

پهنه‌بندی آسیب‌پذیری ناشی از زلزله با استفاده از منطق فازی در GIS (مطالعه موردی: شهرستان سوادکوه)

صالح آرخی*

دانشیار، دانشگاه گلستان، گروه جغرافیا

مهران اکبریان سرخی

دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشگاه گلستان، رشته مخاطرات محیطی

سمیه عمادالدین

دانشیار، دانشگاه گلستان، گروه جغرافیا

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۵/۲۵

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۸/۳۰

چکیده

با توجه به اهمیت مقوله زلزله به عنوان یکی از حوادث طبیعی، چالش‌ها و آسیب‌های ناشی از آن در جوامع انسانی، به خصوص در سکونت‌گاه‌های شهری و روستایی، توجه به مباحث ساخت‌وساز و سیاست‌گذاری در راستای شناسایی نقاط ضعف و قوت در بحث شاخص‌های کالبدی شهری و روستایی حائز اهمیت است. شهرستان سوادکوه از شهرستان‌های استان مازندران می‌باشد و به دلیل قرارگیری در کمربند کوهستانی سلسله جبال البرز و وجود گسل‌های فعال در منطقه جز مناطق لرزه‌خیز محسوب می‌شود. هدف مقاله، پهنه‌بندی مناطق با آسیب‌پذیری بالا در راستای مدیریت بحران و برنامه‌ریزی کاربری اراضی و کاهش اثرات زلزله در نواحی با آسیب‌پذیری بالاست. در این تحقیق با استفاده از داده‌ها و اسناد کتابخانه‌ای، اطلاعات موردنیاز جمع‌آوری و به منظور پهنه‌بندی آسیب‌پذیری ناشی از زلزله از نقشه‌های معیار از جمله: نقشه‌های فاصله از گسل (اصلی و فرعی)، فاصله از زمین‌لغزش‌های موجود، زمین‌شناسی، شیب و خاک استفاده شد و پس از ساخت و تجزیه و تحلیل لایه‌های اطلاعاتی در محیط نرم‌افزار ArcGIS، از توابع عضویت فازی برای ارزیابی استفاده شد. لایه‌های فازی استاندارد شده در محیط GIS با عملگرهای مختلف تلفیق شدند و نقشه پهنه‌بندی آسیب‌پذیری تولید شد. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که پهنه‌های با خطر بسیار زیاد، پهنه‌ای حدود ۶۴/۱۹ درصد از مساحت شهرستان را پوشش می‌دهد و هم‌چنین حدود ۳۵/۸۱ درصد از مساحت در محدوده با خطر زیاد قرار دارد. نتایج تحقیق حاکی از آن است که نواحی شمالی و مرکزی شهرستان وضعیت آسیب‌پذیری بسیار زیاد و نواحی جنوبی آن، آسیب‌پذیری زیاد از لحاظ شاخص‌های منتخب در برابر زلزله دارند که نیازمند برنامه‌ریزی دقیق پیش از بحران به لحاظ تقویت و بهبود شاخص‌های کالبدی می‌باشد.

واژگان کلیدی: پهنه‌بندی، آسیب‌پذیری از زلزله، منطق فازی، شهرستان سوادکوه، GIS.

مقدمه

مخاطره زلزله عبارت است از حرکات و ارتعاشات ناگهانی سطح زمین، ناشی از شکسته شدن سنگ‌های پوسته زمین و رها شدن انرژی ذخیره شده در آنها که در صورت شدت زیاد، موجب خسارت‌ها و زیان‌های فراوان در مراکز انسانی می‌شود. اصل زلزله تکتونیک است و احتمالاً یک شکست لازمه آن است. این پدیده از یک طرف موجب شکسته شدن و جابه‌جایی بین توده سنگی پوسته زمین شده و از طرف دیگر همین جابه‌جایی و شکسته شدن منجر به ایجاد امواج و انتشار در درون زمین می‌شود. معمولاً بیش از ۹۵ درصد علل وقوع زمین‌لرزه‌ها مربوط به حرکات تکتونیک است. ولی عوامل دیگر نظیر آتشفشان‌ها، فروریختن غارهای زیرزمینی و لغزش زمین می‌توانند در ایجاد زمین‌لرزه‌ها نقش داشته باشد. زمین‌لرزه را می‌توان یکی از مخرب‌ترین مخاطرات ژئومورفولوژیکی به حساب آورد که تأثیر فراوانی در مکان‌گزینی شهر و برنامه‌ریزی برای توسعه فیزیکی آتی شهر دارد. وقتی زمین‌لرزه‌ای روی می‌دهد شهر به صورت یک سیستم از آن تأثیر می‌پذیرد. زمین‌لرزه یکی از فجایع طبیعی عمده است که موجب خسارات مختلف فیزیکی، اجتماعی و اقتصادی در سرتاسر جهان در هر سال می‌شود (Delavar et al., 2017: 119). در خلال قرن گذشته، بیش از هزار مورد زمین‌لرزه ویرانگر در چندین کشور در سرتاسر جهان رخ داده و میلیون‌ها نفر انسان را کشته و خسارات مادی عظیمی بر جای گذاشته است و مهم اینکه، مرگ‌آفرینی زمین‌لرزه در مناطق شهری بسیار بالا بوده است (Paknejhad et al., 2013: 26-255). با گسترش کالبد و اقتصاد جوامع شهری، به تدریج نیاز به کاهش مخاطرات، نه تنها به عاملی اطمینان‌بخش در کنترل ریسک مخاطرات بدل شده است، بلکه دیگر اقدامات مهم و مدیریتی در جهت تهیه برنامه و پیگیری طرح‌های بازدارنده از بروز آسیب‌پذیری بیشتر اهمیتی روزافزون یافته است (Siami et al., 2014: 63-43). تجزیه و تحلیل مخاطره زمین‌لرزه به ارزیابی پارامترهای مخاطره زمین‌لرزه و پتانسیل زمین‌لرزه‌های آتی نیاز دارد (Sharifikia, 2009: 708-716). قرارگیری کشور ایران در مناطق با خطرپذیری بالای زلزله جهانی و وجود نقاط جمعیتی مترك، ایران را به کشوری شدیداً آسیب‌پذیر در برابر زلزله تبدیل نموده است.

ایران یکی از کشورهای زلزله‌خیز جهان به شمار می‌رود که در طول ۹۰ سال گذشته، ۱۸ زلزله با توان بیش از ۷ ریشتر را تجربه کرده است که باعث آسیب‌های بزرگ اجتماعی، اقتصادی و آسیب دیدن بخش اعظمی از جمعیت انسانی طی این چند دهه شده است. همچنین شش درصد از تلفات ناشی از وقوع حوادث غیرمترقبه در جهان متعلق به ایران، با رتبه ششم در بین کشورهای آسیب‌پذیر جهان و رتبه چهارم در آسیا است (UNISDR, 2015).

در زمینه پهنه‌بندی زلزله و تهیه نقشه خطر و آسیب‌پذیری آن مطالعات بسیاری در جهان و ایران انجام شده است که می‌توان به مواردی چند از آنها اشاره نمود: رتینلی و سیفی^۱ (۲۰۰۸) در مقاله‌ای با عنوان ارزیابی آسیب‌پذیری ساختمان‌ها و ارائه سناریوی‌های آسیب برای شهر ایتالیا، ابتدا با استفاده از مدل‌های آسیب‌پذیری از جمله RISK-UE میزان آسیب-

^۱- Martinelli and Cifai

پذیری ساختمانی را ارزیابی و در نهایت با ارائه سناریوهای زلزله در شدت‌های مختلف به تخمین و مدل‌سازی خسارات ناشی از زلزله‌های احتمالی پرداخت. لانتادا^۱ و همکاران (۲۰۰۹) در تحقیقی علاوه بر مدل‌سازی آسیب‌پذیری بارسلون با مدل RISK-UE با استفاده از مدل‌های موجود تخمین خسارات انسانی و اقتصادی بارسلون را ارزیابی کردند. شرکت جایکا^۲ (۱۳۸۰) در پروژه‌ای، آسیب‌پذیری شهر تهران را از جنبه‌های گوناگون فیزیکی، انسانی و همچنین مکان‌های خاص بر اساس منحنی‌های شکست که در تحقیقات پیشین توسط توکلی انجام شده بود، بررسی کرده است. بانیکا^۳ و همکاران (۲۰۱۷) در مقاله‌ای با عنوان تحلیل چندمعیاری آسیب‌پذیری شهری در مقابل زمین‌لرزه به بررسی شهر لاسی در رومانی پرداخته‌اند. آنها شاخص‌های کالبدی و اجتماعی را برای مطالعه انتخاب کرده و با روش PCA و AHP به وزن‌دهی لایه‌های مختلف پرداخته‌اند و شاخص آسیب‌پذیری را برای مناطق مختلف به دست آورده‌اند. کینگ و آنه^۴ (۱۹۹۵) در پژوهش خود، خطر زمین‌لرزه و تخمین خسارات ناشی از آن در منطقه کالیفرنیا با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی را بررسی کرده است. در این پژوهش لایه‌های مختلف از قبیل: گسل‌های اصلی، شتاب افقی زمین، میانگین سن ساختمان‌ها استفاده شده است و در نهایت، نقشه‌های پهنه‌بندی استخراج گردیده است. هم چنین ماتسواوکا و میدروکاوا^۵ (۱۹۹۵) در تحقیقی دیگر در ژاپن، تهیه نقشه خطر لرزه‌ای برای یک کلانشهر با نواحی اطرافش با استفاده از پایگاه‌های داده‌های سیستم اطلاعات جغرافیایی را انجام داده است.

چن^۶ و همکاران (۲۰۱۸) در تحقیقی تحت عنوان زمین‌لرزه سرپل‌ذهاب وقوع یک فرود کم‌عمق، فشرده پنهان در گسل جبهه کوهستان زاگرس به مطالعه پارامترهای همچون منشأ زلزله، روند پارگی و ویژگی‌های تکتونیکی فعال این رویداد، از داده‌های رادار تله‌سیسمین و سنتین استفاده نمودند. نشان دادند که با توجه به زمینه ساختار تکتونیکی از توزیع گسل‌های شناخته شده و لیتولوژی منطقه، حداکثر لغزش یا در کمترین پوشش رسوبی یا بالاترین سطح گسل جبهه کوهستان واقع شده است. یانگ^۷ و همکاران (۲۰۱۹) نیز با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای تغییرات همزمان با زلزله و تغییرات پس از زلزله ازگله سرپل‌ذهاب را بررسی نمودند. در این تحقیق میزان جابه‌جایی زمین و همچنین، ویژگی‌های گسل مسبب زلزله بیان شده است.

^۱ -Lantada et al

^۲ - JICA

^۳ -Banica et al

^۴ - King and Anne

^۵ - Matsuoka M and Midorikawa

^۶ -Chen et al

^۷ -Yang et al

در مورد مطالعات و کارهای داخلی نیز می‌توان به مواد ذیل اشاره کرد: رجب‌زاده و همکاران (۱۳۹۵) در تحقیقی ابتدا مهم‌ترین فاکتورهای موثر به عنوان عوامل اصلی تشدید خطر در صورت وقوع بحران زلزله‌شناسی و لایه‌های اطلاعاتی با استفاده از نرم‌افزار ArcGIS شناخته شدند. سپس با استفاده از تابع خطی، لایه‌های تهیه شده فازی‌سازی شده و به کمک روش منطق فازی ساده، نقشه پهنه‌بندی خطر ناشی از وقوع بحران زلزله در ۶ گروه خطر پایین، خطر نسبتاً پایین، خطر متوسط، خطر نسبتاً بالا و خطر بالا تهیه گردید. با توجه به نقشه‌های پهنه‌بندی می‌توان گفت که شهر تبریز از نظر وقوع زلزله وضعیت مناسبی نداشته و بیشتر قسمت‌های پرجمعیت بخصوص قسمت‌های شمالی و مرکزی شهر در پهنه آسیب‌پذیری بالاتری قرار دارند. همچنین می‌توان گفت که بهترین مکان‌یابی برای مناطق صنعتی به علت دوری از گسل شکل گرفته است.

عراقیان و همکاران (۱۳۹۶) با استفاده از منطق فازی به مطالعه آسیب‌پذیری زلزله در سکونتگاه‌های روستایی شهرستان طارم پرداختند که در این مطالعه از معیارهایی همچون فاصله از گسل، فاصله از زمین‌لغزشها، زمین‌شناسی، شیب و کاربری زمین استفاده شد و پس از تلفیق لایه‌ها با استفاده از عملگر گامای فازی، نقشه آسیب‌پذیری تولید شد که نشان می‌داد حدود ۴۵ درصد از محدوده در پهنه آسیب‌پذیری زیاد تا بسیار زیاد قرار دارد (عراقیان و همکاران، ۱۳۹۶). مشکینی و همکاران (۱۳۹۶) پژوهشی در زمینه ارزیابی آسیب‌پذیری کاربری‌های آموزشی در برابر زلزله با رویکرد پدافند غیرعامل شهری در منطقه ۶ تهران در قالب مطالعات فضایی - مکانی و با استفاده از روش تحلیل شبکه‌ای (ANP) انجام دادند که نتایج آنها نشان داد بیش از ۶۱ درصد واحدهای آموزشی محدوده در پهنه‌های آسیب‌پذیر واقع شده‌اند و میزان آسیب‌پذیری واحدهای آموزشی در این پهنه بسیار بالاست. احدنژادروشتی و همکاران (۲۰۱۵) با استفاده از منطق فازی به تحلیل آسیب‌پذیری شاخصهای کالبدی در برابر زلزله در منطقه یک تبریز پرداختند، در این پژوهش مشخص گردید تابع فازی گاما با حد آستانه ۰/۹ بهتر از سایر توابع فازی می‌تواند جهت تحلیل آسیب‌پذیری در برابر زلزله بکار گرفته شود. دلاور و همکاران (۱۳۹۶) در مقاله خود با عنوان یک مدل تصمیم‌گیری فازی مبتنی بر GIS برای ارزیابی آسیب‌پذیری لرزه‌ای در مناطق با داده‌های ناکافی، از روش ترکیبی با بهره‌گیری از AHP، منطق فازی و تکنیک تاپسیس در محیط برداری بهره گرفته‌اند و با آزمایش روش خود در یکی از مناطق شهر تبریز در مجاورت گسل نتیجه گرفته‌اند که می‌تواند روشی مؤثر و کارآمد برای ارزیابی آسیب‌پذیری کالبدی در برابر زمین‌لرزه باشد. کاشانی‌اصل و همکاران (۱۳۹۶) در پژوهشی با توجه به احتمال آسیب‌پذیری شهر اهر، سعی شده است، با بررسی وضعیت موجود به ارزیابی و تحلیل آسیب‌پذیری فضاهای شهری اهر در برابر بحران زلزله پرداخته شود. نوع این پژوهش از نظر هدف کاربردی و روش تحقیق توصیفی - تحلیلی است. برای این منظور با استفاده از شاخص‌های ۱۵ گانه و بهره‌گیری از مدل AHP و Fuzzy Logic به این موضوع پرداخته شده است. نتایج پژوهش نشان می‌دهد که حدود ۳۰ درصد مساحت شهر در پهنه آسیب‌پذیری متوسط به بالا قرار می‌گیرد. احمدی و همکاران (۱۳۹۷)، در پژوهشی به بررسی میزان تاب-

آوری شهر ارومیه در برابر خطر زمین‌لرزه با بهره‌گیری از روش فازی و GIS پرداخته‌اند و بدین منظور تعداد ۱۰ معیار شامل تراکم جمعیت، تراکم ساختمان‌ها، تعداد طبقات ساختمان‌ها، کاربری زمین، دسترسی به فضاهای باز، دسترسی به مراکز درمانی، دسترسی به مراکز امدادرسانی، فاصله از معابر، فاصله از خطوط فشارقوی برق و فاصله از گسل به عنوان معیارهای مورد مطالعه تعیین شده‌اند. نتایج تحقیق نشان از این موضوع دارد که ۳۸ درصد از مساحت شهر دارای تاب‌آوری متوسط تا پائین بوده و در منطقه خطر قرار دارند و همچنین منطقه ۱ شهری با ۷۰ درصد مساحت دارای بیشترین تاب‌آوری و منطقه ۴ با ۳۵ درصد مساحت دارای کمترین میزان تاب‌آوری در برابر زمین‌لرزه است. حسین آبادی و همکاران (۱۳۹۸) در تحقیقی پس از تهیه نقشه زمین‌لغزش‌ها با استفاده از کارهای میدانی و نقشه‌های زمین‌شناسی، عوامل موثر در وقوع زمین‌لرزه و زمین‌لغزش در کوه باقران تهیه شد و تراکم سطح آنها (وزن داخلی) محاسبه گردید. مقایسات زوجی بین این پارامترها صورت گرفت. در این زمینه پارامترهای موثر، اولویت‌بندی شد. در مرحله بعدی با استفاده از منطق فازی، درجه عضویت پارامترها مشخص شد و در پایان با هم تلفیق شدند. از بین عوامل موثر بر زمین‌لرزه، پارامتر هم‌شتاب بیشترین وزن را به خود اختصاص داد. از بین عوامل موثر بر وقوع زمین‌لغزش پارامتر هم‌شتاب لرزه‌ای و فاصله از گسل بیشترین وزن را به خود اختصاص دادند. بر اساس نقشه‌های خروجی فازی زمین‌لرزه مشخص شد که جمع جبری فازی بهترین تطابق را با پراکنش زمین لرزه در منطقه دارد، طوری که ۴۲ درصد منطقه در کلاس خطر زیاد و خیلی زیاد زمین لرزه قرار دارد. در پایان پس از تلفیق نقشه‌های حاصل از زمین‌لغزش و زمین‌لرزه مشخص شد که جمع جبری فازی بهترین تطابق را دارد که به ترتیب ۰/۲۶، ۰/۱۹، ۰/۲۲، ۰/۲۱ و ۰/۱۲ درصد از منطقه در کلاس‌های خطر خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد نهایی حاصل از تلفیق زمین‌لرزه و زمین‌لغزش قرار دارد.

پورمحمد شاهوار و همکاران (۲۰۱۹)، نقشه‌های لرزش‌زمین در زمین‌لرزه سرپل‌ذهاب را تهیه کردند که این نقشه‌ها شدت، شتاب و سرعت وقوع زلزله به صورت دستگاهی - بدون بازدید از منطقه را پس از رخداد تعیین می‌کنند و در اختیار دستگاه‌های مسئول مدیریت بحران و امداد رسانی قرار می‌دهند. داده‌های مورد استفاده برای تولید این نقشه‌ها از 113 ایستگاه ISMN در اطراف مرکز زلزله جمع‌آوری کردند.

از جمله اقدامات مدیریتی که می‌تواند نقش بسزایی در کاهش خسارات ناشی از خطر سوانح طبیعی داشته باشد، پهنه‌بندی مخاطرات طبیعی است. در جهت کاهش مخاطرات زلزله، ضروری است تا مطالعات و تحقیقات جامعی در ارتباط با شناخت اثرات زلزله در مناطق شهری و روستایی و تشخیص مناطق با آسیب‌پذیری بالا انجام شود. در این پژوهش سعی شده با شناخت منطقه از نظر زمین‌شناسی، گسل‌های اصلی، گسل‌های فرعی، زمین‌لغزش‌های موجود و ... پهنه‌های آسیب‌پذیر زمین‌لرزه استخراج و محدوده‌های پرخطرتر مشخص گردد. هدف این پژوهش، پهنه‌بندی پتانسیل آسیب‌پذیری ناشی از رخداد زلزله، یعنی مشخص نمودن مناطق با آسیب‌پذیری بالا در جهت شناسایی نواحی آسیب‌پذیر است. با توجه به اینکه سکونتگاه‌های منطقه در معرض رخداد زلزله قرار دارند، چنین مطالعات و پهنه‌بندی‌هایی می‌تواند

راهکارهای مناسبی را جهت جلوگیری از استقرار کاربری‌های حساس در مناطق با خطرپذیری بالا، در اختیار برنامه‌ریزان قرار دهد.

مبانی نظری تحقیق

پهنه‌بندی عبارت است از تقسیم‌بندی سطح زمین به مناطق مجزا و رتبه‌بندی کردن این مناطق بر اساس درجه واقعی یا پتانسیل‌های ناشی از فرضاً بروز زلزله و... می‌باشد (Jafari, 1996). برای سوانح مختلف مناطق مختلفی نیز در معرض خطر می‌باشند که در مدیریت بحران لازم است، شناسایی شوند. مکان‌یابی خطر در سوانح بستگی به عوامل مختلفی دارد که عبارتند از:

- فراوانی و تکرار خطر
- بزرگی یا شدت خطر
- شرایط محیطی

مکان‌یابی خطر به مسئولین کمک می‌کند که نیروهای خود را متمرکز نموده و آگاهی‌های لازم را کسب و به اطلاع عموم برسانند. با مکان‌یابی دقیق، هزینه‌های هشدار و آگاه‌سازی عمومی کاهش می‌یابد. هم‌چنین مکان‌یابی خطر سوانح مختلف برنامه‌های توسعه شهری و منطقه‌ای، به برنامه‌ریزان کمک شایانی می‌نماید تا از توسعه در مناطق پرخطر پرهیز نمایند؛ بنابراین، مکان‌یابی خطر در سوانح مختلف مانند زلزله، رانش زمین و... عامل بسیار مهم در آمادگی و هشدارهای سوانح است (Zare, 2016: 484).

در اولین گام از فرآیند مدیریت ریسک لازم است محدوده سامانه، اجزای سامانه و ارتباطات بین اجزاء به طور کامل شناسایی و تعریف شود، سپس فرآیند ارزیابی ریسک در محدوده تعریف شده انجام گیرد. این فرآیند شامل سه فاز عمده است:

۱. شناسایی مخاطره؛
۲. تجزیه و تحلیل ریسک (شناسایی عوامل و عواقب هرخطر، ارزیابی خسارات و تعیین سطوح ریسک)؛
۳. کنترل ریسک (شناسایی راه حل‌های مختلف، انتخاب بهترین گزینه‌ها، بازنگری و کنترل) (Zare, 2016: 484).

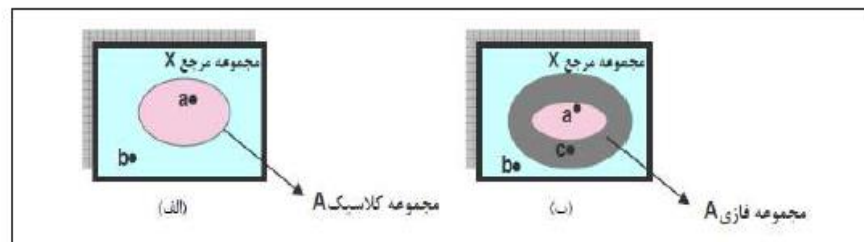
مدل فازی^۱:

برای پی بردن به مفهوم مجموعه‌های فازی لازم است این مجموعه‌ها را با مجموعه‌های کلاسیک مورد مقایسه قرار دهیم. مجموعه‌های کلاسیک و فازی زیر مجموعه‌هایی از یک توابع مرجع می‌باشند. فرض کنید X مجموعه مرجع و A یک زیر مجموعه کلاسیک از X باشد به طوری که در حالت الف شکل ۱ مشاهده می‌شود، مجموعه کلاسیک A دارای مرز

دقیق، صریح و معین می‌باشد. بنابراین هر المان از مجموعه مرجع X یا به مجموعه A تعلق دارد یا ندارد. به عبارت دیگر عضویت یک المان به مجموعه A می‌تواند به صورت یک گزاره درست یا نادرست باشد که مقادیر صفر و یک به ترتیب به گزاره‌های مذکور تخصیص داده می‌شود. بنابراین در صورتی که المان مانند a به مجموعه کلاسیک A تعلق داشته باشد، گوئیم درجه عضویت المان مزبور به مجموعه A برابر یک می‌باشد و در صورتی که المانی نظیر b به مجموعه A متعلق نباشد، درجه عضویت b به مجموعه A برابر صفر است. اگر درجه عضویت المان x به مجموعه A با $\chi_A(x)$ نشان داده شود، خواهیم داشت:

$$\chi_A(x) = \begin{cases} 1 & \text{if } x \in A \\ 0 & \text{if } x \notin A \end{cases} \quad \text{رابطه (۱)}$$

بر خلاف مجموعه‌های کلاسیک، مرز مجموعه‌های فازی به صورت صریح و دقیق نبوده بلکه به صورت یک باند می‌باشد. مجموعه $\tilde{A}$ در حالت ب شکل ۱ یک مجموعه فازی از مجموعه مرجع X را نشان می‌دهد که در آن المان a کاملاً به مجموعه $\tilde{A}$ تعلق ندارد و المان b اصلاً به این مجموعه تعلق ندارد. اما المان c بر روی مرز مجموعه $\tilde{A}$ واقع بوده، بنابراین درجه عضویت آن به مجموعه فازی $\tilde{A}$ عددی بین صفر و یک خواهد بود (Korupzan Dasfully, 2005: 170-205).



شکل ۱ الف وب: مقایسه مجموعه کلاسیک و فازی

Source:(Dasfully, 2005: 170-205)

مواد و روش‌ها

جهت انجام این پژوهش از نقشه‌های پایه منطقه مورد مطالعه شامل: نقشه‌های زمین‌شناسی، خطوط گسل‌ها، توپوگرافی و ... از منابع مختلف گردآوری شد و پایگاه اطلاعاتی در محیط GIS تشکیل شد. لایه خطوط گسل و زمین‌شناسی با مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ منطقه مورد مطالعه تهیه و وارد پایگاه اطلاعات گردید. نقشه‌های ارتفاع و شیب زمین از مدل رقومی ارتفاع (DEM) منطقه (۱۲/۵ متر) به دست آمدند. نقشه راه‌های منطقه، سکونتگاه‌های شهری و روستای و شبکه زهکشی نیز از نقشه‌های توپوگرافی استخراج شدند. نقشه لیتولوژی و لغزش‌های موجود نیز از اداره کل منابع طبیعی استان

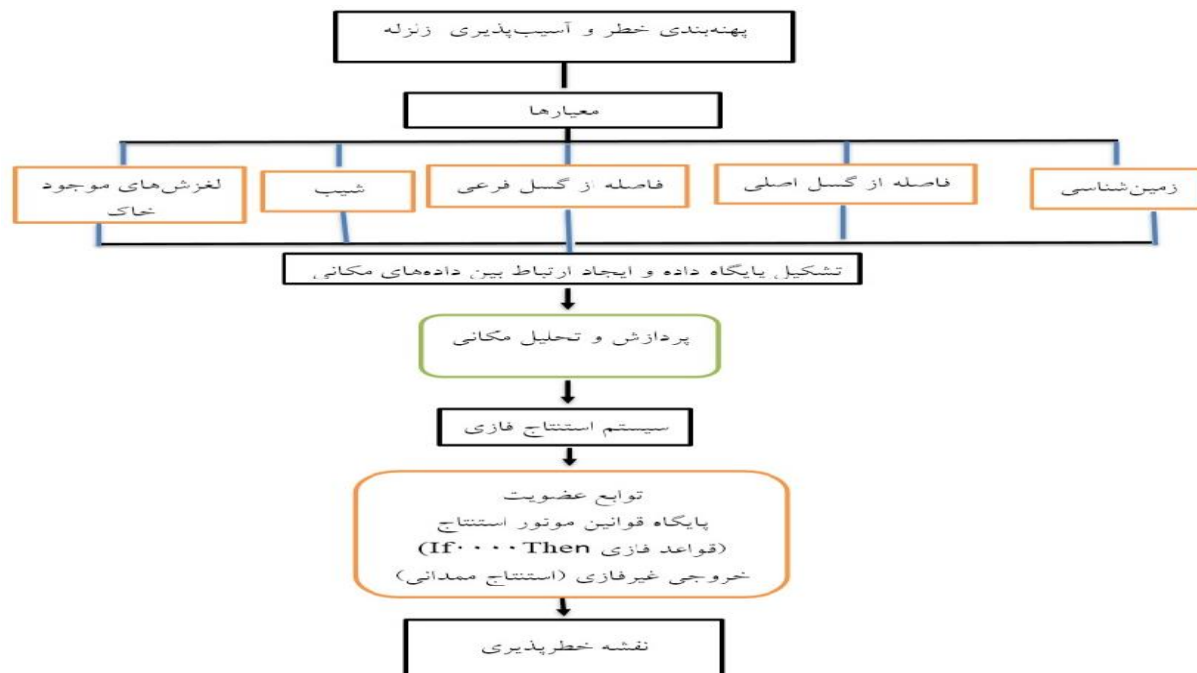
دریافت گردید. شش نقشه معیار شامل: نقشه‌های فاصله از گسل (گسل اصلی و فرعی)، فاصله از زمین‌لغزش‌های موجود، زمین‌شناسی، شیب و جنس زمین یا خاک به عنوان معیارهای ارزیابی آسیب‌پذیری ناشی از زلزله در نظر گرفته شدند. ضمناً یادآوری می‌گردد در میزان آسیب‌پذیری سکونتگاه‌ها در برابر زلزله، عوامل مربوط به مهندسی ساختمان و کیفیت بناها (طول عمر بنا، کیفیت و ترکیب مصالح...) نیز دخالت دارند که در نظر گرفتن آنها برای ریز پهنه‌بندی و برآورد میزان خسارتهای احتمالی ضرورت دارد و البته نیازمند کار مفصل و جداگانه‌ای است.

روش انجام این پژوهش، توصیفی-تحلیلی است. در مرحله جمع‌آوری اطلاعات و داده‌های اولیه، از مطالعات کتابخانه‌ای و همچنین، مطالعات و برداشت‌های میدانی، مصاحبه با کارشناسان و توزیع پرسشنامه بین خبرگان مرتبط باموضوع مورد مطالعه استفاده شد. در انتخاب معیارها دقت کافی شد تا بتوان دید جامع و نظام‌مندی نسبت به موضوع داشته باشیم. در این مطالعه، مدل مثلی و فازی‌سازی آنها در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی به عنوان مدل ارزش‌دهی معیارها انتخاب شد که در بخشهای بعدی در باره مراحل محاسبه به تفصیل بحث خواهند شد. در مرحله بعد، معیارهای ذکر شده و فازی با تلفیق‌سازی داده‌ها با استفاده از توابع تحلیل نرم‌افزار سیستم اطلاعات جغرافیایی به همپوشانی لایه‌ها پرداخته شد که نتیجه آن استخراج نقشه نهایی است که نشان‌دهنده مناطق مختلف از لحاظ حساسیت به زلزله می‌باشد. پارامترهای زیادی می‌توانند در میزان آسیب‌پذیری ناشی از زلزله در شهرستان سوادکوه تاثیرگذار باشند. از آن جمله می‌توان به عوامل مربوطه به مهندسی ساختمان و کیفیت بناها (طول عمر بنا، کیفیت و ترکیب مصالح) اشاره داشت. با توجه به محدودیت دسترسی به منابع داده، فاکتورهای موثر در ارزیابی میزان آسیب‌پذیری در این تحقیق به ۶ دسته تقسیم می‌شوند:

۱. زمین شناسی
۲. فاصله از گسل اصلی
۳. فاصله از گسل فرعی
۴. شیب
۵. لغزش‌های موجود
۶. جنس خاک

منطق فازی

این نظریه قادر است بسیاری از مفاهیم، متغیرها و سیستم‌هایی را که نادقیق و مبهم‌اند صورت‌بندی ریاضی بخشیده و زمینه را برای استدلال، کنترل و تصمیم‌گیری در شرایط عدم اطمینان فراهم آورد (Poor Ahmad et al., 2007:31-42). فلوچارت مراحل تحقیق در شکل (۲) نشان داده شده است.



شکل ۲: نمودار مراحل تحقیق (Source: Research Findings, 2020)

برای ترکیب معیارها روش‌های مختلفی وجود دارد که مهم‌ترین آنها شامل: منطق بولین یا منطق صفر و یک، منطق همپوشانی، منطق احتمالات، ضریب همبستگی، شبکه‌های عصبی مصنوعی و منطق فازی می‌باشند. با توجه به ماهیت موضوع پژوهش حاضر، کمیت و کیفیت داده‌ها و دامنه داده‌ها، از بین روش‌های مختلف مذکور، منطق فازی انتخاب شده است. منطق فازی با استفاده از عبارات زبانی و کیفی به ارائه تابع نشانگری از درجه عضویت اشیاء، پدیده‌ها و موضوعات مطالعه شده می‌پردازد که هر عنصر X موجود در مجموعه A با آن درجه به مجموعه فازی A تعلق پیدامی کند. به عبارت دیگر عنصر X در مجموعه فازی A ویژگی یا ویژگی‌های موردنظر را با درجه‌های مختلف برآورد می‌کند که به وسیله مفهوم درجه عضویت نشان داده می‌شود (Goli and Asgari, 2006:139-158). اگر U مجموعه مرجعی باشد که هر عضو آن با x نمایش داده شود، مجموعه فازی در U به وسیله زوج‌های مرتب بیان می‌شوند (رابطه ۲).

$$A = \left\{ \left(x, \mu_A(x) \right) \mid x \in U \right\} \quad \text{رابطه ۲}$$

که در آن، $\mu_A(x)$ تابع عضویت یا درجه عضویت است که میزان تعلق x به مجموعه فازی A را نشان می‌دهد؛ برد این تابع اعداد حقیقی غیرمنفی است که مقدار بیشینه دارد و در حالت عادی به صورت فاصله بسته $[0, 1]$ در نظر گرفته می‌شود (Najmy et al., 2006: 3-9).

فازی کردن

فازی‌سازی اعداد به معنای تبدیل آنها از اعداد ارزشی و قطعی به اعداد فازی می‌باشد. فازی‌سازی به شیوه‌های مختلفی قابل انجام است؛ به این منظور نیز فرمولها و توابع مختلف ارائه شده است. فازی‌سازی می‌تواند به طریق مستقیم صورت گیرد و یا با استفاده از الگوریتمها یا عبارت‌های منطقی انجام شود. انجام محاسبات با اعداد فازی به دلیل ساختار خاص آنها بسیار زمان‌بر و پیچیده است. برای تسهیل و کاربردی کردن اعداد فازی، اعداد فازی مخصوص در محاسبات به کار گرفته می‌شوند. این اعداد خاص به صورت متغیرهای زبانی، فاصله‌ای، مثلثی و دوزنقه‌ای می‌باشند (Ghazanfan, 2006: 23-31 Nojavan and). در این پژوهش اعداد فازی مثلثی به علت سادگی و کاربردی بودن مورد استفاده قرار گرفته است و سپس در مرحله بعد متغیرهای زبانی با استفاده از مقیاس‌های استاندارد به متغیرهای فازی تبدیل می‌شوند. تابع عضویت فازی به صورت رابطه ۳ می‌باشد:

$$\mu_A(x) = \begin{cases} \frac{x-l}{m-l} & l < x < m \\ 1 & x = m \\ \frac{u-x}{u-m} & x < m < u \\ 0 & \text{در غیر اینصورت} \end{cases} \quad \text{رابطه (۳)}$$

عملگرهای مدل منطق فازی

برای هر نقشه معیار می‌توان کلاس‌ها و واحدهای مکانی با درجه‌ای از عضویت بین صفر تا یک تعریف نمود. سپس نقشه‌های معیار را به کمک عملگرهای فازی با هم ترکیب نمود. این عملگرها به صورت زیر می‌باشند: عملگر AND فازی، عملگر OR فازی، عملگر ضرب فازی و عملگر گاما

غیرفازی کردن

همانطور که ملاحظه شد، نتیجه نهایی فرآیند استنتاج یک خروجی فازی است. برای استفاده عملی و امکان به کارگیری آن در تحلیل‌ها و ماهیت عمل انجام گرفته، لازم است خروجی فوق از حالت فازی به مقدار قطعی برگردانده شود. این مرحله که به فرآیند غیرفازی کردن یا نافازی‌سازی معروف است؛ در واقع واحدی است که به صورت تابعی از یک مجموعه فازی به یک مقدار قطعی عمل کرده و وزن هریک از شاخص‌ها را به شکل مقدار عددی و قطعی مشخص می‌کند. روش‌های متنوعی برای نافازی‌سازی فرآیند استنتاج توسعه پیدا کرده‌اند. در روش مرکز ثقل، مقدار قطعی نهایی در واقع مرکز سطح منحنی در مجموعه فازی نهایی است. محاسبه مرکز ثقل عبارت خواهد بود از (رابطه ۴):

$$\text{Def}(T_{SD}) = \frac{\sum_j x_j \cdot \mu_{T_{SD}}(x_j)}{\sum_j \mu_{T_{SD}}(x_j)} \quad \text{رابطه (۴)}$$

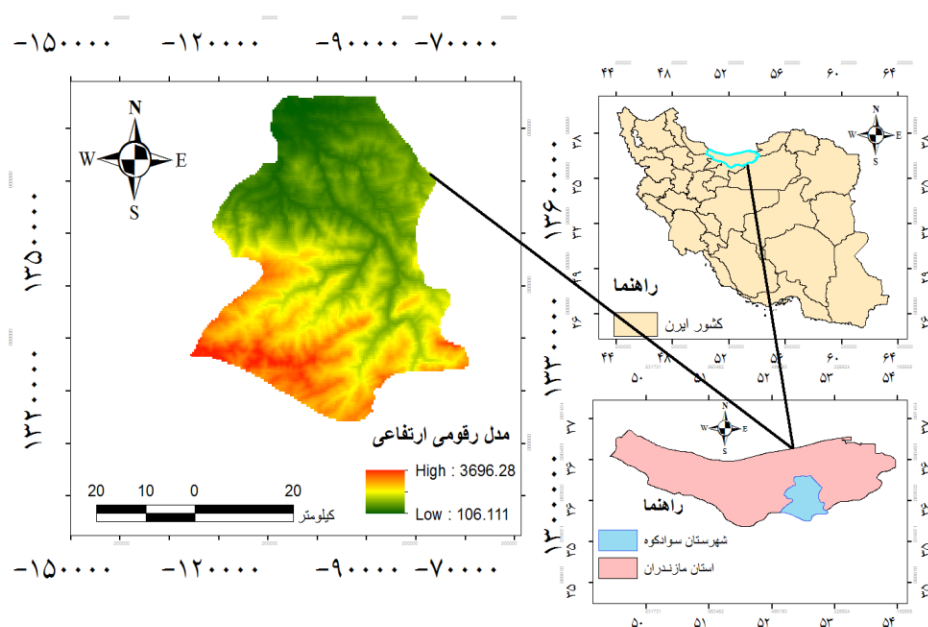
x_i معرف مقدار یا مرکزیت j امین عضو یا مقدار زبانی (سطح زیر منحنی تابع عضویت مربوطه) در مجموعه فازی خروجی روی محور افقی و $\mu_{TSD}(x_j)$ نیز درجه عضویت j امین مقدار زبانی در مجموعه فازی خروجی است. با توجه به جدول وزن هریک از متغیرهای مربوطه محاسبه شده است.

منطق فازی و تلفیق لایه‌ها در سیستم اطلاعات جغرافیایی

توانایی سیستم GIS در آنالیز رستری نقشه، امکان پیاده‌سازی تکنیک‌های مختلفی چون فازی و ... را فراهم می‌سازد، زیرا با تعیین آستانه مثبت و منفی داده‌ها (۰ تا ۱ و نه صفر و یک) درجه عضویت متغیرها، مشخص می‌شود. در منطق فازی، درجه عضویت پذیری، اجتماع و اشتراک، متمم، ضرب، جمع، گاما، توان‌های اساسی این مدل تلفیق محسوب می‌شوند که می‌توان با انتخاب صحیح مقدار گاما پارامترهای کاهش و افزایش را همزمان تلفیق نموده و به مقداری در خروجی‌ها دست یافت که حاصل سازگاری قابل انعطاف میان گرایش‌ات افزایشی و کاهش‌ی عملگرهای ضرب و جمع فازی می‌باشد (Poor Ahmad et al., 2007:31-42).

معرفی منطقه مورد مطالعه

شهرستان سوادکوه یکی از شهرستان‌های استان مازندران است که با وسعت ۱۶/۱۹۰ کیلومتر مربع بین عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۴۹ دقیقه تا ۳۶ درجه و ۲۳ دقیقه در نیمکره شمالی و در بین طول جغرافیایی ۵۲ درجه و ۱۴ دقیقه و ۵۳ درجه نیمکره شرقی در البرز مرکزی و در مجاورت استان تهران قرار گرفته و شهر پل سفید مرکز آن می‌باشد که با شهرسازی (مرکز استان مازندران)، ۷۰ کیلومتر فاصله دارد. سوادکوه از سمت شمال به شهرستان قائمشهر، از جنوب به شهرستان فیروزکوه و استان تهران، از غرب به شهرستان بابل و از سمت شرق به شهرستان ساری و ارتفاعات دودانگه محدود می‌شود. بر اساس آخرین تقسیمات سیاسی کشور، شهرستان سوادکوه از دو بخش به نام‌های مرکزی و زیرآب، سه شهر به نام‌های پل سفید، زیرآب و آلاشت، چهار دهستان به نام‌های سرخ‌کلا با ۲۱ آبادی، راستویی با ۶۷ آبادی، ولویی با ۱۲ آبادی و کسلان با ۴۹ آبادی تشکیل شده است. شکل ۳ موقعیت منطقه مورد مطالعه را در استان مازندران نشان می‌دهد.



شکل ۳: منطقه مورد مطالعه شهرستان سوادکوه (Source: Authors, 2020)

طبق نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه از تشکیلات کرتاسه، ژوراسیک و تریاس که مربوط به دوران دوم زمین‌شناسی هستند، تشکیل یافته که از جنس ماسه‌سنگ، سنگ‌آهک، مارن، سیلت، شیل، آرژلیت و کنگلومرا می‌باشند. این گونه مواد اصولاً ارتفاعاتی با دامنه‌های کم شیب حادث می‌کنند. در مناطقی که از ماسه‌سنگ شکل گرفته‌اند، ارتفاعات و دامنه‌های آن دارای شیب بیشتری است. علت اصلی به هم‌خوردگی طبقات و بی‌نظمی در کتاکت لایه‌ها مربوط به عبور رود تالار و فرسایش ناشی از آن و همچنین عبور گسل‌های اصلی و فرعی می‌باشد. نتیجه اینکه قسمت اعظم نواحی مرکزی و جنوبی شهرستان مربوط به سنگ‌های دوران مزوزئیک بوده و عمدتاً از سازند الیکا تشکیل شده‌اند که بخش اعظم آن دارای پوشش جنگلی انبوه است، سازند الیکا مشتمل بر سنگ‌های دوره تریاس است که البته در دامنه‌های جنوب در ستیغ البرز مرکزی، قسمت‌هایی از دراسله، شش رودبار بدون جنگل و اما بخشی از آن به خصوص در فصل بهار و

تابستان پوشیده از مراتع ییلاقی است. در دامنه‌های تند سنگ مادر رخنمون دارد به دلیل شیب زیاد و فرسایش مکانیکی از جمله یخبندان‌های فصلی اواخر پاییز و زمستان، فرسایش مکانیکی در نواحی جنوبی این سازند نسبتاً شدید است. ساخت‌های تکتونیکی البرز مرکزی اصولاً روندی شمال شرقی - جنوب غربی دارند که گسل‌ها و محورهای عمده چین-های محدوده مورد مطالعه نیز از این روند تبعیت کرده‌اند. علاوه بر این، گسل‌های عرضی و کوچک نیز در منطقه فراوانند که عموماً با گسل‌های اصلی هم روند هستند. در بخش جنوب شرقی محدوده بخشی از آهک‌های لار در اثر گسل‌ها شدیداً فرو لغزیده و از امتداد اصلی خارج شده است. هم‌چنین در محل بن‌تنگه بخشی عظیمی از آهک‌های فوق روی بخش زیرین و به سمت شمال روی شیل و ماسه سنگ‌های زیرین لغزیده است، به طوری که در امتداد جاده خطیر کوه تکه‌های خرد شده آهک‌ها را می‌توان دید. ولی آنچه مسلم است روند کلی تکتونیکی محدوده روند کلی سلسله جبال البرز یعنی امتداد شمال شرقی - جنوب غربی است و گسل‌های مهم منطقه همچون گسل خزر، شمال البرز، صبور، بادله، هیکوه و میلا از روند فوق تبعیت می‌کنند (Saeedpour, 1996). گسل خزر به درازای حدود ۶۰۰ کیلومتر، مرز بین زون کاسپین در شمال و نهشته‌های البرز در جنوب است. ساختگاه این گسله بر مجموعه‌ای از گسل‌های نرمالی منطبق است که در راستای آنان فرونشینی صورت پذیرفته است. تجدید فعالیت این گسل به صورت معکوس سبب رانده شدن سازندهای جنوبی بر روی نهشته‌های کواترنر دشت ساحلی گردید. گسل‌های شمال البرز و خزر، گسل‌های معکوس با شیب زیاد به سمت جنوب می‌باشند و به نظر می‌رسد که بلوک جنوبی در امتداد گسل البرز به طور معکوس روی قسمت مرکزی متمایل شده، به این ترتیب نهشته‌های تریاس و ژوراسیک را بالا آورده و در کنار نهشته‌های جوانتر کرتاسه و میوسن قرار داده و بلوک مرکزی در امتداد گسل خزر در مجاورت فرونشست خزر قرار گرفته است (Mazandaran Regional Water Company, 1998).

یافته‌های تحقیق

معرفی عوامل و معیارها

در محدوده مورد تحقیق برای پهنه‌بندی مناطق آسیب‌پذیر از رخداد زلزله از مدل منطقی فازی استفاده شد. برای اجرای این مدل از ۶ متغیر مؤثر در پهنه‌بندی آسیب‌پذیری کمک گرفته شد. سپس برای هر یک از معیارهای تحقیق، تابع فازی مربوطه طراحی و نقشه‌های فازی برای هر معیار ترسیم شد (اشکال ۴ تا ۷). نقشه‌های فازی نهایتاً در سیستم اطلاعات جغرافیایی به وسیله عملگرهای جمع، ضرب و گامای فازی با هم ترکیب شدند. این شاخص‌ها یا معیارها عبارتند از:

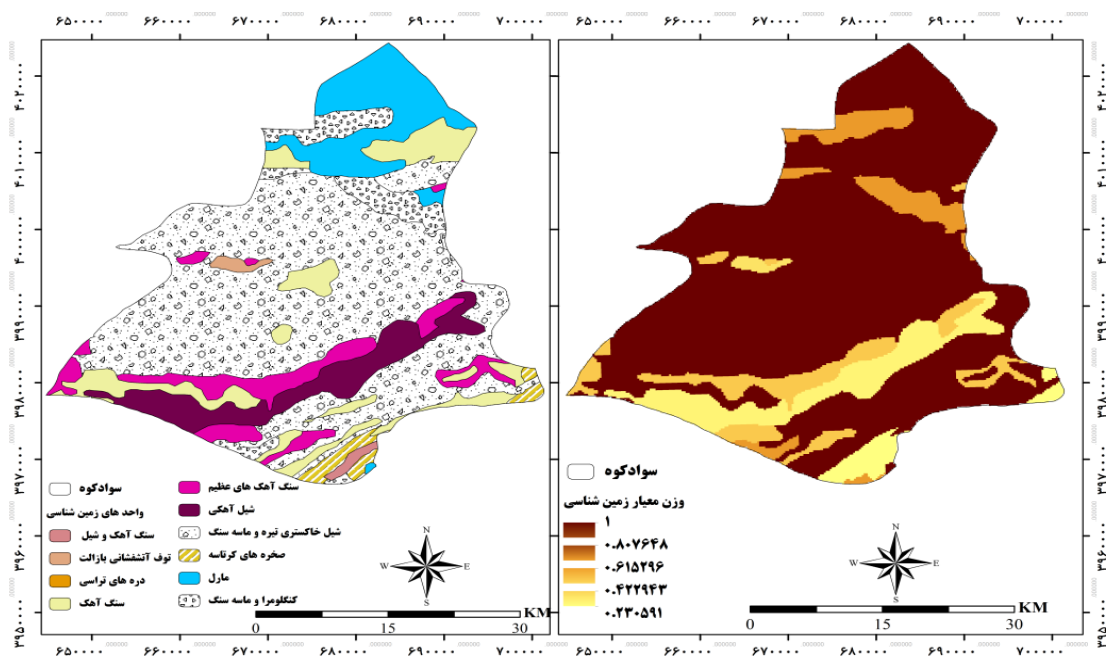
۱. زمین شناسی (C1)
۲. فاصله از گسل اصلی (C2)
۳. فاصله از گسل فرعی (C3)
۴. شیب (C4)

۵. لغزش‌های موجود (C5)

۶. جنس خاک (C6)

شاخص زمین‌شناسی

عامل زمین‌شناسی به عنوان یکی از پارامترهای اصلی در ایجاد خسارت ناشی از زمین‌لرزه به شمار می‌رود. امروزه نقش سازندها در تشدید و تداوم یا کاهش امواج زمین‌لرزه به اثبات رسیده است. به طور کلی برای تخمین آثار ناشی از تغییر سازندهای مختلف زمین‌شناسی بر شدت زلزله می‌توان از زمین‌شناسی سطحی استفاده کرد (Islamic Revolution Housing Foundation, 1996). این عامل در پهنه‌بندی خطرات زلزله به عنوان یک فاکتور مهم مدنظر است. برای استخراج این لایه از نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ سازمان زمین‌شناسی کشور استفاده گردید. این لایه پس از رقومی‌سازی و کلاس‌بندی در مدل مورد استفاده قرار گرفت. به این ترتیب که هر یک از فیله‌های مربوط به لایه کد داده شده و سپس لایه رستری شد. از آنجا که بخش عمده شهر روی سازند شیل خاکستری و ماسه سنگ قرار رفته است، می‌توان گفت خطرپذیری زلزله را بیشتر می‌کند. بنابراین بیشترین امتیاز به آنها داده می‌شود. نوع تابع برای فازی‌سازی آن خطی افزایشی بوده و نقشه فازی آن در شکل (۴) آمده است.

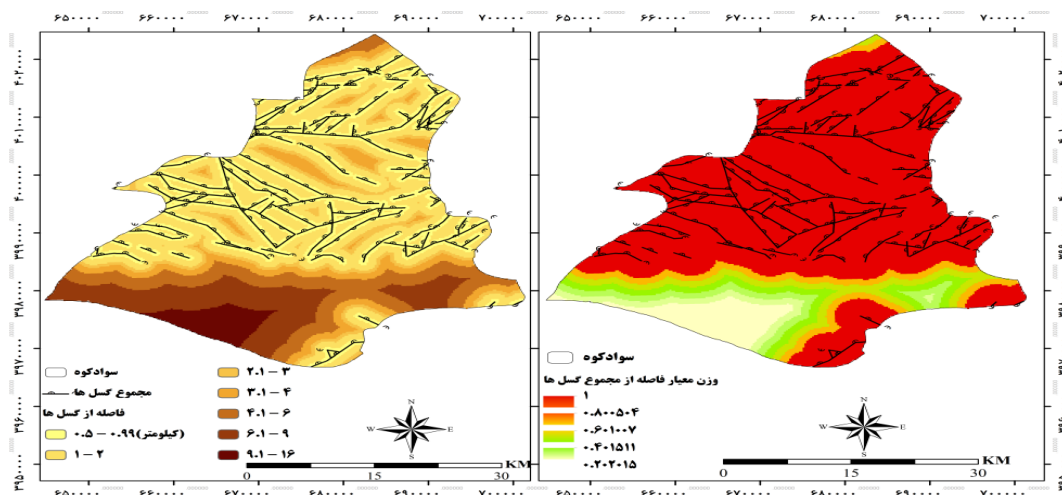


شکل ۴: نقشه زمین‌شناسی (چپ) همراه با نقشه امتیاز فازی (راست)

(Source: Research Findings, 2020)

شاخص فاصله از گسل اصلی و فرعی

وجود گسل‌ها به عنوان عامل مهمی در وقوع حرکات لرزه‌ای در منطقه محسوب می‌شوند. وجود گسل‌های فراوان در منطقه نقش فراوانی در وقوع زلزله دارد. این گسل‌ها منشأ زلزله به شمار می‌روند و در صورت وقوع زلزله، دامنه‌های نزدیک به آن‌ها بیشتر از دامنه‌های دورتر انرژی دریافت می‌کنند و در نتیجه گسیختگی بیشتری را متحمل می‌شوند. مسیری که گسل از آن می‌گذرد دارای ناپیوستگی و کاهش مقاومت نیز می‌باشد. برای تهیه این لایه، خطوط گسل‌های منطقه از نقشه گسل استخراج گردید و سپس در محیط ArcGIS با استفاده از دستور Distance لایه فاصله از گسل تهیه شد و با استفاده از دستور Fuzzy Membership به فازی‌سازی این لایه پرداختیم. بیشتر گسل‌های اصلی با امتداد کلی شرق به غرب و گسل‌های فرعی با امتداد شمال شرق و جنوب غرب می‌باشد که تمام بخش‌های شهر را فرا گرفته است. گسل‌های شهرستان به شکل شکستگی‌های کوچک و بزرگ، در بخش عمده‌ای از شمال شهرستان سوادکوه به چشم می‌خورد، لذا آسیب‌پذیری شهر در مقابل زلزله افزایش می‌یابد. بنابراین، با توجه به وجود گسل‌های اصلی و فرعی متعدد در منطقه سوادکوه، هر چه به حریم گسل‌ها نزدیک‌تر شویم، خطر زلزله بیشتر و بنابراین بیشترین امتیاز داده شده است. نوع تابع برای فازی‌سازی آن خطی افزایشی بوده (Smith, 1996) و نقشه فازی آن در شکل (۵) آمده است. به دلیل وجود گسل‌های متعدد در منطقه سوادکوه، میزان آسیب‌پذیری ناشی از وقوع زلزله خیلی زیاد است.

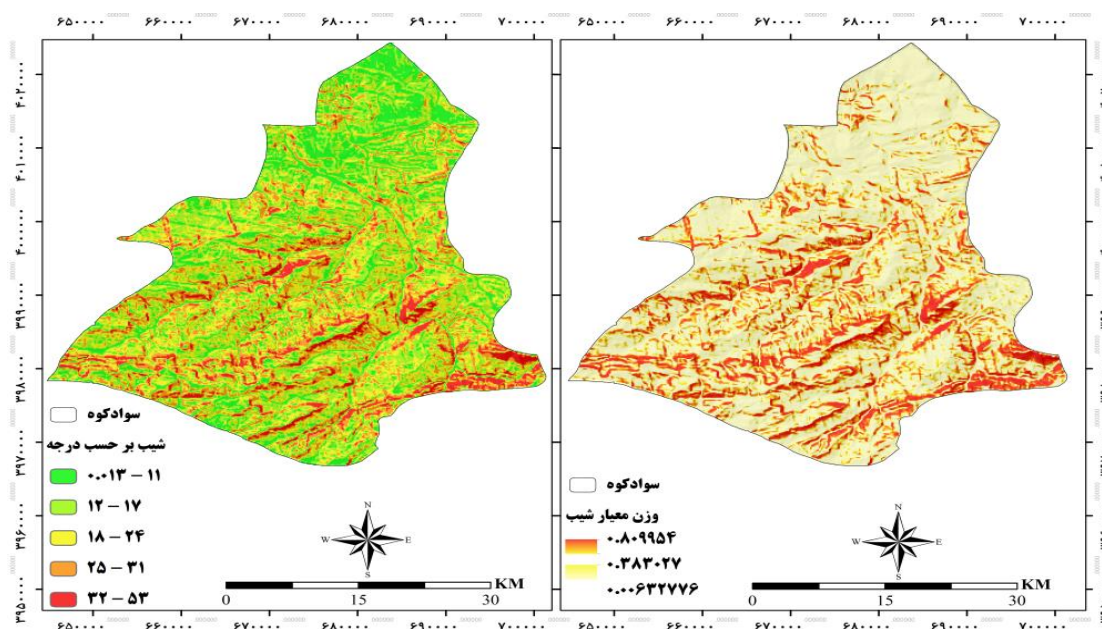


شکل ۵: نقشه فاصله از گسل اصلی و فرعی (چپ) همراه با نقشه امتیاز فازی (راست)

(Source: Research Findings, 2020)

شاخص شیب

وضعیت محلی که ساختمان‌ها بر آن قرار می‌گیرند، اثر مهمی بر میزان تخریب ناشی از حرکت زمین و زلزله دارد. تخریب در زمین‌های با توپوگرافی پرشیب بویژه در خط‌الراسها و قله‌ها به میزان قابل توجهی گسترش می‌یابد (Smith, 1996). این لایه، اطلاعات فراوانی از وضعیت توپوگرافی شهر در اختیار ما قرار می‌دهد. این لایه تولید شده نشان می‌دهد که در مناطق جنوبی شهر سوادکوه شیب‌های تندی وجود دارد و به طور کلی شیب از شمال شهرستان به جنوب آن افزایش می‌یابد، لذا بخش حساس شهر در بخش جنوبی آن مشاهده می‌گردد. این لایه از روی منطقه تهیه گردید و برای استانداردسازی مستقیماً مورد استفاده قرار گرفت. اصولاً زمین‌های با شیب کمتر از ۵ درصد به عنوان زمین‌های مناسب جهت استقرار سکونتگاه‌های انسانی قلمداد می‌شوند و شیب‌های بالای ۱۵ درصد جزو زمین‌های نامناسب جهت این منظور می‌باشد. نوع تابع برای فازی‌سازی آن خطی افزایشی بوده و نقشه فازی آن در شکل (۶) آمده است.



شکل ۶: نقشه شیب (چپ) همراه با نقشه امتیاز فازی (راست)

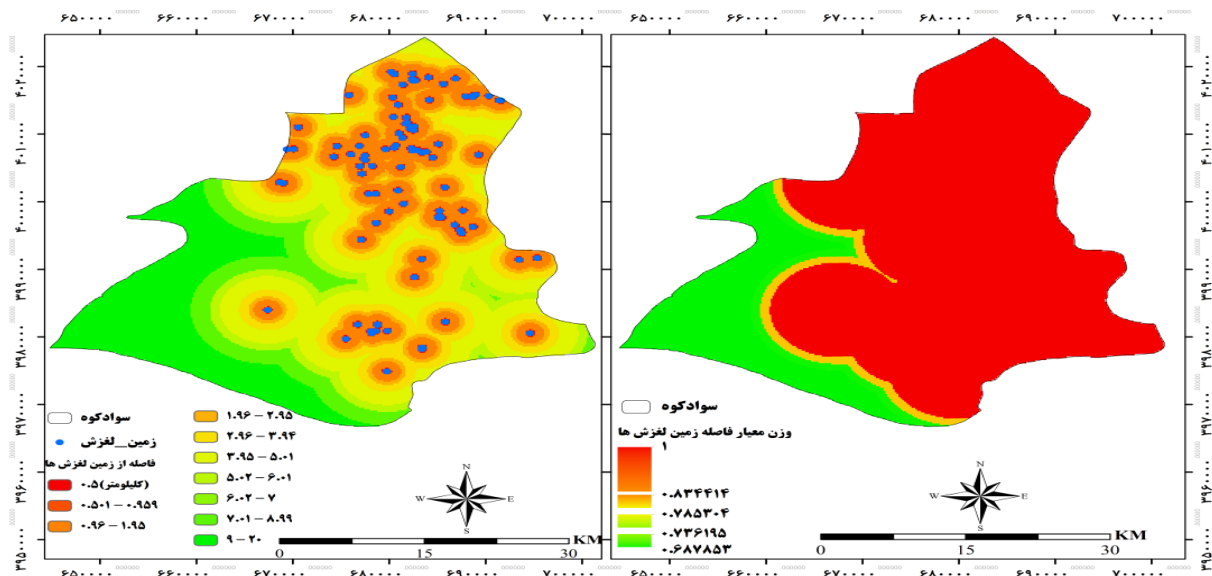
(Source: Research Findings, 2020)

فاصله از لغزش‌های موجود

کلیه ویرانی‌ها و قربانی‌های که در اثر بروز زمین لرزه‌ها به جا گذاشته می‌شوند، مستقیماً و منحصرأً به خود زلزله مربوط نمی‌شود، بلکه بخش مهمی از این خسارات به طور غیر مستقیم، با دخالت پدیده‌های ژئومورفولوژیک صورت

پهنه‌بندی آسیب‌پذیری ناشی از زلزله با استفاده از منطق فازی در GIS (مطالعه موردی: شهرستان سوادکوه) ... ۳۷۰

می‌پذیرند (Rajaei, 1994: 228). زمین‌لغزش به عنوان یکی از حوادث طبیعی خسارت‌آور بوده که با وقوع زمین‌لرزه تشدید می‌شود و عموماً "خسارات زمین‌لغزش‌های تحریک شده به وسیله زلزله از ارتعاشات خود زلزله وخیم‌تر است. روش جمع‌آوری اطلاعات مرتبط با این معیار، مبتنی بر مطالعات میدانی می‌باشد. بدین صورت که با استفاده از شناسنامه‌های لغزش منطقه مورد مطالعه که از اداره کل منابع طبیعی استان مازندران تهیه شده بود، اطلاعات مربوط به ویژگی‌های زمین‌لغزش استخراج و ثبت گردید. لذا این لایه در محیط ArcGIS و با دستور Distance تهیه گردید و با استفاده از دستور Fuzzy Membership به فازی‌سازی این لایه پرداختیم. بخش عمده لغزش‌ها در محدوده شهر قرار گرفته است که اثر تخریبی زمین‌لرزه را تشدید خواهد کرد. به دلیل وجود زمین‌لغزش متعدد در منطقه سوادکوه، هر چه به حریم لغزش نزدیک‌تر شویم، خطر زلزله بیشتر و بنابراین بیشترین امتیاز داده شده است. نوع تابع برای فازی‌سازی این معیار نیز خطی افزایشی بوده و نقشه فازی آن در شکل (۷) آمده است.



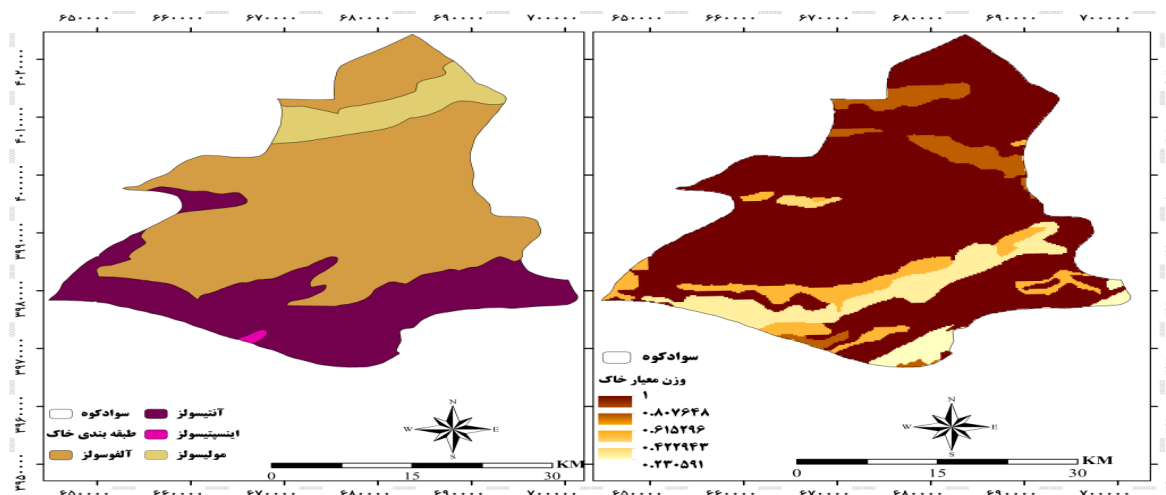
شکل ۷: نقشه لغزش‌های موجود (چپ) همراه با نقشه امتیاز فازی (راست)

(Source: Research Findings, 2020)

شاخص خاک

در تحلیل و بررسی رفتار لرزه‌ای یک سازه، تحریکی که از جانب زمین به سازه اعمال می‌شود برای حالتی که سازه بر زمین و خاک بستر سخت متکی باشد، همان تحریکی است که قبل از احداث سازه در آن نقطه پی وجود دارد، اما در صورتی که سازه بر خاک نرم متکی باشد، تغییرات مهمی در ورود لرزه‌ای سازه رخ خواهد داد. به همین دلیل، در نظر گرفتن جنس خاک برای تهیه نقشه آسیب‌پذیری بسیار موثر است. از آنجا که بخش عمده شهر روی خاک آفوسولز قرار

گرفته است، لذا اثر زلزله تشدید خواهد شد. نوع تابع برای فازی‌سازی این معیار نیز خطی افزایشی بوده و نقشه فازی آن در شکل (۸) آمده است.



شکل ۸: نقشه خاک (چپ) همراه با نقشه امتیاز فازی (راست)

(Source: Research Findings, 2020)

نتایج روش منطق فازی

در این گام، ابتدا مقایسات زوجی معیارها تشکیل می‌شود و نرخ ناسازگاری جداول محاسبه شد که همگی از ۰/۱ کوچکتر بود که نشان دهنده این است که ثبات و قابلیت اطمینان مقایسات زوجی در حد قابل قبولی است، سپس با استفاده از روش میانگین هندسی پاسخها ادغام شد و در قالب مقایسات زوجی ادغام شده در ادامه آورده شده است. اوزان مقایسات زوجی نیز با استفاده از روش میانگین هندسی باکلی محاسبه شده است.

تشکیل مقایسات زوجی

در این بخش مقایسات زوجی معیارهای اصلی و سپس زیر معیارها تشکیل می‌شود. این مقایسات زوجی بر اساس طیف ۱ تا ۹ فازی انجام می‌گیرد (جدول ۱).

جدول ۱: مقایسات زوجی معیارها

زمین شناسی	فاصله از گسل اصلی	فاصله از گسل فرعی	شیب	لغزش‌های موجود	جنس خاک
(۱، ۱، ۱)	(۳/۰۲، ۲/۵۱)	(۱/۳۶، ۱/۶۳)	(۴/۰۴، ۴/۹۱، ۵/۸۱)	(۵/۳۰، ۶/۲۶)	(۵/۲۰، ۶/۳۱)

(۴/۲۴)	(۴/۴۰)	(۱/۱۴)	(۲/۶۱)		
۲/۴۴، ۳/۱۵)	(۳/۴۹، ۴/۱۱، ۴/۷۰)	۲/۲۵، ۲/۸۰)	۰/۸۶، ۱/۱۴)	(۱، ۱، ۱)	۰/۳۳، ۰/۳۸)
(۱/۹۵		(۱/۲۲۴	(۰/۶۷		(۰/۲۸
۴/۲۷، ۵/۲۹)	۴/۲۶، ۵/۰۳)	۴/۸۴، ۵/۵۰)	(۱، ۱، ۱)	۱/۱۵، ۱/۴۷)	۰/۷۳، ۰/۸۷)
(۳/۲۱	(۳/۵۹	(۴/۲۲		(۰/۸۷	(۰/۶۱
۱/۵۳، ۲/۱۲)	(۰/۵۶، ۰/۷۰، ۰/۸۹)	(۱، ۱، ۱)	۰/۲۰، ۰/۲۳)	۰/۴۴، ۰/۵۸)	(۰/۱۷، ۰/۲۰، ۰/۲۴)
(۱/۱۵			(۰/۱۸	(۰/۳۵	
۰/۷۶، ۰/۹۷)	(۱، ۱، ۱)	(۱/۱۲، ۱/۴۱، ۱/۷۸)	۰/۲۳، ۰/۲۷)	۰/۲۴، ۰/۲۸)	(۰/۱۶، ۰/۱۸، ۰/۲۲)
(۰/۵۹			(۰/۱۹	(۰/۲۱	
(۱، ۱، ۱)	(۱/۰۲، ۱/۳۰، ۱/۶۷)	(۰/۴۷، ۰/۶۵، ۰/۸۶)	۰/۲۳، ۰/۳۱)	(۰/۳۱، ۰/۴۰، ۰/۵۱)	(۰/۱۵، ۰/۱۹، ۰/۲۳)
		(۰/۱۸			

(Source: Research Findings, 2020)

محاسبه اوزان فازی و نرمالکردن

در این گام، ابتدا میانگین هندسی اعداد فازی هر سطر جدول (۱) را محاسبه می‌کنیم و سپس هر میانگین هندسی حاصل را بر مجموع میانگین‌های هندسی تقسیم می‌کنیم تا وزن فازی حاصل شود، سپس هر وزن فازی را با استفاده از رابطه $\frac{l+2m+u}{4}$ غیرفازی می‌کنیم و برای نرمال‌سازی هر وزن غیرفازی کفایت آن وزن را بر مجموع وزن‌های غیرفازی تقسیم کنیم. به عنوان مثال برای معیار C1 در جدول (۱) محاسبات به صورت زیر است:

ابتدا میانگین هندسی درایه‌های سطرهای جدول (۱) را محاسبه می‌کنیم که به صورت زیر می‌شود.

میانگین هندسی سطر اول

رابطه (۱۰)

$$= \left[(1, 1, 1) \times (2.616, 3.024, 3.518) \right. \\ \times (1.144, 1.364, 1.633) \times (4.046, 4.918, 5.815) \\ \times (4.407, 5.309, 6.268) \\ \left. \times (4.241, 5.207, 6.312) \right]^{1/6}$$

به طریق مشابه برای سطرهای دیگر نیز این محاسبات صورت می‌گیرد که نتایج در ستون دوم جدول ۲ برای کلیه سطرهای آورده شده است، سپس مجموع تمامی این میانگین‌های هندسی را بدست می‌آوریم که برابر با (۴/۳۰۶، ۵/۲۲۲)،

۴۰. فصلنامه علمی - پژوهشی نگرش‌های نو در جغرافیای انسانی - سال هفدهم، شماره یکم، زمستان ۱۴۰۳

۳/۵۲۵ می‌شود. سپس وزن فازی هر معیار برابر با میانگین هندسی سطر آن معیار تقسیم بر مجموع میانگین‌های هندسی. به عنوان مثال برای معیار C1 وزن فازی به صورت زیر می‌شود:

$$\text{وزن فازی } S = \frac{(2.468, 2.872, 3.313)}{(6.591, 7.788, 9.141)} = (0.27, 0.369, 0.503) \quad \text{رابطه (۱۱)}$$

برای کلیه معیارها نیز عملیات مشابه صورت می‌گیرد که وزن‌های فازی در ستون سوم جدول (۲) آورده شده است. سپس برای غیرفازی کردن هر وزن فازی به طریق زیر انجام می‌شود.

$$\text{وزن غیر فازی } C1 = (0.27, 0.369, 0.503) \Rightarrow \text{وزن فازی } C1 \quad \text{رابطه (۱۲)}$$

$$= \frac{0.27 + 2 \times 0.369 + 0.503}{4} = 0.378$$

برای کلیه معیارها نیز این فرآیند صورت می‌گیرد که نتایج در ستون چهارم جدول (۲) آورده شده است. سپس برای نرمال‌سازی هر وزن غیرفازی به طریق زیر عمل می‌کنیم.

$$\text{وزن نرمال } C1 = 0.378 \Rightarrow \text{وزن غیر فازی } C1 \quad \text{رابطه (۱۳)}$$

$$\frac{0.378}{0.378 + 0.181 + 0.270 + 0.070 + 0.063 + 0.067} = 0.368$$

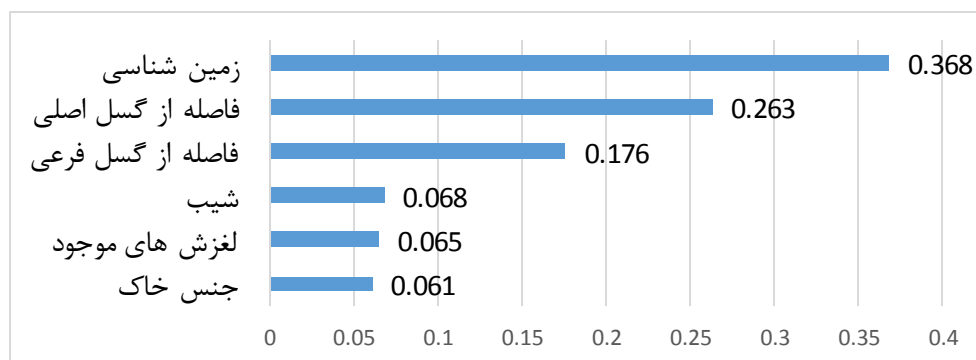
جدول ۲: وزن فازی و غیرفازی معیارهای اصلی

وزن	وزن غیر فازی	(وزن فازی) $\bar{W}$	(میانگین هندسی) $(\prod_{j=1}^n \bar{P}_{ij})^{1/n}$	نام معیار
۰/۳۶۸	۰/۳۷۸	(۰/۲۷۰ ، ۰/۳۶۹ ، ۰/۵۰۳)	(۲/۴۶۸ ، ۲/۸۷۲ ، ۳/۳۱۳)	زمین شناسی
۰/۱۷۶	۰/۱۸۱	(۰/۱۲۵ ، ۰/۱۷۶ ، ۰/۲۴۶)	(۱/۱۴۷ ، ۱/۳۶۷ ، ۱/۶۲۲)	فاصله از گسل اصلی

فاصله از گسل فرعی	(۰/۳۶۴، ۰/۲۶۳، ۰/۱۸۸)	(۰/۲۷۰، ۰/۲۶۳، ۰/۳۶۴)
شیب	(۰/۰۹۶، ۰/۰۶۷، ۰/۰۴۸)	(۰/۰۷۰، ۰/۰۶۷، ۰/۰۴۸)
لغزش های موجود	(۰/۰۸۵، ۰/۰۶۱، ۰/۰۴۴)	(۰/۰۶۳، ۰/۰۶۱، ۰/۰۴۴)
جنس خاک	(۰/۰۹۳، ۰/۰۶۴، ۰/۰۴۵)	(۰/۰۶۷، ۰/۰۶۴، ۰/۰۴۵)
$\sum \left(\prod_{j=1}^n \bar{p}_{ij} \right)^{1/n}$	(۶/۵۹۱، ۷/۷۸۸، ۹/۱۴۱)	

(Source: Research Findings, 2020)

با توجه به شکل ۹، معیار زمین‌شناسی با وزن ۰/۳۶۸ رتبه اول را کسب کرده است. معیار فاصله از گسل اصلی با وزن ۰/۲۶۳ رتبه دوم و معیار فاصله از گسل فرعی با وزن ۰/۱۷۶ رتبه سوم را کسب کرده است.



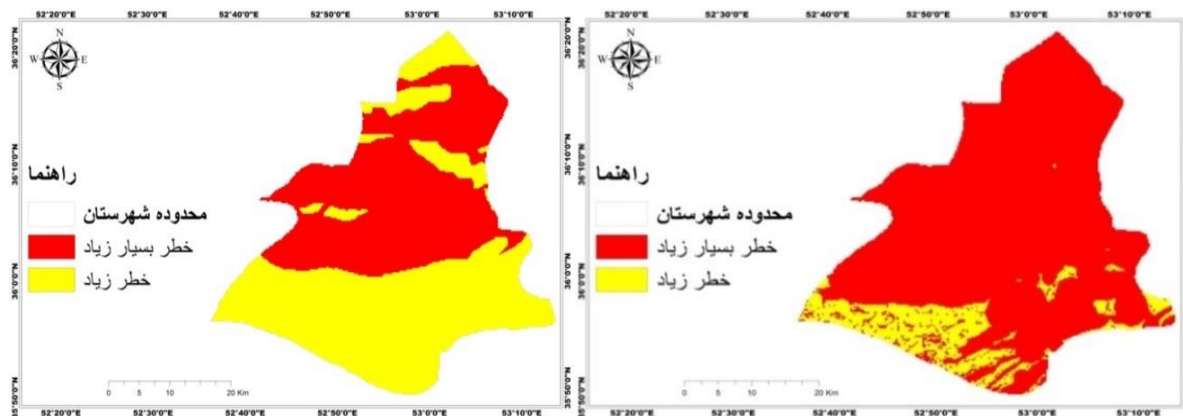
شکل ۹: اوزان معیارهای اصلی (Source: Research Findings, 2020)

نتایج پهنه‌بندی خطر ناشی از زلزله

در تهیه نقشه نهایی پهنه‌بندی زلزله که از مدل منطق فازی استفاده شده است، بعد از تهیه نقشه فازی شده شاخص‌های مورد استفاده در این تحقیق، با دستور Raster Calculator این لایه‌های فازی شده را با اوزان بدست آمده در جدول (۲) و شکل ۹ ضرب می‌کنیم که حاصل آن، لایه‌های دارای وزن هر معیار می‌باشد و در نهایت نقشه‌نهایی را با دستور Fuzzy Overlay که تمامی لایه‌های دارای وزن را با عمگرهای مختلف (شکل‌های ۱۰ تا ۱۵) سنجیده شده و نقشه پهنه‌بندی زلزله نهایی را با توجه به نقشه پهنه‌بندی تهیه شده برای کل کشور (شکل ۱۴)، که توسط سازمان زلزله‌شناسی تهیه

۴۲. فصلنامه علمی - پژوهشی نگرش‌های نو در جغرافیای انسانی - سال هفدهم، شماره یکم، زمستان ۱۴۰۳

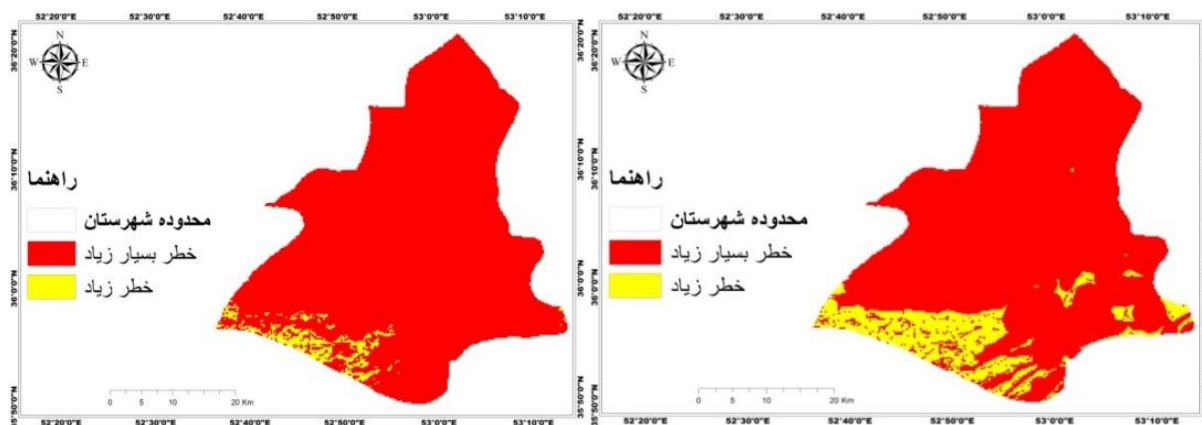
شده است، با یکدیگر مقایسه نموده و از بین این عملگرها تنها عملگر SUM با نقشه پهنه‌بندی کل کشور ارتباط بیشتری داشته و نقشه نهایی پهنه‌بندی زلزله شهرستان نیز بر اساس این عملگر بدست آمده است.



شکل ۱۱: نقشه فازی زلزله با عملگر OR

شکل ۱۰: نقشه فازی زلزله با عملگر AND

(Source: Research Findings, 2020)

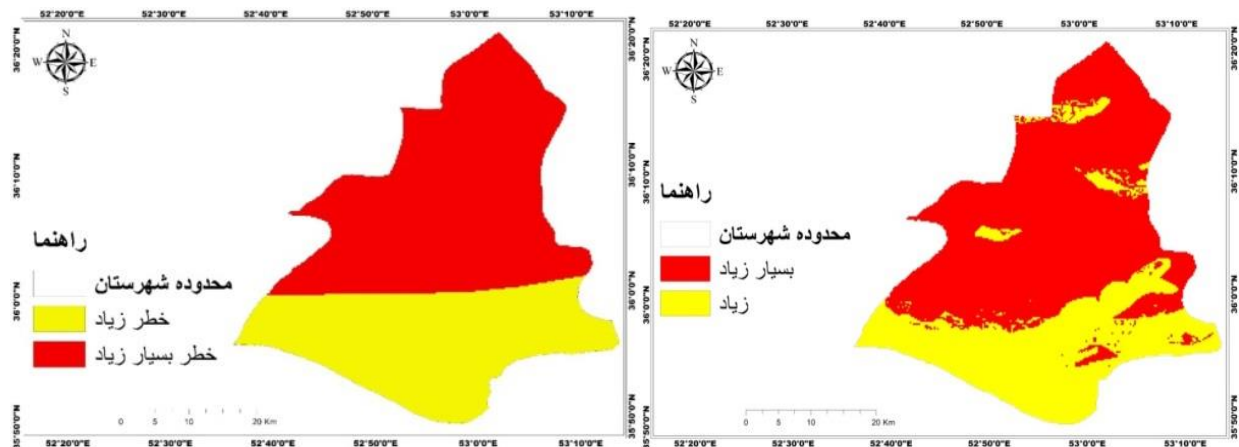


شکل ۱۳: نقشه فازی زلزله با عملگر Product

شکل ۱۲: نقشه فازی زلزله با عملگر GAMMA

(Source: Research Findings, 2020)

پهنه‌بندی آسیب‌پذیری ناشی از زلزله با استفاده از منطق فازی در GIS (مطالعه موردی: شهرستان سوادکوه) ... ۴۳



شکل ۱۴: نقشه فازی زلزله با عملکرد SUM شکل ۱۵: نقشه پهنه‌بندی زلزله شهرستان سوادکوه بر اساس نقشه کل کشور

(Source: Research Findings, 2020)

این نقشه در ۲ کلاس طبقه‌بندی شده است که پهنه‌های با خطر بسیار زیاد پهنه‌ای حدود ۶۴/۱۹ درصد از مساحت شهرستان را پوشش می‌دهد و هم‌چنین حدود ۳۵/۸۱ درصد از مساحت در محدوده با خطر زیاد قرار دارد. نقشه نهایی پهنه‌بندی خطر زلزله با نقشه پهنه‌بندی خطر کل کشور تطابق داشته و این پهنه‌بندی دارای قطعیت می‌باشد (جدول ۳).

جدول ۳: مساحت هر یک از پهنه‌های مخاطره مربوط به زلزله

پتانسیل خطر	مساحت (کیلومتر مربع)	درصد مساحت
زیاد	۵/۷۹	۳۵/۸۱
بسیار زیاد	۱۰/۳۹	۶۴/۱۹
کل	۱۶/۱۹	۱۰۰

(Source: Research Findings, 2020)

نتیجه‌گیری و دستاورد علمی و پژوهشی

روند رو به رشد و فزاینده شهرنشینی و جمعیت شهری به عنوان عاملی برای خسارات زیاد به هنگام بروز بلایای طبیعی می‌باشد. گسترش شبکه‌های ارتباطی و زیر ساخت‌های شهری از یک طرف و عدم رعایت ابتدایی‌ترین نکات ایمنی در ساخت و سازهای شهری و بدون برنامه بودن رشد و توسعه شهر از سوی دیگر، زمینه ایجاد خسارات زیاد در زمان وقوع زلزله را فراهم می‌سازد. هدف تحقیق حاضر پهنه‌بندی پتانسیل آسیب‌پذیری ناشی از خطر زلزله با استفاده از معیارهای مؤثر و الگوریتم منطق فازی صورت گرفت که بدین منظور تعداد ۶ معیار شامل شیب، زمین‌شناسی، خاکشناسی، فاصله از گسل اصلی، فاصله از گسل فرعی و فاصله از لغزش‌های موجود به عنوان معیارهای مورد مطالعه انتخاب شده و با به کارگیری منطق فازی و توابع عضویت آن و با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) اقدام به تولید لایه‌های وزن‌دار از معیارهای مذکور شده است. نتایج نشان می‌دهد که به کارگیری مجموعه‌های فازی در کمی کردن و بالا بردن دقت بسیار مؤثر و مناسب‌تر نسبت به سایر روش‌های کیفی و سلسله مراتبی می‌باشد. جهت تعدیل حساسیت خیلی بالای عملگر ضرب فازی و حساسیت خیلی کم جمع فازی برای دستیابی به نتیجه بهتر از تمامی عملگرهای فازی استفاده شد. به دلیل عوارض و عوامل ناشی از ژئومورفولوژیکی ساختمانی همچون حضور گسل‌های اصلی و لرزه‌زا در منطقه که نشانه فعال بودنشان از نظر تکتونیکی در منطقه است. این گسل‌ها در محدوده مورد مطالعه از شرق به غرب کشیده شده است و بیشترین پراکندگی آنها در شمال و مرکز محدوده مطالعه است و شواهد آن در خود شهر سوادکوه قابل مشاهده است. همچنین به دلیل جنس لایه‌های زمین در منطقه و گسترش شهر بر روی سازندهای کم ضخامت (پادگانه‌ها، مخروط افکنه‌ها) و برون‌زدگی‌های آبرفت‌های قدیمی‌تر بر روی آبرفت‌های جدیدتر، حضور گسل‌های اصلی و لرزه‌زا و شبکه‌های آبرفتی و رود دره‌ها که در این محدوده قرار دارند، می‌توان گفت که این فرایندها و مخاطرات ژئومورفولوژیک زلزله محدود کننده توسعه امنیت در شهرستان هستند و می‌توانند خطرپذیری زلزله را بیشتر کنند، با شناسایی این فرایندها و مخاطرات ژئومورفولوژیک زلزله و پهنه‌بندی مناطق خطر زلزله و به کارگیری تمهیدات ویژه، می‌توان از میزان خسارات جانی و مالی ناشی از رخداد زلزله کاست و به رفاه، آسایش و امنیت بیشتر و بهتر شهروندان کمک کرد. نتایج بررسی‌ها منجر به تولید نقشه پهنه‌بندی آسیب‌پذیری ناشی از زلزله شده است که با توجه به نقشه پهنه‌بندی کل کشور که توسط سازمان زلزله‌شناسی کشور، عملگر SUM نزدیکی بیشتری با این نقشه داشته و بر همین اساس در این پژوهش از این عملگر در جهت تولید نقشه نهایی پهنه‌بندی خطر زلزله شهرستان سوادکوه استفاده شده است. با توجه به نقشه نهایی بیش‌ترین مساحت شهرستان سوادکوه در معرض آسیب‌پذیری بیشتری از زلزله قرار دارند که نواحی با خطر بسیار زیاد در حدود ۶۴ درصد از مساحت را در بر گرفته است و با توجه به نقشه این نواحی پرخطر دارای سکونتگاه‌های روستایی و شهری بسیار زیادی می‌باشند که در معرض خطر زلزله قرار دارند که شامل نواحی پست و کم شیب در قسمت شمالی شهرستان سوادکوه است. پهنه خطر زیاد نیز بیش از ۳۵ درصد کل شهرستان

را پوشانده است. در راستای کاهش خسارات ناشی از وقوع زلزله، نقشه نهایی طبقه‌بندی آسیب‌پذیری زلزله می‌تواند نواحی مناسب برای استقرار سکونتگاه‌ها و مدیریت بحران در محدوده شهرستان سوادکوه را نشان دهد و مورد استفاده برنامه‌ریزان قرار گیرد. آنچه که مسلم است علم و تکنولوژی انسان در شرایط حاضر نمی‌تواند با وقوع زمین لرزه مقابله نماید و مانع از رخداد آن گردد، بنابراین شایسته است که انسان با استفاده از علم و تکنولوژی خود و اعمال تمهیدات بیشتر نسبت به مخاطرات محیطی سازگاری پیدا کند. می‌توان گفت که بیشترین پهنه‌های خطر در امتداد گسل‌ها قرار می‌گیرند و مناطق کم دوام و فرسوده شهری و روستایی هم بیشتر در پهنه‌های با خطر زیاد و خیلی زیاد قرار گرفته‌اند، که این خود می‌تواند بر میزان خسارات و تلفات ناشی از زلزله بیفزاید. به طور کلی شهرستان مورد مطالعه به شدت در خطر زلزله خیزی قرار دارد و نیازمند توجه اساسی برای کاهش خسارات و تلفات ناشی از زلزله است و هر چه زودتر و بیشتر نیازمند بررسی و فکر چاره است. نتایج پژوهش نشان می‌دهد که به دلیل وجود گسل‌های متعدد و تراکم زیاد جمعیت در این شهرستان و انطباق مناطق کم‌دوام و فرسوده شهری و روستایی که بیشتر در پهنه‌های با خطر بسیار زیاد تا زیاد قرار گرفته‌اند، که این خود می‌تواند در میزان خسارات و تلفات ناشی از زلزله بیفزاید و نیازمند توجه جدی و مدیریت علمی است.

References

- Ahmadi, A., Fathi, S., Akbri, A. 2018. Assessing the resilience of urban environment against natural hazards with emphasis on earthquakes using fuzzy logic and GIS (Case study: Urmia). *Geography and Environmental Hazards* (7) 3, 73-57. [In Persian]
- AsadAmarji, M. 2005. Presenting a Model for Preventing or Reducing Landfall Accidents on Mountain Roads, M.Sc. Thesis, TarbiatModares University, Tehran.
- Asgari, A., Parhizkar, A. 2001. Application of urban planning methods (land use) in reducing the vulnerability of earthquake hazards using GIS; Case study: District 17 of Tehran, *Geographical Research Quarterly*. 11463-11448. [In Persian]
- Banica, A., Rosu, L., Muntele, L., Grozavu, A. 2017. Towards Urban Resilience: A MultiCriteria Analysis of Seismic Vulnerability in Lasi City. (Romania). *Sustainability* 2017, 9, 270. 1-17.
- Chen, K., Xu, W., Mai, P.M., Gao, H., Zhang, L., Ding., X. 2018. The 2017 Mw 7.3 SarpolZahāb Earthquake, Iran: A compact blind shallow-dipping thrust event in the mountain front fault basement. *Tectonophysics*, Vol.1, No.747, 108-114.
- Delavar, M.R., Sadrykia, M., Zare, M. 2017. A GIS-Based Fuzzy Decision Making Model for Seismic Vulnerability Assessment in Areas with Incomplete Data. *International Journal of Geo-Information*. 2017, 6, 119.1-16.
- Goli, Ali., Asgari, Ali. 2006. Application of fuzzy logic in turning a village into a city: Tehran province. *Journal of Humanities Teacher*, 10 (45), 139-158.
- Hosseiniabadi, M., Mousavi, S.M., Nazemi, M. 2019. Earthquake and landslide hazard zoning by fuzzy logic method in Bagheran mountain range (south of Birjand), *Quarterly Journal of Geography and Development* 17 (55), 153-174. [In Persian]
- Housing Foundation of the Islamic Revolution. 1996. Seismic microzonation of urban areas. [In Persian]
- Iraqi, Alaha., Shukri, Mohammad Hassan., Falahtubar, Nusra. 2017. Application of fuzzy logic in the evaluation and zoning of earthquake vulnerability potential (Case study: Rural settlements in Tarom city). *Geography Quarterly*.
- Japan International Cooperation Agency (JICA). 2001. Tehran Seismic Microzonation Project. [In Persian]
- KashaniAsl, A., KashaniAsl, S., KashaniAsl, M. 2017. Application of Fuzzy Logic in Analyzing the Vulnerability of Urban Physical Spaces to Earthquake (Case Study of Ahar City), National Conference on Construction in Seismic Areas, Arasbaran Earthquake Memorial, Tabriz, Provincial Building Engineering Organization East Azarbaijan. [In Persian]
- King Stephanie, A., Kiremidndjian, A. 1995. Earthquake Damage and loss Estimation through GIS :Proceeding of earthquake engineering: Spain.
- KorupzanDasfully, A. 2005. Principles of fuzzy set theory and its applications in modeling water engineering problems, second edition, Jihad Daneshgahi Publications, Tehran, 3-4, 170 and 205.
- Jafari, S. 1996. Basics and principles of stability of natural slopes, Sazeh Publications.
- Lantada, N., Pujades, L., Barbat, A. 2009. Vulnerability index and capacity spectrum based methods for urban seismic risk evaluation. A comparison, *Nat Hazards* 51:501–524.
- Martinelli A., Cifai G. 2008. Building Vulnerability Assessment and Damage Scenarios in Celano (Italy), Using a Quick Survey Data-Based Methodology, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, No. 28, PP. 875-889.
- Matsuoka, M., Midorikawa, S. 1995. GIS Based Intergrated Seismic hazard mapping for a large Metropolitan Area: Proceeding of earthquake engineering: Spain.
- Mazandaran Regional Water Joint Stock Company. 1998. Alborz Reservoir Dam Design (Studies of the second phase, Appendix 3, Engineering Geology Report of the dam site). [In Persian]

- Meshkini, Abolfazl., Shabani, Morteza., Neshat, Abdul Hamid. 2017. Assessing the vulnerability of educational use with the approach of passive urban defense against earthquakes (Case study: District 6 of Tehran). Volume 49, Number 2, 243 -258.
- Najmi, Manouchehr., Ebrahimi, Majid. 2006. Prioritization of technical and engineering characteristics in QFD model using TOPSIS method in fuzzy mode. Sharif Scientific Research Quarterly, 33 (22), 3-9.
- Nojavan, Majid., Ghazanfari, Mehdi. 2006. Development of a 2D MADM Model Using Fuzzy Reliability Index, International Journal of Engineering Sciences, 17 (4), 23-31.
- Paknejhad, H., Ilanlu, M., Ardakani, A., Ebrahimi, G, M., Soltani, Y, A. 2013. Identifying the urban vulnerable areas against the earthquake with GIS Case study: radio daryast.chalous. International Journal of Advanced Studies in Humanities and Social Science. Volume 1, Issue 4, 2013. 255-263. [In Persian]
- Poorahmad, Ahmad., Habibi, Kiomars., Mohammad Zahraei, Sajjad., Nazari Adli, Saeed. 2007. Using fuzzy algorithm and GIS to locate urban equipment, a case study: landfill in Babolsar. Journal of Environmental Studies, 33 (42), 31-42.
- PourmohammadShahvar, M., Eshaghi, A., Farzannegan, E., Mirzaei Alavijeh, H. 2019. Shakemaps of Sarpol-e Zahab Earthquake. International Institute of Earthquake Engineering and Seismology (IIEES), Tehran, Iran. [In Persian].
- Rajabzadeh, S., MomenSanavi, N., Rezaei Moghadam, M.H. 2016. Preparation of Vulnerability Map Due to Earthquake Crisis Using Simple Fuzzy Logic in ArcGIS Software Case Study: Tabriz, 2nd International Congress of Earth Sciences and Urban Development, Tabriz, Kian Company Knowledge project, University Jihad Research Institute, East Azerbaijan Province. [In Persian]
- Rajaei, A. 1994. Applied Geomorphology in Planning and Regional Development, Tehran: Qoms Publications. [In Persian]
- Roostaei, Shahrivar., AhadnezhadRoshti, Mohsen., Kamelifar, Mohammad Javad., Alizadeh, Hadi. 2015. Analysis of The Seismic Vulnerability of Physical Indicators Based on Fuzzy Logic Method.
- Saeedpour, G. 1996. Exploration and determination of possible fluorine reserves in Savadkuh, Mazandaran. Master Thesis, University of Tehran. [In Persian]
- Sharifikia, M. 2010. Vulnerability Assessment and Earthquake Risk Mapping in Part of North Iran Using Geospatial Techniques, DOI.10.1007/s12524-010-0046-2. 708–716.
- Siami, Q., Taghinejad, K., Ahdi Klaki, A. 2015. Seismic vulnerability of urban areas using inverse hierarchical analysis (IHP) and GIS; Case study: Gorgan city. Quarterly Journal of Urban Planning Studies. Third Year, Ninth Issue, Spring 2015. pp. 63-43. [In Persian]
- Smith, K. 1996. Environmental Hazards, Seconded., Rutledge: London.
- UNISDR (2015): International Strategy for Disaster Reduction .Geneva, United Nations Office for Disaster Risk Reduction.
- Yang, C., Han, B., Zhao, C., Du, J., Zhang, D., Zhu, S. 2019. Co-and post-seismic deformation mechanisms of the MW 7.3 Iran earthquake (2017) revealed by sentinel-1 InSAR observations. Remote Sensing, Vol.11, No.4, pp.418.
- Zare, M. 2016. Natural Disaster Risk Reduction Management, Pars Kimia Publishing, Tehran, First Edition. 484 p.

Zoning Earthquake Vulnerability Using Fuzzy Logic in GIS (Case Study: Savadkoh City)

Saleh Arekhi*

Associate Professor of Geography, Faculty of Geographical Sciences, Golestan University,
Gorgan, Iran

Mahran Akbarian Sorkhi

MS.c Student, Human Sciences College, Golestan University, Gorgan, Iran

Somia Emadaddian

Associate Professor, Geography Department, Human Sciences College, Golestan University,
Gorgan, Iran

Abstract

Introduction: Earthquake hazard is the sudden movements and vibrations of the earth's surface, caused by the breaking of the rocks of the earth's crust and the release of the energy stored in them, which in case of high intensity, causes a lot of damages and losses in human centers. The origin of the earthquake is tectonic and probably a failure is necessary. This phenomenon, on the one hand, causes breaking and shifting between the rocky masses of the earth's crust, and on the other hand, this shifting and breaking leads to the creation of waves and propagation inside the earth. Usually, more than 95% of the causes of earthquakes are related to tectonic movements. But other factors such as volcanoes, collapse of underground caves and landslides can play a role in causing earthquakes.

Material and methods: In order to carry out this research, basic maps of the studied area, including: geological maps, fault lines, topography, etc., were collected from various sources and a database was formed in the GIS environment. The layer of fault lines and geology with a scale of 1:50000 of the studied area was prepared and entered into the database. The height and slope maps were obtained from the digital elevation model (DEM) of the area (12.5 meters). Road maps of the region, urban and rural settlements and drainage network were also extracted from topographic maps. The lithology map and existing landslides were also received from the General Directorate of Natural Resources of the province. Six standard maps include: maps of the distance from the fault (main and sub-fault), distance from the existing landslides, geology, slope and type of land or soil are considered as criteria for evaluating the vulnerability caused by earthquakes. At the same time, it is mentioned that the factors related to building engineering and the quality of buildings (building life, quality and composition of materials...) are also involved in the level of vulnerability of settlements against earthquakes, which should be taken into account for the micro-area. It is necessary to determine and estimate the amount of possible damages, and of course, it requires a detailed and separate work.

The method of conducting this research is descriptive-analytical. In the stage of collecting information and primary data, library studies were used as well as field studies and observations, interviews with experts and distribution of questionnaires among experts related to the subject under study. In choosing the criteria, we were careful enough to have a comprehensive and systematic view of the subject. In this study, the triangular model and their fuzzification in the environment of geographic information system was chosen as the criteria evaluation model, which will be discussed in detail about the calculation steps in the next sections. In the next stage, the mentioned and fuzzy criteria were overlapped by

combining the data using the analysis functions of the geographic information system software, the result of which is the extraction of the final map that shows different areas in terms of sensitivity to earthquake.

Results and Discussion: Introduction of factors and criteria Fuzzy logical model was used in the area under investigation for the zoning of vulnerable areas from earthquakes. To implement this model, 6 effective variables in vulnerability zoning were used. Then, for each of the research criteria, the corresponding fuzzy function was designed and fuzzy maps were drawn for each criterion. Fuzzy maps were finally combined in the geographic information system by adding, multiplying and Fuzzy gamma operators. These indicators or criteria are:

The criteria are:

1. Geology (C1)
2. Distance from the main fault (C2)
3. Distance from the minor fault (C3)
4. Slope (C4)
5. Existing landslide (C5)
6. Soil type (C6)

The geological factor is considered as one of the main parameters in causing damage caused by earthquakes. Since the major part of the city is located on gray shale formation and sandstone, it can be said that it increases the risk of earthquake. Therefore, the most points are given to them. The type of function for its fuzzification is incremental linear.

The presence of faults is considered as an important factor in the occurrence of earthquakes in the region. The presence of many faults in the region plays a major role in the occurrence of earthquakes. Due to the existence of many main and sub faults in the area of Swadkoh, the closer we get to the boundaries of the faults, the risk of earthquake is higher and therefore the highest score has been given. The type of function for its fuzzification is incremental linear. Due to the existence of numerous faults in the Swadekoh area, the level of damage caused by an earthquake is very high.

The location of the buildings has an important effect on the amount of destruction caused by the movement of the earth and earthquakes. Basically, lands with a slope of less than 5% are considered as suitable lands for the establishment of human settlements, and slopes above 15% are unsuitable lands for this purpose. The type of function for fuzzy. Its construction is linear. All the devastation and casualties caused by earthquakes are not directly "and exclusively" related to the earthquake itself, but an important part of these damages are indirectly, with the intervention of the phenomenon. Geomorphological changes take place. Due to the existence of numerous landslides in the Swadekoh region, the closer we get to the landslide sanctuary, the greater the risk of earthquakes, and therefore the highest score has been given. The type of function for fuzzification of this criterion is linear.

Considering the type of soil is very effective for preparing a vulnerability map. Since the major part of the city is located on alfusols soil, the effect of the earthquake will be intensified. The type of function for fuzzification of this criterion is linear.

Conclusion: The growing and increasing trend of urbanization and urban population is a factor for large losses when natural disasters occur. The expansion of communication networks and urban infrastructures on the one hand and the non-observance of the most basic safety points in urban construction and the lack of a plan for the growth and development of the city on the other hand, provide the basis for causing great damage during an earthquake. The purpose of this research is to zone the vulnerability potential due to earthquake risk using effective criteria and fuzzy logic algorithm, for this purpose, six criteria including slope,

geology, soil type, distance from the main fault, distance from the secondary fault and The distance from the existing landslides has been selected as the study criteria and by applying fuzzy logic and its membership functions and by using geographic information system (GIS), weighted layers have been produced from the mentioned criteria. The results show that the use of fuzzy sets in quantifying and increasing accuracy is very effective and more suitable than other qualitative and hierarchical methods. To adjust the very high sensitivity of the fuzzy multiplication operator and the very low sensitivity of the fuzzy addition, all the fuzzy operators were used to achieve a better result. Due to the complications and factors caused by geomorphology, the presence of major and seismic faults in the region, which is a sign of their tectonic activity in the region. These faults are stretched from east to west in the study area, and their most scattered is in the north and center of the study area, and its evidence can be seen in Swadkoh city itself. Also, due to the nature of the earth's layers in the region and the expansion of the city on thin formations (barracks, alluvial cones) and the protrusions of older alluviums on newer alluviums, the presence of faults main and seismic and alluvial networks and rivers that are located in this area, it can be said that these processes and geomorphological risks of earthquakes limit the development of security in the city and can increase the risk of earthquakes. By identifying these processes and geomorphological hazards of earthquakes and zoning earthquake risk areas and applying special measures, it is possible to reduce the amount of life and financial losses caused by earthquakes and help the welfare, comfort and safety of citizens more and better. The results of the investigations have led to the production of a zoning map of vulnerability caused by earthquakes, which according to the zoning map of the whole country by the Seismological Organization of the country, the SUM operator is closer to this map and accordingly in this research has used this operator to produce the final earthquake risk zoning map of Swadkoh city. According to the final map, most of the area of Swadkoh city is more vulnerable to earthquakes, which includes areas with a high risk of about 64% of the area, and according to the map, these high-risk areas have settlements. There are many villages and cities that are at risk of earthquakes, which include low and low slope areas in the northern part of Swadkoh city. The high risk zone also covers more than 35% of the entire city.

Keywords: future research, spatial planning, sustainable development, Khadafarin city

* (Corresponding Author) S.arekhi@gu.ac.ir