پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمّی، سال سیزدهم، شماره ۳، زمستان ۱۴۰۳
صص. ۱۷۷-۱۵۹

ارزیابی و پهنه‌بندی خطر وقوع زمین‌لرزه با استفاده از روش تحلیل سلسله‌مراتبی فازی(FAHP) (مطالعه موردی: استان هرمزگان)

علی صادقی* – استادیار گروه جغرافیا و برنامه ریزی شهری، دانشگاه اصفهان.
یاسمین غبیشاوی– دانشجوی کارشناسی‌ارشد سنجش ازدور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، دانشگاه اصفهان.
احمدرضا ابوترابی برزآبادی– دانشجوی کارشناسی‌ارشد سنجش ازدور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، دانشگاه اصفهان.

پذیرش مقاله: ۱۴۰۳/۰۴/۱۹ تائید نهایی: ۱۴۰۳/۰۸/۲۶

چکیده

ایران یکی از زمین‌لرزه خیزترین کشورهای دنیاست. هم‌گرایی صفحات عربستان و هند- اوراسیا که موجب چین‌خوردگی و شکستگی شده است، علت اصلی لرزه‌خیزی بالای سرزمین ایران است. شناخت نواحی در معرض این مخاطرات محیطی، یکی از گام‌های اولیه در مدیریت مخاطرات و برنامه‌ریزی توسعه‌ای و عمرانی است. پژوهش حاضر با هدف ارزیابی و پهنه‌بندی آسیب‌پذیری استان هرمزگان در برابر خطر زمین‌لرزه و شناسایی شهرستان‌ها، شهرها و روستاهای در معرض خطر، صورت پذیرفته است. در این راستا با تلفیق مدل‌های منطق فازی و تحلیل سلسله‌مراتبی با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی، میزان آسیب‌پذیری استان هرمزگان در برابر خطر زمین‌لرزه، تحلیل و استخراج‌شده است. شاخص‌های مورد مطالعه موثر در پهنه‌بندی زلزله عبارت‌اند از: شیب، ارتفاع، فاصله از گسل، تراکم گسل، عمق زلزله، قدرت زلزله، فاصله از نقاط زلزله و تراکم نقاط زلزله. براساس نقشه پهنه‌بندی ریسک زلزله به دست آمده در این پژوهش، ۱۵۸۰۷ کیلومترمربع از مساحت استان (۲۲,۳۶ درصد) درمعرض خطر بسیار زیاد، ۲۳۷۸۷ کیلومترمربع (۳۳,۶۴ درصد) خطر زیاد، ۱۴۳۴۱کیلومترمربع (۲۰,۲۸ درصد) خطر متوسط، ۸۶۳۹ کیلومترمربع (۱۲,۲۲ درصد) خطر کم و ۸۱۳۳ کیلومترمربع (۱۱,۵۰ درصد) درمعرض خطر بسیار کم قرار دارند؛ بنابراین، حدود ۵۶ درصد از مساحت استان، در معرض خطر بسیارزیاد و زیاد قرار دارد که زنگ خطری بزرگ می باشد. علاوه بر این، با بررسی توزیع سکونتگاه‌ها و جمعیت، مشاهده می‌شود مناطقی که ازنظر زلزله درمعرض خطر بیشتری قرار دارند، پرجمعیت‌تر هستند؛ بنابراین، برای کاهش مخاطرات زلزله، باید برنامه‌ریزی‌های ویژه، نظیر تغییر توزیع فضایی جمعیت و سکونتگاه‌های انسانی در سطح استان و مقاوم‌سازی مناطق پرخطر، در دستور کار مدیران و برنامه‌ریزان قرار گیرد.

واژگان کلیدی: پهنه‌بندی ، زلزله ،FAHP ، GIS ، هرمزگان

---

* نویسنده مسئول: E-mail: Alisadeghi@geo.ui.ac.ir

مقدمه

حوادث اضطراری و بلایا به‌طور مکرر در سرتاسر جهان اتفاق می‌افتد و باعث رنج‌های عظیمی مانند خسارات فیزیکی، اقتصادی و اجتماعی برای انسان‌ها می‌شود (آدیگوزل[۱]، ۲۰۱۹: ۱). برنامه‌ریزی برای مقابله و پیشگیری از این مخاطرات و آثار زیان‌بار آنها بخشی از اهداف بلندمدت هر جامعه‌ای می‌باشد(مهدوی، هزاریان، ۱۳۹۶: ۲۶).

سرزمین ایران، با توجه به موقعیت جغرافیایی و زمین‌شناسی، از جمله ده کشور سانحه‌خیز جهان به شمار می‌آید و همواره براثر بروز سوانحی چون سیل، زلزله، خشکسالی و غیره، با خسارات جانی و مالی قابل‌توجهی مواجه شده است. از همین رو سال‌هاست که راه‌های کاهش اثرات سوانح طبیعی در کشور موردتوجه قرارگرفته است و تلاش می‌شود تا همگام با تجربه‌های جهانی در این حوزه، شاخص ایمنی و آمادگی در برابر سوانح طبیعی ارتقا یابد(آقابابایی خوارزمی، ۱۳۸۸: ۳۲).

زلزله یکی از بلایای طبیعی است که موجب خسارات و مشکلات اقتصادی و محیطزیستی شده و زندگی انسان‌ها را تحت تأثیر قرار می‌دهد؛ لذا مدیریت بحران زلزله امری ضروری است. در زمینه‌های مختلف، همواره هزینهٔ پیشگیری کمتر از درمان است؛ دربارهٔ زلزله نیز پیشگیری و برنامه‌ریزی قبل از وقوع بحران بهتر از ساماندهی پس از وقوع زلزله است.

محققان متعددی با استفاده از روش‌های مختلف به بررسی پدیدهٔ زلزله پرداخته‌اند که در ادامه برخی از پژوهش‌های انجام‌شده مرور شده‌اند.

گیو و ماتوسودا[۲] (۲۰۲۳) با استفاده از روش تحلیل سلسه‌مراتبی، دو هدف تعیین اهمیت معیارهای مؤثر بر انتخاب DC و رتبه‌بندی DCها را مدنظر قراردادند. نتایج حاصل نشان داد که معیارهای فاصله تا نزدیکترین بزرگراه و مساحت زمین برای انتخاب DC ضروری هستند.

بوزنیک[۳] و همکاران (۲۰۱۷) با استفاده از مدل سلسله‌مراتبی و مدل فازی به مطالعهٔ پهنه‌بندی ریسک زلزله پرداختند. طبق نتایج روش ترکیبی به‌کاررفته، قابلیت مناسبی در تحلیل مسائل دارد.

یاریان و کرمی (۱۳۹۸) باهدف مطالعه آسیب‌پذیری شهر سنندج در برابر زلزله با استفاده از مدل FAHP و درنظرگرفتن ۱۳ لایه پژوهشی را انجام دادند، نتایج حاصل حاکی‌از آسیب‌پذیری بالا در مناطق ۱ و ۲ شهر سنندج می‌باشد. در مناطق جنوبی شهر آسیب‌پذیری ناشی از شرایط محیطی و در مناطق شمالی بیشتر تحت‌تاثیر ویژگی‌های کالبدی و اجتماعی است.

سهرابی و عفیفی (۱۴۰۱) با استفاده از مدل FAHP به مطالعه پهنه‌بندی خطر زلزله در شهرستان بستک پرداختند. آن‌ها با توجه به نقشه‌های حاصل از هم‌پوشانی مدل AHP و اعمال وزن‌ها در لایه‌های اطلاعاتی، مساحت هریک از کلاس‌های آسیب‌پذیری زلزله که شامل خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد بود را تعیین کردند. طبق نتایج مساحت بالایی از محدوده مطالعه درمعرض خطر زیاد قرار دارد.

هاشمی و همکاران (۱۳۹۳) به‌منظور ارزیابی شدت آسیب‌پذیری زلزله، از تحلیل سلسله‌مراتبی وزن‌دهی استفاده کردند و تهیه نقشه آسیب‌پذیری براساس روش هم‌پوشانی شاخص و منطق فازی انجام‌شده است. نتایج به‌دست‌آمده حاکی‌از ارجحیت منطق فازی در تعیین آسیب‌پذیری مناطق می‌باشد.

کریمی کردآبادی و نجفی (۱۳۹۴) با استفاده از مدل ترکیبی FAHP به پهنه‌بندی خطر زلزله در منطقه ۱ تهران پرداختند. نقشه‌های بدست‌آمده نشان داد که بیشتر مساحت منطقه ۱ جز پهنه‌های خطرناک وقوع زلزله می‌باشد.

رحیمی شهید و رحیمی (۱۳۹۶) با استفاده از روش تحلیل سلسله‌مراتبی به بررسی بخش مرکزی شهرستان سمیرم پرداختند. طبق نتایج حاصل، حدود ۴۹,۷۲ درصد حوضه در پهنه‌های با خطر بالا و خیلی بالا قرار می‌گیرد.

---

[۱] Adiguzel

[۲] Matsuda

[۳] Bozanic

کرمی و امیریان (۱۳۹۷) با توجه به نزدیکی شهر تبریز به یک گسل بزرگ و فعال، این شهر را برای پژوهش خود برگزیدند. آن‌ها با بهره‌گیری از مدل FAHP، میزان آسیب‌پذیری مناطق مختلف شهر را بررسی کردند. طبق نتایج حاصل مناطق ۱۰ و ۱ به‌ترتیب دارای شرایط خطرناک‌تری هستند.

یاریان و همکاران (۲۰۲۰) با روش (FAHP-ANN) به مطالعه و تجزیه‌وتحلیل میزان آسیب‌پذیری زلزله در شهر سنندج پرداختند. طبق نتایج مدل ترکیبی FAHP-ANN انعطاف‌پذیر و قابل‌اعتماد می‌باشد.

پاشاپور و همکاران (۱۳۹۸) برای پهنه‌بندی خطر زلزله در کلان‌شهر تبریز از روش سلسله‌مراتبی و نرم‌افزار ArcGIS استفاده کردند و در مطالعه خود ۱۲ معیار را مدنظر قراردادند. نتایج نشان داد که ۵۹,۳ درصد مساحت شهر که شامل مناطق مرکزی، غربی و جنوب غربی می‌باشد در پهنه لرزه‌خیزی با ریسک بسیار بالا و بالا قرار دارد.

امیراحمدی و آب باریکی (۱۳۹۳) به پهنه‌بندی خطر زلزله شهر سبزوار پرداختند. آن‌ها با استفاده از روش AHP و لحاظ کردن لایه‌های فاصله از گسل، شیب، توپوگرافی، شیب لایه‌های زمین، لیتولوژی، کاربری زمین، تراکم جمعیت و ساختمان، قدمت ساختمان و فاصله از کانون‌های زلزله تاریخی، نقشه‌های پهنه‌بندی را ترسیم کردند. طبق نتایج ۱۱ کیلومترمربع از وسعت شهر در پهنه بسیار پرخطر و ۵۹ کیلومترمربع از وسعت شهر در پهنه خطر خیلی کم قرار می‌گیرند.

نصیری (۱۳۹۵) باهدف پهنه‌بندی زمین لرزه‌ای شهر ارومیه از مدل‌های تجربی و پارامترهای مهم جنبش نیرومند زمین، داده‌های گسل‌ها و زمین‌شناسی در محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی استفاده کرد. نتایج حاصل تغییرپذیری شتاب ۰,۰۳۵ تا ۰,۳۳(g) را در منطقه شهری ارومیه نشان داد که بیانگر لرزه‌خیزی منطقه است.

موسوی و همکاران (۱۳۹۴) برای ارزیابی خطر زمین‌لرزه در حوزه شهری ایذه از دو مدل AHP و WLS با درنظرگرفتن ۵ لایه استفاده کردند. طبق نتایج، براساس مدل AHP ۹۲,۱۰ درصد و براساس مدل WLC ۱۶,۵۸ درصد محدوده موردمطالعه در طبقه‌ی خطر بسیار بالا قرار دارد.

رنگزن و همکاران (۱۳۹۴) به پهنه‌بندی خطرپذیری زلزله در منطقه ۱ اهواز پرداختند. مطالعه آن‌ها با استفاده از دو روش فازی و تحلیل سلسله‌مراتبی فازی و براساس ۱۹ معیار صورت‌گرفته است. نتایج نشان می‌دهد روش فازی عملکرد بهتری دارد. براساس نتایج ۶۰ درصد منطقه درمعرض خطر بیشتری بوده و ۴۰ درصد آن در پهنه کم و بسیار کم قرار دارند.

قهرمانی و همکاران (۱۳۹۷) برای ارزیابی خطر زمین‌لرزه در منطقه دهک از روش منطق فازی استفاده کردند. نتایج نشان داد ۲۰، ۲۸، ۲۶، ۱۶ و۱۰ درصد از منطقه به‌ترتیب در کلاس‌های خطر خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد قرار دارند.

مصباحی و همکاران (۲۰۲۰) با استفاده از منطق فازی و ۱۰ معیار مهم و توسط نرم‌افزار ArcGIS به پهنه‌بندی خطر زلزله در شهر تبریز پرداختند. طبق نتایج تبریز در محدوده پرخطری واقع‌شده است.

قادری و فرهمند (۱۴۰۱) به پهنه‌بندی مناطق شهری ارومیه در برابر خطر زلزله پرداختند. آن‌ها از مدل FAHP بهره برده و نتایج به‌دست‌آمده نشان داد که ۱۵۱۵۷۴ مترمربع دارای خطر بسیار زیاد و ۱۱۵۳۸۳۵۹ مترمربع دارای خطر زیاد می‌باشند.

اخلاص‌پور و همکاران (۱۴۰۰) برای بررسی خطر زمین‌لرزه در استان کرمان از روش فازی استفاده کردند. نقشه پهنه‌بندی آن‌ها نشان داد که در نواحی نوار کوه بنان ـ لکرکوه ـ گلباف ـ بم و گستره‌های بردسیر و ریگانداری خطر خیلی زیاد بوده و نواحی شهربابک، سیرجان و رفسنجان دارای خطر متوسط هستند. همچنین نواحی باختر استان، لوت و جازموریان جز نواحی کم‌خطر دسته‌بندی شدند.

رنجبر و نکویی (۲۰۱۸) برای شناسایی مناطق و ساختمان‌های درمعرض خطر زلزله شهر تهران از مدل تاپسیس و فازی استفاده کردند. نتایج نشان داد که بیشتر مساحت شهر تهران در طبقه پرخطر قرار دارد.

بهاروند و همکاران (۱۴۰۲) برای پهنه‌بندی خطر زمین‌لرزه شهرستان رومشکان از روش فازی و تحلیل سلسله‌مراتبی استفاده کرده و به این نتیجه رسیدند که بیشترین حساسیت نسبت به خطر زمین‌لرزه در قسمت‌های شرقی شهرستان واقع‌شده و بخش‌های مرکزی خطر خیلی کم و کم دارد و لذا استقرار جمعیت در این مناطق پیشنهاد می‌شود.

مجیدی نیک و بیگلری (۱۴۰۱) برای پهنه‌بندی خطر زلزله در استان بوشهر از مدل FAHP بهره بردند. نتایج حاکی‌از آن است ۲۳ درصد استان در امتداد گسل‌ها قرار دارد.

رحمان[۱] و همکاران (۲۰۱۵) خطر دو پدیده زلزله و حریق را در شهر داکا بررسی کردند. آن‌ها نمونه‌ای از ۳۵۰ ساختمان را انتخاب کردند. آن‌ها برای تحلیل خطر زلزله از روش غربالگری بصری FEMA-RVS و برای خطر حریق از روش توسعه داده‌شده توسط ADPC بهره بردند. نقشه آسیب‌پذیری با استفاده از نرم‌افزار ArcGIS 10 تدوین و مشخص گردید بخش موردمطالعه نسبت به زلزله آسیب‌پذیر تر می‌باشد. آن‌ها بیان کردند که با آگاهی‌بخشی به افراد و آموزش می‌توان تا حدی خطر عوامل زلزله و حریق را کاهش داد.

لیو[۲] و همکاران (۲۰۲۰) به بررسی خطر فرونشست زمین در شانگهای پرداختند. آن‌ها برمبنای یک پرسشنامه مشترک دو روش AHP و FAHP را برای بررسی خطر فرونشست بکار گرفتند و طبق نتایج بدست‌آمده روش FAHP عملکرد موثرتری داشته و برای بررسی مخاطرات فرونشست زمین کارآمدتر است.

کاظمی و همکاران (۲۰۲۰) با استفاده از مدل ویزنر و رویکرد تصمیم‌گیری چندمعیاره (MCDM) و براساس فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی فازی (FAHP) به تجزیه‌وتحلیل خطر زلزله در شهر بندری نوشهر پرداختند. آن‌ها بیان کردند که خطر زلزله در نواحی مرکزی و شمال غربی شهرستان نوشهر بیشتر از سایر مناطق است. این مناطق پرجمعیت بوده و تأسیسات پرخطری مانند خطوط گاز و شبکه‌های آب و فاضلاب در این نواحی قرارگرفته است که برنامه‌ریزی و اقدام عاجل در خصوص بهسازی سکونتگاه‌های شهری و ساماندهی فضاهای شهری را ضروری می‌سازد.

جعفری و همکاران (۱۴۰۰) با استفاده از روش سلسله‌مراتبی در استان خوزستان خطر زلزله را بررسی کردند. طبق نتایج مناطق شمالی استان بیشترین خطر زمین‌لرزه را دارند و شهرهایی مانند اهواز، آبادان و دشت‌آزادگان دارای پتانسیل لرزه‌ای بسیار کمی هستند. همان‌گونه که مطرح شد در ارتباط با موضوع پهنه‌بندی خطر زلزله تاکنون پژوهش‌های زیادی در سطح جهان و کشور ایران صورت‌گرفته است، ولی تابه‌حال در استان هرمزگان مطالعه‌ی جامعی صورت نگرفته است. در این مطالعه با استفاده از مدل FAHP استان هرمزگان ازنظر خطر زلزله پهنه‌بندی شده و شهرستان‌ها، شهرها و روستاهای پرخطر و کم‌خطر شناسایی شده‌اند.

ازآنجایی‌که کشور ایران برروی کمربند زلزله واقع‌شده و بیشتر استان‌های ایران درمعرض این خطر طبیعی هستند، مطالعه زلزله در ایران از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. استان هرمزگان یکی از استان‌های جنوبی ایران بوده و شهرستان‌های مرکزی و جنوبی این استان بیشتر از سایر شهرستان‌ها درمعرض خطر زمین‌لرزه هستند. شناخت دقیق‌تر مناطق پرخطر و کم‌خطر و دلایل وجود این خطرات، برای برنامه‌ریزی و مدیریت بهتر ضروری است. این پژوهش، در صدد است با بکارگیری روش تحلیل سلسله‌مراتبی فازی، به پهنه بندی خطر وقوع زمین‌لرزه در استان هرمزگان بپردازد. ازطرفی توزیع شهرها و روستاها و تراکم جمعیتی استان مورد بررسی قرارگرفته تا بتوان با توجه به پهنه‌بندی خطر زمین لرزه، برای بهبود توزیع فضایی جمعیت استان در آینده برنامه‌ریزی کرد.

---

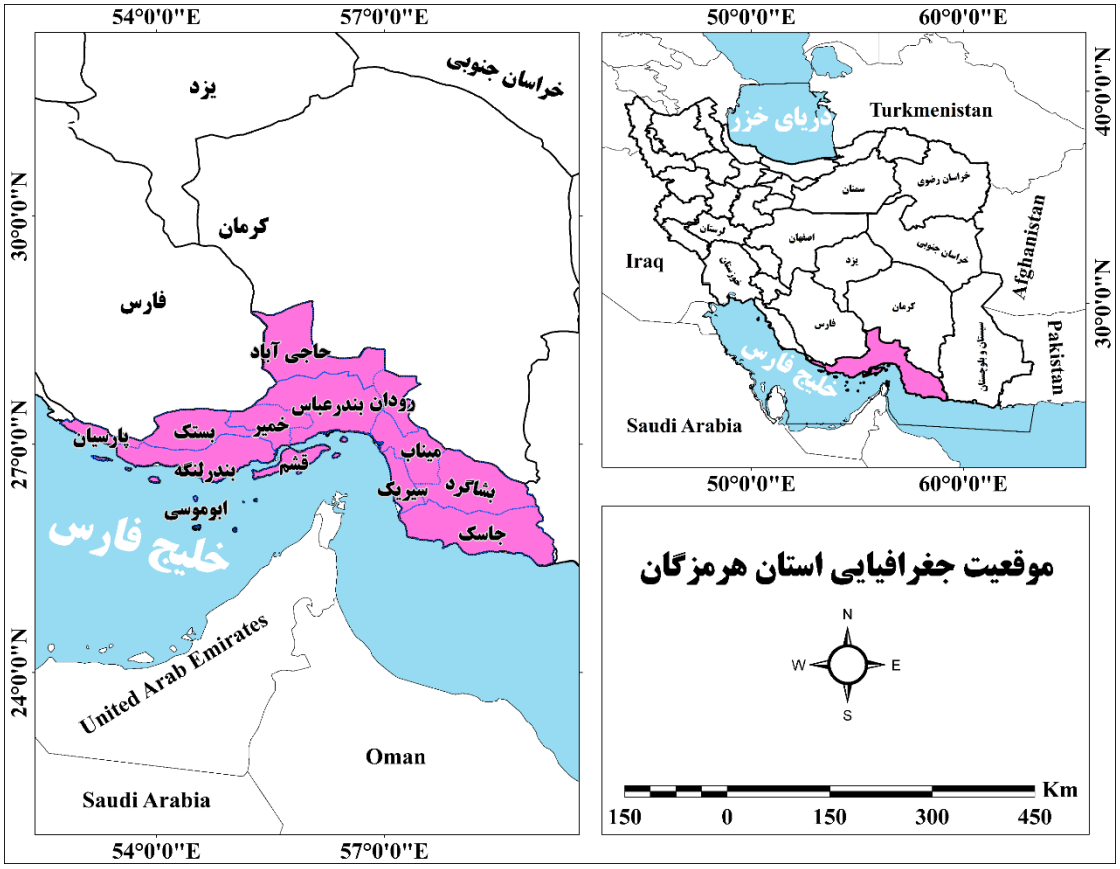
[۱] Rahman

[۲] Lyu

روش تحقیق

منطقه‌ی مورد مطالعه

استان هرمزگان در جنوب ایران و شمال تنگه هرمز قرارگرفته است. این استان در در حدفاصل بین مختصات جغرافیایی ′۲۵°۲۵ تا ′۲۷°۱۸ عرض شمالی و ′۵۲°۳۹ تا ′۵۹°۱۴ طول شرقی از نصف‌النهار گرینویچ واقع شده‌است(عادلی و همکاران، ۱۳۹۵). استان هرمزگان دارای ۱۳ شهرستان، ۳۹ بخش، ۸۸ دهستان و ۵۰ شهر است و با وسعتی حدود ۷۱۱۹۳ کیلومترمربع، حدود ۳,۴ درصد از مساحت کل کشور را در برمی‌گیرد. هرمزگان از جهت شمال و شمال‌شرقی با استان کرمان، از غرب و شمال غربی با استان‌های فارس و بوشهر، از شرق با سیستان‌وبلوچستان همسایه بوده و جنوب آن را آب‌های گرم خلیج‌فارس و دریای عمان، در نواری به طول تقریبی ۹۰۰ کیلومتر دربرگرفته‌است. در شکل ۱ موقعیت جغرافیایی استان هرمزگان نشان‌داده‌شده است (جعفریان و همکاران، ۱۳۹۴).



شکل ۱: نقشه موقعیت جغرافیایی استان هرمزگان

مواد و روش تحقیق

پژوهش حاضر از نظر ماهیت کاربردی است و از نظر روش‌شناسی، ترکیبی از رویکردهای توصیفی و مدل‌های کمی اسنادی را به کار می‌گیرد. در این پژوهش، ابتدا معیارهای مؤثر بر شدت خطرپذیری زمین‌لرزه مشخص و سپس لایه‌های مکانی مربوط به هر معیار در محدودهٔ موردمطالعه جمع‌آوری یا تولید شـدند. در این راسـتا، برای پهنه‌بندی خطر زلزله، از ترکیب دو مدل ریاضـی بسـیار مهم و رایج، یعنی منطق فازی و فرایند تحلیل سـلسـله مراتبی(AHP) بهره گرفته شـده است. مدل تحلیل سلسله‌مراتبی فازی (FAHP) به‌عنوان نسخه‌ای توسعه‌یافته از مدل تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) ،

یکی از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره است که در آن اصول منطق فازی با ساختار سلسله‌مراتبی ترکیب می‌شوند تا ارزیابی و تحلیل دقیق‌تری از شـــرایط پیچیده و نامطمئن فراهم گردد. این مدل، به‌ویژه در مطالعات ارزیابی ریســـک و خطرات طبیعی، از جمله زمین‌لرزه، به‌کارگرفته می شود. در مدلFAHP ، معیارها و زیرمعیارها به صورت سلسله‌مراتبی سازمان‌دهی شده و هر معیار به صورت مجموعه‌ای فازی نمایش داده می شود که امکان درنظرگرفتن عدم قطعیت‌های ذاتی داده‌ها و دانش خبرگان را فراهم می‌ســـازد. این رویکرد به تحلیل‌گران اجازه می‌دهد پارامترهای کیفی و کمّی را در فرایند ارزیابی ترکیب کنند و به نتایج مطمئن تری دســت یابند (چن و همکاران[1]، ۲۰۲۲، ۵۴۹۶). مدل FAHP با کاهش خطاهای ناشـــی از اطلاعات نامطمئن و تنظیم دقیق اوزان معیارها، به‌عنوان ابزاری قوی و جامع در ارزیابی ریســـک زمین‌لرزه و دیگر خطرات طبیعی شناخته می‌شود.

در تهیه نقشه پهنه‌بندی آسیب‌پذیری ناشی از ریسک زلزله، معیارهای متعددی مورد بررسی و استفاده قرار گرفته‌اند. به‌طورکلی، هرچه عوامل بیشتری در مدل گنجانده شوند، نتایج دقیق‌تری حاصل می‌شود. باوجود محدودیت دسترسی به برخی اطلاعات مؤثر، تلاش شده است تا حد ممکن از عوامل مهم و ضروری در این پژوهش استفاده گردد. شاخص‌های هم‌پوشانی برای معیارهای مختلف با بررسی مطالعات پیشین تعیین شده است که شامل معیارهای مختلفی مانند ارتفاع، شـیب، فاصـله از خطوط گسـل فعال، تراکم خطوط گسـل فعال، عمق کانونی زمین لرزه‌های گذشـته، قدرت وقوع زمین لرزه‌های گذشته، فاصله از نقاط وقوع زمین‌لرزه‌های گذشته و تراکم وقوع نقاط وقوع زمین لرزه‌های گذشته می‌باشد.

برای تهیهٔ نقشهٔ خطوط گسل، از نقشه‌های تهیه‌شده توسط پژوهشگاه بین‌المللی زلزله استفاده‌شده و برای استخراج داده‌های مربوط به کانون، عمق و بزرگی زلزله، از داده‌های مربوط به زمین‌لرزه‌ها در پایگاه اطلاعات جهانی USGS بهره گرفته شده است. همچنین، نقشه شیب زمین از مدل رقومی ارتفاع ۳۰ متر SRTM که به‌صورت جهانی پوشش دارد، با استفاده از سامانهٔ تحت وب Google Earth Engine تهیه‌شده است. داده‌های مرتبط با زمین‌لرزه‌ها با استفاده از روش درون‌یابی وزنی معکوس فاصله (IDW) و به صورت نقشه‌های بزرگی و عمق زلزله تهیه شدند. برای ترسیم نقشه‌های فاصله از کانون زلزله و فاصله از خطوط گسل نیز از تابع فاصله اقلیدسی در محیط نرم‌افزار ArcGIS استفاده‌شده است.

با توجه به این موضوع که داده‌های مورداستفاده از منابع مختلف گردآوری شدند و هرکدام دارای سیستم مختصات و ســیســـتم تصـــویر متفاوتی بودند، برای دســـتیابی به قابلیت تجزیه و تحلیل مکانی دقیق در محدودهٔ مطالعه، مرحله پیش‌پردازش و یکپارچه سازی داده‌ها انجام شد. بدین منظور، لایه‌های مورداستفاده شده به سیستم مختصات UTM تبدیل شدند تا از هماهنگی مکانی آن‌ها اطمینان حاصل شود. علاوه بر این، به‌منظور مقایسه‌پذیری داده‌ها در لایه‌های مختلف، مقادیر هر معیار می‌بایست به واحدهای مشترک و قابل‌مقایسه تبدیل می شدند. در این راستا، لازم بود که در فرآیندی تحت عنوان فازی سازی، مقیاس‌های اندازه‌گیری گوناگون به قالبی استاندارد تغییر یابند. در مرحله فازی سازی، برای هرکدام از متغیرهای ورودی و خروجی، مجموعه‌های فازی تعریف شدند.

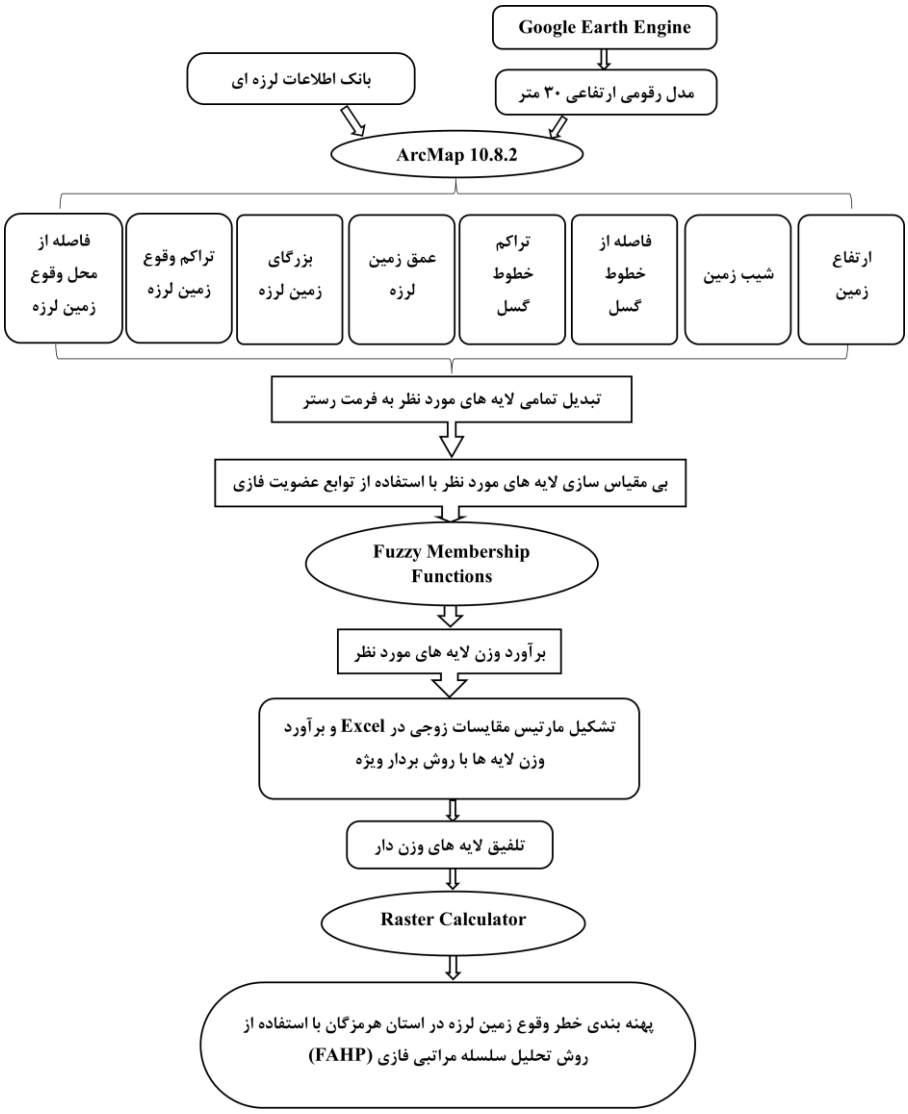
در فرآیند طبقه‌بندی توابع عضـویت، داده‌های ورودی به دسـته‌های فازی مانند بالا، متوسـط، پایین و غیره تقسـیم می‌شـوند. دامنه کلیه داده‌های ورودی از طریق این متغیرها، با تخصـیص درجات عضـویت مشـخص تفکیک می‌گردد (عطایی، ۱۳۸۹). عملیات فازی سازی ورودی‌ها با استفاده از توابع عضویت مربوط، به هر داده درجهٔ مناسبی اختصاص می‌دهد. هر یک از متغیرهای ورودی باید در محدودهٔ عددی مشخص خود تعریف شوند و خروجی‌ها نیز به‌صورت درجات عضویت فازی بین صفر تا یک، برای مجموعه‌های زبانی معین‌شده اند (حیدری مظفر، تاج‌بخشیان، ۱۴۰۱، ۵۷).

میزان اهمیت نقشه‌های معیار در دستیابی به نقشه پهنه‌بندی آسیب‌پذیری زلزله برابر نیست. ازاین‌رو، امتیازدهی یا به‌عبارت‌دیگر وزن‌دهی این نقشه‌ها ضروری است. وزن هر معیار نشان‌دهندهٔ اهمیت و ارزش نسبی آن نسبت به سایر

[1] Chen et al

معیارها در فرآیند پهنه‌بندی اســـت. با توجه به تعدد معیارهای پهنه‌بندی و عدم برابری ارزش آن‌ها، درنظرگرفتن اهمیت نسـبی معیارها و اسـتفاده از آن‌ها به‌صـورت مسـتقیم در پهنه‌بندی، نیازمند وزن‌دهی دقیق اسـت. برای این منظور، ابتدا نظرات متخصصین جمع‌آوری و سپس پس از تحلیل و بررسی، نرمال‌سازی می‌شود.

پس از گردآوری، پردازش و فازی‌ســازی داده‌های اولیه، تمامی لایه‌ها با دقت و وضــوح پیکســلی یکســان تهیه و آماده‌سازی شدند. سپس با تشکیل ماتریس مقایسه زوجی و محاسبه اوزان لایه‌های مختلف با استفاده از روش بردار ویژه، میزان اهمیت و تأثیرگذاری هر لایه مشخص گردید. پس از تعیین اوزان، لایه‌های بی‌مقیاس و وزن‌دار با استفاده از ابزار Raster Calculator در ArcMap تلفیق شـدند و نقشـه‌ی نهایی پهنه‌بندی خطر وقوع زمین‌لرزه به‌صـورت خروجی نهایی مدل FAHP به‌دست آمد. روندنمای کلی تحقیق در شکل ۲ نمایش داده شده است.



شکل ۲: روندنمای انجام پژوهش

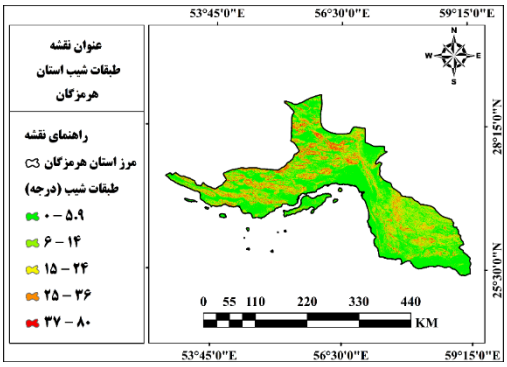
بحث و یافته‌ها

استخراج متغیرهای موثر در پهنه‌بندی زلزله استان هرمزگان

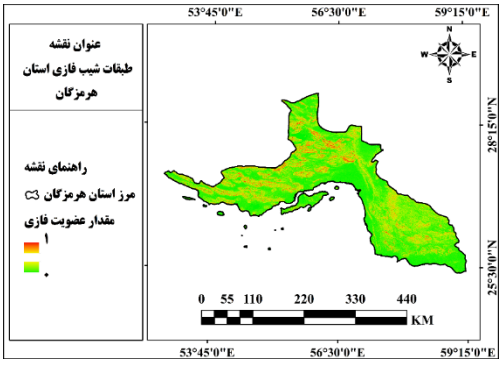
در مکان‌یابی پهنه های با خطر گوناگون، عوامل مختلفی تاثیر گذار هستند، که در این تحقیق ۸ معیار مهم مورد بررسی قرارگرفت که عبارتند از: فاصله از خطوط گسل، تراکم خطوط گسل، فاصله نقاط زلزله، عمق زلزله، قدرت زلزله، ارتفاع، شیب و تراکم نقاط زلزله.

معیار شیب

شیب، ارتباط مستقیمی با ایجاد خطر زمین‌لغزش و زمین‌لرزه دارد. شیب یکی از مهم‌ترین عوامل مؤثر بر تغییروتحول ناهمواری‌های سطح زمین به شمار آمده و به این ترتیب در زندگی انسان و فعالیت‌های وی به‌طور مستقیم یا غیرمستقیم اثرگذار است. با توجه به رابطه‌ی مستقیم بین مقادیر شیب و وقوع زمین‌لرزه، از تابع خطی افزایشی برای فازی‌سازی این لایه استفاده شد که در شکل ۴ به نمایش درآمده است. براساس این نقشه، مناطقی با مقدار عضویت بیشتر، دارای خطر بیشتری برای وقوع زمین‌لرزه هستند.



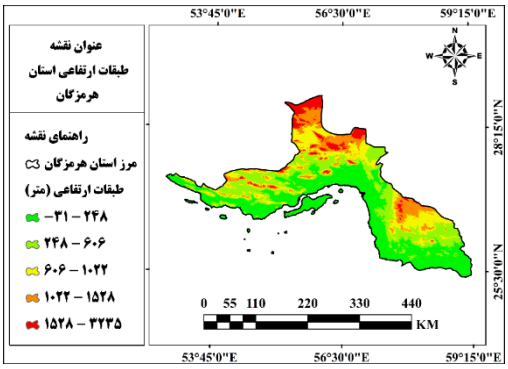
شکل ۳: نقشه طبقات شیب(درجه) استان هرمزگان



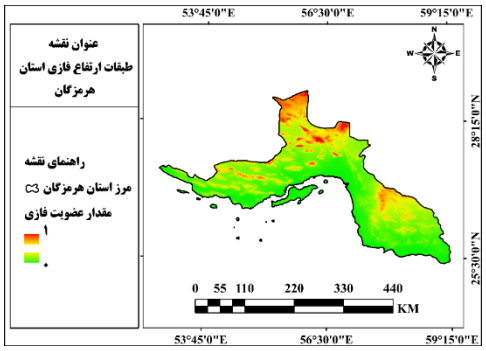
شکل ۴: نقشه شیب فازی‌شده استان هرمزگان

معیار ارتفاع

در حالت کلی، هرچه ارتفاع بیشتر باشد حرکت لایه‌های زمین بیشتر بوده و میزان آسیب‌پذیری بالاتر است. شکل۵ ، نقشه‌ی طبقات ارتفاعی استان هرمزگان که از مدل رقومی ارتفاعی SRTM ۳۰ متر استخراج‌شده است را نمایش می‌دهد. به‌طورکلی ارتفاع با میزان آسیب‌پذیری ناشی از زلزله رابطه مستقیم دارد و از عوامل تشدیدکننده شدت زلزله است. با توجه به رابطه‌ی مستقیم بین مقادیر ارتفاع و وقوع زمین‌لرزه، از تابع خطی افزایشی برای فازی‌سازی این لایه استفاده شد که در شکل ۶ به‌نمایش‌درآمده است.



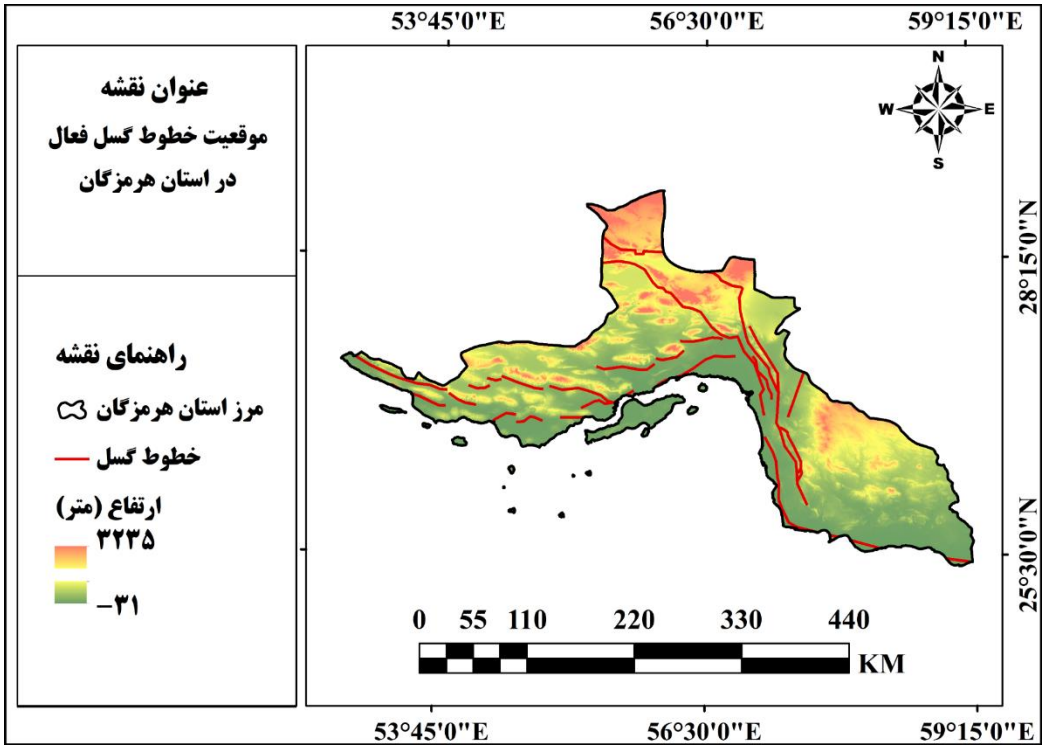
شکل ۵: نقشه طبقات ارتفاعی استان هرمزگان



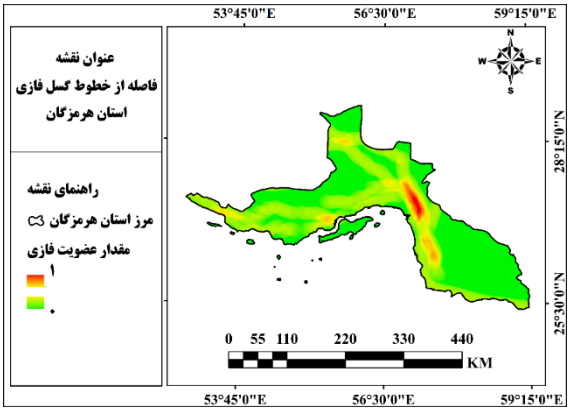
شکل ۶: نقشه فازی ارتفاع زمین استان هرمزگان

معیار خطوط گسل فعال

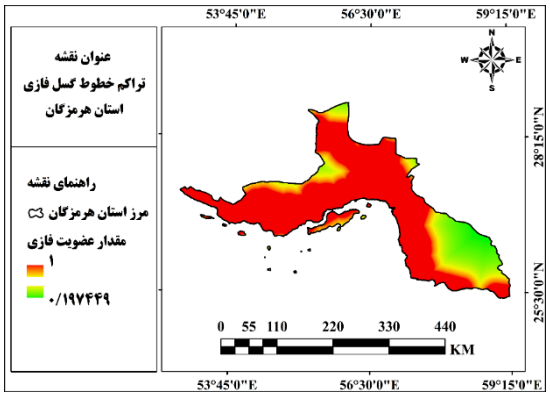
گسل‌ها یکی از پدیده‌های مهم ژئومورفولوژیکی هستند که از حرکات تکتونیکی ناشی می‌شوند و یکی از اصلی‌ترین عوامل جابه‌جایی‌های صفحه‌ای و خروج نیروهای درون زمین محسوب می‌شوند. شکل ۷ موقعیت خطوط گسل فعال استان هرمزگان را نمایش می‌دهد. پارامترهای فاصله از گسل و تراکم خطوط گسلی، می‌توانند تاثیر بسیار بالایی در وقوع زمین‌لرزه داشته باشند. با توجه به این موضوع که با افزایش فاصله از خطوط گسل، خطر وقوع زمین‌لرزه کاهش می‌یابد، برای فازی‌سازی این عامل از تابع Small استفاده شد. همچنین، با توجه به این موضوع که با افزایش تراکم خطوط گسل، خطر وقوع زمین‌لرزه افزایش می‌یابد، از تابع Large برای فازی‌سازی این عامل استفاده شد. نقشه‌های فازی شده فاصله از خطوط گسل فعال و تراکم خطوط گسل فعال به‌ترتیب در شکل‌های ۸ و ۹ نشان داده شده‌اند.



شکل ۷: نقشه موقعیت خطوط گسل فعال استان هرمزگان



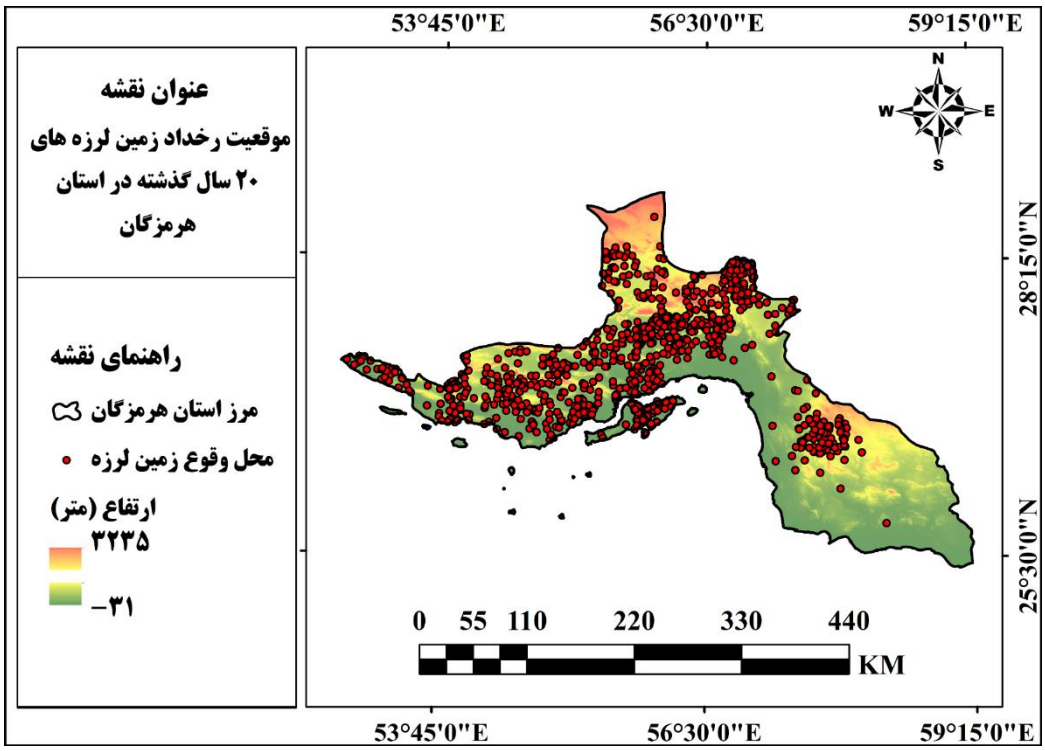
شکل ۸: نقشه فازی فاصله از خطوط گسل



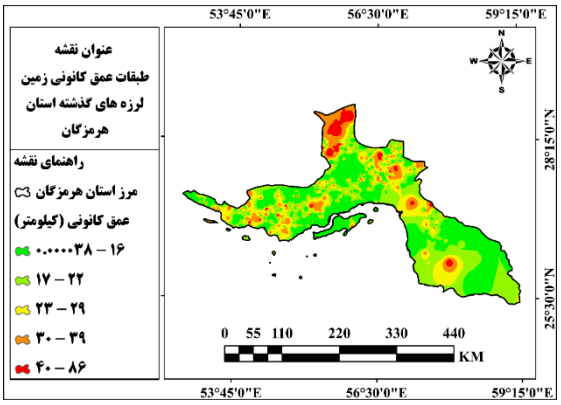
شکل ۹: نقشه فازی تراکم خطوط گسل

معیار عمق کانونی زمین لرزه

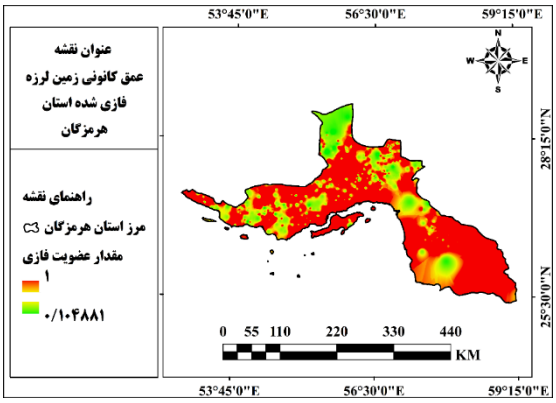
به کمترین فاصله نقطه کانونی زمین‌لرزه تا سطح زمین، عمق زمین‌لرزه می‌گویند. شکل ۱۰، پراکنش نقاط وقوع زمین لرزه در ۲۰ سال گذشته را نمایش می دهد. عمق زمین‌لرزه با انرژی آزادشده از زمین‌لرزه رابطه عکس دارد. هرچقدر زمین‌لرزه در عمق بیشتری رخ دهد، در منطقه لرزه‌خیز، انرژی کمتری به سطح زمین می‌رسد و درنتیجه، خطر ناشی از بروز زمین‌لرزه و خسارات ایجادشده کمتر خواهد بود؛ به همین دلیل، برای فازی‌سازی این لایه از تابع Small استفاده‌شده است. نقشه‌ی طبقه‌بندی عمق کانون زمین‌لرزه و نقشه‌ی فازی شده آن تهیه شد و به ترتیب در شکل‌های ۱۱و۱۲ نمایش داده شده است.



شکل ۱۰: نقشه پراکنش نقاط وقوع زمین لرزه در ۲۰سال گذشته



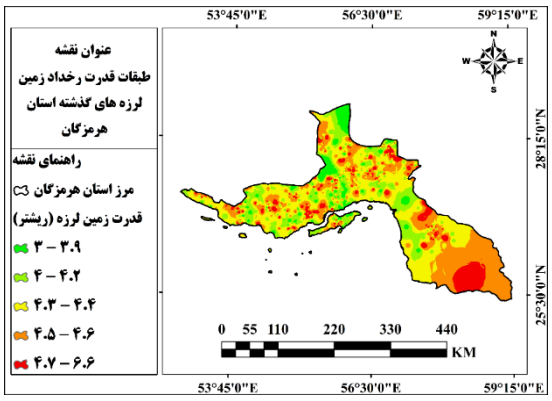
شکل ۱۱: نقشه طبقات عمق کانونی زمین‌لرزه



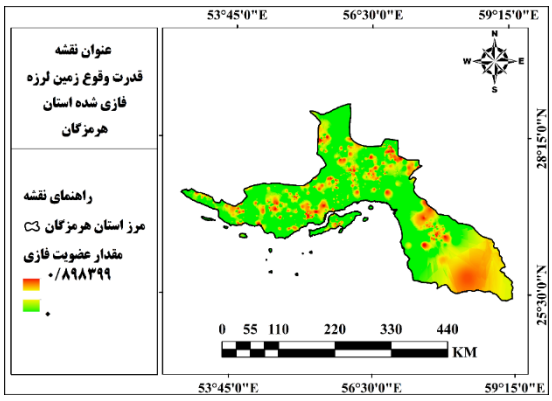
شکل ۱۲: نقشه فازی شده عمق کانونی زمین‌لرزه

معیار قدرت وقوع زمین لرزه

اثری که زمین‌لرزه می‌تواند روی انسان، ساختمان‌ها و زمین بگذارد به‌عنوان قدرت زمین‌لرزه تعریف می‌شود، که از عوامل بسیار مهم در ارزیابی خطر زمین‌لرزه است. قدرت زمین‌لرزه براساس دامنه‌ی امواج ثبت‌شده در دستگاه‌های لرزه‌نگاری تعیین می‌شود. به‌طورکلی، با افزایش قدرت زلزله، خطر ناشی از آن نیز افزایش‌یافته و میزان آسیب‌پذیری بیشتر می‌شود. نقشه‌ی طبقه‌بندی قدرت وقوع زمین‌لرزه‌های ۲۰ سال اخیر در شکل۱۳ آورده شده است. همچنین، با توجه به رابطه‌ی مستقیم بین قدرت وقوع زمین‌لرزه و خطر وقوع زمین‌لرزه، برای فازی‌سازی این عامل از تابع Large استفاده شد که نقشه‌ی آن در شکل ۱۴ نمایش‌داده‌شده است.



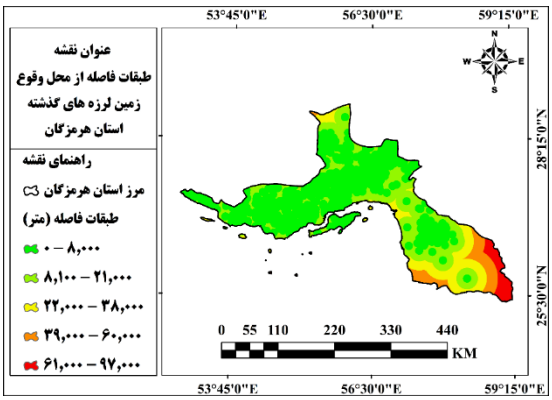
شکل ۱۳: نقشه قدرت وقوع زمین‌لرزه‌های ۲۰ سال اخیر



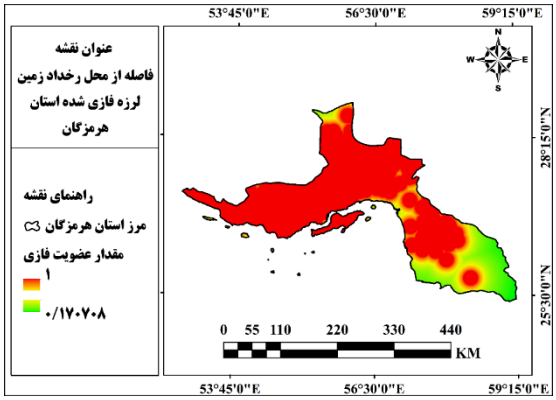
شکل ۱۴: نقشه فازی قدرت وقوع زمین‌لرزه‌های ۲۰ سال اخیر

معیار فاصله از نقاط وقوع زمین‌لرزه

اگر زمین‌لرزه‌های گذشته در فاصله‌های زمانی کوتاهی از یکدیگر واقع‌شده باشند، این ممکن است نشان‌دهنده وجود فعالیت زمین‌لرزه‌زا قوی در نزدیکی آن منطقه باشد، که ممکن است خطر زمین‌لرزه آتی را افزایش دهد. به‌عبارت‌دیگر زمین‌لرزه‌های تکراری در کوتاه‌مدت می‌توانند نشانگر نقاط ضعف ساختاری در حرکت پوسته زمین باشند که احتمال وقوع زمین‌لرزه‌های بزرگ‌تر را افزایش می‌دهد. با توجه به این موضوع که با افزایش فاصله از نقاط وقوع زمین‌لرزه‌های گذشته، خطر وقوع زمین‌لرزه‌های آتی کاهش می‌یابد، برای فازی‌سازی این عامل از تابع Small استفاده شد که نقشه‌ی فازی شده در شکل ۱۶ نمایش‌داده‌شده است.



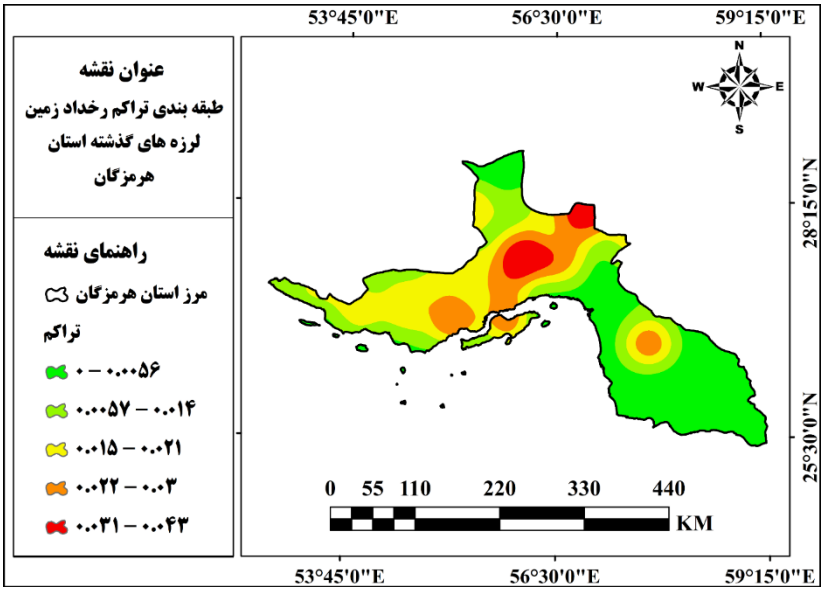
شکل ۱۵: نقشه فاصله از نقاط وقوع زمین‌لرزه‌های گذشته



شکل ۱۶: نقشه فازی فاصله از نقاط وقوع زمین‌لرزه‌های گذشته

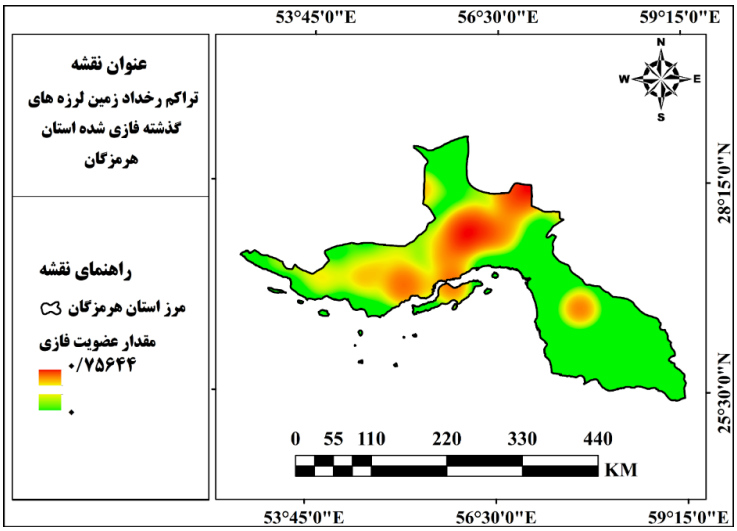
معیار تراکم نقاط زلزله‌خیز

عامل تراکم نقاط وقوع زمین‌لرزه‌های گذشته، احتمال وقوع زمین‌لرزه شدید در آینده را نشان می‌دهد(یوه و همکاران، ۲۰۰۲[۱]). فعالیت لرزه‌ای زمین‌لرزه در شرایط شکستگی یا گسستگی ایجاد می‌شود و رابطه مستقیم با مقاومت سنگ دارد. همچنین، هرچقدر میزان تراکم نقاط وقوع زمین‌لرزه در منطقه‌ای بیشتر باشد، احتمال وقوع زمین‌لرزه در سال‌های آینده برای آن منطقه بیشتر می‌شود و به همین دلیل برای فازی‌سازی این عامل، از تابع Large استفاده شد. شکل‌های ۱۷و۱۸ به‌ترتیب نمایش‌دهنده‌ی نقشه‌ی تراکم نقاط وقوع زمین‌لرزه‌های ۲۰ سال اخیر و نقشه‌ی فازی تراکم نقاط وقوع زمین‌لرزه‌های ۲۰ سال اخیر در استان هرمزگان می باشد.



شکل ۱۷: نقشه تراکم نقاط وقوع زمین‌لرزه‌های ۲۰ سال اخیر

[۱] Yueh et al



شکل ۱۸: نقشه فازی نقشه تراکم نقاط وقوع زمین‌لرزه‌های ۲۰ سال اخیر

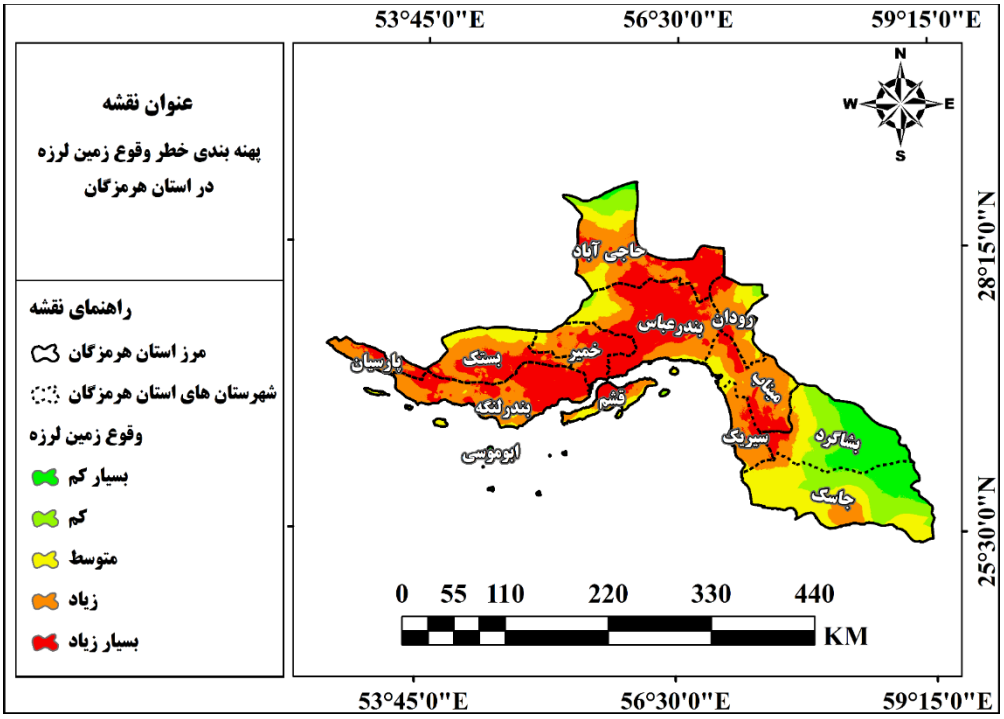
نتایج وزن‌دهی لایه‌ها در مدل AHP

پس از فازی‌سازی لایه‌ها، معیارها و شاخص‌های موثر مطالعاتی وزن‌دهی شده‌اند. ماتریس مقایسه زوجی لایه‌های مورد نظر تشکیل و مقایسه زوجی معیارها براساس پرسش‌نامه کارشناسان که توسط ۶ نفر از کارشناسان ستاد بحران و مخاطرات طبیعی و مهندسی عمران تکمیل شده است، تعیین گردید. در جدول ۱ وزن‌های مربوط به مقایسه زوجی معیارها ارایه شده است. محاسبات مربوط به شاخص ناسازگاری نیز انجام‌گرفته و با توجه به این‌که مقدار شاخص ناسازگاری کمتر از ۰,۱ به‌دست آمد(۰,۰۹۰)، اوزان به‌دست‌آمده سازگار و موردقبول می‌باشند.

جدول ۱: ماتریس مقایسه زوجی معیارها

معیارها	فاصله از خطوط گسل	تراکم خطوط گسل	فاصله از زمین‌لرزه‌های رخداده	تراکم زمین‌لرزه-های رخداده	قدرت زمین‌لرزه-های گذشته	فاصله کانونی زمین‌لرزه	شیب	ارتفاع	وزن لایه (درصد)
فاصله از خطوط گسل	۱	۲	۳,۵	۴	۵,۵	۶	۸	۹	۲۹,۹۴
تراکم خطوط گسل	۰,۵	۱	۲	۲,۵	۳	۳,۵	۴,۵	۸	۱۸,۱۸
فاصله از زمین‌لرزه‌های رخداده	۰,۲۸	۰,۵	۱	۱,۷۵	۲,۲۵	۲,۷۵	۴	۷	۱۴,۲۷
تراکم زمین‌لرزه‌های رخداده	۰,۲۵	۰,۴	۰,۵۷	۱	۳,۵	۴,۲۵	۵	۶	۱۵,۲۹
قدرت زمین‌لرزه‌های گذشته	۰,۱۸	۰,۳۳	۰,۴۴	۰,۲۸	۱	۴	۴,۵	۵	۱۱,۵
فاصله کانونی زمین‌لرزه	۰,۱۶۶	۰,۲۸	۰,۳۶۳	۰,۲۳	۰,۲۵	۱	۲,۵	۳	۵,۶۸
شیب	۰,۱۲۵	۰,۲۲	۰,۲۵	۰,۲	۰,۲۲	۰,۴	۱	۲	۳,۲۲
ارتفاع	۰,۱۱	۰,۱۲۵	۰,۱۴۲	۰,۱۶۶	۰,۲	۰,۳۳	۰,۵	۱	۱,۸۸

با توجه به جدول۱، پارامتر فاصله از خطوط گسل بالاترین وزن (۲۹.۹۴) و پارامتر ارتفاع کمترین وزن (۱،۸۸) را دارند. با به‌دست آمدن وزن‌ها با استفاده از روش بردار ویژه، وزن‌ها در لایه‌های همسان‌سازی شده اعمال گردید تا نقشه مناطق و پهنه‌بندی آسیب‌پذیری استان حاصل گردد. نقشه پهنه‌بندی خطر زلزله در شکل ۱۹ نشان‌داده‌شده است.



شکل۱۹: نقشه پهنه‌بندی خطر وقوع زمین‌لرزه استان هرمزگان

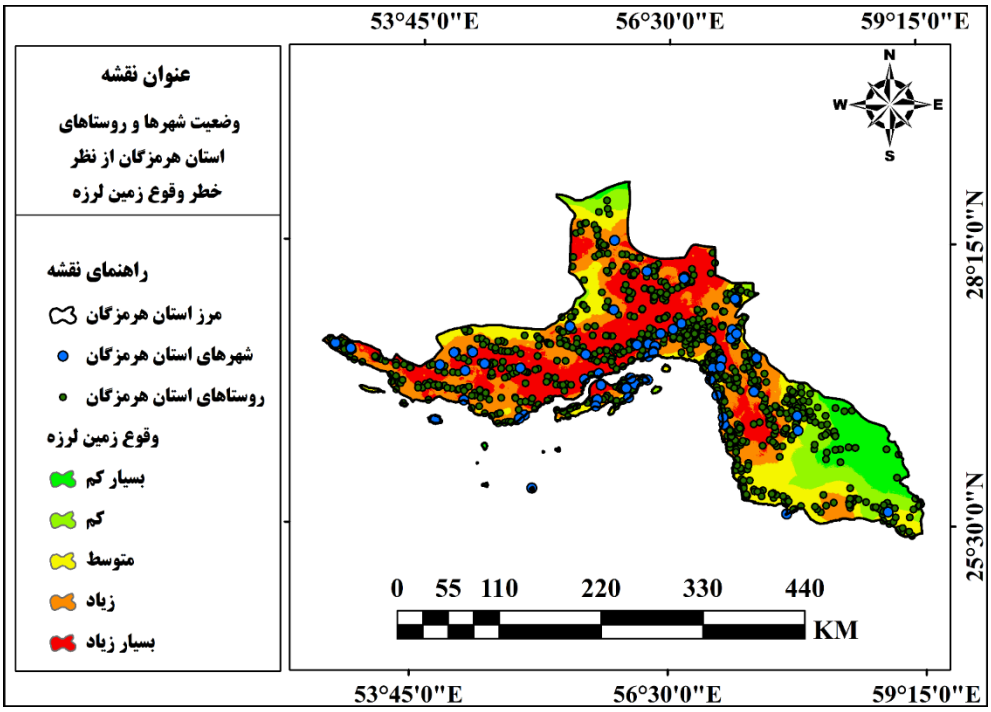
بر اساس تحلیل‌های انجام‌شده و اطلاعات مندرج در شکل ۱۹، مشخص گردید که شهرستان‌های بستک، خمیر و بندرعباس در زمره نواحی با خطر بالای وقوع زمین‌لرزه قرار دارند. از سوی دیگر، شهرستان‌های بشاگرد و جاسک به‌عنوان نواحی با خطر کمتر ارزیابی شدند. همچنین، براساس نقشه پهنه‌بندی خطر وقوع زمین لرزه، مساحت کلاس‌های مختلف خطر زمین لرزه‌ی استان تعیین و مقادیر در جدول ۳ ارایه شده‌اند.

جدول ۳: مساحت کلاس‌های پهنه‌بندی خطر زلزله

کلاس	مساحت (کیلومتر مربع)	درصد
بسیار کم	۸۱۳۳،۱۵	۱۱،۵۰
کم	۸۶۳۹،۷۶	۱۲،۲۲
متوسط	۱۴۳۴۱،۹۵	۲۰،۲۸
زیاد	۲۳۷۸۷،۱۴	۳۳،۶۴
بسیار زیاد	۱۵۸۰۷،۶۴	۲۲،۳۶

به‌منظور بررسی وضعیت سکونتگاه‌های شهری و روستایی مختلف استان هرمزگان از نظر خطر وقوع زمین‌لرزه، نقشه‌ی موقعیت شهرها و روستاهای استان هرمزگان برروی نقشه‌ی پهنه‌بندی خطر وقوع زمین‌لرزه حاصل از این مدل قرار گرفت؛ نتیجه این فرآیند، نقشه‌ای جامع از توزیع خطر زمین‌لرزه در سراسر استان بود که در شکل ۲۰ به نمایش درآمده است. این نتایج نشان می‌دهد که در نواحی پرخطر، تراکم مناطق شهری به‌طور محسوسی بیشتر است؛ این امر می‌تواند نشان‌دهنده حساسیت بالاتر این نواحی در مواجهه با مخاطرات زمین‌لرزه باشد. همچنین، با بررسی شکل ۲۰، مشاهده شد که تراکم

روستاها نیز مشابه با تراکم شهرها در نواحی پرخطر افزایش‌یافته است، که بیانگر اهمیت اتخاذ تدابیر پیشگیرانه و مدیریت ریسک در این نواحی است.



شکل ۲۰: نقشه موقعیت شهرها و روستاهای استان هرمزگان از نظر خطر وقوع زمین لرزه

بر اساس داده‌های ارایه‌شده در شکل ۲۰، می‌توان اذعان کرد نواحی با ریسک بالای وقوع زمین‌لرزه از تراکم جمعیتی بیشتری نسبت به نواحی کم‌خطر برخوردار هستند؛ این تراکم جمعیتی زیاد می‌تواند در صورت وقوع زمین‌لرزه، به‌دلیل تجمع گسترده افراد و ساختمان‌ها، به بروز مشکلات و خسارات زیادی منجر شود. چنین شرایطی بیانگر ضرورت توجه ویژه به این مناطق ازنظر برنامه‌ریزی‌های پیشگیرانه و مدیریت بحران است. ازاین‌رو، تدوین و اجرای تمهیدات کارآمد در این مناطق حیاتی به نظر می‌رسد.

نقد و بررسی آسیب‌های پهنه بندی زمین لرزه و محدودیت‌های آن

پهنه‌بندی زمین‌لرزه یکی از ابزارهای مهم در مدیریت خطرات زلزله و برنامه‌ریزی برای مدیریت آن است. این فرآیند به شناسایی نواحی با ریسک بالای زلزله و ارزیابی آسیب‌پذیری آن‌ها کمک می‌کند. بااین‌حال، این روش با چالش‌ها و محدودیت‌هایی همراه است که نیازمند بررسی دقیق است. یکی از بزرگ‌ترین چالش‌ها در پهنه‌بندی زمین‌لرزه، مقیاس انجام کار و عدم دسترسی یا عدم استفاده از داده‌های دقیق، صحیح و بروز است. اطلاعات ناقص یا قدیمی می‌تواند منجر به ارزیابی نادرست ریسک و درنتیجه آسیب‌پذیری بیشتر مناطق شود. همچنین، تغییرات در شرایط طبیعی مانند تغییرات آب‌وهوایی و فعالیت‌های انسانی نظیر ساخت‌وساز می‌تواند بر رفتار زمین‌لرزه‌ها تأثیر بگذارد و این تغییرات ممکن است در مدل‌های اولیه لحاظ نشده باشند و به همین دلیل نتایج حاصل از پهنه‌بندی ممکن است غیرقابل‌اعتماد باشد. علاوه بر این، باید توجه کرد که پهنه‌بندی زمین‌لرزه معمولاً بر اساس معیارهای فنی و علمی انجام می‌شود، اما عوامل اجتماعی و اقتصادی نیز نقش مهمی در تاب آوری و آسیب‌پذیری جوامع دارند و عدم توجه به این عوامل می‌تواند منجر به نادیده‌گرفتن نیازهای واقعی ساکنان مناطق پرخطر شود.

تمرکز صرف بر روی نقشه‌های پهنه‌بندی می‌تواند منجر به کاهش انعطاف‌پذیری در برنامه‌ریزی و پاسخ به بحران شود؛ در شرایط بحرانی، نیاز به تصمیم‌گیری سریع و مؤثر وجود دارد که ممکن است تحت تأثیر محدودیت‌های تعیین‌شده توسط پهنه‌بندی قرار گیرد. پهنه‌بندی زمین‌لرزه بیشتر برروی ارزیابی خطرات موجود تمرکز دارد و کمتر به پیش‌بینی زلزله‌های آینده می‌پردازد. این امر می‌تواند باعث شود که جوامع برای مقابله با زلزله‌های ناگهانی آمادگی کافی نداشته باشند. همچنین، اجرای پروژه‌های مرتبط با پهنه‌بندی زمین‌لرزه ممکن است هزینه‌بر باشد و در برخی موارد، دولت‌ها و سازمان‌ها قادر به تأمین منابع مالی لازم نباشند. این موضوع می‌تواند منجر به عدم اجرای صحیح یا ناقص برنامه‌ها شود که خود بر مخاطرات ناشی از زلزله می‌افزاید.

در حالت کلی می‌توان چنین بیان داشت که پهنه‌بندی زمین‌لرزه ابزاری ارزشمند در مدیریت خطرات زلزله است، اما باید بادقت و توجه به محدودیت‌ها و چالش‌های آن انجام شود. برای بهبود کارایی این فرآیند، نیاز است که اولاً، مقیاس پهنه‌بندی بسیار بزرگ و به دقت، صحت و بهنگام بودن داده‌ها توجه گردد و به عبارتی به جای پهنه بندی، ریز پهنه‌بندی زمین لرزه انجام گردد؛ ثانیاً، عوامل اجتماعی و اقتصادی در نظر گرفته شوند و برنامه‌های انعطاف‌پذیرتری طراحی گردند؛ ثالثاً، طرح‌های تاب آوری سکونتگاه‌های شهری و روستایی، مناطق صنعتی و پهنه های طبیعی در مقابل پدیده زلزله، ارزیابی گردد. تنها با چنین رویکردی می‌توان به کاهش آسیب‌ها و افزایش امنیت جوامع در برابر زلزله‌های آینده امیدوار بود.

نتیجه‌گیری

ارزیابی خطر وقوع زمین‌لرزه و نقشه پهنه‌بندی آن برای استان هرمزگان که حدود ۵۶ درصد مساحت آن در سطوح خطر بالا و بسیار بالا قرار دارد، به‌عنوان پایه‌ای برای درک عوامل مؤثر بر وقوع زمین‌لرزه، فراوانی آن و راهبردهای کاهش خطر در طول بحران‌های لرزه‌ای در استان عمل می‌کند. هدف اصلی این مطالعه ارزیابی و پهنه‌بندی سطوح خطر وقوع زمین‌لرزه در استان هرمزگان با استفاده از مدل ترکیبی AHP فازی است. استفاده از تکنیک AHP فازی تجزیه‌وتحلیل پارامترهای فضایی مختلف را بر اساس وزن اهمیت آنها برای ایجاد یک نقشه آسیب‌پذیری تسهیل می‌کند.

تحقیقات محدودی در ایران درمورد آسیب‌پذیری زمین‌لرزه به‌طور خاص در سطح استان انجام‌شده است و اکثریت مطالعات در سطح محلی در داخل یک شهر یا منطقه کوچکی از یک استان متمرکزشده است. گاهی اوقات، تأثیر زمین‌لرزه‌ها از محدوده یک شهر فراتر می‌رود و حتی می‌تواند از کل یک استان نیز فراتر رود. این مطالعه با درنظرگرفتن مرزهای سیاسی استان هرمزگان، به ارزیابی و پهنه‌بندی خطر وقوع زمین‌لرزه در استان هرمزگان می پردازد.

در این پژوهش، آسیب‌پذیری خطر وقوع زمین‌لرزه استان هرمزگان در پنج سطح بسیار زیاد، زیاد، متوسط، کم و بسیار کم با استفاده از هشت پارامتر شامل فاصله از خطوط گسل، تراکم خطوط گسل، فاصله از کانون‌های زمین‌لرزه‌ی گذشته، تراکم کانون‌های زمین‌لرزه‌ی گذشته، بزرگی زمین‌لرزه، عمق کانونی زمین‌لرزه، شیب زمین و ارتفاع ارزیابی طبقه‌بندی شد. ارزیابی با استفاده از روش AHP فازی، استفاده از داده‌های مکانی حاصل از سامانه‌ی گوگل ارث انجبین و استفاده از نرم‌افزار ArcMap10.8.2 انجام شد. اولویت‌بندی عوامل تأثیرگذار از طریق مدل فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) و استفاده از روش بردار ویژه نشان داد که فاصله از گسل‌ها و تراکم خطوط گسل به‌ترتیب با ضریب وزنی ۲۹,۹۴ درصد و ۱۸,۱۸ درصد، مهم‌ترین معیارهای تأثیرگذار بر خطر وقوع زمین‌لرزه در منطقه هستند و بیشترین تأثیر را بر وقوع زمین‌لرزه داشته و ارتفاع زمین با ۱/۸۸ درصد کمترین تأثیر را داشته است.

براساس نقشه‌های بدست‌آمده، بیشتر شهرستان‌ها، شهرها و روستاهای استان در نواحی با خطر زیاد وقوع زمین لزره متمرکزشده و تراکم جمعیتی مناطق پرخطر بیشتر است؛ این مسئله می‌تواند مشکلات زیادی را برای ساکنین این مناطق ، درزمان وقوع زمین‌لرزه، به وجود آورد و باید برای آن راهکارهای مناسبی از جمله ساخت‌وساز ایمن ساختمان‌ها، ساخت

مکان‌های مستحکم و ایمن برای اسکان موقت شهروندان درزمان وقوع زمین‌لرزه ، آموزش‌های مناسب درزمینه‌ی نحوه‌ی صحیح مواجهه با زمین‌لرزه و انتخاب مکان‌های ایمن و مناسب برای پناه گرفتن شهروندان در نظر گرفته شود. کاربرد سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی (GIS) همراه با مدل‌های ریاضی و آماری پیچیده، با ترکیب داده‌های مکانی، نمایش دقیق و مف صلی از شرایط مکانی ارایه می‌دهد. به‌طور خاص، مدل ترکیبی فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی و فازی، دقت قابل‌توجهی را در ترسیم خطرپذیری استان نشان می‌دهد. براساس نقشه پهنه‌بندی خطر زلزله، نواحی پرخطر پرجمعیت‌تر بوده و بنابراین برای کاهش مخاطرات زلزله باید برنامه‌ریزی‌های دقیقی صورت گیرد. از جمله راه‌های مبارزه با مخاطرات زلزله می‌توان به سیاست‌های اصلاح پراکندگی فضایی جمعیت و مقاوم‌سازی نواحی پرخطر با تراکم جمعیت بالا اشاره نمود.

منابع

- آقابابایی خوارزمی، م. ۱۳۸۸. تدوین الگوی چارچوب سازمانی برنامه مدیریت بحران زلزله احتمالی شهر تهران، پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد، دانشگاه تهران، دانشکده‌محیط زیست.
- اخلاص‌پور، پ.، عباس نژاد، ا.، نعمتی، م.، ۱۴۰۰. بررسی خطر زمین لرزه استان در کرمان با کاربرد سامانه اطلاعات جغرافیایی و به کارگیری روش منطق فازی، مجله علوم زمین خوارزمی، دوره ۷، شماره ۲، ص ۱۶ـ ۱.
- امیراحمدی، ا.، آب باریکی، ز.، ۱۳۹۳. ریز پهنه بندی خطر زلزله شهر سبزوار با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی GIS، جغرافیا و توسعه، سال دوازدهم، شماره ۳۵، ص ۱۵۱ـ ۱۳۳.
- بهاروند، س.، فیروزفر، ع.، سوری، س.، ۱۴۰۲. شناسایی خطواره های گسلی و پهنه بندی خطر زمین لرزه با استفاده از سنجش ازدور و سیستم اطلاعات جغرافیایی (مطالعه موردی: شهرستان رومشکان، استان لرستان)، جغرافیا و برنامه ریزی محیطی، سال ۳۴، شماره ۲، ص ۱۶ـ۱.
- پاشاپور، ح.، قربانی، ر.، فرهادی، ا.، درودی نیا، ع.، ۱۳۹۸. پهنه بندی خطر زلزله با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (مطالعه موردی: کلان شهر تبریز)، فصلنامه آمایش محیط، شماره ۴۵، ص ۶۹ ـ ۴۹.
- جعفریان، م.، احتشامی، ع.، حسنوند، غ.، ۱۳۹۴. عوامل جغرافیایی موثر بر قاچاق مواد مخدر از مرز استان هرمزگان، پژوهشنامه مطالعات مرزی، دوره ۳، شماره ۲، ص ۱۳-۱.
- جعفری، م.، نظرپور، ا.، چرچی، ع.، مومبنی صالحی، ر.، ۱۴۰۰. بهره گیری از روش تحلیل سلسله مراتبی در شناسایی خطر لرزه ای، مطالعه ی موردی: استان خوزستان، زمین شناسی کاربردی پیشرفته، دوره ۱۱، شماره ۴، ص ۹۴۱ـ ۹۲۵.
- حیدری مظفر، م.، تاج بخشیان، م.، ۱۴۰۱. پهنه‌بندی آسیب‌پذیری سکونتگاه‌های شهرستان نهاوند در برابر زلزله، مخاطرات محیط طبیعی، دوره ۱۱، شماره ۳۴، ص ۷-۵۷.
- رحیمی شهید، م.، رحیمی، ن.، ۱۳۹۶. پهنه بندی خطر زمین لرزه با استفاده از فرایند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) و سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) (مطالعه موردی: بخش مرکزی شهرستان سمیرم)، یافته های نوین زمین شناسی کاربردی، دوره ۱۱، شماره۲۲، ص ۱۱۸ـ۱۰۹.
- رنگزن، ک.، کابلی زاده، م.، منصور نعیمی، ا.، ۱۳۹۴. پهنه بندی خطر پذیری زلزله با استفاده سیستم استنتاج فازی و فرآیند تحلیل سلسله مراتبی فازی، سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی، سال ششم، شماره دوم، ص ۱۷ـ ۱.
- سهرابی، و.، عفیفی، م.، ۱۴۰۱. پهنه بندی خطر زلزله در شهرستان بستک با استفاده از مدلFUZZY-AHP ، مجله کاربرد سیستم اطلاعات جغرافیایی و سنجش ازدور در برنامه ریزی، دوره ۱۳، شماره۳، ص۱۱۲ـ ۹۸.
- عادلی، ب.، غلامی، ح.، نفرزادگان، ع.، ۱۳۹۵. بررسی خصوصیات الگوی توزیع مکانی فرسایندگی باران در استان هرمزکان، پژوهش های ژئومورفولوژی کمی، سال پنجم، شماره ۲، ص ۱۰۹-۹۴.

- قادری، ر.، فرهمند، ق.، ۱۴۰۱. پهنه بندی آسیب پذیری مناطق شهری در برابر زلزله (مطالعه موردی: شهر ارومیه)، آمایش سرزمین، دوره ۱۴، شماره ۲، ص ۵۶۹ ـ ۵۴۳ .
- قهرمانی، م.، موسوی، م.، خطیب، م.، منصوری، ه.، ۱۳۹۷. ارزیابی خطر زمین لرزه به روش منطق فازی در منطقه دهک (خراسان جنوبی)، جغرافیا و توسعه، سال شانزدهم، شماره ۵۰، صفحات ۵۴ –۴۱.
- کرمی، م.، امیریان، س.، ۱۳۹۷. پهنه بندی آسیب پذیری شهری ناشی از زلزله با استفاده از مدل *Fuzzy -AHP* مطالعه موردی شهر تبریز، نشریه علمی ـ پژوهشی برنامه ریزی توسعه کالبدی، سال سوم، شماره ۶، صفحات ۱۲۴ ـ۱۱۰.
- کریمی کردآبادی، م.، نجفی، ا.، ۱۳۹۴. ارزیابی خطر زلزله با استفاده مدل ترکیبی *FUZZY- AHP* در امنیت شهری (مطالعه موردی: منطقه یک کلان شهر تهران)، مجله پژوهش و برنامه ریزی شهری، سال ششم، شماره بیستم، صص ۳۴-۱۷.
- مجیدی نیک، م.، بیگلری، س.، ۱۴۰۱. ارزیابی و پهنه بندی خطر زلزله در استان بوشهر، دوفصلنامه علمی و پژوهشی مدیریت بحران، ص ۱۴ـ۱.
- مهدوی، داوود. هزاریان ، ا. ۱۳۹۶. ارزیابی و تحلیل آسیب‌پذیری کالبدی سکونتگاه‌های روستایی در برابر زلزله، مطالعهٔ موردی: روستاهای شهرستان یزد، برنامه‌ریزی توسعهٔ کالبادی، س ۲، ش ۴، (سری جدید) پیاپی ۸، ص ۴۵-۲۷.
- موسوی، م.، عابدینی، م.، اسمعلی عوری، ا.، ۱۳۹۴. ارزیابی خطر زمین لرزه در حوزه ی شهری ایذه با استفاده از مدل های چند معیاری *WLC* و *AHP* در محیط*GIS* ، دوفصلنامه علمی و پژوهشی مدیریت بحران، شماره هفتم، صفحات ۱۰۱-۹۳.
- نصیری، ع.، ۱۳۹۵. پهنه بندی خطر زمین لرزه ی منطقه شهری ارومیه، نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، سال شانزدهم، شماره ۴۰، صفحات ۱۳۰ ـ۱۱۳.
- هاشمی، م.، آل شیخ، ع.، ملک، م.، ۱۳۹۳. پهنه بندی آسیب پذیری زلزله به کمک *GIS* (مطالعه موردی شهر تهران)، علوم و تکنولوژی محیط زیست، دوره شانزدهم، صص ۳۱۳ـ ۳۰۵.
- یاریان، پ.، کرمی، م.، ۱۳۹۸. ارزیابی و عدم قطعیت آسیب پذیری شهرها ناشی از زلزله با مدل *FAHP* (نمونه موردی: شهر سنندج)، جغرافیا و مخاطرات محیطی، شماره سی و یکم، صص ۲۰۳ –۱۸۵.
- Adiguzel, S., 2019. Logistics management in disaster. J. Management, Marketing, Logistics 6 (4), 212–224
- *Bozanic, D., Pamucar, D,Tesic, D., (2017). MODEL FOR THE ASSESSMENT RISK OF EARTHQUAKE HAZARD BY USING OF A MODIFIED AHP METHOD (fuzzy-Z numbers-AHP), NAUČNO-STRUČNA KONFERENCIJA.*
- *Chen, Z. S., Zhang, X., Rodríguez, R. M., Pedrycz, W., Martínez, L., & Skibniewski, M. J. (2022). Expertise-structure and risk-appetite-integrated two-tiered collective opinion generation framework for large-scale group decision making. IEEE Transactions on Fuzzy Systems, 30(12), 5496-5510.*
- *Guo, Y., Matsuda, T., (2023). Study on the multi-criteria location decision of wide-area distribution centers in pre-disaster: Case of an earthquake in the Kanto district of Japan, Asian Transport Studies. 9, 100107.*
- *Kazemi, H., Mansouri, N., & Jozi, A. (2020). Earthquake Risk and Vulnerability Assessment Based on Wisner and Fuzzy Analytical Hierarchy Process Models in Port Cities: Case Study of Nowshahr City, Iran. Quarterly Scientific Journal of Rescue and Relief, 12(4), 298-310.*
- *Lyu, H. M., Shen, S. L., Zhou, A., & Yang, J. (2020). Risk assessment of mega-city infrastructures related to land subsidence using improved trapezoidal FAHP. Science of the Total Environment, 717, 135310.*

- *Mesbahi, F., Akbari, Baghi, M., Nadiri, A., (2020). Assessment and mapping of the seismic vulnerability of Tabriz city using the Fuzzy logic, J Adv Environ Health Res.8, 181-192.*
- *Rahman, N., Ansary, M. A., & Islam, I. (2015). GIS based mapping of vulnerability to earthquake and fire hazard in Dhaka city, Bangladesh.* International journal of disaster risk reduction*,* 13*, 291-300.*
- *Ranjbar, HR., Nekooie, MA. (2018). An improved hierarchical fuzzy TOPSIS approach to identify endangered earthquake-induced buildings, Engineering Applications of Artificial Intelligence. 76, 21- 39.*
- *Yariyan, P., Zabihi, H., Diana Wolf, I., Karami, M., (2020). Earthquake risk assessment using an integrated Fuzzy Analytic Hierarchy Process with Artificial Neural Networks based on GIS: A case study of Sanandaj in Iran, Article in International Journal of Disaster Risk Reduction*.