

مجله مخاطرات محیط طبیعی، سال سوم، شماره چهارم، بهار ۹۳

تاریخ دریافت مقاله: ۹۲/۰۳/۲۹

تاریخ پذیرش نهایی: ۹۲/۱۱/۰۷

ارزیابی آسیب پذیری شهرها از گسل های پیرامونی با استفاده از روش TOPSIS در محیط GIS مطالعه‌ی موردی: (شهر اردبیل)

۳، خداداد لطفی^۱، دکتر عطا غفاری گیلانده دکتر فریبا اسفندیاری در آباد

چکیده

وقوع زلزله‌های شدید بشر را بر آن داشته است که در فکر تدوین یک برنامه‌ی زیر بنایی برای کاهش خطرات و آسیب های ناشی از آن باشد. ویژگی های زمین ساخت کشور، زلزله را به عنوان یکی از مخرب ترین عوامل انهدام حیات انسانی مطرح نموده است. وجود سازندهای زمین شناسی، با مقاومت ناهمگن، استقرار شهر روی یک دشت آبرفتی با مقاومت کمتر نسبت به سنگ بستر ضخیم لایه، احاطه شدن توسط گسلهای متعدد و وقوع زلزله های تاریخی و باستانی مخرب فراوان، شرایط آسیب زایی در برابر نیروهای ارتعاشی حاصل از زلزله برای محدوده مورد مطالعه به وجود آورده است. در این تحقیق کاربرد مدل TOPSIS به عنوان یکی از فنون برجسته تصمیم چند معیاری (MCDM) در ارزیابی آسیب پذیری مدنظر بوده است. در این تحقیق آسیب پذیری شهر اردبیل، در برابر خطر زلزله، از ناحیه پنج گسل مهم پیرامون شهر، مورد مطالعه و بررسی قرار گرفتبر اساس نتایج به دست آمده به طور میانگین ۶۹ هکتار از محدوده شهر در اثر زلزله ایجاد شده از ناحیه گسل های مورد بررسی دارای رتبه آسیب پذیری بسیار زیاد، ۴۰۸ هکتار از مساحت شهر به طور میانگین در محدوده ی آسیب پذیری زیاد قرار خواهد داشت. در کل براساس بررسی های انجام گرفته، سناریوی گسل دوپل بیشترین آسیب را برای منطقه به دنبال خواهد داشت و سناریوی گسل سرعین کمترین میزان آسیب را وارد خواهد کرد. کلید واژه ها: اردبیل، زلزله، گسل، آسیب پذیری، مدل TOPSIS

□- استادیار گروه جغرافیای طبیعی (ژئومورفولوژی)، دانشگاه محقق اردبیلی @uma.ac.ir Esfandyari

□- استادیار گروه جغرافیا و برنامه ریزی شهری، دانشگاه محقق اردبیلی

□- کارشناس ارشد جغرافیای طبیعی (ژئومورفولوژی)، دانشگاه محقق اردبیلی

مقدمه

زلزله پدیده‌های است طبیعی که بی توجهی به آن خسارات جبران ناپذیری به دنبال خواهد داشت. وقوع زلزله های شدید بشر را بر آن داشته است که در فکر تدوین یک برنامه ی زیر بنایی برای کاهش خطرات و آسیب های ناشی از آن باشد. ویژگی های زمین ساخت کشور، زلزله را به عنوان یکی از مخرب ترین عوامل انهدام حیات انسانی مطرح نموده است. بررسی های تاریخی نشان می دهد که مناطق وسیعی از کشورمان توسط این حادثه ی طبیعی متحمل آسیب های جانی و مالی گردیده است (فرج زاده اصل، ۱۳۹۰: ۲۰).

عوامل متعددی (از نظر علل و نوع) باعث بروز زمین لرزه در سطح زمین می گردند که از جمله می توان بر زلزله های آتشفشانی، زلزله های مصنوعی در اثر انفجارهای اتمی و زلزله های ناشی از فعالیت گسل اشاره کرد که در این بین فعالیت ناشی از گسل در ایجاد زمین لرزه های کشور بیشترین سهم را به خود اختصاص داده است. چنان که بررسی های موجود در زمین‌هی گسل و موقعیت جغرافیایی شهرها در کشور، حکایت از آن دارد که: ۱۶/۶ درصد از شهرهای ایران روی گسل یا در دامنه آن قرار گرفته اند، ۶۸ درصد در حریم سی کیلومتری گسل واقع شده اند، ۹/۱ درصد در فاصله ۵۰-۳۰ کیلومتری از گسل ها استقرار یافته اند و ۶/۳ درصد در فاصله بیش از پنجاه کیلومتری از گسلها قرار دارد (مصیب زاده، ۱۳۸۵: ۱۲۲).

البته نباید گمان برد که اگر شهری سابقه ی لرزه‌خیزی ندارد، در آن زلزله ی مهمی روی نخواهد داد. نمونه شهر طبس می باشد که با سابقه هزار سال تنها سیصد سال قبل یک زلزله خفیف به خود دیده بود، با این حال با یک زلزله به بزرگی حدود ۷/۸ ریشتر رو به رو شد. در ضمن شهرهای مانند ساری، قزوین، بابل و شیراز فواصل زیادی از گسل ها داشتند، ولی با وجود این زلزله‌های شدیدی در آنها روی داده است (برگی، ۱۳۸۲: ۱۵۹). در محدوهی مورد مطالعه (شهر اردبیل)، وجود سازندهای زمین شناسی، با مقاومت ناهمگن، استقرار شهر روی یک دشت آبرفتی با مقاومت کمتر نسبت به سنگ بستر ضخیم لایه، احاطه شدن توسط گسلهای متعدد و وقوع زلزله‌های تاریخی و باستانی مخرب فراوان، شرایط آسیب زایی در برابر نیروهای ارتعاشی حاصل از زلزله به وجود آورده است. از آنجایی که در ارزیابی آسیبپذیری شهر اردبیل در برابر زلزله، عوامل متعددی دخیل هستند و مجموع هی این عوامل می تواند در افزایش یا کاهش ضریب آسیب پذیری، نقش داشته باشند؛ لذا نیاز به استفاده از روشی که بتواند تلفیقی منطقی بین این عوامل ایجاد کند ضروری به نظر می رسد که در این راستا کاربرد مدل *TOPSIS* به عنوان یکی از فنون برجسته ی تصمیم چند معیاری (*MCDM*) در ارزیابی آسیب پذیری مد نظر بوده است.

سوابق مطالعاتی

در خصوص سوانح طبیعی به خصوص زلزله و تعیین آسیب پذیری شهرها در برابر آن مطالعات زیادی صورت گرفته است که به دو شکل منابع لاتین و منابع فارسی قابل بررسی است. میتوان موارد زیر را به عنوان نمونه مطرح کرد:

روستایی (۱۳۹۰) خطرگسل تبریز بر کاربری های مختلف اراضی شهری را پهنه بندی کرده است (شهبایی، ۱۳۹۰). خطر زمین لرزه را در استان کردستان با استفاده از روش تحلیل چند معیاره ی فضایی پهنه بندی کرده است. فرج

زاده اصل (۱۳۹۰) به ارزیابی آسیب پذیری مسکن شهری در برابر زلزله در منطقه ی ۹ شهرداری تهران با استفاده از مدل *TOPSIS Fuzzy* پرداخته است (فرجی، ۱۳۸۹). به پژوهشی در ارتباط با زلزله و مدیریت بحران شهری در شهر بابل پرداخته است (منزوی، ۱۳۸۹). به بررسی آسیب پذیری بافت های فرسوده بخش مرکزی شهر تهران (منطقه ۱۲) در برابر زلزله پرداخته است (قنواتی، ۱۳۸۸). به مطالعه ی توانمند سازی مدیریت بحران شهری در جهت کاهش بلایای طبیعی (زلزله) در شهر خرم آباد پرداخته است.

تانگ و ون (۲۰۰۹) با استفاده از هوش مصنوعی و GIS خطر زلزله را در شهر دیانگ چین مورد ارزیابی قرار داده - اند (هانچ و همکاران، ۲۰۰۶). در تحقیق خود به ریز پهنه بندی خطر زلزله را در شهر بخارست رومانی با استفاده از GIS پرداخته اند (اردیک و همکاران، ۲۰۰۴). در تحقیق خود خطر زلزله در ناحیه مرمره ترکیه بررسی کرده اند (رابی، ۲۰۰۱). آسیب پذیری لرزه ای کویت و دیگر کشورهای عربی خلیج فارس را مورد مطالعه قرار داده است و در این بررسی سیستم های زیر ساختی را که مهمترین آنها سازه های بلند و تاسیسات ساحلی در کویت و دیگر کشورهای عربی خلیج فارس می باشد، مطالعه کرده اند.

مواد و روش

مواد و ابزار مورد استفاده

موادی که در این پژوهش به کار گرفته میشوند مشتمل بر نقشه ها و یا آرشیوهای اطلاعاتی مربوط به معیارهایی هستند که در تعیین ضریب آسیب پذیری شهرها در برابر زلزله به کار گرفته میشوند (جدول ۱).

اطلاعات مذکور بر پایه ی استفاده از منابع کتابخانهای، اسنادی، دیجیتالی و پایگاههای اینترنتی مرتبط با موضوع تحقیق و با مراجعه به سازمانها و ارگانهای: سازمان مدیریت بحران استان اردبیل، سازمان راه و شهر سازی استان، سازمان آب منطقه ای استان و استانداری به دست آمده است.

نرم افزارهای مورد استفاده در این تحقیق به تناسب کاربرد عبارتند از: ۱- نرم افزارهای Arc GIS 9.3، ARC View 3.3، Kilimanjaro، IDRISI و Grapher 4. در فازهای مربوط به ورود، ذخیره و مدیریت، پردازش و تحلیل دادهها؛ ۲- نرم افزار Excel 2007، برای انجام محاسبات کمی.

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

سرعت امواج برشی	مدت تاووم زلزله	عمق سطح ایستایی	سازندهای سطحی	حداکثر توان لرزه	ف. گسل	حداکثر شتاب زلزله	معیار	ف. ایستگاه آتش	کاربری اراضی	ف. پمپ بنزین	ف. پست هوایی برق	ف. شیر آتش	ف. بیمارستان	بعد خانوار	تراکم ساختمان	تعداد طبقات	تراکم جمعیت	کیفیت ابنیه	نوع مصالح
X 1 n	X 1 2 3	X 1 2	X 1 1
X 2 n	X 2 3	X 2 2	X 2 1
.
X m n	X m 3	X m 2	X m 1

ماخذ: جمع بندی از بررسیهای اسنادی و کتابخانه ای نگارندگان

روش ها

در این مقاله، مرحله ی مربوط به ارزش گذاری استاندارد سازی به صورت توام و بر مبنای ارزش عضویت در مجموعه ی فازی در نظر گرفته شده است. ارزش عضویت یا درجه ی تعلق در یک مجموعه ی فازی را میتوان با شمارهای که دامنه ی آن بین مقادیری چون ۰ تا ۱ یا ۰ تا ۲۵۵ قرار دارد، تعیین کرد (آشور، ۱۳۹۰: ۱۵۴). در دامنه ی بین ۰ و ۱، اگر باشد، در این صورت عنصر X به صورت کامل به دامنه ی A تعلق دارد. به همین ترتیب اگر باشد، در این صورت عنصر X مشخصاً به دامنه ی A تعلق ندارد. درجه بالای ارزش عضویت یک عنصر به معنای نسبت بالای تعلق آن به مجموعه میباشد (افروز، ۱۳۹۰: ۱۰۸). در تحقیق حاضر با استفاده از امکاناتی که در تابع FUZZY از نرم افزار IDRISI Kilimanjaro وجود دارد برای استاندارد سازی نقشههایی که به صورت نقشههایی معیار تهیه شدهاند به تناسب، از توابع عضویت Sigmoidal و linear و در قالبهایی چون الگوهایی افزایشی به صورت یکنواخت، کاهشی به صورت یکنواخت و سایمتریک استفاده به عمل آمده است.

از سوی دیگر استفاده از روش مقایسه زوجی در تعیین وزنهای معیار و استفاده از مدل TOPSIS به عنوان قاعده - تصمیمگیری چند معیاریدراولویت بندی گزینه های مکانی به عنوان دو محورا صلیب فرایند بررسی متدولوژی تحقیق مورد توجه قرار گرفتند. تکنیک مرتب سازی اولویت گزینه ها بر مبنای میزان مشابهت به

راه حل ایده‌آل[□] (TOPSIS)، یکی از متداولترین روشها در تعیین میزان انفکاک از موقعیت ایده آل محسوب می شود. بر اساس این تکنیک، بهترین گزینه، گزینه‌ای است که به طور همزمان، نزدیکترین واحد به نقطه ی ایده‌آل و دورترین واحد از نقطه ی متصف به شرایط نامطلوب باشد. از امتیازات مهم این روش آن است که به طور همزمان میتوان از شاخصها و معیارهای عینی و ذهنی استفاده نمود. با این حال لازم است در این مدل جهت محاسبات ریاضی، تمامی مقادیر نسبت داده شده به معیارها از نوع کمی بوده و در صورت کیفی بودن نسبت داده شده به معیارها، میباید آنها را به مقادیر کمی تبدیل نمود. اگر چه روش TOPSIS را میتوان هم در محیط رستری و هم در محیط برداری مربوط به GIS به کار برد، اما این تکنیک به طور ویژه‌ای مناسب با ساختار داده‌های رستری است (مالچفسکی، ۱۳۸۵: ۳۷۴-۳۷۵).

مرحله ی اول: تشکیل ماتریس داده‌ها (رابطه ۱) براساس n آلترناتیو و m شاخص، که در آن معرف نمره خام پیکسل λ در معیار j ام است.

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

مرحله ی دوم: در این مرحله با استانداردسازی داده‌ها، دامنه ی مقادیر را که در واحدهای اندازه‌گیری متفاوت (همچون واحد اندازه‌گیری رتبه‌ای، درصدی و متریک) وجود دارند به یک دامنه ی استاندارد، تبدیل و مقادیر استاندارد شده داده‌ها را به دست می‌آوریم. در چنین روندی لایه های نقشه ی استاندارد که قابل مقایسه و قابل ترکیب با هم هستند به دست می‌آید (رابطه ۲).

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

مرحله ی سوم: وزنهای مربوط به هر صفت تعیین می شود؛ مجموع وزنها باید به گونه‌ای باشد که $\sum_{j=1}^n w_j = 1$ و $w_j \geq 0$ - دست آید.

مرحله ی چهارم: با ضرب هر ارزش از لایه صفت استاندارد شده v_{ij} در وزن متناظر بر آن، لایه‌های نقشه استاندارد شده وزنی ایجاد می شود؛ هر سلول از لایه‌ها، حاوی ارزش استاندارد شده وزنی می باشند.

مرحله ی پنجم: ارزش حداکثر در هر یک از لایه‌های نقشه استاندارد شده وزنی، تعیین می شود (ارزشها تعیین کننده ی نقطه ی ایده‌آل هستند)؛ یعنی = .

مرحله‌ی ششم: در این مرحله ارزش حداقل را برای هر لایه نقشه استاندارد شده وزنی، تعیین میشود (ارزشها تعیین کننده نقطه حوضی هستند) به صورتی که =.

مرحله‌ی هفتم: با استفاده از یک اندازه انفکاک، فاصله بین نقطه‌ی ایده‌آل و هر گزینه محاسبه می شود؛ یک انفکاک را میتوان با استفاده از متریک فاصله اقلیدسی محاسبه کرد (رابطه ۳).

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

مرحله‌ی هشتم: با استفاده از همان اندازه انفکاک فاصله بین هر گزینه و نقطه‌ی حوضی محاسبه میشود (رابطه ۴)؛

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

مرحله‌ی نهم: با استفاده از رابطه (۵) نزدیکی نسبی به نقطه‌ی ایده آل محاسبه می شود؛ به طوری که ۱۰ میباشد. بر این اساس هر اندازه یک گزینه به نقطه‌ی ایده‌آل نزدیکتر باشد به سمت ۱ میل میکند (رابطه ۵).

$$C_{i+} = \quad \text{رابطه (۵)}$$

مرحله‌ی دهم: در این مرحله گزینهها بر حسب یک ترتیب نزولی از رتبه بندی می شود؛ گزینه‌های که بالاترین ارزش از همراه باشد، بهترین گزینه است.

بحث و بررسی

ارزشگذاری و استانداردسازی دامن‌هی تغییرات ثبت شده از معیارها

ارزشگذاری به این معناست که به مقادیر مشخص شده از معیارها بر حسب میزان مطلوبیت، ارزشی تعلق گیرد. استاندارد نمودن دادهها نیز به معنی همسان کردن دامنه‌ی تغییرات استاندارد شده دادهها در دامن‌هایی همچون ۰ تا ۱ و ۰ تا ۲۵۵ میباشد، زیرا معیارهای مورد استفاده در فرآیند ارزیابی ممکن است در واحدهای اندازه‌گیری متفاوتی مورد سنجش قرار گیرند (مانند زاویه‌ی اصطکاک در اندازه‌گیری مقاومت برشی خاک و متر در اندازه‌گیری فاصله از گسل) در نتیجه نمیتوان عملیاتهای ریاضی در فرایند همپوشی را بر روی آنها به انجام رسانید. در این مقاله، فرایند عملیاتی ارزشگذاری و استانداردسازی به صورت توأم و بر مبنای ارزش عضویت در مجموعه‌ی فازی به انجام رسیده است. فهرست برخی از معیار مورد استفاده در این مقاله و مبنای تئوریک مطرح در ارزشگذاری و استانداردسازی آنها عبارتند از :

حداکثر توان لرزه زایی گسل

با توجه به جمع شدن انرژی کرنشی در گسلها و مکانیزم وقوع اکثر زلزله های تکتونیکی، طول گسل از مشخصه های اصلی یک زلزله به شمار می رود و نتایج اکثر محققان بر این امر استوار میباشد که رابطهای بین طول گسل و حداکثر توان لرزه زایی آن ارائه دهند. البته به طور حتم تمام طول گسل در امر ذخیره سازی انرژی مورد نظر نقش نخواهد داشت. در این رابطه به ه طور متوسط فرض میشود نصف طول یک گسل در روابط ملحوظ گردد (برگی، ۱۳۸۲: ۱۴۶).

سازندهای سطحی

بر اساس تجربیات حاصله از زلزله های که تاکنون در اکثر نقاط دنیا رخ داده اند و با بررسی علل اساسی و مؤثر در تخریب ساختمان ها بر اثر وقوع زلزله، بیشتر متخصصان بر این اعتقاد هستند که خسارت های وارده بر ساختمانها به طور قابل ملاحظه ای بستگی به ساخت زمین محل سازه دارد (خانلری، ۱۳۷۷: ۲۹۹-۲۹۸). ثابت شده است که در بیشتر موارد خسارت ایجاد شده در چنین خاکهای نرم پنج تا ده برابر بیشتر از مناطق سنگی سخت مجاور است (روستایی، ۱۳۸۶: ۱۰۷-۱۰۸).

سرعت امواج عرضی (Vs)

سرعت امواج زلزله بستگی به جرم مخصوص و خاصیت روان شدن سنگها می دارد که از آنها عبور میکنند. سرعت امواج زلزله در سنگهای متراکم و صلب، زیاد و در سنگهای سبکتر و نرمتر، کم میباشد (لهانگ، ۱۳۷۳: ۲۴).

عمق سطح ایستابی

وجود آب در خاک روی خواص مهندسی خاکها تأثیر بسزا می دارد. لذا با توجه به وجود آب در خاک، چنانچه در هنگام وقوع زلزله، خاک تحت تنش قرار گیرد، فقط اجزاء و دانه های خاک در مقابل تغییر شکل یا شکست مقاومت مینمایند و آب بین منفذی هیچ گونه مقاومتی ندارد و نتیجتاً آب به صورت بی اثر عمل می نماید (خانلری، ۱۳۷۷: ۲۲۴).

نوع مصالح

معیار نوع مصالح سازه ها یکی از معیارهای مهم و مؤثر در تعیین ضریب آسیب پذیری شهرها در برابر زلزله محسوب می شود. در مورد نوع مصالح به کار رفته در سازه ها، قاعدتاً سازه ها می که با مصالح دارای مقاومت و استاندارد بالا ساخته شده اند ایمنی مناسبی در برابر زلزله داشته و امنیت بالایی برای ساکنین فراهم میکنند.

کیفیت ابنیه

این شاخص تاثیر 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. قابل ذکر است که قدمت یک سازه الزاماً رابطه مستقیمی با کیفیت ندارد، اما در بیشتر موارد ساختمان های با سنی بیشتر از سی سال نیاز به تعمیر اساسی دارند. در عین حال رعایت نکردن اصول آیین نامه زلزله در اجرا ساختمان نیز باعث کاهش کیفیت بنا می گردد.

تراکم جمعیت

شاخصی که مشخص کننده بار جمعیتی در مواقع زلزله می باشد و در نتیجه با بیشتر شدن تراکم جمعیتی، سرعت پناه گیری و خدمات رسانی و امداد پایین آمده و بالعکس.

دسترسی به مراکز امداد و نجات

این شاخص بیشتر با زمان بعد از وقوع حادثه در ارتباط است. تعیین مکان مناسب جهت استقرار کاربری های گوناگون شهری به عوامل متعددی بستگی دارد. از مهم ترین فاکتورهای موثر در بحث کارایی سنجی مراکز امداد و نجات که تعیین کنند هی سطح عملکرد این مراکز در مواقع بحرانی است می توان به شاخص تراکم جمعیت، مساحت و شعاع پوشش، شبکه ی ترافیک و سطح سرویس دهی معابر اشاره داشت. از این رو دسترسی سریع و آسان به مراکز امداد و نجات موجب سرعت بخشیدن به عملیات امداد و نجات و خدمات رسانی می شود. به این ترتیب با دور شدن از این مراکز احتمال آسیب پذیری افزایش می یابد.

روش وزن دهی نقشه های معیار

بررسی روابط بین انواع عوامل و ویژگیهای، پارامترهای موثر در امر آسیب پذیری ناشی از زلزله، نشان میدهد که غالب عوامل مؤثر در تعیین پهنه های آسیب پذیر، از اهمیت یکسانی برخوردار نمیشوند. لذا برای ارزیابی دقیقتر، لازم است تا اهمیت نسبی هر کدام از عوامل مشخص گردیده و براساس آن ضرایب ویژه های به عنوان وزن در تجزیه و تحلیل اطلاعات اعمال شود. تاکنون روشهای متعددی در تعیین وزن استفاده شده است که روشهای مقایسه زوجی[□] و CRITIC[□] از جمله آنها میباشند. با پیش فرضهایی که در ذیل روش CRITIC وجود دارد در تحقیق حاضر از آن استفاده شد، زیرا که چیدمان معیارهای بیست گانه مورد استفاده برای ارزیابی ضریب آسیبپذیری از ناحیه هر کدام از گسلها به گونهای بود که امکان تعیین درجه اهمیت در یک مقایسه دو به دو مشکل بود. در روش CRITIC داده ها براساس میزان تداخل و تضاد موجود بین عوامل یا معیارها مورد تجزیه و تحلیل قرار میگیرند (جهانی، ۱۳۷۶: ۷۱).

با تأمل در کاربرد و فلسفه‌ی به کارگیری این روش میتوان گفت که مفروضات ذیل 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 اولویتبندی پهنه‌ها، تلقی نمیشود این وضعیت می تواند به پایین آمدن وزن آن معیار کمک کند ، حتی اگر معیار مورد نظر، فی نفسه از اهمیت زیادی برخوردار باشد. 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 تنزل وزن، تأثیرگذار باشد.

هر چقدر همبستگی مثبت معیارها با هم بیشتر باشد به همان نسبت در نظر گرفتن تغییرات یک معیار به عنوان معرف بر تغییرات معیار دیگر، توجیهپذیر میشود.

اگر عاملی یا معیاری از یک طرف انحراف معیار بیشتری داشته باشد و از طرف دیگر سرجمع تضاد آن با معیارهای دیگر بیشتر باشد دایره میزان اطلاعات که در ذیل آن معیار نهفته شده است گستردهتر است و به پشتوانه‌ی دایره بازتر از میزان اطلاعات، میتواند نقشی تعیین کنندهتر در تمیز گزینندهای مکانی به لحاظ سطح اولویت داشته باشد.

جدول ۱: وزن معیارها، حاصل محاسبه با روش کریتیک

نام معیار	گسل آستارا	گسل هیر	گسل نئور	گسل دوپیل	گسل سرعین
نوع مصالح	۰/۰۶۴	۰/۰۶۷	۰/۰۶۳	۰/۰۶۵	۰/۰۶۵
کیفیت ابنیه	۰/۰۵۸	۰/۰۶۱	۰/۰۵۸	۰/۰۵۸	۰/۰۵۹
تراکم جمعیت	۰/۰۶۲	۰/۰۶۵	۰/۰۶۲	۰/۰۶۲	۰/۰۵۹
بعد خانوار	۰/۰۶۳	۰/۰۶۳	۰/۰۶۰	۰/۰۵۹	۰/۰۶۰
ف. ایستگاه آتش نشانی	۰/۰۴۷	۰/۰۴۵	۰/۰۴۳	۰/۰۴۲	۰/۰۴۲
ف. بیمارستان	۰/۰۴۹	۰/۰۴۷	۰/۰۴۵	۰/۰۴۵	۰/۰۴۷
ف. شیرهای آتش نشانی	۰/۰۴۳	۰/۰۴۶	۰/۰۴۳	۰/۰۴۳	۰/۰۴۰
کاربری اراضی	۰/۰۲۷	۰/۰۲۷	۰/۰۲۵	۰/۰۲۵	۰/۰۲۵
معاير	۰/۰۵۲	۰/۰۵۴	۰/۰۵۱	۰/۰۵۱	۰/۰۵۳
تعداد طبقات	۰/۰۶۶	۰/۰۶۱	۰/۰۵۸	۰/۰۵۶	۰/۰۵۵
تراکم ساختمان	۰/۰۵۲	۰/۰۴۹	۰/۰۴۷	۰/۰۴۵	۰/۰۴۵
ف. پمپ بنزین	۰/۰۵۲	۰/۰۵۷	۰/۰۵۴	۰/۰۵۶	۰/۰۵۸
ف. پست های هوایی برق	۰/۰۳۴	۰/۰۳۵	۰/۰۳۳	۰/۰۳۴	۰/۰۳۵
سازنده های سطحی	۰/۰۷۳	۰/۰۷۶	۰/۰۷۲	۰/۰۷۳	۰/۰۷۶
سرعت امواج عرضی	۰/۰۴۲	۰/۰۴۴	۰/۰۴۲	۰/۰۴۳	۰/۰۴۳
عمق سطح ایستایی	۰/۰۲۹	۰/۰۲۸	۰/۰۲۷	۰/۰۲۷	۰/۰۲۸

۰/۰۴۷	۰/۰۵۲	۰/۰۵۵	۰/۰۵۸	۰/۰۶۴	فاصله از گسل
۰/۰۵۲	۰/۰۵۵	۰/۰۵۳	۰/۰۳۷	۰/۰۲۲	توان لرزه زایی گسل
۰/۰۵۲	۰/۰۵۷	۰/۰۵۶	۰/۰۳۹	۰/۰۵۹	حداکثر شتاب زلزله
۰/۰۵۷	۰/۰۵۳	۰/۰۵۴	۰/۰۴۲	۰/۰۴۲	مدت تداوم زلزله

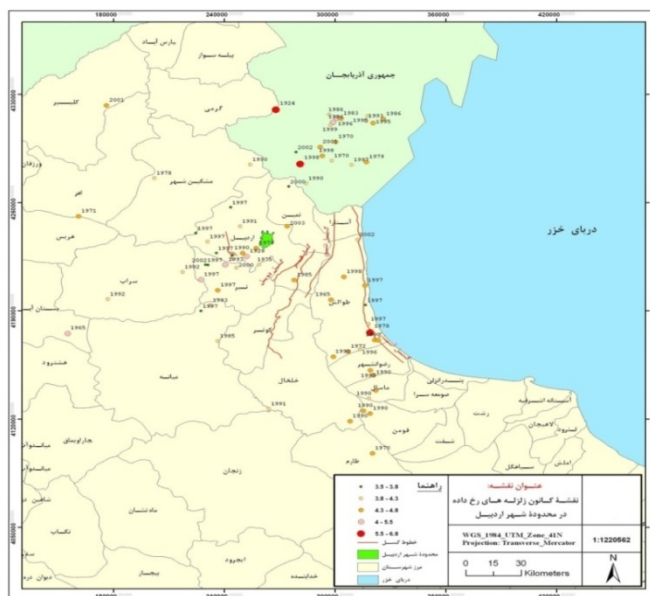
مأخذ: محاسبات نگارندگان

یافته های تحقیق

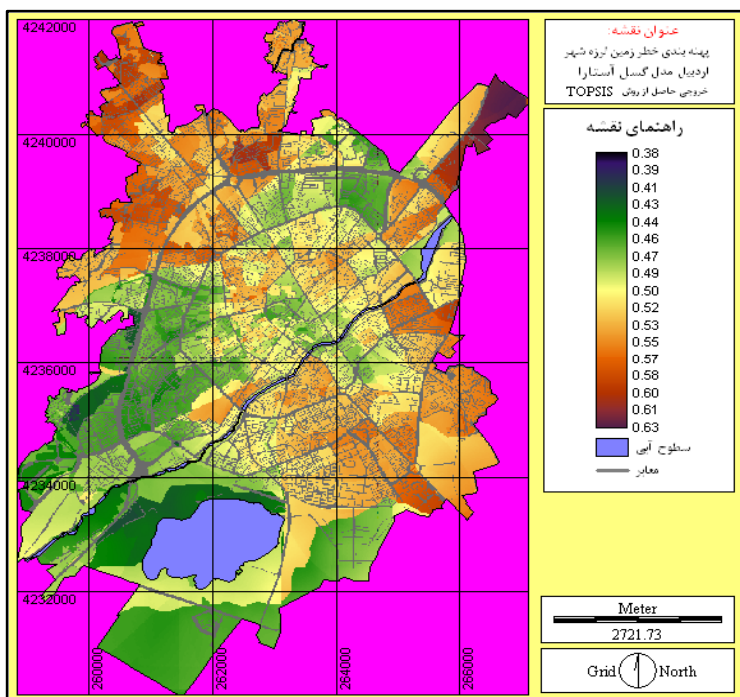
خروجی حاصل از بهار گیری مدل TOPSIS:

در برآیند عملیات سازی مراحل و دستورالعملهای مطرح در فرایند بکارگیری مدل TOPSIS، نقشههای پهنه بندی میزان آسیب پذیری شهر اردبیل در برابر زلزله به دست آمد که امتیاز آنها در دامنه ی بین صفر و یک مشخص شدند. این نقشهها به طور جداگانه با مینا قرار دادن هر یک از گسلها به عنوان عامل ایجاد کننده زلزله به صورت خروجی حاصل از روش TOPSIS در حد فاصل بین ۰-۱ و به ترتیب در رابطه با گسل های آستارا، دویل، هیر، نئور و سرعین تهیه شده اند.

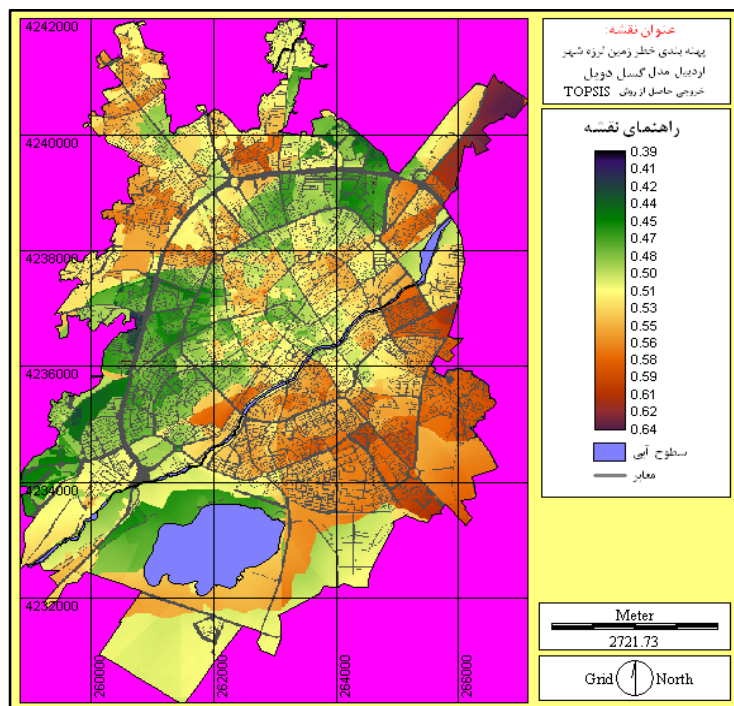
شکل های ۱، ۲، ۳، ۴، ۵ و ۶ نشانگر نقشههای پراکنندگی مرکز زلزلههای محدود هی شهر اردبیل و گسلهای مهم حاشیه آن و نقشههای پهنه بندی میزان آسیب پذیری شهر اردبیل از ناحیه هر یک از گسلهای مورد مطالعه می باشد. به دلیل اینکه در فرایند سازی نقشه معیارهای مورد استفاده، فازی سازی معکوس مد نظر بوده است لذا در خروجی نهایی نیز پیکسل های دارای ارزش عددی نزدیک به یک شرایط نامطلوبی را به جهت آسیب پذیری دارند. در نقشه های تهیه شده ی فوق هر چقدر نمره پیکسل به عدد یک میل میکند، نشان از نامطلوب بودن سر جمع شرایط آن پیکسل از ناحیه معیارهای بیست گانه مورد استفاده به لحاظ میزان آسیب پذیری در برابر خطر زلزله است و بالعکس. برای روشن شدن دقیقتر زوایای آسیب پذیری و همچنین امکان مقایسه ی نتایج به دست آمده از تحلیل سطوح آسیب پذیری شهر اردبیل در اثر فعال شدن گسلهای فوق الذکر، میزان آسیب پذیری هر یک از آنها در شش رتبه آسیب پذیری، از بسیار بسیار کم تا بسیار زیاد تهیه گردید که در قالب جدول دو ارائه شده است.



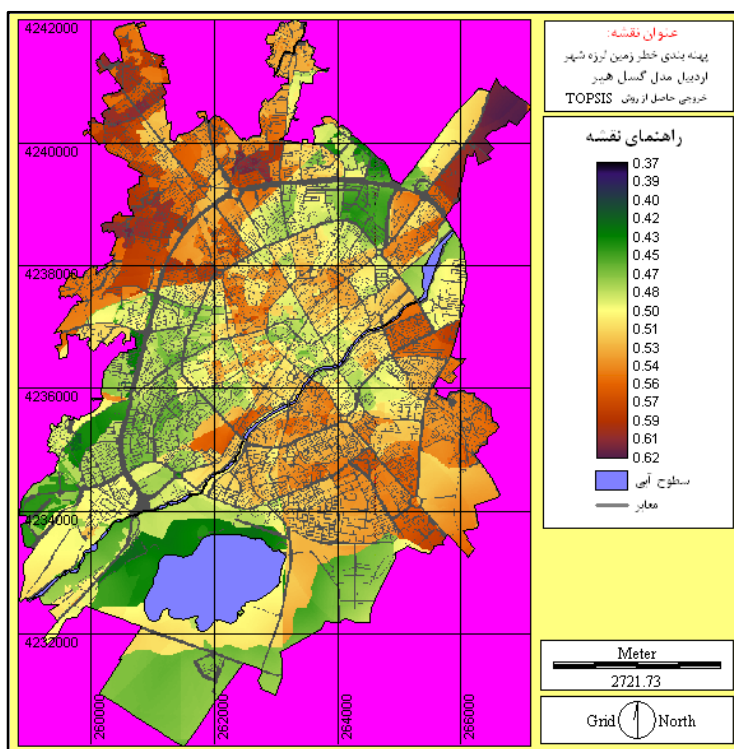
شکل ۱: پراکنده‌گی رو مرکز زلزله های محدوده‌ی شهر اردبیل و گسل های مهم حاشیه‌ی آن



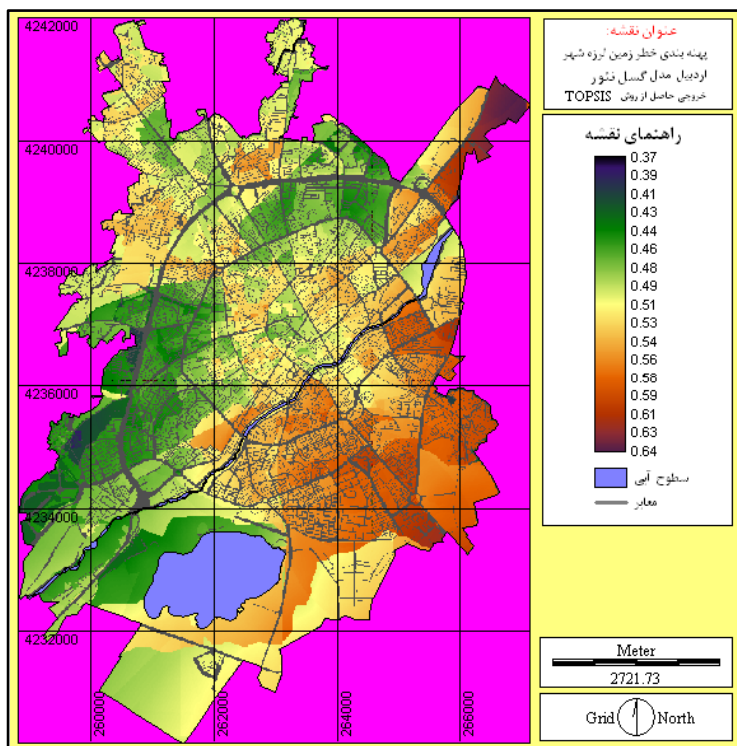
شکل ۲: نقشه پهنه‌بندی میزان آسیب‌پذیری شهر اردبیل در برابر خطر زلزله مدل گسل آستارا بر مبنای خروجی مدل TOPSIS



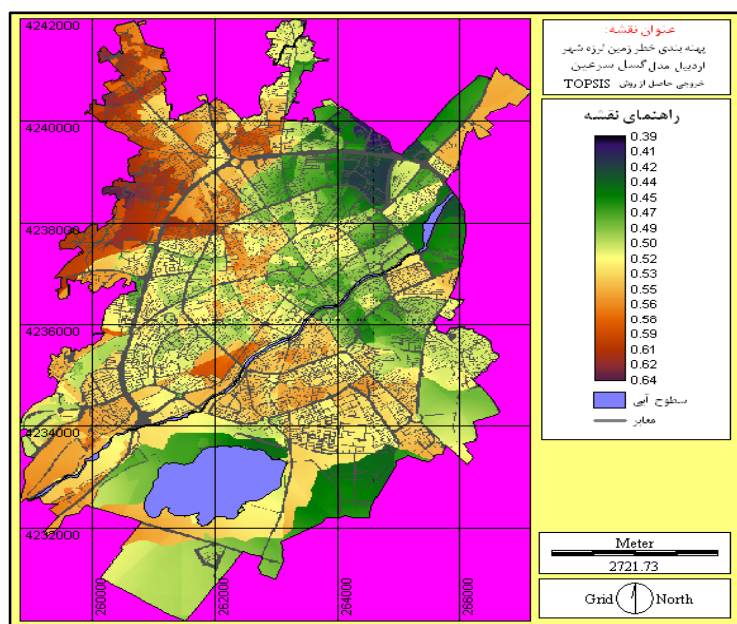
شکل ۳: نقشه پهنه‌بندی میزان آسیب‌پذیری شهر اردبیل در برابر خطر زلزله مدل گسل دوپل بر مبنای خروجی مدل Topsis



شکل ۴: نقشه پهنه بندی میزان آسیب‌پذیری شهر اردبیل در برابر خطر زلزله مدل گسل هیر بر مبنای خروجی مدل Topsis



شکل ۵: نقشه پهنه بندی میزان آسیب پذیری شهر اردبیل در برابر خطر زلزله مدل گسل نئور بر مبنای خروجی مدل TOPSIS



شکل ۶: نقشه پهنه بندی میزان آسیب پذیری شهر اردبیل در برابر خطر زلزله مدل گسل سرعین بر مبنای خروجی مدل TOPSIS

جدول ۲: میزان آسیب پذیری شهر اردبیل در برابر خطر زمین لرزه به تفکیک آسیب زایی هر گسل بر مبنای محاسبات، بر روی خروجی

حاصل از مدل TOPSIS

نام گسل	رتبه آسیب پذیری						میزان آسیب دامنه آسیب حاصل از مدل TOPSIS
	ب. ب کم	ب. ب کم	ب. ب کم	متوسط	زیاد	ب. زیاد	
جمع	۶۵۸۴۱/۰-۴۹۸۱/۰	۸۸۸۴۱/۰-۷۵۳۴۱/۰	۶۷۱۵۱/۰-۳۸۸۴۱/۰	۶۰۶۵۱/۰-۱۶۱۵۱/۰	۸۱۰۶۱/۰-۷۰۶۵۱/۰	۵۸۸۴۱/۰-۳۸۸۴۱/۰	
	۸۱۲۴	۵۶۶۶۵	۵۹۷۴۱	۵۰۵۱۶	۱۶۱۳۳	۳۸۴۶	۱۹۵۰۲۵
آستارا	۴۰۱۷	۲۹۰۶	۳۰۶۳	۲۵۰۹۰	۸۰۲۷	۱۰۹۷	۱۰۰
	۱۸۲	۱۲۷۵	۱۳۴۴	۱۱۳۷	۳۶۳	۸۷	۴۳۸۸
	۵۱۴۴	۴۹۲۹۹	۶۴۸۸۵	۵۴۶۱۶	۱۷۳۱۴	۳۷۷۰	۱۹۵۰۲۸
هیر	۲۰۶۴	۲۵۰۲۸	۳۳۰۲۷	۲۸۰۰۰	۸۰۸۸	۱۰۹۲	۱۰۰
	۱۱۶	۱۱۰۹	۱۴۶۰	۱۲۲۹	۳۹۰	۸۵	۴۳۸۸
	۵۵۶۳	۳۵۶۳۷	۷۸۷۷۳	۵۳۲۴۷	۱۸۳۶۱	۳۵۶۷	۱۹۵۱۴۸
نئور	۲۰۸۵	۱۸۰۲۶	۴۰۳۷	۲۷۰۲۹	۹۰۴۱	۱۰۸۳	۱۰۰
	۱۲۵	۸۰۲	۱۷۷۲	۱۱۹۸	۴۱۳	۸۰	۴۲۹۱
	۴۰۶۶	۲۶۹۰۶	۷۳۲۷۰	۷۶۱۹۷	۱۴۴۲۷	۲۲۰	۱۹۵۰۸۶
سرعین	۲۰۰۸	۱۳۰۷۹	۳۷۰۵۶	۳۹۰۰۶	۷۰۴۰	۰۱۱	۱۰۰
	۹۱	۶۰۵	۱۶۴۹	۱۷۱۴	۳۲۵	۵	۴۳۸۹
	۸۳۶	۲۰۹۸۵	۸۰۶۸۷	۶۴۴۹۲	۲۴۲۷۶	۲۸۴۲	۱۹۵۲۱۸
دویل	۰۰۴۳	۱۰۰۷۵	۴۱۰۳۳	۳۳۰۰۴	۱۲۰۴۹	۱۰۹۷	۱۰۰
	۱۹	۴۷۲	۱۸۱۵	۱۴۵۱	۵۴۸	۸۶	۴۳۹۲

مأخذ: محاسبات نگارندگان

نتیجه

همانطوری که ملاحظه می‌شود اختلاف چندانی در میزان آسیب‌پذیری شهر اردبیل از ناحیه ی گسل‌های مورد بررسی وجود ندارد و این می‌تواند به دلیل تفاوت در فاصله ی گسل‌ها تا شهر باشد. به این ترتیب که اگرچه گسل آستارا بزرگترین گسل در پهنه ی مورد مطالعه است، ولی فاصله ی زیاد آن تا شهر اردبیل باعث شده است تا از میزان قدرت زلزله ایجاد شده توسط این گسل تا رسیدن به شهر کاسته شود. از طرف دیگر شاید گسل سرعین کوتاه ترین گسل بین پنج گسل مورد بررسی باشد، ولی فاصله ی نزدیک آن تا شهر اردبیل موجب شده است تا تحلیل کمتری در قدرت زلزله ایجاد شده توسط آن صورت پذیرد و زلزله با نسبت افت کمتری از آنچه در کانون زلزله در راستای گسل دارد به شهر وارد شود که در نهایت آسیب تقریباً برابر با میزان آسیب وارد شده از ناحیه ی گسل‌های دیگر را باعث خواهد شد. در کل براساس بررسی‌ها سناریوی گسل دویل بیشترین آسیب را برای منطقه به دنبال خواهد داشت و سناریوی گسل سرعین کمترین میزان آسیب را وارد خواهد کرد.

با توجه به جدول دو به طور میانگین ۶۹ هکتار از محدوده شهر در اثر زلزله ایجاد شده از ناحیه گسل های مورد بررسی دارای رتبه آسیب پذیری بسیار زیاد خواهد بود که در این بین آسیب وارده از سناریوی گسل سرعین کمترین میزان و بقیه گسل ها تقریباً در حد برابر می باشد. ۴۰۸ هکتار از مساحت شهر به طور میانگین در محدوده آسیب پذیری زیاد قرار خواهد گرفت که در این حالت میزان آسیب وارده از سناریوی گسل دویل با بیشترین حد

به میزان ۵۴۸ هکتار خواهد بود و در نهایت میانگین آسیب وارده در رتبه های آسیب ۴، ۳، ۲ و ۱ به ترتیب ۱۳۴۶، ۱۶۰۸، ۸۵۲ و ۱۰۷ هکتار خواهد بود. با توجه به نتایج به دست آمده مناطقی که دارای بافت های فرسوده و همین طور تراکم جمعیت و تراکم ساختمانی بالایی هستند و به نوعی اصول مهندسی در ساخت و سازها مورد بی توجهی قرار گرفته، باعث بالا رفتن میزان آسیبها به این نواحی شده است و این در حالی است که در شهرکهای نوساز که تا حدودی به رعایت آیین نامه های ساختمانی در ساخت و سازها ملزم شده اند به همان نسبت آسیب کمتری خواهد دید. پیشنهادهایی که در برآیند مطالعه فوق میتواند راهگشا باشد به ترتیبی که در ذیل میآید ارائه میگردد:

وضعیت آسیب پذیری بالا، در شرایط فعلی در بعضی از محدوده ها، نتیجه عدم توجه کافی به اصول مندرج در آیین نامه های استاندارد، در م سألۀ ساخت و ساز ساختمانها می باشد ، لذا توجه به این مسأله در محدوده های آسیب پذیر، در ساخت و سازهای بعدی باید با جدیت بیشتری صورت پذیرد و از ساخت و سازهای غیر اصولی در این نواحی باید با برخورد شایسته تری جلوگیری گردد.

در نظر گرفتن شهر به مثابه یک سیستم، برخورد سیستماتیک با آن را طلب می کند. از این رو ضروری به نظر می رسد که سازمان های ذیربط، در برخورد با مسائل مربوط به شهر و ایمنی شهری، تعامل و همکاری بیشتری با هم داشته باشد. تا ضمن کاهش دادن موازی کاری ها، بهره وری ها را افزایش دهند. به نوعی تشکیل یک اتاق فکر که به تحلیل و وضعیت موجود شهر در قبل، حین و بعد از وقوع حادثه پرداخته تا ضمن آشکار شدن نقاط ضعف و قوت با تبادل اطلاعات بتواند برنامه ریزی عالمانه، برای مواجهه با آسیب های احتمالی انجام دهند. برآیند این نوع نگرش، بالا بردن ضریب ایمنی برای شهروندان تلقی می شود.

منابع

- ۱ - آشور، حدیثه (۱۳۹۰). بررسی و تحلیل تناسب و جاذبه های شهرک صنعتی امل در مکان گزینی واحدهای صنعتی، پایان نامه کارشناسی ارشد جغرافیای طبیعی. دانشگاه محقق اردبیلی.
- ۲ - افروز، بهنوش (۱۳۹۰). آرایه الگوی مناسب در سطح بندی عملکرد مدیریت شهری در بسترسازی برای توسعه کارآفرینی (مطالعه موردی شهری اردبیل)، پایان نامه کارشناسی ارشد جغرافیای طبیعی. دانشگاه محقق اردبیلی.
- ۳ - برگی، خسرو (۱۳۸۲). اصول مهندسی زلزله، انتشارات دانشگاه تهران. چاپ چهارم. تابستان ۱۳۸۲.
- ۴ - جهانی، علی (۱۳۷۷). قابلیت‌های اطلاعات ماهواره‌های و سیستم اطلاعات جغرافیایی در مطالعات ارزیابی زمین مطالعه موردی حوزه آبریزی طالقان، دانشگاه تربیت مدرس.
- ۵ - خانلری، غلامرضا (۱۳۷۷). زمین شناسی مهندسی، انتشارات دانشگاه ابوعلی سینا. چاپ اول. زمستان ۱۳۷۷.
- ۶ - روستایی، شهرام؛ جباری، ایرج (۱۳۸۶)، ژئومورفولوژی مناطق شهری، تهران: انتشارات سمت.
- ۷ - روستایی، شهرام (۱۳۹۰)، پهنه بندی خطر گسل تبریز برای کاربری های مختلف اراضی شهری، جغرافیا و توسعه . شماره ۲۱. بهار ۱۳۹۰.
- ۸ - سازمان آب منطقه ای آذربایجان شرقی و اردبیل، معاونت مطالعات پایه منابع آب، گزارش حفاری های چاه اکتشافی و پیژومتر مجاور آن در دشت اردبیل، مرداد ۱۳۷۵.
- ۹ - سازمان آب منطقه ای آذربایجان شرقی و اردبیل، معاونت مطالعات پایه منابع آب، گزارش حفاری های چاه اکتشافی و پیژومتر مجاور آن در دشت اردبیل، اردیبهشت ۱۳۸۱.
- ۱۰ - سازمان مسکن و شهرسازی استان اردبیل (۱۳۸۶). طرح جامع و تفصیلی شهر اردبیل.
- ۱۱ - سازمان زمین شناسی کشور، شرح نقشه زمین شناسی چهار گوش اردبیل، مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰.
- ۱۲ - سایت داده های علوم زمین، [www. ngdir.com](http://www.ngdir.com)
- ۱۳ - شرکت سهامی آزمایشگاه فنی و مکانیک خاک استان اردبیل، سلسله مطالعات بهسازی لرزه ای مدارس شهر اردبیل، مطالعات ژئوتکنیک، تیر ۱۳۸۳ - خرداد ۱۳۸۹.
- ۱۴ - شهابی، همین و همکاران (۱۳۹۰). پهنه بندی خطر زمین لرزه با روش تحلیل چند معیاری فضایی، جغرافیا و توسعه . شماره ۲۱. بهار ۱۳۹۰.
- ۱۵ - فرجی، امین؛ قرخلو، مهدی (۱۳۸۹). زلزله و مدیریت بحران شهری (مطالعه موردی: شهر بابل)، فصل نامه علمی - پژوهشی انجمن جغرافیای ایران. دوره جدید. سال هشتم. شماره ۲۵. تابستان ۱۳۸۹.
- ۱۶ - فرج زاده اصل، منوچهر و همکاران (۱۳۹۰)، ارزیابی آسیب پذیری مسکن شهری در برابر زلزله (مطالعه موردی منطقه ۹ شهرداری تهران)، مطالعات و پژوهش های شهری و منطقه ای. سال سوم. شماره نهم. تابستان ۱۳۹۰.
- ۱۷ - قنواتی، عزت الله و همکاران (۱۳۸۸). توانمند سازی مدیریت بحران شهری در جهت کاهش بلایای طبیعی (زلزله) نمونه موردی: شهر خرم آباد، فصل نامه جغرافیای طبیعی. سال اول. شماره ۴. تابستان ۱۳۸۸.
- ۱۸ - لهانگ، اتاکو (۱۳۷۳). تشریح لرزه نگاشت ها، ترجمه سید جلیل الدین فاطمی و احمد عباس نژاد، انتشارات دانشگاه شهید باهنر کرمان.
- ۱۹ - منزوی، مهشید و همکاران (۱۳۸۹). آسیب پذیری بافت های فرسوده بخش مرکزی شهر تهران در برابر زلزله (مطالعه موردی: منطقه ۱۲)، پژوهش های جغرافیای انسانی. شماره ۷۳. پاییز ۱۳۸۹.
- ۲۰ - مالچفسکی، یاچک (۱۳۸۵). سامانه اطلاعات جغرافیایی و تحلیل تصمیم چند معیاری، ترجمه اکبر پرهیزگار و عطا غفاری گیلانده. تهران: انتشارات سمت.

- ۲۱ - معماریان، حسین (۱۳۷۷). زمین شناسی مهندسی و ژئوتکنیک. انتشارات دانشگاه تهران.
- ۲۲ - مصیب زاده، علی؛ پور محمدی، محمدرضا (۱۳۸۷). آسیب پذیری شهرهای ایران در برابر زلزله و نقش مشارکت محله ای در امداد رسانی آنها، جغرافیا و توسعه، شماره ۱۲. پاییز و زمستان ۱۳۸۷.
- ۲۳ - مرکز مطالعات زلزله و زیست محیطی تهران بزرگ و آژانس همکاری های بین المللی ژاپن (جایکا)، ریز پهنه بندی لرزه ای تهران بزرگ، گزارش نهایی ۱۳۸۱
- ۲۴ - وزارت مسکن و شهرسازی، شرکت عمران و بهسازی شهری ایران، طرح بهسازی و نوسازی بافت فرسوده شهر اردبیل، اردیبهشت ۱۳۹۰.
- ۲۵ - نقشه زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ شیت اردبیل، آستارا، خلخال، مشگین شهر، سراب، رضی و گیوی، سازمان زمین شناسی
- 26-Erdik, M. Demircioglu, M. Sesetyan, K. Durukal, E. Siyahi, B(2004). Earthquake hazard in Marmara Region, Turkey, soil Dynamics and Earthquake Engineering24 (2004) 605-631.
- 27-Hannich, Dieter. And all (2006). A GIS-based study of earthquake hazard as a tool for the microzonation of Bucharest, Engineering Geology 87(2006) 13-32.
- 28-Rabee, F. VanMarcke, E (2001)." Seismic vulnerability of Kuwait and other Arabian Gulf countries: information base and research needs ", Soil Dynamics and Earthquake Engineering, Volume 21, Issue 2, February 2001, Pages 181-186
- 29-Tang, A. Wen, A (2009). An intelligent simulation system for earthquake disaster assessment, Computers & Geosciences 35 (2009) 871-879.