, v_{max2}, \dots, v_{maxn})$.

مرحله ششم: در این مرحله، ارزش حداقل (v_{-j}) برای هر لایه از نقشه استاندارد شده وزنی تعیین می‌شود (ارزش‌ها تعیین کننده نقطه حزیض هستند) به‌صورتی که $v_{-j} = (v_{min1}, v_{min2}, \dots, v_{minn})$.

مرحله هفتم: با استفاده از یک اندازه انفکاک، فاصله بین نقطه ایده‌آل و هر گزینه محاسبه می‌شود؛ یک انفکاک را می‌توان با استفاده از متریک فاصله اقلیدسی محاسبه کرد (رابطه ۳).

$$s_{i+} = \sqrt{\sum_j (v_{ij} - v_{+j})^2} \quad \text{رابطه ۳}$$

مرحله هشتم: با استفاده از همان اندازه انفکاک، فاصله بین هر گزینه و نقطه حزیض محاسبه می شود (رابطه ۴).

$$s_{i-} = \sqrt{\sum_j (v_{ij} - v_{-j})^2} \quad \text{رابطه ۴}$$

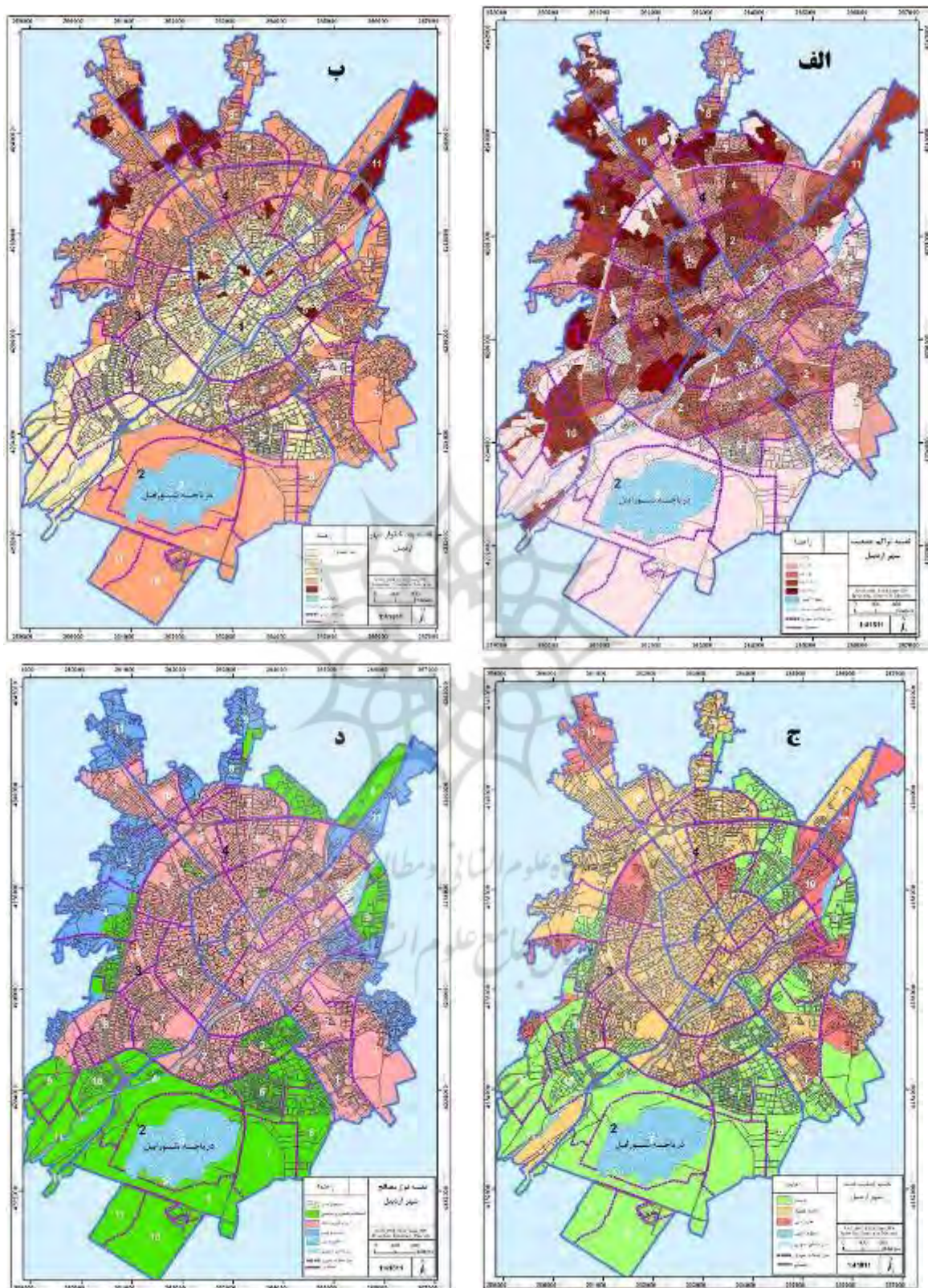
مرحله نهم: با استفاده از رابطه ۵، نزدیکی نسبی به نقطه ایده آل (C_{i+}) محاسبه می شود؛ به طوری که $0 < C_{i+} < 1$ است. بر این اساس هر اندازه یک گزینه به نقطه ایده آل نزدیکتر باشد، C_{i+} به سمت ۱ میل می کند (رابطه ۵).

$$C_{i+} = \frac{s_{i-}}{s_{i+} + s_{i-}} \quad \text{رابطه ۵}$$

مرحله دهم: در این مرحله گزینه‌ها برحسب یک ترتیب نزولی از C_{i+} رتبه بندی می شوند؛ گزینه‌ای که با بالاترین ارزش از C_{i+} همراه باشد، بهترین گزینه است.

ارزش گذاری و استانداردسازی دامنه تغییرات ثبت شده از معیارها: ارزش گذاری به این معناست که به مقادیر مشخص شده از معیارها برحسب میزان مطلوبیت، ارزشی تعلق گیرد. استاندارد کردن داده‌ها نیز، به معنای همسان کردن دامنه تغییرات استاندارد شده داده‌ها، در دامنه‌هایی همچون صفر تا ۱ و صفر تا ۲۵۵ است؛ زیرا معیارهای مورد استفاده در فرایند ارزیابی، ممکن است در واحدهای اندازه گیری متفاوتی مورد سنجش قرار گیرند (مانند زاویه اصطکاک در اندازه گیری مقاومت برشی خاک و متر در اندازه گیری فاصله از گسل)، در نتیجه در فرایند همپوشی نمی توان محاسبات ریاضی را روی آنها اعمال کرد. در این مقاله، فرایند عملیاتی ارزش گذاری و استانداردسازی، به صورت توأم و بر مبنای ارزش عضویت در مجموعه فازی به انجام رسیده است. فهرست نقشه‌های معیار مورد استفاده در این مقاله و مبنای نظری مطرح در ارزش گذاری و استانداردسازی مقادیر ثبت شده در نقشه‌های معیار عبارتند از:

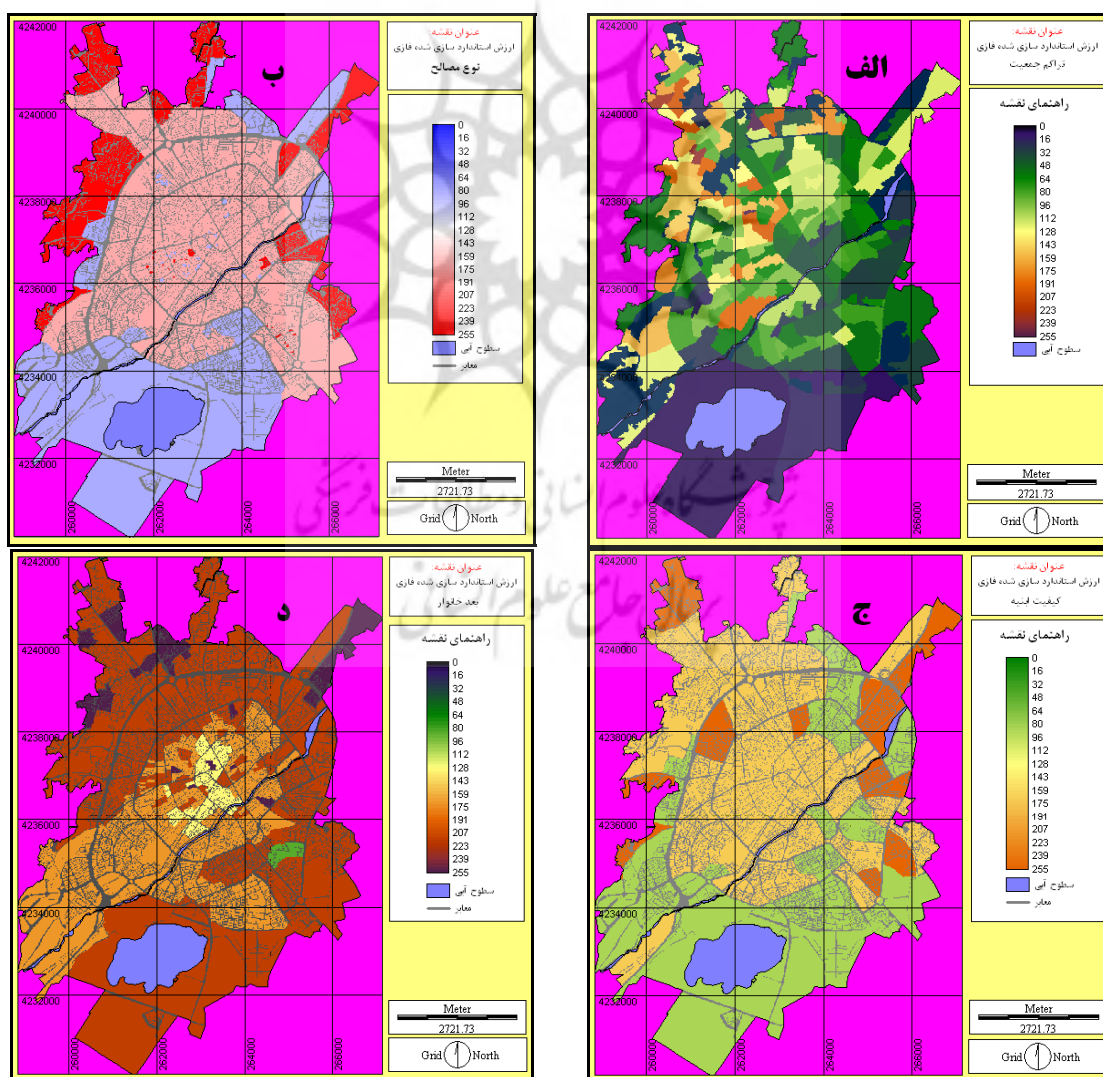
- تراکم جمعیت: شاخصی برای مشخص کردن بار جمعیتی در مواقع زلزله است و در نتیجه با بیشتر شدن تراکم جمعیت، سرعت پناه گیری و خدمات رسانی و امداد پایین می آید و برعکس (شکل ۴- الف).
- بُعد خانوار: بالا بودن شاخص بُعد خانوار در واحد مسکونی، احتمال افزایش تلفات انسانی را بیشتر می کند؛ یعنی هرچه فضای آزاد در واحدهای مسکونی کمتر باشد، میزان آسیب پذیری بیشتر خواهد بود و برعکس (شکل ۴- ب).
- کیفیت ابنیه: این شاخص تأثیر بسیار مهمی بر میزان آسیب پذیری ساختمان دارد. احتمال مقاومت ساختمان‌های با کیفیت بالا (نوساز) در مقابل زلزله، نسبت به ساختمان‌های مخروبه و مرمتی بیشتر است. شایان ذکر است که 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 (شکل ۴- ج). در عین حال رعایت نکردن اصول آیین نامه زلزله در ساخت و ساز ساختمان نیز، باعث کاهش کیفیت بنا می شود (ستوده، ۱۳۸۰: ۱۷۰).
- نوع مصالح: نوع مصالح سازه‌ها یکی از معیارهای مهم و مؤثر در تعیین ضریب آسیب پذیری شهرها در برابر زلزله محسوب می شود. بدیهی است سازه‌هایی که با مصالح مقاوم و استاندارد بالا ساخته شده‌اند، ایمنی مناسبی در برابر زلزله داشته و امنیت بالایی برای ساکنان فراهم می کنند (شکل ۴- د).



شکل ۴. الف: نقشه معیار تراکم جمعیت؛ ب: نقشه معیار بعد خانوار؛ ج: نقشه معیار کیفیت ابنیه
د: نقشه معیار نوع مصالح شهر اردبیل

برای اینکه نقشه معیارهای بیان شده قابلیت انجام عملیات و محاسبات ریاضی را داشته باشد با استفاده از تابع فازی در محیط رستری نرم افزار IDRISI Kilimanjaro، نقشه فازی استاندارد شده در حد فاصل ۰-۲۵۵ برای نقشه معیارهای فوق تهیه شد.

در نقشه های فازی شده، مناطقی که امکان آسیب پذیری بالایی دارند، از سایر مناطق جدا شدند. برای مثال در نقشه تراکم جمعیت، مناطقی با تراکم جمعیت بالا؛ در نقشه بعد خانوار، مناطق دارای خانوارهای پرجمعیت تر؛ در نقشه نوع مصالح، سازه هایی که با مصالح کم دوام و از نوع خشت و چوب ساخته شده و در نهایت، در نقشه کیفیت ابنیه، سازه های که به دلیل قدمت بالا و فرسودگی استخوان بندی سازه از نوع تخریبی یا درکل فاقد استخوان بندی هستند، جزء مناطق با پتانسیل بالایی آسیب پذیری قرار گرفتند. از این رو در نقشه های فازی استاندارد شده با توجه به روش استاندارد سازی، ارزش عددی برای این گونه مناطق، به سمت عدد ۲۵۵ میل می کند (شکل ۵).



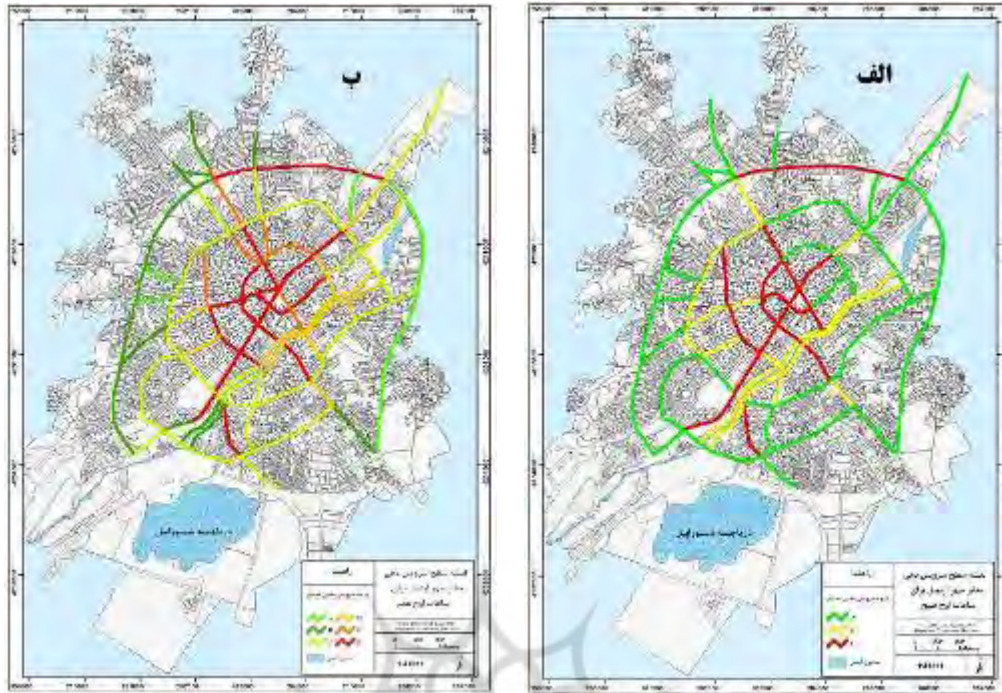
شکل ۵. الف: نقشه فازی استاندارد شده برای معیار تراکم جمعیت؛ ب: نقشه فازی استاندارد شده برای معیار نوع مصالح؛ ج: نقشه فازی استاندارد شده برای معیار کیفیت ابنیه و د: نقشه فازی استاندارد شده برای معیار بعد خانوار شهر اردبیل

دسترسی به مراکز امداد و نجات: این شاخص بیشتر با زمان بعد از وقوع حادثه در ارتباط است. از مهم‌ترین عوامل مؤثر در بحث کارایی سنجی مراکز امداد و نجات که تعیین‌کننده سطح عملکرد این مراکز در مواقع بحرانی است، می‌توان به شاخص تراکم جمعیت، مساحت و شعاع پوشش، شبکه ترافیک و سطح سرویس‌دهی معابر اشاره کرد. از این رو دسترسی سریع و آسان به مراکز امداد و نجات، موجب تسریع عملیات امداد و نجات و خدمات‌رسانی می‌شود. به این ترتیب با دور شدن از این مراکز، احتمال آسیب‌پذیری افزایش می‌یابد.

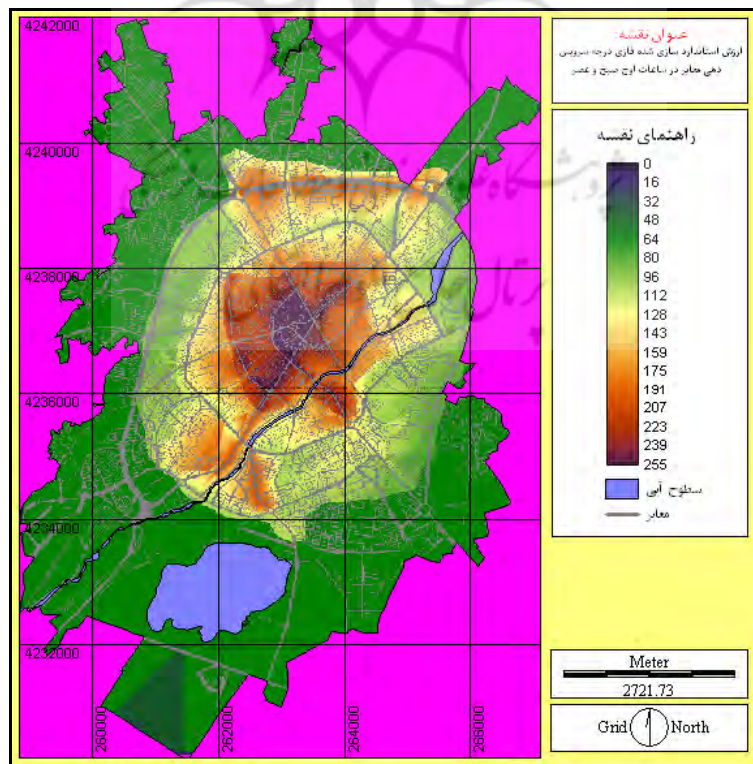
کاربری اراضی: بسته به نوع کاربری، احتمال آسیب‌پذیری بیشتر یا کمتر می‌شود. کاربری‌های مسکونی یکی از مهم‌ترین کاربری‌هایی است که در سطح اراضی شهری به‌طور گسترده وجود دارد. در عین حال کاربری‌هایی در شهر وجود دارند که در بحث چگونگی کنترل بحران ناشی از زلزله و کاهش اثرات سوء آن، اهمیت حیاتی پیدا می‌کنند (ایری، ۱۳۷۷: ۱۴۷). از این رو است که در این مواقع، اهمیت بنا مطرح می‌شود.

معابر: آسیب‌پذیری معابر به ساختار فضایی معابر پرداخته و در زمینه تخلیه عمومی به‌کار می‌رود تا قسمت‌های آسیب‌پذیر ساختار شهری مشخص شود. آسیب‌پذیری به ساختار شبکه به این دلیل اهمیت می‌یابد که در شبکه راه‌ها، هرچه تعداد تقاطع‌ها و لوپ‌ها بیشتر باشد و معابر از عرض بیشتری برخوردار باشند، دسترسی و امدادسانی سریع‌تر و راحت‌تر انجام می‌گیرد؛ زیرا در صورت مسدودشدن یا تخریب یکی از راه‌ها، می‌توان از مسیرهای دیگر به محل مورد نظر رسید. از سوی دیگر، باید به مقوله ترافیک معابر و جریان رفت و آمد در شبکه‌های ارتباطی، به‌ویژه در ساعات اوج تردد توجه ویژه‌ای کرد. با مطالعه وضعیت معابر، می‌توان قسمت‌های آسیب‌پذیر در زمان تخلیه را مشخص کرد. در این میان سهولت دسترسی نقش حیاتی دارد (حبیبی، ۱۳۸۹: ۳۸). در تهیه نقشه معیار درجه سرویس‌دهی معابر، دو بازه زمانی مد نظر بوده است. سطح سرویس‌دهی معابر در ساعات اولیه صبح و سطح سرویس‌دهی معابر در ساعات اولیه عصر (شکل ۶- الف و ب) که از تلفیق آنها، نقشه معیار مورد نظر تهیه شده است. نکته‌ای در اینجا باید به آن اشاره کرد، اینکه محلات و مناطقی که دورتر از معابر با درجه سرویس‌دهی پایین قرار دارند، نسبت به مناطقی با فاصله نزدیکتر از این معابر، دچار آسیب‌پذیری بیشتری می‌شوند. در این نقشه مناطقی که ارزش عددی آنها به سمت عدد ۲۵۵ میل می‌کند، از درجه مطلوبیت کمتری برپایه درجه سرویس‌دهی برخوردار هستند (شکل ۷). این مناطق نامطلوب بیشتر در مناطق مرکزی شهر قرار دارند که به دلیل تردد بالای وسایل نقلیه از یک سو و کم‌عرض بودن معابر از سوی دیگر، همواره با ترافیک سنگین همراه هستند. از این رو، معابر واقع در این مناطق درجه سرویس‌دهی پایینی دارند که در زمان وقوع زلزله این معابر با مشکل تردد وسایل و خودروهای امدادی مواجه خواهند شد.

تعداد طبقات: 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 بسته‌شدن معابر به دلیل ریختن آوار ساختمان‌های بلندمرتبه بالا می‌رود و موجب اختلال در امر امدادسانی 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 و احتمال آسیب‌پذیری را در این گونه ساختمان‌ها بالا می‌برد (قائدرحمتی، ۱۳۹۰: ۱۱۶).



شکل ۶. الف: نقشه معیار سطح سرویس دهی معابر شهر اردبیل برای ساعات اولیه صبح و
ب: نقشه معیار سطح سرویس دهی معابر شهر اردبیل برای ساعات عصر



شکل ۷. نقشه فازی استاندارد شده معیار سطح سرویس دهی معابر شهر اردبیل
برای ساعات اولیه صبح و عصر

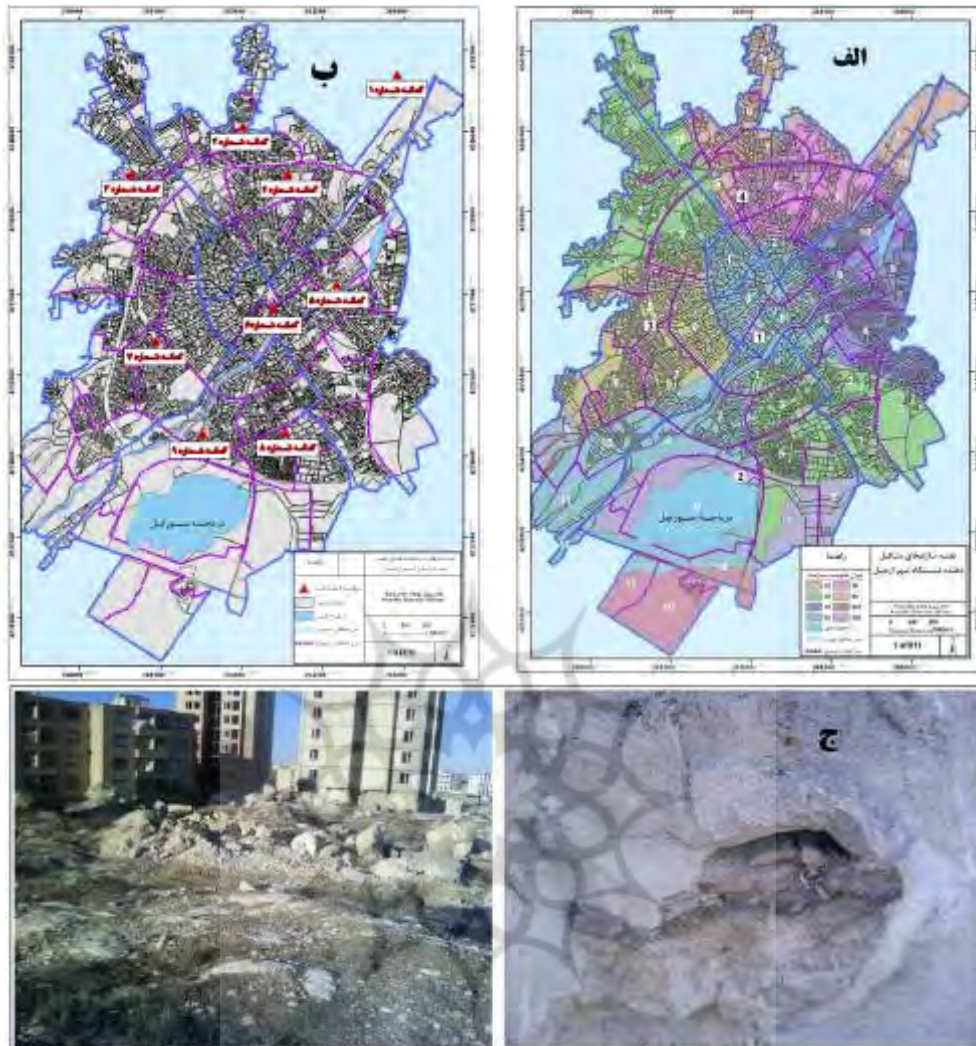
تراکم ساختمان: درصدی از مساحت زمین است که به صورت عمودی برای ساختمان‌سازی استفاده می‌شود و با بیشتر شدن آن، احتمال تخریب و آسیب‌پذیری بیشتر می‌شود. برای مثال رایج است که ۶۰ درصد سطح زمین را به بنا اختصاص دهند، از این رو تراکم ۱۲۰ درصد، یعنی از یک ساختمان دو طبقه ۶۰ درصد زمین زیر بنای هر طبقه خواهد بود. شایان ذکر است که در بحث تراکم ساختمانی، باید به عرض معبر در چگونگی روند اعطای تراکم‌ها توجه کرد که از دسته مقوله‌های مهم در امر ساختمان‌سازی است (ستوده، ۱۳۸۰: ۱۷۰).

تأسیسات خطرزا: تأسیسات خطرزا به آن گروه از تأسیساتی گفته می‌شود که در ارتباط با مواد خطرناک قرار دارند. این تأسیسات می‌توانند باعث خطرهای ثانویه‌ای چون آتش‌سوزی و انفجار شوند. استقرار کاربری‌هایی با پتانسیل بالای آسیب‌رسانی در کنار سایر کاربری‌ها، میزان آسیب‌پذیری را افزایش می‌دهد. بنابراین انتقال این گونه تأسیسات به خارج از شهر یا در نظر گرفتن حریم مناسب برای آنها، می‌تواند راه حل مناسبی برای کاهش میزان آسیب محسوب شود (مطالعات جایکا، ۱۳۸۰: ۹۷).

سازندهای سطحی: براساس تجربه‌های حاصل از زلزله‌هایی که تاکنون در اکثر نقاط دنیا رخ داده‌اند و با بررسی علل اساسی و مؤثر در تخریب ساختمان‌ها بر اثر وقوع زلزله، بیشتر متخصصان معتقدند که خسارت‌های وارده بر ساختمان‌ها به‌طور چشمگیری بستگی به ساخت زمین محل سازه دارد (خانلری، ۱۳۷۷: ۲۹۹-۲۹۸). در خاک نرم، به‌ویژه در جایی که بافت مواد ریز و از آب اشباع شده‌اند، تکان‌ها و شتاب بعدی، امواج ارتعاشی را خیلی بیشتر می‌کنند. ثابت شده است که در بیشتر موارد، خسارت ایجاد شده در خاک‌های نرم ۵ تا ۱۰ برابر بیشتر از مناطق سنگی سخت مجاور است (روستایی، ۱۳۸۶: ۱۰۸-۱۰۷).

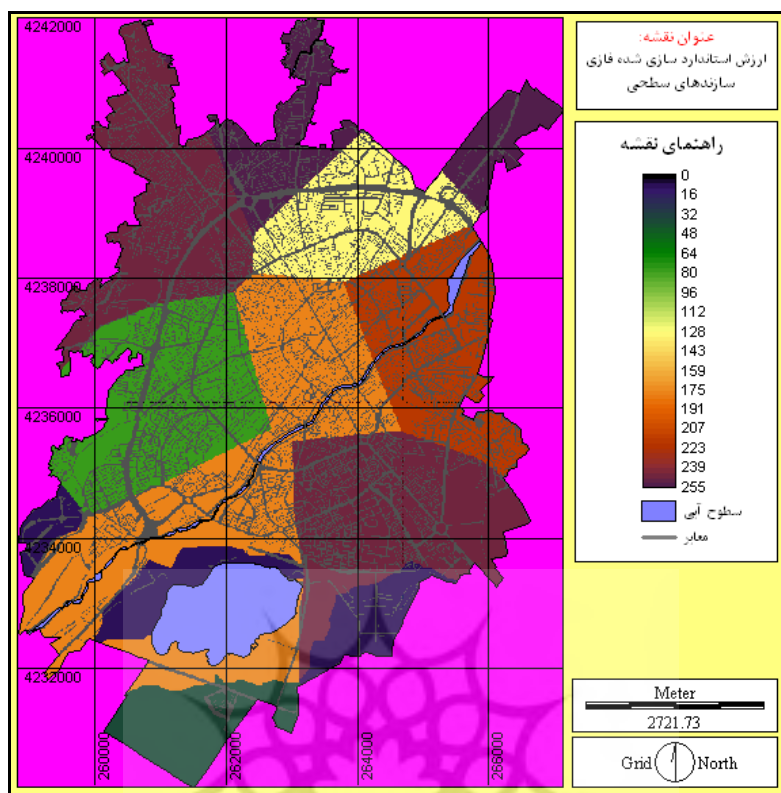
برای تعیین ویژگی‌ها و واکنش‌های خاک محدوده مورد مطالعه در برابر زلزله و رفتاری که این سازندها می‌توانند در برابر زلزله از خود نشان دهند، نیاز به تعیین میزان مقاومت برشی سازندهای منطقه بود که باید طی آزمایش‌های برش مستقیم خاک انجام می‌گرفت. برای به‌دست آوردن این اطلاعات، از نتایج مطالعات ژئوتکنیکی شرکت سهامی آزمایشگاه فنی و مکانیک خاک استان اردبیل استفاده شد که در ۹ نقطه از شهر و با حفر لوگ انجام پذیرفته بود (شکل ۸-ب). این مجموعه مطالعات، اطلاعات با ارزشی از میزان مقاومت برشی، وضعیت دانه‌بندی، آزمون نفوذ استاندارد (SPT) ۱، حد خمیری، حد روانی، اندازه ذرات و مانند اینها را در اختیار قرار داد (شکل ۸-الف).

گفتنی است که محدوده‌های واقع در حاشیه دریاچه شورابیل و جنوب شهر اردبیل، دارای بستری سنگی از جنس تراورتن (شکل ۸-ج)، توف و مارن با میان‌لایه‌هایی از آهک آب شیرین، کنگلومرا و ماسه سنگ هستند که برای تعیین میزان مقاومت این سازندها، از نتایج آزمایش‌های آزمون فشار تک‌محوری استفاده شد. در ادامه با استفاده از تابع فازی در محیط IDRISI Kilimanjaro، نقشه معیار سازندهای سطحی برمبنای درجه عضویت در مجموعه فازی، حد فاصل صفر تا ۲۵۵ ارزش‌گذاری و استانداردسازی شد (شکل ۹). در این ارزش‌گذاری، دامنه‌های نزدیکتر به عدد ۲۵۵، از نظر مقاومت برشی وضعیت نامطلوبی دارند.



شکل ۸. الف: نقشه مقاومت برشی سازندهای سطحی شهر اردبیل؛ ب: نقشه موقعیت گمانه‌های حفر شده در سطح شهر اردبیل و ج: تصویر سازندهای تراورتنی در محدوده شهرک کارشناسان اردبیل

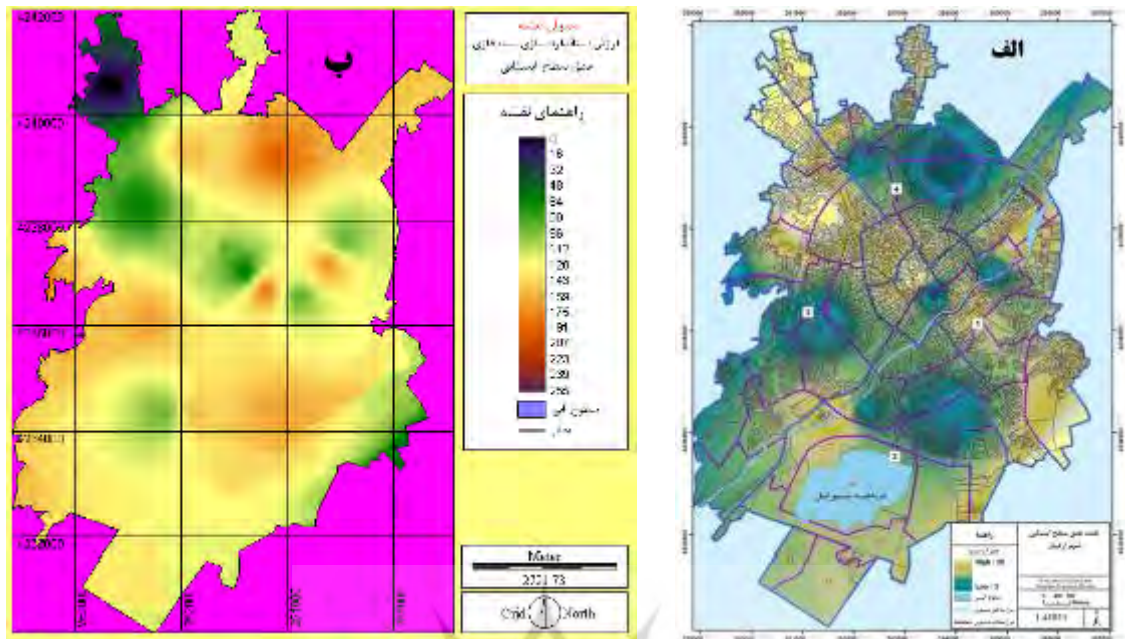
سرعت امواج عرضی (V_s): سرعت امواج زلزله بستگی به جرم مخصوص و خاصیت روان شدن سنگ‌هایی دارد که از آنها عبور می‌کنند. سرعت امواج زلزله در سنگ‌های متراکم و صلب، زیاد و در سنگ‌های سبک‌تر و نرم‌تر، کم است. به‌علاوه، ازدیاد فشار باعث افزایش سرعت امواج و ازدیاد درجه حرارت باعث کاهش سرعت امواج زلزله می‌شود. بنابراین سرعت امواج (S) در سازندهای مختلف، متفاوت است؛ به‌گونه‌ای که این سرعت در سنگ بازالت $3/2$ کیلومتر بر ثانیه و در ماسه نرم 60 متر بر ثانیه است. سرعت انتشار امواج در هر نقطه جسم، تابع چگالی و مدول‌های کشسانی در آن نقطه است (لهانگ، $1373: 24$). از این رو، سازه‌هایی که روی سازندهایی با مقاومت پایین احداث می‌شوند، به‌دلیل پایین بودن سرعت امواج برشی در آنها، ضریب آسیب‌پذیری بالایی در برابر زلزله دارند.



شکل ۹. نقشه فازی استاندارد شده مقاومت برشی سازندهای سطحی شهر اردبیل

عمق سطح ایستابی: توجه به عمق سطح ایستابی برای پهنه‌بندی مناطق در برابر خطر زلزله و تأثیر مشترک آب و خاک در بررسی مسائل ژئوتکنیک و توان باربری خاک، حائز اهمیت ویژه است. اگرچه در خاک‌هایی با دانه‌بندی پیوسته، وجود آب در خاک به خودی خود کم اهمیت است، اما در بعضی از لایه‌های خاک، درصد بسیاری از مواد ریزدانه به‌خصوص ذرات رس دیده می‌شود که وجود آب در این لایه‌ها، عامل مهمی در تقلیل خصوصیات مکانیکی خاک و کاهش توان باربری و افزایش نشست خاک تحت بارگذاری است. از این رو بررسی اثرات توأم آب و خاک در نقاطی با سطح آب زیرزمینی زیاد، لازم است (گت میری، ۱۳۸۳: ۲۵-۲۴).

در تهیه نقشه سطح ایستابی آبهای زیرزمینی، از اطلاعات سازمان آب منطقه‌ای استان اردبیل استفاده شد (شکل ۱۰-الف). در ارزش‌گذاری نقشه معیار عمق سطح ایستابی، مناطقی که در آن عمق سطح ایستابی به سطح زمین نزدیکتر بود، جزء مناطق با ضریب آسیب‌پذیری بالا طبقه‌بندی شدند؛ به این دلیل که اولاً آب موجود در خاک هنگام بروز زلزله، در مقابل تغییر شکل یا شکست به‌صورت سطح بی‌اثر و خنثی عمل می‌کند (خانلری، ۱۳۷۷: ۲۲۴)؛ ثانیاً بالابودن سطح ایستابی در سازندهای ریزدانه، به‌ویژه سازندهای ماسه‌ای، احتمال وقوع روانگرایی را افزایش می‌دهد، کمالینکه بستر شهر اردبیل عمدتاً از مواد آبرفتی سست و در بعضی مناطق، از مواد ماسه‌ای ریزدانه تشکیل یافته است. از این رو در نقشه ارزش‌گذاری شده، مناطقی که مقادیر عددی پیکسل‌های تشکیل‌دهنده آن به سمت عدد ۲۵۵ تمایل دارند، وضعیت نامطلوبی به‌لحاظ معیار فوق دارند و احتمال آسیب در این مناطق افزایش می‌یابد (شکل ۱۰-ب).



شکل ۱۰. الف: نقشه عمق آبهای زیرزمینی شهر اردبیل؛ ب: نقشه فازی استاندارد شده عمق آبهای زیرزمینی شهر اردبیل

حداکثر شتاب زلزله: مقیاسی از نیروی وارده بر سازه است. برخی از خصوصیات حرکات زمین شامل، حداکثر حرکات زمین (حداکثر شتاب، حداکثر سرعت و حداکثر تغییر مکان زمین)، مدت دوام حرکات شدید و محتوای فرکانس، تأثیر عمده‌ای بر پاسخ سازه در زمین لرزه دارند، به طوری که حداکثر حرکات زمین، عمدتاً روی دامنه ارتعاشات اثر می‌گذارد. مدت دوام حرکات شدید تأثیر بسیاری بر شدت جنبش و تکان سازه دارد. هرچه که زمین لرزه دارای حداکثر شتاب متوسط و مدت دوام طولانی باشد، خسارات بیشتری از زمین لرزه‌ای با شتاب بزرگتر اما مدت دوام کوتاه‌تر بر جای می‌گذارد. پژوهشگران وابستگی حداکثر شتاب زمین با فاصله تا مرکز زمین لرزه را به صورت کاهیدگی تعریف می‌کنند. بر اساس این بررسی‌ها مشاهده می‌شود، با افزایش فاصله تا مرکز زلزله، حداکثر شتاب زمین کاهش می‌یابد (تهرانی‌زاده، ۱۳۸۱: ۳۹). برای تهیه نقشه حداکثر شتاب از تابع Image Calculator در محیط IDRISI Kilimanjaro و رابطه ۶ استفاده شد. در این فرایند نقشه فاصله از گسل به جای مؤلفه R در رابطه ۶ قرار گرفت. همچنین نقشه به دست آمده از بزرگی زلزله به کمک روابط ۷ و ۸ به جای مؤلفه M از معادله فوق قرار داده شد. به این ترتیب نقشه حداکثر شتاب برای محدوده مورد مطالعه به دست آمد.

برای تعیین حداکثر شتاب از رابطه ۶ استفاده شده است.

$$a = \frac{1.0 \cdot e^{-\Delta M}}{(R + 25)^{1/22}} \quad \text{رابطه ۶}$$

در این رابطه؛ a: حداکثر شتاب در مقیاس گال؛ c: ضریب ثابت و برابر با مقدار ۲/۷۱۸؛ M: بزرگی زلزله در مقیاس ریشتر و R: فاصله از گسل برحسب کیلومتر است.

برای تعیین شدت زمین‌لرزه در محل شهر یا ساختگاه، رابطه ۷ مورد استفاده قرار گرفت.

$$I_R = I + 6/453 - 0/00121 (R) - 4/960 \log (R + 20) \quad \text{رابطه ۷}$$

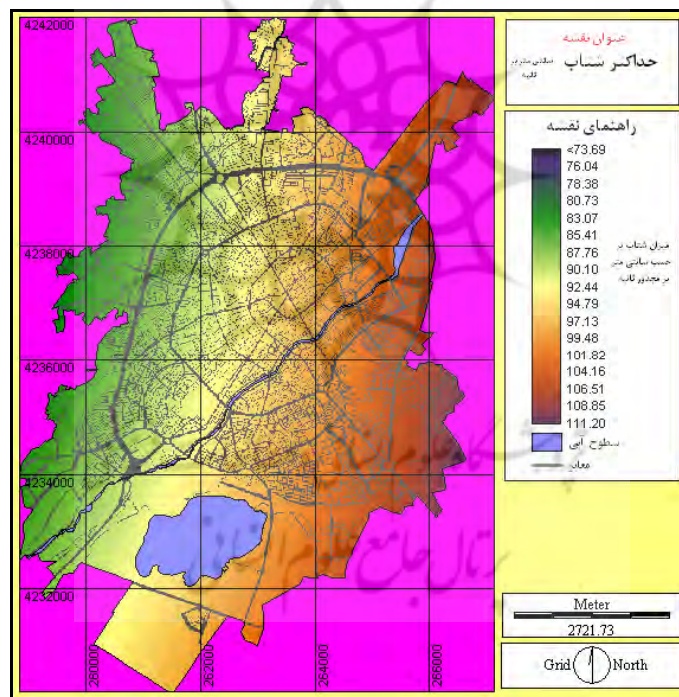
در این رابطه؛ I_R : شدت زمین‌لرزه در محل سازه در مقیاس مرکالی؛ I : شدت زمین‌لرزه در محل کانون زمین‌لرزه در مقیاس مرکالی و R : فاصله کانونی بر حسب کیلومتر است.

برای تبدیل شدت زلزله به بزرگی رابطه ۸ به کار گرفته شده است.

$$I = 1/7 Ms - 2/8 \quad \text{رابطه ۸}$$

در این رابطه؛ I : شدت زلزله در مقیاس مرکالی و Ms : بزرگی زلزله در مقیاس ریشتر است.

در ادامه فرایند، نقشه رستری تهیه شده از حداکثر شتاب برای محدوده مورد مطالعه با استفاده از تابع فازی در محیط IDRISI Kilimanjaro، بر مبنای درجه عضویت در مجموعه فازی و در حد فاصل صفر تا ۲۵۵ ارزش‌گذاری و استانداردسازی شد. در این نقشه، هرچه به دامنه عددی ۲۵۵ نزدیک می‌شویم، درجه مطلوبیت برپایه عامل حداکثر شتاب کاهش می‌یابد (شکل ۱۱).



شکل ۱۱. نقشه حداکثر شتاب ایجاد شده توسط گسل‌های بیرامون شهر اردبیل

حداکثر توان لرزه‌زایی گسل: با توجه به جمع‌شدن انرژی کرنشی در گسل‌ها و سازوکار وقوع اکثر زلزله‌های تکنونیکی، طول گسل از مشخصه‌های اصلی یک زلزله به‌شمار می‌رود و نتایج اکثر محققان بر این امر استوار است که رابطه‌ای بین طول گسل و حداکثر توان لرزه‌زایی آن ارائه دهند. البته به‌طور حتم تمام طول گسل در امر ذخیره‌سازی انرژی مورد نظر، نقش نخواهد داشت. معمولاً در این رابطه فرض بر آن است که نصف طول یک گسل در روابط لحاظ شود. یافته‌های سلمونز بیان می‌کند که برای گسل‌های بین ۳۰۰ تا ۱۳۰۰ کیلومتر، طول گسیخته‌شده بین ۱۷ تا ۳۷ درصد است (برگی، ۱۳۸۲: ۱۴۶).

مدت تداوم زلزله: از عوامل بسیار مهم در ارزیابی میزان تخریب ناشی از زمین لرزه، مدت زمانی است که یک سازه تحت تأثیر نوسان‌های زمین قرار می‌گیرد. از این رو خسارت به ساختمان‌ها، علاوه بر نحوه ساخت و نوع مصالح به کار برده شده و جنس زمینی که سازه در آن استقرار یافته، به تداوم و استمرار زلزله نیز بستگی دارد و حتی می‌تواند در صورت پیروی از اصول فوق، منجر به خسارت شود (پور کرمانی، ۱۳۷۶: ۱۰۷).

فاصله از گسل: بسترهای اختصاص یافته به ساخت‌وسازهای شهری و صنعتی باید در محدوده‌هایی انتخاب شود که در آنها حریم خطوط گسل رعایت شده و از پایداری لازم به منظور کاهش خطرات ناشی از زمین لرزه احتمالی برخوردار باشند. در مجموع می‌توان گفت با فاصله گرفتن از خطوط گسل، شاهد افزایش سطح مطلوبیت در رابطه با موضوع خطر زلزله هستیم.

روش وزن دهی نقشه‌های معیار

بررسی روابط بین انواع عوامل و ویژگی‌های مؤثر در امر آسیب‌پذیری ناشی از زلزله، نشان می‌دهد که اغلب عوامل مؤثر در تعیین پهنه‌های آسیب‌پذیر، از اهمیت یکسانی برخوردار نیستند. بنابراین برای ارزیابی دقیق‌تر، لازم است تا اهمیت نسبی هر یک از عوامل مشخص شده و براساس آن، ضرایب ویژه‌ای (وزن) به آنها اختصاص داد تا در تجزیه و تحلیل اطلاعات اعمال شود. تاکنون روش‌های متعددی در تعیین وزن استفاده شده است که روش‌های مقایسه زوجی^۱ و CRITIC^۲ از جمله آنها هستند. در پژوهش حاضر از روش CRITIC با پیش فرض‌هایی که ذیل آن وجود دارد، استفاده شده است. در این روش داده‌ها براساس میزان تداخل و تضاد موجود بین عوامل یا معیارها مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرند (جهانی، ۱۳۷۶: ۷۱). با تأمل در کاربرد و فلسفه به کارگیری این روش، می‌توان گفت که مفروضات زیر در تعیین وزن هر معیار، دخیل هستند:

- اگر پهنه‌های مختلف در یک محدوده جغرافیایی، به لحاظ یک معیار وضعیت مشابهی داشته باشند، آن معیار عاملی تعیین کننده در کلاس بندی و اولویت بندی پهنه‌ها تلقی نمی‌شود. این وضعیت می‌تواند به پایین آمدن وزن آن معیار کمک کند، حتی اگر معیار مورد نظر، به خودی خود از اهمیت زیادی برخوردار باشد. برای مثال اگر همه پهنه‌های واقع در یک محدوده جغرافیایی از شرایط همواری برخوردار باشند، معیار شیب نمی‌تواند عامل تمیزکننده در اولویت بندی گزینه‌ها مطرح باشد و در نتیجه وزن اختصاص یافته به شیب کاهش می‌یابد. بنابراین میزان انحراف معیار در رابطه با هر یک از عامل‌های مورد استفاده، می‌تواند نشان از میزان همگنی یا ناهمگنی داشته باشد. در این راستا انحراف معیار پایین‌تر، می‌تواند در کاهش وزن تأثیرگذار باشد.

- هرچه همبستگی مثبت معیارها با هم بیشتر باشد، به همان نسبت در نظر گرفتن تغییرات یک معیار به عنوان معرف بر تغییرات معیار دیگر، توجیه پذیر می‌شود. برای نمونه اگر دو معیار افزایش درآمد و افزایش رفاه را داشته باشیم و این دو معیار همبستگی بالایی را به نمایش بگذارند، در چنین حالتی افزایش درآمد، معرف افزایش رفاه نیز می‌تواند تلقی شود. در چنین شرایطی ممکن است وزن معیار افزایش رفاه تا نزدیکی صفر نیز تنزل کند.

1. Pair – wise Comparison

2. Criteria Importance Through Intercriteria Correlation

• اگر عامل یا معیاری از یک سو انحراف معیار بیشتری داشته باشد و از سوی دیگر، سرجمع تضاد آن با معیارهای دیگر بیشتر باشد، دایره میزان اطلاعات که در ذیل آن معیار نهفته شده است، گسترده‌تر است و به پشتوانه دایره بازتر از میزان اطلاعات، می‌تواند نقش تعیین‌کننده‌تری در تمییز گزینه‌های مکانی به لحاظ سطح اولویت داشته باشد. در این روش پس از محاسبه انحراف معیار عوامل و معیارهای مورد بررسی، ماتریس مقارنی به ابعاد $m \times m$ ایجاد می‌شود که شامل ضرایب همبستگی^۱ بین بردارهای تشکیل شده است. با تعیین پارامترهای فوق، تضاد موجود بین معیار z با معیارهای دیگر با استفاده از رابطه ۹ محاسبه می‌شود.

$$C_{jk} = \sum_{k=1}^m (1 - r_{jk}) \quad \text{رابطه ۹}$$

که در این رابطه؛ C_{jk} معرف مجموع تضاد معیار z با معیارهای k است که از $k=1$ شروع شده و تا $k=m$ ادامه دارد و r_{jk} : همبستگی بین دو معیار k و z را نشان می‌دهد. همان‌گونه که پیش از این گفته شد، در مسائل چند معیاره اطلاعات در ارتباط با میزان تداخل و تضاد بیان می‌شود. بنابراین، میزان اطلاعات عامل z را با استفاده از رابطه ۱۰ می‌توان محاسبه کرد (جهانی، ۱۳۷۶).

$$C_j = \delta_j \sum_{k=1}^m (1 - r_{jk}) \quad \text{رابطه ۱۰}$$

که در آن؛ C_j : معرف میزان اطلاعات معیار z و δ_j : انحراف معیار در مقادیر مربوط به عامل یا معیار z را نشان می‌دهد. با توجه به روابط فوق، معیارهایی که C_j بیشتری دارند، وزن زیادی به خود اختصاص خواهند داد. وزن هر عاملی مانند z از رابطه ۱۱ تعیین می‌شود.

$$w_j = \frac{C_j}{\sum_{k=1}^m C_k} \quad \text{رابطه ۱۱}$$

که در آن؛ w_j معرف وزن معیار z و C_k : معرف میزان اطلاعات مجموع معیارهای k است که از $k=1$ شروع شده و تا $k=m$ ادامه دارد. جدول ۲ وزن نهایی معیارهای مورد استفاده در فرایند پژوهش را نشان می‌دهد.

یافته‌های پژوهش

برایند عملیاتی‌سازی مراحل و دستور کارهای مطرح شده در مدل تاپسیس، یک نقشه اولویت‌بندی شده از دامنه تغییرات ارزش‌های به دست آمده در تعیین میزان آسیب‌پذیری ناشی از زلزله در شهر است که امتیاز آنها در دامنه بین صفر و یک مشخص می‌شود (شکل ۱۲). با توجه به فرایندی که در هنگام فازی‌سازی داده‌ها از آن استفاده شد و ارزش بیشتر، به مناطق با آسیب‌پذیری بالا اختصاص یافت؛ لذا در خروجی حاصل از مدل تاپسیس، قاعدتاً ارزش بالاتر به مناطقی با

آسیب پذیری بالا تعلق خواهد گرفت. از این رو هر پیکسلی که نمره آن به عدد یک نزدیکتر باشد، نشانگر شرایط نامطلوب تر پیکسل از لحاظ میزان آسیب پذیری است و آن محدوده جزء مناطق با آسیب پذیری بالا به شمار می رود.

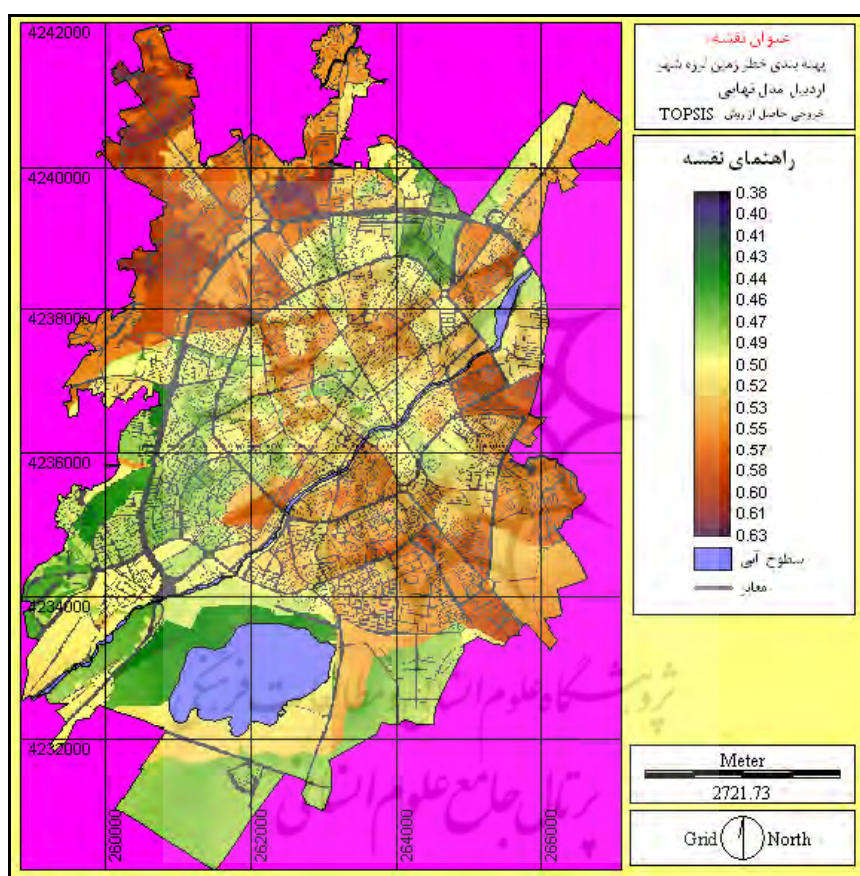
جدول ۲. مجموع تضاد، انحراف معیار، میزان اطلاعات و وزن نهایی معیارهای مطرح در تحلیل میزان آسیب پذیری شهر اردبیل در برابر زلزله

نام معیار	مجموع تضاد	انحراف معیار	میزان اطلاعات	وزن نهایی
سازندهای سطحی	۱۵/۰۷	۹۷/۷۸	۱۴۷۴/۴۴	۰/۰۷۲
نوع مصالح	۱۵/۷۱	۸۳/۲۲	۱۳۰۷/۵۹	۰/۰۶۴
تعداد طبقات	۱۷/۴	۷۳/۵۳	۱۲۷۹/۷۶	۰/۰۶۳
تراکم جمعیت	۱۹/۹	۶۳/۵۷	۱۲۶۵/۱۶	۰/۰۶۲
بعد خانوار	۱۴/۷۷	۸۴/۹۲	۱۲۵۵/۰۸	۰/۰۶۱
فاصله از گسل	۲۱/۶۵	۵۷/۰۱	۱۲۳۴/۲۸	۰/۰۶
کیفیت ابنیه	۱۵/۴۵	۷۶/۴۶	۱۱۸۱/۷۴	۰/۰۵۸
ف. پمپ بنزین	۲۰/۴	۵۴/۱۶	۱۱۰۵/۱۲	۰/۰۵۴
حداکثر شتاب زلزله	۱۷/۶۶	۶۱/۴۵	۱۰۸۵/۶۶	۰/۰۵۳
معیار	۲۰/۶۸	۵۰/۸۲	۱۰۵۱/۷۲	۰/۰۵۱
تراکم ساختمان	۱۶/۵	۶۱/۶۹	۱۰۱۸/۳۱	۰/۰۵
ف. بیمارستان	۱۸/۲۲	۵۲/۲۲	۹۵۲/۵۵	۰/۰۴۷
ف. ایستگاه آتش نشانی	۱۸/۴۷	۴۹/۷۶	۹۱۹/۲۲	۰/۰۴۵
حداکثر توان لرزه زایی گسل	۱۸/۲۶	۵۰/۶	۹۲۴/۰۸	۰/۰۴۵
ف. ایستگاه آتش نشانی	۱۹/۱۸	۴۵/۸۳	۸۷۹/۱۲	۰/۰۴۳
مدت تداوم زلزله	۱۷/۵۵	۴۹/۸۳	۸۷۴/۸۴	۰/۰۴۳
سرعت امواج عرضی	۱۸/۰۱	۴۷/۴۸	۸۵۵/۲۶	۰/۰۴۲
ف. پست های هوایی برق	۱۹/۴۱	۳۵/۴۱	۶۸۷/۳۶	۰/۰۳۴
عمق سطح ایستایی	۲۰/۴۱	۲۸/۱	۵۷۳/۵۲	۰/۰۲۸
کاربری اراضی	۱۶/۰۷	۳۳/۱۷	۵۳۳/۱۸	۰/۰۲۶

منبع: محاسبات نگارندگان

خروجی حاصل از مدل تاپسیس که در محیط رستری نرم افزار ادریسی تهیه شد، پهنه های آسیب پذیر سطح شهر را در قالب شبکه پیکسلی نمایش می دهد؛ شبکه ای که اندازه هر پیکسل آن برای افزایش دقت نقشه خروجی، ۱۵×۱۵ متر در نظر گرفته شد. از این رو مساحتی که هر پیکسل پوشش می دهد، حدود ۲۲۵ متر مربع از سطح شهر است. دامنه عددی در نقشه فوق که در واقع همان دامنه آسیب حاصل از زلزله است، بازه ای به طول $۰/۳۸$ تا $۰/۶۳$ را شامل می شود که در آن، مناطق حاوی پیکسل با رقم نزدیک به دامنه عددی $۰/۳۸$ آسیب پذیری کمتر و مناطق حاوی پیکسل با رقم نزدیک به دامنه عددی $۰/۶۳$ آسیب پذیری بیشتری دارند. در پژوهش پیش رو برای اینکه امکان تحلیل جامع تر نقشه فراهم شود، از تابع Statistic ابزار GIS Analysis نرم افزار ادریسی استفاده شد که طی آن، جدول فراوانی نقشه نهایی (شکل ۱۲) در هفت طبقه به دست آمد. اطلاعات این جدول بیانگر فراوانی حضور تعداد پیکسل حاوی دامنه عددی معین در هر یک از طبقات هفت گانه است. برای مثال، منطقه یک شهرداری اردبیل بر اساس مندرجات جدول ۳، از تعداد ۵۶۴۷۰ پیکسل تشکیل شده است و این تعداد پیکسل با مساحت منطقه یک (۱۲۷۱ هکتار) برابر است. از این تعداد،

۱۲۵۹۳ پیکسل در دامنه عددی ۰/۳۷۹۹ تا ۰/۴۱۵۲، یعنی رتبه آسیب‌پذیری ۱ و میزان آسیب‌پذیری بسیار بسیار کم قرار گرفته‌اند. این دامنه عددی و رتبه آسیب‌پذیری، ۲۸۳/۳۴ هکتار از مساحت شهر اردبیل را پوشش داده است. درصد فراوانی این پیکسل‌ها نسبت به سطح منطقه یک ۲۲/۳۰ و نسبت به کل سطح شهر ۵/۱۰۴ درصد است. همچنین تعداد ۲۳۰ پیکسل در دامنه عددی ۰/۵۹۲۱ تا ۰/۶۲۷۴، یعنی رتبه آسیب‌پذیری ۷ و میزان آسیب‌پذیری بسیار بسیار زیاد قرار گرفته‌اند. این تعداد پیکسل، ۵/۱۸ هکتار از مساحت شهر را دربر گرفته است. این شرایط برای همه مناطق و محلات شهر که ریز اطلاعات آن بر اساس خروجی حاصل از مدل تاپسیس بوده، برقرار است (جداول ۳ تا ۷).



شکل ۱۲. نقشه نهایی پهنه‌بندی خطر زمین لرزه شهر اردبیل حاصل از مدل تاپسیس

نتایج به‌دست‌آمده از تحلیل درجات آسیب‌پذیری در مناطق چهارگانه شهر اردبیل، نشان می‌دهد که میزان آسیب وارده در منطقه ۳ بیشتر از سایر مناطق است؛ به طوری که ۴/۳۷ درصد از مساحت این منطقه (۶۷/۳۲ هکتار)، رتبه آسیب‌پذیری ۷ و ۱۳/۱۶ درصد از مساحت آن (۲۰۲/۷۷ هکتار) رتبه آسیب‌پذیری ۶ را کسب کردند. همچنین نتایج تحلیل نشان می‌دهد که منطقه چهار در رتبه دوم آسیب‌پذیری قرار دارد؛ به طوری که ۵/۲۴ درصد (۵۶/۲۷ هکتار) از این منطقه، رتبه آسیب‌پذیری ۷ و ۱۲/۳۵ درصد (۱۳۲/۷۳ هکتار)، رتبه آسیب‌پذیری ۶ را به‌دست آورد. آمارهای حاصل از این تحلیل، مناطق ۱ و ۲ را در رتبه‌های بعدی آسیب‌پذیری نشان می‌دهد. نتایج حاصل از تحلیل ضریب آسیب‌پذیری شهر اردبیل، به‌تفکیک مناطق چهارگانه شهر، در جدول ۳ آمده است.

جدول ۳. میزان آسیب پذیری شهر اردبیل در برابر خطر زمین لرزه، به تفکیک مناطق چهارگانه شهری
براساس خروجی مدل تاپسیس

ردیف	رتبه آسیب پذیری							کد منطقه	
	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱		
	ب. ب. زیاد	ب. زیاد	زیاد	متوسط	کم	ب. کم	ب. کم		
	۳۸۸۱/۰ - ۱۸۶۵/۰	۰۸۶۵/۰ - ۱۸۵۵/۰	۸۱۵۵/۰ - ۳۱۸۵/۰	۸۱۸۵/۰ - ۰۸۷۳/۰	۶۵۷۳/۰ - ۸۰۵۳/۰	۶۰۵۳/۰ - ۸۱۵۳/۰	۵۰۱۳/۰ - ۶۸۸۴/۰	نوع اطلاعات دامنه آسیب حاصل از مدل تاپسیس	
	۵۶۴۷۰	۲۳۰	۷۲۶۴	۲۰۷۶۴	۱۴۳۹۱	۱۲۲۶	۱۲۵۹۳	فراوانی	
	%۱۰۰	۰/۴۱	۱۲/۸۶	۳۶/۷۷	۲۵/۴۸	۲/۱۷	۰/۰۰۴	۲۲/۳۰	درصد فراوانی
	%۲۳	۰/۰۹	۲/۹۴	۸/۴۲	۵/۸۳	۰/۴۹۷	۰/۰۰۱	۵/۱۰۴	درصد فراوانی نسبت به شهر
	۱۲۷۱	۵/۱۸	۱۶۳/۴۴	۴۶۷/۱۹	۳۳۳/۸۰	۲۷/۵۹	۰/۰۵	۲۸۳/۳۴	مساحت به هکتار
	۷۴۰۲۱	۰	۱۰۷۶	۱۴۸۲۴	۱۷۴۸۸	۲۵۶۷۵	۴۱۸۰	۱۰۷۷۸	فراوانی
	%۱۰۰	۰	۱/۴۵	۲۰/۰۳	۲۳/۶۳	۳۴/۶۹	۵/۶۵	۱۴/۵۶	درصد فراوانی
	%۳۰	۰	۰/۴۴	۶/۰۱	۷/۰۹	۱۰/۴۱	۱/۶۹	۴/۳۷	درصد فراوانی نسبت به شهر
	۱۶۶۵	۰	۲۴/۲۱	۳۳۳/۵۴	۳۹۳/۴۸	۵۷۷/۶۹	۹۴/۰۵	۲۴۲/۵۱	مساحت به هکتار
	۶۸۴۷۴	۲۹۹۲	۹۰۱۲	۷۶۵۸	۱۷۹۲۵	۱۲۹۴۵	۱۶۴۲	۱۶۳۰۰	فراوانی
	%۱۰۰	۴/۳۷	۱۳/۱۶	۱۱/۱۸	۲۶/۱۸	۱۸/۹۰	۲/۴۰	۲۳/۸۰	درصد فراوانی
	%۲۸	۱/۲۱	۳/۶۵	۳/۱۰	۷/۲۶	۵/۲۵	۰/۱۶۷	۶/۶۱	درصد فراوانی نسبت به شهر
	۱۵۴۱	۶۷/۳۲	۲۰۲/۷۷	۱۷۲/۳۱	۴۰۳/۳۱	۲۹۱/۲۶	۳۶/۹۵	۳۶۶/۷۵	مساحت به هکتار
	۴۷۷۶۷	۲۵۰۱	۵۸۹۹	۱۲۴۰۸	۱۱۰۹۲	۳۷۳۲	۲	۱۲۱۳۳	فراوانی
	%۱۰۰	۵/۲۴	۱۲/۳۵	۲۵/۹۸	۲۳/۲۲	۷/۸۱	۰/۰۰۴	۲۵/۴۰	درصد فراوانی
	%۱۹	۱/۰۱	۲/۳۹	۵/۰۳	۴/۵۰	۱/۵۱	۰/۰۰۰۸	۴/۹۲	درصد فراوانی نسبت به شهر
	۱۰۷۵	۵۶/۲۷	۱۳۲/۷۳	۲۷۹/۱۸	۲۴۹/۵۷	۸۳/۹۷	۰/۰۴۵	۲۷۲/۹۹	مساحت به هکتار

منبع: محاسبات نگارندگان

در برآورد میزان آسیب پذیری مناطق مختلف شهری در برابر زلزله، مجموعه مطالعاتی می توانند سودمندتر باشند که با جزئیات و تفصیل بیشتری انجام گرفته اند، تا پس از شناسایی دقیق تر مناطق آسیب پذیر، مسئولان بتوانند به طراحی برنامه های جامع و اولویت بندی شده و رفع نقاط ضعفی اقدام کنند که سبب ازدیاد رتبه آسیب پذیری در یک محدوده خاص می شود. از این رو در پژوهش حاضر برای دست یافتن به این هدف، در هر یک از مناطق چهارگانه شهر، به تفکیک محلات، سلسله مراتب آسیب پذیری مشخص شده است تا میزان آسیب پذیری با جزئیات ریزتر و دقت بالاتری مورد مطالعه قرار گیرد. نتایج حاصل از این مطالعات، موجب می شود در برنامه ریزی های پیشگیرانه برای مقابله با خطرات ناشی از زمین لرزه، به منظور حفظ انسجام در کارها و به نوعی حرکت از روی برنامه، برای رفع نقاط ضعف و کاهش میزان آسیب ها، همواره محلاتی در اولویت اول برنامه ریزی ها و اقدامات عملی قرار گیرند که رتبه های بالای آسیب پذیری را دارند. بر اساس نتایجی که از تحلیل درجات آسیب در سطح شهر به تفکیک محلات به دست آمد، مشخص شد که محله ۲ از منطقه ۳ شهر با رتبه آسیب ۷ و ۲۹/۴ درصد مساحت (۳۸/۸۳ هکتار)، آسیب پذیرترین محله شهر است. سلسله مراتب آسیب پذیری در محلات دیگر بدین شرح است: به ترتیب محله ۱ از منطقه ۳ (۲۳/۷۸ هکتار)، محله ۷ از منطقه ۴ (۱۵ هکتار) و محله ۹ از منطقه ۱ (۵/۱۵ هکتار). ریزاطلاعات آسیب پذیری محلات مختلف شهر در جداول ۴ تا ۷ آمده است.

جدول ۴: سلسله‌مراتب آسیب‌پذیری منطقه ۱ به تفکیک محلات یازده‌گانه بر اساس خروجی مدل تاپسیس

کد محله	رتبه آسیب‌پذیری میزان آسیب نوع اطلاعات	۱ بسیار کم بسیار کم بسیار کم بسیار کم	۲ بسیار کم بسیار کم بسیار کم بسیار کم	۳ کم کم کم کم	۴ متوسط متوسط متوسط متوسط	۵ زیاد زیاد زیاد زیاد	۶ بسیار زیاد بسیار زیاد بسیار زیاد بسیار زیاد	۷ بسیار بسیار زیاد بسیار بسیار زیاد بسیار بسیار زیاد بسیار بسیار زیاد	جمع	کد منطقه
محله ۱	فراوانی	۱۳۷۹	۰	۰	۲۰۶	۱۳۹۸	۲۰۱۳	۰	۵۰۹۶	محله ۱
	درصد فراوانی	۴۹/۲۳	۰	۰	۴۱/۴۳	۲۷/۴۳۳	۳۹/۵۰۲	۰	٪۱۰۰	
	درصد فراوانی نسبت به منطقه ۱	۲/۶۱۹	۰	۰	۰/۳۶۵	۲/۳۷۶	۲/۵۶۵	۰	٪۹/۰۲۴	
	مساحت به هکتار	۳۳/۲۸	۰	۰	۴/۶۴	۴۵/۲۹	۴۵/۲۹	۰	۱۱۳/۶۶	
محله ۲	فراوانی	۱۹۹۲	۰	۰	۱۰۳۱	۲۲۲۳	۳۳۹	۰	۵۰۰۹	محله ۲
	درصد فراوانی	۲۵/۷۹۴	۰	۰	۲۰/۵۸۳	۴۴/۲۸۰	۶/۷۶۸	۰	٪۱۰۰	
	درصد فراوانی نسبت به منطقه ۱	۲/۲۹	۰/۲۲	۰	۱/۸۳	۲/۹۴	۰/۶۰	۰	٪۸/۸۷	
	مساحت به هکتار	۲۹/۰۷۰	۲/۷۹۰	۰	۳۳/۱۹۸	۵۰/۰۱۸	۷/۶۲۸	۰	۱۱۲/۷	
محله ۳	فراوانی	۱۴۶	۰	۰	۵۷	۶۷۰۷	۱۹۱۰	۰	۱۰۱۶۰	محله ۳
	درصد فراوانی	۱۴/۶۳۶	۰	۰	۰/۵۶۱	۱۸/۷۹۹	۱۸/۷۹۹	۰	٪۱۰۰	
	درصد فراوانی نسبت به منطقه ۱	۲/۶۳۲	۰	۰	۰/۱۰۱	۱۱/۸۸۷	۲/۳۸۲	۰	٪۱۷/۹۹	
	مساحت به هکتار	۳۳/۳۳۵	۰	۰	۱/۲۸	۱۵۰/۹۰	۴۲/۹۷۵	۰	۲۲۸/۶	
محله ۴	فراوانی	۱۲۷۸	۰	۰	۱۲۸۸	۱۹۰	۶۵۹	۰	۴۳۵۵	محله ۴
	درصد فراوانی	۲۷/۹۶۸	۰	۰	۲۹/۵۷۵	۲۷/۳۳۵	۱۵/۱۲۳	۰	٪۱۰۰	
	درصد فراوانی نسبت به منطقه ۱	۲/۱۵۷	۰	۰	۲/۲۸۱	۷/۱۰۷	۱/۱۶۷	۰	٪۷/۷۱۲	
	مساحت به هکتار	۳۷/۴۰۵	۰	۰	۲۸/۹۸۰	۲۶/۷۷۵	۱۴/۸۲۸	۰	۹۷/۹۸۸	
محله ۵	فراوانی	۱۳۸۵	۰	۷۹	۸۳۳	۱۳۵۰	۱۰۶۴	۰	۴۷۱۰	محله ۵
	درصد فراوانی	۳۹/۴۰۶	۰	۱/۶۷۷	۱۷/۶۶۵	۲۸/۶۶۲	۲۲/۵۹۰	۰	٪۱۰۰	
	درصد فراوانی نسبت به منطقه ۱	۲/۴۵۳	۰	۰/۱۴۰	۱/۴۳۳	۲/۳۹۱	۱/۸۸۴	۰	٪۸/۳۴۱	
	مساحت به هکتار	۳۱/۱۶	۰	۱/۷۸	۱۸/۷۲	۳۰/۲۸	۳۲/۹۴	۰	۱۰۵/۹۸	
محله ۶	فراوانی	۹۶۹	۰	۲۷۷	۳۴۹۴	۵۶۶	۰	۰	۴۳۱۶	محله ۶
	درصد فراوانی	۲۱/۹۴۳	۰	۸/۷۶۴	۵۶/۳۷۶	۵۶۶	۰	۰	٪۱۰۰	
	درصد فراوانی نسبت به منطقه ۱	۱/۲۱۶	۰	۰/۶۵۵	۴/۲۱۷	۱/۰۰۲	۰	۰	۷/۸۲۰	
	مساحت به هکتار	۲۱/۸۰	۰	۸/۷۱	۵۶/۱۲	۱۲/۷۴	۰	۰	۹۹/۲۶	

ادامه جدول ۴. سلسله مراتب آسیب پذیری منطقه ۱ به تفکیک محلات یازده گانه بر اساس خروجی مدل تاپسیس

کد منطقه	منطقه یک						
	کد محله	رتبه آسیب پذیری میزان آسیب نوع اطلاعات حاصل از مدل تاپسیس	۱	۲	۳	۴	۵
		دامنه آسیب	۰/۳۷۹۹ - ۰/۴۱۵۲	۰/۴۱۵۲ - ۰/۴۵۰۶	۰/۴۵۰۶ - ۰/۴۸۵۹	۰/۴۸۵۹ - ۰/۵۲۱۳	۰/۵۲۱۳ - ۰/۵۵۶۷
		میزان آسیب	۹۰۵	۰	۳۱۸	۲۱۴۲	۱۰۵۲
		نوع اطلاعات	فراوانی				
	محله ۷	درصد فراوانی	۲۰/۳۴۶	۰	۷/۱۴۹	۳۸/۱۵۶	۳۳/۶۵۱
		درصد فراوانی نسبت به منطقه ۱	۱/۶۰۳	۰	۰/۵۶۳	۳/۷۹۳	۱/۸۶۳
		مساحت به هکتار	۲۰/۳۶	۰	۷/۱۶	۴۸/۲۰	۲۳/۶۷
	محله ۸	فراوانی	۱۰۳۳	۰	۰	۷۳۶	۱۹۷۱
		درصد فراوانی	۳۴/۹۵	۰	۰	۱۷/۹۵	۴۸/۰۶
		درصد فراوانی نسبت به منطقه ۱	۱/۸۱۲	۰	۰	۱/۳۰۳	۳/۴۹۰
		مساحت به هکتار	۲۳/۰۲	۰	۰	۱۶/۵۶	۴۴/۳۵
	محله ۹	فراوانی	۱۰۹۴	۰	۱۰۷	۲۰۵۸	۳۴۹
		درصد فراوانی	۳۴/۵۱	۰	۲/۴۰	۴۶/۱۰	۷/۸۳
		درصد فراوانی نسبت به منطقه ۱	۱/۹۳۷	۰	۰/۱۸۹	۳/۶۴۴	۰/۶۱۸
		مساحت به هکتار	۲۴/۶۲	۰	۲/۴۱	۴۶/۳۱	۷/۸۵
	محله ۱۰	فراوانی	۱۱۳۱	۰	۳۳۷	۱۸۱۸	۸۱۱
		درصد فراوانی	۳۴/۴۰	۰	۵/۸۱	۳۹/۳۱	۱۷/۴۹
		درصد فراوانی نسبت به منطقه ۱	۲/۰۰۳	۰	۰/۴۲۰	۳/۲۱۹	۱/۴۳۶
		مساحت به هکتار	۲۵/۴۵	۰	۵/۳۳	۴۰/۹۱	۱۸/۲۵
	محله ۱۱	فراوانی	۷۹۵	۰	۴۱	۵۸۵	۳۶۶۰
		درصد فراوانی	۱۵/۲۲	۰	۰/۷۸	۱۱/۲۰	۷۰/۰۷
		درصد فراوانی نسبت به منطقه ۱	۱/۴۰۸	۰	۰/۰۷۳	۱/۰۳۶	۶/۴۸۱
		مساحت به هکتار	۱۷/۸۹	۰	۰/۹۲	۱۳/۲۶	۸۲/۳۵
جمع			۴۴۴۸	۰	۳۱	۲۱۴۲	۱۰۵۲
			۱۰۰/۰۰	۰	۰/۶۹۷	۳۳/۶۵۱	۳۳/۶۵۱
			۷/۷۸۷۷	۰	۰/۰۵۵	۳/۷۹۳	۱/۸۶۳
			۱۰۰/۰۰۸	۰	۰/۷۰	۴۸/۲۰	۲۳/۶۷
			۴۱۰۱	۰	۳۷۱	۷۳۶	۱۹۷۱
			۱۰۰/۰۰	۰	۹/۰۰۵	۱۷/۹۵	۴۸/۰۶
			۷/۷۲۶۲	۰	۰/۶۵۷	۱/۳۰۳	۳/۴۹۰
			۹۲/۲۷	۰	۸/۳۵	۱۶/۵۶	۴۴/۳۵
			۴۴۶۴	۲۲۹	۶۲۷	۲۰۵۸	۳۴۹
			۱۰۰/۰۰	۵/۱۳	۱۴/۰۵	۴۶/۱۰	۷/۸۳
			۷/۹۰۵	۰/۴۰۶	۱/۱۱۰	۳/۶۴۴	۰/۶۱۸
			۱۰۰/۰۴۴	۵/۸۵	۱۴/۸۱	۴۶/۳۱	۷/۸۵
			۴۶۲۶	۰	۶۳۹	۱۸۱۸	۸۱۱
			۱۰۰/۰۰	۰	۱۳/۷۸	۳۹/۳۱	۱۷/۴۹
			۷/۸۲۱۰	۰	۱/۱۳۲	۳/۲۱۹	۱/۴۳۶
			۱۰۴/۳۱	۰	۱۴/۳۸	۴۰/۹۱	۱۸/۲۵
			۵۲۲۳	۰	۱۴۲	۵۸۵	۳۶۶۰
			۱۰۰/۰۰	۰	۲/۷۲	۱۱/۲۰	۷۰/۰۷
			۷/۹/۳۴۹	۰	۰/۲۵۱	۱/۰۳۶	۶/۴۸۱
			۱۱۷/۵۲	۰	۳/۲۰	۱۳/۲۶	۸۲/۳۵

منبع: محاسبات نگارندگان

جدول ۵. سلسله‌مراتب اسب‌بندبیری منطقه ۲ به تفکیک محلات یازده‌گانه بر اساس خروجی مدل تاپسیس

منطقه	محلّه	رتبه اسب‌بندبیری		نوع اطلاعات	بسیار کم	بسیار کم	کم	متوسط	زیاد	بسیار زیاد	بسیار بسیار زیاد	جمع	
		۱	۲										
منطقه دو	محلّه ۱	فراوانی	۱۴۰۹	۰	۴۹۵	۲۵۲۵	۰	۲۵۲۵	۵۳۳	۰	۰	۰	۰
		درصد فراوانی	۷۸/۳۹۶	۰	۹/۹۷۶	۵۰/۸۸۷	۰	۵۰/۸۸۷	۱۰/۷۴۲	۰	۰	۰	۰
		درصد فراوانی نسبت به منطقه ۲	۱/۹۰۴	۰	۰/۶۶۹	۲/۴۱۱	۰	۲/۴۱۱	۰/۷۲۰	۰	۰	۰	۰
		مساحت به هکتار	۳۱/۷۰	۰	۱۱/۱۴	۵۶/۸۱	۰	۵۶/۸۱	۱/۱۹۹	۰	۰	۰	۰
	محلّه ۲	فراوانی	۱۴۰۸	۴	۱۷۰۸	۱۵۴۹	۸	۲۳/۰۴۰	۲۳/۰۴۰	۰	۰	۰	۰
		درصد فراوانی	۳۳/۸۳۶	۰/۰۸۲	۰/۱۶۳	۳۳/۰۴۰	۰/۱۶۳	۲۳/۰۴۰	۲۳/۰۴۰	۰	۰	۰	۰
		درصد فراوانی نسبت به منطقه ۲	۲/۱۷	۰/۱	۰/۱۰۱	۲/۳۱	۰/۱۰۱	۲/۳۱	۲/۳۱	۰	۰	۰	۰
		مساحت به هکتار	۳۹/۱۸۰	۰/۹۰	۰/۸۰	۲۸/۴۳۰	۰/۸۰	۲۵/۳۰۳	۲۵/۳۰۳	۰	۰	۰	۰
	محلّه ۳	فراوانی	۱۶۷۳	۰	۱۱۴	۲۶۴۲	۱۱۴	۲۶۴۲	۲۶۴۲	۲۵۴	۰	۰	۰
		درصد فراوانی	۳۴/۹۷۸	۰	۱/۲۸۳	۲۶۴۲	۱/۲۸۳	۲۶۴۲	۲۶۴۲	۲۵۴	۰	۰	۰
		درصد فراوانی نسبت به منطقه ۲	۲/۳۶۰	۰	۰/۵۴	۲/۵۶۹	۰/۵۴	۲/۵۶۹	۲/۵۶۹	۰/۴۷۸	۰	۰	۰
		مساحت به هکتار	۳۷/۶۴۳	۰	۰	۲/۵۶۵	۰	۲/۵۶۵	۲/۵۶۵	۷/۹۶۵	۰	۰	۰
محلّه ۴	فراوانی	۹۵۶	۸۵۷	۷۳۳	۲۶۹۹	۷۳۳	۲۶۹۹	۲۶۹۹	۸	۰	۰	۰	
	درصد فراوانی	۱۵/۲۸۹	۱/۸۵۸	۱/۷۷۲	۲۶۹۹	۱/۷۷۲	۲۶۹۹	۲۶۹۹	۸	۰	۰	۰	
	درصد فراوانی نسبت به منطقه ۲	۱/۲۹۲	۱/۸۵۸	۰/۹۰	۲۶۹۹	۰/۹۰	۲۶۹۹	۲۶۹۹	۰/۱۱	۰	۰	۰	
	مساحت به هکتار	۲۱/۵۱۰	۱۹/۲۸۳	۱۶/۴۹	۱۶۴۹۹	۱۶/۴۹	۱۶۴۹۹	۱۶۴۹۹	۰	۰	۰	۰	
محلّه ۵	فراوانی	۱۹۵۷	۳	۷	۱۶۷	۷	۱۶۷	۱۶۷	۱۹۰	۰	۰	۰	
	درصد فراوانی	۳۴/۱۸۳	۰/۰۵۳	۰/۱۲۲	۲/۹۱۷	۰/۱۲۲	۲/۹۱۷	۲/۹۱۷	۳/۳۱۹	۰	۰	۰	
	درصد فراوانی نسبت به منطقه ۲	۲/۶۴۴	۰/۰۰۴	۰/۰۰۹	۰/۲۲۶	۰/۰۰۹	۰/۲۲۶	۰/۲۲۶	۰/۲۵۷	۰	۰	۰	
	مساحت به هکتار	۴۴/۰۳	۰/۰۷	۰/۱۶	۲/۷۶	۰/۱۶	۲/۷۶	۲/۷۶	۴/۷۸	۰	۰	۰	

ادامه جدول ۵. سلسله مراتب آسیب پذیری منطقه ۲ به تفکیک محلات یازده گانه بر اساس خروجی مدل تاپسیس

کد منطقه	کد محله		رتبه آسیب پذیری میزان آسیب نوع اطلاعات	۱ بسیار بسیار کم ۰/۳۷۹۹ - ۰/۴۱۵۲	۲ بسیار کم ۰/۴۱۵۲ - ۰/۴۵۰۶	۳ کم ۰/۴۵۰۶ - ۰/۴۸۵۹	۴ متوسط ۰/۴۸۵۹ - ۰/۵۲۱۲	۵ زیاد ۰/۵۲۱۲ - ۰/۵۵۶۷	۶ بسیار زیاد ۰/۵۵۶۷ - ۰/۵۹۲۰	۷ بسیار بسیار زیاد ۰/۵۹۲۱ - ۰/۶۲۷۴	جمع
	محله ۶	محله ۷									
منطقه دو	فراوانی	فراوانی	حاصل از مدل تاپسیس	۹۵۳	۰	۱۶۰۱	۸۳۵	۱۸۵۵	۰	۰	۵۲۴۴
	درصد فراوانی	درصد فراوانی		۱۸/۱۷۳	۰	۳/۰۵۳	۱۵/۹۲۳	۳۵/۳۳۴	۰	۰	%/۱۰۰
	درصد فراوانی نسبت به منطقه ۲	درصد فراوانی نسبت به منطقه ۲		۱/۲۸۷	۰	۲/۱۶۳	۱/۱۲۸	۲/۵۰۶	۰	۰	%/۷۰۸۵
	مساحت به هکتار	مساحت به هکتار		۲۱/۴۴	۰	۳۶/۰۲	۱۸/۷۹	۴۱/۷۴	۰	۰	۱۱۷/۹۹
	فراوانی	فراوانی		۵۷۵	۰	۳۵۳۱	۱۴۲	۳۴۹۰	۰	۰	۶۳۳۸
	درصد فراوانی	درصد فراوانی		۸/۵۳۴	۰	۵۲/۴۰	۲/۱۰۷	۳۶/۹۵۵	۰	۰	%/۱۰۰
	درصد فراوانی نسبت به منطقه ۲	درصد فراوانی نسبت به منطقه ۲		۰/۷۷۷	۰	۴/۷۷۰	۰/۱۹۲	۳/۳۶۴	۰	۰	%/۹/۱۰۳
	مساحت به هکتار	مساحت به هکتار		۱۲/۹۴	۰	۲۹/۴۵	۳/۲۰	۵۶/۰۳	۰	۰	۱۵۱/۶۱
	فراوانی	فراوانی		۳۴۰	۳۱۹۷	۷۸۵۹	۵۵۰۶	۱۴۱	۰	۰	۱۷۰۴۳
	درصد فراوانی	درصد فراوانی		۱/۹۹	۱۸/۱۶	۲۶/۱۱	۳۲/۳۱	۰/۸۳	۰	۰	%/۱۰۰
	درصد فراوانی نسبت به منطقه ۲	درصد فراوانی نسبت به منطقه ۲		۰/۴۵۹	۴/۳۱۹	۱۰/۶۱	۷/۴۳۹	۰/۱۹۰	۰	۰	%/۲۳/۰۲
مساحت به هکتار	مساحت به هکتار		۷/۶۵	۷۱/۹۳	۱۷۶/۸	۱۲۳/۸۹	۳/۱۷	۰	۰	۳۸۳/۴۷	
فراوانی	فراوانی		۵۸۸	۱۱۹	۳۳۷۱	۳۳۹۵	۱۵۴	۰	۰	۷۶۳۷	
درصد فراوانی	درصد فراوانی		۷/۷۰	۱/۶۹	۴۴/۱۴	۴۴/۳۵	۲/۰۲	۰	۰	%/۱۰۰	
درصد فراوانی نسبت به منطقه ۲	درصد فراوانی نسبت به منطقه ۲		۰/۷۹۴	۰/۱۷۴	۴/۵۵۴	۴/۵۸۷	۰/۲۰۸	۰	۰	%/۱۰۳/۱	
مساحت به هکتار	مساحت به هکتار		۱۲/۲۳	۲/۹۰	۷۵/۸۵	۷۶/۳۹	۳/۴۷	۰	۰	۱۷۱/۸۳	
فراوانی	فراوانی		۳۸۵	۰	۶۴۱۶	۳۹۳	۰	۰	۰	۷۰۹۴	
درصد فراوانی	درصد فراوانی		۵/۴۳	۰	۹۰/۴۴	۴/۱۳	۰	۰	۰	%/۱۰۰	
درصد فراوانی نسبت به منطقه ۲	درصد فراوانی نسبت به منطقه ۲		۰/۵۲۰	۰	۸/۶۶۸	۰/۳۹۶	۰	۰	۰	%/۹/۵۸۴	
مساحت به هکتار	مساحت به هکتار		۸/۶۶	۰	۱۴۴/۳	۶/۵۹	۰	۰	۰	۱۵۹/۶۲	
فراوانی	فراوانی		۲۵۹	۰	۲۱۳۷	۱۱۶۸	۱۹	۰	۰	۳۵۸۳	
درصد فراوانی	درصد فراوانی		۷/۳۳	۰	۵۹/۶۴	۳۲/۶۰	۰/۵۳	۰	۰	%/۱۰۰	
درصد فراوانی نسبت به منطقه ۲	درصد فراوانی نسبت به منطقه ۲		۰/۳۵۰	۰	۲/۸۸۷	۱/۵۷۸	۰/۰۲۶	۰	۰	%/۴/۸۴۱	
مساحت به هکتار	مساحت به هکتار		۵/۸۳	۰	۴۸/۰۸	۲۶/۲۸	۰/۴۳	۰	۰	۸۰/۶۲	

منبع: محاسبات نگارندگان

جدول ۱: سلسله‌مراتب آسیب‌پذیری منطقه ۳ به تفکیک محلات یازده‌گانه بر اساس خروجی مدل تاپسیس

کد منطقه	کد محله	رتبه آسیب‌پذیری	بسیار کم		کم		متوسط		زیاد		بسیار زیاد		جمع	
			۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷					
منطقه سه	محله ۱	نوع اطلاعات دامنه آسیب حاصل از مدل تاپسیس	۱۲۱۱	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
			۱۹/۸۲۶	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
			۱/۷۶۹	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
	محله ۲	درصد فروانی نسبت به منطقه ۳	۲۷/۲۵	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
			۱۲۶۳	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
			۲۳/۲۲۴	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
	محله ۳	درصد فروانی نسبت به منطقه ۳	۱/۹۹	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
			۳۰/۶۶۸	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
			۱۷۳۱	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
	محله ۴	درصد فروانی نسبت به منطقه ۳	۲۵/۹۲۹	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
			۲/۵۲۸	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
			۲۸/۹۳۷۵	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
محله ۵	مساحت به هکتار	۱۴۲۵	۱۲	۲۶۹	۲۳۷۰۲۵	۲۳۷۰۲۵	۱۳۳۰	۲۳۷۰۲۵	۲۳۷۰۲۵	۱۱۹۶	۱۱۹۶	۰	۰	
		۲۱/۵۶۵	۰/۱۸۳	۴/۷۱	۲۰/۱۲۷	۲۵/۹۵۶	۲۵/۹۵۶	۲۵/۹۵۶	۲۵/۹۵۶	۱۸/۰۹۹	۱۸/۰۹۹	۰	۰	
		۲/۰۸۱	۰/۰۱۸	۰/۹۳۳	۱/۹۳۳	۲/۳۷۰	۲/۳۷۰	۲/۳۷۰	۲/۳۷۰	۱/۷۳۷	۱/۷۳۷	۰	۰	
محله ۶	درصد فروانی نسبت به منطقه ۳	۳۲/۰۶۳	۰/۳۷۰	۶/۰۵۳	۲۹/۹۲۵	۲۹/۹۲۵	۲۹/۹۲۵	۲۹/۹۲۵	۲۹/۹۲۵	۲۹/۹۲۵	۲۹/۹۲۵	۲۹/۹۲۵	۲۹/۹۲۵	
		۲۰۰۹	۲۰۰۳	۲۰/۲۳	۲۹/۰۶۲	۲۹/۰۶۲	۲۹/۰۶۲	۲۹/۰۶۲	۲۹/۰۶۲	۱۳۳	۱۳۳	۰	۰	
		۳۳/۶۰۳	۴/۹۱۷	۲۰/۲۳	۲۹/۰۶۲	۲۹/۰۶۲	۲۹/۰۶۲	۲۹/۰۶۲	۲۹/۰۶۲	۱/۹۹۶	۱/۹۹۶	۰	۰	
محله ۷	درصد فروانی نسبت به منطقه ۳	۲/۹۳۴	۰/۳۴۳	۱/۸۲۱	۲/۵۱۵	۲/۵۱۵	۲/۵۱۵	۲/۵۱۵	۲/۵۱۵	۲/۵۱۵	۲/۵۱۵	۲/۵۱۵	۲/۵۱۵	
		۴۵/۲۰	۶/۸۲	۲۸/۰۶	۵۳/۱۶	۵۳/۱۶	۵۳/۱۶	۵۳/۱۶	۵۳/۱۶	۱/۶۴	۱/۶۴	۰	۰	
		۱۲۹۳	۰	۷۹۶	۳۰۸۴	۳۰۸۴	۳۰۸۴	۳۰۸۴	۱۳۷	۱۳۷	۰	۰	۰	
محله ۸	درصد فروانی نسبت به منطقه ۳	۲۳/۱۸۵	۰	۱۲/۶۷	۴۹/۱۱۶	۴۹/۱۱۶	۴۹/۱۱۶	۴۹/۱۱۶	۱۳/۸۴۰	۱۳/۸۴۰	۰	۰	۰	
		۲/۰۳۴	۰	۱/۶۲	۴/۵۰۴	۴/۵۰۴	۴/۵۰۴	۴/۵۰۴	۰/۳۰۰	۰/۳۰۰	۰	۰	۰	
		۳۱/۳۴	۰	۱۷/۹۱	۶۹/۳۹	۶۹/۳۹	۶۹/۳۹	۶۹/۳۹	۱۹/۵۵	۱۹/۵۵	۰	۰	۰	

منبع: محاسبات نگارندگان

ادامه جدول ۶. سلسله مراتب آسیب پذیری منطقه ۳ به تفکیک محلات یازده گانه بر اساس خروجی مدل تاپسیس

کد منطقه	کد محله	رتبه آسیب پذیری		بسیار کم	کم	متوسط	زیاد	بسیار زیاد	بسیار زیاد	جمع
		میزان آسیب	نوع اطلاعات							
		حاصل از مدل تاپسیس		۰/۳۷۹۹ - ۰/۴۱۵۲	۰/۴۵۰۷ - ۰/۴۸۵۹	۰/۴۸۶۰ - ۰/۵۲۱۳	۰/۵۲۱۴ - ۰/۵۵۶۷	۰/۵۵۶۸ - ۰/۵۹۲۰	۰/۶۲۷۴ - ۰/۵۹۲۱	
	۷	فراوانی		۲۰۵۰	۲۵۱۳	۱۱۸۲	۵۶۶	۸۳۷	۰	۷۱۴۸
		درصد فراوانی		۲۸/۶۷۹	۳۵/۸۵	۱۶/۵۲۶	۷/۹۱۸	۱۱/۷۱۰	۰	%۱۰۰
	۸	درصد فراوانی نسبت به منطقه ۳		۲/۹۹۴	۳/۶۷۰	۱/۸۲۶	-۰/۸۲۷	۱/۲۲۲	۰	%۱۰/۴۳
		مساحت به هکتار		۴۶/۱۳	۵۶/۵۴	۲۶/۶۰	۱۲/۷۴	۱۸/۸۳	۰	۱۶۰/۸۳
		فراوانی		۱۷۵۵	۲۶۲۲	۶۲۹	۱۲۹	۰	۰	۵۷۳۳
		درصد فراوانی		۳۰/۶۱	۴۵/۷۴	۱۰/۹۷	۲/۲۵	۰	۰	%۱۰۰
		درصد فراوانی نسبت به منطقه ۳		۲/۵۶۳	۳/۸۲۹	-۰/۹۱۹	-۰/۱۸۸	۰	۰	%۸/۳۳۳
		مساحت به هکتار		۳۹/۴۹	۵۹/۰۰	۱۴/۸۵	۴/۹۰	۰	۰	۱۲۸/۹۹
	۹	فراوانی		۱۱۷۹	۲۱۸۳	۱۹۹۴	۶	۰	۰	۵۹۸۷
		درصد فراوانی		۱۹/۶۹	۳۶/۴۶	۳۳/۳۱	-۰/۱۰	۰	۰	%۱۰۰
		درصد فراوانی نسبت به منطقه ۳		۱/۷۲۲	۳/۱۸۸	۲/۹۱۲	-۰/۰۰۹	۰	۰	%۸/۴۴۳
		مساحت به هکتار		۲۶/۵۳	۴۹/۱۲	۴۲/۸۷	۰/۱۴	۰	۰	۱۳۴/۷۱
	۱۰	فراوانی		۱۵۲۵	۶۲۱	۳۰۶۲	۱۱۵	۰	۰	۵۳۵۷
		درصد فراوانی		۲۸/۴۷	۱۱/۵۹	۵۷/۱۶	۲/۱۵	۰	۰	%۱۰۰
		درصد فراوانی نسبت به منطقه ۳		۲/۳۳۷	-۰/۱۰۵۰	۴/۴۷۲	-۰/۱۶۸	۰	۰	%۷/۸۲۳
		مساحت به هکتار		۳۳/۳۱	۱۲/۹۷	۶۸/۹۰	۲/۵۹	۰	۰	۱۲۰/۵۳
	۱۱	فراوانی		۷۵۶	۲۵۶۵	۳۲۴۳	۴۸	۰	۰	۶۶۸۲
		درصد فراوانی		۱۱/۳۱	۳۸/۳۹	۴۸/۵۳	۰/۷۲	۰	۰	%۱۰۰
		درصد فراوانی نسبت به منطقه ۳		۱/۱۰۴	۳/۷۳۶	۴/۷۳۶	-۰/۱۷۰	۰	۰	%۹/۷۵۸
		مساحت به هکتار		۱۷/۰۱	۵۷/۷۱	۷۲/۹۷	۱/۰۸	۰	۰	۱۵۰/۳۵

منبع: محاسبات نگارندگان

جدول ۷: سلسله‌مراتب آسیب‌پذیری منطقه ۴ به تفکیک محلات یازده‌گانه بر اساس خروجی مدل تاپسیس

کد منطقه	کد محله	رتبه آسیب‌پذیری	نوع اطلاعات	بسیار کم		کم		متوسط		زیاد		بسیار زیاد		جمع
				۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷				
منطقه چهار	محله ۱	فراوانی	حاصل از مدل تاپسیس	۹۴	۰	۰	۱۵۴	۱۸۹۷	۵۲۱	۰	۰	۰	۰	۴۵۳۶
		درصد فراوانی	۲۱/۲۵۲	۰	۰	۲۵/۴۴۱	۴۱/۸۲۱	۱۱/۴۷۶	۰	۰	۰	۰	۰	۱/۱۰۰
		درصد فراوانی نسبت به منطقه ۴	۲/۰۲۱	۰	۰	۲/۴۳۰	۲/۹۷۸	۱/۰۹۳	۰	۰	۰	۰	۰	۹/۵۱۲
	محله ۲	مساحت به هکتار	۲۱/۶۹	۰	۲	۲۵/۹۷	۰	۱۴۹۸	۱۸۱۱	۱۴۱	۰	۰	۰	۴۴۸۲
		فراوانی	۱۰۳۰	۰	۰	۱۴۹۸	۰	۱۸۱۱	۱۴۱	۰	۰	۰	۰	۴۴۸۲
		درصد فراوانی	۲۲/۹۸۱	۰	۰/۰۴۵	۳۳/۴۳۳	۰	۴۰/۴۰۶	۳/۱۴۶	۰	۰	۰	۰	۱۰۰
	محله ۲	درصد فراوانی نسبت به منطقه ۴	۲/۱۶	۰	۰/۰۰۰	۲/۱۴	۰	۲/۸۰	۲/۱۷۳	۰/۰۳۰	۰	۰	۰	۹/۴۰
		مساحت به هکتار	۲۳۱/۷۵	۰	۰/۰۳۵	۳۲/۷۰۵	۰	۴۰/۴۶۸	۲/۱۷۳	۲/۱۷۳	۰	۰	۰	۱۰۰/۸۴
		فراوانی	۱۷۳۵	۰	۱۶۳۱	۹۹۹	۱۰۱۰	۳۲۷	۳۲۷	۳۲۷	۰	۰	۰	۵۷۰۲
	محله ۲	درصد فراوانی	۳۰/۴۲۸	۰	۲۸/۵۰	۱۷/۵۳۰	۱۷/۷۱۳	۱۷/۷۱۳	۱۷/۷۱۳	۵/۷۳۵	۰	۰	۰	۱۰۰
		درصد فراوانی نسبت به منطقه ۴	۲/۳۲۸	۰	۲/۴۳۰	۲/۰۹۵	۲/۱۱۸	۲/۱۱۸	۲/۱۱۸	۰/۶۸۶	۰	۰	۰	۱۱/۹۵
		مساحت به هکتار	۳۹/۰۲۷۵	۰	۲۶/۶۹	۲۲/۴۷۷۵	۲۲/۲۷۵	۲۲/۲۷۵	۲۲/۲۷۵	۱۳۴	۰	۰	۰	۱۷۸/۳۹
محله ۴	فراوانی	۱۵۹۶	۰	۷۵۳	۲۷۶۲	۵۷/۲۴۱	۵۷/۲۴۱	۴۲	۱۳۴	۰	۰	۰	۵۷۸۷	
	درصد فراوانی	۳۰/۱۸۷	۰	۱۳/۲۴	۵۷/۲۴۱	۵۷/۲۴۱	۵۷/۲۴۱	۴۲	۱۳۴	۰	۰	۰	۱۰۰	
	درصد فراوانی نسبت به منطقه ۴	۲/۳۳۷	۰	۱/۵۷۹	۵/۷۹۳	۵/۷۹۳	۵/۷۹۳	۴۲	۱۳۴	۰	۰	۰	۱۱/۱۰۸	
محله ۴	مساحت به هکتار	۳۵/۹۱۰	۰	۱۶/۹۴	۶۲/۱۴۵	۶۲/۱۴۵	۶۲/۱۴۵	۱۲۵	۵۲۰	۰	۰	۰	۱۱۸/۹۵	
	فراوانی	۱۱۸۴	۰	۰	۶۲/۱۴۵	۶۲/۱۴۵	۶۲/۱۴۵	۱۲۵	۵۲۰	۰	۰	۰	۳۷۳۳	
	درصد فراوانی	۳۱/۳۸۱	۰	۰	۱۸/۱۲۹	۱۸/۱۲۹	۱۸/۱۲۹	۱۲۵	۵۲۰	۰	۰	۰	۱۰۰	
محله ۵	درصد فراوانی نسبت به منطقه ۴	۲/۴۸۲	۰	۰	۱/۴۳۴	۱/۴۳۴	۱/۴۳۴	۱۲/۷۸۲	۱۲/۷۸۲	۰/۱۰	۰	۰	۱۰۰	
	مساحت به هکتار	۲۶/۶۴	۰	۰	۱۵/۳۹	۱۵/۳۹	۱۵/۳۹	۱۱/۷۰	۱۱/۷۰	۰	۰	۰	۸۴/۸۹	
	فراوانی	۱۴۵۲	۲	۱۱۹۳	۳۱۴۴	۳۱۴۴	۳۱۴۴	۷۹۴	۷۹۴	۰	۰	۰	۶۵۵۵	
محله ۶	درصد فراوانی	۳۲/۰۵۰	۰/۰۳۰	۱۸/۱۱	۳۷/۷۴۵	۳۷/۷۴۵	۳۷/۷۴۵	۱۲/۰۵۸	۱۲/۰۵۸	۰	۰	۰	۱۰۰	
	درصد فراوانی نسبت به منطقه ۴	۲/۰۴۵	۰/۰۰۴	۲/۵۰۲	۶/۵۹۳	۶/۵۹۳	۶/۵۹۳	۱/۶۶۵	۱/۶۶۵	۰	۰	۰	۱۳/۱۰۰	
	مساحت به هکتار	۳۲/۶۷	۰/۰۵	۲۶/۸۴	۷۰/۷۴	۷۰/۷۴	۷۰/۷۴	۱۷/۸۷	۱۷/۸۷	۰	۰	۰	۱۴۸/۱۶	

منبع: محاسبات نگارندگان

ادامه جدول ۷. سلسله مراتب آسیب پذیری منطقه ۴ به تفکیک محلات یازده گانه بر اساس خروجی مدل تاپسیس

کد منطقه	منطقه چهار																											
	کد محله	رتبه آسیب پذیری	میزان آسیب	نوع اطلاعات	کد محله	رتبه آسیب پذیری	میزان آسیب																					
کد منطقه	کد محله	رتبه آسیب پذیری	میزان آسیب	نوع اطلاعات	کد محله	رتبه آسیب پذیری	میزان آسیب																					
								حاصل از مدل تاپسیس	دامنه آسیب	۱	بسیار کم	۲	بسیار کم	۳	کم	۴	متوسط	۵	زیاد	۶	بسیار زیاد	۷	بسیار زیاد					
								۰/۳۷۹۹ - ۰/۴۱۵۲	۰/۴۵۰۶ - ۰/۴۱۵۳	۰/۴۵۰۷ - ۰/۴۸۵۹	۰/۵۲۱۳ - ۰/۴۸۶۰	۰/۵۵۶۷ - ۰/۵۲۱۴	۰/۵۹۲۰ - ۰/۵۵۶۸	۰/۶۲۷۴ - ۰/۵۹۲۱	۰/۶۶۲۶ - ۰/۶۲۷۳	۰/۶۹۷۹ - ۰/۶۶۲۵	۰/۷۳۳۴ - ۰/۶۹۷۸	۰/۷۶۸۸ - ۰/۷۳۳۳	۰/۸۰۴۱ - ۰/۷۶۸۷	۰/۸۳۹۴ - ۰/۸۰۴۰	۰/۸۷۴۷ - ۰/۸۳۹۳	۰/۹۰۹۹ - ۰/۸۷۴۶	۰/۹۴۵۲ - ۰/۹۰۹۸	۰/۹۸۰۵ - ۰/۹۴۵۱	۰/۱۰۱۵۱ - ۰/۹۸۰۴			
								فرآوانی	درصد فرآوانی	درصد فرآوانی نسبت به منطقه ۴	مساحت به هکتار	فرآوانی	درصد فرآوانی	درصد فرآوانی نسبت به منطقه ۴	مساحت به هکتار	فرآوانی	درصد فرآوانی	درصد فرآوانی نسبت به منطقه ۴	مساحت به هکتار	فرآوانی	درصد فرآوانی	درصد فرآوانی نسبت به منطقه ۴	مساحت به هکتار	فرآوانی	درصد فرآوانی	درصد فرآوانی نسبت به منطقه ۴	مساحت به هکتار	
								۱۱۹۳	۳۰/۴۳۴	۲/۵۰۲	۳۶/۸۴	۸۷۵	۳۶/۳۴	۱/۸۳۵	۱۹/۶۹	۶۳۱	۲۰/۱۰	۱/۳۳۳	۱۴/۲۰	۵۱۸	۱۸/۶۴	۱/۰۸۶	۱۱/۶۶	۸۰۵	۱۹/۸۴	۱/۶۸۸	۱۸/۱۱	
								۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
								۱۵۰	۳/۸۲۷	۰/۳۱۵	۳/۳۸	۳۷	۱/۱۱	۰/۰۷۸	۰/۱۸۳	۱۵	۰/۴۸	۰/۰۳۱	۰/۲۴	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
								۲۵۸	۶/۵۸۲	۰/۵۴۱	۵/۸۱	۳۷	۱/۱۱	۰/۰۷۸	۰/۱۸۳	۵۲۲	۱۶/۶۳	۱/۰۹۵	۱۱/۷۵	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
								۳۳۲	۱۰/۱۹	۰/۱۰۹	۱۰/۱۹	۳۷	۱/۱۱	۰/۰۷۸	۰/۱۸۳	۱۸۶۶	۵۹/۴۵	۳/۹۱۳	۴۱/۹۹	۱۳۲۴	۳۳/۷۲	۱/۹۶۵	۲۱/۰۸	۱۶۵۱	۴۰/۶۹	۳/۴۶۲	۳۷/۱۵	
								۳۷۸	۱۲/۵۴	۰/۱۲۴	۱۲/۵۴	۳۷	۱/۱۱	۰/۰۷۸	۰/۱۸۳	۱۸۶۶	۵۹/۴۵	۳/۹۱۳	۴۱/۹۹	۱۳۲۴	۳۳/۷۲	۱/۹۶۵	۲۱/۰۸	۱۶۵۱	۴۰/۶۹	۳/۴۶۲	۳۷/۱۵	
								۳۹۲	۱۴/۹	۰/۱۴۹	۱۴/۹	۳۷	۱/۱۱	۰/۰۷۸	۰/۱۸۳	۱۸۶۶	۵۹/۴۵	۳/۹۱۳	۴۱/۹۹	۱۳۲۴	۳۳/۷۲	۱/۹۶۵	۲۱/۰۸	۱۶۵۱	۴۰/۶۹	۳/۴۶۲	۳۷/۱۵	
۳۹۲	۱۴/۹	۰/۱۴۹	۱۴/۹	۳۷	۱/۱۱	۰/۰۷۸	۰/۱۸۳	۱۸۶۶	۵۹/۴۵	۳/۹۱۳	۴۱/۹۹	۱۳۲۴	۳۳/۷۲	۱/۹۶۵	۲۱/۰۸	۱۶۵۱	۴۰/۶۹	۳/۴۶۲	۳۷/۱۵									
۳۹۲	۱۴/۹	۰/۱۴۹	۱۴/۹	۳۷	۱/۱۱	۰/۰۷۸	۰/۱۸۳	۱۸۶۶	۵۹/۴۵	۳/۹۱۳	۴۱/۹۹	۱۳۲۴	۳۳/۷۲	۱/۹۶۵	۲۱/۰۸	۱۶۵۱	۴۰/۶۹	۳/۴۶۲	۳۷/۱۵									

منبع: محاسبات نگارندگان

برای مستندسازی نقشه خطر زلزله، در این بخش تلاش شده است پس از انتخاب ۲ پیکسل از پیکسل‌های معرفی شده که یکی نشان‌دهنده نقاط اولویت‌دار با آسیب‌پذیری بالا و شرایط نامطلوب و پیکسل دوم نماینده مناطقی با شرایط مطلوب‌تر هستند، به بررسی مورد به مورد ویژگی‌های این پیکسل‌ها به لحاظ معیارهای تعیین شده، پرداخته شود. نمونه اول با شرایط نامطلوب آسیب‌پذیری، در شمال غرب شهر و محله ۱۱ از منطقه ۴ (محله کاظم‌آباد، کوی حضرتی) واقع شده است. نمونه دوم شرایط مطلوب‌تری داشته و در جنوب غرب شهر و محله ۱۰ از منطقه ۳ (شهرک کارشناسان فاز ۲، کوی لاله) قرار دارد. با بررسی‌هایی که روی معیارهای تعیین‌کننده ضریب آسیب‌پذیری این پیکسل‌ها صورت پذیرفت، مشخص شد نمونه‌ای که دارای دامنه آسیب بالا است، در منطقه‌ای از شهر با بافت ارگانیک واقع شده و مصالح به کار رفته در سازه‌های آن، از نوع خشت و چوب بوده و کیفیت سازه‌ای از نوع تخریبی دارد. در واقع این محدوده از اصول و استانداردهای رایج در ساخت‌وسازها پیروی نکرده است. همچنین به دلیل ازدیاد جمعیت نیز، جزء مناطق با تراکم بالا محسوب می‌شود. اما نمونه‌ای که شرایط مطلوبی به لحاظ آسیب‌پذیری دارد، در یکی از شهرک‌های نوساز قرار گرفته که ساخت‌وساز در آن با رعایت اصول مهندسی و بر اساس آیین‌نامه ۲۸۰۰ صورت پذیرفته است. به سبب توجه به مسائل اساسی در امر ساخت‌وساز، دامنه آسیب‌پذیری در این محدوده در شرایط مطلوب‌تر، قرار دارد (شکل ۱۳).



شکل ۱۳. نقشه پیکسل‌های نمونه مورد بررسی از لحاظ میزان آسیب‌پذیری در برابر خطر زمین‌لرزه شهر اردبیل

همان گونه که در جدول ۸ دیده می شود، پیکسل انتخاب شده نمونه اول که دارای شرایط نامطلوب است در ۱۲ مورد از ۲۰ معیار، نمره ای بیش از ۲۰۰ را به خود اختصاص داده است. یادآوری می شود که ارزش های فازی اختصاص یافته به معیارهای تعیین کننده دامنه آسیب پذیری، هر چه به عدد ۲۵۵ نزدیکتر باشد، نامطلوب تر تلقی می شود. اما در نمونه دوم مورد بررسی که دارای شرایط مطلوب تر است، فقط ۴ مورد از ۲۰ معیار، نمره بیش از ۲۰۰ داشته است که این امر موجب مطلوب شدن شرایط این نمونه شده است. البته ذکر این نکته ضروری است که تعدادی از معیارهای تعیین کننده دامنه آسیب، در نمونه های مورد بررسی از اهمیت بالاتری نسبت به سایر معیارها برخوردار است و اختلاف شدید در ارزش عادی و فازی این معیارها است که باعث شده تا نمونه ها شرایط مطلوب و نامطلوب را کسب کنند. برای نمونه می توان به نوع مصالح، کیفیت ابنیه، فاصله از مراکز امداد و نجات و سازندهای سطحی اشاره کرد.

جدول ۸. ارزش های عادی و فازی دو نمونه مورد بررسی از پیکسل ها از لحاظ میزان آسیب پذیری در برابر خطر زمین لرزه

نام معیار	نامطلوب		مطلوب	
	ارزش عادی	ارزش فازی	ارزش عادی	ارزش فازی
	C:127 r:88		C:72 r:466	
نوع مصالح	خشت و چوب	۲۵۵	اسکلت بتنی و فلزی	۸۵
کیفیت ابنیه	تخریبی	۲۵۵	نوساز	۸۵
تراکم جمعیت	۲۵۹	۲۳۰	۲۰۰	۱۷۳
بعد خانوار	۶	۲۵۵	۴	۱۷۰
فاصله از ایستگاه آتش نشانی	۳۵۱۰	۲۳۳	۱۲۰	۶
فاصله از بیمارستان	۲۲۳۱	۲۱۷	۱۲۹۸	۸۶
فاصله از شیرهای آتش نشانی	۴۲۳۴	۲۰۰	۹۵۵	۴۵
کاربری اراضی	مسکونی	۴۳	مسکونی	۴۳
معیار	سرویس دهی A	۶۴	سرویس دهی A	۶۴
تعداد طبقات	۱	۲۳	۲	۱۲۸
تراکم ساختمان	۹۰ - ۶۰	۱۰۲	۹۰ - ۶۰	۱۰۲
فاصله از پمپ بنزین	۲۲۵۶	۱۵۰	۱۴۶۶	۱۸۷
فاصله از پست های هوایی برق	۳۱۶	۱۹۵	۱۵۹	۲۲۰
سازندهای سطحی Ø	۲۹	۲۲۰	۴۰	۷۹
سرعت امواج عرضی	۲۵۶	۲۴۰	۳۳۰	۸۵
عمق سطح ایستابی	۱۹	۱	۸	۱۴۸
فاصله از گسل	۱۹۴۴۶	۱۷۷	۱۵۴۷۹	۱۹۲
توان لرزه زایی گسل	۵/۵۴	۲۴۵	۵/۶	۲۴۹
حداکثر شتاب زلزله	۸۵	۲۲۳	۸۶	۲۲۴
مدت تداوم زلزله	۱۵	۲۴۸	۱۴/۶	۲۴۵

منبع: محاسبات نگارندگان

بحث و نتیجه‌گیری

یکی از فعل و انفعالات طبیعی زمین که برای برقراری اعتدال و انتظام در طبیعت نمودار می‌شود، رخداد زمین‌لرزه است. بر این اساس بشر به دنبال افزایش دانش خود و پیشرفت‌های تکنولوژیک حاصل شده طی سال‌های متمادی، همواره این امکان را برای خود فراهم کرده تا از آثار و صدمات سوء ناشی از آن مصون بماند. کشور ایران با موقعیت خاص زمین‌ساختی و قرار گرفتن روی کمربند زلزله، موقعیت ویژه‌ای در لرزه‌خیزی دارد. استقرار یافتن کانون‌های شهری در پهنه‌های پر خطر، این شهرها را در معرض تهدید و آسیب جدی قرار داده است. این تهدید زمانی وضعیت حادثی به خود می‌گیرد که زیرساخت‌های اولیه و اصول مهمی که در میزان آسیب‌ها مؤثر هستند، مورد بی‌توجهی و کم‌توجهی قرار می‌گیرند و نمونه آن در منطقه مورد مطالعه، به وضوح مشاهده می‌شود؛ چرا که با بررسی نتایج حاصل از تحلیل روی دامنه آسیب‌پذیری مناطق مختلف شهر اردبیل، مشخص شد در هر محدوده از شهر که رعایت اصول و استانداردهای ساخت‌وسازها را بر خود لازم دانسته‌اند، آن محدوده از لحاظ ضریب آسیب‌پذیری در وضعیت مطلوب‌تری قرار دارد و در مواردی که توجهی به این اصول نشده، شرایط ویژه‌ای از آسیب‌پذیری را به وجود آورده است. نمونه این وضعیت را با بررسی مستندواری که روی پیکسل‌های انتخابی انجام شد، می‌توان در شکل ۱۳ و جدول ۸ مشاهده کرد. براساس تحلیل‌هایی که انجام گرفت و با دید کلان و نگاهی عمیق‌تر، مشخص شد محله ۲ از منطقه ۳ اردبیل، بیشترین آسیب‌پذیری را در سطح شهر دارد.

سخن آخر اینکه، نمی‌توان این ذهنیت را پذیرفت که بشر موجودی متهم به نابودی در برابر آسیب‌ها و بلاهای تحمیل شده از محیط است؛ بلکه روند رو به رشد در پیشرفت‌های علمی جوامع مختلف و اثرات مثبت آن در ایمن‌سازی زندگی بشر، همواره خلاف این امر را ثابت کرده است. قاعدتاً این نوع نگاه‌ها و نحوه مدیریت و برنامه‌ریزی‌ها و مهم‌تر از آن، اجرای کامل قوانین موجود در زمینه ساخت‌وسازهای اصولی است که می‌تواند مشخص‌کننده میزان آسیب و خسارت پس از وقوع این‌گونه حوادث باشد و عدم توجه به این موارد، می‌تواند میزان آسیب‌ها را تا چندین برابر افزایش دهد. پیشنهادهایی که در برآیند مطالعه فوق می‌تواند راهگشا باشد در زیر ارائه شده است:

- با توجه به نتایج به دست آمده از مطالعات، مناطق و محلات مختلف شهر دامنه یکسانی از میزان آسیب ندارند؛ لذا برای رفع نقطه ضعف‌های محدوده‌های آسیب‌پذیر، هر فعالیت و عملکردی در ارتباط با نجات مصدومان باید با برنامه مدون اولویت‌بندی شده همراه باشد، به نحوی که اقدامات عملی از محدوده‌هایی آغاز شوند که در سلسله‌مراتب آسیب، رتبه بالاتری دارند.

- یکی از مؤلفه‌های مهم و تأثیرگذار که در مواجهه با خطر زمین‌لرزه می‌تواند نقش تعیین‌کننده‌ای در کاهش تلفات ایفا کند، نسبت دسترسی مناطق مختلف شهری به مراکز امداد و نجات است؛ امری که توزیع و پراکنش آن در سطح شهر با توجه به ضریب خطر مناطق، صورت نگرفته است. نامطلوب بودن دسترسی‌ها به مراکز امداد و نجات، این مسئله را مطرح می‌کند که نحوه توزیع این مراکز در سطح شهر نیازمند بازنگری است تا مشکل محدوده‌های مشکل‌دار به امر دسترسی به این مراکز حل شود.

منابع

- آشور، ح. (۱۳۹۰). بررسی و تحلیل تناسب و جاذبه‌های شهرک صنعتی آمل در مکان‌گزینی واحدهای صنعتی، پایان‌نامه کارشناسی ارشد جغرافیای طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی.
- احدنژاد روشتی، م.؛ قرخلو، م.؛ زیاری، ک. (۱۳۸۹). مدل‌سازی آسیب‌پذیری ساختمانی شهرها در برابر زلزله با استفاده از روش فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی (مطالعه موردی: شهر زنجان)، جغرافیا و توسعه، دوره ۸، شماره ۱۹، صص. ۱۶۸-۱۷۱.
- افروز، ب. (۱۳۹۰). ارائه الگوی مناسب در سطح‌بندی عملکرد مدیریت شهری در بسترسازی برای توسعه کارآفرینی (مطالعه موردی: شهری اردبیل)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد جغرافیای طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی.
- ایری، ع. (۱۳۷۷). برنامه‌ریزی کاهش اثرات زلزله در سطوح شهری: نمونه موردی منطقه ۲۰ شهر تهران، پایان‌نامه کارشناسی ارشد شهرسازی، دانشگاه شهید بهشتی.
- برگی، خ. (۱۳۸۲). اصول مهندسی زلزله. چاپ چهارم. تهران: انتشارات دانشگاه تهران.
- پورکرمانی، م. و آرین، م. (۱۳۷۶). سائزموکتونیک لرزه زمین‌ساخت. چاپ اول. تهران: انتشارات شرکت مهندسی مشاور دز آب.
- تهرانی‌زاده، م.؛ حامدی، ف. (۱۳۸۱). بررسی حداکثر حرکات زمین، مدت دوام حرکات شدید و محتوای فرکانسی زلزله چنگوره - آوج، سمینار درس‌هایی از زلزله چنگوره - آوج. مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، ۱ مرداد ۱۳۸۱.
- جهانگیری، ک.؛ آذین، ع.؛ محمد، ک.؛ رحیمی، ع. (۱۳۸۹). تحلیل برخی عوامل مؤثر بر آمادگی مردم شهر تهران در برابر زلزله، مجله پژوهشی حکیم، سال سیزدهم، شماره سوم، صص. ۱۶۴-۱۵۵.
- جهانی، ع. (۱۳۷۷). قابلیت‌های اطلاعات ماهواره‌ای و سیستم اطلاعات جغرافیایی در مطالعات ارزیابی زمین (مطالعه موردی: حوزه آبریزی طالقان)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشگاه تربیت مدرس.
- حبیبی، ک.؛ شیعه، ا.؛ ترابی، ک. (۱۳۸۹). بررسی آسیب‌پذیری شبکه‌های ارتباطی شهرها در مقابل زلزله با استفاده از روش (IHWP) و GIS (مطالعه موردی: منطقه ۶ شهرداری تهران). باغ نظر. دوره ۷، شماره ۱۳، صص. ۴۸-۳۵.
- خانلری، غ. (۱۳۷۷). زمین‌شناسی مهندسی. چاپ اول. همدان: انتشارات دانشگاه ابوعلی سینا.
- روستایی، ش. (۱۳۹۰). پهنه‌بندی خطر گسل تبریز برای کاربری‌های مختلف اراضی شهری، جغرافیا و توسعه، دوره ۹، شماره ۲۱، صص. ۴۱-۲۷.
- روستایی، ش.؛ جباری، ا. (۱۳۸۶). ژئومورفولوژی مناطق شهری. تهران: انتشارات سمت.
- ستوده، ب. (۱۳۸۰). برنامه‌ریزی کاربری زمین و اصلاح معابر جهت ایمن‌سازی در برابر زلزله (نمونه موردی: محله باغ فردوس شهرداری منطقه یک تهران). پایان‌نامه کارشناسی ارشد، شهرسازی - برنامه‌ریزی شهری و منطقه‌ای، دانشگاه شیراز.
- سازمان آب منطقه‌ای آذربایجان شرقی و اردبیل. (۱۳۷۵). گزارش حفاری‌های چاه اکتشافی و پی‌زومتر مجاور آن در دشت اردبیل. معاونت مطالعات پایه منابع آب.
- سازمان آب منطقه‌ای آذربایجان شرقی و اردبیل. (۱۳۸۱). گزارش حفاری‌های چاه اکتشافی و پی‌زومتر مجاور آن در دشت اردبیل. معاونت مطالعات پایه منابع آب.
- سازمان مسکن و شهرسازی استان اردبیل. (۱۳۸۶). طرح جامع و تفصیلی شهر اردبیل. www.mrud-ar.ir
- سازمان زمین‌شناسی کشور. شرح نقشه زمین‌شناسی چهار گوش اردبیل، مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰ www.gsi.ir

شرکت سهامی آزمایشگاه فنی و مکانیک خاک استان اردبیل، سلسله مطالعات بهسازی لرزه‌ای مدارس شهر اردبیل، مطالعات ژئوتکنیک، تیر ۱۳۸۳ - خرداد ۱۳۸۹

شهابی، ه؛ قلیزاده، ح. (۱۳۹۰). **پهنه‌بندی خطر زمین‌لرزه با روش تحلیل چندمعیاری فضایی**. جغرافیا و توسعه، دوره ۹، شماره ۲۱، صص. ۸۰-۶۵.

شعبه، ا. (۱۳۸۹). **بررسی آسیب‌پذیری شهرها در برابر زلزله با استفاده از روش تحلیل سلسله‌مراتبی معکوس (IHWP) و GIS (مطالعه موردی: منطقه ۶ شهرداری تهران)**، مجموعه مقالات چهارمین کنگره بین‌المللی جغرافی دانان جهان اسلام (ICIWG 2010)، ایران، زاهدان، ۲۵ - ۲۷ فروردین.

غلامی، ع. (۱۳۹۰). **کاربرد فنون MCDM در طرح و اولویت‌بندی گزینه‌های مناسب در امر بازیافت و دفن پسماندهای شهری (مطالعه موردی شیراز)**. پایان‌نامه کارشناسی ارشد جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، اردبیل: دانشگاه محقق اردبیلی.

فرج‌زاده اصل، م؛ احدنژاد، م؛ امینی، ج. (۱۳۹۰). **ارزیابی آسیب‌پذیری مسکن شهری در برابر زلزله (مطالعه موردی: منطقه ۹ شهرداری تهران)**. مطالعات و پژوهش‌های شهری و منطقه‌ای، سال سوم، شماره نهم، صص. ۱۹-۳۶.

قائدرحمتی، ص؛ باستانی‌فر، ا؛ سلطانی، ل. (۱۳۹۰). **بررسی تأثیرات تراکم بر آسیب‌پذیری ناشی از زلزله در شهر اصفهان (با رویکرد فازی)**. مجله جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، سال بیست‌ودوم، شماره ۱، صص. ۱۲۲-۱۰۷.

گتیمی، ب. (۱۳۸۳). **مجموعه شهری تهران، گزیده مطالعات محدودیت‌ها و امکانات طبیعی، وزارت مسکن و شهرسازی، معاونت شهرسازی و معماری، مرکز مطالعات و تحقیقات شهر سازی و معماری ایران، تهران: چاپ گستر.**

لهانگ، ا. (۱۳۷۳). **تشریح لرزه‌نگاشت‌ها، ترجمه سید جلیل‌الدین فاطمی و احمد عباس‌نژاد، کرمان: انتشارات دانشگاه شهید باهنر.**

مالچفسکی، ی. (۱۳۸۵). **سامانه اطلاعات جغرافیایی و تحلیل تصمیم چندمعیاری، ترجمه اکبر پرهیزگار و عطا غفاری گیلانده، تهران: انتشارات سمت.**

معماریان، ح. (۱۳۷۷). **زمین‌شناسی مهندسی و ژئوتکنیک**. تهران: انتشارات دانشگاه تهران.

مرکز مطالعات زلزله و زیست‌محیطی تهران بزرگ و آژانس همکاری‌های بین‌المللی ژاپن (جایکا) (۱۳۸۱). **ریزپهنه‌بندی لرزه‌ای تهران بزرگ.**

وزارت مسکن و شهرسازی، شرکت عمران و بهسازی شهری ایران. (۱۳۹۰). **طرح بهسازی و نوسازی بافت فرسوده شهر اردبیل.**

Antonioni, G., Gigliola, S. and Cozzani, V., 2007, **A Methodology for the Quantitative Risk Triggered by Seismic Events**, Journal of Hazardous Materials, Vol. 147, No. 1-2, PP. 48-59.

Bommer, J.J., Benito, M. B., Ciudad-Real, M., Lemoine, A., 2002, **The El Salvador Earthquakes of January and February 2001: Context, Characteristics and Implications for Seismic Risk**, Original Research Article, Soil Dynamics and Earthquake Engineering, Vol. 22, No. 5, PP. 389-418.

Cova, T. J., 1999, **GIS in Emergency Management, Geographic Information Systems: Principles, Techniques, Applications, and Management**, P.A. Longley, M.F. Goodchild, D.J. Maguire, D.W. Rhind (eds.), John Wiley & Sons, New York.

- Lantada, N., Pujades, L., Barbat, A., 2009, **Vulnerability Index and Capacity Spectrum Based Methods for Urban Seismic Risk Evaluation**, Natural Hazards, Vol. 51, No. 3, PP. 501-524.
- Nordenson, G.J.P., Deodatis, G., Jacob, K.J., Tantala, M., 2008, **Earthquake Loss Estimation for the New York City**, Metropolitan Region Original Research Article, Soil Dynamics and Earthquake Engineering, Vol. 28, No. 10-11, PP. 812-835.
- Rashed, K. and Weeks, J., 2003, **Assessing Vulnerability to Earthquake Hazard Through Spatial International**, Journal of Geographic Information Science Multicriteria Analysis of Urban Areas, Vol.17, No. 6, PP.547-576.
- Tang, A., Wen, A., 2009, **An Intelligent Simulation System for Earthquake Disaster Assessment**, Computers & Geosciences, Volume 35 , Issue 5, PP. 871-879.
- Zafarani, H., Noorzad, A., Ansari, A., Bargi, K., 2009, **Motion for Future Earthquaks in Greater Tehran**, Soil Dynamics and Earthquake Engineering, Vol. 29, No. 4, PP. 722-741.

