

سنجش سطوح و اولویت بندی آسیب پذیری سکونتگاه های روستایی در برابر زلزله با استفاده از منطق فازی در GIS (مطالعه موردی: استان فارس)

علیرضا شکیبا^۱، علی اکبر متکان^۲، بابک میرباقری^۳، یعقوب سیف^{۴*}

- ۱-دانشیار مرکز مطالعات سنجش از دور و GIS، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی
 ۲-استاد مرکز مطالعات سنجش از دور و GIS، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی
 ۳-مرئی مرکز مطالعات سنجش از دور و GIS، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی
 ۴-کارشناس ارشد مرکز مطالعات سنجش از دور و GIS، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی و رئیس GIS ستاد پلیس راهنمایی و رانندگی

پذیرش مقاله: ۱۳۹۶/۴/۱۲

تأیید نهایی مقاله: ۱۳۹۷/۷/۱۱

چکیده

از مهم ترین بلاهای طبیعی که نقش مهمی در آسیب پذیری و تخریب سکونتگاه های روستایی ایفا می نماید، زلزله می باشد. آسیب پذیری دارای مفهومی پیچیده است به طوری که عوامل و متغیرهای مختلفی در آن دخالت دارد و استفاده از روش های نوین موجب بهبود فرآیند سنجش سطوح آسیب پذیری می شود. هدف از ارائه پژوهش حاضر، سنجش سطوح و اولویت بندی آسیب پذیری سکونتگاه های روستایی با به کارگیری عملگرهای مبتنی بر منطق فازی می باشد. استان فارس که دارای گسل های اصلی و فرعی متعددی بوده و در طول سالیان گذشته زلزله های متعددی با قدرت تخریب بالا در آن به وقوع پیوسته و همچنین، سکونتگاه های روستایی آن دارای تنوع آسیب پذیری طبیعی و انسانی می باشد، به عنوان منطقه ای مطالعاتی انتخاب شده است. سکونتگاه های روستایی از محیط هایی به شمار می رود که به دلیل ویژگی های فیزیکی آن در مقایسه با سکونتگاه های شهری در معرض آسیب پذیری بیشتری می باشد. در این پژوهش، جهت سنجش سطوح و اولویت بندی آسیب پذیری از عملگرهای فازی که شامل تلفیق چند معیاره اهمیت معیارها و وزن رتبه ها بوده و دو ویژگی مهم در نظر گرفتن متغیرهای کیفی (زبانی) و توجه به گروه های مختلف ذینفع را نیز داشته و همچنین، به نتایج بهتری منجر شده، استفاده گردید. لذا با به کارگیری و تلفیق متغیرها و سناریوهای مختلف، مناطق با درجات بالای ریسک مشخص شد. سپس، سکونتگاه های روستایی در معرض ریسک حاصل از سناریوی نسبتا بدبینانه آسیب پذیری طبیعی انتخاب گردید. در نهایت، آسیب پذیری انسانی این سکونتگاه ها با به کارگیری سناریوی متعادل اولویت بندی شد. نتایج حاصل در تمامی سناریوها نشان داد که بخش های جنوب و غرب منطقه که دارای مقادیر بالای بیشینه جنبش افقی زمین (Peak Horizontal Acceleration)، سازندهای زمین شناسی جدید و نزدیکی به گسل های فعال زمین شناسی بوده به عنوان مناطق با درجات بالای ریسک آسیب پذیری طبیعی شناسایی شده و همواره زلزله های متعدد با قدرت تخریب بالا در آن به وقوع می پیوندد اما از منظر متغیرهای آسیب پذیری انسانی مورد استفاده در این پژوهش در حد متوسط می باشند.

واژه های کلیدی: استان فارس، آسیب پذیری، سکونتگاه های روستایی، زلزله، منطق فازی.

مقدمه

امروزه سنجش سطوح و اولویت‌بندی آسیب‌پذیری روستاها در برابر بلایای طبیعی از اهمیت بسیار زیادی برخوردار می‌باشد. زلزله به عنوان یکی از مهم‌ترین بلایای طبیعی است که در هنگام وقوع، موجب بروز بسیاری از مشکلات طبیعی و انسانی می‌شود. کشور ایران با توجه به موقعیت جغرافیایی و زمین‌شناختی آن در زمره‌ی ده کشور زلزله خیز جهان جای دارد. داده‌های وقوع زلزله در سطح کشور نشان می‌دهد که طی صد سال گذشته، سیزده زلزله به بزرگی بیشتر از هفت ریشتر در کشور رخ داده است (هاشمی و علیمحمدی سراب، ۱۳۸۹). این در حالی است که روستاهای کشور در برابر زلزله‌هایی با شدت پنج ریشتر به شدت آسیب‌پذیرند (هاشمی و آل‌شیر، ۲۰۱۱). از این‌رو شناسایی مناطق آسیب‌پذیر زلزله قبل از وقوع به منظور کاهش تلفات و خسارات بر اساس چرخه مدیریت بحران، از اهمیت خاصی برخوردار می‌باشد. از آن‌جا که بسیاری از داده‌های مربوط به زلزله و عوامل مربوط به آن خصوصیات مکانی دارند، سامانه اطلاعات جغرافیایی^۱ به عنوان ابزار مناسب جهت اولویت‌بندی خطر زلزله می‌تواند برای ساماندهی و تحلیل یکپارچه اطلاعات و کمک به تصمیم‌گیری‌های مناسب در زمینه مدیریت بحران گام بردارد. هم‌چنین، GIS قابلیت و توانمندی بالایی در تحلیل و پردازش، مدیریت، ذخیره‌سازی و نگهداری اطلاعات مکانی دارد و با به کارگیری این اطلاعات قادر به ایجاد پایگاه داده مکانی یکپارچه از داده‌های توصیفی و مکانی می‌باشد (فرزاد بهتاش و حسینی جناب، ۱۳۸۵). پژوهشگران به مطالعه مفهوم آسیب‌پذیری^۲ (رناد، ۲۰۱۰؛ پراج، ۲۰۱۴؛ آرماس و گاوریس، ۲۰۱۶)، سنجش سطوح^۳ (پامانگاس و همکاران، ۲۰۱۴؛ والترز و

گیلارد، ۲۰۱۴؛ لیو و ونگ، ۲۰۱۵) و تخمین خسارات سکونتگاه‌های شهری در برابر زلزله (آلتان و همکاران، ۲۰۰۱) پرداخته و از متغیرهایی نظیر: طبیعی^۴ (PHA) (کول و همکاران، ۲۰۰۸؛ حاجی‌بابایی و همکاران، ۲۰۱۴؛ لیو و همکاران، ۲۰۱۶؛ ونگ و گلدمن، ۲۰۱۶)، فاصله از گسل‌های اصلی (حسن‌زاده و همکاران، ۲۰۱۳)، خصوصیات سازندهای زمین‌شناسی (کریم‌زاده و همکاران، ۲۰۱۴)، خاک (ویسنده و همکاران، ۲۰۱۱؛ یعقوب، ۲۰۱۵)، سنگ‌ها (لیو و همکاران، ۲۰۱۲)، میزان شیب زمین (گراسو و موگری، ۲۰۰۹؛ آرجیریو و همکاران، ۲۰۱۶)، انحنای سطحی زمین (پسینا و فیورینی، ۲۰۱۴)، مورفولوژی زمین (سریز و همکاران، ۲۰۱۰)، ارتفاع (شریفی‌کیا، ۲۰۱۰)، ضخامت رسوبات آبرفتی و سطح آب‌های زیرزمینی (کریم‌زاده و همکاران، ۲۰۱۴)، مجاورت با شبکه‌های زهکشی و تراکم شکستگی‌ها (لیو و همکاران، ۲۰۱۲)، گسیختگی‌های سطحی زمین و دگرذیسی لرزه‌ای (لیو و همکاران، ۲۰۱۲)، اندازه-گیری ساختاری گسل‌ها (لوباسکیا و استرلچنکو، ۲۰۱۶) و فاصله از آن (یعقوب، ۲۰۱۵)؛ فیزیکی (سن بنا (مارتینز و همکاران، ۲۰۱۲)، نوع مصالح ساختمان (مارتینز و همکاران، ۲۰۱۲)، تعداد طبقات (کپس و همکاران، ۲۰۱۲)، نظم در ارتفاع ساختمان (فرییرا و همکاران، ۲۰۱۳)؛ شاکیا و همکاران، ۲۰۱۵)، نوع کاربری ساختمان (مارتینز و همکاران، ۲۰۱۲)، سیستم پشت‌بام (ویسنده و همکاران، ۲۰۱۴)؛ اجتماعی (تراکم جمعیت (میائو و دینگ، ۲۰۱۵)، ساختار سنی (کوهلیک و همکاران، ۲۰۱۱)، جنسی (کوهلیک و همکاران، ۲۰۱۱)، خانوادگی و تعلق اجتماعی (مارتینز و همکاران، ۲۰۱۲)، تراکم جمعیت (پنگ، ۲۰۱۵)؛ اقتصادی (میزان درآمد (والکر و همکاران، ۲۰۱۴)، نرخ بیکاری (والکر و همکاران، ۲۰۱۴)، زنان

شاغل، شاغلان در بخش حمل و نقل و خدمات عمومی (اسمیدلین و همکاران، ۲۰۱۱)؛ فرهنگی (نرخ بیسوادی) (مارتینز و همکاران، ۲۰۱۲)، خدماتی (دسترسی به راه‌های ارتباطی (هاشمی و آل‌شایخ، ۲۰۱۳) و عرض خیابان‌ها (علی آبادی و همکاران، ۲۰۱۵)، ایستگاه‌های آتش‌نشانی، پلیس (مینباتی و لازبو، ۲۰۱۲)، مدارس (میائو و دینگ، ۲۰۱۵)، زیرساخت‌های حیاتی (مینباتی و لازبو، ۲۰۱۲) و فضاهای باز (علی‌آبادی و همکاران، ۲۰۱۵)؛ بهداشتی (دسترسی به مراکز درمانی) (هاشمی و همکاران، ۲۰۱۳) و سیاسی-سازمانی (اجرای قانون و سیاست، مراقبت‌های دولتی) (فرناندز، ۲۰۰۹) استفاده شده است. جهت مدل-سازی زلزله از داده‌های ماهواره‌ای نظیر: ETM، LISS، IRS (شریفی‌کیا، ۲۰۱۰)، DInSAR (وو و همکاران، ۲۰۱۴) و برای مدل‌سازی سناریوهای آن از مدل‌هایی نظیر: CL (الیویرا، ۲۰۰۸)، ELECTRE (پنگ، ۲۰۱۵)، ELER (ابوالعز و همکاران، ۲۰۱۵)، GRA (پنگ، ۲۰۱۵)، GSHAP (بیندی و همکاران، ۲۰۱۲)، HAZUS (راشد و ویکز، ۲۰۰۳)، KHM^۵ (حسن‌زاده و همکاران، ۲۰۱۳)، KoeriLoss-V2 (انسال و همکاران، ۲۰۰۹)، MAL (الیویرا، ۲۰۰۸)، PROMETHEE (پنگ، ۲۰۱۵)، RADIUS (آرماس، ۲۰۱۲)، SELENA (ابوالعز و همکاران، ۲۰۱۵)، SWM^۶ (پنگ، ۲۰۱۵)، URSM^۷ (خوش‌روان و همکاران، ۲۰۱۲) و VIKOR^۸ (پنگ، ۲۰۱۵) و هم‌چنین، جهت شبیه‌سازی سناریوهای زلزله از مدل‌هایی نظیر: QuakeIST (موتادس و همکاران، ۲۰۱۶) استفاده شده است. تعدادی نیز به منظور مدل‌سازی آسیب‌پذیری اجتماعی و اقتصادی از شاخص‌هایی نظیر: SoVI^۹ (کاتر و همکاران، ۲۰۰۳)؛ اسمیدلین و همکاران، ۲۰۱۱)؛ SVF^{۱۰} (آرماس، ۲۰۱۲) و

TSVI^{۱۱} (سریز و همکاران، ۲۰۱۰) استفاده نمودند. هم‌چنین، جهت تلفیق متغیرهای مورد استفاده از روش‌هایی نظیر: فرآیند تحلیل سلسله-مراتبی^{۱۲} (یوسف و همکاران، ۲۰۱۱)؛ کریم‌زاده و همکاران، ۲۰۱۴)؛ چندمعیاره فازی^{۱۳} (مردانی و همکاران، ۲۰۱۵)؛ منطق فازی^{۱۴} (سن، ۲۰۱۰)؛ تحلیل تصمیم‌گیری چندمعیاره^{۱۵} (قداح و عبدالواحد، ۲۰۱۶)؛ ارزیابی چندمعیاره^{۱۶} (الپرسلان و همکاران، ۲۰۰۸) و میانگین وزنی مرتب‌شده^{۱۷} (مارتینز و همکاران، ۲۰۱۲) استفاده شده است. نتیجه پژوهش‌هایی نشان داد که خسارات و تخریب ساختمان‌ها نسبت به نرخ‌های مرگ و میر ساکنان، جراحت آن‌ها و مسدود شدن خیابان‌ها به علت فروریختن ساختمان‌ها از اهمیت بالاتری برخوردار می‌باشد (هاشمی و همکاران، ۲۰۱۱)؛ کریم‌زاده و همکاران، ۲۰۱۴)؛ ابوالعز و همکاران، ۲۰۱۵). هم‌چنین، نتایج پژوهش در مناطق مستعد لرزه‌خیز ایران حاکی از متغیرهای جنبش زمین، جمعیت و جمعیت‌های در معرض ریسک به عنوان مهم‌ترین متغیرهای تاثیرگذار، کم اهمیت بودن متغیرهای مربوط به مدیریت پاسخ، متغیرهای مربوط به مدیریت پاسخ نظیر: مراکز امدادرسائی سریع (بیمارستان‌ها) به عنوان مهم‌ترین متغیرهای مورد استفاده بر روی ساختمان‌های تخریبی در کرمان نسبت به ساختمان‌های سالم بیشتر می‌باشد (حسن‌زاده و همکاران، ۲۰۱۳). نتایج پژوهش در هند حاکی از میزان مخاطره لرزه‌ای در مقیاس کلی در حد متوسط بوده اما اکثر قسمت‌های شمال و شمال-شرق دارای حداکثر میزان مخاطره لرزه‌ای می‌باشند (سیتارام و کلاتاپار، ۲۰۱۳). هم‌چنین، ریسک لرزه‌ای در نواحی پر ریسک و متغیرهای مربوط به آسیب‌پذیری به عنوان مهم‌ترین متغیرهای ریسک لرزه‌ای در نواحی کم ریسک

جهت تلفیق متغیرهای مورد استفاده از روش‌هایی نظیر میانگین وزنی مرتب‌شده (OWA) به ندرت انجام گرفته است. لذا، اهداف اصلی سنجش سطوح و اولویت‌بندی آسیب‌پذیری طبیعی و انسانی روستاها با به کارگیری عملگرهای مبتنی بر Fuzzy Logic و MCE در GIS و تولید نقشه آسیب‌پذیری طبیعی بر اساس درجات مختلف ریسک با به کارگیری روش OWA می‌باشد.

محدوده مورد مطالعه

استان فارس از نظر موقعیت جغرافیایی بین ۵۰ درجه و ۳۶ دقیقه تا ۵۵ درجه و ۳۵ دقیقه طول شرقی و ۲۷ درجه و ۲۴ دقیقه تا ۳۱ درجه و ۴۰ دقیقه عرض شمالی واقع شده است (شکل ۱). بر اساس اطلاعات به دست آمده از مرکز آمار ایران مطابق سرشماری سال ۱۳۹۰، این استان با مساحت ۱۲۲۶۰۷/۹ کیلومتر مربع و جمعیتی در حدود ۴۶۰۰۰۰۰ نفر دارای ۲۹ شهرستان، ۸۳ بخش، ۲۰۴ دهستان، ۱۰۱ شهر و ۲۷۸۱ روستا می‌باشد.

مواد و روش‌ها

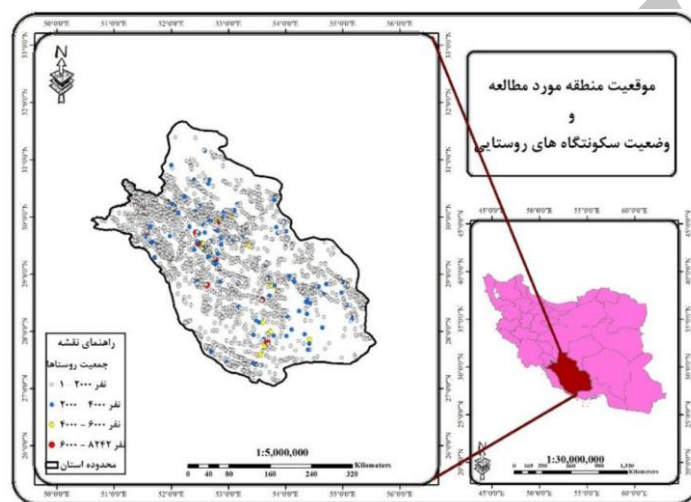
داده‌ها و نرم افزارهای مورد استفاده

با بررسی ویژگی‌های منطقه مطالعاتی، داده‌های در دسترس، دیدگاه‌های کارشناسان و پژوهش‌های پیشین جهت سنجش سطوح آسیب‌پذیری طبیعی از سه متغیر PHA، مشخصات سازندهای زمین-شناسی بر اساس دوران‌های زمین‌شناسی و فاصله از حریم انواع گسل‌های فعال زمین‌شناسی و برای سنجش سطوح آسیب‌پذیری انسانی روستاها از متغیرهای اجتماعی-اقتصادی شامل: تعداد کل جمعیت ساکن روستا، ساختار جنسی و سنی، تعداد افراد باسواد، فاقد سواد و محصل، تعداد کل

می‌باشد (وحدت و همکاران، ۲۰۱۴). هم‌چنین، مقایسه دقت نتایج حاصله از مدل مورد استفاده بر روی ساختمان‌های تخریب شده در کرمان نسبت به ساختمان‌های سالم بیشتر می‌باشد (حسن‌زاده و همکاران، ۲۰۱۳). نتایج پژوهش در شمال چین نشانگر اکثر قسمت‌های شمالی چین با مخاطرات و ریسک‌های لرزه‌ای روبه‌رو می‌باشند (لیو و همکاران، ۲۰۱۳). مقایسه روش‌های مونت کارلو و گشتاور اول و دوم در حوضه رودخانه سربو (توسکانی ایتالیا) وابستگی جنبش افقی بحرانی زمین و احتمال شکست به میزان شیب زمین را نشان داد (لوزی و همکاران، ۲۰۰۰). هم‌چنین، نتایج پژوهش در ونچوان نشان داد که بیشترین جمعیت‌های در معرض ریسک بالای زلزله در قسمت‌های شرقی ایالت سیچوان، شمال ایالت یو-نان و تعداد اندکی هم در قسمت‌های مرکزی و جنوبی ایالت گانسو قرار دارند (لیو و همکاران، ۲۰۱۱). تصمیم‌گیری مکانی مهم نظیر یافتن مناطق آسیب‌پذیر به اطلاعات و ابزارهایی هدفمند و سازوکارهایی جهت تلفیق لایه‌های اطلاعاتی مورد نظر تصمیم‌گیرندگان نیازمند می‌باشد. به همین منظور، روش ارزیابی چندمعیاره (MCE) می‌تواند به عنوان به کارگیری مجموعه‌ای از روش‌های پیشنهادی برای تفسیر متغیرهای اصلی جهت کمک به اشخاص یا گروه‌های تصمیم‌گیری تعریف شود (گرین و همکاران، ۲۰۱۱). در پژوهش حاضر، جهت سنجش سطوح و اولویت-بندی آسیب‌پذیری روستاها در GIS، برای تولید و تلفیق لایه‌های اطلاعاتی از عملگرهای مبتنی بر Fuzzy Logic در مقابل بولین استفاده می‌شود که این مدل‌ها به طور وسیع در MCE مورد استفاده قرار می‌گیرند. از آن‌جا که تاکنون سنجش سطوح اولویت‌بندی آسیب‌پذیری روستاها در برابر زلزله با به کارگیری متغیرهای زمین‌شناسی و هم‌چنین،

آسیب‌پذیری انسانی از مرکز آمار ایران دریافت شده‌اند. هم‌چنین، جهت پیاده‌سازی و تولید نقشه PHA با بهره‌گیری از داده‌های بزرگای امواج گشتاوری^{۱۸} زلزله‌ها از نرم‌افزار MATLAB استفاده شده و جهت آماده‌سازی داده‌ها، اعمال هرگونه تحلیل و پردازش بر روی داده‌ها و تلفیق نقشه‌های نهایی نیز از نرم‌افزار ArcGIS استفاده شده است.

جمعیت افراد شاغل و بیکار و متغیرهای خدماتی- بهداشتی شامل: فاصله از شبکه راه‌های ارتباطی جاده‌ها، مراکز درمانی، ایستگاه‌های آتش‌نشانی و مراکز انتظامی استفاده می‌شود. داده‌های مربوط به بزرگی و زمان وقوع زلزله‌ها از پژوهشگاه بین-المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله و موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران و داده‌های مربوط به سازندها و گسل‌ها از سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور و داده‌های مربوط به



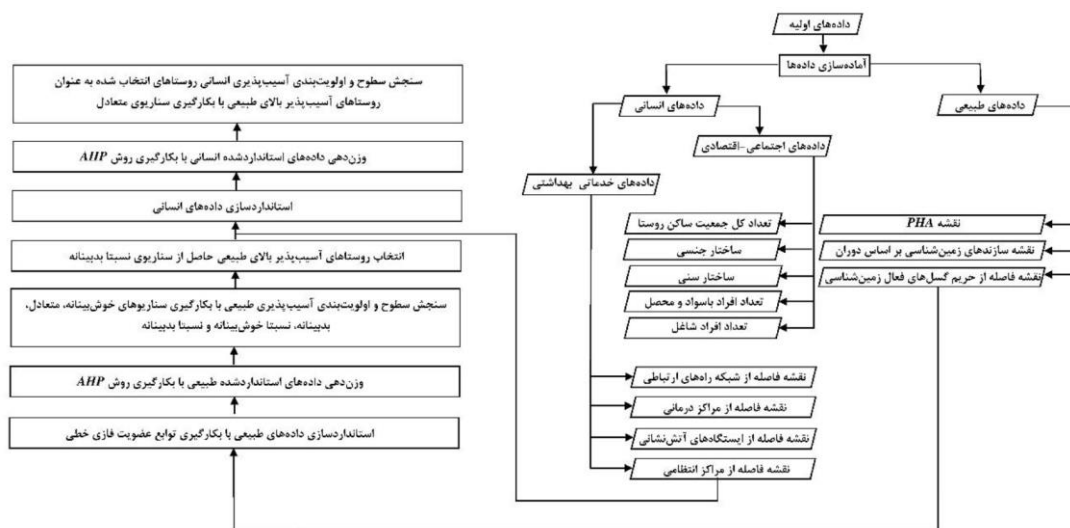
شکل ۱: موقعیت منطقه مورد مطالعه و وضعیت سکونتگاه‌های روستایی

نگرانی‌های مربوط به مسئله تصمیم‌گیری را منعکس می‌نماید و اقداماتی جهت به دست آوردن این اهداف، می‌باشد. انتخاب معیارها به موجودیت‌های جغرافیایی و روابط بین موجودیت‌ها وابسته می‌باشد و بنابراین می‌تواند نشان‌گر نوع نقشه‌ها باشد (ماکچزوسکی، ۱۹۹۹). جهت سنجش سطوح و اولویت‌بندی آسیب‌پذیری طبیعی از سه معیار PHA، مشخصات سازندهای زمین‌شناسی بر اساس دوران‌های زمین‌شناسی و فاصله از حریم انواع گسل‌های فعال زمین‌شناسی استفاده شده است. لذا، با پیاده‌سازی روابط ثابت بر روی داده‌های وقوع نقطه‌ای زلزله‌ها برحسب مقیاس M_w زلزله‌ها، معیار PHA تولید شد. زلزله

روش کار: مراحل انجام پژوهش حاضر به صورت جامع در قالب فلوجارت ارائه شده است (شکل ۲). از آن‌جا که در این پژوهش از روش MCE استفاده شده است. لذا، جهت اجرای آن مراحل نظیر: تعریف مسئله، انتخاب، استانداردسازی و وزن‌دهی و تلفیق معیارها وجود دارد. از این رو، در مرحله اول، مسئله تصمیم‌گیری به عنوان تفاوت ادراک بین وضعیت موجود و شرایط مطلوب در سیستم تعریف می‌شود که به عنوان شکافی بین وضعیت و شرایط مطلوب و موجود همان‌طور که توسط فرد تصمیم‌گیرنده مشاهده می‌شود، مطرح می‌باشد. سپس، مرحله انتخاب معیارها شامل تعیین: مجموعه‌ای جامع و فراگیر از اهدافی که تمام

محاسبه شده، در حالی که اندازه گیری کیفی (خسارت های ناشی از) زلزله با شدت^{۲۰} زلزله محاسبه می شود (زارع، ۱۳۸۴).

می تواند به صورت کمی و کیفی اندازه گیری شود. از این رو، اندازه گیری کمی زلزله با بزرگاری^{۱۹} زلزله-معرف کل انرژی آزاد شده از زمین بوده -



شکل ۲: مراحل انجام پژوهش حاضر

استفاده نمایند (زارع، ۱۳۸۴). بنابراین، جهت تولید معیار PHA مطابق روابط تجربی هیتن و همکاران (۱۹۸۶)، اسکوردیلیس (۲۰۰۶) و سایپکین (۲۰۰۳) به ترتیب، مقیاس ML (رابطه ۱)، Ms (روابط ۲ و ۳) و Mb (روابط ۴ و ۵) زلزله به مقیاس Mw تبدیل می گردد (ارنتماراس، ۲۰۱۱):

$$Mw = ML$$

$$Mw = 0.67 Ms + 2.07 (\sigma = 0.17)$$

$$Mw = 0.99 Ms + 0.08 (\sigma = 0.20)$$

$$Mw = 0.85 Mb + 1.03 (\sigma = 0.29)$$

$$Mw = 1.46 Mb - 2.42$$

و تهیه نقشه های متفاوت مخاطرات لرزه ای برخوردار می باشد (لیانگسی، ۲۰۰۴). جنبش زمین به عنوان روابط کاهندگی تعریف شده و بیش تر با عبارت کاهندگی جنبش زمین^{۲۴}، شناخته می شود که تابع احتمال تراکم جنبش

بزرگای زلزله با مقیاس های متفاوتی نظیر: بزرگای محلی^{۲۱}، حجمی^{۲۲} و سطحی^{۲۳} اندازه گیری می شود و به علت کاستی های مهم مقیاس در تشخیص زلزله های بزرگ، Mw ابداع شده است. همچنین، از آن جا که در زلزله های بسیار بزرگ، بیشتر انرژی توسط امواج با فرکانس کوتاه تر آزاد می گردد، پژوهشگران ترجیح دادند برای تخمین انرژی آزاد شده از پارامترهای استاتیکی نظیر گشتاور لرزه ای

رابطه ۱)

$$3.0 \leq Ms < 6.2$$

رابطه ۲)

$$6.2 \leq Ms \leq 8.2$$

رابطه ۳)

$$3.5 \leq Mb \leq 5.5$$

رابطه ۴)

$$5.5 < Mb \leq 7.3$$

رابطه ۵)

PHA به عنوان بزرگترین مقدار جنبش زمین در امتداد حرکت افقی در مدت زمان لرزش زلزله در یک مکان خاص تعریف شده و محاسبه آن در مهندسی زلزله از اهمیت و کاربردهای بسیاری نظیر: محاسبه میزان لرزه خیزی سازه های مختلف

براساس داده‌های جنبش زمین در سایر کشورهای لرزه‌خیز به ویژه آمریکا توسعه داده شده‌اند که از نظر ویژگی‌های لرزه‌زمین‌ساختی و پارامترهای لرزه‌شناختی با پهنه‌های مختلف ایران متفاوت می‌باشند و دلیل منطقی جهت استفاده این مدل‌ها در کشور وجود ندارد (زارع، ۱۳۸۴). بنابراین در این پژوهش، جهت مقابله با این مساله از چندین مدل نسبتاً مناسب برای شرایط منطقه‌ای ایران، استفاده شده و در نهایت، از میان پارامترهای حاصل از آن‌ها میانگین انتخاب و معرفی می‌گردد. PHA به ترتیب توسط جویینر و بور (۱۹۸۱)، کمبل (۱۹۸۹)، آمبرسز (۱۹۹۰)، نیازی و بزرگ-نیا (۱۹۹۱) و آمبرسز و همکاران (۱۹۹۲) بر اساس روابط ۶ الی ۱۰ مدل‌سازی شده است (داگلاس، ۲۰۰۱):

$$PHA = a + \beta Mw - \log r + b r \quad \text{رابطه ۶}$$

$$\alpha = -1.02 \quad \beta = 0.249 \quad r = \sqrt{(d^2 + h^2)} \quad h = 7.3 \quad b = -0.00255$$

$$PHA = a + \beta Mw - 1.0 \ln [R + C1] \quad \text{رابطه ۷}$$

$$\alpha = -2.501 \quad \beta = 0.623 \quad C1 = 7.28$$

$$PHA = a + \beta Mw - \log r + b r \quad \text{رابطه ۸}$$

$$\alpha = -1.101 \quad \beta = 0.2615 \quad r = \sqrt{(d^2 + h^2)} \quad h = 7.3 \quad b = -0.00255$$

$$PHA = a + \beta Mw + d \ln [R + C1 \exp(C2^{Mw})] \quad \text{رابطه ۹}$$

$$\alpha = -5.503 \quad \beta = 0.936 \quad c1 = 0.407 \quad c2 = 0.455 \quad d = -0.816$$

$$PHA = C1 + C2 Mw + C3 r + C4 \log r \quad \text{رابطه ۱۰}$$

$$C1 = -1.038 \quad C2 = 0.220 \quad C3 = -0.00149 \quad C4 = -0.895 \quad r = \sqrt{(d^2 + h^2)} \quad h = 5.7$$

رابطه تجربی زیر نیز جهت تعیین حریم انواع گسل‌های فعال زمین‌شناسی در ایران ارائه شده است:

زمین را بیان می‌نماید. این در حالی است تابع احتمال تراکم جنبش زمین با ویژگی‌هایی نظیر: منشا زلزله^{۲۵} (بزرگای زلزله، نوع سازوکار گسلش)، انتشار موج^{۲۶} (فاصله کانون یا مرکز درونی زلزله تا مکان) و واکنش یا پاسخ مکان^{۲۷} (Vs30) مشخص می‌گردد. لذا، جهت مدل‌سازی آن، مدل‌های مختلفی وجود دارد که در تمام آن‌ها، سطح جنبش زمین به صورت احتمالاتی بیان شده و متغیرهایی نظیر: Mw ، فاصله کانون یا مرکز درونی زلزله تا مکان، شرایط مکانی و نوع سازوکار گسلش یکسان می‌باشد (لیانگسی، ۲۰۰۴). متأسفانه در گذشته در کشور به دلیل کمبود پژوهش‌های تحلیل خطر زلزله و عدم دسترسی به داده‌های پایه‌ی تصحیح‌شده شتاب‌نگاری، بررسی‌های خطر زلزله از مدل‌هایی استفاده شده که

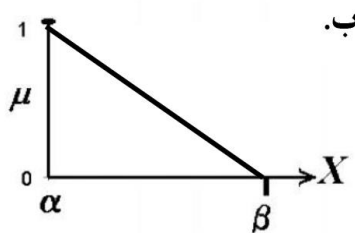
در روابط فوق، α ، β ، h ، b ، $C1$ ، $C2$ ، $C3$ ، $C4$ و d به عنوان ضرایب ثابت، متغیر Mw به عنوان بزرگای گشتاوری و متغیر r به عنوان فاصله رومرکز یا مرکز بیرونی زلزله تا مکان می‌باشد (داگلاس، ۲۰۰۱):

رابطه ۱۱

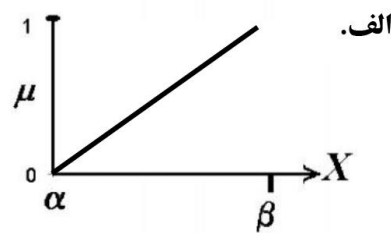
$$W = 10 (-0.45 + 0.48 \log LR) + \sigma \cdot P \quad (\sigma = 0.70)$$

نزولی مطابق شکل ۳ و رابطه ۱۲ استاندارد شده-اند. شکل‌های ۴ و ۵، نقشه‌های حاصل پس از انجام مرحله استاندارد سازی را نمایش می‌دهد. در مواردی که نقشه‌ها به صورت کلاس‌های گسسته بوده‌اند، مقادیر بین صفر تا یک برای هر کلاس بر اساس نظر کارشناسی تعیین شد.

الف و ب. تابع عضویت فازی خطی صعودی و نزولی:



در رابطه فوق، متغیر LR^{28} به عنوان طول گسیختگی سطحی تعریف شده که با در نظر گرفتن 0.37 طول سراسر گسل^{۲۹} موجود در منطقه محاسبه می‌شود. همچنین، متغیر σ به عنوان انحراف معیار در نظر گرفته شده که با در نظر گرفتن مقدار متغیر $P = 1$ به مقدار محاسبه شده اضافه می‌شود (زارع، ۱۳۸۴). در ادامه، کلیه لایه‌های مورد استفاده جهت تلفیق آن‌ها با هم بر اساس توابع عضویت فازی خطی^{۳۰} صعودی و



شکل ۳: تابع عضویت فازی خطی صعودی (الف) و نزولی (ب) (مأخذ: نگارنده، ۱۳۹۷)

$$\mu = \frac{(x - \beta)}{(\beta - \alpha)}$$

$$\mu = \frac{(\beta - x)}{(\beta - \alpha)}$$

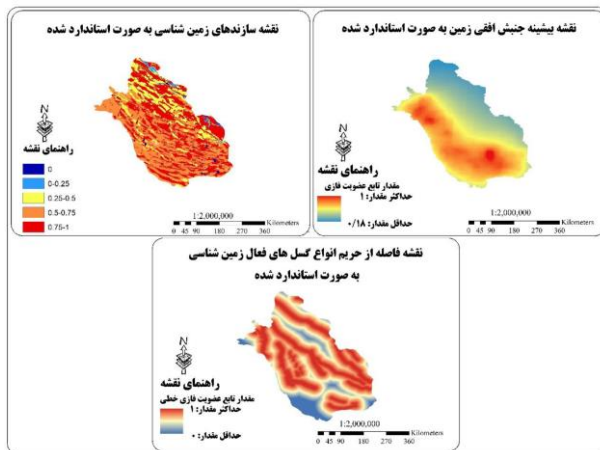
رابطه ۱۲: تابع عضویت فازی خطی صعودی (الف) و نزولی (ب) (رابینسون، ۲۰۰۳)

نظرات کارشناسی زمین‌شناسان تکنیک و زلزله-شناسان بر اساس دوران‌های زمین‌شناسی مطابق

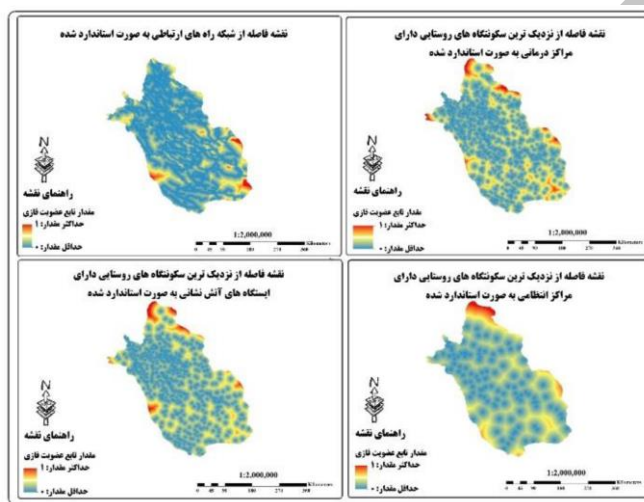
مطابق جدول ۱، نقشه انواع سازندهای زمین-شناسی بر اساس دوران‌های زمین‌شناسی مطابق

جدول ۱: استاندارد سازی انواع سازندهای زمین‌شناسی بر اساس دوران‌های زمین‌شناسی (مأخذ: نگارنده، ۱۳۹۷)

مقدار استاندارد شده	سازند زمین‌شناسی
صفر (حداقل آسیب‌پذیری)	سازندهای ماقبل دوران پالئوزوئیک
۰/۲۵	سازندهای دوران پالئوزوئیک
۰/۵	سازندهای دوران مزوزوئیک
۰/۷۵	سازندهای دوران سنوزوئیک
یک (حداکثر آسیب‌پذیری)	سازندهای زمین‌شناسی دوره کواترنری



شکل ۴: نقشه‌های آسیب‌پذیری طبیعی به صورت استاندارد شده



شکل ۵: نقشه‌های آسیب‌پذیری انسانی از منظر خدماتی-بهداشتی به صورت استاندارد شده

سپس، اولویت‌های تصمیم‌گیرندگان و اهمیت نسبی معیارهای ارزیابی در مرحله وزن‌دهی معیار مورد توجه قرار می‌گیرد. محاسبه وزن‌ها مرحله‌ی مهم و اساسی در فرآیند ارزیابی و تصمیم‌گیری می‌باشد. در پژوهش حاضر، جهت وزن‌دهی معیار-

های مورد استفاده با استفاده از روش AHP، ماتریس مقایسه زوجی^{۳۱} ایجاد شده است (جدول ۲). همچنین، بر اساس نظر کارشناسی وزن کلی معیار اجتماعی-اقتصادی دو برابر معیار خدماتی-بهداشتی در نظر گرفته شد.

جدول ۲: وزن معیارهای مورد استفاده جهت سنجش سطوح و اولویت‌بندی آسیب‌پذیری طبیعی و انسانی

(مآخذ: نگارنده، ۱۳۹۷)

میزان وزن	معیار	میزان وزن	معیار	میزان وزن	معیار
۰/۶۱۲	فاصله از مراکز درمانی	۰/۴۰۷	درصد ساختار سنی	۰/۷۰۸	PHA
۰/۲۳	فاصله از شبکه راه‌های ارتباطی	۰/۳۶۳	درصد افراد فاقد سواد	۰/۲۳۲	فاصله از حریم انواع
۰/۰۹۲	فاصله از مراکز آموزشی	۰/۱۱۴	درصد ساختار جنسی		گسل‌های فعال زمین‌شناسی
۱/۰۶۶	فاصله از ایستگاه‌های آتش‌نشانی	۰/۰۷۴	درصد جمعیت ساکن روستا	۰/۰۶	انواع سازندهای زمین‌شناسی
		۰/۰۴۲	درصد افراد بیکار		پراساس دوران زمین‌شناسی

در نهایت، برای تلفیق مجموعه‌های فازی مبتنی روش OWA، توسط یاگر^{۳۲} (۱۹۸۸) روشی ارائه شده که قابل تعمیم به سه نوع اصلی عملگرهای تلفیق اشتراک، اجتماع و میانگین‌گیری مجموعه‌های فازی و همچنین حدواسط آن‌ها می‌باشد. در روش OWA، تلفیق لایه‌ها علاوه بر وزن کارشناسی، بر مبنای اوزان رتبه‌بندی شده نیز انجام می‌شود (مال‌چفسکی، ۱۹۹۹). داده‌های ورودی مورد نیاز برای این روش شامل نقشه‌ها و وزن معیارها می‌باشد و عملگر تلفیق روش OWA وابسته به i امین موقعیت مجموعه‌ای از وزن‌های رتبه‌ای V_1, V_2, \dots, V_n بوده به طوری که $V_j \in [0, 1]$ و $j=1, 2, \dots, n$ و $\sum_{j=1}^n V_j = 1$ می‌باشد (مال‌چفسکی، ۱۹۹۹).

روش OWA بر اساس رابطه ذیل، قابل محاسبه می‌باشد:

$$OWA_i = \sum_{j=1}^n \left(\frac{U_j V_j}{\sum_{j=1}^n U_j V_j} \right) Z_{ij}$$

رابطه (۱۳)

که در آن $Z_{i1} \geq Z_{i2} \geq \dots \geq Z_{in}$ مقادیر مرتب شده ارزش‌های لایه‌های اطلاعاتی، مقادیر توصیفی $a_{i1}, a_{i2}, \dots, a_{in}$ و وزن معیار دوباره مرتب شده مقدار توصیفی Z_{ij} می‌باشد. یادآوری می‌شود بین دو نوع وزن معیارها و وزن رتبه‌ها تفاوت و تمایز وجود دارد یعنی وزن معیارها به معیارهای کارشناسی تخصیص داده می‌شود و نشانگر اهمیت نسبی آن‌هاست؛ اما وزن رتبه‌ای بر

جدول ۳: وزن‌های مرتب شده معیارهای آسیب‌پذیری طبیعی مطابق با عملگرهای AND فازی (الف)، OR فازی (ب)، سناریوهای نسبتاً خوش‌بینانه (ج) و نسبتاً بدبینانه (د).

الف.			ب.		
V1	V2	V3	V1	V2	V3
۰	۰	۱	۱	۰	۰
ج.			د.		
V1	V2	V3	V1	V2	V3
۰/۵	۰/۳	۰/۲	۰/۲	۰/۳	۰/۵

بحث و نتایج**اولویت بندی آسیب پذیری طبیعی**

اولویت بندی آسیب پذیری طبیعی با به کارگیری عملگر AND فازی

مطابق اولویت بندی آسیب پذیری طبیعی با به کارگیری عملگر AND فازی (سناریوی خوش-بینانه از دیدگاه آسیب پذیری) (شکل ۶ الف) بر اساس وزن های مرتب شده معیارها (جدول ۳ الف)، تنها روستاهای واقع در بخش های جنوبی و غربی منطقه مطالعاتی (حدود ۱۷۴۳ سکونتگاه روستایی یا حدود ۶۲/۷ درصد کل روستاها) دارای مقدار استاندارد شده آسیب پذیری طبیعی بیش از ۰/۵ می باشند. همچنین، میزان استاندارد شده آسیب پذیری طبیعی هیچ کدام از روستاها بیش از ۰/۹ نمی باشد.

اولویت بندی آسیب پذیری طبیعی با به کارگیری روش WLC (سناریوی متعادل)^{۴۰}

بر اساس اولویت بندی آسیب پذیری طبیعی با به کارگیری روش WLC (شکل ۶ ب) تقریباً تمامی روستاهای استان فارس به استثنای بخش های شمالی (حدود ۲۴۷۵ سکونتگاه روستایی یا حدود ۸۹ درصد کل روستاها) دارای میزان استاندارد شده آسیب پذیری طبیعی بیش از ۰/۵ می باشد. همچنین، حدود ۴۳ سکونتگاه روستایی یا حدود ۱/۶ درصد کل روستاهای منطقه مطالعاتی (که از این تعداد حدود ۴۲ سکونتگاه روستایی در شهرستان کازرون و ۱ سکونتگاه روستایی در شهرستان لارستان واقع شده است) دارای مقدار استاندارد شده آسیب پذیری طبیعی بیش از ۰/۹ می باشد.

اولویت بندی آسیب پذیری طبیعی با به کارگیری عملگر OR فازی (سناریوی بدبینانه)

مطابق اولویت بندی آسیب پذیری طبیعی با به کارگیری عملگر OR فازی (سناریوی بدبینانه) (شکل ۶ ج) بر اساس وزن های مرتب شده (جدول

۳ ب)، تمامی روستاهای استان فارس دارای مقدار استاندارد شده آسیب پذیری طبیعی بیش از ۰/۵ می باشد. همچنین، حدود ۲۳۲۸ سکونتگاه روستایی یا حدود ۸۳/۷ درصد کل روستاهای منطقه مطالعاتی دارای مقدار استاندارد شده آسیب پذیری طبیعی بیش از ۰/۹ می باشد.

اولویت بندی آسیب پذیری طبیعی با به کارگیری سناریوی نسبتاً خوش بینانه^{۴۱}

مطابق اولویت بندی آسیب پذیری طبیعی روستاها با به کارگیری سناریوی نسبتاً خوش بینانه (حد واسط سناریوی خوش بینانه و سناریوی متعادل) (شکل ۶ د) بر اساس وزن های مرتب شده معیارها (جدول ۳ ج)، اکثر روستاهای منطقه مطالعاتی به استثنای بخش های شمالی (حدود ۲۲۰۵ سکونتگاه روستایی یا حدود ۷۹/۲ درصد کل روستاها) دارای مقدار استاندارد شده آسیب پذیری طبیعی بیش از ۰/۵ می باشند. همچنین، حدود ۸ سکونتگاه روستایی که در شهرستان کازرون واقع شده اند، دارای مقدار استاندارد شده آسیب پذیری بیش از ۰/۹ می باشند.

اولویت بندی آسیب پذیری طبیعی با به کارگیری سناریوی نسبتاً بدبینانه^{۴۲}

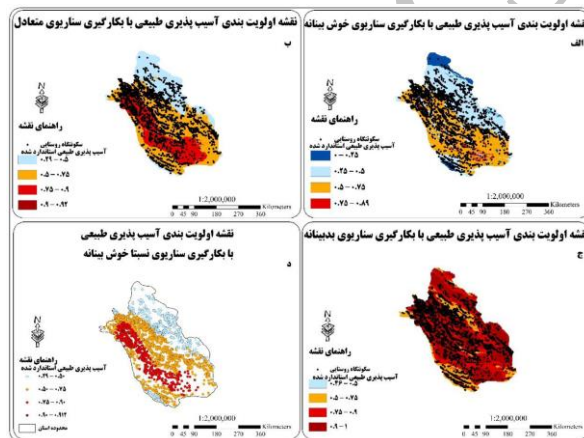
مطابق اولویت بندی آسیب پذیری طبیعی روستاها با به کارگیری سناریوی نسبتاً بدبینانه (حد واسط بین سناریوی متعادل و سناریوی بدبینانه) (شکل ۶ ه) بر اساس وزن های مرتب شده معیارها (جدول ۳ د)، تمامی روستاهای استان فارس (حدود ۲۷۵۴ سکونتگاه روستایی یا حدود ۹۹ درصد کل روستاها) دارای مقدار استاندارد شده آسیب پذیری طبیعی بیش از ۰/۵ می باشند. همچنین، حدود ۱۰۶ سکونتگاه روستایی یا حدود ۳/۸ درصد کل روستاهای منطقه مطالعاتی دارای مقدار استاندارد شده آسیب پذیری بیش از ۰/۹ می باشند.

جدول ۴: تعداد روستاها و مجموع جمعیت سکونتگاه های روستایی بر اساس مقدار استاندارد شده آسیب پذیری طبیعی (مأخذ: نگارنده، ۱۳۹۷)

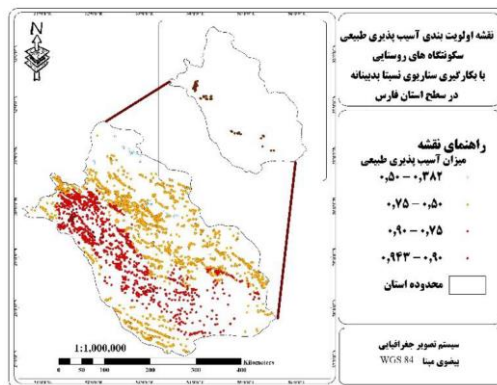
تعداد روستاهای دارای مقدار آسیب پذیری طبیعی کمتر از ۰/۵	۲۷ روستا (۹/۷ درصد): مجموع جمعیت: ۱۲۷۱۲ نفر
تعداد روستاهای دارای مقدار آسیب پذیری طبیعی بین ۰/۵ الی ۰/۷۵	۱۵۳۵ روستا (۵۵/۲ درصد): مجموع جمعیت: ۷۵۷۵۴۱ نفر
تعداد روستاهای دارای مقدار آسیب پذیری طبیعی بین ۰/۷۵ الی ۰/۹	۱۱۱۳ روستا (۴۰ درصد): مجموع جمعیت: ۵۴۴۶۴۴ نفر
تعداد روستاهای در معرض میزان آسیب پذیری طبیعی بیش از ۰/۹	۱۰۶ روستا (۳/۸ درصد): مجموع جمعیت: ۵۶۹۶۵ نفر

روستاهای واقع در نواحی که بر اساس سناریوی شده با توجه به اهمیت مساله آسیب پذیری، سناریوی نسبتا بدبینانه به عنوان مبنایی جهت اولویت بندی آسیب پذیری انسانی انتخاب شده است تا با تاکید بیشتر از حد متوسط، مساله آسیب پذیری طبیعی مورد توجه قرار گرفته باشد. همچنین در این پژوهش، آسیب پذیری انسانی

یادآوری می شود از میان پنج سناریوی طراحی شده با توجه به اهمیت مساله آسیب پذیری، سناریوی نسبتا بدبینانه به عنوان مبنایی جهت اولویت بندی آسیب پذیری انسانی انتخاب شده است تا با تاکید بیشتر از حد متوسط، مساله آسیب پذیری طبیعی مورد توجه قرار گرفته باشد. همچنین در این پژوهش، آسیب پذیری انسانی



شکل ۶: اولویت بندی آسیب پذیری طبیعی سکونتگاه های روستایی با به کارگیری سناریوهای مختلف در سطح استان فارس



شکل ۷: اولویت بندی آسیب پذیری طبیعی سکونتگاه های روستایی با به کارگیری سناریوی نسبتا بدبینانه در سطح استان فارس

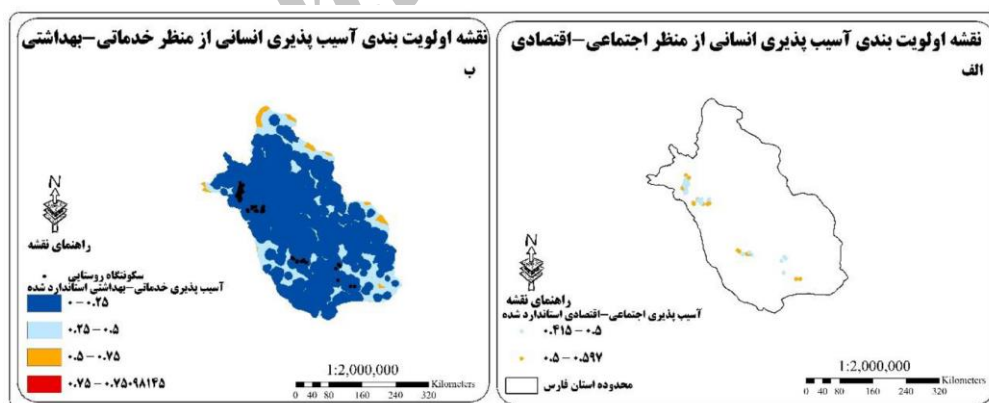
"مرکزی" شهرستان "کازرون" دارای کمترین میزان آسیب پذیری انسانی می باشند. همچنین، بالا بودن میزان متغیر "درصد ساختار سنی" که بین مقادیر استاندارد شده "۰/۸" تا "۰/۹۷" می باشد، سبب افزایش آسیب پذیری انسانی از منظر اجتماعی-اقتصادی روستاها شده است. اولویت بندی آسیب پذیری انسانی از منظر خدماتی-بهداشتی

بر اساس اولویت بندی آسیب پذیری انسانی روستاها از منظر خدماتی-بهداشتی با به کارگیری روش WLC (شکل ۸ ب)، روستای "طایفه فرهادلو" واقع در بخش "مرکزی" شهرستان "قیروکارزین" نسبت به سایر روستاها دارای بیشترین میزان آسیب پذیری انسانی از منظر خدماتی-بهداشتی می باشد. همچنین، بالا بودن میزان متغیر "فاصله از مراکز درمانی" که بین مقادیر استاندارد شده "صفر" تا "۰/۱۸۹" می باشد، سبب افزایش آسیب پذیری انسانی از منظر خدماتی-بهداشتی روستاها شده است.

مطابق پنج سناریوی طراحی شده آسیب پذیری طبیعی می توان استنباط نمود: حداقل مساحتی در حدود ۶۴۵۶۳/۴ کیلومتر مربع (۵۲/۶ درصد) از مجموع مساحت استان فارس (حدود ۱۷۴۳ سکونتگاه روستایی یا حدود ۶۲/۷ درصد کل روستاها) دارای مقدار استاندارد شده آسیب پذیری طبیعی بیش از ۰/۵ می باشند که به صورت مناطق با درجات بالای ریسک مشخص شده است به نحوی که همواره در این مناطق در طول زمان پیوسته زلزله هایی با قدرت تخریب بالا در آن به وقوع می پیوندد.

اولویت بندی آسیب پذیری انسانی
اولویت بندی آسیب پذیری انسانی از منظر اجتماعی-اقتصادی

بر اساس اولویت بندی آسیب پذیری انسانی روستاها از منظر اجتماعی-اقتصادی با به کارگیری روش WLC (شکل ۸ الف)، روستای "طایفه فرهادلو" واقع در بخش "مرکزی" شهرستان "قیروکارزین" نسبت به سایر روستاها دارای بیشترین و روستای "قمصور" واقع در بخش



شکل ۸: اولویت بندی آسیب پذیری انسانی از منظر اجتماعی-اقتصادی (الف) و خدماتی-بهداشتی، (ب) در سطح استان فارس

این پژوهش دارای درجات آسیب پذیری بالایی (به طور متوسط ۰/۴۹) بوده اما درجات آسیب پذیری-شان از منظر متغیرهای خدماتی-بهداشتی مورد

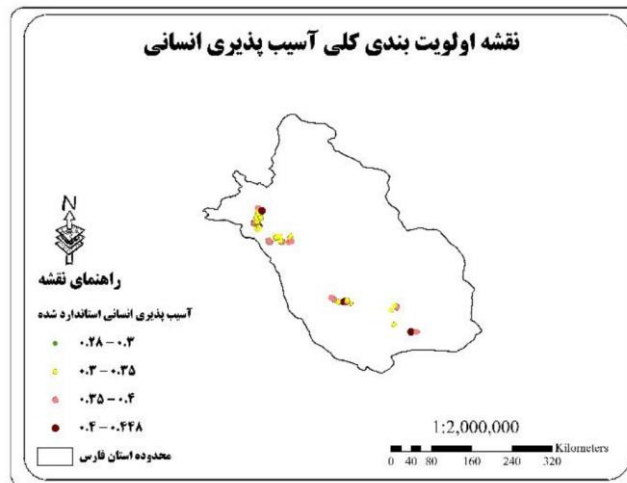
مطابق سناریوی طراحی شده آسیب پذیری انسانی می توان استنباط نمود: مناطق با درجات بالای ریسک آسیب پذیری طبیعی مشخص شده از منظر متغیرهای اجتماعی-اقتصادی مورد استفاده در

"قیروکارزین"، "لارستان"، "ممسنی"، "کازرون" و "شیراز" نسبت به بقیه روستاها دارای بیشترین میزان آسیب‌پذیری انسانی می‌باشند. بالا بودن متغیرهای مربوط به "آسیب‌پذیری انسانی از منظر اجتماعی-اقتصادی" که بین مقادیر استاندارد شده "۰/۴۱۵" الی "۰/۵۹۷" می‌باشد، موجب افزایش آسیب‌پذیری انسانی روستاها شده است.

استفاده در سطح پایین (به طور متوسط ۰/۰۳) می‌باشد.

اولویت‌بندی کلی آسیب‌پذیری انسانی

بر اساس اولویت‌بندی کلی آسیب‌پذیری انسانی روستاها (شکل ۹)، میزان استاندارد شده آسیب‌پذیری بین مقادیر "۰/۲۸۹" الی "۰/۴۴۸" می‌باشند که روستاهای "طایفه فرهادلو"، "آقا حسین"، "سراب رود"، "عسگرآباد" و "کراچی" واقع در بخش‌های "مرکزی" شهرستان‌های



شکل ۹: اولویت‌بندی کلی آسیب‌پذیری انسانی در سطح استان فارس

نتایج و دستاوردهای این پژوهش می‌توان به مواردی نظیر: ارائه اولویت‌بندی مناسب و سنجش سطوح آسیب‌پذیری طبیعی منطقه مطالعاتی و آسیب‌پذیری انسانی روستاهای در معرض آسیب-پذیری بالای طبیعی با به کارگیری متغیرهای مناسب زمین‌شناسی و انسانی، طراحی چندین عملگر فازی جهت اولویت‌بندی آسیب‌پذیری و پشتیبانی از مدیران و برنامه‌ریزان در جهت تصمیم‌گیری و اختصاص تسهیلات مناسب برای مقاوم‌سازی انواع مختلف سکنه روستایی کم دوام و افزایش و بهبود کیفیت متغیرهای اجتماعی-اقتصادی و بهداشتی-خدماتی اشاره نمود. سناریو-

نتیجه‌گیری

در پژوهش حاضر، سعی شد عملگرها و سناریوهایی جهت سنجش سطوح و اولویت‌بندی آسیب‌پذیری روستاها در برابر زلزله با تلفیق لایه-های مرتبط و استفاده از منطق فازی در GIS ارائه گردد؛ بدین منظور، داده‌های پایه موردنیاز شناسایی و آماده‌سازی شد و چندین عملگر فازی جهت اولویت‌بندی آسیب‌پذیری طبیعی برای تلفیق متغیرهای زمین‌شناسی و در نهایت، روش WLC جهت اولویت‌بندی کلی آسیب‌پذیری انسانی روستاها برای تلفیق متغیرهای اجتماعی-اقتصادی و خدماتی-بهداشتی به کار گرفته شد. از

حدی محدود می‌باشد و هم‌چنین مقادیر آسیب-پذیری به دست آمده برای منطقه مطالعاتی این پژوهش، مبنایی نسبی و مقایسه‌ای میان مکان-های مختلف منطقه مطالعاتی داشته و نمی‌توان ماهیتی مطلق برای آن در نظر گرفت.

های طراحی شده در پژوهش حاضر در کنار مزایا، قابلیت‌ها و مواردی که منجر به بهبود رویکرد حل مسئله شده، کاستی‌هایی نیز دارد. از جمله تعداد متغیرهایی که جهت اولویت‌بندی آسیب‌پذیری طبیعی و انسانی روستاها به کار گرفته شده به علت عدم دسترسی به داده‌های مناسب و دقیق تا

پانویس

1-Geographic Information System = GIS
 2-Vulnerability
 3-Assess the Levels
 4-Peak Horizontal Acceleration = PHA
 5-Karmania Hazard Model
 6-Simple Weighted Method
 7-Universal Ranking System Model
 8-VI Vlsekriterijumska Optimizacija I Kompromisno Resenje
 9-Social Vulnerability Index
 10-Social Vulnerability Factor
 11-Total Seismic Vulnerability Index
 12-Analytic Hierarchy Process = AHP
 13-Fuzzy Multi Criteria = FMC
 14-Fuzzy Logic
 15-Multi Criteria Decision Analysis = MCDA
 16-Multi Criteria Evaluation = MCE
 17-Ordered Weighted Averaging = OWA
 18-Moment magnitude = Mw
 19-Magnitude
 20-Intensity

21-Magnitude Local = ML
 22-Magnitude Body = Mb
 23-Magnitude Surface = Ms
 24-Ground Motion Attenuation
 25-Earthquake Source
 26-Wave Propagation
 27-Site Response
 28-Length Rupture = LR
 29-Length Fault = LF
 30-Linear Fuzzy Membership Functions
 31-Pairwise Comparison Matrix
 32-Yager
 33-AND Operator
 34-OR Operator
 35-Weighted Linear Combination = WLC
 36-Pessimistic Operator
 37-Optimistic Operator
 38-Optimistic Scenario
 39-Pessimistic Scenario
 40-Moderate Scenario
 41-Relatively Optimistic Scenario
 42-Relatively Pessimistic Scenario

-پورکرمانی، م. و آرین، م.، ۱۳۷۶. ساینموتکتونیک (لرزه زمین‌ساخت)، چاپ اول، انتشارات مهندسیین مشاور دزآب، تهران، ۲۷۰ ص.
 -زارع، م.، ۱۳۸۴. مقدمه‌ای بر زلزله‌شناسی کاربردی، چاپ اول، انتشارات پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله، تهران، ۳۰۴ ص.

منابع

-امینی، ج.، کرمی، ج.، علیمحمدی سراب، ع. و هاشمی، س.، ۱۳۸۸. ارزیابی روش‌های پشتیبانی تصمیم‌گیری Fuzzy Screening، AHP، AHP_OWA در مکان‌یابی مراکز فرهنگی-ورزشی روستایی (مطالعه موردی: دهستان کانی بازار مهاباد)، سال اول، شماره چهارم، سنجش از دور و GIS ایران، تهران، ص ۴۱-۵۴.

- زارع، م.، ۱۳۸۸. مبانی تحلیل خطر زمین‌لرزه، چاپ اول، انتشارات پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله، تهران، ۱۴۲ ص.
- فرزادبهباش، م.ر. و حسینی‌جناب، و.، ۱۳۸۵. نقش فناوری GIS در ارتقاء کارایی مدیریت بحران زمین‌لرزه در کلانشهرها با مرور بر تدابیر پایگاه اطلاعات جغرافیایی کلانشهرهای کانادا، همایش
- سراسری راهکارهای ارتقاء مدیریت بحران در حوادث و سوانح غیرمترقبه.
- هاشمی، م. و علیمحمدی سراب، ع.، ۱۳۸۹. بررسی الگوهای زمانی-مکانی در داده‌های مربوط به زمین لرزه‌های تاریخی ایران، با استفاده از شاخص‌ها و مدل‌های آمار فضایی، سال دوم، شماره دوم، سنجش از دور و GIS ایران، تهران، ص ۵۵-۶۹.
- Abo El Ezz, A., Nollet, M.J. and Nastev, M., 2015. Assessment of Earthquake Induced Damage in Quebec City, Canada: International Journal of Disaster Risk Reduction, v.12(1), p.16-24.
- Aliabadi, S.F., Sarsangi, A. and Modiri, E., 2015. The Social and Physical Vulnerability Assessment of Old Texture Against Earthquake (Case Study: Fahadan District in Yazd City): Arabian Journal of Geosciences, v. 8(12), p.10775-10787.
- Alparslan, E., Ince, F., Erkan, B., Aydoner, C., Ozen, H., Donertas, A., Ergintav, S., Yagsan, F.S., Zaterogullar, A., Eroglu, I., Deger, M., Elalmis, H. and Ozkan, M., 2008. A GIS Model for Settlement Suitability Regarding Disaster Mitigation, a Case Study in Bolu Turkey, Engineering Geology, v. 96(3), p. 126-140.
- Altan, O., Toz, G., Kulur, S., Seker, D., Volz, S., Fritsch, D. and Sester, M., 2001. Photogrammetry and Geographic Information Systems for Quick Assessment, Documentation and Analysis of Earthquakes: ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing, v. 55(5-6), p. 359-372.
- Ansal, A., Akinci, A., Cultrera, G., Erdik, M., Pessina, V., Tonuk, G. and Ameri, G., 2009. Loss Estimation in Istanbul Based on Deterministic Earthquake Scenarios of the Marmara Sea Region (Turkey): Soil Dynamics and Earthquake Engineering, v. 29(4), p.699-709.
- Armas, I., 2012. Multi Criteria Vulnerability Analysis to Earthquake Hazard of Bucharest, Romania: Natural Hazards, v. 63(2), p. 1129-1156.
- Armas, I. and Gavras, A., 2016. Census Based Social Vulnerability Assessment for Bucharest, Procedia Environmental Sciences, v. 32, p. 138-146.
- Argyriou, A.V., Teeuw, R.M., Rust, D. and Sarris, A., 2016. GIS Multi Criteria Decision Analysis for Assessment and Mapping of Neotectonic Landscape Deformation: a Case Study from Crete: Geomorphology, v. 253, p. 262-274.
- Bindi, D., Abdrakhmatov, K., Parolai, S., Mucciarelli, M., Grunthal, G., Ischuk, A., Mikhailova, N. and Zschau, J., 2012. Seismic Hazard Assessment in Central Asia: Outcomes from a Site Approach: Soil Dynamics and Earthquake Engineering, v. 37, p. 84-91.
- Cole, S.W., Xu, Y. and Burton, P.W., 2008. Seismic Hazard and Risk in Shanghai and Estimation of Expected Building Damage: Soil Dynamics and Earthquake Engineering, v. 28(10-11), p. 778-794.
- Cutter, S.L., Boruff, B.J. and Shirley, W.L., 2003. Social Vulnerability to Environmental Hazards: Social Science Quarterly, v. 84(2), p. 242-261.

- Douglas, J., 2001. A Comprehensive Worldwide Summary of Strong Motion Attenuation Relationships for Peak Ground Acceleration and Spectral Ordinates (1969 to 2000), London, ESEE Report No. 01-1.
- Fernandez, V.B., 2009. Geo-information for Measuring Vulnerability to Earthquakes: A Fitness for Use Approach, International Institute for GeoInformation Science and Earth Observation, Thesis of MSc, 204 p.
- Ferreira, T.M., Vicente, R., Silva, M.D., Varum, H. and Costa, A., 2013. Seismic Vulnerability Assessment of Historical Urban Centres: Case Study of the Old City Centre in Seixal, Portugal: *Journal of Earthquake Engineering*, v. 11(5), p. 1753-1773.
- Grasso, S. and Maugeri, M., 2009. The Seismic Microzonation of the City of Catania (Italy) for the Maximum Expected Scenario Earthquake of January 11, 1693: *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, v. 29(6), p. 953-962.
- Greene, R., Devillers, R., Luther, J.E. and Eddy, B.G., 2011. GIS-Based Multiple-Criteria Decision Analysis: *Geography Compass*, v. 5(6), p. 412-432.
- Hajibabae, M., Amini-Hosseini, K. and Ghayamghamian, M.R., 2014. Earthquake Risk Assessment in Urban Fabrics Based on Physical, Socioeconomic and Response Capacity Parameters (a Case Study: Tehran City): *Natural Hazards*, v. 74(3), p. 2229-2250.
- Hashemi, M. and Alesheikh, A.A., 2011. A GIS-based Earthquake Damage Assessment and Settlement Methodology: *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, v. 31(11), p. 1607-1617.
- Hashemi, M. and Alesheikh, A.A., 2013. GIS: Agent-based Modeling and Evaluation of an Earthquake-stricken Area with a Case Study in Tehran, Iran: *Natural Hazards*, v. 69(3), p.1895-1917.
- Hashemi, M., Alesheikh, A.A. and Zolfaghari, M.R., 2013. A Spatio-temporal Model for Probabilistic Seismic Hazard Zonation of Tehran: *Computers & Geosciences*, v. 58 (8), p. 8-18.
- Hassanzadeh, R., Zorica, N.B., AlaviRazavi, A., Norouzzadeh, M. and Hodhodkian, H., 2013. Interactive Approach for GIS-based Earthquake Scenario Development and Resource Estimation (Karmania Hazard Model): *Computers & Geosciences*, v. 51, p. 324-338.
- Kappes, M.S., Papathoma-Kohle, M. and Keiler, M., 2012. Assessing Physical Vulnerability for Multi Hazards Using an Indicator Based Methodology: *Applied Geography*, v. 32(2), p. 577-590.
- Karimzadeh, S., Miyajima, M., Hassanzadeh, R., Amiraslazadeh, R. and Kamel, B., 2014. A GIS-based Seismic Hazard, Building Vulnerability and Human Loss Assessment for the Earthquake Scenario in Tabriz: *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, v. 66, p. 263-280.
- Khoshnavan, H. and Barimani, H., 2012. Seismic Vulnerability, Caspian Sea Southern Coast: *Quaternary International*, v. 261, p. 9-13.
- Kuhlicke, C., Scolobig, A., Tapsell, S., Steinfuhrer, A. and Marchi, B.D., 2011. Contextualizing Social Vulnerability: Findings from Case Studies across Europe: *Natural Hazards*, v.58(2), p.789-810.
- Liangcai, H., 2004. Ground Motion Parameters, p. 1-18.
- Liu, H., Cui, X., Yuan, D., Wang, Z., Jin, J. and Wang, M., 2011. Study of Earthquake Disaster Population Risk Based on GIS: A Case Study of Wenchuan Earthquake Region:

- Procedia Environmental Sciences, v. 11, p. 1084-1091.
- Liu, J.G., Mason, P.J., Yu, E., Wu, M.C., Tang, C., Huang, R. and Liu, H., 2012. GIS Modelling of Earthquake Damage Zones Using Satellite Remote Sensing and DEM Data: Geomorphology, v. 139-140, p. 518-535.
- Liu, J., Wang, Z., Xie, F. and Lv, Y., 2013. Seismic Hazard Assessment for Greater North China from Historical Intensity Observations: Engineering Geology, v. 164, p. 117-130.
- Liu, J. and Wang, S., 2015. Analysis of the Differentiation in Human Vulnerability to Earthquake Hazard Between Rural and Urban Areas: Case Studies in 5.12 Wenchuan Earthquake (2008) and 4.20 Ya'an Earthquake (2013), China: Journal of Housing and the Built Environment, v. 30(1), p. 87-107.
- Liu, J., Xie, F. and Lv, Y., 2016. Seismic Hazard Assessments for the Ordos Block and Its Periphery in China: Soil Dynamics and Earthquake Engineering, v. 84, p. 70-82.
- Lobatskaya, R.M. and Strelchenko, I.P., 2016. GIS-based Analysis of Fault Patterns in Urban Areas: a Case Study of Irkutsk City, Russia: Geoscience Frontiers, v. 7, p. 287-314.
- Luzi, L., Pergalani, F. and Terlien, M.T.J., 2000. Slope Vulnerability to Earthquakes at Subregional Scale, Using Probabilistic Techniques and Geographic Information Systems: Engineering Geology, v. 58(3), p. 313-336.
- Malczewski, J., 1999. GIS and Multicriteria Decision Analysis: John Wiley & Sons Publishing, New York, 392 p.
- Malczewski, J., 2003. GIS Multicriteria Evaluation with Ordered Weighted Averaging (OWA): Case Study of Developing Watershed Management Strategies: Journal of Environment and Planning A, v. 35, p. 1769-1784.
- Malczewski, J., 2006. GIS Based Multicriteria Decision Analysis: a Survey of the Literature: International Journal of Geographical Information Science, v. 20(7), p.703-726.
- Mardani, A., Jusoh, A. and Zavadskas, E.K., 2015. Fuzzy Multiple Criteria Decision Making Techniques and Applications - Two Decades Review from 1994 to 2014: Expert Systems with Applications, v. 42(8), p. 4126-4148.
- Martins, V.N., Silva, D.S. and Cabral, P., 2012. Social Vulnerability Assessment to Seismic Risk Using Multicriteria Analysis: The Case Study of Vila Franca do Campo (Sao Miguel Island, Azores, Portugal): Natural Hazards, v. 62(2), p. 385-404.
- Miao, C. and Ding, M., 2015. Social Vulnerability Assessment of Geological Hazards Based on Entropy Method in Lushan Earthquake Stricken Area: Arabian Journal of Geosciences, v. 8, p. 10241-10253.
- Miniati, R. and Iasio, C., 2012. Methodology for rapid seismic risk assessment of health structures: Case study of the hospital system in Florence, Italy: International Journal of Disaster Risk Reduction, v. 2(1), p. 16-24.
- Mota de Sa, F., Monica, A.F. and Oliveira, C.S., 2016. QuakeIST Earthquake Scenario Simulator Using Interdependencies: Journal of Earthquake Engineering, p. 1-21.
- Oliveira, C.S., 2008. Lisbon Earthquake Scenarios: A Review on Uncertainties from Earthquake Source to Vulnerability Modelling: Soil Dynamics and Earthquake Engineering, v. 28(10-11), p. 890-913.
- Ornthammarath, T., Warnitchai, P., Worakanchana, K., Zaman, S.,

- Sigbjornsson, R. and Lai, C.G., 2011. Probabilistic Seismic Hazard Assessment for Thailand: *Journal of Earthquake Engineering*, v. 9(2), p. 367-394.
- Pamungkas, A., Bekessy, S.A. and Lane, R., 2014. Vulnerability Modelling to Improve Assessment Process on Community Vulnerability: *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, v. 135, p. 159-166.
- Peng, Y., 2015. Regional Earthquake Vulnerability Assessment Using a Combination of MCDM Methods: *Annals of Operations Research*, v. 234(1), p. 95-110.
- Pessina, V. and Fiorini, E., 2014. A GIS Procedure for Fast Topographic Characterization of Seismic Recording Stations: *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, v. 63, p. 248-258.
- Proag, V., 2014. The Concept of Vulnerability and Resilience: *Procedia Economics and Finance*, v. 18, p. 369-376.
- Qaddah, A.A. and Abdelwahed, M.F., 2016. GIS-based Site Suitability Modeling for Seismic Stations: Case Study of the Northern Rahat Volcanic Field, Saudi Arabia: *Computers & Geosciences*, v. 83, p.193-208.
- Rashed, T. and Weeks, J., 2003. Assessing Vulnerability to Earthquake Hazards Through Spatial Multicriteria Analysis of Urban Areas: *International Journal of Geographical Information Science*, v. 17(6), p. 547-576.
- Renaud, F.G., Birkmann, J., Damm, M. and Gallopın, G.C., 2010. Understanding Multiple Thresholds of Coupled Social-Ecological Systems Exposed to Natural Hazards as External Shocks: *Natural Hazards*, v. 55(3), p. 749-763.
- Robinson, V.B., 2003. A Prespective on the Fundamentals of Fuzzy Sets and Their Use in Geographic Information Systems: *Transactions in GIS*, v. 7(1), p. 3-30.
- Sarris, A., Loupasakis, C., Soupios, P., Trigkas, V. and Vallianatos, F., 2010. Earthquake Vulnerability and Seismic Risk Assessment of Urban Areas in High Seismic Regions: Application to Chania City, Crete Island, Greece: *Natural Hazards*, v. 54(2), p. 395-412.
- Schmidtlein, M.C., Shafer, J.M., Berry, M. and Cutter, S.L., 2011. Modeled Earthquake Losses and Social Vulnerability in Charleston, South Carolina: *Applied Geography*, v. 31(1), p. 269-281.
- Sen, Z., 2010. Rapid Visual Earthquake Hazard Evaluation of Existing Buildings by Fuzzy Logic Modeling: *Expert Systems with Applications*, v. 37(8), p. 5653-5660.
- Shakya, M., Varum, H., Vicente, R. and Costa, A., 2015. Seismic Vulnerability and Loss Assessment of the Nepalese Pagoda Temples: *Journal of Earthquake Engineering*, v. 13(7), p. 2197-2223.
- Sharifikia, M., 2010. Vulnerability Assessment and Earthquake Risk Mapping in Part of North Iran Using Geospatial Techniques: *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, v. 38(4), p. 708-716.
- Sitharam, T.G. and Kolathayar, S., 2013. Seismic Hazard Analysis of India Using Areal Sources: *Journal of Asian Earth Sciences*, v. 62, p. 647-653.
- Vahdat, K., Smith, N.J. and Amiri, G.G., 2014. Fuzzy Multicriteria for Developing a Risk Management System in Seismically Prone Areas: *Socio-Economic Planning Sciences*, v. 48(4), p. 1-14.
- Vicente, R., Parodi, S., Lagomarsino, S., Varum, H. and Mendes Silva, J.A.R., 2011. Seismic Vulnerability and Risk Assessment: Case Study of the Historic City Centre of Coimbra,

- Portugal: Journal of Earthquake Engineering, v. 9(4), p. 1067-1096.
- Vicente, R., Ferreira, T. and Maio, R., 2014. Seismic Risk at the Urban Scale: Assessment, Mapping and Planning: Procedia Economics and Finance, v. 18, p. 71-80.
- Walker, B.B., Taylor-Noonan, C., Tabbernor, A., McKinnon, T.B., Bal, H., Bradley, D., Schuurman, N. and Clague, J.J., 2014. A Multi Criteria Evaluation Model of Earthquake Vulnerability in Victoria, British Columbia: Natural Hazards, v. 74(2), p. 1209-1222.
- Walters, V. and Gaillard, J.C., 2014. Disaster Risk at the Margins: Home Lessness, Vulnerability and Hazards: Habitat International, v. 44(0), p. 211-219.
- Wang, C.H. and Guldman, J.M., 2016. A Spatial Panel Approach to the Statistical Assessment of Seismic Impacts and Building Damages: Case Study of Taichung, Taiwan: Computers, Environment and Urban Systems, v. 57, p. 178-188.
- Wu, M.C., Liu, J., Cosgrove, J., Mason, P.J., Hongshi Yan, H. and Chang, W.Y., 2014. Modelling of Yingxiu–Beichuan Fault Zone Based on Refined DInSAR Data of 2008 Wenchuan Earthquake: Tectonophysics, v. 630(1), p. 193-207.
- Yagoub, M.M., 2015. Spatiotemporal and Hazard Mapping of Earthquake in UAE (1984 –2012): Remote Sensing and GIS Application: Geoenvironmental Disasters, v. 2, (1), p. 1-14.
- Youssef, A.M., Pradhan, B. and Tarabees, E., 2011. Integrated Evaluation of Urban Development Suitability Based on Remote Sensing and GIS Techniques: Contribution from the Analytic Hierarchy Process: Arabian Journal of Geosciences, v. 4(3), p. 463-473.