پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمّی، سال دوم، شماره ۲، پاییز ۱۳۹۲
صص. ۷۹-۴۳

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

فریبا اسفندیاری درآباد* ـ دانشیار ژئومورفولوژی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل
عطا غفاری گیلانده ـ استادیار گروه جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل
خداداد لطفی ـ 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 به‌تبع آن، توسعهٔ ساخت‌وسازها اجتناب‌ناپذیر شده است، هر روز بر فشار نیازهای زمینی بشر افزوده شده و بهره برداری از مناطق اطراف شهرها و روستاها برای ایجاد خانه و تأسیسات اقتصادی و صنعتی فزونی 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. منطقهٔ 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 سابقهٔ 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 زلزلهٔ 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 چهارگانهٔ شهر اردبیل، نشان می‌دهد که میزان آسیب وارده در منطقهٔ ۳ بیشتر از سایر مناطق است، به‌گونه‌ای که ٤/۳۷ درصد از مساحت این منطقه (٦۷/۳۲ هکتار)، رتبهٔ 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 چهارگانهٔ شهر، به‌تفکیک محلات، به برآورد ضریب آسیب‌ها بپردازیم. بر اساس نتایجی که از تحلیل درجات آسیب در سطح شهر به تفکیک محلات، به‌دست‌آمد، محلهٔ ۲ از منطقهٔ ۳ شهر، آسیب‌پذیرترین محدودهٔ شهر شناسایی شد.**

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

---

* نویسنده مسئول: ۰۹۱۲۸۵۷۹۸۴۸ E-mail: Fariba_Sfandyary@yahoo.com

## مقدمه

به‌دلیل ذخیره‌شدن مقادیر زیادی انرژی در درون زمین و با توجه بـه نظریـهٔ جابـه‌جـایی قـاره‌هـا، تغییـرات عمـده‌ای در قسمت‌های سطحی زمین رخ می‌دهد که زمین‌لرزه یکی از این تغییرات است. به‌گفتهٔ دیگر، زمین‌لرزه پدیدهٔ انتشار امـواج در زمین، به‌دلیل آزاد شدن مقدار زیادی انرژی ناشی از اغتشاش سریع در پوستهٔ 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 پـی نـدارد؛ بلکـه آنچـه سبب آسیب و اطلاق واژهٔ بلا به آن است، خسارات وارده و پیامدهای زیانبار ناشی از عدم آمادگی برای مقابله و رویارویی با این پدیدهٔ طبیعی است. ایران به‌دلیل موقعیت خاص جغرافیایی و قـرار گـرفتن روی کمربنـد آلـپ ـ هیمالیـا، یکـی از کشورهای لرزه‌خیز جهان به‌شمار می‌رود (جهانگیری، ۱۳۸۵: ۱۵۶–۱۵۵).

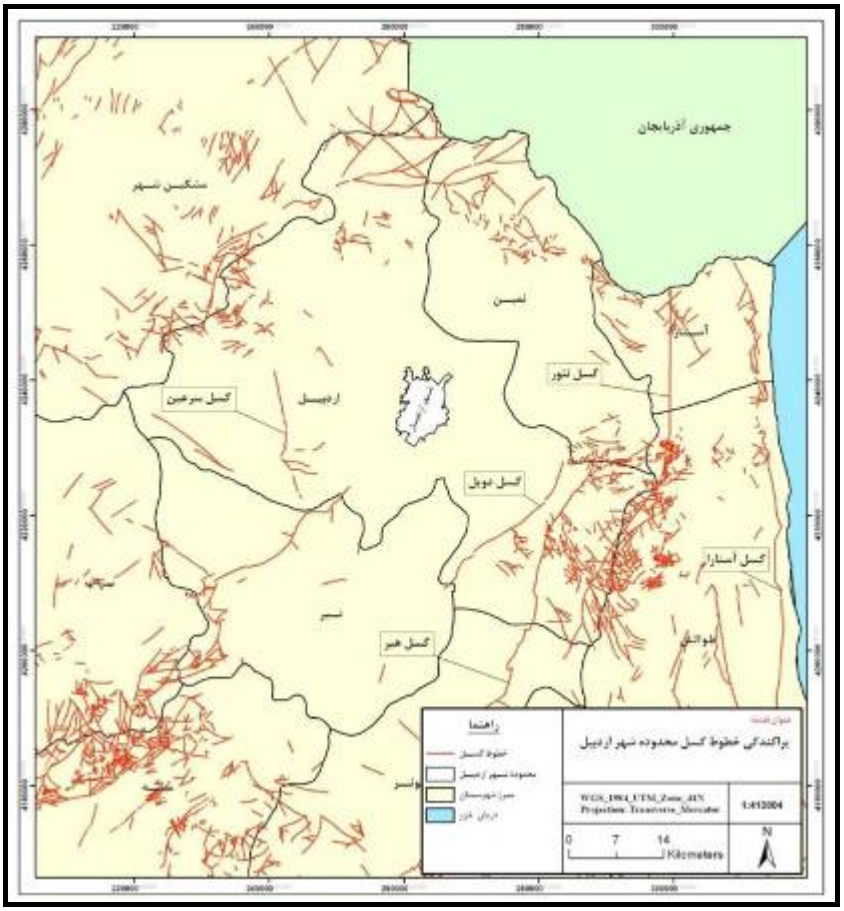
براساس گزارش سازمان ملل، کشور ایران در سال ۲۰۰۳ میلادی از میان کشورهای جهان، رتبهٔ نخست را در تعداد زلزله‌های با شدت بالای ۵/۵ ریشتر و یکی از بالاترین رتبه‌ها را در زمینهٔ آسیب‌پذیری از زلزله و تعداد افراد کشـته شـده در اثر این سانحه داشته است. بر اساس همین گزارش، در کشور ایران زلزله، وجه غالـب را در بـین سـوانح طبیعـی دارد (فرجزاده اصل، ۱۳۹۰: ۲۰).

استقرار اولیه شهر اردبیل در موقعیت کنونی و رشد آن، به‌دلیل وجود رودخانهٔ بالقلی و خاک حاصلخیز دشت اردبیـل بوده که شرایط مناسب کشت و زرع را برای ساکنان نخستین آن فراهم کرده است. در گذر زمان و بـا بـه‌وقـوع پیوسـتن حوادث متعدد تاریخی، به‌ویژه روی کار آمدن خاندان صفویه در ایران، رشد شهر اردبیل بـا شـتاب بیشـتری ادامـه یافتـه است، به‌ویژه اینکه در سال‌های اخیر با مطرح‌شدن شهر اردبیل به‌عنوان مرکز استان و تمرکز یافتن فعالیت‌های سیاسـی، اقتصادی، تجاری و خدماتی، شاهد رشد فزایندهٔ 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 قرارگیـری شـهر اردبیل روی بستر آبرفتی که نسبت به بسترهای سنگی مقاومت کمتری در برابر ارتعاشات زلزله دارد و وقـوع زلزلـه‌هـای متعدد، به‌ویژه زلزلهٔ ۵/۴ ریشتری اسفند ماه ۱۳۷۵ از سوی دیگر، موجب شده است که همواره محدودهٔ مـورد مطالعـه بـا خطر آسیب جدی در برابر زلزله روبه‌رو شود؛ خطری که باید برای مقابله با آن آماده بود.

اگرچه بر اساس شواهد زمین‌شناسی، بستر شـهر اردبیـل بـه‌دلیـل منفصـل بـودن مـواد تشـکیل‌دهنـدهٔ آن، دچـار گسل‌خوردگی نشده است، اما گسل‌های توانمندی که در دامنه‌های سبلان و ارتفاعـات بـاغرو بـا فاصـلهٔ انـدک از شـهر اردبیل قرار گرفته‌اند، بیشترین تهدید برای آن محسوب می‌شوند که ازجملهٔ این گسل‌ها می‌توان به گسل آسـتارا، گسـل هیر، گسل سرعین، گسل دویل و گسل نئور اشاره کرد (شکل ۱). از آنجایی که گسل‌ها منشأ بسیاری از زلزله‌ها هسـتند، بنابراین به‌دلیل وجود گسل‌های مهم لرزه‌زا پیرامون محدودهٔ مورد مطالعه، زلزله خطری بسیار محتمل برای مـردم شـهر اردبیل شمرده می‌شود. از این رو در پژوهش پیش رو با استفاده از مدل تاپسیس و اهدافی چـون، ارائـه و معرفـی الگـوی سلسله‌مراتبی از وضعیت آسیب‌پذیری شهر اردبیل در برابر زلزله؛ تعیین مهم‌ترین عوامل آسیب‌زا در برابر زلزله در محدودهٔ شهر اردبیل و ارائهٔ راهکاری در چارچوب مدلی واقعـی از وضـعیت آسـیب‌پـذیری شـهر بـرای مسـئولان در جهـت رفـع

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




**شکل ۱. پراکندگی خطوط گسل در محدودهٔ شهر اردبیل**

در خصوص سوانح طبیعی، به‌خصوص 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. شهابی (۱۳۹۰) خطر زمین‌لرزه را در استان کردستان با استفاده از روش تحلیل چندمعیارهٔ فضایی بررسی کرده است. وی در این پژوهش با مدل تحلیل چندمعیاره، رخداد زمین‌لرزه را در استان کردستان به‌تفکیک شهرستان پهنه‌بندی کرده است. فرجزاده اصل (۱۳۹۰) به ارزیابی آسیب‌پذیری مساکن شهری در برابر زلزله در منطقهٔ ۹ شهرداری تهران پرداخته است. این پژوهش با توجه به روش‌های مبتنی بر پایگاه اطلاعاتی و با بهره‌گیری از مدل تاپسیس فازی و نرم‌افزارهای مبتنی بر رویکرد سیستم اطلاعات جغرافیایی انجام گرفته است که نتایج حاصله حاکی از آسیب‌پذیر بودن منطقهٔ ۹ تهران در برابر زلزله و کارایی مدل تاپسیس فازی در ارزیابی آسیب‌پذیری منطقهٔ مورد مطالعه است.

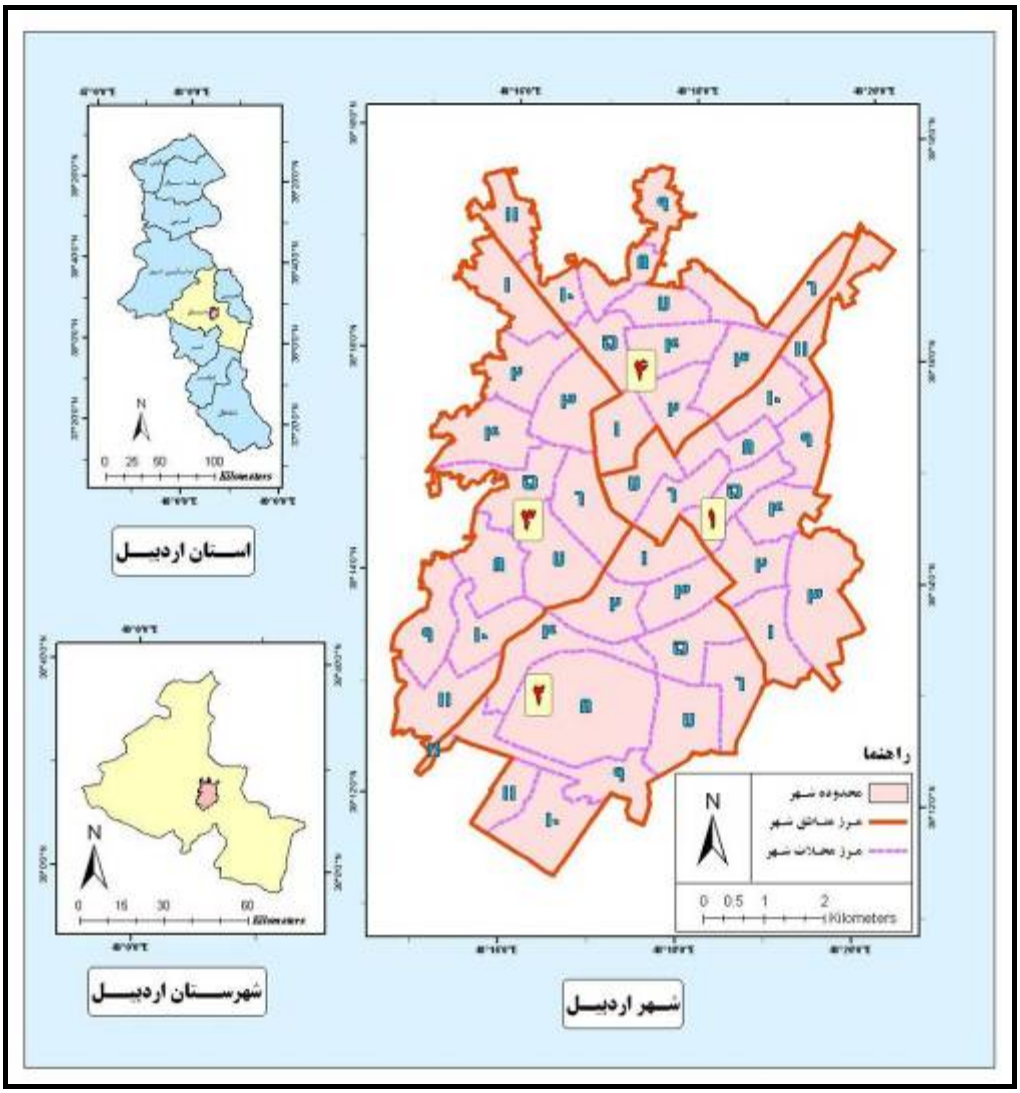
شیعه (۱۳۸۹) آسیب‌پذیری منطقهٔ ۶ شهر تهران را در برابر زلزله با استفاده از روش تحلیل سلسله معکوس (IHWP) و (GIS) و نیز با در نظرگرفتن شاخص‌های درجه محصوریت، تراکم جمعیتی، تراکم ساختمانی، کاربری زمین، پیشینهٔ شتاب (PGA) منطقه و کیفیت ابنیه بررسی کرد و برآوردی از میزان آسیب‌پذیری شهر تهران در مقابل زلزله ارائه داد. شیعه به این نتیجه رسیده است که مناطق با تراکم جمعیت بالا، تراکم ساختمان بالا، کیفیت ابنیهٔ پایین و فاصلهٔ 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 سامانهٔ اطلاعات جغرافیایی پرداخته و با استفاده از این روش، به ارائهٔ 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 منطقهٔ ۳ شهر زنجان، به‌دلیل فرسودگی بافت و استفاده از مصالح کم‌دوام در ساخت‌وسازها، آسیب‌پذیری بالایی دارد.

کاوا (۱۹۹۹) برای تهیهٔ یک نقشهٔ 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) زلزلهٔ ژانویه و فوریهٔ ۲۰۰۱ السالوادور 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 ژئوتکتونیکی 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 آتیِ 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 محدودهٔ مورد مطالعه

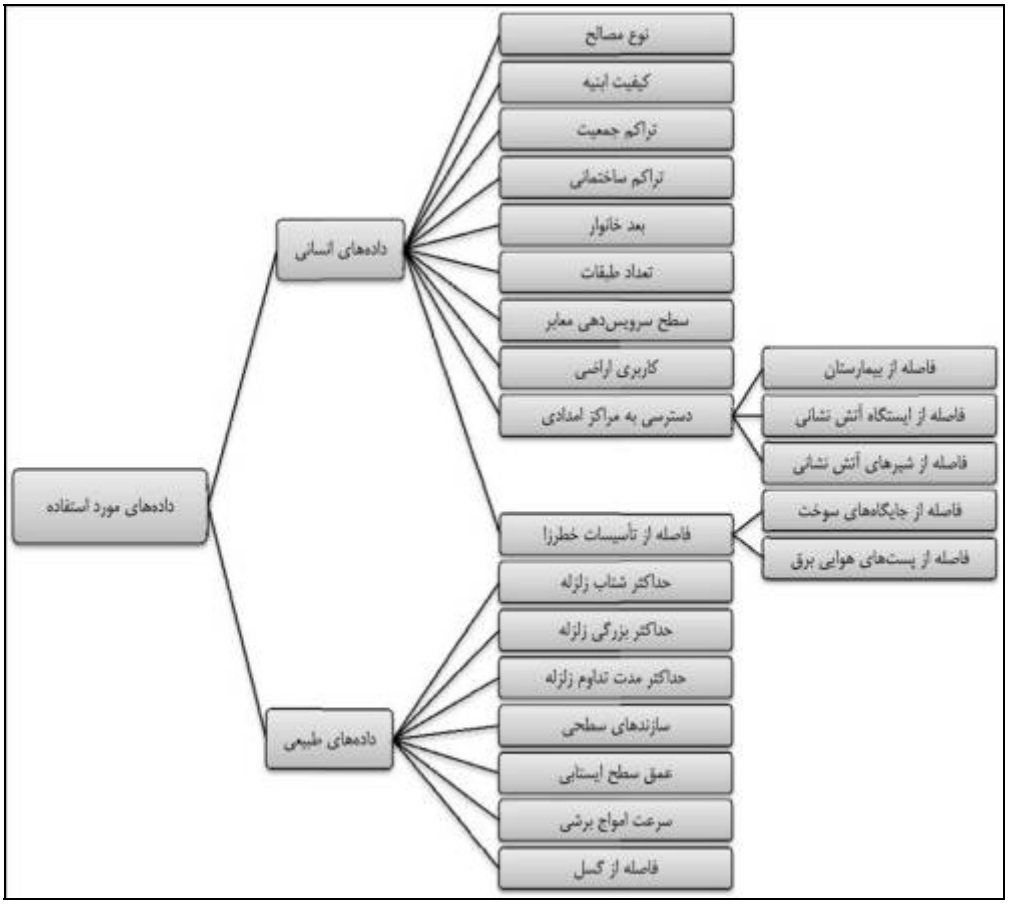
شهر اردبیل در شمال غرب کشور و دامنه‌های شرقی سبلان، در ارتفاع ۱۳۴۰ متری از سطح دریا بین مدارهای ۱۱ َ ۳۸ ° تا ۱۸ َ ۳۸ ° عرض شمالی از مدار استوا و ۱۴ َ ۴۸ ° تا ۲۰ َ ۴۸ ° طول شرقی از نصف‌النهار گرینویچ قرار گرفته است. این شهر در سال ۱۳۹۰ جمعیتی افزون‌بر ۴۸۰,۰۰۰ نفر را در خود جای داده است که با این جمعیت و مساحت ۶۳۰۰ هکتاری، تراکم ناخالص ۷۶ نفر در هر هکتار را نشان می‌دهد. قسمت عمدهٔ 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. نقشهٔ موقعیت محدودهٔ مورد مطالعه**

## مواد و روش‌ها

موادی که در این پژوهش به‌کار گرفته می‌شوند، مشتمل بر نقشه‌ها یا آرشیوهای اطلاعاتی مربوط به معیارهایی هستند که در تعیین ضریب آسیب‌پذیری شهرها در برابر زلزله به‌کار گرفته می‌شوند (شکل ۳). اطلاعات مذکور بر پایهٔ 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 به‌دست آمده است. نرم‌افزارهای مورد استفاده در این پژوهش به تناسب کاربرد عبارتند از: نرم‌افزارهای Arc GIS نسخهٔ ۹/۳، Arc view نسخهٔ ۳/۳، IDRISI Kilimanjaro و Grapher 4، در فازهای مربوط به ورود، ذخیره و مدیریت، پردازش و تحلیل داده‌ها و نرم‌افزار اکسل نسخهٔ ۲۰۰۷ برای انجام محاسبات کمی.




**شکل۳. نمودار داده‌های مورد استفاده در فرایند پژوهش**

**تهیهٔ نقشهٔ معیار:** یک معیار[1]، استانداردی 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 $x_{ij}$، معرف صورت وضعیت پیکسل i (سلول تشکیل‌دهندهٔ نقشهٔ رستری از محدودهٔ مورد مطالعه) است که به‌ازای وضعیت ثبت‌شده از معیار j، تعیین شده است.

در این مقاله، مرحلهٔ مربوط به ارزش‌گذاری و استانداردسازی به‌صورت توأم و برمبنای ارزش عضویت در مجموعهٔ فازی در نظر گرفته شده است. ارزش عضویت یا درجهٔ تعلق در یک مجموعهٔ فازی را می‌توان با شماره‌ای تعیین کرد که دامنهٔ آن بین مقادیری چون صفر تا ۱ یا صفر تا ۲۵۵ قرار دارد (آشور، ۱۳۹۰: ۱۵۴). در دامنهٔ بین صفر و ۱، اگر $\mu_A(X) = ۱$ باشد ، در این صورت عنصر x به‌صورت کامل به دامنهٔ A تعلق دارد. به همین ترتیب اگر $\mu_A(X)=۰$ باشد، در این صورت عنصر x به‌طور مشخص به دامنهٔ A تعلق ندارد. درجهٔ بالای ارزش عضویت یک عنصر، به‌معنای نسبت بالای تعلق آن به مجموعه است (افروز، ۱۳۹۰: ۱۰۸).

1. Criterion

**جدول ۱. ماتریس معیارهای مورد استفاده در ارزیابی آسیب‌پذیری ناشی از زلزله**

| | نوع مصالح | کیفیت ابنیه | تراکم جمعیت | تعداد طبقات | تراکم ساختمان | بعد خانوار | فـ. بیمارستان | فـ. شیر آتش | فـ. پست هوایی برق | فـ. پمپ بنزین |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| پیکسل۱ | $X_{11}$ | $X_{12}$ | $X_{13}$ | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| پیکسل ۲ | $X_{21}$ | $X_{22}$ | $X_{23}$ | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ |
| پیکسل m | $X_{m1}$ | $X_{m2}$ | $X_{m3}$ | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... |

| | کاربری اراضی | فـ. ایستگاه آتش نشانی | معابر | حداکثر شتاب زلزله | فـ. گسل | حداکثر توان لرزه‌زایی | سازندهای سطحی | عمق سطح ایستابی | مدت تداوم زلزله | امواج برشی سرعت |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| پیکسل۱ | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | $X_{1n}$ |
| پیکسل ۲ | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | $X_{2n}$ |
| ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ |
| پیکسل m | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | $X_{mn}$ |

منبع: نگارندگان

در پژوهش حاضر با استفاده از امکاناتی که در تابع فـازی از نـرم‌افـزار IDRISI Kilimanjaro وجـود دارد، بـرای استانداردسازی نقشه‌هایی که به‌صورت نقشه‌های معیار تهیه شده‌اند، به‌تناسب، از توابع عضویت Sigmoidal وliniear و در قالب‌هایی چون، الگوهایی افزایشی به‌صورت یکنواخت، کاهشی به‌صورت یکنواخت و سایمتریک استفاده شده است.

در رابطه با هر معیار، دامنه‌ای از مقادیر در نظر گرفته شده است که اگر مقادیر ثبت‌شده از معیار در پیکسل‌ها، بیشتر یا کمتر از این مقادیر باشند، به‌منزله درجهٔ عضویت صفر در دامنهٔ تعیین‌شده تلقی می‌شـود و درنتیجـه، میـزان مطلوبیـت برابر با صفر می‌شود. از سوی دیگر، اگر مقادیر اندازه‌گیری‌شده از معیار در پیکسل‌ها با درجهٔ کامل عضـویت، منطبـق بـر دامنهٔ تعیین‌شده باشد، به‌معنای مطلوبیت حداکثر در آن معیار است. سایر سطوح مطلوبیت نیز در حد فاصل درجه عضویت صـفر و درجـه عضـویت حـداکثر قـرار دارنـد. تغییـرات درجـه عضـویت مـی‌توانـد در دامنـه ($۱ \leq \mu_D(X) \leq ۰$) یـا ($۲۵۵ \leq \mu_D(X) \leq ۰$) قرار گیرند که در پژوهش پیش رو برای استانداردسازی تغییرات مقادیر معیار در محیط IDRISI Kilimanjaro از تغییرات درجه عضویت در دامنهٔ ($۲۵۵ \leq \mu_D(X) \leq ۰$) استفاده شـده اسـت. از سـوی دیگـر مـدل تاپسیس، به‌منزلهٔ قاعدهٔ تصمیم‌گیری چندمعیاری در ارزیابی ضریب آسیب‌پذیری شهر اردبیـل در برابـر زلزلـه، محور اصلی در فرایند روش پژوهش در نظر گرفته شده است. روش مرتب‌سازی اولویت گزینه‌ها بر مبنـای میـزان مشابهت به راه حل ایده‌آل[1] (تاپسیس)، یکی از رایج‌ترین روش‌ها در تعیین میزان انفکـاک از موقعیـت ایـده‌آل محسـوب می‌شود. بر اساس این روش بهترین گزینه، گزینه‌ای است که به‌طور همزمـان، نزدیـک‌تـرین واحـد بـه نقطـهٔ ایـده‌آل و دورترین واحد از نقطهٔ متصف به شرایط نامطلوب باشد. از امتیازهای مهم این روش آن اسـت کـه همزمـان مـی‌تـوان 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):

**مرحلهٔ اول:** تشکیل ماتریس داده‌ها (رابطهٔ ۱) براساس n آلترناتیو و m شاخص که در آن $x_{ij}$ معرف نمرهٔ خام پیکسل iام در معیار jام است.

رابطهٔ ۱)
$$X_{ij}=\begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \vdots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{m1} & x_{m2} & \dots & x_{mn} \end{bmatrix}$$

**مرحلهٔ دوم:** در این مرحله با استانداردسازی داده‌ها، دامنهٔ مقادیر $(x_{ij})$ را که در واحدهای اندازه‌گیری متفاوت (همچون واحد اندازه‌گیری رتبه‌ای، درصدی و متریک) وجود دارند، به یک دامنهٔ استاندارد تبدیل کرده و مقادیر استاندارد شدهٔ داده‌ها $(v_{ij})$ را به‌دست آوریم. در چنین روندی، لایه‌های نقشهٔ استانداردی به‌دست می‌آید که می‌توان آنها را با هم مقایسه و ترکیب کرد (رابطهٔ ۲).

رابطهٔ ۲)
$$V_{ij}=\begin{bmatrix} v_{11} & v_{12} & \vdots & v_{1n} \\ v_{21} & v_{23} & \dots & v_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ v_{m1} & v_{m2} & \dots & v_{mn} \end{bmatrix}$$

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

**مرحله چهارم:** با ضرب هر ارزش از لایهٔ صفت استاندارد شدهٔ $v_{ij}$ در وزن متناظر بر آن $(w_j)$، لایه‌های نقشهٔ استانداردشدهٔ وزنی ایجاد می‌شود. هر سلول از لایه‌ها، حاوی ارزش استانداردشدهٔ وزنی $v_{ij}$ هستند.

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

**مرحلهٔ ششم:** در این مرحله، ارزش حداقل $(v_{-j})$ برای هر لایه از نقشهٔ استانداردشدهٔ وزنی تعیین می‌شود (ارزش‌ها تعیین‌کنندهٔ نقطهٔ حضیض هستند) به‌صورتی که $v_{-j}=(v_{max1}, v_{max2}, \dots, v_{maxn})$.

**مرحلهٔ هفتم:** با استفاده از یک اندازهٔ انفکاک، فاصله بین نقطهٔ ایده‌آل و هر گزینه محاسبه می‌شود؛ یک انفکاک را می‌توان با استفاده از متریک فاصلهٔ اقلیدسی محاسبه کرد (رابطهٔ ۳).

رابطهٔ ۳)
$$s_{i+}=\sqrt{\sum_j \left(v_{ij}-v_{+j}\right)^2}$$

**مرحلهٔ هشتم:** با استفاده از همان اندازهٔ انفکاک، فاصله بین هر گزینه و نقطهٔ حضیض محاسبه می‌شود (رابطهٔ ۴).

$$s_{i-} = \sqrt{\sum_j \left(v_{ij} - v_{-j}\right)^2}$$ رابطهٔ ۴)

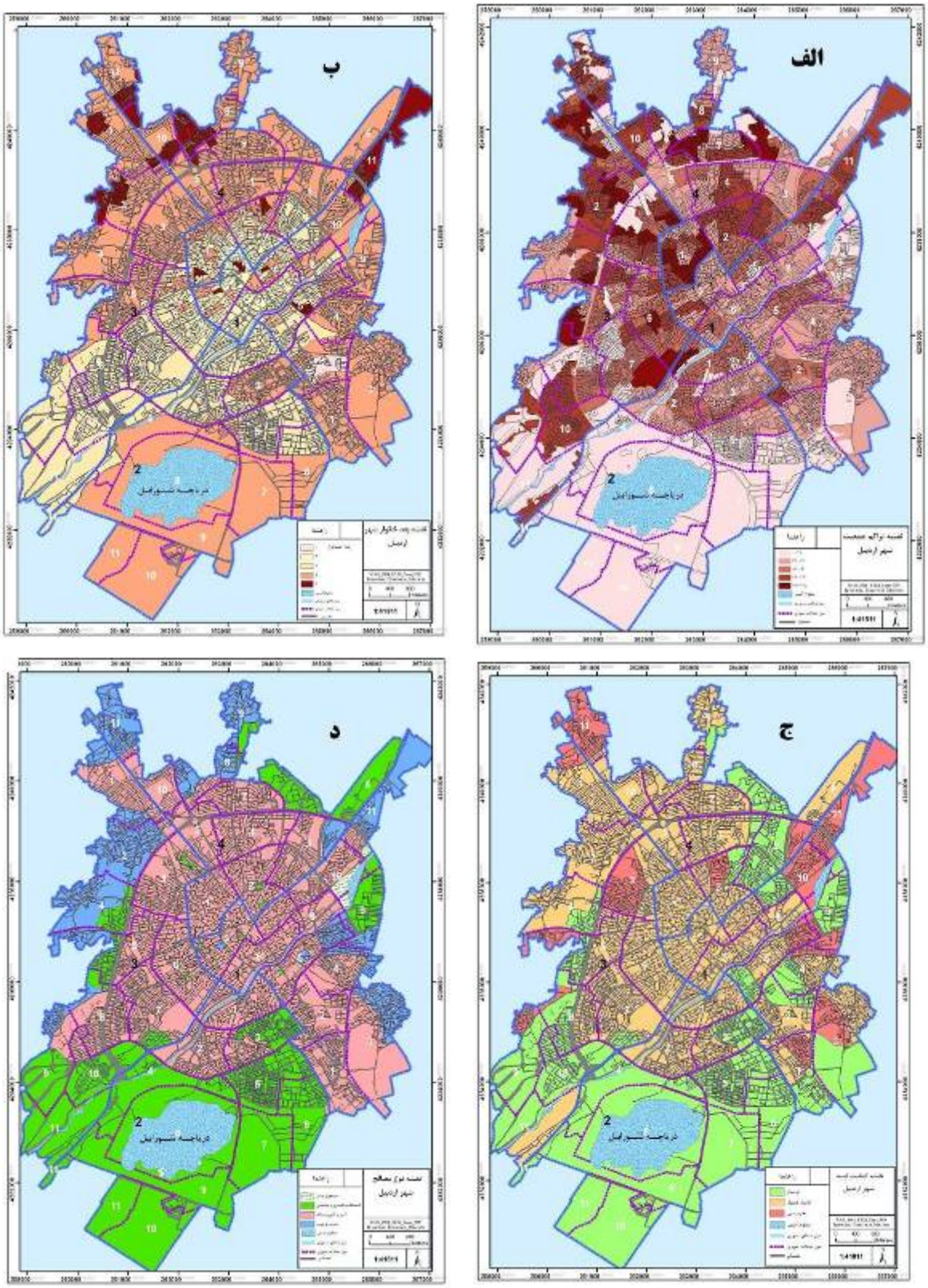
**مرحلهٔ نهم:** با استفاده از رابطهٔ ۵، نزدیکی نسبی به نقطهٔ ایده‌آل ($C_{i+}$) محاسبه می‌شود؛ به‌طوری که $0 < C_{i+} < 1$ است. بر این اساس هر اندازه یک گزینه به نقطهٔ ایده‌آل نزدیکتر باشد، $C_{i+}$ به سمت ۱ میل می‌کند (رابطهٔ ۵).

$$C_{i+} = \frac{s_{i-}}{s_{i+} + s_{i-}}$$ رابطهٔ ۵)

**مرحلهٔ دهم:** در این مرحله گزینه‌ها برحسب یک ترتیب نزولی از $C_{i+}$ رتبه‌بندی می‌شوند؛ گزینه‌ای که با بالاترین ارزش از $C_{i+}$ همراه باشد، بهترین گزینه است.

**ارزش‌گذاری و استانداردسازی دامنهٔ تغییرات ثبت‌شده از معیارها:** ارزش‌گذاری به این معناست که به مقادیر مشخص‌شده از معیارها برحسب میزان مطلوبیت، ارزشی تعلق گیرد. استاندارد کردن داده‌ها نیز، به‌معنای همسان‌کردن دامنهٔ تغییرات استانداردشدهٔ داده‌ها، در دامنه‌هایی همچون صفر تا ۱ و صفر تا ۲۵۵ است؛ زیرا معیارهای مورد استفاده در فرایند ارزیابی، ممکن است در واحدهای اندازه‌گیری متفاوتی مورد سنجش قرار گیرند (مانند زاویهٔ اصطکاک در اندازه‌گیری مقاومت برشی خاک و متر در اندازه‌گیری فاصله از گسل)، درنتیجه در فرایند همپوشی نمی‌توان محاسبات ریاضی را روی آنها اعمال کرد. در این مقاله، فرایند عملیاتی ارزش‌گذاری و استانداردسازی، به‌صورت توأم و بر مبنای ارزش عضویت در مجموعهٔ فازی به انجام رسیده است. فهرست نقشه‌های معیار مورد استفاده در این مقاله و مبنای نظری مطرح در ارزش‌گذاری و استانداردسازی مقادیر ثبت‌شده در نقشه‌های معیار عبارتند از:

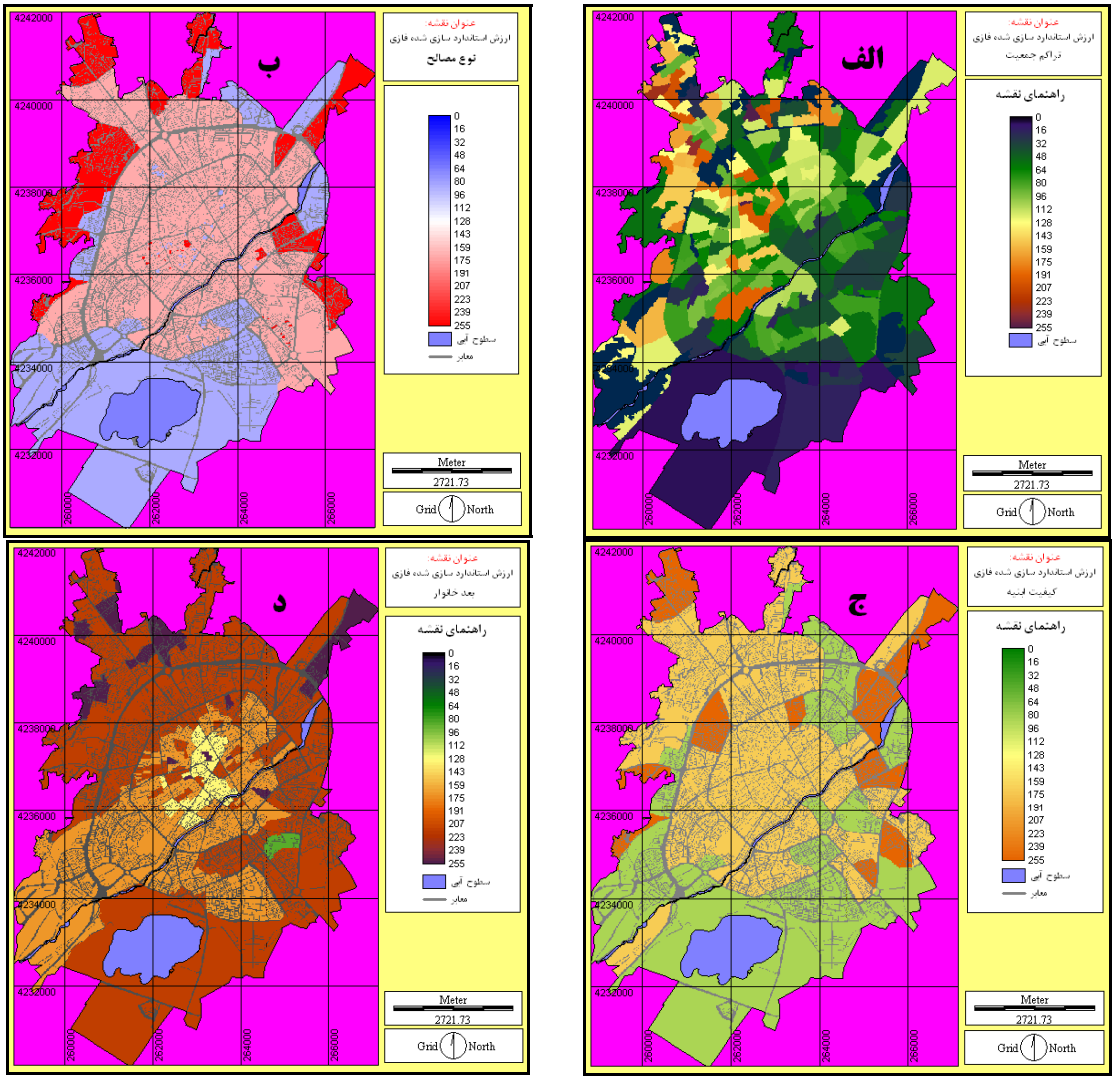
- تراکم جمعیت: شاخصی برای مشخص‌کردن بار جمعیتی در مواقع زلزله است و درنتیجه با بیشتر شدن تراکم جمعیت، سرعت پناه‌گیری و خدمات‌رسانی و امداد پایین می‌آید و برعکس (شکل ۴- الف).
- بُعد خانوار: بالا بودن شاخص بُعد خانوار در واحد مسکونی، احتمال افزایش تلفات انسانی را بیشتر می‌کند؛ یعنی هرچه فضای آزاد در واحدهای مسکونی کمتر باشد، میزان آسیب‌پذیری بیشتر خواهد بود و برعکس (شکل ۴- ب).
- کیفیت ابنیه: این شاخص تأثیر بسیار مهمی بر میزان آسیب‌پذیری ساختمان دارد. احتمال مقاومت ساختمان‌های با کیفیت بالا (نوساز) در مقابل زلزله، نسبت به ساختمان‌های مخروبه و مرمتی بیشتر است. شایان ذکر است که قدمت یک سازه الزاماً رابطهٔ 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 رعایت‌نکردن اصول آیین‌نامهٔ زلزله در ساخت‌وساز ساختمان نیز، باعث کاهش کیفیت بنا می‌شود (ستوده، ۱۳۸۰: ۱۷۰).
- نوع مصالح: نوع مصالح سازه‌ها یکی از معیارهای مهم و مؤثر در تعیین ضریب آسیب‌پذیری شهرها در برابر زلزله محسوب می‌شود. بدیهی است سازه‌هایی که با مصالح مقاوم و استاندارد بالا ساخته شده‌اند، ایمنی مناسبی در برابر زلزله داشته و امنیت بالایی برای ساکنان فراهم می‌کنند (شکل ۴-د).




**شکل٤. الف: نقشهٔ معیار تراکم جمعیت؛ ب: نقشهٔ معیار بعد خانوار؛ ج: نقشهٔ معیار کیفیت ابنیه**
**د: نقشهٔ معیار نوع مصالح شهر اردبیل**

برای اینکه نقشهٔ معیارهای بیان‌شده قابلیت انجام عملیات و محاسبات ریاضی را داشته باشد با استفاده از تابع فازی در محیط رستری نرم‌افزار IDRISI Kilimanjaro، نقشهٔ فازی استانداردشده در حد فاصل ۲۵۵- ۰ برای نقشهٔ معیارهای فوق تهیه شد.

در نقشه‌های فازی‌شده، مناطقی که امکان آسیب‌پذیری بالایی دارند، از سایر مناطق جدا شدند. برای مثال در نقشهٔ تراکم جمعیت، مناطقی با تراکم جمعیت بالا؛ در نقشهٔ بعد خانوار، مناطق دارای خانوارهای پرجمعیت‌تر؛ در نقشهٔ نوع مصالح، سازه‌هایی که با مصالح کم‌دوام و از نوع خشت و چوب ساخته شده و درنهایت، در نقشهٔ کیفیت ابنیه، سازه‌های که به‌دلیل قدمت بالا و فرسودگی استخوان‌بندی سازه از نوع تخریبی یا درکل فاقد استخوان‌بندی هستند، جزء مناطق با پتانسیل بالای آسیب‌پذیری قرار گرفتند. از این رو در نقشه‌های فازی استاندارد شده با توجه به روش استانداردسازی، ارزش عددی برای این‌گونه مناطق، به سمت عدد ۲۵۵ میل می‌کند (شکل ۵).



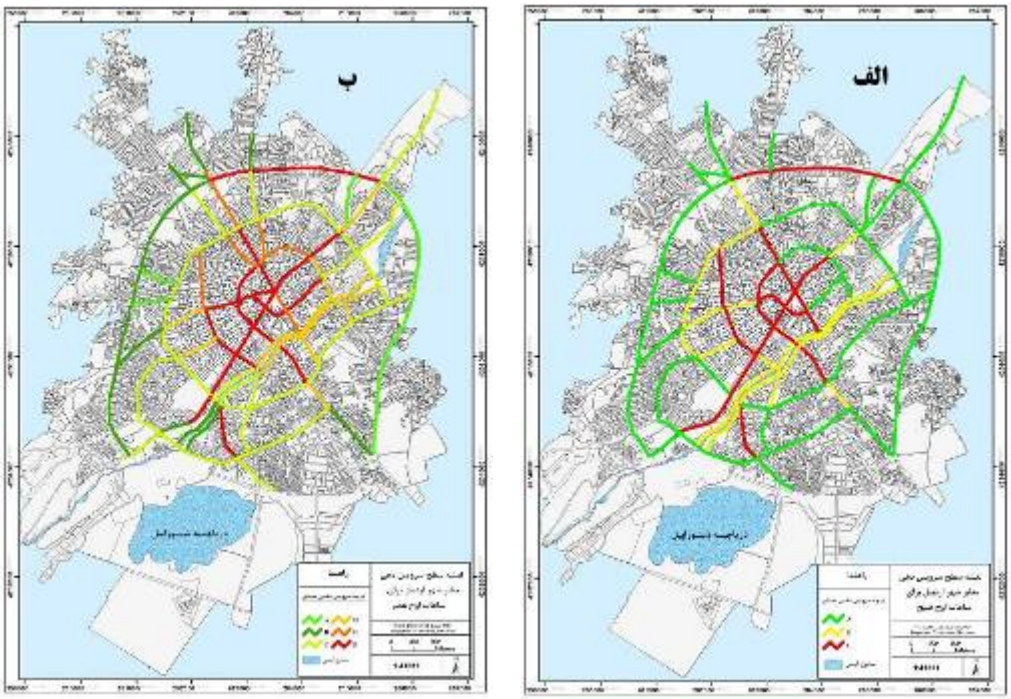

**شکل ۵. الف: نقشهٔ فازی استاندارد شده برای معیار تراکم جمعیت؛ ب: نقشهٔ فازی استاندارد شده برای معیار نوع مصالح؛ ج: نقشهٔ فازی استاندارد شده برای معیار کیفیت ابنیه و د: نقشهٔ فازی استاندارد شده برای معیار بعد خانوار شهر اردبیل**

**دسترسی به مراکز امداد و نجات:** این شاخص بیشتر با زمان بعد از وقوع حادثه در ارتباط است. از مهم‌ترین عوامل مؤثر در بحث کارایی‌سنجی مراکز امداد و نجات که تعیین‌کنندهٔ سطح عملکرد این مراکز در مواقع بحرانی است، می‌توان به شاخص تراکم جمعیت، مساحت و شعاع پوشش، شبکهٔ 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.

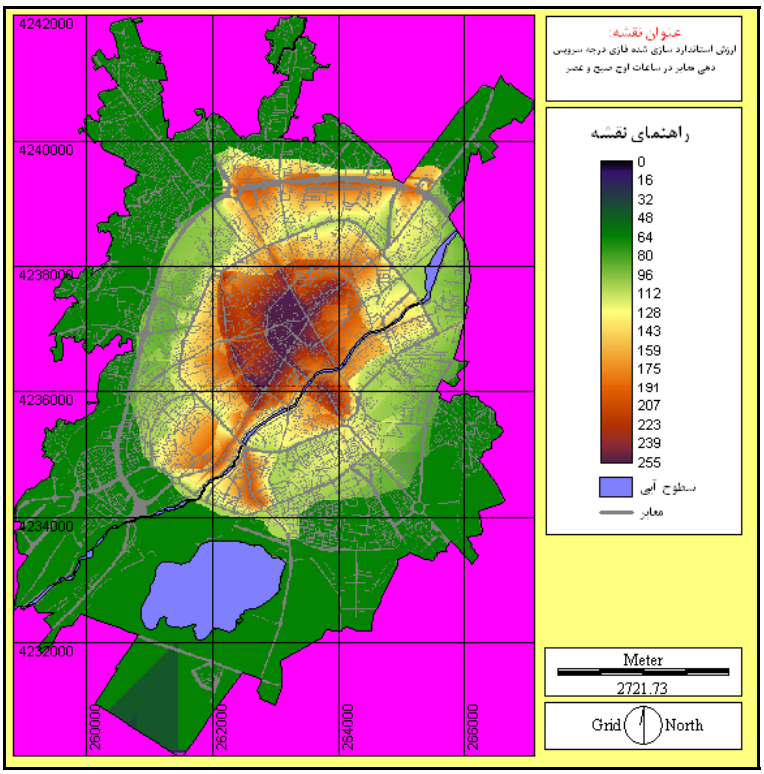
**کاربری اراضی:** بسته به نوع کاربری، احتمال آسیب‌پذیری بیشتر یا کمتر می‌شود. کاربری‌های مسکونی یکی از مهم‌ترین کاربری‌هایی است که در سطح اراضی شهری به‌طور گسترده وجود دارد. در عین حال کاربری‌هایی در شهر وجود دارند که در بحث چگونگی کنترل بحران ناشی از زلزله و کاهش اثرات سوء آن، اهمیت حیاتی پیدا می‌کنند (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 زمینهٔ تخلیهٔ 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 امدادرسانی 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 مقولهٔ ترافیک معابر و جریان رفت و آمد در شبکه‌های ارتباطی، به‌ویژه در ساعات اوج تردد توجه ویژه‌ای کرد. با مطالعهٔ وضعیت معابر، می‌توان قسمت‌های آسیب‌پذیر در زمان تخلیه را مشخص کرد. در این میان سهولت دسترسی نقش حیاتی دارد (حبیبی، ۱۳۸۹: ۳۸). در تهیهٔ نقشهٔ معیار درجهٔ سرویس‌دهی معابر، دو بازهٔ زمانی مد نظر بوده است. سطح سرویس‌دهی معابر در ساعات اولیهٔ صبح و سطح سرویس‌دهی معابر در ساعات اولیهٔ عصر (شکل ۶ – الف و ب) که از تلفیق آنها، نقشهٔ 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 فاصلهٔ 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 برپایهٔ درجهٔ سرویس‌دهی برخوردار هستند (شکل ۷). این مناطق نامطلوب بیشتر در مناطق مرکزی شهر قرار دارند که به‌دلیل 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 مواجهه 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 به‌دلیل ریختن آوار ساختمان‌های بلندمرتبه بالا می‌رود و موجب اختلال در امر امدادسانی می‌شود. همچنین به‌دلیل جمعیت زیاد ساکن در ساختمان‌های چندطبقه، در زمان بروز حادثه تخلیهٔ ساکنان در این واحدها کندتر انجام می‌گیرد و به‌علت حجم آواربرداری بسیار زیاد، نجات جان ساکنان ساختمان‌های بلند بسیار مشکل و دشوارتر است و احتمال آسیب‌پذیری را در این‌گونه ساختمان‌ها بالا می‌برد (قائدرحمتی، ۱۳۹۰: ۱۱۶).




**شکل ٦. الف: نقشهٔ معیار سطح سرویس‌دهی معابر شهر اردبیل برای ساعات اولیهٔ صبح و**
**ب: نقشهٔ معیار سطح سرویس‌دهی معابر شهر اردبیل برای ساعات عصر**




**شکل ۷. نقشهٔ فازی استاندار شدهٔ معیار سطح سرویس‌دهی معابر شهر اردبیل**
**برای ساعات اولیهٔ صبح و عصر**

**تراکم ساختمان:** درصدی از مساحت زمین است که به‌صورت 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).

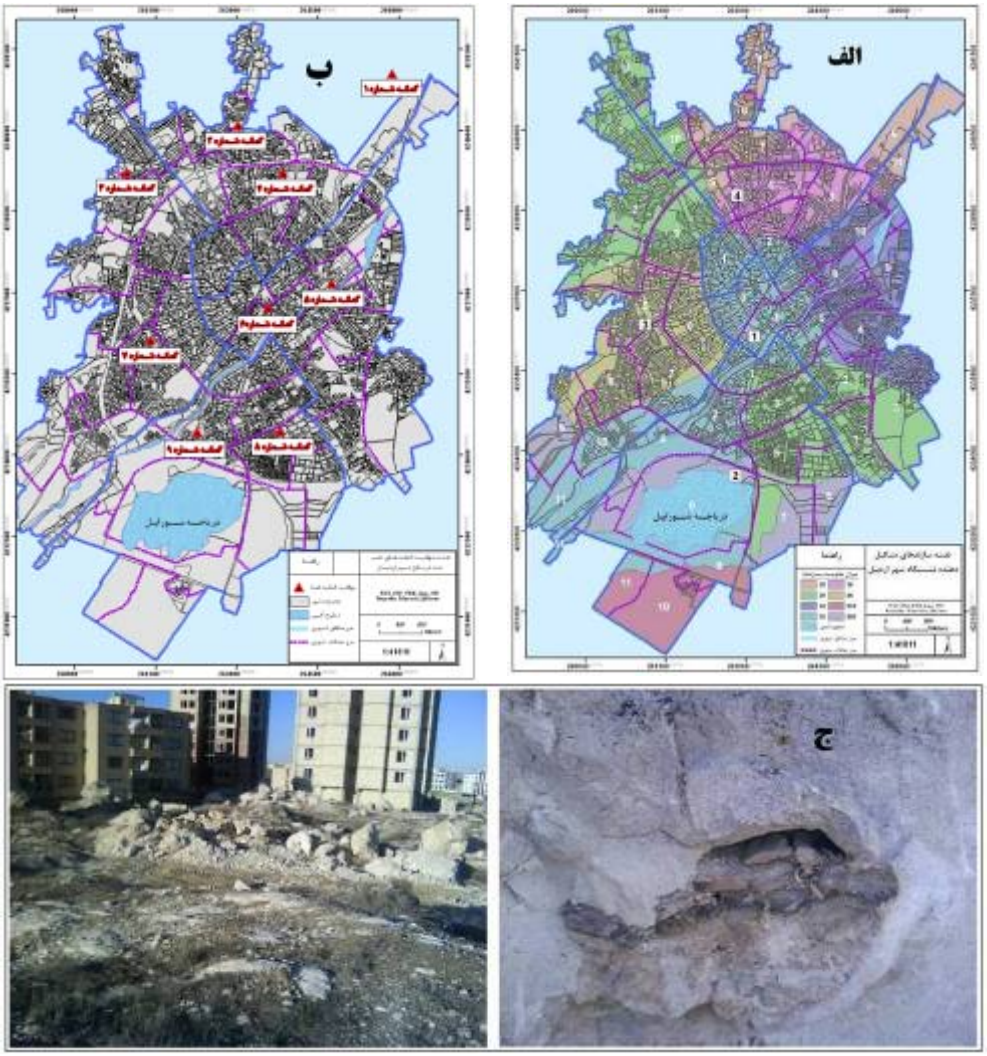
**تأسیسات خطرزا:** تأسیسات خطرزا به آن گروه از تأسیساتی گفته می‌شود که در ارتباط با مواد خطرناک قرار دارند. این تأسیسات می‌توانند باعث خطرهای ثانویه‌ای چون آتش‌سوزی و انفجار شوند. استقرار کاربری‌هایی با پتانسیل بالای آسیب‌رسانی در کنار سایر کاربری‌ها، میزان آسیب‌پذیری را افزایش می‌دهد. بنابراین انتقال این‌گونه 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 محدودهٔ 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 ژئوتکنیکیِ 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)[1]، حد خمیری، حد روانی، اندازهٔ ذرات و مانند اینها را در اختیار قرار داد (شکل ۸- الف).

گفتنی است که محدوده‌های واقع در حاشیهٔ دریاچهٔ 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 ماسه‌سنگ 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، نقشهٔ معیار سازندهای سطحی برمبنای درجه عضویت در مجموعهٔ 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.

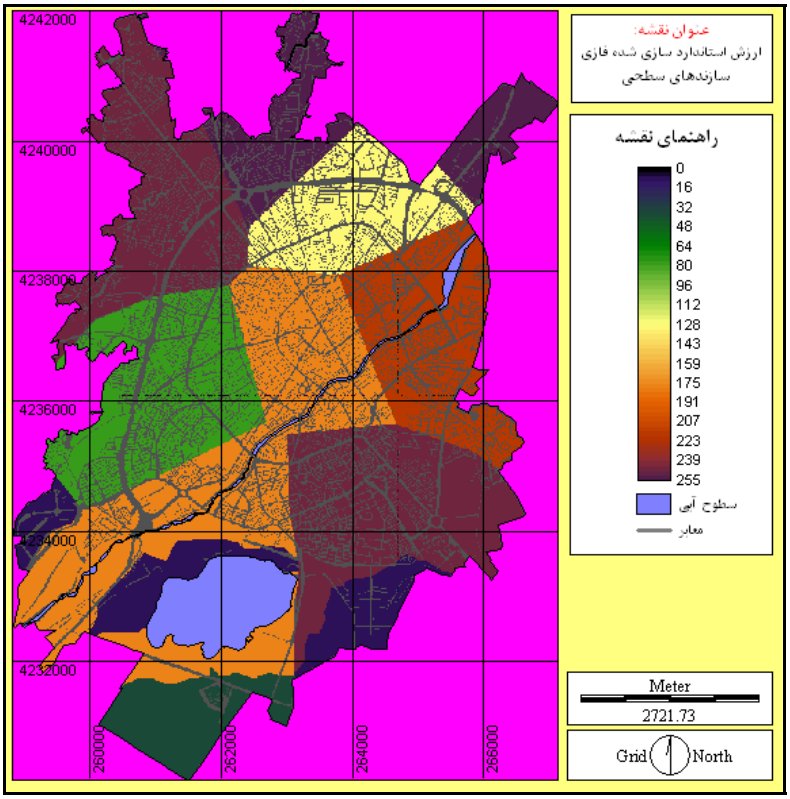
1. Standard Penetration Test (SPT)




**شکل۸. الف: نقشهٔ مقاومت برشی سازندهای سطحی شهر اردبیل؛ ب: نقشهٔ موقعیت گمانه‌های حفرشده در سطح شهر اردبیل و ج: تصویر سازندهای تراورتنی در محدودهٔ شهرک کارشناسان اردبیل**

**سرعت امواج عرضی (Vs)[1]:** سرعت امواج زلزله بستگی به جرم مخصوص و خاصیت روان‌شدن 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 سازندهای‌های مختلف، متفاوت است؛ به‌گونه‌ای که این سرعت در سنگ بازالت ۳/۲ کیلومتر بر ثانیه و در ماسهٔ نرم ۶۰ متر بر ثانیه است. سرعت انتشار امواج در هر نقطهٔ جسم، تابع چگالی و مدول‌های کشسانی در آن نقطه است (لهانگ، ۱۳۷۳: ۲۴). 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 خطر زلزله دارند.

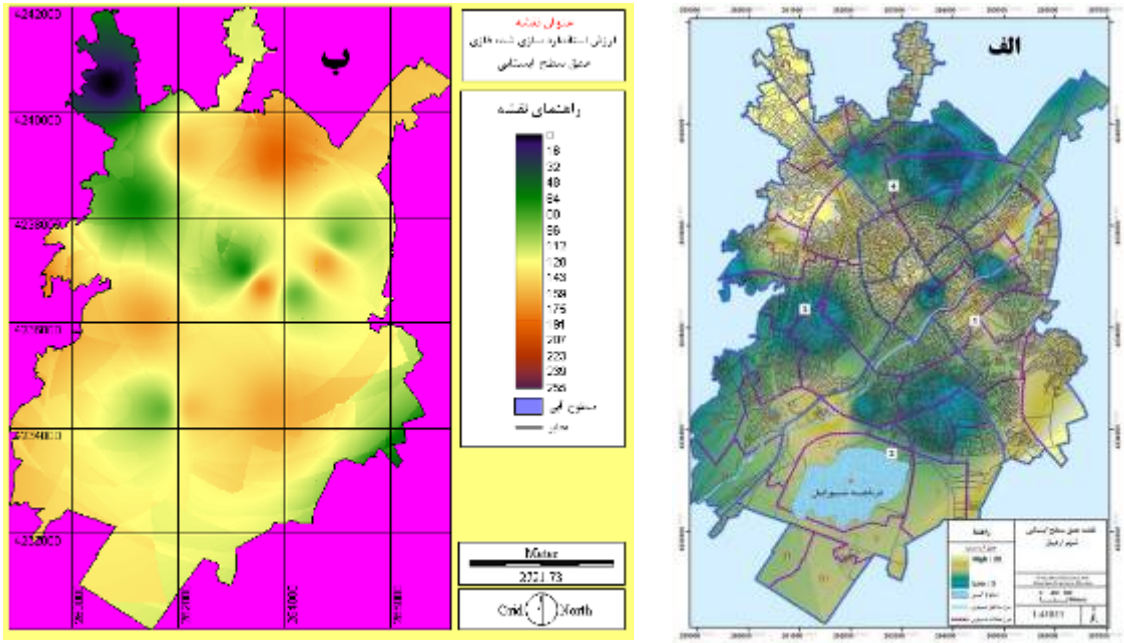
1. Shear Wave Velocity (VS)




**شکل ۹. نقشهٔ فازی استاندارد شدهٔ 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 (گتمیری، ۱۳۸۳: ۲۵-۲۴).

در تهیهٔ نقشهٔ سطح ایستابی آبهای زیرزمینی، از اطلاعات سازمان آب منطقه‌ای استان اردبیل استفاده شد (شکل ۱۰- الف). در ارزش‌گذاری نقشهٔ 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، کمااینکه بستر شهر اردبیل عمدتاً از مواد آبرفتی سست و در بعضی مناطق، از مواد ماسه‌ای ریزدانه تشکیل یافته است. از این رو در نقشهٔ ارزش‌گذاری‌شده، مناطقی که مقادیر عددی پیکسل‌های تشکیل‌دهندهٔ 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: نقشهٔ عمق آبهای زیرزمینی شهر اردبیل؛ ب: نقشهٔ فازی استاندارد شدهٔ 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)[1]، مدت دوام حرکات شدید و محتوای فرکانس، تأثیر عمده‌ای بر پاسخ سازه در زمین‌لرزه دارند، به‌طوری که حداکثر حرکات زمین، عمدتاً روی دامنهٔ ارتعاشات اثر می‌گذارد. مدت دوام حرکات شدید تأثیر بسیاری بر شدت جنبش و تکان سازه دارد. هرچه که زمین‌لرزه دارای حداکثر شتاب متوسط و مدت دوام طولانی باشد، خسارات بیشتری از زمین‌لرزه‌ای با شتاب بزرگتر اما مدت دوام کوتاه‌تر بر جای می‌گذارد. پژوهشگران وابستگی حداکثر شتاب زمین با فاصله تا مرکز زمین‌لرزه را به‌صورت کاهیدگی تعریف می‌کنند. بر اساس این بررسی‌ها مشاهده می‌شود، با افزایش فاصله تا مرکز زلزله، حداکثر شتاب زمین کاهش می‌یابد (تهرانی‌زاده، ۱۳۸۱: ۳۹). برای تهیهٔ نقشهٔ حداکثر شتاب از تابع Image Calculator در محیط IDRISI Kilimanjaro و رابطهٔ ۶ استفاده شد. در این فرایند نقشهٔ فاصله از گسل به جای مؤلفه R در رابطهٔ ۶ قرار گرفت. همچنین نقشهٔ به‌دست‌آمده از بزرگی زلزله به‌کمک روابط ۷ و ۸ به جای مؤلفهٔ M از معادلهٔ فوق قرار داده شد. به این ترتیب نقشهٔ حداکثر شتاب برای محدودهٔ مورد مطالعه به‌دست آمد.

برای تعیین حداکثر شتاب از رابطهٔ ۶ استفاده شده است.

رابطهٔ ۶)
$$a = \frac{۱۰۸۰e^{۰/۵M}}{(R+۲۵)^{۱/۳۲}}$$

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

۱. از بین این مؤلفه‌ها، حداکثر شتاب اهمیت بسیار بیشتری دارد.

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

رابطهٔ ۷) $$I_R = I_. + ۶/۴۵۳ - ۰/۰۰۱۲۱ (R) - ۴/۹۶۰ \log (R + ۲۰)$$

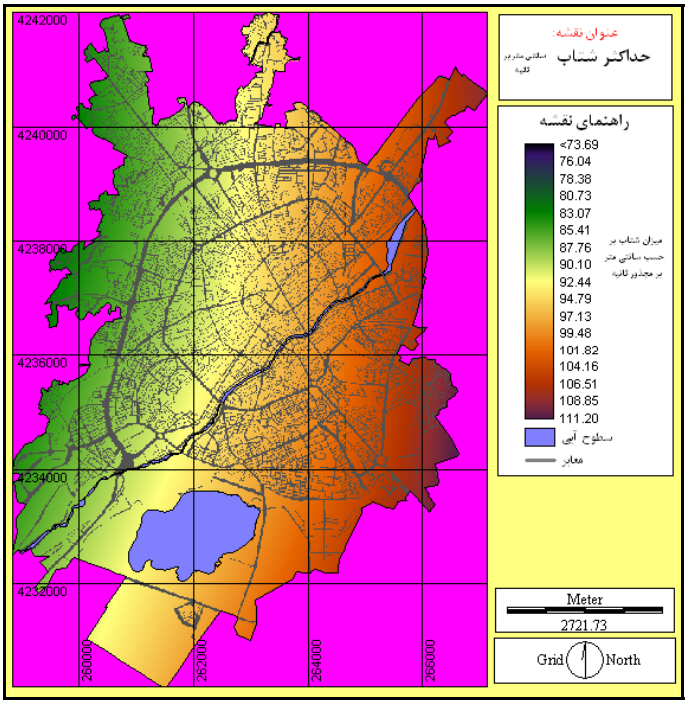
در این رابطه؛ $I_R$: شدت زمین‌لرزه در محل سازه در مقیاس مرکالی؛ .I: شدت زمین‌لرزه در محل کانون زمین‌لرزه در مقیاس مرکالی و R: فاصلهٔ کانونی بر حسب کیلومتر است.

برای تبدیل شدت زلزله به بزرگی رابطهٔ ۸ به‌کار گرفته شده است.

رابطهٔ ۸) $$I = ۱/۷Ms - ۲/۸$$

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

در ادامهٔ فرایند، نقشهٔ رستری تهیه‌شده از حداکثر شتاب برای محدودهٔ 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 دامنهٔ عددی ۲۵۵ نزدیک می‌شویم، درجهٔ مطلوبیت برپایهٔ عامل حداکثر شتاب کاهش می‌یابد (شکل ۱۱).




**شکل ۱۱. نقشهٔ حداکثر شتاب ایجاد شده توسط گسل‌های پیرامون شهر اردبیل**

**حداکثر توان لرزه‌زایی گسل:** با توجه به جمع‌شدن انرژی کرنشی در گسل‌ها و سازوکار وقوع اکثر زلزله‌های تکتونیکی، 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 زمین‌لرزه، مدت زمانی است که یک سازه تحت تأثیر نوسان‌های زمین قرار می‌گیرد. از این رو خسارت به ساختمان‌ها، علاوه‌بر نحوهٔ ساخت و نوع مصالح به‌کاربرده 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 (پورکرمانی، ۱۳۷۶: ۱۰۷).

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

## روش وزن‌دهی 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 هریک 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 مقایسهٔ زوجی[1] و CRITIC[2] 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 فلسفهٔ به‌کارگیری این روش، می‌توان گفت که مفروضات زیر در تعیین وزن هر معیار، دخیل هستند:

- اگر پهنه‌های مختلف در یک محدودهٔ جغرافیایی، به‌لحاظ یک معیار وضعیت مشابهی داشته باشند، آن معیار عاملی تعیین‌کننده در کلاس‌بندی و اولویت‌بندی 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 محدودهٔ جغرافیایی از شرایط همواری برخوردار باشند، معیار شیب نمی‌تواند عامل تمییزکننده در اولویت‌بندی گزینه‌ها مطرح باشد و درنتیجه وزن اختصاص‌یافته به شیب کاهش می‌یابد. بنابراین میزان انحراف معیار در رابطه با هریک 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 به‌عنوان معرف بر تغییرات معیار دیگر، توجیه‌پذیر می‌شود. برای نمونه اگر دو معیار افزایش درآمد و افزیش 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، دایرهٔ میزان اطلاعات که در ذیل آن معیار نهفته شده است، گسترده‌تر است و به پشتوانهٔ دایرهٔ بازتر از میزان اطلاعات، می‌تواند نقش تعیین‌کننده‌تری در تمییز گزینه‌های مکانی به لحاظ سطح اولویت داشته باشد. در این روش پس از محاسبهٔ انحراف معیار عوامل و معیارهای مورد بررسی، ماتریس متقارنی به ابعاد $m \times m$ ایجاد می‌شود که شامل ضرایب همبستگی[1] بین بردارهای تشکیل شده است. با تعیین پارامترهای فوق، تضاد موجود بین معیار j با معیارهای دیگر با استفاده از رابطهٔ ۹ محاسبه می‌شود.

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

که در این رابطه؛ $C_{jk}$ معرف مجموع تضاد معیار j با معیارهای k است که از k =۱ شروع شده و تا k = m ادامه دارد و $r_{jk}$: همبستگی بین دو معیار k و j 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 j را با استفاده از رابطهٔ ۱۰ می‌توان محاسبه کرد (جهانی، ۱۳۷۶).

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

که در آن؛ $C_j$: معرف میزان اطلاعات معیار j و δ: انحراف معیار در مقادیر مربوط به عامل یا معیار j 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 j از رابطهٔ ۱۱ تعیین می‌شود.

$$w_j = \frac{C_j}{\sum_{k=1}^{m} C_k} \qquad \text{رابطهٔ ۱۱)}$$

که در آن؛ $W_j$ معرف وزن معیار j و $C_k$: معرف میزان اطلاعات مجموع معیارهای k است که از k =۱ 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 دستورکارهای مطرح‌شده در مدل تاپسیس، یک نقشهٔ اولویت‌بندی‌شده از دامنهٔ تغییرات ارزش‌های به‌دست آمده در تعیین میزان آسیب‌پذیری ناشی از زلزله در شهر است که امتیاز آنها در دامنهٔ 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

1. Correlation Coefficient

آسیب‌پذیری بالا تعلق خواهد گرفت. از این رو هر پیکسلی که نمرهٔ آن به عدد یک نزدیکتر باشد، نشانگر شرایط نامطلوب‌تر پیکسل از لحاظ میزان آسیب‌پذیری است و آن محدوده جزء مناطق با آسیب‌پذیری بالا به‌شمار می‌رود.

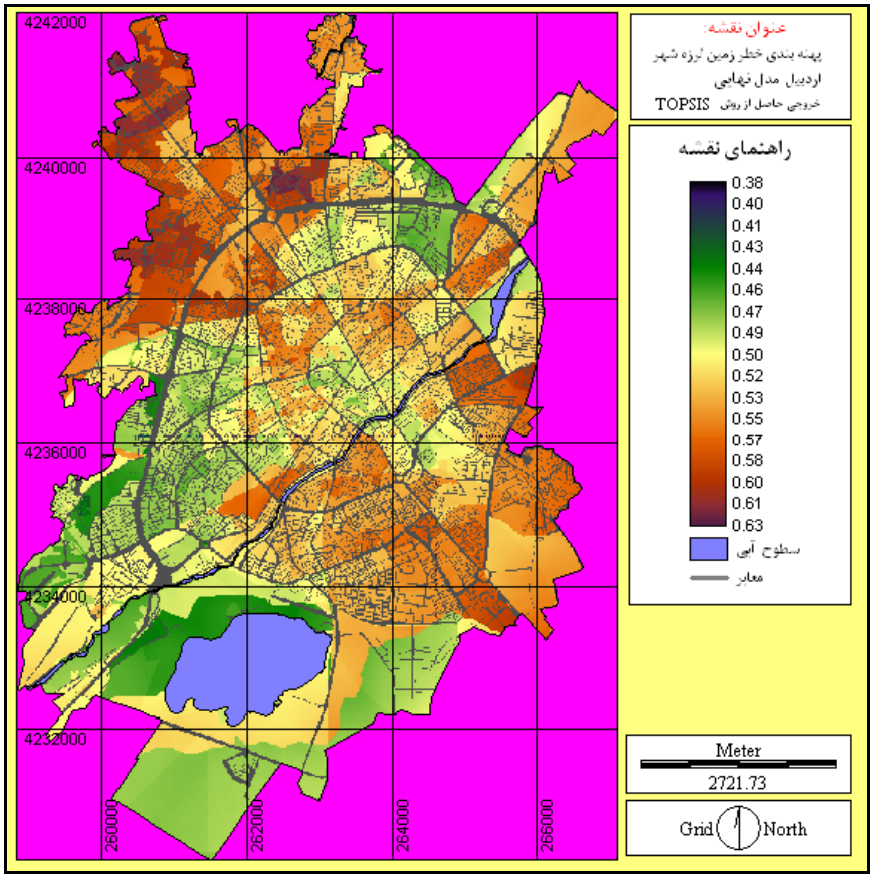
**جدول۲. مجموع تضاد، انحراف معیار، میزان اطلاعات و وزن نهایی معیارهای مطرح در تحلیل میزان آسیب‌پذیری شهر اردبیل در برابر زلزله**

| 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 |
| معابر | 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 آتش‌نشانی | ۱۸/۴۷ | ۴۹/۷۶ | ۹۱۹/۲۲ | ۰/۰۴۵ |
| حداکثر توان لرزه‌زایی گسل | ۱۸/۲۶ | ۵۰/۶ | ۹۲۴/۰۸ | ۰/۰۴۵ |
| ف. ایستگاه آتش‌نشانی | 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. پست‌های 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 نرم‌افزار ادریسی تهیه شد، پهنه‌های آسیب‌پذیر سطح شهر را در قالب شبکهٔ پیکسلی نمایش می‌دهد؛ شبکه‌ای که اندازهٔ هر پیکسل آن برای افزایش دقت نقشهٔ خروجی، ۱۵× ۱۵ متر در نظر گرفته شد. از این رو مساحتی که هر پیکسل پوشش می‌دهد، حدود ۲۲۵ متر مربع از سطح شهر است. دامنهٔ عددی در نقشهٔ فوق که درواقع همان دامنهٔ آسیب حاصل از زلزله است، بازه‌ای به طول ۰/۳۸ تا ۰/۶۳ را شامل می‌شود که در آن، مناطق حاوی پیکسل با رقم نزدیک به دامنهٔ عددی ۰/۳۸ آسیب‌پذیری کمتر و مناطق حاوی پیکسل با رقم نزدیک به دامنهٔ عددی ۰/۶۳ آسیب‌پذیری بیشتری دارند. در پژوهش پیش رو برای اینکه امکان تحلیل جامع‌تر نقشه فراهم شود، از تابع Statistic ابزار GIS Analysis نرم‌افزار ادریسی استفاده شد که طی آن، جدول فراوانی نقشهٔ نهایی (شکل ۱۲) در هفت طبقه به‌دست آمد. اطلاعات این جدول بیانگر فراوانی حضور تعداد پیکسل حاوی دامنهٔ عددی معین در هر یک از طبقات هفت‌گانه است. برای مثال، منطقهٔ یک شهرداری اردبیل بر اساس مندرجات جدول ۳، از تعداد ۵۶۴۷۰ پیکسل تشکیل شده است و این تعداد پیکسل با مساحت منطقهٔ یک (۱۲۷۱ هکتار) برابر است. از این تعداد،

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




**شکل۱۲. نقشهٔ نهایی پهنه‌بندی خطر زمین‌لرزهٔ شهر اردبیل حاصل از مدل تاپسیس**

نتایج به‌دست‌آمده از تحلیل درجات آسیب‌پذیری در مناطق چهارگانهٔ شهر اردبیل، نشان می‌دهد که میزان آسیب وارده در منطقهٔ ۳ بیشتر از سایر مناطق است؛ به طوری که ۴/۳۷ درصد از مساحت این منطقه (۶۷/۳۲ هکتار)، رتبهٔ آسیب‌پذیری ۷ و ۱۳/۱۶ درصد از مساحت آن (۲۰۲/۷۷ هکتار) رتبهٔ آسیب‌پذیری ۶ را کسب کردند. همچنین نتایج تحلیل نشان می‌دهد که منطقهٔ چهار در رتبهٔ دوم آسیب‌پذیری قرار دارد؛ به‌طوری که ۵/۲۴ درصد (۵۶/۲۷ هکتار) از این منطقه، رتبهٔ آسیب‌پذیری ۷ و ۱۲/۳۵درصد (۱۳۲/۷۳ هکتار)، رتبهٔ 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 چهارگانهٔ شهر، در جدول ۳ آمده است.

**جدول ۳. میزان آسیب‌پذیری شهر اردبیل در برابر خطر زمین‌لرزه، به تفکیک مناطق چهارگانهٔ شهری براساس خروجی مدل تاپسیس**

| کد منطقه | رتبه آسیب‌پذیری | ۱ | ۲ | ۳ | ٤ | ٥ | ٦ | ۷ | جمع |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | میزان آسیب | ب . ب کم | ب . کم | کم | متوسط | زیاد | ب . زیاد | ب . ب. زیاد | |
| | نوع اطلاعات / دامنهٔ آسیب حاصل از مدل تاپسیس | ۰/۳۷۹۹ – ۰/٤۱٥۲ | ۰/٤۱٥۳ – ۰/٤٥۰٦ | ۰/٤٥۰۷ – ۰/٤۸٥۹ | ۰/٤۸٦۰ – ۰/٥۲۱۳ | ۰/٥۲۱٤ – ۰/٥٥٦۷ | ۰/٥٥٦۸ – ۰/٥۹۲۰ | ۰/٥۹۲۱ – ۰/٦۲۷٤ | |
| منطقهٔ ۱ | فراوانی | ۱۲٥۹۳ | ۲ | ۱۲۲٦ | ۱٤۳۹۱ | ۲۰۷٦٤ | ۷۲٦٤ | ۲۳۰ | ٥٦٤۷۰ |
| | درصد فراوانی | ۲۲/۳۰ | ۰/۰۰٤ | ۲/۱۷ | ۲٥/٤۸ | ۳٦/۷۷ | ۱۲/۸٦ | ۰/٤۱ | ٪۱۰۰ |
| | درصد فراوانی نسبت به شهر | ٥/۱۰٤ | ۰/۰۰۱ | ۰/٤۹۷ | ٥/۸۳ | ۸/٤۲ | ۲/۹٤ | ۰/۰۹ | ٪۲۳ |
| | مساحت به هکتار | ۲۸۳/۳٤ | ۰/۰٥ | ۲۷/٥۹ | ۳۲۳/۸۰ | ٤٦۷/۱۹ | ۱٦۳/٤٤ | ٥/۱۸ | ۱۲۷۱ |
| منطقهٔ ۲ | فراوانی | ۱۰۷۷۸ | ٤۱۸۰ | ۲٥٦۷٥ | ۱۷٤۸۸ | ۱٤۸۲٤ | ۱۰۷٦ | ۰ | ۷٤۰۲۱ |
| | درصد فراوانی | ۱٤/٥٦ | ٥/٦٥ | ۳٤/٦۹ | ۲۳/٦۳ | ۲۰/۰۳ | ۱/٤٥ | ۰ | ٪۱۰۰ |
| | درصد فراوانی نسبت به شهر | ٤/۳۷ | ۱/٦۹ | ۱۰/٤۱ | ۷/۰۹ | ٦/۰۱ | ۰/٤٤ | ۰ | ٪۳۰ |
| | مساحت به هکتار | ۲٤۲/٥۱ | ۹٤/۰٥ | ٥۷۷/٦۹ | ۳۹۳/٤۸ | ۳۳۳/٥٤ | ۲٤/۲۱ | ۰ | ۱٦٦٥ |
| منطقهٔ۳ | فراوانی | ۱٦۳۰۰ | ۱٦٤۲ | ۱۲۹٤٥ | ۱۷۹۲٥ | ۷٦٥۸ | ۹۰۱۲ | ۲۹۹۲ | ٦۸٤۷٤ |
| | درصد فراوانی | ۲۳/۸۰ | ۲/٤۰ | ۱۸/۹۰ | ۲٦/۱۸ | ۱۱/۱۸ | ۱۳/۱٦ | ٤/۳۷ | ٪۱۰۰ |
| | درصد فراوانی نسبت به شهر | ٦/٦۱ | ۰/٦۷ | ٥/۲٥ | ۷/۲٦ | ۳/۱۰ | ۳/٦٥ | ۱/۲۱ | ٪۲۸ |
| | مساحت به هکتار | ۳٦٦/۷٥ | ۳٦/۹٥ | ۲۹۱/۲٦ | ٤۰۳/۳۱ | ۱۷۲/۳۱ | ۲۰۲/۷۷ | ٦۷/۳۲ | ۱٥٤۱ |
| منطقهٔ٤ | فراوانی | ۱۲۱۳۳ | ۲ | ۳۷۳۲ | ۱۱۰۹۲ | ۱۲٤۰۸ | ٥۸۹۹ | ۲٥۰۱ | ٤۷۷٦۷ |
| | درصد فراوانی | ۲٥/٤۰ | ۰/۰۰٤ | ۷/۸۱ | ۲۳/۲۲ | ۲٥/۹۸ | ۱۲/۳٥ | ٥/۲٤ | ٪۱۰۰ |
| | درصد فراوانی نسبت به شهر | ٤/۹۲ | ۰/۰۰۰۸ | ۱/٥۱ | ٤/٥۰ | ٥/۰۳ | ۲/۳۹ | ۱/۰۱ | ٪۱۹ |
| | مساحت به هکتار | ۲۷۲/۹۹ | ۰/۰٤٥ | ۸۳/۹۷ | ۲٤۹/٥۷ | ۲۷۹/۱۸ | ۱۳۲/۷۳ | ٥٦/۲۷ | ۱۰۷٥ |

منبع: محاسبات نگارندگان

در برآورد میزان آسیب‌پذیری مناطق مختلف شهری در برابر زلزله، مجموعه مطالعاتی می‌توانند سودمندتر باشند که با جزئیات و تفصیل بیشتری انجام گرفته‌اند، تا پس از شناسایی دقیق‌تر مناطق آسیب‌پذیر، مسئولان بتوانند به طراحی برنامه‌های جامع و اولویت‌بندی‌شده و رفع نقاط ضعفی اقدام کنند که سبب ازدیاد رتبهٔ آسیب‌پذیری در یک محدودهٔ خاص می‌شود. از این رو در پژوهش حاضر برای دست‌یافتن به این هدف، در هر یک از مناطق چهارگانهٔ شهر، به‌تفکیک محلات، سلسله‌مراتب آسیب‌پذیری مشخص شده است تا میزان آسیب‌پذیری با جزئیات ریزتر و دقت بالاتری مورد مطالعه قرار گیرد. نتایج حاصل از این مطالعات، موجب می‌شود در برنامه‌ریزی‌های پیشگیرانه برای مقابله با خطرات ناشی از زمین‌لرزه، به‌منظور حفظ انسجام در کارها و به نوعی حرکت از روی برنامه، برای رفع نقاط ضعف و کاهش میزان آسیب‌ها، همواره محلاتی در اولویت اول برنامه‌ریزی‌ها و اقدامات عملی قرار گیرند که رتبه‌های بالای آسیب‌پذیری را دارند. بر اساس نتایجی که از تحلیل درجات آسیب در سطح شهر به تفکیک محلات به‌دست آمد، مشخص شد که محلهٔ ۲ از منطقهٔ ۳ شهر با رتبهٔ آسیب ۷ و ۲۹/۴ درصد مساحت (۳۸/۸۳ هکتار)، آسیب‌پذیرترین محلهٔ شهر است. سلسله‌مراتب آسیب‌پذیری در محلات دیگر بدین شرح است: به ترتیب محلهٔ ۱ از منطقهٔ ۳ (۲۳/۷۸ هکتار)، محلهٔ ۷ از منطقهٔ ۴ (۱۵ هکتار) و محلهٔ ۹ از منطقهٔ ۱ (۵/۱۵ هکتار). ریزاطلاعات آسیب‌پذیری محلات مختلف شهر در جداول ۴ تا ۷ آمده است.

جدول ٤. سلسله‌مراتب آسیب‌پذیری منطقهٔ ۱ به‌تفکیک محلات یازده‌گانه بر اساس خروجی مدل تاپسیس

| رتبهٔ آسیب‌پذیری | | ۱ | ۲ | ۳ | ٤ | ٥ | ٦ | ۷ | جمع |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| کد منطقه | کد محله | میزان آسیب / نوع اطلاعات / دامنه آسیب / حاصل ازمدل تاپسیس | بسیار کم | کم | متوسط | زیاد | بسیار زیاد | بسیار بسیار زیاد | |
| منطقهٔ یک | محلهٔ ۱ | فراوانی | ۱۳۷۹ | ۰ | ۲۰۶ | ۱۳۹۸ | ۲۰۱۳ | ۰ | ۵۰۹۶ |
| | | درصد فراوانی | ۲۹/۰۲۳ | ۰ | ۴/۰۴۲ | ۲۷/۴۳۳ | ۳۹/۵۰۲ | ۰ | ٪۱۰۰ |
| | | درصد فراوانی نسبت به منطقهٔ ۱ | ۲/۶۱۹ | ۰ | ۰/۳۶۵ | ۲/۴۷۶ | ۳/۵۶۵ | ۰ | ٪۹/۰۲۴ |
| | | مساحت به هکتار | ۳۳/۲۸ | ۰ | ۴/۶۴ | ۳۱/۴۶ | ۴۵/۲۹ | ۰ | ۱۱۴/۶۶ |
| | | فراوانی | ۱۳۹۲ | ۱۲۴ | ۱۰۳۱ | ۲۲۲۳ | ۳۳۹ | ۰ | ۵۰۰۹ |
| | | درصد فراوانی | ۲۵/۷۹۴ | ۲/۴۷۶ | ۲۰/۵۸۳ | ۴۴/۲۸۰ | ۶/۷۶۸ | ۰ | ٪۱۰۰ |
| | | درصد فراوانی نسبت به منطقهٔ ۱ | ۲/۲۹ | ۰/۲۲ | ۱/۸۳ | ۳/۹۴ | ۰/۶۰ | ۰ | ٪۸/۸۷ |
| | محلهٔ ۲ | مساحت به هکتار | ۲۹/۰۷۰ | ۲/۷۹۰ | ۲۲/۱۹۸ | ۵۰/۰۱۸ | ۷/۶۲۸ | ۰ | ۱۱۲/۷ |
| | | فراوانی | ۱۴۸۶ | ۰ | ۵۷ | ۶۷۰۷ | ۱۹۱۰ | ۰ | ۱۰۱۶۰ |
| | | درصد فراوانی | ۱۴/۶۲۶ | ۰ | ۰/۵۶۱ | ۶۶/۰۱۴ | ۱۸/۷۹۹ | ۰ | ٪۱۰۰ |
| | | درصد فراوانی نسبت به منطقهٔ ۱ | ۲/۶۳۲ | ۰ | ۰/۱۰۱ | ۱۱/۸۷۷ | ۳/۲۸۲ | ۰ | ٪۱۷/۹۹ |
| | محلهٔ ۳ | مساحت به هکتار | ۳۳/۴۳۵ | ۰ | ۱/۲۸ | ۱۵۰/۹۰ | ۴۲/۹۷۵ | ۰ | ۲۲۸/۶ |
| | | فراوانی | ۱۲۱۸ | ۰ | ۱۲۸۸ | ۱۱۹۰ | ۶۵۹ | ۰ | ۴۳۵۵ |
| | | درصد فراوانی | ۲۱/۹۶۸ | ۰ | ۲۹/۵۷۵ | ۲۷/۳۲۵ | ۱۵/۱۳۲ | ۰ | ٪۱۰۰ |
| | | درصد فراوانی نسبت به منطقهٔ ۱ | ۲/۱۵۷ | ۰ | ۲/۳۸۱ | ۲/۱۰۷ | ۱/۱۶۷ | ۰ | ٪۷/۷۱۲ |
| | محلهٔ ٤ | مساحت به هکتار | ۲۷/۴۰۵ | ۰ | ۲۸/۹۸۰ | ۲۶/۷۷۵ | ۱۴/۸۲۸ | ۰ | ۹۷/۹۸۸ |
| | | فراوانی | ۱۳۸۵ | ۰ | ۸۳۲ | ۱۳۵۰ | ۱۰۶۴ | ۰ | ۴۷۱۰ |
| | | درصد فراوانی | ۲۹/۴۰۶ | ۰ | ۱۷/۶۶۵ | ۲۸/۶۶۲ | ۲۲/۵۹۰ | ۰ | ٪۱۰۰ |
| | | درصد فراوانی نسبت به منطقهٔ ۱ | ۲/۴۵۳ | ۰ | ۱/۴۷۳ | ۲/۳۹۱ | ۱/۸۸۴ | ۰ | ٪۸/۳۴۱ |
| | محلهٔ ٥ | مساحت به هکتار | ۳۱/۱۶ | ۰ | ۱۸/۷۲ | ۳۰/۳۸ | ۲۳/۹۴ | ۰ | ۱۰۵/۹۸ |
| | | فراوانی | ۹۶۹ | ۰ | ۲۴۹۴ | ۵۶۶ | ۰ | ۰ | ۴۴۱۶ |
| | | درصد فراوانی | ۲۱/۹۴۳ | ۰ | ۵۶/۴۷۶ | ۱۲/۸۱۷ | ۰ | ۰ | ٪۱۰۰ |
| | محلهٔ ٦ | درصد فراوانی نسبت به منطقهٔ ۱ | ۱/۷۱۶ | ۰ | ۴/۴۱۷ | ۱/۰۰۲ | ۰ | ۰ | ۷/۸۲۰ |
| | | مساحت به هکتار | ۲۱/۸۰ | ۰ | ۵۶/۱۲ | ۱۲/۷۴ | ۰ | ۰ | ۹۹/۳۶ |

منبع: محاسبات نگارندگان

ادامهٔ جدول ٤. سلسله‌مراتب آسیب‌پذیری منطقهٔ ۱ به‌تفکیک محلات یازده‌گانه بر اساس خروجی مدل تاپسیس

| کد منطقه | | رتبهٔ آسیب‌پذیری | ۱ | ۲ | ۳ | ٤ | ٥ | ٦ | ۷ | جمع |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| کد محله | | میزان آسیب | بسیار بسیار کم | بسیار کم | کم | متوسط | زیاد | بسیار زیاد | بسیار بسیار زیاد | |
| | | نوع اطلاعات / دامنهٔ آسیب حاصل ازمدل تاپسیس | ۰/۳۷۹۹ - ۰/٤۱٥۲ | ۰/٤۱٥۳ - ۰/٤٥۰٦ | ۰/٤٥۰۷ - ۰/٤۸٥۹ | ۰/٤۸٦۰ - ۰/٥۲۱۳ | ۰/٥۲۱٤ - ۰/٥٥٦۷ | ۰/٥٥٦۸ - ۰/٥۹۲۰ | ۰/٥۹۲۱ - ۰/٦۲۷٤ | |
| منطقهٔ یک | | | | | | | | | | |
| محلهٔ ۱۱ | | فراوانی | ۷۹٥ | ۰ | ٤۱ | ٥۸٥ | ۳٦٦۰ | ۱٤۲ | ۰ | ٥۲۲۳ |
| | | درصد فراوانی | ۱٥/۲۲ | ۰ | ۰/۷۸ | ۱۱/۲۰ | ۷۰/۰۷ | ۲/۷۲ | ۰ | ٪۱۰۰ |
| | | درصد فراوانی نسبت به منطقهٔ ۱ | ۱/٤۰۸ | ۰ | ۰/۰۷۳ | ۱/۰۳٦ | ٦/٤۸۱ | ۰/۲٥۱ | ۰ | ٪۹/۳٤۹ |
| | | مساحت به هکتار | ۱۷/۸۹ | ۰ | ۰/۹۲ | ۱۳/۱٦ | ۸۲/۳٥ | ۳/۲۰ | ۰ | ۱۱۷/٥۲ |
| محلهٔ ۱۰ | | فراوانی | ۱۱۳۱ | ۰ | ۲۳۷ | ۱۸۱۸ | ۸۱۱ | ٦۳۹ | ۰ | ۴٦۳٦ |
| | | درصد فراوانی | ۲۴/۴۰ | ۰ | ٥/۱۱ | ۳۹/۲۱ | ۱۷/۳۹ | ۱۳/۷۸ | ۰ | ٪۱۰۰ |
| | | درصد فراوانی نسبت به منطقهٔ ۱ | ۲/۰۰۳ | ۰ | ۰/۴۲۰ | ۳/۲۱۹ | ۱/۴۳٦ | ۱/۱۳۲ | ۰ | ٪۸/۲۱۰ |
| | | مساحت به هکتار | ۲٥/۴٥ | ۰ | ٥/۳۳ | ۴۰/۹۱ | ۱۸/۲٥ | ۱٤/۳۸ | ۰ | ۱۰۴/۳۱ |
| محلهٔ ۹ | | فراوانی | ۱۰۹۴ | ۰ | ۱۰۷ | ۲۰٥۸ | ۳۴۹ | ٦۲۷ | ۲۲۹ | ۴۴٦۴ |
| | | درصد فراوانی | ۲۴/٥۱ | ۰ | ۲/۴۰ | ۴٦/۱۰ | ۷/۸۲ | ۱٤/۰٥ | ٥/۱۳ | ٪۱۰۰ |
| | | درصد فراوانی نسبت به منطقهٔ ۱ | ۱/۹۳۷ | ۰ | ۰/۱۸۹ | ۳/۶۴۴ | ۰/٦۱۸ | ۱/۱۱۰ | ۰/۴۰٦ | ٪۷/۹۰٥ |
| | | مساحت به هکتار | ۲۴/٦۲ | ۰ | ۲/۴۱ | ۴٦/۳۱ | ۷/۸٥ | ۱۴/۱۱ | ٥/۱٥ | ۱۰۰/۴۴ |
| محلهٔ ۸ | | فراوانی | ۱۰۲۳ | ۰ | ۰ | ۷۳٦ | ۱۹۷۱ | ۳۷۱ | ۰ | ۴۱۰۱ |
| | | درصد فراوانی | ۲۴/۹٥ | ۰ | ۰ | ۱۷/۹٥ | ۴۸/۰٦ | ۹/۰٥ | ۰ | ٪۱۰۰ |
| | | درصد فراوانی نسبت به منطقهٔ ۱ | ۱/۸۱۲ | ۰ | ۰ | ۱/۳۰۳ | ۳/۴۹۰ | ۰/٦٥۷ | ۰ | ٪۷/۲٦۲ |
| | | مساحت به هکتار | ۲۳/۰۲ | ۰ | ۰ | ۱٦/٥٦ | ۴۴/۳٥ | ۸/۳٥ | ۰ | ۹۲/۲۷ |
| محلهٔ ۷ | | فراوانی | ۹۰٥ | ۰ | ۳۱۸ | ۲۱۴۲ | ۱۰٥۲ | ۳۱ | ۰ | ۴۴۴۸ |
| | | درصد فراوانی | ۲۰/۳۴٦ | ۰ | ۷/۱۴۹ | ۴۸/۱٥٦ | ۲۳/٦٥۱ | ۰/٦۹۷ | ۰ | ٪۱۰۰ |
| | | درصد فراوانی نسبت به منطقهٔ ۱ | ۱/٦۰۳ | ۰ | ۰/٥۴۳ | ۳/۷۹۳ | ۱/۸۶۳ | ۰/۰٥٥ | ۰ | ٪۷/۸۷۷ |
| | | مساحت به هکتار | ۲۰/۳٦ | ۰ | ۷/۱٦ | ۴۸/۲۰ | ۲۳/٦۷ | ۰/۷۰ | ۰ | ۱۰۰/۰۸ |

منبع: محاسبات نگارندگان

**جدول ۵. سلسله‌مراتب آسیب‌پذیری منطقهٔ ۲ به‌تفکیک محلات یازده‌گانه بر اساس خروجی مدل تاپسیس**

| منطقهٔ مورد مطالعه | محلهٔ مورد مطالعه | رتبه آسیب پذیری | ۱ | ۲ | ۳ | ٤ | ٥ | ٦ | ۷ | جمع |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | میزان آسیب | بسیار بسیار کم | بسیار کم | کم | متوسط | زیاد | بسیار زیاد | بسیار بسیار زیاد | |
| | | نوع اطلاعات / دامنهٔ آسیب حاصل از مدل تاپسیس | ۰/۳۷۹۹ - ۰/٤۱٥۲ | ۰/٤۱٥۳ - ۰/٤٥۰٦ | ۰/٤٥۰۷ - ۰/٤۸٥۹ | ۰/٤۸٦۰ - ۰/٥۲۱۳ | ۰/٥۲۱٤ - ۰/٥٥٦۷ | ۰/٥٥٦۸ - ۰/٥۹۲۰ | ۰/٥۹۲۱ - ۰/٦۲۷٤ | |
| منطقهٔ دو | محلهٔ ۱ | فراوانی | ۱۴۰۹ | ۰ | ۰ | ۴۹۵ | ۲۵۲۵ | ۵۳۳ | ۰ | ۴۹۶۲ |
| | | درصد فراوانی | ۲۸/۳۹۶ | ۰ | ۰ | ۹/۹۷۶ | ۵۰/۸۸۷ | ۱۰/۷۴۲ | ۰ | ٪۱۰۰ |
| | | درصد فراوانی نسبت به منطقهٔ ۲ | ۱/۹۰۴ | ۰ | ۰ | ۰/۶۶۹ | ۳/۴۱۱ | ۰/۷۲۰ | ۰ | ٪۶/۷۰۴ |
| | | مساحت به هکتار | ۳۱/۷۰ | ۰ | ۰ | ۱۱/۱۴ | ۵۶/۸۱ | ۱۱/۹۹ | ۰ | ۱۱۱/۶۵ |
| | محلهٔ ۲ | فراوانی | ۱۶۰۸ | ۴ | ۸ | ۱۷۰۸ | ۱۵۶۹ | ۰ | ۰ | ۴۸۹۷ |
| | | درصد فراوانی | ۳۲/۸۳۶ | ۰/۰۸۲ | ۰/۱۶۳ | ۳۴/۸۷۸ | ۳۲/۰۴۰ | ۰ | ۰ | ٪۱۰۰ |
| | | درصد فراوانی نسبت به منطقهٔ ۲ | ۲/۱۷ | ۰/۰۱ | ۰/۰۱ | ۲/۳۱ | ۲/۱۲ | ۰ | ۰ | ٪۶/۶۲ |
| | | مساحت به هکتار | ۳۶/۱۸۰ | ۰/۰۹۰ | ۰/۱۸۰ | ۳۸/۴۳۰ | ۳۵/۳۰۳ | ۰ | ۰ | ۱۱۰/۱۸ |
| | محلهٔ ۳ | فراوانی | ۱۶۷۳ | ۰ | ۰ | ۱۱۴ | ۲۶۴۲ | ۳۵۴ | ۰ | ۴۷۸۳ |
| | | درصد فراوانی | ۳۴/۹۷۸ | ۰ | ۰ | ۲/۳۸۳ | ۵۵/۲۳۷ | ۷/۴۰۱ | ۰ | ٪۱۰۰ |
| | | درصد فراوانی نسبت به منطقهٔ ۲ | ۲/۲۶۰ | ۰ | ۰ | ۰/۱۵۴ | ۳/۵۶۹ | ۰/۴۷۸ | ۰ | ٪۶/۴۶۲ |
| | | مساحت به هکتار | ۳۷/۶۴۲ | ۰ | ۰ | ۲/۵۶۵ | ۵۹/۴۴۵ | ۷/۹۶۵ | ۰ | ۱۰۷/۶۱ |
| | محلهٔ ٤ | فراوانی | ۹۵۶ | ۸۵۷ | ۷۳۳ | ۳۶۹۹ | ۸ | ۰ | ۰ | ۶۲۵۳ |
| | | درصد فراوانی | ۱۵/۲۸۹ | ۱۳/۷۰۵ | ۱۱/۷۲ | ۵۹/۱۵۶ | ۰/۱۲۸ | ۰ | ۰ | ٪۱۰۰ |
| | | درصد فراوانی نسبت به منطقهٔ ۲ | ۱/۲۹۲ | ۱/۱۵۸ | ۰/۹۹۰ | ۴/۹۹۷ | ۰/۰۱۱ | ۰ | ۰ | ٪۸/۴۴۸ |
| | | مساحت به هکتار | ۲۱/۵۱۰ | ۱۹/۲۸۳ | ۱۶/۴۹ | ۸۳/۲۲۸ | ۰/۱۸۰ | ۰ | ۰ | ۱۴۰/۶۹ |
| | محلهٔ ۵ | فراوانی | ۱۹۵۷ | ۳ | ۷ | ۱۶۷ | ۳۴۰۱ | ۱۹۰ | ۰ | ۵۷۲۵ |
| | | درصد فراوانی | ۳۴/۱۸۳ | ۰/۰۵۲ | ۰/۱۲۲ | ۲/۹۱۷ | ۵۹/۴۰۶ | ۳/۳۱۹ | ۰ | ٪۱۰۰ |
| | | درصد فراوانی نسبت به منطقهٔ ۲ | ۲/۶۴۴ | ۰/۰۰۴ | ۰/۰۰۹ | ۰/۲۲۶ | ۴/۵۹۵ | ۰/۲۵۷ | ۰ | ٪۷/۷۳ |
| | | مساحت به هکتار | ۴۴/۰۳ | ۰/۰۷ | ۰/۱۶ | ۳/۷۶ | ۷۶/۵۲ | ۴/۲۸ | ۰ | ۱۲۸/۸۱ |

منبع: محاسبات نگارندگان

ادامهٔ جدول ۵. سلسله‌مراتب آسیب‌پذیری منطقهٔ ۲ به‌تفکیک محلات یازده‌گانه بر اساس خروجی مدل تاپسیس

| کد منطقه | | منطقهٔ دو | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| کد محله | | محلهٔ ۶ | | | محلهٔ ۷ | | | محلهٔ ۸ | | | محلهٔ ۹ | | | محلهٔ ۱۰ | | | محلهٔ ۱۱ | | | جمع | | |
| رتبه آسیب پذیری | | ۱ | ۲ | ۳ | ۴ | ۵ | ۶ | ۱ | ۲ | ۳ | ۴ | ۵ | ۶ | ۱ | ۲ | ۳ | ۴ | ۵ | ۶ | ۱ | ۲ | ۳ | ۴ | ۵ | ۶ | ۷ | |
| میزان آسیب | نوع اطلاعات | بسیار بسیار کم | بسیار کم | کم | متوسط | زیاد | بسیار زیاد | بسیار بسیار کم | بسیار کم | کم | متوسط | زیاد | بسیار زیاد | بسیار بسیار کم | بسیار کم | کم | متوسط | زیاد | بسیار زیاد | بسیار بسیار کم | بسیار کم | کم | متوسط | زیاد | بسیار زیاد | بسیار بسیار زیاد | |
| دامنهٔ آسیب حاصل از مدل تاپسیس | | ۰/۳۷۹۹ - ۰/۴۱۵۲ | ۰/۴۱۵۳ - ۰/۴۵۰۶ | ۰/۴۵۰۷ - ۰/۴۸۵۹ | ۰/۴۸۶۰ - ۰/۵۲۱۳ | ۰/۵۲۱۴ - ۰/۵۵۶۷ | ۰/۵۵۶۸ - ۰/۵۹۲۰ | ۰/۳۷۹۹ - ۰/۴۱۵۲ | ۰/۴۱۵۳ - ۰/۴۵۰۶ | ۰/۴۵۰۷ - ۰/۴۸۵۹ | ۰/۴۸۶۰ - ۰/۵۲۱۳ | ۰/۵۲۱۴ - ۰/۵۵۶۷ | ۰/۵۵۶۸ - ۰/۵۹۲۰ | ۰/۳۷۹۹ - ۰/۴۱۵۲ | ۰/۴۱۵۳ - ۰/۴۵۰۶ | ۰/۴۵۰۷ - ۰/۴۸۵۹ | ۰/۴۸۶۰ - ۰/۵۲۱۳ | ۰/۵۲۱۴ - ۰/۵۵۶۷ | ۰/۵۵۶۸ - ۰/۵۹۲۰ | ۰/۳۷۹۹ - ۰/۴۱۵۲ | ۰/۴۱۵۳ - ۰/۴۵۰۶ | ۰/۴۵۰۷ - ۰/۴۸۵۹ | ۰/۴۸۶۰ - ۰/۵۲۱۳ | ۰/۵۲۱۴ - ۰/۵۵۶۷ | ۰/۵۵۶۸ - ۰/۵۹۲۰ | ۰/۵۹۲۱ - ۰/۶۲۷۴ | |
| فراوانی | | ۹۵۳ | ۰ | ۱۶۰۱ | ۸۳۵ | ۱۸۵۵ | ۰ | ۵۷۵ | ۰ | ۳۵۳۱ | ۱۴۲ | ۲۴۹۰ | ۰ | ۵۸۸ | ۰ | ۳۳۷۱ | ۱۵۴ | ۲/۰۲ | ۰ | ۱۳/۲۳ | ۰ | ۶۴۱۶ | ۹۰/۴۴ | ۸/۶۶۸ | ۱۴۴/۳ | ۲۱۳۷ | ۵۹/۶۴ | ۲/۸۸۷ | ۴۸/۰۸ | ۵۲۴۴ |
| درصد فراوانی | | ۱۸/۱۷۳ | ۰ | ۳۰/۵۳ | ۱۵/۹۲۳ | ۳۵/۳۷۴ | ۰ | ۸/۵۳۴ | ۰ | ۵۲/۴۰ | ۲/۱۰۷ | ۳۶/۹۵۵ | ۰ | ۷/۷۰ | ۰ | ۴۴/۱۴ | ۴۴/۴۵ | ۰/۲۰۸ | ۰ | ۳/۴۷ | ۰ | ۹۳ | ۴/۱۳ | ۰/۳۹۶ | ۶/۵۹ | ۱۱۶۸ | ۳۲/۶۰ | ۱/۵۷۸ | ۲۶/۲۸ | ۱۰۰٪ |
| درصد فراوانی نسبت به منطقهٔ ۲ | | ۱/۲۸۷ | ۰ | ۲/۱۶۳ | ۱/۱۲۸ | ۲/۵۰۶ | ۰ | ۲۱/۴۴ | ۰ | ۴/۷۷۰ | ۷۹/۴۵ | ۴۱/۷۴ | ۰ | ۰/۷۹۴ | ۰/۱۷۴ | ۴/۵۵۴ | ۴/۵۸۷ | ۰/۲۰۸ | ۰ | ۷۵/۸۵ | ۰ | ۸/۶۶۸ | ۱۴۴/۳ | ۲۱۳۷ | ۵۹/۶۴ | ۲/۸۸۷ | ۴۸/۰۸ | ۱/۵۷۸ | ۲۶/۲۸ | ۱۰۰٪ |
| مساحت به هکتار | | ۲۱/۴۴ | ۰ | ۲/۱۶۳ | ۱/۱۲۸ | ۲/۵۰۶ | ۰ | ۲۱/۴۴ | ۰ | ۴/۷۷۰ | ۷۹/۴۵ | ۴۱/۷۴ | ۰ | ۰/۷۹۴ | ۰/۱۷۴ | ۴/۵۵۴ | ۴/۵۸۷ | ۰/۲۰۸ | ۰ | ۷۵/۸۵ | ۰ | ۸/۶۶۸ | ۱۴۴/۳ | ۲۱۳۷ | ۵۹/۶۴ | ۲/۸۸۷ | ۴۸/۰۸ | ۱/۵۷۸ | ۲۶/۲۸ | ۱۰۰٪ |
| فراوانی | | ۵۷۵ | ۰ | ۳۵۳۱ | ۱۴۲ | ۲۴۹۰ | ۰ | ۵۷۵ | ۰ | ۳۵۳۱ | ۱۴۲ | ۲۴۹۰ | ۰ | ۵۸۸ | ۰ | ۳۳۷۱ | ۱۵۴ | ۲/۰۲ | ۰ | ۱۳/۲۳ | ۰ | ۶۴۱۶ | ۹۰/۴۴ | ۸/۶۶۸ | ۱۴۴/۳ | ۲۱۳۷ | ۵۹/۶۴ | ۲/۸۸۷ | ۴۸/۰۸ | ۶۴۱۶ |
| درصد فراوانی | | ۸/۵۳۴ | ۰ | ۵۲/۴۰ | ۲/۱۰۷ | ۳۶/۹۵۵ | ۰ | ۸/۵۳۴ | ۰ | ۵۲/۴۰ | ۲/۱۰۷ | ۳۶/۹۵۵ | ۰ | ۷/۷۰ | ۰ | ۴۴/۱۴ | ۴۴/۴۵ | ۰/۲۰۸ | ۰ | ۳/۴۷ | ۰ | ۹۳ | ۴/۱۳ | ۰/۳۹۶ | ۶/۵۹ | ۱۱۶۸ | ۳۲/۶۰ | ۱/۵۷۸ | ۲۶/۲۸ | ۱۰۰٪ |
| درصد فراوانی نسبت به منطقهٔ ۲ | | ۰/۷۷۷ | ۰ | ۴/۷۷۰ | ۰/۱۹۲ | ۳/۳۶۴ | ۰ | ۰/۷۷۷ | ۰ | ۴/۷۷۰ | ۰/۱۹۲ | ۳/۳۶۴ | ۰ | ۰/۷۹۴ | ۰/۱۷۴ | ۴/۵۵۴ | ۴/۵۸۷ | ۰/۲۰۸ | ۰ | ۷۵/۸۵ | ۰ | ۸/۶۶۸ | ۱۴۴/۳ | ۲۱۳۷ | ۵۹/۶۴ | ۲/۸۸۷ | ۴۸/۰۸ | ۱/۵۷۸ | ۲۶/۲۸ | ۱۰۰٪ |
| مساحت به هکتار | | ۱۲/۹۴ | ۰ | ۷۹/۴۵ | ۳/۲۰ | ۵۶/۰۳ | ۰ | ۱۲/۹۴ | ۰ | ۷۹/۴۵ | ۳/۲۰ | ۵۶/۰۳ | ۰ | ۰/۷۹۴ | ۰/۱۷۴ | ۴/۵۵۴ | ۴/۵۸۷ | ۰/۲۰۸ | ۰ | ۷۵/۸۵ | ۰ | ۸/۶۶۸ | ۱۴۴/۳ | ۲۱۳۷ | ۵۹/۶۴ | ۲/۸۸۷ | ۴۸/۰۸ | ۱/۵۷۸ | ۲۶/۲۸ | ۱۰۰٪ |
| فراوانی | | ۳۴۰ | ۰ | ۷۸۵۹ | ۳۵۰۶ | ۱۴۱ | ۰ | ۱/۹۹ | ۳۱۹۷ | ۷۸۵۹ | ۵۵۰۶ | ۱۴۱ | ۰ | ۷/۶۵ | ۷۱/۹۳ | ۱۷۶/۸ | ۱۲۳/۸۹ | ۳/۱۷ | ۰ | ۷۵/۸۵ | ۰ | ۶۴۱۶ | ۹۰/۴۴ | ۸/۶۶۸ | ۱۴۴/۳ | ۲۱۳۷ | ۵۹/۶۴ | ۲/۸۸۷ | ۴۸/۰۸ | ۶۴۱۶ |
| درصد فراوانی | | ۱/۹۹ | ۱۸/۷۶ | ۴۶/۱۱ | ۳۲/۳۱ | ۰/۸۳ | ۰ | ۱/۹۹ | ۱۸/۷۶ | ۴۶/۱۱ | ۳۲/۳۱ | ۰/۸۳ | ۰ | ۷/۶۵ | ۷۱/۹۳ | ۱۷۶/۸ | ۱۲۳/۸۹ | ۳/۱۷ | ۰ | ۷۵/۸۵ | ۰ | ۹۳ | ۴/۱۳ | ۰/۳۹۶ | ۶/۵۹ | ۱۱۶۸ | ۳۲/۶۰ | ۱/۵۷۸ | ۲۶/۲۸ | ۱۰۰٪ |
| درصد فراوانی نسبت به منطقهٔ ۲ | | ۰/۴۵۹ | ۴/۳۱۹ | ۱۰/۶۱ | ۷/۴۳۹ | ۰/۱۹۰ | ۰ | ۰/۴۵۹ | ۴/۳۱۹ | ۱۰/۶۱ | ۷/۴۳۹ | ۰/۱۹۰ | ۰ | ۰/۷۹۴ | ۰/۱۷۴ | ۴/۵۵۴ | ۴/۵۸۷ | ۰/۲۰۸ | ۰ | ۷۵/۸۵ | ۰ | ۸/۶۶۸ | ۱۴۴/۳ | ۲۱۳۷ | ۵۹/۶۴ | ۲/۸۸۷ | ۴۸/۰۸ | ۱/۵۷۸ | ۲۶/۲۸ | ۱۰۰٪ |
| مساحت به هکتار | | ۷/۶۵ | ۷۱/۹۳ | ۱۷۶/۸ | ۱۲۳/۸۹ | ۳/۱۷ | ۰ | ۷/۶۵ | ۷۱/۹۳ | ۱۷۶/۸ | ۱۲۳/۸۹ | ۳/۱۷ | ۰ | ۷/۶۵ | ۷۱/۹۳ | ۱۷۶/۸ | ۱۲۳/۸۹ | ۳/۱۷ | ۰ | ۷۵/۸۵ | ۰ | ۸/۶۶۸ | ۱۴۴/۳ | ۲۱۳۷ | ۵۹/۶۴ | ۲/۸۸۷ | ۴۸/۰۸ | ۱/۵۷۸ | ۲۶/۲۸ | ۱۰۰٪ |
| فراوانی | | ۵۸۸ | ۱۲۹ | ۳۳۷۱ | ۳۳۹۵ | ۱۵۴ | ۰ | ۷/۷۰ | ۱/۶۹ | ۴۴/۱۴ | ۴۴/۴۵ | ۲/۰۲ | ۰ | ۰/۷۹۴ | ۰/۱۷۴ | ۴/۵۵۴ | ۴/۵۸۷ | ۰/۲۰۸ | ۰ | ۷۵/۸۵ | ۰ | ۸/۶۶۸ | ۱۴۴/۳ | ۲۱۳۷ | ۵۹/۶۴ | ۲/۸۸۷ | ۴۸/۰۸ | ۱/۵۷۸ | ۲۶/۲۸ | ۱۰۰٪ |
| درصد فراوانی | | ۷/۷۰ | ۱/۶۹ | ۴۴/۱۴ | ۴۴/۴۵ | ۲/۰۲ | ۰ | ۷/۷۰ | ۱/۶۹ | ۴۴/۱۴ | ۴۴/۴۵ | ۲/۰۲ | ۰ | ۰/۷۹۴ | ۰/۱۷۴ | ۴/۵۵۴ | ۴/۵۸۷ | ۰/۲۰۸ | ۰ | ۷۵/۸۵ | ۰ | ۸/۶۶۸ | ۱۴۴/۳ | ۲۱۳۷ | ۵۹/۶۴ | ۲/۸۸۷ | ۴۸/۰۸ | ۱/۵۷۸ | ۲۶/۲۸ | ۱۰۰٪ |
| درصد فراوانی نسبت به منطقهٔ ۲ | | ۰/۷۹۴ | ۰/۱۷۴ | ۴/۵۵۴ | ۴/۵۸۷ | ۰/۲۰۸ | ۰ | ۰/۷۹۴ | ۰/۱۷۴ | ۴/۵۵۴ | ۴/۵۸۷ | ۰/۲۰۸ | ۰ | ۰/۷۹۴ | ۰/۱۷۴ | ۴/۵۵۴ | ۴/۵۸۷ | ۰/۲۰۸ | ۰ | ۷۵/۸۵ | ۰ | ۸/۶۶۸ | ۱۴۴/۳ | ۲۱۳۷ | ۵۹/۶۴ | ۲/۸۸۷ | ۴۸/۰۸ | ۱/۵۷۸ | ۲۶/۲۸ | ۱۰۰٪ |
| مساحت به هکتار | | ۱۳/۲۳ | ۲/۹۰ | ۷۵/۸۵ | ۷۶/۳۹ | ۳/۴۷ | ۰ | ۱۳/۲۳ | ۲/۹۰ | ۷۵/۸۵ | ۷۶/۳۹ | ۳/۴۷ | ۰ | ۱۳/۲۳ | ۲/۹۰ | ۷۵/۸۵ | ۷۶/۳۹ | ۳/۴۷ | ۰ | ۷۵/۸۵ | ۰ | ۸/۶۶۸ | ۱۴۴/۳ | ۲۱۳۷ | ۵۹/۶۴ | ۲/۸۸۷ | ۴۸/۰۸ | ۱/۵۷۸ | ۲۶/۲۸ | ۱۰۰٪ |
| فراوانی | | ۳۸۵ | ۰ | ۶۴۱۶ | ۲۹۳ | ۰ | ۰ | ۳۸۵ | ۰ | ۶۴۱۶ | ۲۹۳ | ۰ | ۰ | ۳۸۵ | ۰ | ۶۴۱۶ | ۲۹۳ | ۰ | ۰ | ۳۸۵ | ۰ | ۶۴۱۶ | ۲۹۳ | ۰ | ۰ | ۳۸۵ | ۰ | ۶۴۱۶ | ۲۹۳ | ۷۰۹۴ |
| درصد فراوانی | | ۵/۴۳ | ۰ | ۹۰/۴۴ | ۴/۱۳ | ۰ | ۰ | ۵/۴۳ | ۰ | ۹۰/۴۴ | ۴/۱۳ | ۰ | ۰ | ۵/۴۳ | ۰ | ۹۰/۴۴ | ۴/۱۳ | ۰ | ۰ | ۵/۴۳ | ۰ | ۹۰/۴۴ | ۴/۱۳ | ۰ | ۰ | ۵/۴۳ | ۰ | ۹۰/۴۴ | ۴/۱۳ | ۱۰۰٪ |
| درصد فراوانی نسبت به منطقهٔ ۲ | | ۰/۵۲۰ | ۰ | ۸/۶۶۸ | ۰/۳۹۶ | ۰ | ۰ | ۰/۵۲۰ | ۰ | ۸/۶۶۸ | ۰/۳۹۶ | ۰ | ۰ | ۰/۵۲۰ | ۰ | ۸/۶۶۸ | ۰/۳۹۶ | ۰ | ۰ | ۰/۵۲۰ | ۰ | ۸/۶۶۸ | ۰/۳۹۶ | ۰ | ۰ | ۰/۵۲۰ | ۰ | ۸/۶۶۸ | ۰/۳۹۶ | ۹/۵۵۴٪ |
| مساحت به هکتار | | ۸/۶۶ | ۰ | ۱۴۴/۳ | ۶/۵۹ | ۰ | ۰ | ۸/۶۶ | ۰ | ۱۴۴/۳ | ۶/۵۹ | ۰ | ۰ | ۸/۶۶ | ۰ | ۱۴۴/۳ | ۶/۵۹ | ۰ | ۰ | ۸/۶۶ | ۰ | ۱۴۴/۳ | ۶/۵۹ | ۰ | ۰ | ۸/۶۶ | ۰ | ۱۴۴/۳ | ۶/۵۹ | ۱۵۹/۶۲ |
| فراوانی | | ۲۵۹ | ۰ | ۲۱۳۷ | ۱۱۶۸ | ۱۹ | ۰ | ۲۵۹ | ۰ | ۲۱۳۷ | ۱۱۶۸ | ۱۹ | ۰ | ۲۵۹ | ۰ | ۲۱۳۷ | ۱۱۶۸ | ۱۹ | ۰ | ۲۵۹ | ۰ | ۲۱۳۷ | ۱۱۶۸ | ۱۹ | ۰ | ۲۵۹ | ۰ | ۲۱۳۷ | ۱۱۶۸ | ۳۵۸۳ |
| درصد فراوانی | | ۷/۲۳ | ۰ | ۵۹/۶۴ | ۳۲/۶۰ | ۰/۵۳ | ۰ | ۷/۲۳ | ۰ | ۵۹/۶۴ | ۳۲/۶۰ | ۰/۵۳ | ۰ | ۷/۲۳ | ۰ | ۵۹/۶۴ | ۳۲/۶۰ | ۰/۵۳ | ۰ | ۷/۲۳ | ۰ | ۵۹/۶۴ | ۳۲/۶۰ | ۰/۵۳ | ۰ | ۷/۲۳ | ۰ | ۵۹/۶۴ | ۳۲/۶۰ | ۱۰۰٪ |
| درصد فراوانی نسبت به منطقهٔ ۲ | | ۰/۳۵۰ | ۰ | ۲/۸۸۷ | ۱/۵۷۸ | ۰/۰۲۶ | ۰ | ۰/۳۵۰ | ۰ | ۲/۸۸۷ | ۱/۵۷۸ | ۰/۰۲۶ | ۰ | ۰/۳۵۰ | ۰ | ۲/۸۸۷ | ۱/۵۷۸ | ۰/۰۲۶ | ۰ | ۰/۳۵۰ | ۰ | ۲/۸۸۷ | ۱/۵۷۸ | ۰/۰۲۶ | ۰ | ۰/۳۵۰ | ۰ | ۲/۸۸۷ | ۱/۵۷۸ | ۴/۴۸۱٪ |
| مساحت به هکتار | | ۵/۸۳ | ۰ | ۴۸/۰۸ | ۲۶/۲۸ | ۰/۴۳ | ۰ | ۵/۸۳ | ۰ | ۴۸/۰۸ | ۲۶/۲۸ | ۰/۴۳ | ۰ | ۵/۸۳ | ۰ | ۴۸/۰۸ | ۲۶/۲۸ | ۰/۴۳ | ۰ | ۵/۸۳ | ۰ | ۴۸/۰۸ | ۲۶/۲۸ | ۰/۴۳ | ۰ | ۵/۸۳ | ۰ | ۴۸/۰۸ | ۲۶/۲۸ | ۸۰/۶۲ |

منبع: محاسبات نگارندگان

جدول ٦. سلسله‌مراتب آسیب‌پذیری منطقهٔ ۳ به تفکیک محلات یازده‌گانه بر اساس خروجی مدل تاپسیس

| کد منطقه | کد محله | رتبه آسیب پذیری | ۱ | ۲ | ۳ | ٤ | ٥ | ٦ | ۷ | جمع |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | میزان آسیب | بسیار بسیار کم | بسیار کم | کم | متوسط | زیاد | بسیار زیاد | بسیار بسیار زیاد | |
| | | نوع اطلاعات / دامنه آسیب / حاصل ازمدل تاپسیس | ۰/۳۷۹۹ - ۰/٤۱٥۲ | ۰/٤۱٥۳ - ۰/٤٥۰٦ | ۰/٤٥۰۷ - ۰/٤۸٥۹ | ۰/٤۸٦۰ - ۰/٥۲۱۳ | ۰/٥۲۱٤ - ۰/٥٥٦۷ | ۰/٥٥٦۸ - ۰/٥۹۲۰ | ۰/٥۹۲۱ - ۰/٦۲۷٤ | |
| منطقهٔ سه | محلهٔ ۱ | فراوانی | ۱۲۱۱ | ۰ | ۰ | ۰ | ۹۸۳ | ۲۸٥۷ | ۱۰٥۷ | ٦۱۰۸ |
| | | درصد فراوانی | ۱۹/۸۲٦ | ۰ | ۰ | ۰ | ۱٦/۰۹٤ | ۴٦/۷۷٥ | ۱۷/۳۰٥ | ٪۱۰۰ |
| | | درصد فراوانی نسبت به منطقهٔ ۳ | ۱/۷٦۹ | ۰ | ۰ | ۰ | ۱/۴۳٦ | ۴/۱۷۲ | ۱/٥۴۴ | ٪۸/۹۲۰ |
| | | مساحت به هکتار | ۲۷/۲٥ | ۰ | ۰ | ۰ | ۲۲/۱۲ | ٦۴/۲۸ | ۲۳/۷۸ | ۱۳۷/۴۳ |
| | محلهٔ ۲ | فراوانی | ۱۳٦۳ | ۰ | ۰ | ۳ | ۴۱۰ | ۲۳٦۷ | ۱۷۲٦ | ٥۸٦۹ |
| | | درصد فراوانی | ۲۳/۲۲۴ | ۰ | ۰ | ۰/۰٥۱ | ٦/۹۸٦ | ۴۰/۳۳۱ | ۲۹/۴۰۹ | ٪۱۰۰ |
| | | درصد فراوانی نسبت به منطقهٔ ۳ | ۱/۹۹ | ۰ | ۰ | ۰/۰۰ | ۰/٦۰ | ۳/۴٦ | ۲/٥۲ | ٪۸/٥۷ |
| | | مساحت به هکتار | ۳۰/٦٦۸ | ۰ | ۰ | ۰/۰٦۸ | ۹/۲۲٥ | ٥۳/۲٥۸ | ۳۸/۸۳٥ | ۱۳۲/۰٥ |
| | محلهٔ ۳ | فراوانی | ۱۷۳۱ | ۰ | ۱۲٦ | ۱۰۰۹ | ۲۰۸۷ | ۱٥۱۴ | ۲۰۹ | ٦٦۷٦ |
| | | درصد فراوانی | ۲٥/۹۲۹ | ۰ | ۱/۸۸۷ | ۱٥/۱۱۴ | ۳۱/۲٦۱ | ۲۲/٦۷۸ | ۳/۱۳۱ | ٪۱۰۰ |
| | | درصد فراوانی نسبت به منطقهٔ ۳ | ۲/٥۲۸ | ۰ | ۰/۱۸۴ | ۱/۴۷۴ | ۳/۰۴۸ | ۲/۲۱۱ | ۰/۳۰٥ | ٪۹/۷٥۰ |
| | | مساحت به هکتار | ۳۸/۹۴۷٥ | ۰ | ۲/۸۳٥ | ۲۲/۷۰۲٥ | ۴٦/۹٥۷٥ | ۳۴/۰٦٥ | ۴/۷۰۲٥ | ۱٥۰/۲۱ |
| | محلهٔ ٤ | فراوانی | ۱۴۲٥ | ۱۲ | ۲٦۹ | ۱۳۳۰ | ۲۳۷٦ | ۱۱۹٦ | ۰ | ٦٦۰۸ |
| | | درصد فراوانی | ۲۱/٥٦٥ | ۰/۱۸۲ | ۴/۰۷۱ | ۲۰/۱۲۷ | ۳٥/۹٥٦ | ۱۸/۰۹۹ | ۰ | ٪۱۰۰ |
| | | درصد فراوانی نسبت به منطقهٔ ۳ | ۲/۰۸۱ | ۰/۰۱۸ | ۰/۳۹۳ | ۱/۹۴۲ | ۳/۴۷۰ | ۱/۷۴۷ | ۰ | ٪۹/٦٥۰ |
| | | مساحت به هکتار | ۳۲/۰٦۳ | ۰/۲۷۰ | ٦/۰٥۳ | ۲۹/۹۲٥ | ٥۳/۴٦۰ | ۲٦/۹۱۰ | ۰ | ۱۴۸/٦۸ |
| | محلهٔ ٥ | فراوانی | ۲۰۰۹ | ۳۰۳ | ۱۲۴۷ | ۲۴۰۷ | ۷۳ | ۱۲۳ | ۰ | ٦۱٦۲ |
| | | درصد فراوانی | ۳۲/٦۰۳ | ۴/۹۱۷ | ۲۰/۲۳ | ۳۹/۰٦۲ | ۱/۱۸٥ | ۱/۹۹٦ | ۰ | ٪۱۰۰ |
| | | درصد فراوانی نسبت به منطقهٔ ۳ | ۲/۹۳۴ | ۰/۴۴۳ | ۱/۸۲۱ | ۳/٥۱٥ | ۰/۱۰۷ | ۰/۱۸۰ | ۰ | ٪۸/۹۹۹ |
| | | مساحت به هکتار | ۴٥/۲۰ | ٦/۸۲ | ۲۸/۰٦ | ٥۴/۱٦ | ۱/٦۴ | ۲/۷۷ | ۰ | ۱۳۸/٦٥ |
| | محلهٔ ٦ | فراوانی | ۱۳۹۳ | ۰ | ۷۹٦ | ۳۰۸۴ | ۸٦۹ | ۱۳۷ | ۰ | ٦۲۷۹ |
| | | درصد فراوانی | ۲۲/۱۸٥ | ۰ | ۱۲/٦۷ | ۴۹/۱۱٦ | ۱۳/۸۴۰ | ۲/۱۸۲ | ۰ | ٪۱۰۰ |
| | | درصد فراوانی نسبت به منطقهٔ ۳ | ۲/۰۳۴ | ۰ | ۱/۱٦۲ | ۴/٥۰۴ | ۱/۲٦۹ | ۰/۲۰۰ | ۰ | ٪۹/۱۷۰ |
| | | مساحت به هکتار | ۳۱/۳۴ | ۰ | ۱۷/۹۱ | ٦۹/۳۹ | ۱۹/٥٥ | ۳/۰۸ | ۰ | ۱۴۱/۲۸ |

منبع: محاسبات نگارندگان

ادامهٔ جدول ٦. سلسله‌مراتب آسیب‌پذیری منطقهٔ ۳ به تفکیک محلات یازده‌گانه بر اساس خروجی مدل تاپسیس

| کد منطقه | رتبه آسیب پذیری | ۱ | ۲ | ۳ | ٤ | ٥ | ٦ | ۷ | جمع |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| کد محله | میزان آسیب | بسیار بسیار کم | بسیار کم | کم | متوسط | زیاد | بسیار زیاد | بسیار بسیار زیاد | |
| | دامنهٔ آسیب حاصل ازمدل تاپسیس | ۰/۳۷۹۹ - ۰/٤۱٥۲ | ۰/٤۱٥۳ - ۰/٤٥۰٦ | ۰/٤٥۰۷ - ۰/٤۸٥۹ | ۰/٤۸٦۰ - ۰/٥۲۱۳ | ۰/٥۲۱٤ - ۰/٥٥٦۷ | ۰/٥٥٦۸ - ۰/٥۹۲۰ | ۰/٥۹۲۱ - ۰/٦٦۲۷٤ | |
| منطقهٔ سه | | | | | | | | | |
| محلهٔ ۱۱ | فراوانی | ۷٥٦ | ۷۰ | ۲٥۶٥ | ۳۲۴۳ | ۴۸ | ۰ | ۰ | ۶۶۸۲ |
| | درصد فراوانی | ۱۱/۳۱ | ۱/۰٥ | ۳۸/۳۹ | ۴۸/٥۳ | ۰/۷۲ | ۰ | ۰ | ٪۱۰۰ |
| | درصد فراوانی نسبت به منطقهٔ ۳ | ۱/۱۰۴ | ۰/۱۰۲ | ۳/۴۴۶ | ۴/۷۳۶ | ۰/۰۷۰ | ۰ | ۰ | ٪۹/۷٥۸ |
| | مساحت به هکتار | ۱۷/۰۱ | ۱/٥۸ | ٥۷/۷۱ | ۷۲/۹۷ | ۱/۰۸ | ۰ | ۰ | ۱٥۰/۳٥ |
| محلهٔ ۱۰ | فراوانی | ۱٥۲٥ | ۳۴ | ۶۲۱ | ۳۰۶۲ | ۱۱٥ | ۰ | ۰ | ٥۳٥۷ |
| | درصد فراوانی | ۲۸/۴۷ | ۰/۶۳ | ۱۱/٥۹ | ۵۷/۱۶ | ۲/۱٥ | ۰ | ۰ | ٪۱۰۰ |
| | درصد فراوانی نسبت به منطقهٔ ۳ | ۲/۲۲۷ | ۰/۰٥۰ | ۰/۹۰۷ | ۴/۴۷۲ | ۰/۱۶۸ | ۰ | ۰ | ٪۷/۸۲۳ |
| | مساحت به هکتار | ۳۴/۳۱ | ۰/۷۷ | ۱۳/۹۷ | ۶۸/۹۰ | ۲/٥۹ | ۰ | ۰ | ۱۲۰/٥۳ |
| محلهٔ ۹ | فراوانی | ۱۱۷۹ | ۶۲٥ | ۲۱۸۳ | ۱۹۹۴ | ۶ | ۰ | ۰ | ٥۹۸۷ |
| | درصد فراوانی | ۱۹/۶۹ | ۱۰/۴۴ | ۳۶/۴۶ | ۳۳/۳۱ | ۰/۱۰ | ۰ | ۰ | ٪۱۰۰ |
| | درصد فراوانی نسبت به منطقهٔ ۳ | ۱/۷۲۲ | ۰/۹۱۳ | ۳/۱۸۸ | ۲/۹۱۲ | ۰/۰۰۹ | ۰ | ۰ | ٪۸/۷۴۳ |
| | مساحت به هکتار | ۲۶/٥۳ | ۱۴/۰۶ | ۴۹/۱۲ | ۴۴/۸۷ | ۰/۱۴ | ۰ | ۰ | ۱۳۴/۷۱ |
| محلهٔ ۸ | فراوانی | ۱۷٥٥ | ۵۹۸ | ۲۶۲۲ | ۶۲۹ | ۱۲۹ | ۰ | ۰ | ٥۷۳۳ |
| | درصد فراوانی | ۳۰/۶۱ | ۱۰/۴۳ | ۴٥/۷۴ | ۱۰/۹۷ | ۲/۲٥ | ۰ | ۰ | ٪۱۰۰ |
| | درصد فراوانی نسبت به منطقهٔ ۳ | ۲/٥۲۳ | ۰/۸۷۳ | ۳/۸۲۹ | ۰/۹۱۹ | ۰/۱۸۸ | ۰ | ۰ | ٪۸/۷۷۳ |
| | مساحت به هکتار | ۳۹/۴۹ | ۱۳/۴۶ | ۵۹/۰۰ | ۱۴/۱٥ | ۲/۹۰ | ۰ | ۰ | ۱۲۸/۹۹ |
| محلهٔ ۷ | فراوانی | ۲۰٥۰ | ۰ | ۲٥۱۳ | ۱۱۸۲ | ٥۶۶ | ۸۳۷ | ۰ | ۷۱۴۸ |
| | درصد فراوانی | ۲۸/۶۷۹ | ۰ | ۳٥/۱٥ | ۱۶/٥۳۶ | ۷/۹۱۸ | ۱۱/۷۱۰ | ۰ | ٪۱۰۰ |
| | درصد فراوانی نسبت به منطقهٔ ۳ | ۲/۹۹۴ | ۰ | ۳/۶۷۰ | ۱/۷۲۶ | ۰/۸۲۷ | ۱/۲۲۲ | ۰ | ٪۱۰/۴۳ |
| | مساحت به هکتار | ۴۶/۱۳ | ۰ | ۵۶/۵۴ | ۲۶/۶۰ | ۱۲/۷۴ | ۱۸/۸۳ | ۰ | ۱۶۰/۸۳ |

منبع: محاسبات نگارندگان

جدول ۷. سلسله‌مراتب آسیب‌پذیری منطقهٔ ٤ به‌تفکیک محلات یازده‌گانه بر اساس خروجی مدل تاپسیس

| رتبه آسیب پذیری | | ۱ | ۲ | ۳ | ٤ | ٥ | ٦ | ۷ | جمع |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | بسیار کم | بسیار کم | کم | متوسط | زیاد | بسیار زیاد | بسیار زیاد | |
| | | ۰/۳۷۹۹ - ۰/٤۱٥۲ | ۰/٤٥۰٦ - ۰/٤۱٥۳ | ۰/٤٨٥۹ - ۰/٤٥۰۷ | ۰/٥۲۱۳ - ۰/٤٨٦۰ | ۰/٥٥٦۷ - ۰/٥۲۱٤ | ۰/٥۹۲۰ - ۰/٥٥٦٨ | ۰/٦۲۷٤ - ۰/٥۹۲۱ | |
| کد منطقه | کد محله | میزان آسیب<br>نوع اطلاعات<br>دامنه آسیب<br>حاصل ازمدل تاپسیس | | | | | | | |
| منطقهٔ چهار | محلهٔ ۱ | فراوانی | ۹٦۴ | ۰ | ۰ | ۱۱٥۴ | ۱۸۹۷ | ٥۲۱ | ۰ | ۴٥۳۶ | ٪۱۰۰ |
| | | درصد فراوانی | ۲۱/۲٥۲ | ۰ | ۰ | ۲٥/۴۴۱ | ۴۱/۸۲۱ | ۱۱/۴۸۶ | ۰ | ٪۱۰۰ | |
| | | درصد فراوانی نسبت به منطقهٔ ۴ | ۲/۰۲۱ | ۰ | ۰ | ۲/۴۲۰ | ۳/۹۷۸ | ۱/۰۹۳ | ۰ | ٪۹/٥۱۲ | |
| | | مساحت به هکتار | ۲۱/۶۹ | ۰ | ۰ | ۲٥/۹۷ | ۴۲/۶۸ | ۱۱/۷۲ | ۰ | ۱۰۲/۰۶ | |
| | محلهٔ ۲ | فراوانی | ۱۰۳۰ | ۲ | ۱۴۹۸ | ۱۸۱۱ | ۱۴۱ | ۱۴۱ | ۰ | ۴۴۸۲ | ٪۱۰۰ |
| | | درصد فراوانی | ۲۲/۹۸۱ | ۰/۰۴٥ | ۳۲/۴۲۳ | ۴۰/۴۰۶ | ۳/۱۴۶ | ۳/۱۴۶ | ۰ | ٪۱۰۰ | |
| | | درصد فراوانی نسبت به منطقهٔ ۴ | ۲/۱۶ | ۰/۰۰ | ۳/۱۴ | ۳/۸۰ | ۰/۳۰ | ۰/۳۰ | ۰ | ٪۹/۴۰ | |
| | | مساحت به هکتار | ۲۳/۱۷٥ | ۰/۰۴٥ | ۳۳/۷۰٥ | ۴۰/۷۴۸ | ۳/۱۷۳ | ۳/۱۷۳ | ۰ | ۱۰۰/۸۴ | |
| | محلهٔ ۳ | فراوانی | ۱۷۳٥ | ۱۶۳۱ | ۹۹۹ | ۱۰۱۰ | ۳۲۷ | ۳۲۷ | ۰ | ٥۷۰۲ | |
| | | درصد فراوانی | ۳۰/۴۲۸ | ۲۸/۶۰ | ۱۷/٥۲۰ | ۱۷/۷۱۳ | ٥/۳٥ | ٥/۳٥ | ۰ | ٪۱۰۰ | |
| | | درصد فراوانی نسبت به منطقهٔ ۴ | ۳/۶۳۸ | ۳/۴۲۰ | ۲/۰۹٥ | ۲/۱۱۸ | ۰/۶۸۶ | ۰/۶۸۶ | ۰ | ٪۱۱/۹٥ | |
| | | مساحت به هکتار | ۳۹/۰۳۷٥ | ۳۶/۶۹ | ۲۲/۴۷۷٥ | ۲۲/۷۲٥ | ۷/۳٥۷٥ | ۷/۳٥۷٥ | ۰ | ۱۲۸/۲۹ | |
| | محلهٔ ٤ | فراوانی | ۱٥۹۶ | ۰ | ۷٥۳ | ۴۲ | ۱۳۴ | ۱۳۴ | ۰ | ٥۲۸۷ | |
| | | درصد فراوانی | ۳۰/۱۸۷ | ۰ | ۱۴/۲۴ | ۰/۷۹۴ | ۲/٥۳٥ | ۲/٥۳٥ | ۰ | ٪۱۰۰ | |
| | | درصد فراوانی نسبت به منطقهٔ ۴ | ۳/۳۴۷ | ۰ | ۱/٥۷۹ | ۰/۰۸۸ | ۰/۲۸۱ | ۰/۲۸۱ | ۰ | ٪۱۱/۰۸ | |
| | | مساحت به هکتار | ۳٥/۹۱۰ | ۰ | ۶۲/۱۴٥ | ۰/۹۴٥ | ۳/۰۱٥ | ۳/۰۱٥ | ۰ | ۱۱۸/۹٥ | |
| | محلهٔ ٥ | فراوانی | ۱۱۸۴ | ۰ | ۶۸۴ | ۱۲۸٥ | ٥۲۰ | ٥۲۰ | ۱۰۰ | ۳۷۷۳ | |
| | | درصد فراوانی | ۳۱/۲۸۱ | ۰ | ۱۸/۱۲۹ | ۳۴/۰٥۸ | ۱۳/۷۸۲ | ۱۳/۷۸۲ | ۲/۶٥۰ | ٪۱۰۰ | |
| | | درصد فراوانی نسبت به منطقهٔ ۴ | ۲/۴۸۳ | ۰ | ۱/۴۳۴ | ۲/۶۹٥ | ۱/۰۹۰ | ۱/۰۹۰ | ۰/۲۱۰ | ٪۷/۹۱۲ | |
| | | مساحت به هکتار | ۲۶/۶۴ | ۰ | ۱٥/۳۹ | ۲۸/۹۱ | ۱۱/۷۰ | ۱۱/۷۰ | ۲/۲٥ | ۸۴/۸۹ | |
| | محلهٔ ٦ | فراوانی | ۱۴٥۲ | ۲ | ۳۱۴۴ | ۷۹۴ | ۰ | ۰ | ۰ | ۶٥۸٥ | |
| | | درصد فراوانی | ۳۲/۰٥۰ | ۰/۰۳۰ | ۴۷/۲۴٥ | ۱۲/۰٥۸ | ۰ | ۰ | ۰ | ٪۱۰۰ | |
| | | درصد فراوانی نسبت به منطقهٔ ۴ | ۳/۰۴٥ | ۰/۰۰۴ | ۶/٥۹۳ | ۱/۶٥ | ۰ | ۰ | ۰ | ٪۱۳/۸۰ | |
| | | مساحت به هکتار | ۳۲/۶۷ | ۰/۰٥ | ۲۶/۸۴ | ۱۷/۸۷ | ۰ | ۰ | ۰ | ۱۴۸/۱۶ | |

منبع: محاسبات نگارندگان

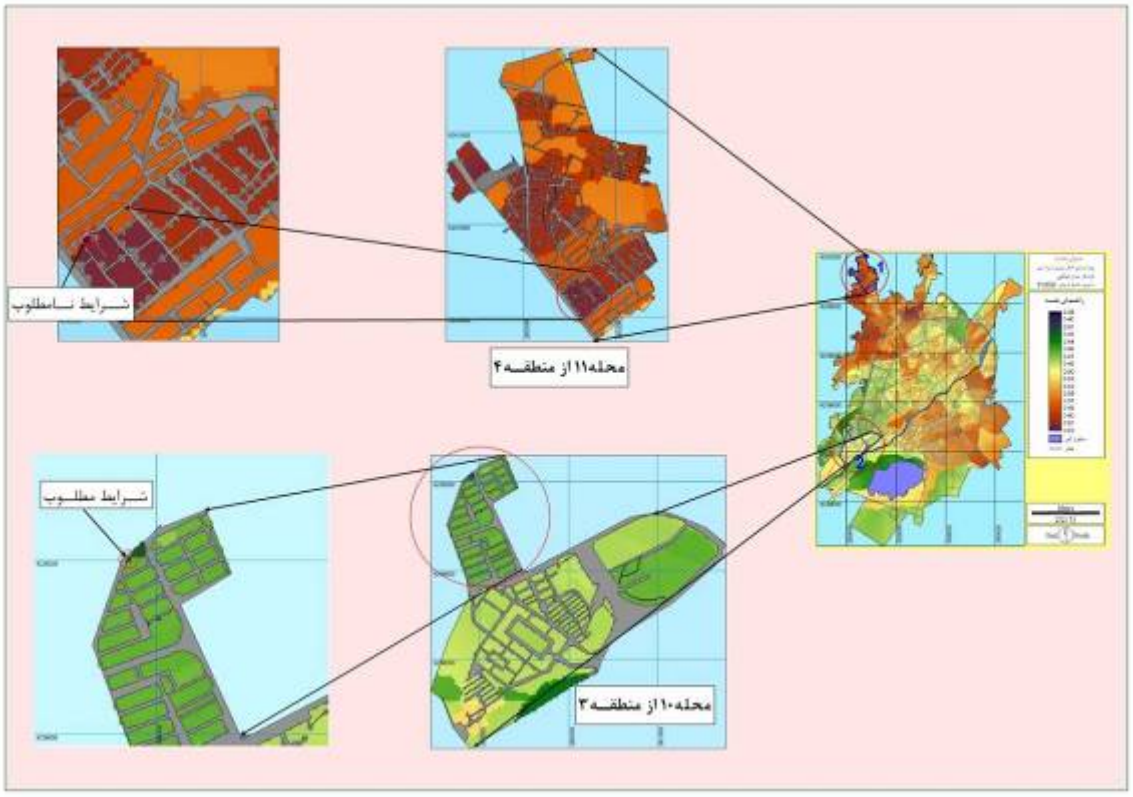
ادامهٔ جدول ۷. سلسله‌مراتب آسیب‌پذیری منطقهٔ ٤ به‌تفکیک محلات یازده‌گانه بر اساس خروجی مدل تاپسیس

| کد منطقه | منطقهٔ چهار | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| کد محله | محلهٔ ۷ | | | محلهٔ ۸ | | | محلهٔ ۹ | | | محلهٔ ۱۰ | | | محلهٔ ۱۱ | | | جمع | | |
| رتبه آسیب پذیری | ۱ | ۲ | ۳ | ٤ | ۵ | ٦ | ۷ | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| میزان آسیب / نوع اطلاعات | بسیار بسیار کم | بسیار کم | کم | متوسط | زیاد | بسیار زیاد | بسیار بسیار زیاد | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| دامنه آسیب / حاصل ازمدل تاپسیس | ۰/۳۷۹۹ – ۰/٤۱۵۲ | ۰/٤۱۵۳ – ۰/٤۵۰٦ | ۰/٤۵۰۷ – ۰/٤۸۵۹ | ۰/٤۸٦۰ – ۰/۵۲۱۳ | ۰/۵۲۱٤ – ۰/۵۵٦۷ | ۰/۵۵٦۸ – ۰/۵۹۲۰ | ۰/۵۹۲۱ – ۰/٦۲۷٤ | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| فراوانی | ۱۱۹۳ | ۰ | ۱۵۰ | ۲۵۸ | ۱۳۰۸ | ۳۱۲ | ۶۹۹ | ۳۹۲۰ | | | | | | | | | | | | | | | | |
| درصد فراوانی | ۳۰/۴۳۴ | ۰ | ۳/۸۲۷ | ۶/۵۸۲ | ۳۳/۳۶۷ | ۷/۹۵۹ | ۱۷/۸۳۲ | ٪۱۰۰ | | | | | | | | | | | | | | | | |
| درصد فراوانی نسبت به منطقهٔ ۴ | ۲/۵۰۲ | ۰ | ۰/۳۱۵ | ۰/۵۴۱ | ۲/۷۴۳ | ۰/۶۵۴ | ۱/۴۶۶ | ٪۸/۲۲۰ | | | | | | | | | | | | | | | | |
| مساحت به هکتار | ۲۶/۸۴ | ۰ | ۳/۳۸ | ۵/۸۱ | ۲۹/۴۳ | ۷/۰۲ | ۱۵/۷۳ | ۸۸/۲۰ | | | | | | | | | | | | | | | | |
| فراوانی | ۸۷۵ | ۰ | ۰ | ۳۷ | ۱۰۱۹ | ۱۲۵۴ | ۱۴۹ | ۳۳۳۴ | | | | | | | | | | | | | | | | |
| درصد فراوانی | ۲۶/۲۴ | ۰ | ۰ | ۱/۱۱ | ۳۰/۵۶ | ۳۷/۶۱ | ۴/۴۷ | ٪۱۰۰ | | | | | | | | | | | | | | | | |
| درصد فراوانی نسبت به منطقهٔ ۴ | ۱/۸۳۵ | ۰ | ۰ | ۰/۰۷۸ | ۲/۱۳۷ | ۲/۶۳۰ | ۰/۳۱۲ | ٪۶/۹۹۱ | | | | | | | | | | | | | | | | |
| مساحت به هکتار | ۱۹/۶۹ | ۰ | ۰ | ۰/۸۳ | ۲۲/۹۳ | ۲۸/۲۲ | ۳/۳۵ | ۷۵/۰۲ | | | | | | | | | | | | | | | | |
| فراوانی | ۶۳۱ | ۰ | ۱۵ | ۵۲۲ | ۱۸۶۶ | ۱۰۵ | ۰ | ۳۱۳۹ | | | | | | | | | | | | | | | | |
| درصد فراوانی | ۲۰/۱۰ | ۰ | ۰/۴۸ | ۱۶/۶۳ | ۵۹/۴۵ | ۳/۳۵ | ۰ | ٪۱۰۰ | | | | | | | | | | | | | | | | |
| درصد فراوانی نسبت به منطقهٔ ۴ | ۱/۳۲۳ | ۰ | ۰/۰۳۱ | ۱/۰۹۵ | ۳/۹۱۳ | ۰/۲۲۰ | ۰ | ٪۶/۵۸۲ | | | | | | | | | | | | | | | | |
| مساحت به هکتار | ۱۴/۲۰ | ۰ | ۰/۳۴ | ۱۱/۷۵ | ۴۱/۹۹ | ۲/۳۶ | ۰ | ۷۰/۶۳ | | | | | | | | | | | | | | | | |
| فراوانی | ۵۱۸ | ۰ | ۰ | ۰ | ۱۳۲۴ | ۹۳۷ | ۰ | ۲۷۷۹ | | | | | | | | | | | | | | | | |
| درصد فراوانی | ۱۸/۶۴ | ۰ | ۰ | ۰ | ۴۷/۶۴ | ۳۳/۷۲ | ۰ | ٪۱۰۰ | | | | | | | | | | | | | | | | |
| درصد فراوانی نسبت به منطقهٔ ۴ | ۱/۰۸۶ | ۰ | ۰ | ۰ | ۲/۷۷۶ | ۱/۹۶۵ | ۰ | ٪۵/۸۲۷ | | | | | | | | | | | | | | | | |
| مساحت به هکتار | ۱۱/۶۶ | ۰ | ۰ | ۰ | ۲۹/۷۹ | ۲۱/۰۸ | ۰ | ۶۲/۵۳ | | | | | | | | | | | | | | | | |
| فراوانی | ۸۰۵ | ۰ | ۰ | ۹ | ۲۶ | ۱۶۵۱ | ۱۵۶۷ | ۴۰۵۸ | | | | | | | | | | | | | | | | |
| درصد فراوانی | ۱۹/۸۴ | ۰ | ۰ | ۰/۲۲ | ۰/۶۴ | ۴۰/۶۹ | ۳۸/۶۲ | ٪۱۰۰ | | | | | | | | | | | | | | | | |
| درصد فراوانی نسبت به منطقهٔ ۴ | ۱/۶۸۸ | ۰ | ۰ | ۰/۰۱۹ | ۰/۰۵۵ | ۳/۴۶۲ | ۳/۲۸۶ | ٪۸/۵۰۹ | | | | | | | | | | | | | | | | |
| مساحت به هکتار | ۱۸/۱۱ | ۰ | ۰ | ۰/۲۰ | ۰/۵۹ | ۳۷/۱۵ | ۳۵/۲۶ | ۹۱/۳۱ | | | | | | | | | | | | | | | | |

منبع: محاسبات نگارندگان

برای مستندسازی نقشهٔ خطر زلزله، در این بخش تلاش شده است پس از انتخاب ۲ پیکسل از پیکسل‌های معرفی‌شده که یکی نشان‌دهندهٔ نقاط اولویت‌دار با آسیب‌پذیری بالا و شرایط نامطلوب و پیکسل دوم نمایندهٔ مناطقی با شرایط مطلوب‌تر هستند، به بررسی مورد به مورد ویژگی‌های این پیکسل‌ها به لحاظ معیارهای تعیین‌شده، پرداخته شود.

نمونهٔ اول با شرایط نامطلوب آسیب‌پذیری، در شمال غرب شهر و محلهٔ ۱۱ از منطقهٔ ۴ (محلهٔ کاظم‌آباد، کوی حضرتی) واقع شده است. نمونهٔ دوم شرایط مطلوب‌تری داشته و در جنوب غرب شهر و محلهٔ ۱۰ از منطقهٔ ۳ (شهرک کارشناسان فاز ۲، کوی لاله) قرار دارد. با بررسی‌هایی که روی معیارهای تعیین‌کنندهٔ ضریب آسیب‌پذیری این پیکسل‌ها صورت پذیرفت، مشخص شد نمونه‌ای که دارای دامنهٔ آسیب بالا است، در منطقه‌ای از شهر با بافت ارگانیک واقع شده و مصالح به‌کار رفته در سازه‌های آن، از نوع خشت و چوب بوده و کیفیت سازه‌ای از نوع تخریبی دارد. درواقع این محدوده از اصول و استانداردهای رایج در ساخت‌وسازها پیروی نکرده است. همچنین به‌دلیل ازدیاد جمعیت نیز، جزء مناطق با تراکم بالا محسوب می‌شود. اما نمونه‌ای که شرایط مطلوبی به‌لحاظ آسیب‌پذیری دارد، در یکی از شهرک‌های نوساز قرار گرفته که ساخت‌وساز در آن با رعایت اصول مهندسی و بر اساس آیین‌نامهٔ ۲۸۰۰ صورت پذیرفته است. به‌سبب توجه به مسائل اساسی در امر ساخت‌وساز، دامنهٔ آسیب‌پذیری در این محدوده در شرایط مطلوب‌تر، قرار دارد (شکل۱۳).




**شکل۱۳. نقشهٔ پیکسل‌های نمونهٔ مورد بررسی از لحاظ میزان آسیب‌پذیری در برابر خطر زمین‌لرزهٔ شهر اردبیل**

همان‌گونه که در جدول ۸ دیده می‌شود، پیکسل انتخاب‌شدهٔ نمونهٔ اول که دارای شرایط نامطلوب است در ۱۲ مورد از ۲۰ معیار، نمره‌ای بیش از ۲۰۰ را به خود اختصاص داده است. یادآوری می‌شود که ارزش‌های فازی اختصاص‌یافته به معیارهای تعیین‌کنندهٔ دامنهٔ آسیب‌پذیری، هر چه به عدد ۲۵۵ نزدیکتر باشد، نامطلوب‌تر تلقی می‌شود. اما در نمونهٔ دوم مورد بررسی که دارای شرایط مطلوب‌تر است، فقط ۴ مورد از ۲۰ معیار، نمرهٔ بیش از ۲۰۰ داشته است که این امر موجب مطلوب‌شدن شرایط این نمونه شده است. البته ذکر این نکته ضروری است که تعدادی از معیارهای تعیین‌کنندهٔ دامنهٔ آسیب، در نمونه‌های 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 نمونه‌ها شرایط مطلوب و نامطلوب را کسب کنند. برای نمونه می‌توان به نوع مصالح، کیفیت ابنیه، فاصله از مراکز امداد و نجات و سازندهای سطحی اشاره کرد.

**جدول ۸. ارزش‌های عادی و فازی دو نمونهٔ مورد بررسی از پیکسل‌ها از لحاظ میزان آسیب‌پذیری در برابر خطر زمین‌لرزه**

| نام معیار | نامطلوب | | مطلوب | |
|---|---|---|---|---|
| | C:127 r:88 | | C:72 r:466 | |
| | ارزش عادی | ارزش فازی | ارزش عادی | ارزش فازی |
| 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 |
| معابر | سرویس‌دهی A | ۶۴ | سرویس‌دهی A | ۶۴ |
| تعداد طبقات | ۱ | ۲۳ | ۲ | ۱۲۸ |
| تراکم ساختمان | ۶۰ - ۹۰ | ۱۰۲ | ۶۰- ۹۰ | ۱۰۲ |
| فاصله از پمپ بنزین | ۲۲۵۶ | ۱۵۰ | ۱۴۶۶ | ۱۸۷ |
| فاصله از پست‌های 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 به‌دنبال افزایش دانش خود و پیشرفت‌های تکنولوژیک حاصل‌شده 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 حادتری به خود می‌گیرد که زیرساخت‌های اولیه و اصول مهمی که در میزان آسیب‌ها مؤثر هستند، مورد بی‌توجهی و کم‌توجهی قرار می‌گیرند و نمونهٔ آن در منطقهٔ مورد مطالعه، به‌وضوح مشاهده می‌شود؛ چرا که با بررسی نتایج حاصل از تحلیل روی دامنهٔ 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 به‌وجود آورده است. نمونهٔ 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 محلهٔ ۲ از منطقهٔ 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 تحمیل‌شده 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 نحوهٔ مدیریت و برنامه‌ریزی‌ها و مهم‌تر از آن، اجرای کامل قوانین موجود در زمینهٔ ساخت‌وسازهای اصولی است که می‌تواند مشخص‌کنندهٔ 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 مطالعهٔ فوق می‌تواند راهگشا باشد در زیر ارائه شده است:

- با توجه به نتایج به‌دست‌آمده از مطالعات، مناطق و محلات مختلف شهر دامنهٔ یکسانی از میزان آسیب ندارند؛ لذا برای رفع نقطه ضعف‌های محدوده‌های آسیب‌پذیر، هر فعالیت و عملکردی در ارتباط با نجات مصدومان باید با برنامهٔ مدون اولویت‌بندی‌شده همراه باشد، به نحوی که اقدامات عملی از محدوده‌هایی آغاز شوند که در سلسله‌مراتب آسیب، رتبهٔ 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. نامطلوب‌بودن دسترسی‌ها به مراکز امداد و نجات، این مسئله را مطرح می‌کند که نحوهٔ 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**، پایان‌نامهٔ 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 (مطالعهٔ موردی: شهر زنجان)**، جغرافیا و توسعه، دورهٔ ۸، شمارهٔ ۱۹، صص. ۱۹۸– ۱۷۱.

افروز، ب. (۱۳۹۰). **ارائهٔ الگوی مناسب در سطح‌بندی عملکرد مدیریت شهری در بسترسازی برای توسعهٔ کارآفرینی (مطالعهٔ موردی: شهری اردبیل)**، پایان‌نامهٔ کارشناسی ارشد جغرافیای طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی.

ایری، ع. (۱۳۷۷). **برنامه‌ریزی کاهش اثرات زلزله در سطوح شهری: نمونهٔ موردی منطقهٔ ۲۰ شهر تهران**، پایان‌نامهٔ کارشناسی ارشد شهرسازی، دانشگاه شهید بهشتی.

برگی، خ. (۱۳۸۲). **اصول مهندسی زلزله.** چاپ چهارم. تهران: انتشارات دانشگاه تهران.

پورکرمانی، م. و آرین، م. (۱۳۷۶). سایزموتکتونیک لرزهٔ زمین‌ساخت. چاپ اول. تهران: انتشارات شرکت مهندسین 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 ـ 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**، مجلهٔ پژوهشی حکیم، سال سیزدهم، شمارهٔ سوم، صص. ۱۶۴– ۱۵۵.

جهانی، ع. (۱۳۷۷)، **قابلیت‌های اطلاعات ماهواره‌ای و سیستم اطلاعات جغرافیایی در مطالعات ارزیابی زمین (مطالعهٔ موردی: حوزه آبریزی طالقان)**، پایان‌نامهٔ 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 (مطالعهٔ موردی: منطقهٔ ٦ شهرداری تهران)**. باغ نظر. دورهٔ ۷، شمارهٔ 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، دورهٔ ۹، شمارهٔ 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 ایمن سازی در برابر زلزله (نمونهٔ موردی: محله باغ فردوس شهرداری منطقهٔ یک تهران)**. پایان‌نامهٔ کارشناسی ارشد، شهرسازی ـ 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 پایهٔ منابع آب.

سازمان آب منطقه‌ای آذربایجان شرقی و اردبیل (۱۳۸۱). **گزارش حفاری‌های چاه اکتشافی و پیزومتر مجاور آن در دشت اردبیل.** معاونت مطالعات پایهٔ منابع آب.

سازمان مسکن و شهرسازی استان اردبیل. (۱۳۸۶). **طرح جامع و تفصیلی شهر اردبیل.** www.mrud-ar.ir

سازمان زمین‌شناسی کشور. **شرح نقشه زمین شناسی 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، تیر۱۳۸۳ – خرداد۱۳۸۹

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

شعیه، ا. (۱۳۸۹). **بررسی آسیب‌پذیری شهرها در برابر زلزله با استفاده از روش تحلیل سلسله‌مراتبی معکوس (IHWP) و GIS (مطالعهٔ موردی: منطقهٔ ٦ شهرداری تهران)**، مجموعه مقالات چهارمین کنگره بین‌المللی جغرافی‌دانان 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 (مطالعهٔ موردی شیراز)**. پایان‌نامهٔ کارشناسی ارشد جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، اردبیل: دانشگاه محقق اردبیلی.

فرجزاده اصل، م.؛ احدنژاد، م.؛ امینی، ج. (۱۳۹۰). **ارزیابی آسیب‌پذیری مساکن شهری در برابر زلزله (مطالعهٔ موردی: منطقهٔ ۹ شهرداری تهران)**. مطالعات و پژوهش‌های شهری و منطقه‌ای، سال سوم، شمارهٔ نهم، صص. ۳۶–۱۹.

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

گتمیری، ب. (۱۳۸۳). **مجموعهٔ شهری تهران، گزیدهٔ 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**، ترجمهٔ سید جلیل‌الدین فاطمی و احمد عباس‌نژاد، کرمان: انتشارات دانشگاه شهید باهنر.

مالچفسکی، ی. (۱۳۸۵). **سامانهٔ اطلاعات جغرافیایی و تحلیل تصمیم چندمعیاری**، ترجمهٔ 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 فرسودهٔ 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.