

مجله مخاطرات محیطی، سال سوم، شماره چهارم، بهار 93

تاریخ دریافت مقاله: 92/03/29

تاریخ پذیرش نهایی: 92/11/07

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

دکتر فریا اسفندیاری در آباد^۱، دکتر عطا غفاری گیلانده^۲، خداداد لطفی^۳

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 مد نظر 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 گرفت بر اساس نتایج به دست آمده به طور میانگین 69 هکتار از محدوده شهر در اثر زلزله ایجاد شده از ناحیه گسل های مورد بررسی دارای رتبه آسیب پذیری بسیار زیاد، 408 هکتار از مساحت شهر به طور میانگین در محدوده‌ی 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

Fariba_Sfandyary@yahoo.com

Ata_gafari@gmail.com

1- استادیار گروه جغرافیای طبیعی (ژئومورفولوژی)، دانشگاه محقق اردبیلی، ایران

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

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

مقدمه

زلزله پدیده ای است طبیعی که بی توجهی به آن خسارات جبران ناپذیری به دنبال خواهد داشت. وقوع زلزله های شدید بشر را بر آن داشته است که در فکر تدوین یک برنامه 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، 1390: 20)

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. چنانکه بررسی های موجود در زمینه ی گسل و موقعیت جغرافیایی شهرها در کشور، حکایت از آن دارد که: 16/6 درصد از شهرهای ایران روی گسل یا در دامنه آن قرار گرفته اند، 68 درصد در حریم سی کیلومتری گسل واقع شده اند، 9/1 درصد در فاصله 30-50 کیلومتری از گسل ها استقرار یافته اند و 6/3 درصد در فاصله بیش از پنجاه کیلومتری از گسل ها قرار دارد. (مصیب زاده، 1385: 122)

البته نباید گمان برد که اگر شهری سابقه ی لرزه خیزی 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 7/8 ریشتر رو به رو شد. در ضمن شهرهای مانند ساری، قزوین، بابل و شیراز فواصل زیادی از گسل ها داشتند، ولی با وجود این زلزله های شدیدی در آنها روی داده است (برگی، 1382: 159). در محدوده ی مورد مطالعه (شهر اردبیل)، وجود سارندهای زمین شناسی، با مقاومت ناهمگن، استقرار شهر روی یک دشت آبرفتی با مقاومت کمتر نسبت به سنگ بستر ضخیم لایه، احاطه شدن توسط گسل های متعدد و وقوع زلزله های تاریخی و باستانی مخرب فراوان، شرایط آسیب زایی در برابر نیروهای ارتعاشی حاصل از زلزله به وجود آورده است.

از آنجایی که در ارزیابی آسیب پذیری شهر اردبیل در برابر زلزله، عوامل متعددی دخیل هستند و مجموعه ی 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 مدنظر 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. می توان موارد زیر را به عنوان نمونه مطرح کرد:

روستایی (1390) خطر گسل تبریز بر کاربری های مختلف اراضی شهری را پهنه بندی کرده است. شهبابی (1390) خطر زمین لرزه را در استان کردستان با استفاده از روش تحلیل چند معیاره ی فضایی پهنه بندی کرده است. فرج زاده اصل (1390) به ارزیابی آسیب پذیری مسکن شهری در برابر زلزله در منطقه ی 9 شهرداری تهران با استفاده

از مدل *TOPSIS Fuzzy* پرداخته است. فرجی (1389) به پژوهشی در ارتباط با زلزله و مدیریت بحران شهری در شهر بابل پرداخته است. منزوی (1389) به بررسی آسیب پذیری بافت های فرسوده بخش مرکزی شهر تهران (منطقه 12) در برابر زلزله پرداخته است. قنواتی (1388) به مطالعه‌ی توانمند سازی مدیریت بحران شهری در جهت کاهش بلایای طبیعی (زلزله) در شهر خرم آباد پرداخته است.

تانگ و ون (2009) با استفاده از هوش مصنوعی و GIS خطر زلزله را در شهر دیانگ چین مورد ارزیابی قرار داده اند. هانیچ و همکاران (2006) در تحقیق خود به ریز پهنه بندی خطر زلزله را در شهر بخارست رومانی با استفاده از GIS پرداخته اند. اردیک و همکاران (2004) در تحقیق خود خطر زلزله در ناحیه مرمره ترکیه بررسی کرده اند. رای (2001) 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 مهم ترین 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 می شوند 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 می شوند (جدول 1). اطلاعات مذکور بر پایه‌ی 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: 1- نرم افزارهای Arc GIS، Arc، 3.3 View، IDRISI Kilimanjaro و Grapher 4، در فازهای مربوط به ورود، ذخیره و مدیریت، پردازش و تحلیل داده‌ها؛ 2- نرم افزار Excel 2007، برای انجام محاسبات کمی.

جدول (1): ماتریس معیارهای مورد استفاده در ارزیابی آسیب پذیری ناشی از زلزله

نوع مصالح	کیفیت ابنیه	تراکم جمعیت	تعداد طبقات	تراکم ساختمان	بعد خانوار	ف. بیمارستان	ف. شیر آتش	ف. پست هوایی برق	ف. پمپ بنزین	کاربری اراضی	ف. ایستگاه آتش	معیار	حداکثر شتاب زلزله	ف. گسل	حداکثر توان لرزه	سازندهای سطحی	عمق سطح ایستایی	مدت تناوم زلزله	سرعت امواج برشی
پیکسل 1	X 11	X 1 2	X 1 3	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	X 1 n
پیکسل 2	X 2 1	X 2 2	X 2 3	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	X 2 n
.
پیکسل m	X m 1	X m 2	X m 3	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	X m n

ماخذ: جمع بندی از بررسی‌های اسنادی و کتابخانه ای نگارندگان.

روش‌ها:

در این مقاله، مرحله‌ی مربوط به ارزشگذاری و استانداردسازی به صورت توام و بر مبنای ارزش عضویت در مجموعه‌ی فازی در نظر گرفته شده است. ارزش عضویت یا درجه‌ی تعلق در یک مجموعه‌ی فازی را می‌توان با شماره‌ای که دامنه‌ی آن بین مقادیری چون 0 تا 1 یا 0 تا 255 قرار دارد، تعیین کرد (آشور، 1390: 154). در دامنه‌ی بین 0 و 1، اگر $\mu_A(x) = 1$ باشد، در این صورت عنصر x به صورت کامل به دامنه‌ی A تعلق دارد. به همین ترتیب اگر $\mu_A(x) = 0$ باشد، در این صورت عنصر x مشخصاً به دامنه‌ی A تعلق ندارد. درجه بالای ارزش عضویت یک عنصر به معنای نسبت بالای تعلق آن به مجموعه می‌باشد (افروز، 1390: 108). 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 نقشه‌های 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 قاعده‌ی تصمیم‌گیری چندمعیاری در اولویت بندی گزینه‌های مکانی به عنوان دو محور اصلی در

فرایند بررسی متدولوژی تحقیق مورد توجه قرار گرفتند. تکنیک مرتب سازی اولویت گزینه ها بر مبنای میزان مشابهت به راه حل ایده آل¹ (TOPSIS)، یکی از متداول ترین روش ها در تعیین میزان انفکاک از موقعیت ایده آل محسوب می شود. بر اساس این تکنیک، بهترین گزینه، گزینه ای است که به طور همزمان، نزدیک ترین واحد به نقطه ای ایده آل و دورترین واحد از نقطه ای متصف به شرایط نامطلوب باشد. از امتیازات مهم این روش آن است که به طور همزمان می توان از شاخص ها 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، می باید آنها را به مقادیر کمی تبدیل نمود. اگر چه روش TOPSIS را می توان هم در محیط رستری و هم در محیط برداری مربوط به GIS به کار برد، اما این تکنیک به طور ویژه ای مناسب با ساختار داده های رستری است. (مالچفسکی، 1385: 374-375):

مرحله اول؛ تشکیل ماتریس داده ها (رابطه 1) بر اساس n آلترناتیو و m شاخص، که در آن x_{ij} معرف نمره خام پیکسل ام در معیار jام است.

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

مرحله دوم؛ در این مرحله با استانداردسازی داده ها، دامنه ای مقادیر (x_{ij}) را که در واحدهای اندازه گیری متفاوت (همچون واحد اندازه گیری رتبه ای، درصدی و متریک) وجود دارند به یک دامنه ای استاندارد، تبدیل و مقادیر استاندارد شده داده ها (v_{ij}) را به دست می آوریم. در چنین روندی لایه های نقشه ای استاندارد که قابل مقایسه و قابل ترکیب با هم هستند به دست می آید (رابطه 2).

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

مرحله سوم؛ وزن های (w_j) مربوط به هر صفت تعیین می شود؛ مجموع وزن ها باید به گونه ای باشد که ≤ 1 و $0 \leq w_j$ به دست آید.

مرحله چهارم؛ با ضرب هر ارزش از لایه صفت استاندارد شده v_{ij} در وزن متناظر بر آن (w_j) ، لایه های نقشه استاندارد شده وزنی ایجاد می شود؛ هر سلول از لایه ها، حاوی ارزش استاندارد شده وزنی v_{ij} می باشند.

مرحله پنجم؛ ارزش حداکثر (v_{+j}) در هر یک از لایه های نقشه استاندارد شده وزنی، تعیین می شود (ارزش ها تعیین کننده ای نقطه ای ایده آل هستند)؛ یعنی $v_{+j} = (v_{max1}, v_{max2}, \dots, v_{maxm})$.

مرحله‌ی ششم: در این مرحله ارزش حداقل (v_{-j}) را برای هر لایه نقشه استاندارد شده وزنی، تعیین می‌شود (ارزش‌ها تعیین کننده نقطه حوضی هستند) به صورتی که $v_{-j} = (v_{min1}, v_{min2}, \dots, v_{minn})$.
 مرحله‌ی هفتم: با استفاده از یک اندازه انفکاک، فاصله بین نقطه‌ی ایده‌آل و هر گزینه محاسبه می‌شود؛ یک انفکاک را می‌توان با استفاده از متریک فاصله اقلیدسی محاسبه کرد (رابطه 3).

$$s_{i+} = \sqrt{\sum_j (v_{ij} - v_{+j})^2} \quad \text{رابطه (3)}$$

مرحله‌ی هشتم: با استفاده از همان اندازه انفکاک فاصله بین هر گزینه و نقطه‌ی حوضی محاسبه می‌شود (رابطه 4)؛

$$s_{i-} = \sqrt{\sum_j (v_{ij} - v_{-j})^2} \quad \text{رابطه (4)}$$

مرحله‌ی نهم: با استفاده از رابطه (5) نزدیکی نسبی به نقطه‌ی ایده‌آل (c_{i+}) محاسبه می‌شود؛ به طوری که $1 \geq c_{i+} \geq 0$ می‌باشد. بر این اساس هر اندازه یک گزینه به نقطه‌ی ایده‌آل نزدیک‌تر باشد c_{i+} به سمت 1 میل می‌کند (رابطه 5).

$$c_{i+} = \frac{s_{i-}}{s_{i+} + s_{i-}} \quad \text{رابطه (5)}$$

مرحله‌ی دهم: در این مرحله گزینه‌ها بر حسب یک ترتیب نزولی از c_{i+} رتبه بندی می‌شود؛ گزینه‌ای که با بالاترین ارزش از c_{i+} 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 دامنه‌هایی همچون 0 تا 1 و 0 تا 255 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 فرآیند همپوشی را بر روی آنها به انجام رسانید. در این مقاله، فرآیند عملیاتی ارزشگذاری و استاندارد سازی 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 زلزله‌های تکتونیکی، طول گسل از مشخصه‌های اصلی یک زلزله به شمار می‌رود 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 ذخیره‌سازی انرژی مورد نظر نقش نخواهد داشت. در این رابطه به‌طور متوسط فرض می‌شود نصف طول یک گسل در روابط ملحوظ گردد (برگی، 1382: 146).

سازندهای سطحی:

براساس تجربیات حاصله از زلزله‌های که تاکنون در اکثر نقاط دنیا رخ داده‌اند و با بررسی علل اساسی و مؤثر در تخریب ساختمان‌ها بر اثر وقوع زلزله، بیشتر متخصصان بر این اعتقاد هستند که خسارت‌های وارده بر ساختمان‌ها به طور قابل ملاحظه‌ای بستگی به ساخت زمین محل سازه دارد (خانلری، 1377: 298-299). 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، 1386: 107-108).

سرعت امواج عرضی (Vs):

سرعت امواج زلزله بستگی به جرم مخصوص و خاصیت روان شدن سنگ‌هایی دارد که از آنها عبور می‌کنند. سرعت امواج زلزله در سنگ‌های متراکم و صلب، زیاد و در سنگ‌های سبک‌تر و نرم‌تر، کم می‌باشد (لهانگ، 1373: 24).

عمق سطح ایستابی:

وجود آب در خاک روی خواص مهندسی خاک‌ها تأثیر بسزایی دارد. لذا با توجه به وجود آب در خاک، چنانچه در هنگام وقوع زلزله، خاک تحت تنش قرار گیرد، فقط اجزاء و دانه‌های 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 می‌نماید (خانلری، 1377: 224).

نوع مصالح:

معیار نوع مصالح سازه‌ها یکی از معیارهای مهم و مؤثر در تعیین ضریب آسیب پذیری شهرها در برابر زلزله محسوب می‌شود. در مورد نوع مصالح به‌کار رفته در سازه‌ها، قاعدتاً سازه‌هایی که با مصالح دارای مقاومت و استاندارد بالا ساخته شده‌اند ایمنی مناسبی در برابر زلزله داشته و امنیت بالایی برای ساکنین فراهم می‌کنند.

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. قابل ذکر است که قدمت یک سازه الزاماً رابطه مستقیمی با کیفیت ندارد، اما در بیشتر موارد ساختمان‌های 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 می‌گردد.

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 کننده ی 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 ویژگی های، پارامترهای موثر در امر آسیب پذیری ناشی از زلزله، نشان می دهد که غالب عوامل مؤثر در تعیین پهنه های آسیب پذیر، از اهمیت یکسانی برخوردار نمی باشند. لذا برای ارزیابی دقیق تر، لازم است تا اهمیت نسبی هر کدام از عوامل مشخص گردیده و براساس آن ضرایب ویژه ای به عنوان وزن در تجزیه و تحلیل اطلاعات اعمال شود. تاکنون روش های متعددی در تعیین وزن استفاده شده است که روش های مقایسه زوجی¹ و CRITIC² از جمله آنها می باشند. با پیش فرض هایی 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 آسیب پذیری از ناحیه هر کدام از گسل ها به گونه ای 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 می گیرند (جهانی، 1376: 71).

با تأمل در کاربرد و فلسفه ی به کارگیری این روش می توان گفت که مفروضات ذیل در تعیین وزن هر معیار، دخیل هستند

اگر پهنه های مختلف در یک محدوده جغرافیایی به لحاظ یک معیار وضعیت مشابهی داشته باشند، آن معیار عاملی تعیین کننده در کلاس بندی و اولویت بندی پهنه ها، تلقی نمی شود 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

۱ - Pair - wise Comparison

۲ - Criteria Importance Through Intercriteria Correlation

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 پشته‌های دایره بازتر از میزان اطلاعات، می‌تواند نقشی تعیین کننده‌تر در تمیز گزینه‌های 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 دوپل	گسل سرعین
نوع مصالح	۰/۰۶۴	۰/۰۴۷	۰/۰۶۳	۰/۰۶۵	۰/۰۶۵
کیفیت آئینه	۰/۰۵۸	۰/۰۶۱	۰/۰۵۸	۰/۰۵۸	۰/۰۵۹
تراکم جمعیت	۰/۰۶۲	۰/۰۶۵	۰/۰۶۲	۰/۰۶۲	۰/۰۵۹
بعد خلوار	۰/۰۶۳	۰/۰۶۳	۰/۰۶۰	۰/۰۵۹	۰/۰۶۰
فدایستگاه آتش نشانی	۰/۰۴۷	۰/۰۴۵	۰/۰۴۳	۰/۰۴۲	۰/۰۴۲
فد.بیمارستان	۰/۰۴۹	۰/۰۴۷	۰/۰۴۵	۰/۰۴۵	۰/۰۴۷
فد.شیرهای آتش نشانی	۰/۰۴۳	۰/۰۴۶	۰/۰۴۳	۰/۰۴۳	۰/۰۴۰
کاربری اراضی	۰/۰۳۷	۰/۰۳۷	۰/۰۲۵	۰/۰۲۵	۰/۰۲۵
معیار	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
فد.پمپ بنزین	۰/۰۵۲	۰/۰۵۷	۰/۰۵۴	۰/۰۵۶	۰/۰۵۸
فد.پست های هوایی برق	۰/۰۳۴	۰/۰۳۵	۰/۰۳۳	۰/۰۳۴	۰/۰۳۵
سازندهای 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 یستایی	۰/۰۲۹	۰/۰۲۸	۰/۰۲۷	۰/۰۲۷	۰/۰۲۸
فاصله از گسل	۰/۰۶۴	۰/۰۵۸	۰/۰۵۵	۰/۰۵۲	۰/۰۴۷
نوع نرزه زایی گسل	۰/۰۲۲	۰/۰۳۷	۰/۰۵۳	۰/۰۵۵	۰/۰۵۲
حداکثر شتاب زلزله	۰/۰۵۹	۰/۰۳۹	۰/۰۵۶	۰/۰۵۷	۰/۰۵۲
مدت تداوم زلزله	۰/۰۴۲	۰/۰۴۲	۰/۰۵۴	۰/۰۵۳	۰/۰۵۷

مأخذ: محاسبات نگارندگان

یافته های تحقیق

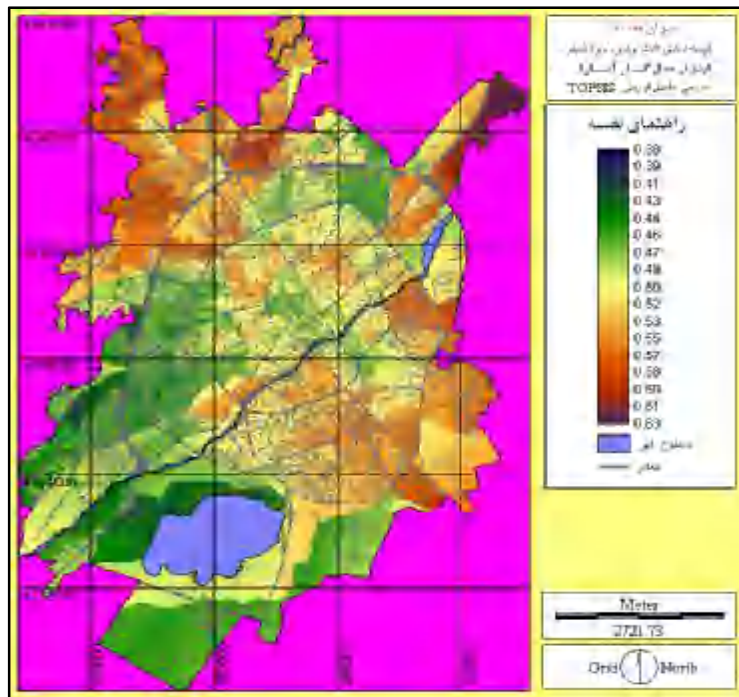
خروجی حاصل از به کار گیری مدل TOPSIS:

در برآیند عملیاتی‌سازی مراحل و دستورالعمل‌های مطرح در فرایند بکارگیری مدل TOPSIS، نقشه‌های پهنه‌بندی میزان آسیب‌پذیری شهر اردبیل در برابر زلزله به دست آمد که امتیاز آنها در دامنه‌ی 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 0-1 و به ترتیب در رابطه با گسل های آستارا، دوپل، هیر، نئور و سرعین تهیه شده اند.

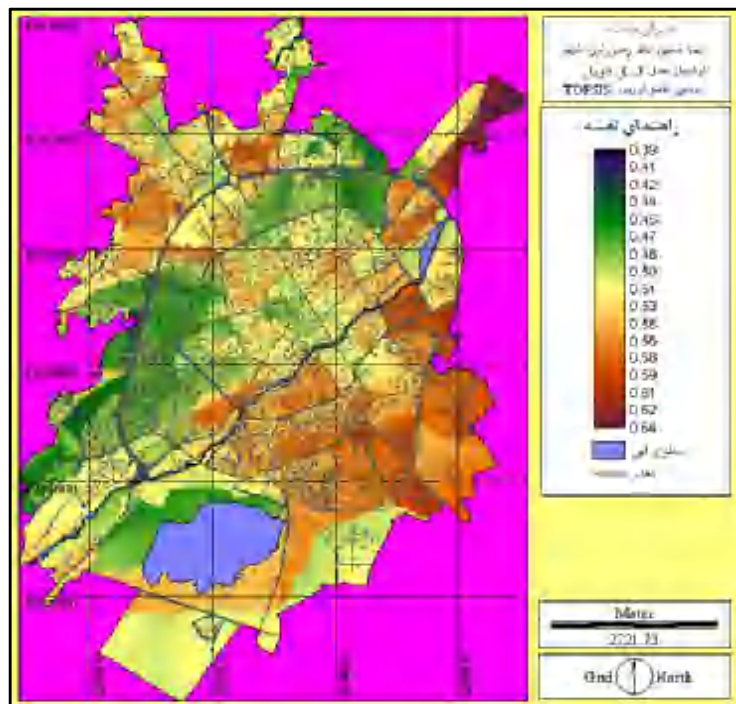
شکل های 1، 2، 3، 4، 5 و 6 نشانگر نقشه‌های پراکندگی مرکز زلزله‌های محدوده‌ی شهر اردبیل و گسل‌های مهم حاشیه‌ی آن و نقشه‌های پهنه‌بندی میزان آسیب‌پذیری شهر اردبیل از ناحیه هر یک از گسل‌های مورد مطالعه می‌باشد. به دلیل اینکه در فرایند فازی سازی نقشه معیارهای مورد استفاده، فازی سازی معکوس مد نظر بوده است لذا در خروجی نهایی نیز پیکسل‌های دارای ارزش عددی نزدیک به یک شرایط نامطلوبی را به جهت آسیب‌پذیری دارند. در نقشه‌های تهیه شده‌ی فوق هر چقدر نمره پیکسل به عدد یک میل می‌کند، نشان از نامطلوب بودن سر جمع شرایط آن پیکسل از ناحیه معیارهای بیست‌گانه مورد استفاده به لحاظ میزان آسیب‌پذیری در برابر خطر زلزله است و بالعکس. برای روشن‌شدن دقیق‌تر زوایای آسیب‌پذیری و همچنین امکان مقایسه‌ی نتایج به دست آمده از تحلیل سطوح آسیب‌پذیری شهر اردبیل در اثر فعال شدن گسل‌های فوق‌الذکر، میزان آسیب‌زایی هر یک از آنها در شش رتبه آسیب‌پذیری، از بسیار بسیار کم تا بسیار زیاد تهیه گردید که در قالب جدول دو ارائه شده است.



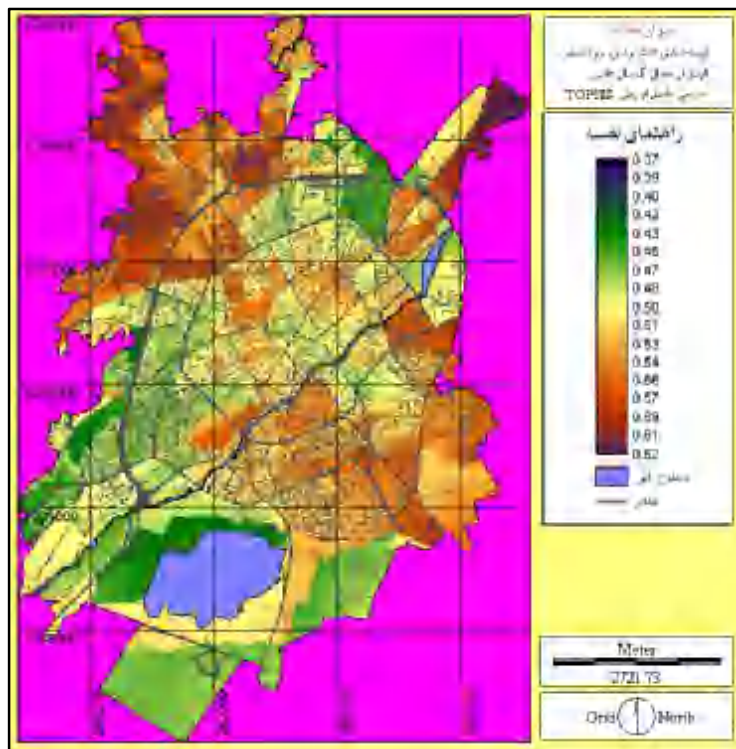
شکل 1: پراکندگی رو مرکز زلزله‌های محدوده‌ی شهر اردبیل و گسل‌های مهم حاشیه‌ی آن



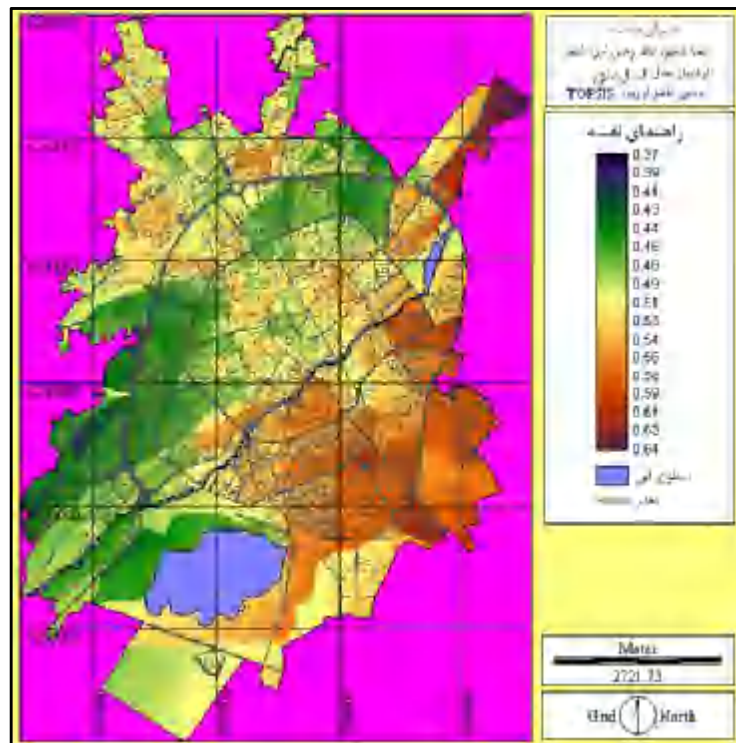
شکل 2: نقشه پهنه بندی میزان آسیب پذیری شهر اردبیل در برابر خطر زلزله مدل گسل آستارا بر مبنای خروجی مدل TOPSIS



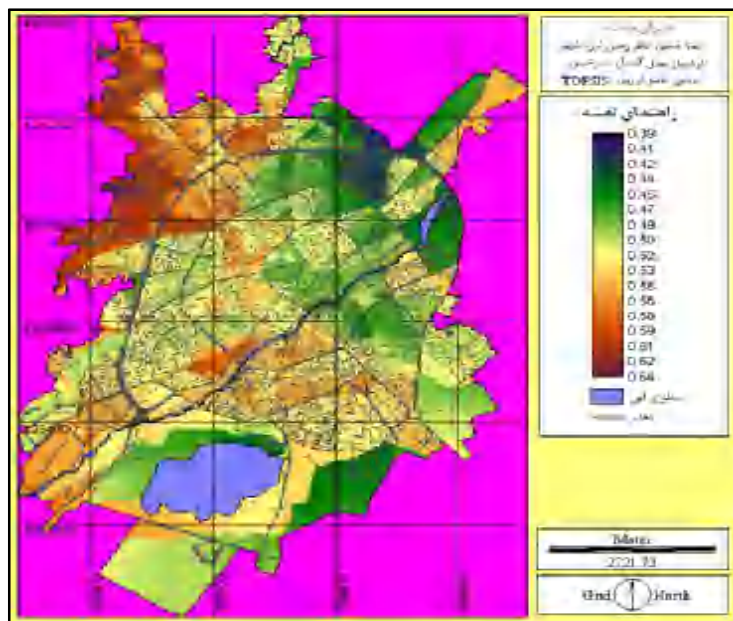
شکل 3: نقشه پهنه بندی میزان آسیب پذیری شهر اردبیل در برابر خطر زلزله مدل گسل دوایل بر مبنای خروجی مدل TOPSIS



شکل 4: نقشه پهنه بندی میزان آسیب پذیری شهر اردبیل در برابر خطر زلزله مدل گسل هیبر بر مبنای خروجی مدل TOPSIS



شکل 5: نقشه پهنه بندی میزان آسیب پذیری شهر اردبیل در برابر خطر زلزله مدل گسل نئور بر مبنای خروجی مدل TOPSIS



شکل 6: نقشه پهنه بندی میزان آسیب پذیری شهر اردبیل در برابر خطر زلزله مدل گسل سریع بر مبنای خروجی مدل Topsis

جدول (2): 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
	6	5	4	3	2	1	
جمع	ب. زیاد	زیاد	متوسط	کم	ب. کم	ب. کم	نسبت حاصل از مدل Topsis
	0/6023-0/6439	0/5607-0/6022	0/5190-0/5606	0/4773-0/5189	0/4357-0/4772	0/3940-0/4356	
195025	3846	16133	50516	59741	56665	8124	فراوانی
100	1.97	8.27	25.90	30.63	29.06	4.17	درصد به کل
4388	87	363	1137	1344	1275	183	مساحت به هکتار
195028	3770	17314	54616	64885	49299	5144	فراوانی
100	1.93	8.88	28.00	33.27	25.28	2.64	درصد به کل
4388	85	390	1229	1460	1109	116	مساحت به هکتار
195148	3567	18361	53247	78773	35637	5563	فراوانی
100	1.83	9.41	27.29	40.37	18.26	2.85	درصد به کل
4391	80	413	1198	1772	802	125	مساحت به هکتار
195086	220	14427	76197	73270	26906	4066	فراوانی
100	0.11	7.40	39.06	37.56	13.79	2.08	درصد به کل
4389	5	325	1714	1649	605	91	مساحت به هکتار
195218	3842	24376	64492	80687	20985	836	فراوانی
100	1.97	12.49	33.04	41.33	10.75	0.43	درصد به کل
4392	86	548	1451	1815	472	19	مساحت به هکتار

مأخذ: محاسبات نگارندگان

نتیجه گیری و پیشنهاد

همان طوری که ملاحظه می شود اختلاف چندانی در میزان آسیب پذیری شهر اردبیل از ناحیه های گسل های مورد بررسی وجود ندارد و این می تواند به دلیل تفاوت در فاصله های گسل ها تا شهر باشد. به این ترتیب که اگرچه گسل آستارا بزرگ ترین 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 گسل های دیگر را باعث خواهد شد. در کل براساس بررسی ها سناریوی گسل دوپل 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 69 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. 408 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 دوپل با بیشترین حد به میزان 548 هکتار خواهد بود و در نهایت میانگین آسیب وارده در رتبه های آسیب 4، 3، 2 و 1 به ترتیب 1346، 1608، 852 و 107 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 آسیب ها به این نواحی شده است و این در حالی است که در شهرک های 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 می تواند راهگشا باشد به ترتیبی که در ذیل می آید ارائه می گردد:

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 مسأله ساخت و ساز ساختمان ها می باشد، لذا توجه به این مسایل 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

1. آشور، حدیثه (1390)، بررسی و تحلیل تناسب و جاذبه های شهرک صنعتی امل در مکان گزینی واحدهای صنعتی، پایان نامه کارشناسی ارشد جغرافیای طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی.
2. افروز، بهنوش (1390)، 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
3. برگی، خسرو (1382)، اصول مهندسی زلزله، انتشارات دانشگاه تهران، چاپ چهارم، تابستان 1382
4. جهانی، علی (1377)، قابلیت های اطلاعات ماهواره ای و سیستم اطلاعات جغرافیایی در مطالعات ارزیابی زمین مطالعه موردی حوزه آبریزی طالقان، دانشگاه تربیت مدرس
5. خانلری، غلامرضا (1377)، زمین شناسی مهندسی، انتشارات دانشگاه ابوعلی سینا، چاپ اول، زمستان 1377
6. روستایی، شهرام، جباری، ایرج (1386)، ژئومورفولوژی مناطق شهری، تهران: انتشارات سمت
7. روستایی، شهرام (1390)، پهنه بندی خطر گسل تبریز برای کاربری های مختلف اراضی شهری، جغرافیا و توسعه، شماره 21، بهار 1390
8. 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 1375
9. 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 1381
10. سازمان مسکن و شهرسازی استان اردبیل (1386)، طرح جامع و تفصیلی شهر اردبیل
11. سازمان زمین شناسی کشور، شرح نقشه زمین شناسی چهار گوش اردبیل، مقیاس 1:250000
12. سایت داده های علوم زمین، www.ngdir.com
13. شرکت سهامی آزمایشگاه فنی و مکانیک خاک استان اردبیل، سلسله مطالعات بهسازی لرزه ای مدارس شهر اردبیل، مطالعات ژئوتکنیک، تیر 1383 – خرداد 1389
14. شهابی، همین و همکاران (1390)، پهنه بندی خطر زمین لرزه با روش تحلیل چند معیاری فضایی، جغرافیا و توسعه، شماره 21، بهار 1390
15. فرجی، امین. قرخلو، مهدی (1389)، زلزله و مدیریت بحران شهری (مطالعه موردی: شهر بابل)، فصل نامه علمی - پژوهشی انجمن جغرافیای ایران، دوره جدید، سال هشتم، شماره 25، تابستان 1389.
16. فرج زاده اصل، منوچهر و همکاران (1390)، ارزیابی آسیب پذیری مسکن شهری در برابر زلزله (مطالعه موردی منطقه 9 شهرداری تهران)، مطالعات و پژوهش های شهری و منطقه ای، سال سوم، شماره نهم، تابستان 1390
17. قنواتی، عزت الله و همکاران (1388)، توانمند سازی مدیریت بحران شهری در جهت کاهش بلایای طبیعی (زلزله) نمونه موردی: شهر خرم آباد، فصل نامه جغرافیای طبیعی، سال اول، شماره 4، تابستان 1388.
18. لهانگ، اتاکو (1373)، تشریح لرزه نگاشت ها، ترجمه سید جلیل الدین فاطمی و احمد عباس نژاد، انتشارات دانشگاه شهید باهنر کرمان
19. منزوی، مهشید و همکاران (1389)، آسیب پذیری بافت های فرسوده بخش مرکزی شهر تهران در برابر زلزله (مطالعه موردی: منطقه 12)، پژوهش های جغرافیای انسانی، شماره 73، پاییز 1389.
20. مالچفسکی، یاجک (1385)، سامانه اطلاعات جغرافیایی و تحلیل تصمیم چند معیاری، ترجمه اکبر پرهیزگار و عطا غفاری گیلانده، تهران، انتشارات سمت

21. معماریان، حسین (1377)، زمین شناسی مهندسی و ژئوتکنیک، انتشارات دانشگاه تهران.
22. مصیب زاده، علی. پور محمدی، محمدرضا (1387)، آسیب پذیری شهرهای ایران در برابر زلزله و نقش مشارکت محله ای در امداد رسانی آنها، جغرافیا و توسعه، شماره 12، پاییز و زمستان 1387
23. 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 1381
24. وزارت مسکن و شهرسازی، شرکت عمران و بهسازی شهری ایران، طرح بهسازی و نوسازی بافت فرسوده شهر اردبیل، اردیبهشت 1390
25. نقشه زمین شناسی 1:100000 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 Engineering 24 (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.