

## ارزیابی آسیب پذیری سکونتگاه‌های روستایی ایران در برابر خطر زلزله

حسنعلی فرجی سبکبار\*، بهمن طهماسی\*\*، معصومه قربانی\*\*\*، علی اکبر سرمدی سیفی\*\*\*\*، نبی‌الله سلطانی  
غیاثوند\*\*\*\*\*

تاریخ دریافت مقاله:

۱۳۹۹/۱۲/۲۳

تاریخ پذیرش مقاله:

۱۴۰۰/۰۵/۱۱

چکیده

زلزله یکی از مهم‌ترین مخاطرات طبیعی است که هر ساله آسیب‌های فراوانی را برای جوامع انسانی در پی دارد و بعضاً منجر به ایجاد بحران‌ها و فجایع بزرگی می‌شود. ایران به علت موقعیت زمین‌شناسی و قرارگیری بر روی کمر بند زلزله دارای گسل‌های فعال متعدد و یکی از کشورهای لرزه‌خیز دنیا است و طی دوره‌های مختلف بر اثر وقوع زلزله، محتمل تلفات زیادی شده‌است. در این بین، سکونتگاه‌های روستایی نیز به دلیل شرایط خاص خود مانند تمرکز شدید جمعیتی در برخی از نقاط پرخطر کشور، سطح پایین تکنولوژی و عدم دسترسی به مصالح مقاوم، شخصی سازی مساکن و عدم رعایت اصول ایمنی در ساخت وسازها، تأسیسات زیربنایی غیراستاندارد، مکانیابی نامناسب و عدم دسترسی به امکانات و خدمات، سطح پایین آموزش و مهارت از نخستین مناطق آسیب‌پذیر در برابر زلزله هستند. لذا داشتن شناخت کافی از میزان آسیب‌پذیری بالقوه سکونتگاه‌های روستایی در جهت برنامه‌ریزی و پیشگیری از آسیب‌ها، می‌تواند در فرایند مدیریت بحران بسیار کارآمد باشد. هدف از این پژوهش، ارزیابی آسیب‌پذیری سکونتگاه‌های روستایی ایران در برابر خطر زلزله است. جامعه مورد مطالعه شامل تمام سکونتگاه‌های روستایی ایران است. داده‌های مورد استفاده در این مقاله از مرکز آمار ایران سال ۱۳۹۰ گردآوری شده‌است. در این مقاله بعد از مرور ادبیات ۱۲ متغیر در قالب ۳ معیار اصلی (جمعیت، نوع مصالح، سن مساکن) برای ارزیابی آسیب‌پذیری استفاده شده‌است. ابتدا پهنه‌بندی خطر زلزله (کم، متوسط، زیاد) بر اساس مطالعات پیشین، داده‌های موجود و نظر کارشناسان انجام شد. همچنین جهت ارزیابی آسیب‌پذیری سکونتگاه‌های روستایی از سیستم استنتاج فازی با ایجاد پایگاه قواعد دانش بنیان و تعریف ۵۹۴ قاعده در محیط نرم‌افزار Matlab استفاده شده‌است و خروجی نهایی با نرم‌افزار Arc GIS نمایش داده شده‌است. نتایج پژوهش نشان می‌دهد حدود ۴۵ درصد جمعیت و مساکن روستایی در پهنه با خطر زیاد زلزله استقرار یافته‌اند. همچنین سکونتگاه‌های روستایی ایران بر اساس میزان آسیب‌پذیری در برابر زلزله در سه طبقه با آسیب‌پذیری کم، متوسط و زیاد قرار گرفته‌اند که بخش عمده آن‌ها، به عبارتی حدود ۷۰ درصد سکونتگاه‌های روستایی ایران در طبقه با میزان آسیب‌پذیری زیاد قرار می‌گیرند.

**کلمات کلیدی:** آسیب‌پذیری، سکونتگاه‌های روستایی، زلزله، سیستم استنتاج فازی.

\* استاد دانشگاه، گروه جغرافیای انسانی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران، تهران، ایران. hfaraji@ut.ac.ir

\*\* دانشجوی دکتری جغرافیا و برنامه‌ریزی روستایی، گروه جغرافیای انسانی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران، تهران، ایران.

\*\*\* دانشجوی دکتری جغرافیا و برنامه‌ریزی روستایی، گروه جغرافیای انسانی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران، تهران، ایران.

\*\*\*\* عضو هیئت علمی پژوهشکده سوانح طبیعی.

\*\*\*\*\* عضو هیئت علمی پژوهشکده سوانح طبیعی.

## مقدمه

زلزله مخرب‌ترین پدیده طبیعی بوده و به علت گستردگی قلمرو، کثرت وقوع و همچنین وسعت و شدت خساراتی که وارد می‌سازد یکی از شناخته‌شده‌ترین بلایای طبیعی جهان است (ملکی، ۱۳۸۶: ۱۱۴). به طوری که در طول قرن بیستم حدود ۱/۸۷ میلیون نفر در جهان بر اثر زلزله کشته شده‌اند (Doocy et al, 2013: 2). زلزله هر ساله میلیون‌ها بار رخ می‌دهد و برخی از آن‌ها باعث خسارت‌های شدید می‌شوند، از جمله طی دوره‌های اخیر زلزله‌های شدیدی مانند زلزله سال ۲۰۰۸ در ونچوان چین، زلزله سال ۲۰۱۰ در هائیتی، زلزله و سونامی سال ۲۰۱۱ در شرق ژاپن و زلزله سال ۲۰۱۵ در نیپال که منجر به خسارت و تلفات شدیدی شده است (Wu et al, 2019: 321). در ایران نیز طی دهه‌های اخیر زلزله‌های مهمی مانند زلزله رودبار و منجیل در سال ۱۳۶۹، زلزله بم در سال ۱۳۸۲، زلزله ازگله و سر پل ذهاب در سال ۱۳۹۶ همراه با خسارت‌های جانی و مالی فراوانی بوده است. ایران نیز به علت موقعیت زمین‌شناسی و قرارگیری بر روی کمربند زلزله از کشورهای لرزه‌خیز دنیا محسوب می‌شود و همه‌ساله بر اثر وقوع زلزله، محتمل خسارات و تلفات زیادی می‌شود. واقعیت این است که افزایش تمرکز سرمایه‌های فیزیکی در مناطق پرخطر به افزایش آسیب‌پذیری و اثرهای نامطلوب حوادث طبیعی منجر شده است (Tangri et al, 2008: 30).

هم‌اکنون مدیران دولتی و محلی در زمان تصمیم‌گیری‌های سیاسی و اقتصادی برای اجرای برنامه‌های کاهش آسیب‌پذیری خطرها با چالش‌های اساسی روبه‌رو هستند. این چالش‌ها اغلب شامل جریان‌های گیج‌کننده مدیریت اطلاعات، ناکارایی‌ها در فرایند تصمیم‌گیری و نارسایی در اجرا هستند

(Hoberman, 2012: 12). لذا داشتن یک دیدگاه مناسب از بحران‌ها در شدت‌های مختلف و در نتیجه، شناخت نقاط ضعف و قوت برنامه‌های مدیریتی در قبل و بعد از بحران دست مدیران را برای داشتن گزینه‌های متعدد برای کاهش آسیب‌پذیری خطرها باز می‌کند (حسینی و همکاران، ۱۳۹۳: ۱۴۸). با شناسایی مناطق آسیب‌پذیر می‌توان در خصوص برنامه‌ریزی و مدیریت بحران اقداماتی همچون مقاوم‌سازی سازه‌های پرخطر و کاهش تمرکز جمعیت در مناطق آسیب‌پذیر را انجام داد تا از خسارات مالی و جانی که پیامدهای جبران‌ناپذیری بر جامعه و افراد خواهد گذاشت جلوگیری شود (خیابانی و همکاران، ۱۳۹۶: ۵۸).

در همین زمینه، سکونتگاه‌های روستایی کشور از جمله مناطقی هستند که در معرض خطر شدید زلزله می‌باشند. زمانی این موضوع اهمیت بیشتری می‌یابد که بدانیم در صورت بروز خطر، این سکونتگاه‌ها به دلیل ویژگی‌های منحصربه‌فرد خود مانند تمرکز شدید جمعیتی در برخی از نقاط کشور و کمبود فضاهای باز، سطح پایین تکنولوژی و عدم دسترسی به مصالح مقاوم، بافت‌های فرسوده، عدم رعایت اصول ایمنی در ساخت‌وسازها، تأسیسات زیربنایی غیراستاندارد، مکان‌یابی نامناسب و عدم دسترسی به امکانات و خدمات، سطح پایین آموزش و مهارت در خصوص مخاطرات طبیعی مانند زلزله، از مواردی هستند که علاوه بر شرایط ذاتی زلزله، می‌توانند در افزایش آسیب‌پذیری و خسارات تأثیرگذار باشند و وقوع زلزله در این نواحی را به بحرانی عظیم تبدیل نماید (نوروزی و فرهادی، ۱۳۹۶: ۳۲)؛ بنابراین برای جلوگیری از تمرکز نواحی مسکونی پرجمعیت و عدم استقرار فعالیت‌های گوناگون اقتصادی در پهنه‌های با خطر بالا و به منظور هدایت منطقی جریان‌های جمعیتی و سایر

فعالیت‌ها به مناطق کم‌خطر و امن و یا هر گونه برنامه‌ریزی و اقدام مناسب دیگر با هدف کاهش آسیب‌پذیری، تهیه و ترسیم نقشه پهنه‌بندی آسیب‌پذیری سکونتگاه‌های روستایی در برابر زلزله در سطح کشور بسیار مهم و ضروری است. بنابراین، تحقیق حاضر به دنبال تهیه نقشه پهنه‌بندی آسیب‌پذیری سکونتگاه‌های روستایی کشور در برابر زلزله و ارزیابی پهنه‌های فضایی پرخطر موجود در کشور جهت افزایش شناخت و پیشگیری از بروز بحران‌های جبران‌ناپذیر پس از وقوع زلزله و آمادگی مقابله با این بحران‌ها می‌باشد. از این رو، پژوهش حاضر در پی پاسخ به دو سؤال است. اول؛ میزان قرار گرفتن سکونتگاه‌های روستایی در معرض خطر زلزله به چه صورت است؟ دوم؛ میزان آسیب‌پذیری بالقوه سکونتگاه‌های روستایی در برابر خطر زلزله به چه صورت است؟

ارزیابی برای کاهش و به حداقل رساندن عواقب احتمالی بحران‌هاست (Marwitz et al, 2008: 93) که از طریق برنامه‌ریزی امکان‌پذیر می‌شود (Jaques, 2017: 148). در همین راستا جهت اعمال سیاست‌ها و راهبردهای مناسب در مقابله با بحران، واکاوی مفهوم آسیب‌پذیری در برابر زلزله ضرورت دارد.

آسیب‌پذیری یک مفهوم بنیادی برای بیان ابعاد نظری و عملی حوادث و بلایا است (Gibb, 2018: 327). آسیب‌پذیری تابعی از قرار گرفتن در معرض خطر و پتانسیل برای پاسخ انسان و مقابله با تغییرات محیطی، اجتماعی و اقتصادی مورد استفاده قرار می‌گیرد (Adger, 2006; Gallopin, 2006; Angeon & Bates, 2015; Wilson, 2012; Yoo et al, 2011; Watts & Bohle, 1993). آسیب‌پذیری جوامع در سه مرحله تکامل پیدا می‌کند: ۱- قرار گرفتن در معرض خطر: شامل ماهیت، وسعت، بزرگی، دامنه و فراوانی بروز وقایع شدید نظیر زلزله می‌باشد. ۲- حساسیت: میزان تأثیرپذیری جامعه از خطر که می‌تواند به صورت مثبت یا منفی اتفاق بیفتد. ۳- ظرفیت تطبیق: میزان قابلیت یک جامعه برای انطباق با تغییرات که شامل حفظ، به حداقل رساندن خسارت، یا به حداکثر رساندن ایمنی می‌باشد (Wisner et al, 2004: 11; Lopez, 2009: 3-4). بر اساس معیارهای یاد شده می‌توان نتیجه گرفت آسیب‌پذیرترین قشر در بین افراد در معرض سانحه زلزله در مناطق روستایی، افرادی هستند که در مناطق با ریسک بالا زندگی می‌کنند و در برابر خطر زلزله حساسیت زیادی دارند و در نهایت، برای مقابله با زلزله دارای ساختارهای نامناسبی هستند. تجربه زلزله‌های گذشته تأییدکننده آسیب‌پذیری بالای مسکن روستایی است که این امر متأثر از قدمت بالا، ضعف ساخت و ساز و استفاده از مصالح نامرغوب است. به طوری که بر اساس آمار مهم‌ترین علت آسیب‌پذیری و

## ادبیات موضوع

زمین‌لرزه یا زلزله، لرزش و جنبش زمین است که به علت آزاد شدن انرژی ناشی از گسیختگی سریع در گسل‌های پوسته زمین در مدتی کوتاه روی می‌دهد. زمین‌لرزه نتیجه رهایی ناگهانی انرژی از داخل پوسته زمین است که امواج ارتعاشی را ایجاد می‌کند. زمین‌لرزه‌ها اغلب نتیجه حرکت گسل‌ها، فعالیت‌های آتشفشانی، ریزش کوه‌ها، انفجار معدن‌ها و آزمایش‌های هسته‌ای هستند (معماریان، ۱۳۸۷: ۴۹۶). وقوع مخاطراتی مانند زلزله همواره امکان‌پذیر است و فقط از طریق برنامه‌ریزی صحیح و استفاده از شیوه‌ها و ابعاد جدید مدیریتی می‌توان از پیامدهای گوناگون و آسیب‌ها و خسارت‌های ناشی از آن‌ها را کاهش داد (پورطاهری و همکاران، ۱۳۹۰: ۳۵). به همین دلیل کاهش خسارت‌ها و آسیب‌های مربوط به بحران‌ها و بلایا نیازمند مدیریت است، مدیریت بحران در واقع پیشگیری و

مرگ و میر در زلزله‌های بم، منجیل، طبس و بوئین‌زهرا مقاوم نبودن مسکن روستایی بوده است (عینالی و همکاران، ۱۳۹۳: ۸۱-۸۲).

یکی از مهم‌ترین مراحل برنامه‌ریزی فضایی شناسایی و رتبه‌بندی مخاطرات طبیعی از جمله زلزله و توزیع فضایی پیامدهای احتمالی آن در مکان‌های مختلف جغرافیایی با توجه به شدت خطرپذیری از یک طرف و میزان جمعیت در معرض خطر و نسبت ساختمان‌های مسکونی غیرفلزی و فرسوده از طرف دیگر است (Frigerio & Amicis, 2016: 195; Wu et al, 2019: 322). توجه به امنیت فیزیکی واحدهای مسکونی روستایی از جمله مقاوم‌سازی و به‌کارگیری مصالح بادوام و همزمان توجه به موضوع تراکم جمعیت در بحث کاهش فقر مسکن و متعاقباً کاهش آسیب‌پذیری در برابر زلزله دارای اهمیت بسزایی است (شیروانیان و بخشوده، ۱۳۹۱: ۱۱۳). با توجه به اهمیت این موضوع در ادامه به بررسی مطالعات صورت گرفته در قلمرو موضوعی پژوهش پرداخته می‌شود.

دوزگون<sup>۱</sup> و همکاران (۲۰۱۱) به ارائه یک چارچوب برای ارزیابی آسیب‌پذیری زلزله در مناطق شهری ترکیه پرداخته‌اند. برای انجام این مهم از معیارهای؛ خطر زلزله، نوع خاک، خطر سونامی، شاخص‌های آسیب‌پذیری کالبدی، شاخص‌های آسیب‌پذیری اجتماعی-اقتصادی و دسترسی به خدمات ضروری استفاده شده است؛ که خروجی آن الگوی آسیب‌پذیری با توجه به معیارهای کالبدی، اجتماعی، اقتصادی و دسترسی به خدمات را در اختیار تصمیم‌گیران قرار می‌دهد.

گا و جی<sup>۲</sup> (۲۰۱۴) به تحلیل آسیب‌پذیری در برابر زمین‌لرزه با توجه به ویژگی‌های ساختاری مسکن در مناطق روستایی چین در سطح شهرستان‌های این کشور

پرداخته‌اند. در این مطالعه از شاخص‌های شدت زمین‌لرزه، کیفیت مسکن و تراکم جمعیت استفاده شده است و نتایج آن نشان می‌دهد از کل شهرستان‌ها ۷/۹ درصد دارای آسیب‌پذیری بالا و ۱۰/۷ درصد آسیب‌پذیر بوده‌اند.

گودا<sup>۳</sup> و همکاران (۲۰۱۶) در مطالعه خود به ارزیابی خطر زلزله در شهرها و روستاهای مالاوی با استفاده از معیارهایی مانند توزیع فضایی جمعیت، تغییرات فضایی جمعیت، نرخ مالکیت ساختمان‌ها، نوع مصالح ساختمان‌ها و فاصله از گسل پرداخته‌اند. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد در صورت وقوع یک زلزله بزرگ با توجه به حساسیت زیاد ناشی از وجود نسبت بالای سازه‌های قدیمی و غیر مقاوم آسیب‌پذیری بالایی را در پی خواهد داشت.

پورظاهری و همکاران (۱۳۹۳) پژوهشی با عنوان ارزیابی آسیب‌پذیری فیزیکی سکونتگاه‌های روستایی در برابر زلزله با استفاده از مدل تصمیم‌گیری کوپراس در دهستان چالان چولان شهرستان درود انجام داده‌اند. در این پژوهش از معیارهای سنجش شامل؛ سن یا طول عمر واحد مسکونی، استفاده از مصالح بادوام، میزان تخریب واحدهای مسکونی و زیرساخت‌ها و میزان فاصله از گسل استفاده شده است که معیارهای سنجش در سه سطح آسیب‌پذیری کم، متوسط و زیاد مورد بررسی قرار گرفته‌اند؛ و بر اساس آن روستاهای مورد مطالعه با توجه به میزان آسیب‌پذیری رتبه‌بندی شده‌اند.

ظاهری و همکاران (۱۳۹۴) در مطالعه خود به ارزیابی آسیب‌پذیری نواحی روستایی از خطر زلزله در بخش مرکزی شهرستان مرنند در بعد کالبدی و اجتماعی-اقتصادی و با استفاده از شاخص‌هایی مانند کیفیت ابنیه، تراکم جمعیت، نسبت فعالیت، نسبت جنسی، نسبت

گسل، بافت و فشردگی سکونتگاه استفاده شده است. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد قدمت بالای عمده مساکن روستاهای مورد مطالعه، مصالح بی کیفیت (تیر چوبی و گلی) و دسترسی نامناسب از عوامل اصلی افزایش ضریب آسیب پذیری این روستاها در برابر زلزله است.

عراقیان و همکاران (۱۳۹۶) در مطالعه خود کاربرد منطق فازی در ارزیابی و پهنه بندی پتانسیل آسیب پذیری ناشی از زلزله در سکونتگاه‌های روستایی شهرستان طارم را مورد بررسی قرار داده‌اند. در این مطالعه جهت پهنه بندی آسیب پذیری، لایه‌های اطلاعاتی مربوط به زمین لغزش، فاصله از گسله‌ها، زمین شناسی، شیب و کاربری زمین با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی روی هم گذاری شده و با عملگرهای فازی تلفیق شده است. نتایج این مطالعه نشان می‌دهد حدود ۴۵ درصد از مساحت محدوده در پهنه با آسیب پذیری بسیار زیاد و زیاد قرار دارد.

بررسی مطالعات خارجی و داخلی انجام شده در قلمرو پژوهش حاضر نشان می‌دهد که در پژوهش‌های مختلف به بررسی ابعاد مختلفی از آسیب پذیری سکونتگاه‌های شهری و روستایی در برابر زلزله پرداخته شده است که هر کدام از این پژوهش‌ها روش شناسی خاص خود را داشته و تلاش نموده‌اند شاخص‌ها و معیارهای مناسبی را برای ارزیابی آسیب پذیری در برابر زلزله به کار گیرند که عمده این معیارها مربوط به کیفیت سازه‌ها، نوع مصالح به کار رفته، سن و قدمت بناها و همچنین جمعیت‌های در معرض خطر بوده است. آنچه وجه تمایز پژوهش حاضر با پژوهش‌های پیشین به ویژه در پژوهش‌های داخلی است به قلمرو و جامعیت مکانی پژوهش حاضر مربوط می‌شود. چراکه در پژوهش‌های پیشین عمدتاً در سطح محلی مانند دهستان، بخش یا

گروه‌های آسیب پذیر (کودکان، زنان و سالخورده‌گان) به ارزیابی وضعیت آسیب پذیری پرداخته و میزان آسیب پذیری را در چهار سطح کم، متوسط، بالا و بسیار بالا تعیین نموده‌اند. نتایج پژوهش نشان دهنده آسیب پذیری بالا و خیلی بالا در بیش از ۳۰ درصد روستاهای مورد مطالعه است.

صادقی و همکاران (۱۳۹۵) به ارزیابی آسیب پذیری مساکن روستایی در برابر زلزله با رویکرد مدیریت بحران در استان فارس پرداخته‌اند. در این مطالعه برای سنجش آسیب پذیری از معیارهایی مانند نوع مصالح به کار رفته، قدمت بنا و مساحت زیربنای واحدهای مسکونی استفاده شده است. نتایج پژوهش نشان می‌دهد بیش از ۸۵ درصد از مساکن روستایی استان فارس در پهنه پرخطر زلزله قرار دارند.

شکور و همکاران (۱۳۹۶) در مقاله‌ای ریسک آسیب پذیری سکونتگاه‌های روستایی در برابر زلزله در شهرستان لامرد را با استفاده از شاخص‌های جمعیتی مانند تعداد جمعیت، تعداد خانوار، تراکم جمعیت و شاخص‌های کالبدی مانند تعداد واحدهای مسکونی، تعداد واحدهای با مصالح مقاوم و میزان ریسک زلزله (کم تا متوسط و متوسط تا زیاد) مورد مطالعه و تحلیل قرار داده‌اند. نتایج پژوهش آن‌ها نشان می‌دهد در منطقه مورد مطالعه دو دهستان دارای ریسک بالا، یک دهستان دارای ریسک متوسط و چهار دهستان دارای ریسک پایین به لحاظ آسیب پذیری در برابر زلزله هستند.

مهدوی و هزاریان (۱۳۹۶) در مقاله‌ای به ارزیابی و تحلیل آسیب پذیری کالبدی سکونتگاه‌های روستایی در برابر زلزله در شهرستان یزد پرداخته‌اند؛ و برای سنجش آسیب پذیری از شاخص‌های کالبدی و جمعیتی مانند تراکم جمعیتی، شبکه معابر، کیفیت سازه بر اساس نوع مصالح، قدمت ابنیه بر اساس سال ساخت، فاصله از



شهرستان بوده است و هیچ‌کدام از آن‌ها به صورت جامع آسیب‌پذیری کل روستاهای کشور را ارزیابی ننموده‌اند که این خلغ در پژوهش حاضر مورد توجه و بررسی قرار گرفته است. روش تحقیق

در مطالعه حاضر روش پژوهش به صورت توصیفی تحلیلی است. جامعه مورد مطالعه شامل تمام سکونتگاه‌های روستایی ایران است. در این مقاله با استفاده از نقشه خطر زلزله در پهنه فضایی ایران که در ۳ سطح با میزان خطر کم، خطر متوسط و خطر زیاد طبقه‌بندی شده است (زارع، ۱۳۹۸) به ارزیابی و تحلیل میزان آسیب‌پذیری سکونتگاه‌های روستایی در سطح شهرستان‌های ایران پرداخته شده است. استخراج معیارهای مورد استفاده برای ارزیابی آسیب‌پذیری در این مقاله بر اساس مرور ادبیات نظری و پیشینه پژوهش بوده که از این طریق اعتبار علمی آن‌ها نیز تأیید شده است؛ و در نهایت با توجه به در دسترس بودن داده‌ها در مجموع ۳ معیار ارزیابی شامل: جمعیت سکونتگاه‌های روستایی، نوع مصالح به‌کاررفته در مسکن روستایی و سن مسکن روستایی جهت ارزیابی آسیب‌پذیری سکونتگاه‌های روستایی مورد تحلیل قرار گرفته است. جهت ارزیابی هر کدام از معیارهای مذکور نیز از تعدادی متغیر استفاده شده است (جدول شماره ۱).

داده‌های مورد استفاده در این پژوهش از سرشماری عمومی نفوس و مسکن سال ۱۳۹۰ مرکز آمار ایران و بر اساس نقاط روستایی استخراج شده است اما با توجه به تعداد بالای نقاط روستایی و دشواری در ارزیابی و امکان بروز خطا و همچنین جهت بصری‌سازی مناسب و امکان نمایش بهتر خروجی آن با استفاده از دستور Spatial Join در محیط نرم‌افزار Arc Map داده‌های نقطه‌ای (نقاط روستایی) به لایه پلیگونی (شهرستان‌ها)

متصل شده‌اند. در این فرایند هیچ‌گونه تغییری در ماهیت داده‌ها رخ نمی‌دهد بلکه داده‌های مربوط به نقاط روستایی در یک سطح بالاتر مورد ارزیابی قرار گرفته‌اند.

۱. معیارها و متغیرهای ارزیابی آسیب‌پذیری (منبع: عراقیان و همکاران، ۱۳۹۶؛ مهدوی و هزاریان، ۱۳۹۶؛ صادقی و همکاران، ۱۳۹۵؛ پورطاهری و همکاران، ۱۳۹۳؛ شکور و همکاران، ۱۳۹۶؛ ظاهری و همکاران، ۱۳۹۴)

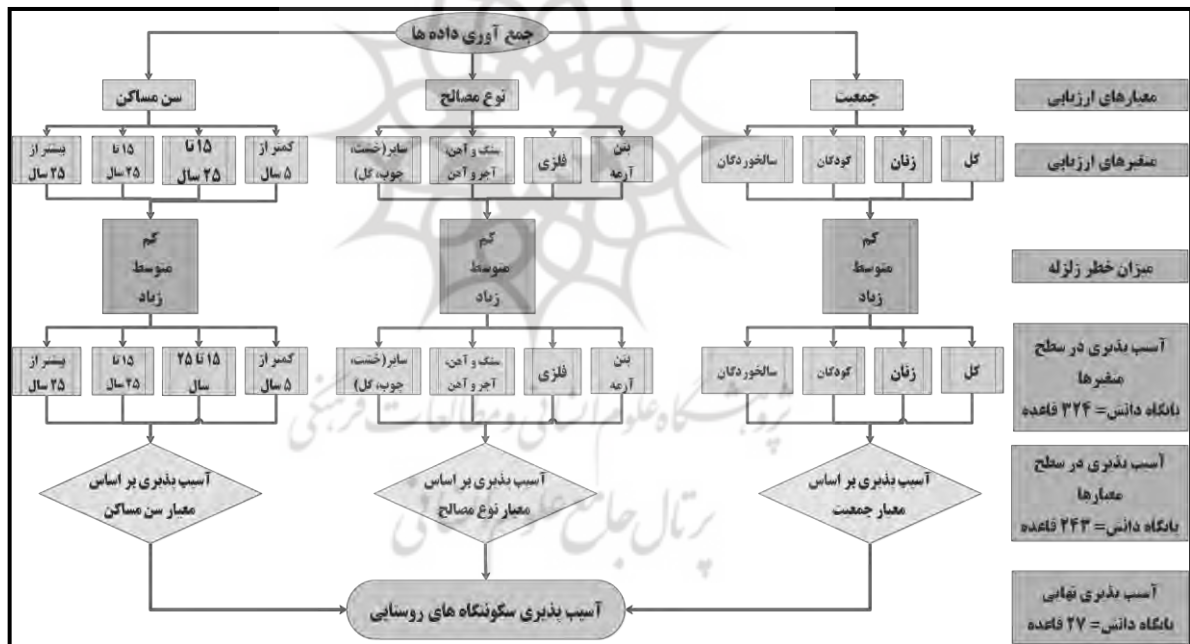
معیار ارزیابی	متغیرها
جمعیت در معرض خطر	کل جمعیت روستایی جمعیت زنان جمعیت کودکان جمعیت سالخوردگان
نوع مصالح	فلزی بتن و آرمه سنگ و آهن یا آجر و آهن سایر مصالح (خشت، چوب و گل و ...)
سن مسکن	مسکن به سن کمتر از ۵ سال مسکن دارای سن ۵ تا ۱۵ سال مسکن دارای سن ۱۵ تا ۲۵ سال مسکن دارای سن بیشتر از ۲۵ سال

در ادامه با استفاده از سیستم استنتاج فازی (FIS<sup>۲</sup>) در محیط نرم‌افزار متلب با ایجاد پایگاه قواعد فازی (FRB<sup>۳</sup>) نسبت به ارزیابی میزان آسیب‌پذیری هر یک از متغیرهای مورد استفاده اقدام شده است. تعریف قواعد با استفاده از نظر کارشناسان و بهره‌گیری از روش دلفی انجام شده است. روش دلفی مبتنی بر نظر متخصصان بوده که تعداد متخصصان شرکت‌کننده در نظرسنجی به صورت استاندارد باید بین ۵ تا ۲۰ نفر باشد (عطائی، ۱۳۹۶: ۴۶). در این تحقیق تعداد ۱۰ متخصص شامل؛ پنج عضو هیئت علمی و پنج دانشجوی دکتری همگی دارای تخصص در برنامه‌ریزی روستایی و سوانح طبیعی مشارکت داشته‌اند. در نهایت بر اساس نظر متخصصان تعریف قواعد و همچنین تعیین سطوح آسیب‌پذیری (کم، متوسط و زیاد) در خروجی نهایی انجام شده است.

بر این اساس هر یک از سه معیار ارزیابی دارای ۴

در نظر گرفته شد در این مرحله برای هر معیار ۸۱ قاعده و مجموعاً برای ۳ معیار مورد ارزیابی ۲۴۳ قاعده تعریف شد، به این ترتیب در این مرحله میزان آسیب پذیری در سطح معیارها مشخص شد. در مرحله پایانی جهت تعیین میزان آسیب پذیری سکونتگاه‌های روستایی ایران با استفاده از خروجی به دست آمده از مرحله قبل، خروجی هر یک از ۳ معیار مورد ارزیابی به عنوان ورودی در نظر گرفته شد و با تعریف ۲۷ قاعده نسبت به ارزیابی میزان آسیب پذیری اقدام و در نهایت میزان آسیب پذیری سکونتگاه‌های روستایی مشخص شد (تصویر شماره ۱). جهت نمایش پراکندگی میزان آسیب پذیری سکونتگاه‌های روستایی از نرم افزار Arc GIS استفاده شده است.

متغیر قابل ارزیابی و هر کدام از متغیرها نیز در ۳ طبقه با میزان خطر پذیری کم، متوسط و زیاد قرار گرفته‌اند؛ بنابراین در این مرحله جهت به دست آوردن یک خروجی برای هر یک از متغیرها (۱۲ متغیر در قالب ۳ معیار) که نشان دهنده میزان آسیب پذیری آن متغیر باشد نسبت به ایجاد پایگاه قواعد اقدام شد و برای هر یک از متغیرها ۲۷ قاعده ایجاد و در مجموع برای ۱۲ متغیر مورد ارزیابی ۳۲۴ قاعده تعریف شد، در نهایت در این مرحله میزان آسیب پذیری هر یک از متغیرها با توجه به میزان خطر زلزله مشخص شد. در مرحله دوم جهت ارزیابی میزان آسیب پذیری مسکن روستایی در سطح معیارها برای هر معیار با استفاده از خروجی مرحله قبل میزان آسیب پذیری ۴ متغیر زیرمجموعه به عنوان ورودی



ت ۱. مدل مفهومی فرایند اجرای پژوهش

(THEN) است. بانک اطلاعاتی که وظیفه و توابع عضویت (MF) متغیرهای ورودی- خروجی مورد استفاده در قوانین فازی را تعریف می‌کند؛ و یک استدلال که نتیجه‌گیری از قوانین فازی را جمع می‌کند

### سیستم استنتاج فازی

سیستم استنتاج فازی یک سیستم مبتنی بر قواعد است که از سه مؤلفه تشکیل شده است: یک مرکز قواعد که شامل مجموعه‌ای از قوانین فازی اگر- آنگاه ( IF-

تا به یک نتیجه مناسب برسد ( Nayak et al, 2005: 956). در حالی که متغیرهای ورودی می‌توانند به صورت مقادیر واضح یا مجموعه فازی به سیستم استنتاج فازی ارائه شوند، خروجی از سیستم استنتاج فازی معمولاً یک مجموعه فازی است. در نتیجه، برای دستیابی به تصمیم‌گیری بر اساس خروجی سیستم استنتاج فازی، نیاز به خروجی فازی است. قوانین اگر - آنگاه در سیستم استنتاج فازی جریان غیرخطی بین فضای ورودی و خروجی سیستم در حال مدل‌سازی را تسهیل می‌کند. قوانین فازی کل فضای ورودی - خروجی را به تعدادی از مناطق محلی تقسیم می‌کند و هر قانون نشان‌دهنده رفتار محلی جریان غیرخطی است. بنابراین، کارایی سیستم استنتاج فازی تا حد زیادی به تعدادی از قوانین فازی بستگی دارد. لازم به ذکر است با افزایش تعداد قواعد، کارایی مدل سیستم استنتاج فازی افزایش می‌یابد، گرچه افزایش فضای استنتاج و تدوین تعداد زیاد قواعد برای محقق کمی زمان‌بر است ولی باعث افزایش دقت و کارایی در خروجی نهایی می‌شود (Vema et al, 2019: 83).

دو روش در توسعه سیستم استنتاج فازی وجود دارد: (الف) رویکرد ممدانی<sup>۷</sup> (Mamdani & Assilian, 1993) و (ب) رویکرد تاکاگی سوغنو<sup>۸</sup> (Takagi & Sugeno, 1985) که در این پژوهش رویکرد ممدانی مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این رویکرد سه روند مشخص وجود دارد: ۱- فازی کردن متغیرهای ورودی ۲- تصمیم‌گیری منطقی ۳- غیرفازی کردن خروجی سیستم استنتاج فازی (Nayak et al, 2005: 957).

در این پژوهش از منطق فازی برای ارزیابی میزان آسیب‌پذیری سکونتگاه روستایی در برابر خطر زلزله استفاده شده است؛ بنابراین شاخص‌های آسیب‌پذیری

شناسایی و بر اساس استدلال فازی به کار برده شده است. استنتاج فازی به‌عنوان فرایند هدایت مجموعه‌ای از داده‌های ورودی به مجموعه‌ای از داده‌های خروجی، با استفاده از یک رویکرد مبتنی بر منطق فازی تعریف شده و در دسته مدل‌های جعبه سیاه قرار می‌گیرد. تصمیم‌گیری می‌تواند بر اساس نقشه‌برداری یا الگوهای تشخیص داده‌شده انجام شود. مقادیر شاخص‌های آسیب‌پذیری سکونتگاه‌های روستایی برای تهیه یک مدل ارزیابی میزان آسیب‌پذیری در برابر زلزله استفاده شد. مدل با داده‌های آسیب‌پذیری سکونتگاه‌های روستایی و بر اساس سیستم استنتاج فازی ممدانی مورد ارزیابی قرار گرفت. مدل فازی ممدانی را می‌توان هم با استفاده از روابط زبانی و هم با استفاده از داده‌های مشاهده‌شده ساخت (Mahapatra et al, 2011: 789). این مدل از تعداد زیادی قواعد برای مدل‌سازی سیستم استفاده می‌کند (Tiri et al, 2018: 235). در این روش، توابع عضویت عوامل تعیین‌کننده آسیب‌پذیری و قواعد فازی تعریف شده است و سپس از جعبه‌ابزار منطق فازی بسته متلب (R2019a) استفاده شده است.

### بحث و نتایج

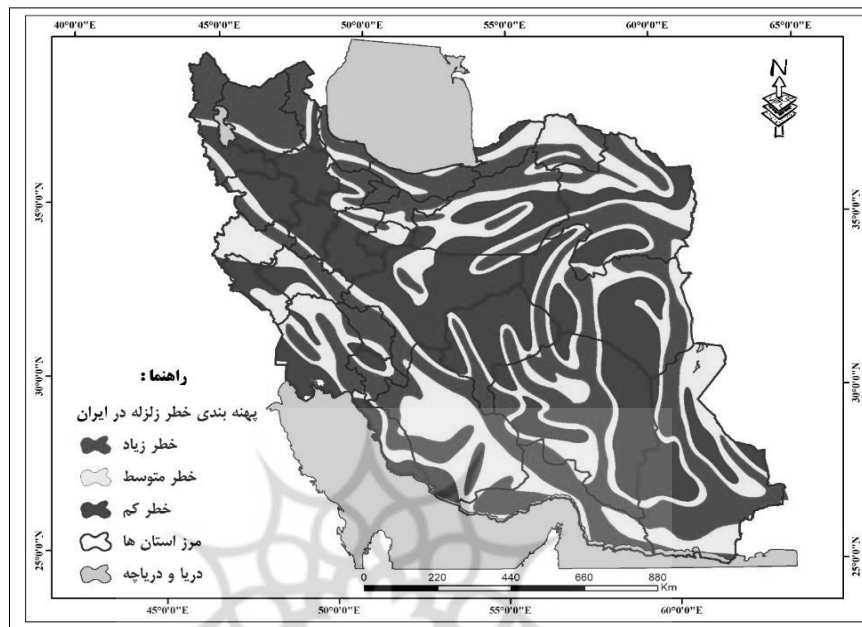
پژوهش حاضر در سطح شهرستان‌های ایران به تحلیل و ارزیابی میزان آسیب‌پذیری سکونتگاه‌های روستایی پرداخته است. به این ترتیب در گام نخست نقشه ریسک زلزله در پهنه فضایی ایران به عنوان اساس این پژوهش تهیه شده است (زارع، ۱۳۹۸). (تصویر شماره ۲).

بر اساس این نقشه کشور ایران با توجه به میزان خطر زلزله در سه طبقه با میزان خطر کم، متوسط و زیاد تقسیم شده است. مناطق با خطر کم ۵۴۸۴۵۸ کیلومتر مربع، مناطق با خطر متوسط ۵۰۵۵۷۸ کیلومتر مربع و مناطق با خطر زیاد ۵۶۹۲۲۵ کیلومتر مربع از کل



مناطق با خطر زیاد زلزله قرار دارد، ۳۱/۱۵ درصد دارای خطر متوسط و ۳۳/۷۹ درصد نیز در مناطق با خطر کم قرار دارد (جدول شماره ۲).

مساحت ایران را بدون حساب کردن دریاها به خود اختصاص داده‌اند. این آمارها نشان می‌دهد بخش عمده از مساحت ایران شامل ۳۵/۰۷ درصد کل ایران در



ت ۲. نقشه خطر زلزله ایران (برگرفته از طبقه‌بندی زارع، ۱۳۹۸. منتشر شده توسط انجمن زمین‌شناسی ایران)

ج ۲. طبقه‌بندی خطر زلزله در ایران

درصد	مساحت	خطر زلزله
۳۳/۷۹	۵۴۸۴۵۸	کم
۳۱/۱۵	۵۰۵۵۷۸	متوسط
۳۵/۰۷	۵۶۹۲۲۵	زیاد
۱۰۰	۱۶۳۳۲۶۲	جمع

مصالح بتن و آرمه، مصالح آجر و آهن یا سنگ و آهن و سایر مصالح (خشت، چوب، گل و ...) نیز به ترتیب ۴۲/۸۲، ۵۵/۱۰، ۳۹/۲۵ و ۶۳/۴۶ درصد از کل مساکن در مناطق با خطر زیاد زلزله قرار دارند. همچنین بر اساس معیار سن مساکن و در متغیر مساکن تا ۵ سال ساخت، مساکن ۵ تا ۱۵ سال ساخت، مساکن ۱۵ تا ۲۵ سال ساخت و مساکن بیشتر از ۲۵ سال ساخت به ترتیب ۴۳/۳۳، ۴۷/۲۸، ۴۷/۹۹ و ۴۹/۸۱ درصد از کل تعداد مساکن در مناطق با خطر زیاد زلزله قرار دارند. همچنین میانگین به‌دست‌آمده برای کل متغیرها نیز نشان

بررسی وضعیت هر یک از متغیرها با توجه به قرارگیری آن‌ها در شرایط متفاوت خطر زلزله (کم، متوسط، زیاد) نشان می‌دهد در تمامی ۱۲ متغیر موردبررسی بخش عمده‌ای از جمعیت و مساکن روستایی در مناطق با خطر زیاد زلزله قرار دارند. به‌طوری‌که بر اساس معیار جمعیت در معرض خطر و در متغیرهای جمعیت کل، جمعیت زنان، جمعیت کودکان و جمعیت سالخوردگان به ترتیب ۴۴/۹۶، ۴۵/۱۵، ۴۳/۷۸ و ۴۷/۵۵ درصد از کل جمعیت در مناطق با خطر زیاد زلزله قرار دارند. بر اساس معیار نوع مصالح و در متغیرهای مصالح فلزی،

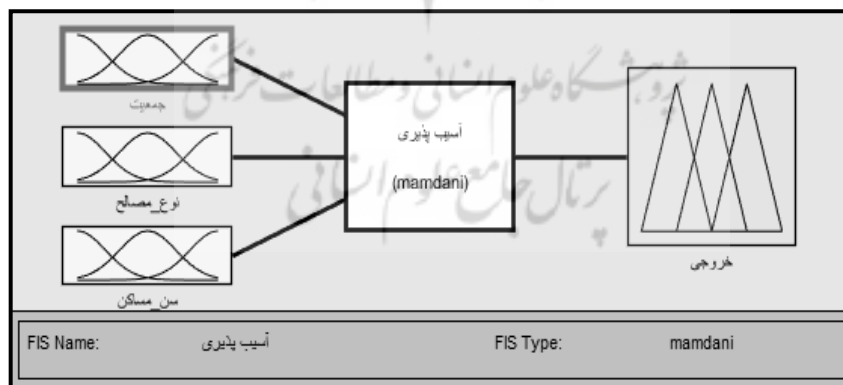
می‌دهد ۴۵/۱۴ درصد از جمعیت و مساکن روستایی درصد در مناطق با خطر متوسط و ۲۴/۳۲ درصد نیز در ایران در مناطق با خطر زیاد زلزله قرار دارند و ۳۰/۵۴ مناطق با خطر کم واقع شده‌اند (جدول شماره ۳).

ج ۳. وضعیت هر یک از معیارهای ارزیابی آسیب‌پذیری براساس میزان خطر زلزله

میزان خطر زلزله								متغیر	معیار
کل		زیاد		متوسط		کم			
درصد	تعداد	درصد	تعداد	درصد	تعداد	درصد	تعداد		
۱۰۰	۲۱۱۴۰۹۲۸	۴۴/۹۶	۹۵۰۴۳۳۲	۳۰/۶۴	۶۴۷۸۴۶۲	۲۴/۴۰	۵۱۵۸۲۳۴	جمعیت کل	جمعیت در معرض خطر
۱۰۰	۱۰۴۶۰۵۶۵	۴۵/۱۵	۴۷۲۳۴۲۲	۳۰/۶۳	۳۲۰۳۷۹۹	۲۴/۲۲	۲۵۳۳۴۴	جمعیت زنان	
۱۰۰	۵۴۹۴۹۶۱	۴۳/۷۸	۲۴۰۵۴۳۷	۳۲/۰۳	۱۷۶۰۲۶۵	۲۴/۱۹	۱۳۳۹۲۵۹	جمعیت کودکان	
۱۰۰	۱۸۸۵۴۲۳	۴۷/۵۵	۸۹۶۵۱۰	۲۸/۰۷	۵۲۹۱۹۰	۲۴/۳۸	۴۵۹۷۲۳	جمعیت سالخوردگان	
۱۰۰	۴۸۹۸۴۴	۴۹/۸۲	۲۴۴۰۵۸	۲۰/۰۶	۹۸۲۶۵	۳۰/۱۲	۱۴۷۵۲۱	مصالح فلزی	نوع مصالح
۱۰۰	۵۶۹۵۱۴	۵۵/۱۰	۳۱۳۷۹۱	۲۴/۸۹	۱۴۱۷۴۸	۲۰/۰۱	۱۱۳۹۷۵	مصالح بتن و آرمه	
۱۰۰	۱۶۷۵۱۴۰	۳۹/۲۵	۶۵۷۵۱۹	۳۴/۸۹	۵۸۴۶۶۰	۲۵/۸۶	۴۳۳۱۶۱	مصالح آجر و آهن یا سنگ و آهن	
۱۰۰	۳۸۷۸۵	۶۳/۴۶	۲۴۶۱۲	۲۸/۰۹	۱۰۸۹۵	۸/۴۵	۳۲۷۸	سایر مصالح (چوب، خشت، گل...)	
۱۰۰	۱۱۷۹۳۱۹	۴۳/۳۳	۵۱۰۹۹۴	۲۹/۵۳	۳۴۸۳۳۵	۲۷/۱۴	۳۲۰۰۹۰	۵ سال ساخت	سن مساکن
۱۰۰	۱۲۷۲۴۹۷	۴۷/۲۸	۶۰۱۶۲۴	۳۰/۶۱	۳۸۹۵۳۵	۲۲/۱۱	۲۸۱۳۳۸	۵ تا ۱۵ سال ساخت	
۱۰۰	۱۰۲۳۳۵۵	۴۷/۹۹	۴۹۱۰۴۰	۳۰/۲۹	۳۰۹۹۴۸	۲۱/۷۲	۲۲۲۲۶۷	۱۵ تا ۲۵ سال ساخت	
۱۰۰	۹۲۹۸۱۶	۴۹/۸۱	۴۶۳۱۲۹	۲۵/۸۸	۲۴۰۶۲۷	۲۴/۳۱	۲۲۶۰۶۰	بیشتر از ۲۵ سال ساخت	
۱۰۰	۳۸۴۶۶۷۱	۴۵/۱۴	۱۷۳۳۶۴	۳۰/۵۴	۱۱۷۴۶۱۹	۲۴/۳۲	۹۳۵۶۸۷/۵	میانگین	

آسیب‌پذیری ۱ پایگاه قواعد و در مجموع تعداد ۱۶ پایگاه قواعد برای ارزیابی آسیب‌پذیری سکونتگاه‌های روستایی ایران ایجاد شد. تصویر شماره ۳ پایگاه قواعد نهایی ایجاد شده برای ارزیابی آسیب‌پذیری سکونتگاه‌های روستایی را نشان می‌دهد (تصویر شماره ۳).

در ادامه جهت ارزیابی میزان آسیب‌پذیری سکونتگاه‌های روستایی ایران بر اساس ۳ معیار و ۱۲ متغیر مورد بررسی از سیستم استنتاج فازی استفاده شد؛ بنابراین همان‌طور که در قسمت روش تحقیق ذکر گردید، در سطح متغیرها ۱۲ پایگاه قواعد، در سطح معیارها ۳ پایگاه قواعد و برای تعیین خروجی نهایی

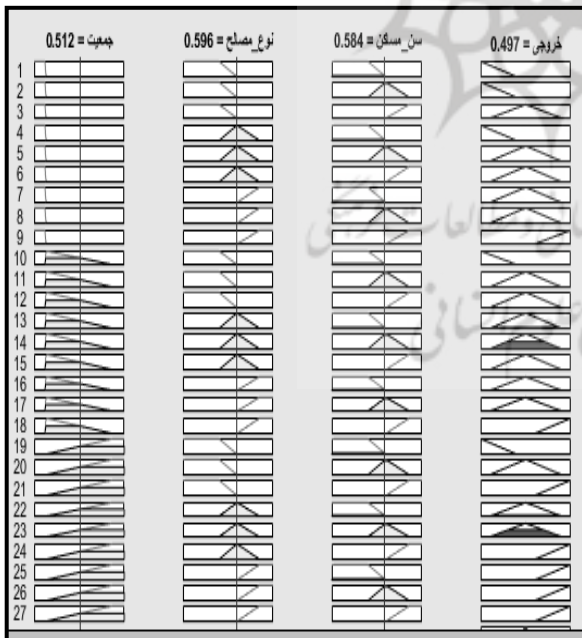


۳. پایگاه قواعد نهایی جهت ارزیابی آسیب‌پذیری سکونتگاه‌های روستایی در برابر زلزله

دانش کارشناسی است. از این‌رو، بعد از ایجاد پایگاه قواعد فازی نسبت به تعریف قواعد بر اساس متغیرهای زبانی و مبتنی بر دانش کارشناسان اقدام شد. پایگاه

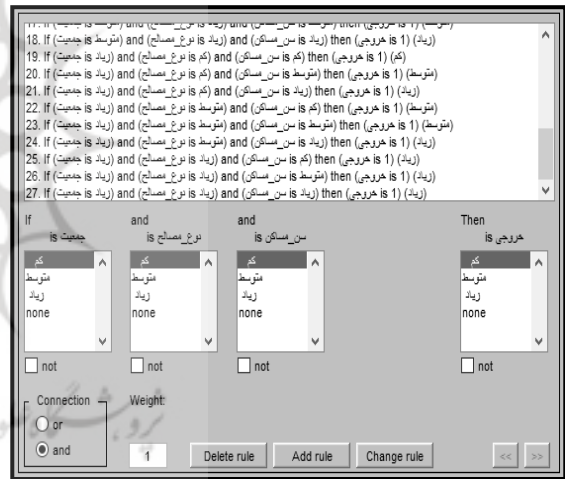
از جمله ویژگی‌های سیستم استنتاج فازی داشتن قابلیت لازم برای ارزیابی مقادیر عددی بر اساس متغیرهای زبانی (به عنوان مثال کم، متوسط، زیاد) و

که در این شکل نیز نمایش داده شده است به عنوان مثال اگر آسیب‌پذیری در معیار جمعیت ۰/۵۱۲ و آسیب‌پذیری در معیار نوع مصالح ۰/۵۹۶ و آسیب‌پذیری بر اساس سن مساکن ۰/۵۸۴ باشد، بنابراین خروجی برابر با ۰/۴۹۷ خواهد بود که بر اساس پایگاه دانش و قواعد تعریف شده بیانگر میزان متوسط آسیب‌پذیری است. تصویر شماره ۶ استنباط فازی حاصل از مقایسه دو به دو معیارها را به صورت نمودار سطحی نمایش می‌دهد. همان‌طور که بر روی نمودار نمایش داده شده است با افزایش مقادیر آسیب‌پذیری در دو معیار جمعیت و نوع مصالح میزان آسیب‌پذیری در خروجی نیز افزایش پیدا می‌کند. در واقع این نمودار الگوی ترکیب دوبه‌دو معیارها و تغییرات آن در خروجی که همان میزان آسیب‌پذیری است را نمایش می‌دهد. تصویر شماره ۶ سه نمودار سطحی که حاصل ترکیب جمعیت و نوع مصالح، جمعیت و سن مساکن، نوع مصالح و سن مساکن است را نشان می‌دهد.



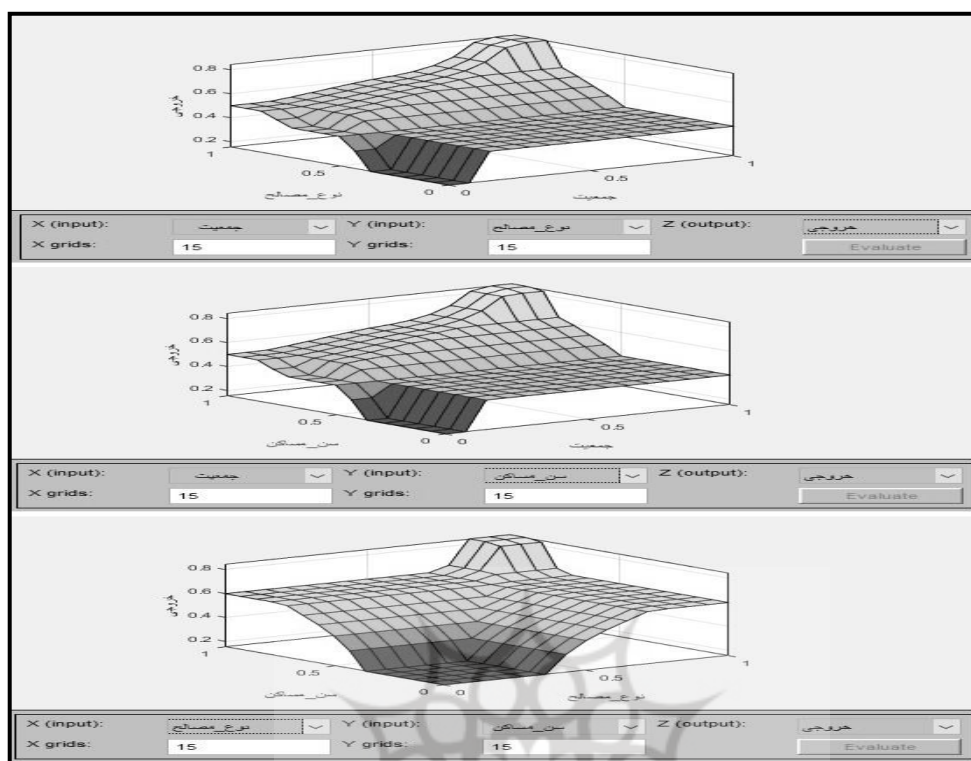
ت ۵. نمایش گرافیکی استنباط فازی

قواعد فازی به عنوان قلب یک سیستم استنتاج فازی شناخته می‌شود؛ و با استفاده از واسط‌های اگر-آنگاه نسبت به تعریف قواعد فازی اقدام می‌نماید و امکان پیش‌بینی در پدیده یا مسئله موردنظر که در این پژوهش آسیب‌پذیری سکونتگاه‌های روستایی در برابر خطر زلزله است را فراهم می‌کند (هادی‌پور و همکاران، ۱۳۹۹: ۱۶۲). به عنوان مثال اگر آسیب‌پذیری جمعیت زیاد و آسیب‌پذیری نوع مصالح متوسط و آسیب‌پذیری سن مساکن کم باشد آنگاه آسیب‌پذیری کلی متوسط خواهد بود. در تصویر شماره ۴ نمونه قواعد تعریف شده برای تعیین آسیب‌پذیری نهایی سکونتگاه‌های روستایی در برابر خطر زلزله نمایش داده شده است (تصویر شماره ۴).



ت ۴. محیط گرافیکی تعریف قواعد فازی

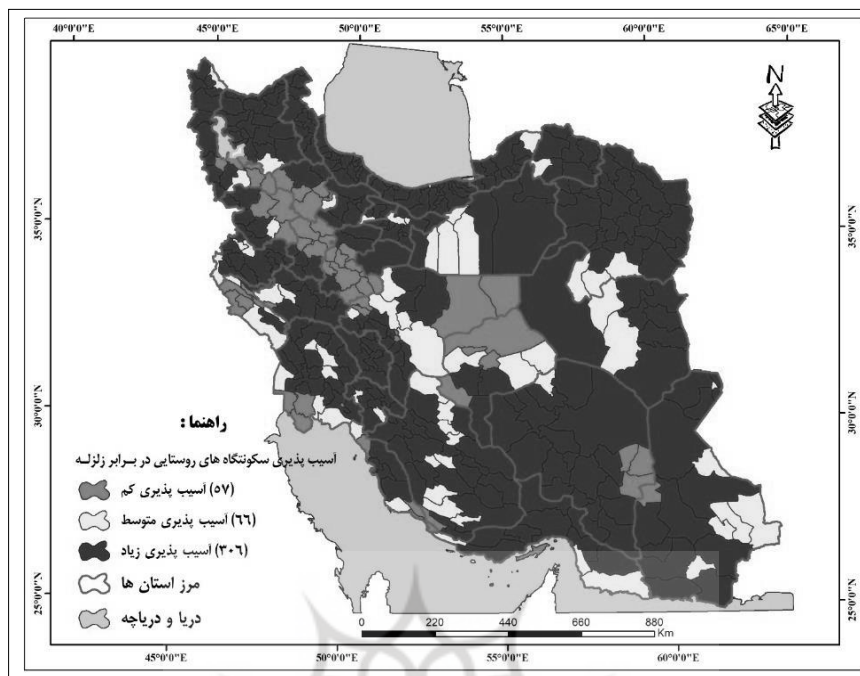
تصویر شماره ۵ قواعد و خروجی سیستم استنتاج فازی را نمایش می‌دهد در این شکل متغیرهای زبانی مبتنی بر قواعد اگر-آنگاه به مقادیر عددی تبدیل شده است. به عنوان مثال در اینجا بعد از نرمال‌سازی مقادیر عددی طیف آسیب‌پذیری بین ۰ تا ۱ تعریف شده است که در آن ۰ نشان‌دهنده کمترین میزان آسیب‌پذیری و ۱ نشان‌دهنده بیشترین میزان آسیب‌پذیری است. همان‌طور



۶. نمودار سطحی استنباط فازی براساس مقایسه دو به دو معیارها

روستایی ایران در سطح آسیب پذیری بالا قرار دارند. در این رابطه سکونتگاه‌های روستایی ایران با توجه به میزان آسیب پذیری در برابر زلزله بر اساس میزان آسیب پذیری در سه سطح با آسیب پذیری کم، آسیب پذیری متوسط و آسیب پذیری زیاد قرار گرفته‌اند. به این ترتیب در سطح آسیب پذیری کم مجموعاً ۵۷ شهرستان، در سطح آسیب پذیری متوسط ۶۶ شهرستان و در سطح آسیب پذیری زیاد ۳۰۶ شهرستان قرار دارند که این آمار نشان می‌دهد بخش عمده از روستاهای ایران در برابر زلزله دارای آسیب پذیری بالا هستند. به عبارتی بر اساس میزان آسیب پذیری سکونتگاه‌های روستایی ۱۳/۲۹ درصد از کل شهرستان‌های ایران دارای آسیب پذیری کم، ۱۵/۳۸ درصد دارای آسیب پذیری متوسط و ۷۱/۳۳ درصد دارای آسیب پذیری زیاد در برابر خطر زلزله هستند (تصویر شماره ۷).

در ادامه فرایند پژوهش بر اساس پایگاه قواعد تعریف شده و خروجی سیستم استنتاج فازی میزان آسیب پذیری سکونتگاه‌های روستایی در برابر خطر زلزله ارزیابی شد. خروجی سیستم استنتاج فازی به صورت مقادیر عددی است ولی این عمل درک و شناخت دقیقی ارائه نمی‌دهد که هر کدام از این مقادیر بیانگر چه سطحی از آسیب پذیری هستند. به همین دلیل است که در ابتدای فرایند تعریف قواعد فازی بر اساس نظر کارشناسان دسته‌بندی خروجی نهایی سیستم استنتاج فازی نیز تعریف شده است که بازه‌های عددی مختلف (به عنوان مثال ۰ تا ۰/۳۰؛ ۰/۳۰ تا ۰/۶۶؛ ۰/۶۶ تا ۱) بیانگر چه سطحی از آسیب پذیری هستند؛ و در نهایت این مقادیر دسته‌بندی شده بر روی نقشه نمایش داده شده است. نتایج حاصل از خروجی سیستم استنتاج فازی نشان می‌دهد که بخش عمده‌ای سکونتگاه‌های



ت.۷. توزیع فضایی آسیب‌پذیری سکونتگاه‌های روستایی ایران در برابر زلزله

### نتیجه

به طوری که بر اساس یافته‌های مطالعه حاضر بخش زیادی از آسیب‌پذیری سکونتگاه‌های روستایی متأثر از کیفیت نامناسب مسکن و مصالح به کاررفته غیر مقاوم است که حدود ۶۳ درصد از مسکن دارای مصالح غیر مقاوم (چوب، خشت، گل و ...) در پهنه‌های با خطر زلزله زیاد واقع شده‌اند. گودا و همکاران (۲۰۱۶) و مهدوی و هزاریان (۱۳۹۶) کیفیت نامناسب مسکن را به عنوان عامل مهم آسیب‌پذیری در برابر زلزله دانسته‌اند. نتایج حاصل از پژوهش نشان می‌دهد تعداد زیادی از سکونتگاه‌های روستایی ایران دارای میزان آسیب‌پذیری بالا در برابر زلزله هستند به طوری که در میان ۴۲۹ شهرستان ایران ۳۰۶ شهرستان برابر ۷۱/۳۳ درصد از آن‌ها دارای آسیب‌پذیری بالای سکونتگاه‌های روستایی در برابر زلزله هستند که این سکونتگاه‌ها عمدتاً منطبق با مناطق با تراکم بالای سکونتگاه‌های روستایی و در صورت وقوع زلزله این مناطق بیشترین میزان

این مقاله یک مدل منطق‌فازی را ارائه می‌کند برای این منظور از سیستم استنتاج فازی استفاده شده است که در آن داده‌های ورودی مربوط به خطر زلزله سکونتگاه‌های روستایی را دریافت و پردازش می‌کند و خروجی را به صورت آسیب‌پذیری کم، متوسط و زیاد با توجه به نظر کارشناسان طبقه‌بندی می‌کند؛ و در نهایت شهرستان‌های ایران بر اساس میزان آسیب‌پذیری سکونتگاه‌های روستایی در برابر زلزله احتمالی را سطح‌بندی می‌کند. این ارزیابی جامع از آسیب‌پذیری تمام روستاهای کشور را می‌توان وجه تمایز این پژوهش با پژوهش‌های پیشین و جنبه نوآورانه تحقیق حاضر به حساب آورد. چراکه در هیچ‌کدام از مطالعات انجام‌شده، تاکنون به صورت جامع آسیب‌پذیری تمام روستاهای کشور مورد ارزیابی قرار نگرفته است. مقایسه یافته‌های این پژوهش با مطالعات دیگران نشان‌دهنده وجود برخی تشابهات است



آسیب‌پذیری را خواهند داشت. این بخش از نتایج پژوهش با نتایج پژوهش (عراقیان و همکاران، ۱۳۹۶)، (صادقی و همکاران، ۱۳۹۵) و (ظاهری و همکاران، ۱۳۹۴) همخوانی دارد گرچه مطالعات مذکور به لحاظ قلمرو مکانی در سطح محلی و منطقه‌ای انجام شده‌اند؛ بنابراین می‌توان به سؤالات مطرح‌شده در مقدمه تحقیق این‌گونه پاسخ داد که نواحی روستایی ایران عمدتاً در پهنه‌های با خطر بالای زلزله استقرار یافته‌اند که این پهنه‌ها محل تمرکز بخش عمده جمعیت روستایی نیز هستند و با وجود نوسازی‌های کالبدی روستاها در دهه‌های اخیر هنوز هم بخش مهمی از مسکن روستایی بالای ۱۵ سال و ۲۵ سال قدمت دارند و همچنین به دلیل عدم رعایت استانداردها و اصول ساخت‌وساز بخش زیادی از مسکن روستایی با مصالح غیر مقاوم و بی‌کیفیت ساخته می‌شوند که تمامی این عوامل در نهایت باعث شده است تا عمده سکونتگاه‌های روستایی کشور دارای آسیب‌پذیری زیاد در برابر زلزله باشند.

از این رو، لازم تا در سیاست‌گذاری‌ها و برنامه‌ریزی‌های آینده ایران به این پدیده با نگاهی نو توجه شود و مواردی مانند تعیین الزامات ویژه برای بازسازی و مقاوم‌سازی مسکن روستایی، تدوین برنامه‌های بلندمدت برای متوازن‌سازی و توزیع فضایی مناسب جمعیت روستایی در ایران، تدوین برنامه‌های کوتاه‌مدت و میان‌مدت برای استقرار مراکز کارآمد مدیریت بحران در هر شهرستان با توجه به سطح آسیب‌پذیری پیش‌بینی‌شده آن در برابر زلزله، تجهیز و نوسازی راه‌های ارتباطی در مناطق روستایی آسیب‌پذیر جهت تسهیل و تسریع در خدمات‌رسانی در زمان بحران ناشی زلزله، برگزاری دوره‌های آموزشی در مناطق روستایی کشور و آگاه‌سازی ساکنان روستایی نسبت به وضعیت آسیب‌پذیری آن‌ها در صورت وقوع زلزله، آموزش

شیوه‌های مقابله و تاب‌آوری در برابر وضعیت بحران ناشی زلزله مورد توجه قرار گیرد. همچنین با توجه به وجود برخی محدودیت در دسترسی به داده‌ها پیشنهاد می‌شود در مطالعات آتی در صورت موجود بودن و دسترسی به داده‌ها با مدنظر قرار دادن معیارهایی مانند؛ درجه‌بندی راه‌های دسترسی، دسترسی به خدمات ضروری، تراکم جمعیت، تراکم مسکونی، درجه فشردگی روستاهای کشور یافته‌های پژوهش حاضر به‌روزرسانی شود.

### پی‌نوشت

1. Duzgun
2. Gao & Ji
3. Godal
4. Fuzzy Inference Systems
5. Fuzzy Rule Base
6. Membership Function
7. Mamdani
8. Takagi-Sugeno

### فهرست منابع

- پورطاهری، مهدی؛ سجاسی قیداری، حمدالله؛ صادقلو، طاهره. (۱۳۹۰)، ارزیابی تطبیقی روش‌های رتبه‌بندی مخاطرات طبیعی در مناطق روستایی (مطالعه موردی: استان زنجان). پژوهش‌های روستایی، دوره ۲، شماره ۷، صص ۵۴-۳۱.
- پورطاهری، مهدی؛ حاجی‌نژاد، علی؛ فتاحی، احمدالله؛ نعمتی، رضا. (۱۳۹۳)، ارزیابی آسیب‌پذیری فیزیکی سکونتگاه‌های روستایی در برابر زلزله با استفاده از مدل تصمیم‌گیری کوپراس (مطالعه موردی روستاهای دهستان چالان چولان شهرستان درود). برنامه‌ریزی و آمایش فضا، دوره هجدهم، شماره ۳، صص ۵۲-۲۹.
- حسینی، زهرا؛ علوی، اکبر؛ حسن‌زاده، رضا؛ دهقانی، مژگان. (۱۳۹۳)، تحلیلی بر آسیب‌پذیری لرزه‌ای و شبیه‌سازی آن در مدیریت بحران (مطالعه موردی: ناحیه ۱۳ شهر کرمان). تحقیقات جغرافیایی، سال ۲۹، شماره ۴، صص ۱۶۴-۱۴۷.
- خیابانی، الناز؛ صادقی نیارکی، ابوالقاسم؛ قدوسی، مصطفی. (۱۳۹۶)، تهیه نقشه آسیب‌پذیری ناشی از زلزله در منطقه یک

- مهدوی، داوود؛ هزاریان، الهام. (۱۳۹۶)، ارزیابی و تحلیل آسیب‌پذیری کالبدی سکونتگاه‌های روستایی در برابر زلزله (مطالعه موردی: روستاهای شهرستان یزد). نشریه علمی - پژوهشی برنامه‌ریزی توسعه کالبدی، سال دوم، شماره ۴، صص ۲۷-۴۵.

- مرکز آمار ایران. (۱۳۹۵)، آمار نفوس و مسکن سال ۱۳۹۵، دسترسی شهریورماه ۱۳۹۹.

- نوروزی، اصغر؛ فرهادی، مریم. (۱۳۹۶)، سنجش آسیب‌پذیری و برنامه‌ریزی راهبردی مدیریت بحران (زلزله) در نواحی روستایی مطالعه‌ی موردی: شهرستان شهرکرد. مدیریت بحران، شماره ۱۱، صص ۳۱-۴۵.

- هادی‌پور، مرضیه؛ فرجی سبکبار، حسنعلی؛ دادورخانی، فضیله؛ رومیانی، احمد. (۱۳۹۹)، ارائه الگوی ارزیابی توزیع فضایی فعالیت (اشتغال و بیکاری) زنان در شهرستان‌های ایران با استفاده از سیستم‌های دانش‌بنیان. فصلنامه اقتصاد فضا و توسعه روستایی، سال ۹، شماره ۲، صص ۱۷۲-۱۴۹.

- Angeon, V., & Bates, S. (2015). Reviewing composite vulnerability and resilience indexes: A sustainable approach and application. *World Development*, 72, 140-162.

- Adger, W. N. (2006). Vulnerability. *Global environmental change*, 16(3), 268-281.

- Doocy, S., Daniels, A., Packer, C., Dick, A., & Kirsch, T. D. (2013). The human impact of earthquakes: a historical review of events 1980-2009 and systematic literature review. *PLoS currents*, 5.

- Duzgun, H. S. B., Yucemen, M. S., Kalaycioglu, H. S., Celik, K. E. Z. B. A. N., Kemec, S., Ertugay, K., & Deniz, A. (2011). An integrated earthquake vulnerability assessment framework for urban areas. *Natural hazards*, 59(2), 917-947.

- Frigerio, I., & De Amicis, M. (2016). Mapping social vulnerability to natural hazards in Italy: A suitable tool for risk mitigation strategies. *Environmental Science & Policy*, 63, 187-196.

- Goda, K., Gibson, E. D., Smith, H. R., Biggs, J., & Hodge, M. (2016). Seismic risk assessment of urban and rural settlements around Lake Malawi. *Frontiers in Built Environment*, 2, 30.

- Gao, X., & Ji, J. (2014). Analysis of the seismic vulnerability and the structural characteristics of houses in Chinese rural areas. *Natural hazards*, 70(2), 1099-1114.

- Gallopin, G. C. (2006). Linkages between vulnerability, resilience, and adaptive capacity. *Global environmental change*, 16(3), 293-303.

- Gibb, C. (2018). A critical analysis of vulnerability. *International journal of disaster risk reduction*, 28, 327-334.

شهر تهران. فصلنامه امداد و نجات، سال نهم، شماره ۱، صص ۵۶-۷۴.

- زارع، مهدی. (۱۳۹۸)، نقشه خطر زلزله در ایران، انجمن زمین‌شناسی ایران.

- شکور، علی؛ کریمی قطب‌آبادی، فضل‌اله؛ ملکی، محمد. (۱۳۹۶)، تحلیل ریسک آسیب‌پذیری سکونتگاه‌های روستایی در برابر زلزله (مطالعه موردی: روستاهای شهرستان لامرد). فصلنامه برنامه‌ریزی منطقه‌ای، سال ۷، شماره پیاپی ۲۶، صص ۸۱-۹۲.

- صادقی، الهام؛ گلی، علی؛ هاتف، نادر. (۱۳۹۵)، ارزیابی آسیب‌پذیری مسکن روستایی در برابر زلزله با رویکرد مدیریت بحران در استان فارس. مجله پژوهش و برنامه‌ریزی روستایی. سال ۵، شماره ۴، صص ۱۰۷-۱۱۸.

- ظاهری، محمد؛ آقایی هیر، محسن؛ ذاکری میاب، کلثوم. (۱۳۹۴)، ارزیابی آسیب‌پذیری نواحی روستایی از خطر زلزله (مطالعه موردی: بخش مرکزی شهرستان)

- خیابانی، الناز؛ صادقی نیارکی، ابوالقاسم؛ قدوسی، مصطفی.

(۱۳۹۶)، تهیه نقشه آسیب‌پذیری ناشی از زلزله در منطقه یک شهر تهران. فصلنامه امداد و نجات، سال نهم، شماره ۱، صص ۵۶-۷۴.

- زارع، مهدی. (۱۳۹۸)، نقشه خطر زلزله در ایران، انجمن زمین‌شناسی ایران.

- شکور، علی؛ کریمی قطب‌آبادی، فضل‌اله؛ ملکی، محمد. (۱۳۹۶)، تحلیل ریسک آسیب‌پذیری سکونتگاه‌های روستایی در برابر زلزله (مطالعه موردی: روستاهای شهرستان لامرد).

فصلنامه برنامه‌ریزی منطقه‌ای، سال ۷، شماره پیاپی ۲۶، صص ۸۱-۹۲.

- صادقی، الهام؛ گلی، علی؛ هاتف، نادر. (۱۳۹۵)، ارزیابی آسیب‌پذیری مسکن روستایی در برابر زلزله با رویکرد مدیریت بحران در استان فارس. مجله پژوهش و برنامه‌ریزی روستایی. سال ۵، شماره ۴، صص ۱۰۷-۱۱۸.

- ظاهری، محمد؛ آقایی هیر، محسن؛ ذاکری میاب، کلثوم. (۱۳۹۴)، ارزیابی آسیب‌پذیری نواحی روستایی از خطر زلزله (مطالعه موردی: بخش مرکزی شهرستان)

- معاریان، حسین. (۱۳۸۷)، زمین‌شناسی مهندسی و ژئوتکنیک، انتشارات دانشگاه تهران، تهران.

vulnerability assessment of climate change in coastal cities. *Ocean & coastal management*, 54(7), 524-534.

- <https://doi.org/10.22034/40.174.103>

- Hoberman, G. (2012). Political calculus in the engagement with a disaster risk reduction agenda: the case of the post-2010 earthquake and tsunami in Chile.
- Jaques, T. (2007). Issue management and crisis management: An integrated, non-linear, relational construct. *Public Relations Review*, 33(2), 147-157.
- Lopez, L. (2009). Spatial analysis and modeling to assess and map current vulnerability to extreme weather events in the Grijalva-Usumacinta watershed, México. In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science (Vol. 8, No. 1, p. 012021).
- Marwitz, S., Maxson, N., Koch, B., Aukerman, T., Cassidy, J., & Belonger, D. (2008). Corporate crisis management: Managing a major crisis in a chemical facility. *Journal of hazardous materials*, 159(1), 92-104.
- Mahapatra, S. S., Nanda, S. K., & Panigrahy, B. K. (2011). A Cascaded Fuzzy Inference System for Indian river water quality prediction. *Advances in Engineering Software*, 42(10), 787-796.
- Mamdani, E. H., & Assilian, S. (1993). An experiment in linguistic synthesis with a fuzzy logic controller. In *Readings in Fuzzy Sets for Intelligent Systems* (pp. 283-289). Morgan Kaufmann.
- Nayak, P. C., Sudheer, K. P., & Ramasastri, K. S. (2005). Fuzzy computing based rainfall-runoff model for real time flood forecasting. *Hydrological Processes: An International Journal*, 19(4), 955-968.
- Tangri, R., Jena, S., Roy, S., (2008), The Future of Earthquake Disaster Management Use GIS and Probabilistic Risk Assessment to Enhance Preparedness; *Geospatial world GIS Analysis*, p30.
- Takagi, T., & Sugeno, M. (1985). Fuzzy identification of systems and its applications to modeling and control. *IEEE transactions on systems, man, and cybernetics*, (1), 116-132.
- Tiri, A., Belkhiri, L., & Mouni, L. (2018). Evaluation of surface water quality for drinking purposes using fuzzy inference system. *Groundwater for Sustainable Development*, 6, 235-244.
- Vema, V., Sudheer, K. P., & Chaubey, I. (2019). Fuzzy inference system for site suitability evaluation of water harvesting structures in rainfed regions. *Agricultural water management*, 218, 82-93.
- Wilson, G. (2012). *Community resilience and environmental transitions*. Routledge.
- Watts, M. J., & Bohle, H. G. (1993). The space of vulnerability: the causal structure of hunger and famine. *Progress in human geography*, 17(1), 43-67.
- Wisner, B., Blaikie, P. M., Blaikie, P., Cannon, T., & Davis, I. (2004). *At risk: natural hazards, people's vulnerability and disasters*. Psychology Press.
- Wu, J., He, X., Li, Y., Shi, P., Ye, T., & Li, N. (2019). How earthquake-induced direct economic losses change with earthquake magnitude, asset value, residential building structural type and physical environment: An elasticity perspective. *Journal of environmental management*, 231, 321-328.
- Yoo, G., Hwang, J. H., & Choi, C. (2011). Development and application of a methodology for

