

کاربرد روش ترکیب خطی وزن دار در ارزیابی میزان آسیب پذیری خطر زلزله در شهر خوی

حسن محمودزاده^۱، هادی حکیمی^۲

چکیده

از خصوصیات بارز زلزله قدرت تخریب بالا و کشتار بیرحمانه در زمان اندک است. مجاورت گسل شهر خوی با محدوده شهر خوی، افزایش تعداد محلات و مناطق پرتراکم در اطراف گسل مذکور، افزایش بارگذاری‌های محیطی و اقتصادی، پیچیدگی و ازدیاد فاکتورهای موثر در پهنه‌بندی میزان خطر زلزله و نقش مکانی آنها در تشدید اثر آن، لزوم به کارگیری روش‌های چند متغیره تصمیم‌ساز جهت تعیین درجه آسیب‌پذیری را ضروری می‌سازد. هدف عمده مقاله حاضر تعیین وضعیت آسیب‌پذیری در شهر خوی به روش ترکیب خطی وزن‌دار فازی می‌باشد. بدین منظور از روش‌های ارزیابی چند-معیاره مبتنی بر ترکیب خطی وزن‌دار فازی برای تولید، تجزیه و تحلیل نقشه‌ها و لایه‌های مختلف کاربری‌ها استفاده شده است. طی این فرآیند ابتدا شاخص‌های طبیعی و انسانی مورد نیاز و تاثیرگذار در قالب ۱۵ شاخص شناسایی، تهیه و مورد استفاده قرار گرفته‌اند و در نهایت نقشه تلفیقی میزان آسیب‌پذیری شهر خوی به ازای کاربری اراضی تولید شده است. بر-اساس خروجی مدل نهایی، از کل مساحت ۴۷۰۸/۳۰ هکتاری منطقه دو حدود ۲۰۷۵/۴ هکتار در مناطق با آسیب‌پذیری خیلی کم تا کم در قسمتهای جنوبی، ۱۶۸۰/۶۷ هکتار در مناطق با آسیب‌پذیری متوسط در قسمت‌های مرکزی و ۹۵۲/۲۳ هکتار با آسیب‌پذیری زیاد تا خیلی زیاد در قسمتهای شمالی و شمال‌غربی قرار گرفته است. همپوشانی نقشه کاربری اراضی با نقشه پهنه‌بندی خطر، ۲۸۸ هکتار از کاربری مسکونی را در این کلاس خطر مشخص می‌نماید. بنابراین برنامه‌ریزی برای مکانیابی اماکن اسکان موقت، مقاوم‌سازی ساخت و سازها در طول زمان و اصلاح موقعیت استقرار کاربری‌های حساس نسبت به سایر کاربری‌ها براساس نقشه نهایی تحقیق بایستی انجام شود.

واژه‌های کلیدی: ارزیابی، پهنه‌بندی، آسیب‌پذیری، زلزله، مدل ترکیب خطی وزن‌دار، شهر خوی.

مقدمه

در طول تکوین تمدن‌های بشری، انسان همواره با انواع بلایای طبیعی دست به گریبان بوده است و در بسیاری مواقع خسارت‌های جبران ناپذیری ناشی از این بلایا بر جوامع بشری وارد شده است که ایران با ۱۲۰ هزار نفر تلفات انسانی در زمره این کشورهاست، همچنین در سال‌های ۱۹۸۰ تا ۲۰۰۵ کشور ایران بیشترین تعداد زلزله را تجربه کرده است، حدود ۶۰۰۰ زلزله میان سال‌های ۶۰۰ تا ۱۹۷۶ میلادی در ایران به ثبت رسیده است (کرمی، ۱۳۹۱: ۲).

وجود زمین‌های لرزه‌خیزی در بطن و حاشیه شهرها و همگام با عوامل انسانی متعدد نظیر جمعیت شهری، افزایش مسکن کم‌دوام شهری، شهرسازی نامناسب با بحران زلزله، همگی قابلیت لرزه‌پذیری شهرها را افزایش داده است، تا جایی که ۹۰ درصد شهرهای کشور در برابر زلزله ۵/۵ ریشتری آسیب‌پذیر گشته‌اند (پورمحمدی و مصیب‌زاده، ۱۳۸۷: ۱۱۸). از طرفی هم مناطق شهری به دلیل تمرکز و گسترش روزافزون و بی‌رویه جمعیت و مجاورت اکثر مراکز تجاری و صنعتی، این ویژگی را دارد که محتمل خسارات سنگینی شوند (سیاح‌افضلی و صحفی، ۱۳۸۹: ۴۴). در میان هم ویژگی‌های کالبدی مناطق جامعه را به زلزله آسیب‌پذیرتر می‌کند (رحمان^۱ و همکاران، ۲۰۱۵: ۲۹۱). گسترش شهر و شهرنشینی و افزایش تعداد محلات و مناطق پرتراکم در محدوده شهر خوی از یک طرف و تمرکز و تجمع جمعیت و افزایش بارگذاری‌های محیطی و اقتصادی بر بستر آن از طرف دیگر لزوم پهنه‌بندی میزان خطر زلزله را برای ارزیابی خسارت احتمالی ضروری می‌سازد. این پژوهش به بررسی ارزیابی خطر زلزله در شهر خوی با استفاده از مدل ترکیب خطی وزنی می‌پردازد. ضرورت‌های طرح موضوع این پژوهش عبارت است از: قرارگیری شهر خوی در مجاورت خط گسل از طرف جنوب، روند ساخت و سازهای بی‌رویه با تراکم‌های بالا، عدم توجه کافی به مسائل طبیعی و زمین‌ساختی منطقه، محدود کردن مقاوم‌سازی در حد اجرای ناقص آیین‌نامه ۲۸۰۰

^۱ - Rahman

کیفیت ساختمان، ساخت و سازهای اشتباه در ارتباط با فرم و شکل شهر و مکانیابی گسترش شهر در قسمتهای جنوبی، عدم توجه به مکانیابی صحیح کاربری‌ها و محدودیت‌های طبیعی منطقه مورد مطالعه، مجاورت شهر خوی روی مسیر اصلی گسل و عمل کردن زلزله در مقیاس گسترده و بدون حد و مرز اثرات خسارات این پدیده طبیعی را با همراهی عوامل فوق الذکر که عمدتاً محصول کارکردهای انسانی هستند را افزایش می‌دهد.

پیشینه تحقیق

در سال‌های اخیر استفاده از روشهای چند متغیره در بررسی آسیب پذیری مناطق شهری بسیار مورد توجه بوده است که به تعدادی از آنها اشاره می‌شود: با بررسی معیارها و روش‌های مورد استفاده در تحقیقات داخلی و خارجی می‌توان دریافت که بیشتر این تحقیقات از مدل‌های همپوشانی، وزن دهی و تحلیل سلسله مراتبی و فازی بهره گرفته‌اند، وجه تمایز این مقاله استفاده از مدل چند متغیره ترکیب خطی وزن‌دار و پهنه‌بندی توزیع خطر نسبت به پراکنش کاربری‌ها در فرایند پهنه‌بندی خطر زلزله در محدوده شهر خوی می‌باشد (جدول ۱).

ردیف	نام محقق و سال	روش مورد استفاده و متغیرها	نتیجه
۱	کرم (۱۳۸۴)	رویکرد ارزیابی چند معیاری (MCDM) - پنج معیار شیب، جنس و قابلیت زمین، فاصله با شهر و فاصله با راه‌های اصلی	تحلیل تناسب زمین برای توسعه کالبدی در محور شمال غرب شیراز (کرم، ۱۳۸۴: ۵۴).
۲	غزال عبداللهی و همکاران (۱۳۹۱)	فرایند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) و GIS، ۸ معیار طبیعی و انسانی	پهنه بندی شهر تهران به منظور استقرار پهنه بیمارستان‌ها در شرایط عادی و بحران (زلزله) (عبداللهی، ۱۳۹۱: ۱)
۳	قنبری و همکاران (۱۳۹۲)	شاخص همپوشانی (OI) - ۱۵ معیار طبیعی و انسانی	تعیین آسیب پذیری قسمت‌های شمالی و مرکزی شهر تبریز در پهنه‌های آسیب پذیر و خطر بسیار بالا (قنبری، ۱۳۹۲: ۲۱).

۴	امیراحمدی و زکیه آب باریکی (۱۳۹۳)	فرایند تحلیل سلسله مراتبی (P,H,A) - ۱۲ معیار طبیعی و انسانی	پهنه بندی خطر زلزله در ۵ گروه در شهر شیراز (امیراحمدی، ۱۳۹۳: ۱۳۳).
۵	حاتمی نژاد و همکاران (۱۳۹۳)	منطق Fuzzy با تلفیق P,H,A و TOPSIS-۱۳ معیار طبیعی و انسانی	تعیین خطر پذیری شمال و جنوب تبریز (حاتمی نژاد، ۱۳۹۳: ۶۹۷).
۶	جان، ام، نیکولز ^۱ (۲۰۰۵)	پهنه‌بندی احتمالاتی (PZ) - ۸ معیار طبیعی و انسانی	تعیین احتمال کم وقوع زلزله در ۲۵ سال آتی برای شهر سیدنی
۷	بیتلی ^۲ و همکاران (۲۰۰۴)	مدل تحلیلی شی گرا و تصاویر با قدرت تفکیک بسیار بالا و روش‌های چند متغیره - تصاویر ماهواره ای و ۸ متغیر در خصوص ساخت و ساز	قدرت بالای تحلیل شی گرای تصاویر ماهواره ای ای با قدرت تفکیک بسیار بالا در تعیین نواحی آسیب‌دیده و میزان آسیب
۸	کاتسو ^۳ (۲۰۰۵)	GIS و سنجش از راه دور، وزن- دهی و رتبه بندی - ۷ متغیر در خصوص استحکام بناها	برآورد میزان احتمال آسیب پذیری ساختارهای شهری براساس شدت های لرزه ای متفاوت
۹	چو و سو ^۴ (۲۰۱۲)	مدل تحلیل سلسه مراتبی و آنتروپی - ۱۲ شاخص طبیعی و انسانی	انتخاب پناهگاه مساعد برای تخلیه با استفاده از روش تاپسیس
۱۰	ایروانسیاه و هارتاتی ^۵ (۲۰۱۴)	GIS و FNN - ۱۳ متغیر ساخت و ساز	پهنه بندی خطر ما به ازای کاربری اراضی

جدول شماره ۱: خلاصه پیشینه تحقیق

منطقه مورد مطالعه

شهر خوی دومین شهر استان آذربایجان غربی و در موقعیت جغرافیایی ۴۴ درجه و ۲۸ دقیقه طول جغرافیایی و ۳۸ درجه و ۵۶ دقیقه عرض جغرافیایی واقع شده است، جلگه خوی در دامنه جنوب شرقی فلات ارمنستان واقع شده و ارتفاع متوسط آن از سطح دریا ۱۱۳۹ متر است، این شهر در ۱۴۱ کیلومتری شهر ارومیه مرکز استان آذربایجان غربی و

¹ - Nichols

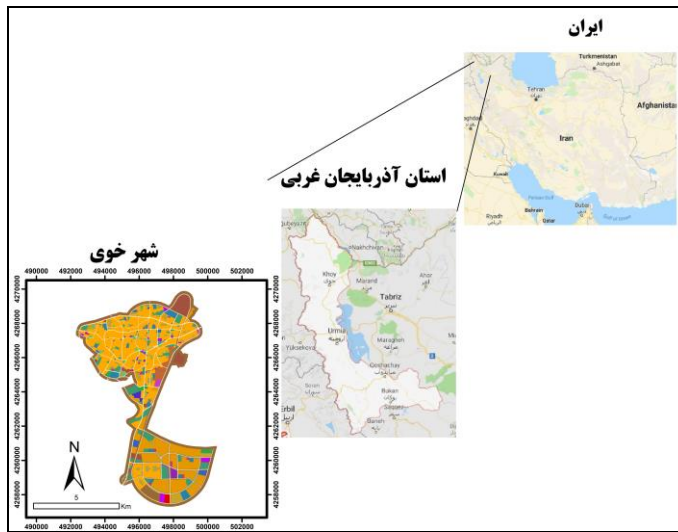
² - Bitelli

³ - Khatsü

⁴ - Chu & Sub

⁵ - Irwansyah & Hartati

۱۴۳ کیلومتری شهر تبریز مرکز استان آذربایجان شرقی و ۱۴۷ کیلومتری شهر ماکو واقع است و تا مرز ترکیه به خط مستقیم حدود ۳۲ کیلومتر فاصله دارد (شکل ۱).



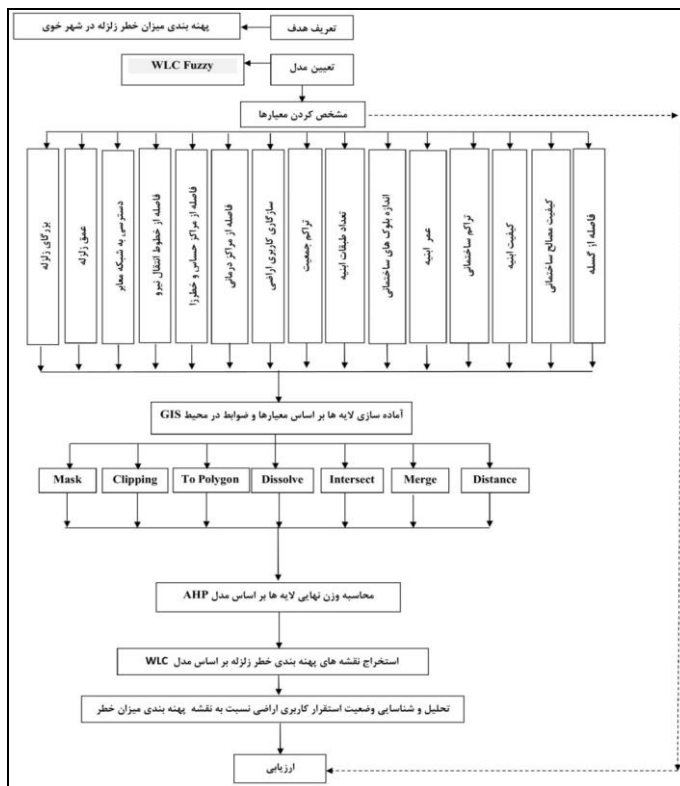
شکل شماره ۱: موقعیت جغرافیایی شهر خوی

روش تحقیق

برای ارزیابی و پهنه‌بندی میزان خطر زلزله در شهر خوی با استناد به تحقیقات انجام گرفته از متغیرهای اندازه بلوک‌های ساختمانی، تراکم جمعیت، بزرگای زلزله، تراکم ساختمانی، تعداد طبقات ابنیه، دسترسی به مراکز درمانی، سازگاری کاربری اراضی، عمر ابنیه، عمق زلزله، فاصله از خطوط انتقال نیرو، فاصله از مراکز حساس و خطرزا، کیفیت ابنیه، کیفیت مصالح ساختمانی، میزان دسترسی به شبکه معابر، میزان فاصله از گسله استفاده شده است (جدول ۲)، برای تهیه و آماده‌سازی بانک اطلاعاتی لایه‌های فوق‌الذکر از نرم‌افزار ArcGIS10 و مدل ترکیب خطی وزن‌دار استفاده گردید (شکل ۲).

جدول شماره ۲: لایه‌های اطلاعاتی مورد استفاده

منبع و ماخذ مورد استفاده	لایه
مرکز فناوری اطلاعات شهرداری خوی	اندازه بلوک های ساختمانی
مرکز فناوری اطلاعات شهرداری خوی	تراکم جمعیت
http://irsc.ut.ac.ir مرکز ژئوفیزیک دانشگاه تهران	بزرگای زلزله
مرکز فناوری اطلاعات شهرداری خوی	تراکم ساختمانی
مرکز فناوری اطلاعات شهرداری خوی	تعداد طبقات ابنیه
مرکز فناوری اطلاعات شهرداری خوی تابع Distance	دسترسی به مراکز درمانی
مرکز فناوری اطلاعات شهرداری خوی	سازگاری کاربری اراضی
مرکز فناوری اطلاعات شهرداری خوی	عمر ابنیه
http://irsc.ut.ac.ir مرکز ژئوفیزیک دانشگاه تهران	عمق زلزله
نقشه توپوگرافی شهر خوی تابع Distance	فاصله از خطوط انتقال نیرو
نقشه توپوگرافی شهر خوی تابع Distance	فاصله از مراکز حساس و خطرزا
نقشه توپوگرافی شهر تبریز تابع Distance	کیفیت ابنیه
مرکز فناوری اطلاعات شهرداری خوی	کیفیت مصالح ساختمانی
مرکز فناوری اطلاعات شهرداری خوی	میزان دسترسی به شبکه معابر
رقومی سازی از نقشه زمین شناسی خوی	میزان فاصله از گسله



شکل شماره ۲: مدل مفهومی پهنه بندی میزان خطر زلزله در شهر خوی

منطق فازی

تفکر فازی از دیدگاهی فلسفی نشأت می‌گیرد که سابقه چند هزار ساله و به قدمت فلسفه تاریخ دارد، همان گونه که فلسفه ادیان الهی با طبیعت و سرشت انسان سازگار است؛ تفکر فازی با الهام از فلسفه شرقی، جهان را همان گونه که هست معرفی می‌کند، در فلسفه ارسطویی که در مقابل فلسفه شرق قرار دارد، همه چیز به دو دسته سیاه و سفید، آری و نه تقسیم می‌شود، در حالی که فازی بودن به معنای چندارزشی بودن است (تقی‌پور، ۱۳۸۸: ۴۳). ارسطو ۳۰۰ سال قبل از میلاد منطق بولین (۰ و ۱) را ارائه کرد که در حال حاضر بنیان و اساس ریاضیات کلاسیک را تشکیل می‌دهد، این منطق به این موضوع اشاره دارد که یک قانون یا درست است یا درست نیست (انصاری، ۱۳۸۲: ۱۰۸). مجموعه‌های فازی مجموعه یا طبقاتی بدون مرزهای دقیق هستند که تغییر بین اعضای مجموعه و اعضای ناقص یک پدیده در این مجموعه، تدریجی است، تصور و انگاشت مجموعه‌های فازی یک شروع سهل و آسان برای ساخت یک چارچوب مفهومی که در بسیاری جهات مشابه چارچوب‌های بکار برده شده در مجموعه‌های معمولی است را فراهم می‌کند، لیکن به طور بالقوه ممکن است فهم و گستره خیلی وسیع تری را شامل شود. خصوصاً در زمینه الگوهای طبقه‌بندی و پروسه اطلاعات (زاده^۱، ۱۹۶۵: ۳۳۸-۳۳۹) در واقع منطق فازی در مقابل منطق کلاسیک، تعریف عضویت را گسترش داده است، به طوری که عضویت کامل تا عدم عضویت را شامل می‌شود، یعنی در یک نظام فازی همه قواعد درجه‌ای از درستی یا نادرستی در خود دارند که در نتیجه نهایی تأثیر می‌گذارند. به این ترتیب پس از آن که منطقه مورد نظر با توجه به تک تک معیارها به محدوده‌هایی با مقادیر فازی تقسیم‌بندی شد، باید لایه‌های مربوط به معیارهای مختلف با هم ترکیب شده و محدوده مورد نظر انتخاب شود، منطق بولین یا دو وجهی نام خود را از ریاضی‌دان انگلیسی جورج بول گرفته است. در این روش ابتدا معیارهای مربوطه انتخاب شده و کل منطقه براساس آن معیارها

^۱- Zadeh

به واحدهای مناسب (ارزش یک یا صفر) یا نامناسب ارزش صفر یا (False) تقسیم می‌شود، در مرحله بعد با استفاده از توابع منطقی مانند AND، OR و NOT لایه‌ها با هم ترکیب می‌شوند (اسدی نظری، ۱۳۸۳: ۷۲-۶۹). نظریه فازی مبتنی بر توسعه نظریه مجموعه بولین است، همان‌گونه که از تعریف این واژه مشخص است «مبهم» بر انواع مختلف ابهامات و عدم اطمینان‌ها به خصوص ابهامات مربوط به بیان و تفکر بشر اشاره دارد و با عدم اطمینان مطرح شده در نظریه احتمالات متفاوت است. در نظریه احتمال، احتمال وقوع یک حادثه یا واقعه سنجیده می‌شود و میزان عدم اطمینان مطرح شده در این نظریه را می‌توان به طور واقعی و با تکرار آزمون در خصوص موضوعات قابل تکرار مورد بررسی قرار داد. لیکن منطق فازی به بررسی ابهامات ناشی از تعاریف عضویت‌پذیری یک عنصر یا پدیده به مجموعه می‌پردازد، منطق فازی روی متغیرهای زبانی تأکید دارد و قصد دارد با کمک گزاره‌های نادقیق برای استدلال تقریبی، مبنای استدلالی فراهم آورد (گلی، ۱۳۸۳: ۱۱۳-۱۱۴). در تفکر فازی تعیین مرزی مشخص مشکل و تعلق عناصر مختلف به مفاهیم و موضوعات گوناگون نسبی است، چنین تفکری با طبیعت و محیط پیرامونی انسان بسیار سازگار می‌باشد، در نظریه فازی عضویت می‌تواند طیفی از اعداد صفر تا یک را به خود اختصاص دهد، تابعی که درجه عضویت به یک مجموعه را بیان می‌کند، اصطلاحاً تابع عضویت نامیده می‌شود، در این تابع مهم‌ترین خصوصیت مقدار عددی یک و کم اهمیت‌ترین مقدار صفر را اختیار می‌کند (ایوبی و جلالیان، ۱۳۸۵: ۲۸۸)، خصوصیات اساسی منطق فازی ارائه شده توسط پرفسور لطفی‌زاده به صورت ذیل است:

در منطق فازی هر موضوع یا مفهومی دارای یک درجه عضویت است، هر سیستم منطقی را می‌توان به صورت فازی بیان کرد، در منطق فازی اطلاعات و معلومات به صورت یک مجموعه‌ای از قیود فازی، قیود معادل یا قیود الاستیک در مجموعه‌ای از متغیرها بیان می‌شود (بنابراین می‌توان منطق بولین را به عنوان یک منطق فازی بیان

کرد)، استنتاج به عنوان یک مرحله‌ای از انتشار قیود الاستیک بیان می‌شود (انصاری، ۱۳۸۲: ۱۰۸-۱۰۹).

روش ترکیب خطی وزن‌دار (WLC)

در روش ترکیب خطی وزنی (WLC)^۱ هر متغیر در ابتدا استاندارد شده سپس به وزن مربوطه ضرب و سپس نتایج تمام متغیرها با همدیگر جمع می‌شود، به دلیل اینکه مجموع وزن‌های فاکتور برای ارزیابی بایستی در یک جمع شود، نتیجه و حاصل نقشه مناسبت همانند نقشه‌های فاکتور استاندارد شده‌ای که استفاده می‌شدند، همان میزان از مقادیر را خواهد داشت (ایستمن^۲، ۲۰۰۶: ۱۲۶). روش WLC یک تکنیک میانگین‌گیری است که تصمیمات سخت روش بولین را آسان‌تر می‌سازد و از افراط دوری می‌کند، در واقع، با تداوم بخشیدن به ریسک (فضای تصمیم‌گیری) از حداقل به حداکثر WLC دقیقاً یک حالت میانه پیدا می‌کنند که نه ضد ریسک (حالت اشتراک AND که حداقل پیکسل‌ها را در نظر می‌گیرد) می‌باشد و نه ریسک‌پذیری (حالت OR اجتماع که حداکثر ارزش پیکسل‌ها را در نظر می‌گیرد) (همان، ۱۳۳).

یافته‌های پژوهش

همانگونه که بیان گردید وجود معیارهای مختلف و گاه متضاد برای تصمیم‌گیری، کاربرد روش‌های چند متغیره را الزامی می‌سازد، در این پژوهش نیز از معیارهای مختلف طبیعی و انسانی برای رسیدن به هدف استفاده گردید، طی این فرآیند ابتدا شاخص‌های طبیعی و انسانی مورد نیاز و تاثیرگذار در قالب ۱۵ شاخص اندازه بلوک‌های ساختمانی، تراکم جمعیت، بزرگای زلزله، تراکم ساختمانی، تعداد طبقات ابنیه، دسترسی به مراکز درمانی، سازگاری کاربری اراضی، عمر ابنیه، عمق زلزله، فاصله از خطوط انتقال نیرو، فاصله از مراکز حساس و خطرزا، کیفیت ابنیه، کیفیت مصالح

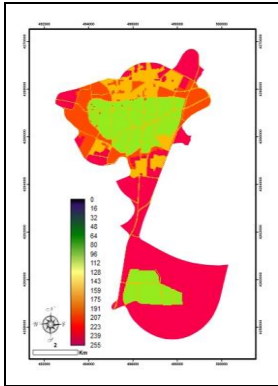
^۱ - Weighted Linear Combination

^۲ - Eastman

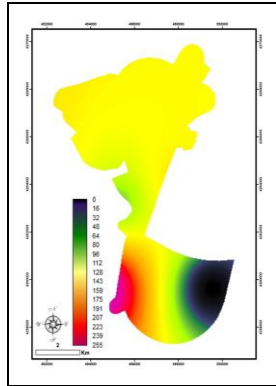
ساختمانی، میزان دسترسی به شبکه معابر، میزان فاصله از گسله، تهیه و ویرایش شدند (جدول ۳، شکل ۳).

جدول شماره ۳: طبقه‌بندی شاخص‌ها و فازی‌سازی

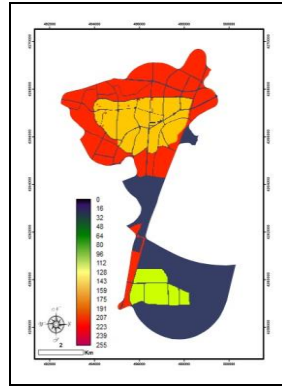
منبع	لایه نقشه	حد آستانه		نوع تابع فازی	نام تابع فازی	دلیل انتخاب
		b یا d	a یا C			
منبع: (پورمحمدی و کریمی، ۱۳۹۳: ۵۹)	اندازه بلوک‌های ساختمانی	۷۰۰	۱۰۰	کاهشی	Sigmoidial	تابع کوسینوسی
منبع: (کریمی کردآبادی و نجفی، ۱۳۹۴: ۲۱)	تراکم جمعیت	۳۵۰	۰	افزایشی	Linear	تابع خطی
منبع: (فرج زاده و بصیرت، ۱۳۸۵: ۵۹)	بزرگای زلزله	۴/۵	۳	افزایشی	Linear	تابع خطی
منبع: (پورمحمدی و کریمی، ۱۳۹۳: ۵۹)	تعداد طبقات ابنیه	۷	۰	افزایشی	Sigmoidial	تابع کوسینوسی
منبع: (امیر احمدی و آب باریکی، ۱۳۹۳: ۱۴۰)	تراکم ساختمانی	-	۰	Symmetric	Sigmoidial	تابع کوسینوسی
منبع: (فروغی و همکاران، ۱۳۹۰: ۱۸۵)	دسترسی به مراکز درمانی	۴۵۶۶/۳۱	۰	افزایشی	Linear	تابع خطی
منبع: (پورمحمدی، ۱۳۸۵: ۱۱۰)	سازگاری کاربری اراضی	-	-	Symmetric	Sigmoidial	تابع کوسینوسی
منبع: (امیر احمدی و آب باریکی، ۱۳۹۳: ۱۴۰)	عمر ابنیه	-	-	Symmetric	Sigmoidial	تابع کوسینوسی
منبع: (مرادی و ماهوتی، ۱۳۹۰: ۱)	عمق زلزله	۱۱/۴۳	۷/۱۲	کاهشی	Sigmoidial	تابع کوسینوسی
منبع: (قربانی و همکاران، ۱۳۹۰: ۱)	فاصله از خطوط انتقال نیرو	۴۲۴۴/۴۴	۰	کاهشی	Linear	تابع خطی
منبع: (پورمحمدی و مصیب زاده، ۱۳۸۷: ۱۲۴)	فاصله از مراکز حساس و خطرزا	۵۱۵۱/۱	۰	کاهشی	Linear	تابع خطی
منبع: (حبیبی و همکاران، ۱۳۸۶: ۲۹)	کیفیت ابنیه	-	-	Symmetric	Sigmoidial	تابع کوسینوسی
منبع: (شیعه و همکاران، ۱۳۸۹: ۳۷)	کیفیت مصالح ساختمانی	-	-	Symmetric	Sigmoidial	تابع کوسینوسی
منبع: (مهدوی نژاد، ۱۳۹۱: ۱۹)	میزان دسترسی به شبکه معابر	۴	۱	کاهشی	Linear	تابع خطی
منبع: (فرج زاده، ۱۳۸۵: ۶۶)	میزان فاصله از گسله	۱۲۶۴۳/۷	۹۰/۳۱۸	کاهشی	Linear	تابع خطی



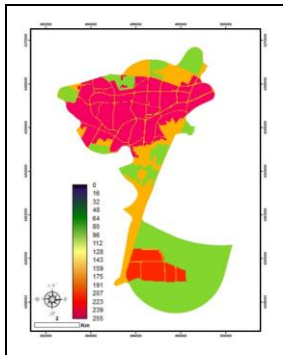
بزرگای زلزله



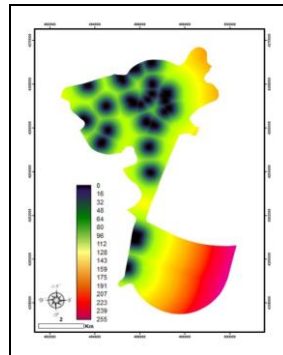
تراکم جمعیت



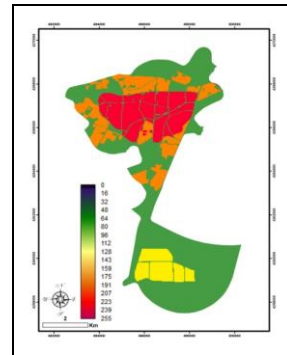
اندازه بلوک های ساختمانی



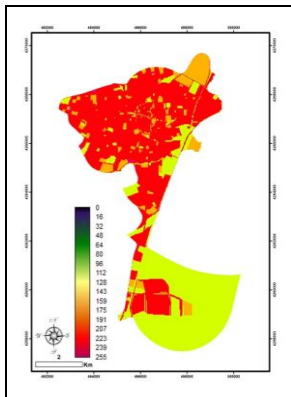
تعداد طبقات ابنیه



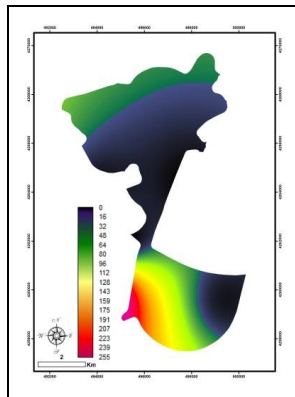
دسترسی به مراکز درمانی



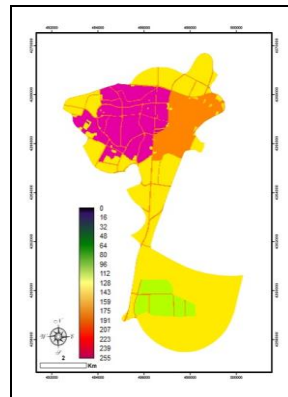
تراکم ساختمانی



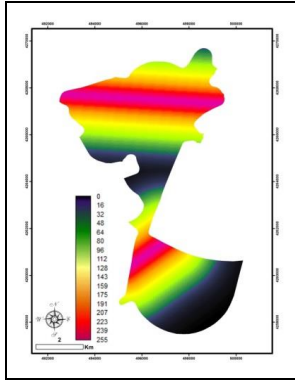
عمق زلزله



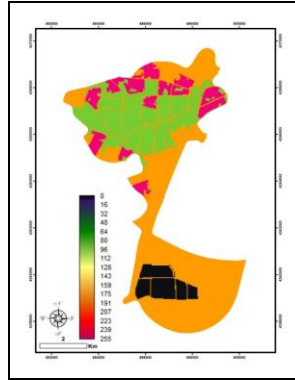
عمر ابنیه



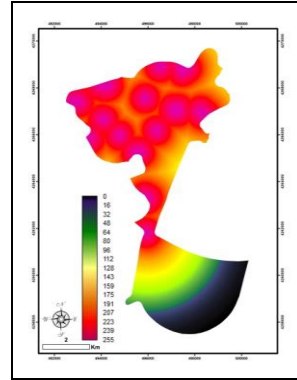
سازگاری کاربری اراضی



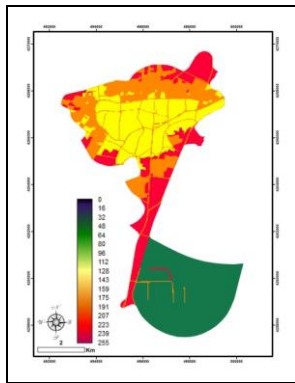
کیفیت ابنیه



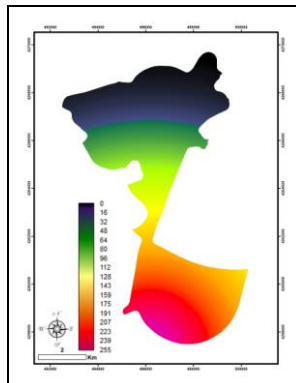
فاصله از مراکز حساس و خطرنا



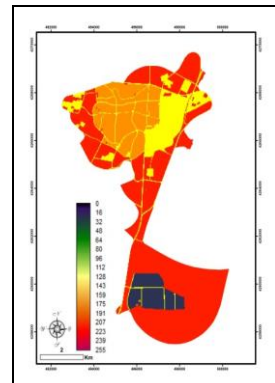
فاصله از خطوط انتقال نیرو



میزان فاصله از گسله



میزان دسترسی به شبکه معابر



کیفیت مصالح ساختمانی

شکل شماره ۳: مجموعه لایه های اطلاعاتی استاندارد شده

سپس با مطالعه تحقیقات صورت گرفته استاندارد مربوط به هر لایه مشخص و اعمال گردید. برای اجرای مدل، لایه های ذکر شده در جدول شماره ۳ را طبق نمودار شکل شماره ۲ بعد از رقومی سازی و تشکیل بانک اطلاعاتی، براساس استانداردهای ذکر شده و نوع تابع فازی متناسب استاندارد و نسبت به هدف تحقیق در محیط نرم افزار Idrisi Selva استاندارد سازی و در قالب مدل ترکیب خطی وزن دار ترکیب شدند، (جدول ۳، شکل ۲).

پس از تعیین کردن ضوابط و تابع فازی سازی لایه‌ها، محاسبات مربوط به مدل ترکیب خطی وزن‌دار در محیط نرم افزار ArcGIS تعریف شد و سپس با استفاده از مدل تحلیل سلسله مراتبی^۱ درجه اهمیت لایه های یا اوزان مربوطه با تعریف ماتریس مقایسه دوتایی در محیط نرم افزار Export Choice و تعیین ارجحیت لایه‌ها نسبت به یکدیگر، وزن نهایی هر لایه با ضریب ناپایداری ۰/۰۷ بدست آمد که با توجه به کمتر بودن آن از ۰/۱ برای ترسیم نقشه‌های آسیب‌پذیری بر روی لایه‌ها اعمال گردید (شکل شماره ۴).



شکل شماره ۴: وزن نهایی و ضریب ناپایداری در محیط نرم افزار Export Choice

با توجه به قابل قبول بودن ضریب CR با استفاده از نرم افزار ArcGIS10 نقشه پهنه‌بندی میزان خطر زلزله در شهر خوی استخراج گردید (شکل ۵).

همان‌گونه که در نقشه نهایی نیز پیداست، براساس مدل نهایی WLC Fuzzy، از کل مساحت ۴۷۰۸/۳ هکتاری منطقه دو حدود ۲۰۷۵/۴ هکتار در مناطق با آسیب‌پذیری خیلی کم تا کم در قسمت‌های شمالی و جنوبی، ۳۵۰/۰۸ هکتار در مناطق با آسیب‌پذیری متوسط در قسمت‌های شمالی به طرف مرکز شهر و ۱۰۲۵/۱۴ هکتار با آسیب-

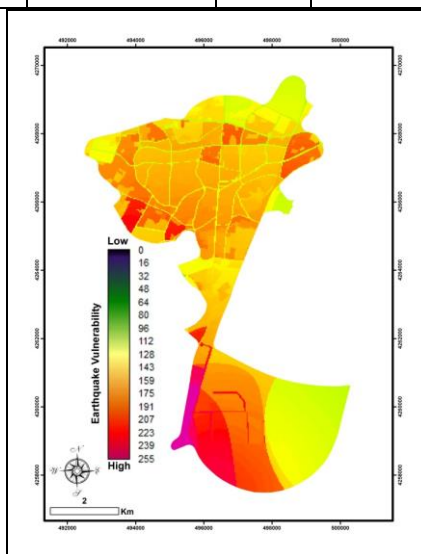
^۱ -Analytical Hierarchy Process (AHP)

پذیری زیاد تا خیلی زیاد در قسمت‌های جنوب غربی شهر خوی واقع می‌باشند، (شکل شماره ۶ و جدول شماره ۴).

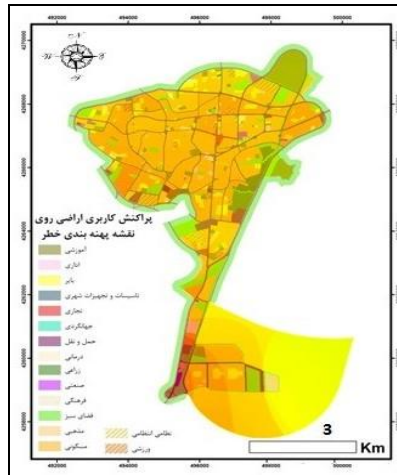
بررسی انطباقی تک تک متغیرها نسبت به نقشه نهایی پهنه‌بندی میزان خطر زلزله نشان می‌دهد موقعیت نسبی پهنه‌های خطر در نقشه نهایی پهنه‌بندی از موقعیت نسبتاً یکسانی برخوردار است و با توجه به ماهیت عملکردی مدل دریافت دیدی سریع از وضعیت آسیب‌پذیری منطقه و اولویت‌بندی اقدامات در خصوص اقدامات مقاوم‌سازی، اسکان موقت و انتقال کاربری و تاسیسات حساس می‌توان تصمیم‌گیری نمود.

جدول شماره ۴: مساحت و نسبت کلاسهای خطر زلزله براساس از مدل ترکیب خطی وزن دار فازی
 ماخذ: محاسبات نگارندگان

پهنه خطر	خیلی کم	کم	متوسط	زیاد	خیلی زیاد
مدل WLC	۱۲۷۹/۸۲	۷۹۵/۵۸	۱۶۸۰/۶۷	۷۲۲/۰۶	۲۳۰/۱۷



شکل شماره ۵: نقشه نهایی درجه بندی میزان آسیب پذیری بر مبنای مدل Fuzzy WLC در شهر خوی



شکل شماره ۶: همپوشانی نقشه ریز کاربری اراضی منطقه شهر خوی با نقشه پهنه بندی خطر زلزله

جدول شماره ۵: مساحت کلاس کاربری اراضی شهر خوی در پهنه های خطر

خیلی زیاد		زیاد	متوسط	کم	خیلی کم	پهنه خطر کاربری اراضی
۶۷/۱۴	۷۲/۹۰	۲۲۰/۱۴	۲۱۶/۱۸	۲۴۵/۴۳	۲۴۵/۴۳	فضای سبز
۰	۳۱۲/۱۲	۲۴۵/۷۹	۱۲۸/۶۱	۵۴۶/۸۴	۵۴۶/۸۴	بایر
۱۸/۵۴	۲۴/۶۶	۳۷/۸۰	۷۸/۷۵	۲۲۹/۹۵	۲۲۹/۹۵	حمل و نقل
۰	۰	۲۹/۰۷	۴۳/۱۱	۴/۷۷	۴/۷۷	ورزشی
۸/۲۸	۲۸۰/۰۸	۹۹۸/۲۸	۲۴۱/۲۹	۵۵/۴۴	۵۵/۴۴	مسکونی
۰	۱/۰۸	۳/۶۰	۶/۱۲	۱/۷۱	۱/۷۱	صنعتی
۶/۷۵	۱۷/۵۵	۳۶/۰۹	۱۸/۹۹	۱۲۵/۱۹	۱۲۵/۱۹	آموزشی
۰	۰	۱۳/۲۳	۴/۲۳	۰	۰	تجاری
۰	۰	۴/۷۷	۳/۶۰	۰	۰	فرهنگی
۰	۰/۵۴	۹/۶۳	۴/۵۹	۰/۹۰	۰/۹۰	تاسیسات و تجهیزات شهری
۱/۲۶	۰	۷/۰۲	۲۱/۰۶	۰/۰۹	۰/۰۹	نظامی انتظامی
۰	۱۲/۷۸	۶/۹۳	۷/۶۵	۲/۳۴	۲/۳۴	درمانی
۰	۰	۱۲/۴۲	۴/۰۵	۱۹/۱۷	۱۹/۱۷	اداری

برای پی بردن به وضعیت نسبت قرار گیری کاربری اراضی به پهنه های خطر محاسبه شده، با همپوشانی نقشه ریز کاربری اراضی شهر خوی با نقشه پهنه بندی خطر زلزله

مشخص شد ۲۸۸ هکتار از کاربری مسکونی در پهنه خطر زیاد تا خیلی زیاد قرار گرفته که عدم توجه به راهکارهای کاهش خطر زلزله به دلیل تراکم جمعیتی و ساختمانی بالا میزان تلفات بالای جانی را در زلزله‌های احتمالی به دنبال خواهد داشت، با نگاهی به جدول مشخص می‌شود که در پهنه خطر خیلی زیاد سهم کاربری مسکونی و آموزشی ۱۵/۰۳ هکتار می‌باشد که لزوم توجه مدیران شهر در مقاوم سازی مدارس و ساخت سازه‌های مسکونی در نواحی مشخص ضده در نقشه را ضروری می‌سازد (جدول ۵).

جمع بندی و نتیجه گیری

در سال‌های اخیر رشد شتابان شهرنشینی و گسترش شهرها در جهات مختلف که معمولاً بدون در نظر گرفتن اصول علم شهرسازی و ملاحظات مخاطرات بوده، باعث بوجود آمدن خسارات مادی و معنوی و اتلاف سرمایه گذاری‌ها شده است.

شهر خوی در یکی از حساس‌ترین و آسیب‌پذیرترین مناطق استان آذربایجان غربی به علت مجاورت با گسله خوی با تراکم بالای جمعیتی واقع شده و ۲۰۰۹۸۵ نفر جمعیت و طیف گسترده‌ای از مراکز خدماتی و صنعتی را در خود جای داده است که شناخت کیفیت و کمیت استقرار کاربری‌های مختلف در پهنه‌های مختلف خطر امری ضروری می‌باشد. در این راستا، استفاده از روش‌های مختلف چندمعیاری و تدوین معیارهای مناسب علمی و بکارگیری مدل‌ها و ابزار نوین برای بالابردن سرعت و صحت تصمیم‌گیری می‌تواند راهگشا باشد که در این پژوهش بکارگیری روش‌های چندمعیاری در چارچوب مدل ترکیب خطی وزن‌دار برای شناسایی پراکنش میزان خطر در درجه اول و نسبت به کاربری اراضی در درجه دوم قابلیت تلفیقی به کارگیری GIS و روش‌های چندمتغیره را در حل مسائل پیچیده شهری بیش از پیش نمایان کرد.

براساس مدل نهایی پهنه‌بندی خطر، از کل مساحت ۴۷۰۸/۳۰ هکتاری منطقه دو حدود ۲۰۷۵/۴ هکتار در مناطق با آسیب‌پذیری خیلی کم تا کم در قسمت‌های جنوبی، ۱۶۸۰/۶۷ هکتار در مناطق با آسیب‌پذیری متوسط در قسمت‌های مرکزی و ۹۵۲/۲۳

هکتار با آسیب پذیری زیاد تا خیلی زیاد در قسمت های شمالی و شمال غربی قرار گرفته است، همپوشانی نقشه کاربری اراضی با نقشه پهنه بندی خطر، ۲۸۸ هکتار از کاربری مسکونی را در این کلاس خطر مشخص می نماید، بنابراین برنامه ریزی برای مکانیابی اماکن اسکان موقت، مقاوم سازی ساخت و سازها در طول زمان و اصلاح موقعیت استقرار کاربری های حساس نسبت به سایر کاربری ها براساس نقشه نهایی تحقیق بایستی انجام شود، با تدوین استراتژی های مناسب توسعه، نظارت در صدور تراکم های ساختمانی، هدایت مراکز سکونت و فعالیت به سوی اراضی حاشیه ای و امن مشخص شده در نقشه پهنه بندی می توان از تراکم کاربری ها در اراضی پرخطر کاست و ضمن حفاظت از محیط زیست شهر از منابع موجود به نحو مطلوبتری استفاده کرد.

منابع

۱. اسدی نظری، مهرنوش (۱۳۸۳)، برنامه ریزی و مکانیابی اردوگاه های اسکان موقت بازماندگان زلزله، نمونه موردی: منطقه ۱ (ناحیه ۶) شهر تهران، پایان نامه کارشناسی ارشد شهرسازی گروه شهرسازی (برنامه ریزی شهری و منطقه ای)، دانشکده هنر، دانشگاه تربیت مدرس.
۲. امیراحمدی، ابوالقاسم آب باریکی، زکيه (۱۳۹۳)، ریز پهنه بندی خطر زلزله شهر سبزوار با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی GIS، جغرافیا و توسعه، شماره ۳۵، تابستان، صص ۱۵۲-۱۳۳.
۳. انصاری، حسین (۱۳۸۲)، پایش و پهنه بندی خشکسالی با استفاده از منطق فازی و سیستم اطلاعات جغرافیایی، رساله دکتری آبیاری و زهکشی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس.
۴. ایوبی، شمس الله جلالیان، احمد (۱۳۸۵)، ارزیابی اراضی، انتشارات دانشگاه صنعتی اصفهان، چاپ اول، اصفهان.
۵. پورمحمدی، محمد رضا (۱۳۸۵)، برنامه ریزی کاربری اراضی شهری، انتشارات سمت، چاپ دوم، تهران.
۶. پورمحمدی، محمد رضا کرمی، محمدرضا (۱۳۹۳)، ترکیب مدل کرنل (KDE) و مدل AHP در ارزیابی خطر زلزله در بافت های حاشیه نشین و فرسوده شهری با کمک سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) مطالعه موردی مناطق یک و پنج شهر تبریز، جغرافیا و برنامه ریزی، شماره ۵۰، زمستان، صص ۶۳-۵۵.

۷. پورمحمدی، محمد رضا مصیب زاده، علی (۱۳۸۷)، آسیب پذیری شهرهای ایران در برابر زلزله و نقش مشارکت محله ای در امداد رسانی آنها، مجله جغرافیا و توسعه، شماره ۱۲، زمستان، صص ۱۱۷-۱۴۴.
۸. تقی پور، علی اکبر (۱۳۸۸)، ارزیابی سازمان فضایی شهر شاهرود با تاکید بر الگوهای کاربری زمین های آموزشی، پایان نامه جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد در رشته جغرافیا و برنامه ریزی شهری، دانشکده علوم انسانی و اجتماعی، دانشگاه تبریز.
۹. حاتمی نژاد، حسین منوچهری میاندوآب، ایوب آهار، حسین سالکی، محمد علی (۱۳۹۳)، ارزیابی و پهنه بندی لرزه های شهر تبریز با استفاده از منطق Fuzzy با تلفیق AHP و TOPSIS در محیط ARCGIS، پژوهش های جغرافیای انسانی، دوره ۴۶، شماره ۴، صص ۷۱۷-۶۹۷.
۱۰. سیاح افضلی اردشیر صحفی، ندیمه (۱۳۸۹)، تبیین روش شناسی استفاده از مدل مدیریت ریسک در مدیریت بحران در مناطق شهری مطالعه موردی: استفاده از ارزیابی نیمه کمی ریسک و رادار در تعیین میزان ریسک زلزله در منطقه ۱۳ شهرداری تهران، فصلنامه مطالعات مدیریت شهری، سال دوم، شماره دوم، صص، ۶۹-۴۳.
۱۱. شیعه، اسماعیل حبیبی، کیومرث ترابی، کمال (۱۳۸۹)، بررسی آسیب پذیری شبکه های ارتباطی شهرها در مقابل زلزله با استفاده از روش IHWP- GIS مطالعه موردی منطقه شش شهرداری تهران، باغ نظر، شماره ۱۳، بهار، صص ۴۸-۳۵.
۱۲. عبداللهی، غزال نسترن، مهین مختارزاده، صفورا جمشیدی، محمود (۱۳۹۱)، پهنه بندی شهر تهران به منظور استقرار بهینه بیمارستان ها در شرایط عادی و بحران (زلزله)؛ فصلنامه علمی امداد و نجات، سال چهارم، شماره ۲، صص ۱۵-۱.
۱۳. فرج زاده، منوچهر بصیرت، فروغ (۱۳۸۵)، پهنه بندی حساسیت تشکیلات زمین شناسی در مقابل نیروهای زلزله در منطقه شیراز با استفاده از GIS، پژوهش های جغرافیایی، شماره ۵۵، بهار، صص ۷۲-۵۹.
۱۴. فروغی، سلیمان، احدنژاد روشتی، محسن؛ مرادی، بهزاد (۱۳۹۰)، ارزیابی آسیب پذیری شهرها در برابر زلزله برحسب فاصله از کاربری های حیاتی با استفاده از GIS نمونه موردی: بافت قدیم شهر زنجان، اولین کنفرانس ملی مدیریت بحران، زلزله و آسیب پذیری اماکن و شریانهای حیاتی، تهران، وزارت کشور، سازمان مدیریت بحران کشور.
۱۵. قربانی، رسول محمودزاده، حسن تقی پور، علی اکبر (۱۳۹۲)، تحلیل تناسب اراضی (LSA) برای توسعه شهری در محدوده مجموعه شهری تبریز با استفاده از روش تحلیل فرایند سلسله مراتبی، مجله جغرافیا و توسعه، شماره ۸، زمستان، صص ۱۴-۱.

۱۶. قنبری، ابوالفضل سالکی ملکی، محمد علی قاسمی، معصومه (۱۳۹۲)، پهنه بندی میزان آسیب پذیری شهرها در مقابل خطر زمین لرزه (نمونه موردی: شهر تبریز)، جغرافیا و مخاطرات محیطی، شماره ۵، بهار، صص ۳۵-۲۱.
۱۷. کرم، عبدالامیر (۱۳۸۴)، تحلیل تناسب زمین برای توسعه کالبدی در محور شمال غرب شیراز با استفاده از رویکرد ارزیابی چندمعیاری (MCE)، در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی ساج-GIS، پژوهش های جغرافیایی، شماره ۵۴، صص ۱۰۶-۹۳.
۱۸. کرمی، محمد رضا (۱۳۹۱)، ارزیابی خطر زلزله و آسیب پذیری شهرها با استفاده از سیستم های اطلاعات جغرافیایی، نمونه موردی: شهر تبریز، رساله دکتری دانشگاه تبریز، راهنما: دکتر محمدرضا پور محمدی، صص ۴۹۸-۱.
۱۹. کریمی کردآبادی، مرتضی نجفی، اسماعیل (۱۳۹۳)، ارزیابی خطر زلزله با استفاده مدل ترکیبی AHP-FUZZY در امنیت شهری (مطالعه موردی: منطقه یک کلان شهر تهران)، پژوهش و برنامه ریزی شهری، شماره ۲۰، بهار، صص ۳۴-۱۷.
۲۰. کیومرث، حبیبی احمد، پور احمد مشکینی، ابوالفضل عسگری، علی نظری عدلی، سعید (۱۳۸۶)، تعیین عوامل سازه ای / ساختمانی موثر در آسیب پذیری بافت کهن شهری زنجان با استفاده از FUZZY LOGIC & GIS، نشریه هنرهای زیبا، شماره ۳۳، زمستان، صص ۳۶-۲۷.
۲۱. گلی، علی (۱۳۸۳)، تحلیل فرایند گذار از روستا به شهر و طراحی مدلی برای شناسایی روستاهای در حال گذار ایران، رساله دوره دکتری جغرافیا و برنامه ریزی روستایی، دانشکده علوم انسانی، دانشگاه تربیت مدرس.
۲۲. مرادی، غلام؛ ماهوتی، عطاله (۱۳۹۰)، ضرورت های ریز پهنه بندی شهر های بزرگ در برابر زمین لرزه، ششمین کنگره ملی مهندسی عمران، ۶ و ۷ اדיبهشت، صص ۸-۱، دانشگاه سمنان، ایران.
۲۳. مهدوی نژاد، محمد جواد، جوانرودی، کاوان (۱۳۹۱)، بررسی آسیب پذیری ناشی از زلزله در شبکه های ارتباطی تهران بزرگ مطالعه ی موردی: خیابان ولی عصر (عج) شمالی (میدان ولی عصر تا چهارراه پارک وی)، دو فصلنامه مدیریت بحران، شماره اول، بهار، صص ۲۱-۱۳.
- ۲۴.
25. Eastman, J Ronald, (2006), IDRISI Andes, Guide to GIS and Image Processing, Published by Clark Labs, Clark University.

26. G. Bitelli, R Camassi, L Gusella, A Mognol, (2004), Image Change Detection on Urban Area: The Earthquake Case, University Of Bologna, Viale Risorgimento, 2, 40136 Bologna, Italy: 1-2.
27. Irwansyah E, Sri Hartati, (2014), Assessment of Building Damage Hazard Caused by Earthquake" International Conference on Future Information Engineering ,p196 – 202.
28. Jianyu Chu, Youpo Sub, (2012), The Application of TOPSIS Method in Selecting Fixed Seismic Shelter for Evacuation in Cities, Journal of Systems Engineering Procedia, Volume 3, P 391–39.
29. Khatsü Petevilie, (2005), Urban Multi-Hazard Risk Analysis Using GIS and Remote Sensing: A Case Study of a Part of Kohima Town, India, ITC & IIRS Institutes: P 101-121.
30. Naima Rahman, Mehedi A Ansary, Ishrat Islam, (2015), GIS based mapping of vulnerability to earthquake and fire hazard in Dhaka city, Bangladesh. International Journal of Disaster Risk Reduction.
31. Nichols, John M, (2005), Major urban earthquake: planning for Armageddon: intenational Jounal of Landscape and Urban Planning Volume 73, P 136-154.
32. Zadeh, L A, (1965), Fuzzy Sets, Information and Control, Dept, Electrical Engineering and Electronics Res. Lab, Univ,