



پهنه‌بندی خطر زمین لرزه به روش تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) و منطق فازی (منطقه مورد مطالعه: استان خراسان جنوبی)

مسعود حیدری آقاگل^{۱*}، محمد مهدی خطیب^۲، محمود رضا هیهات^۳، هاشم منصوری^۴

۱- کارشناسی ارشد تکنیک، دانشگاه بیرجند، Heydarimasoud8@gmail.com

۲- استاد، دانشگاه بیرجند، mkhatib@birjand.ac.ir

۳- استادیار، دانشگاه بیرجند، mheyhat@birjand.ac.ir

۴- کارشناس ارشد تکنیک، دانشگاه بیرجند، mahmoodmansouri1@yahoo.com

چکیده

استان خراسان جنوبی در خاور ایران و در بخش شمالی زمین درز سیستان قرار دارد. عملکرد گسل‌های فعال و بروز زمین‌لرزه‌های مختلف با بزرگی بالا نشان از پتانسیل بالای لرزه‌خیزی این استان دارد. پهنه‌بندی خطر زمین‌لرزه با استفاده از پارامترهای گشتاور لرزه‌ای، هم‌شتاب لرزه‌ای، هم‌شدت لرزه‌ای، فاصله از گسل و شکستگی، عمق آبرفت و نقشه فرسایش استان انجام شد. نقشه‌های پهنه‌بندی نشان داد که بیش از یک سوم استان (۴۰٪، مساحتی معادل 60 Km^2) در کلاس خطر خیلی زیاد تا زیاد، ۱۶٪ (26.3 Km^2) در کلاس خطر متوسط و ۴۰/۶٪ (61 Km^2) در کلاس خطر کم تا خیلی کم قرار دارد. نتیجه بررسی‌های نقشه‌های پهنه‌بندی نشان می‌دهد بیشترین خطر ناشی از بروز زمین‌لرزه در ارتباط با شهرهای در حریم گسل اردکول (شهر حاجی‌آباد)، دشت بیاض (نیم‌بلوک، قائن)، بخش شرقی درونه (فردوس، طبس)، گیو (بیرجند)، سده (سده، آراین شهر)، نایبند (طبس، خور)، فردوس (فردوس، سرایان)، اسفندیار (بشروی) و سپس گسل شاه‌آباد (سربیشه، درمیان، اسدیه)، سهل‌آباد (درمیان، اسدیه)، آبگرم (گزیک)، پورنگ (سربیشه، درمیان، گزیک)، نوزاد (سربیشه، درمیان، اسدیه)، کلمرد (طبس، خور) و گسل جنوب بیرجند (بیرجند) قرار دارد. از مقایسه بین دو روش AHP و منطق فازی می‌توان دریافت که نقشه پهنه‌بندی تهیه‌شده به روش فازی همخوانی بهتری با واقعیت موقعیت زمین‌لرزه‌های رخ داده و مکان گسل‌های فعال منطقه دارد و در این میان در بین عملگرهای فازی، عملگرهای OR (اجتماع)، Product (ضرب جبری) و Sum (جمع جبری) فازی بیشترین تطبیق را با واقعیت داشتند که در بین آن‌ها عملگر OR (اجتماع) بهترین تطبیق را دارد.

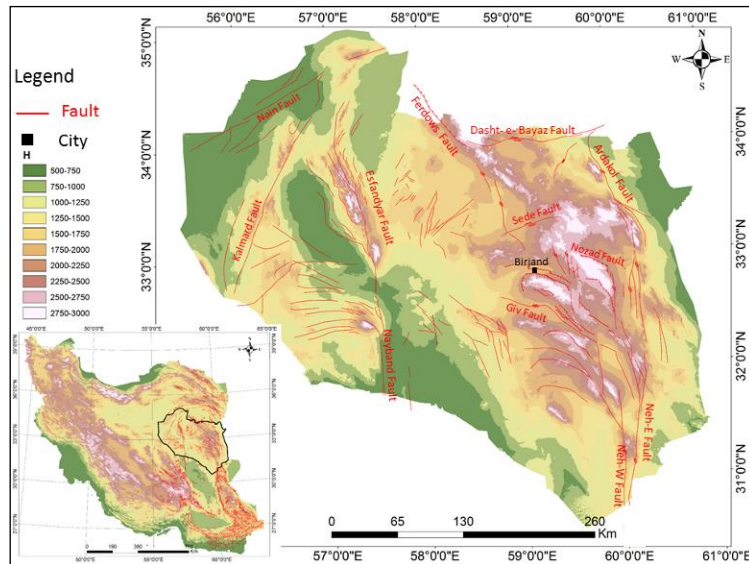
کلمات کلیدی: استان خراسان جنوبی، زمین‌درز سیستان، گشتاور لرزه‌ای، AHP، منطق فازی.

۱- مقدمه:

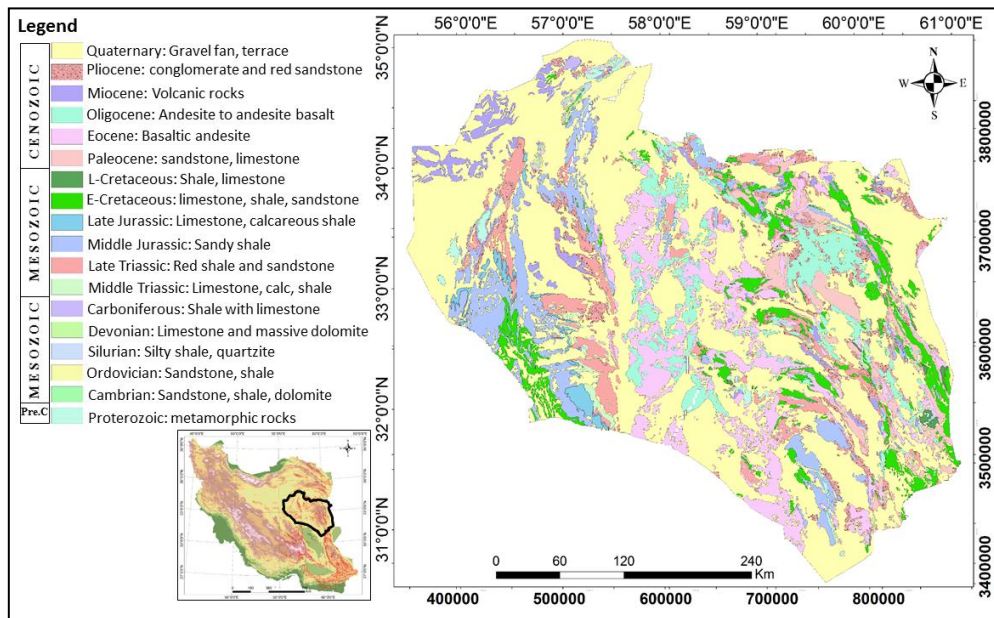
استان خراسان جنوبی در خاور ایران واقع شده است. این استان به دلیل قرار گرفتن در منطقه‌ای با پتانسیل بالای لرزه-ای (به علت عملکرد گسل‌های بزرگ از جمله گسل نهبندان، نایبند، دشت بیاض، اردکول و فردوس) و با توجه به تاریخچه لرزه‌خیزی در این بخش از ایران، وقوع زمین‌لرزه یک امر محتمل و می‌توان آن را امری قطعی دانست (جامی و همکاران، ۱۳۹۱). اغلب این زمین‌لرزه‌ها، بزرگ و دارای عمق کانونی کم تا متوسط هستند (بوستان، ۱۳۷۹). عمده دگرشکلی در شرق ایران در نتیجه گسل‌های راست‌گرد شمالی-جنوبی می‌باشد (Walker et al., 2004) لذا ارتباط گسل‌های مذکور می‌تواند سبب دگرشکلی‌های متفاوت در زیرپهنه سیستان شود. عملکرد گسل‌های اصلی امتدادلغز (شمالی-جنوبی) و معکوس (شمال‌باختر-جنوب‌خاور) سبب بروز زمین‌لرزه‌هایی با بزرگای کم تا زیاد در منطقه می‌شود. سیمای گسل‌ها، با میزان لرزه‌خیز بودن این گسل‌ها در ارتباط است. گسل‌های شرق ایران دارای سیمای مستقیم لذا دارای توان لرزه‌خیزی و فعالیت بالایی هستند (Turcotte et al, 1992)، معمولاً این گسل‌ها در مناطقی که دارای هندسه بی‌قاعده‌ای هستند، دچار گسیختگی می‌شوند و مسبب زلزله‌های بزرگی می‌شوند (Schwartz, 1984). با توجه به نقشه لرزه‌زمین‌ساخت ایران، همانند دیگر نواحی ایران مرکزی، در بلوک لوت نیز کانون زمین‌لرزه‌ها روند خاص ندارند و در سطح بلوک پراکنده‌اند. زون‌های لرزه‌خیز این بلوک، بیشتر در شمال و نیز در امتداد گسل‌های مرز خاوری، مانند گسل نه، و باختری، مانند گسل نایبند، جای دارند، بیشتر زمین‌لرزه‌ها از نوع کم‌عمق با بزرگی متوسط هستند (Berberian, 1979). از جهتی قرار گرفتن مراکز جمعیتی در حریم گسل‌ها سبب شد تا تعیین مناطق دارای ریسک بالای لرزه‌ای از اهمیت ویژه‌ای برخوردار باشد.

۱-۱- موقعیت زمین‌شناسی و لرزه‌زمین‌ساختی

موقعیت زمین‌شناسی استان خراسان جنوبی 57° تا $61/30^{\circ}$ طول شرقی و $30/30^{\circ}$ تا 35° عرض شمالی است (شکل ۱). این استان از شمال با استان خراسان رضوی، از غرب با یزد، اصفهان و سمنان، از شرق با کشور افغانستان و از جنوب با سیستان و بلوچستان و کرمان هم‌مرز است. مورفولوژی استان شامل دو بخش کوهستانی (روند جنوب‌خاور-شمال‌باختر) و دشت‌های نسبتاً گسترده، است. عمده لیتولوژی از واحدهای کواترنری، ائوسن، ولکانیک ائوسن، آهک‌های کرتاسه و شیل و ماسه‌سنگ‌های ژوراسیک تشکیل شده است (شکل ۲). منطقه مطالعاتی از نظر جایگاه زمین‌ساختی در بخش شمالی زمین‌درز سیستان و طبق تقسیم‌بندی نوگل‌سادات (۱۹۷۳) بین دو بخش لوت جنوبی و شمالی قرار دارد. زون ساختاری سیستان، در بخش خاور ایران قرار دارد که از لحاظ لرزه‌خیزی یکی از فعال‌ترین مناطق ایران است. ایالت ساختاری سیستان دارای روند شمالی-جنوبی، که نشان از زمین‌درز برخوردی قطعه لوت و افغان است. سیستم گسلی نهبندان در مرز بین این ایالت ساختاری و پهنه لوت موجب دگرشکلی واحدهای سنگی در این منطقه شده است. بخش بالایی نهبندان دارای یک چرخش به سمت شمال‌باختر است که این سبب چرخش پادساعت‌گرد بلوک لوت شده که موجب دگرشکلی زیادی در منطقه شده است (Tirrul et al, 1983). بلوک لوت خاوری‌ترین بخش خردقاره ایران مرکزی است. مرز خاوری آن گسل نهبندان و مرز باختری گسل نایبند است (آقائباتی، ۱۳۸۳).



شکل ۱: تصویر رقومی ارتفاعی استان خراسان جنوبی به همراه گسل‌های اصلی استان



شکل ۲: نقشه زمین‌شناسی استان خراسان جنوبی

۲ زمین‌لرزه‌های تاریخی

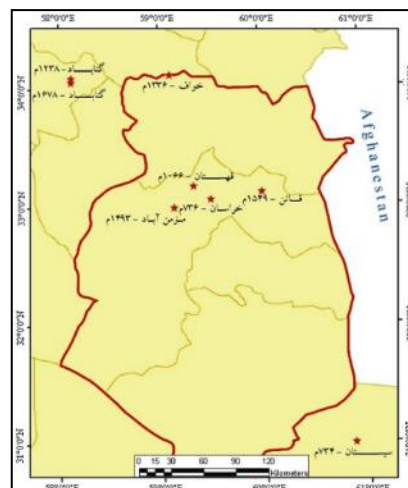
شمال شرق بیرجند در منطقه نوزاد رخ داد و عامل وقوع این زمین‌لرزه گسل نوزاد با طولی در حدود ۳۶ کیلومتر است. زمین‌لرزه ۲۶ بهمن ۹۲۷ ه.ش قائن (۱۵۴۹ م)، زمین‌لرزه ۱۰۵۶ ه.ش گناباد (۱۶۷۸ م) که طی آن شهر گناباد و زمین‌لرزه درخش (۱۹۰۳ م) اشاره کرد (خطیب و همکاران، ۱۳۸۵) (شکل ۳).

از جمله زمین‌لرزه‌های تاریخی محدوده مورد مطالعه می‌توان به زمین‌لرزه ۱۲۱ ه.ش (۷۳۶ م) که محل احتمالی آن قائن، خواف و یا طبس می‌باشد. زمین‌لرزه ۴۵۸ ه.ق (۱۰۶۶ م) قهستان، زمین‌لرزه ۴۹ مهر ۷۱۴ ه.ش خواف (۱۳۳۶ م)، زمین‌لرزه ۲۰ در ۸۷۱ ه.ش مومن‌آباد (۱۲۹۳ م) که در

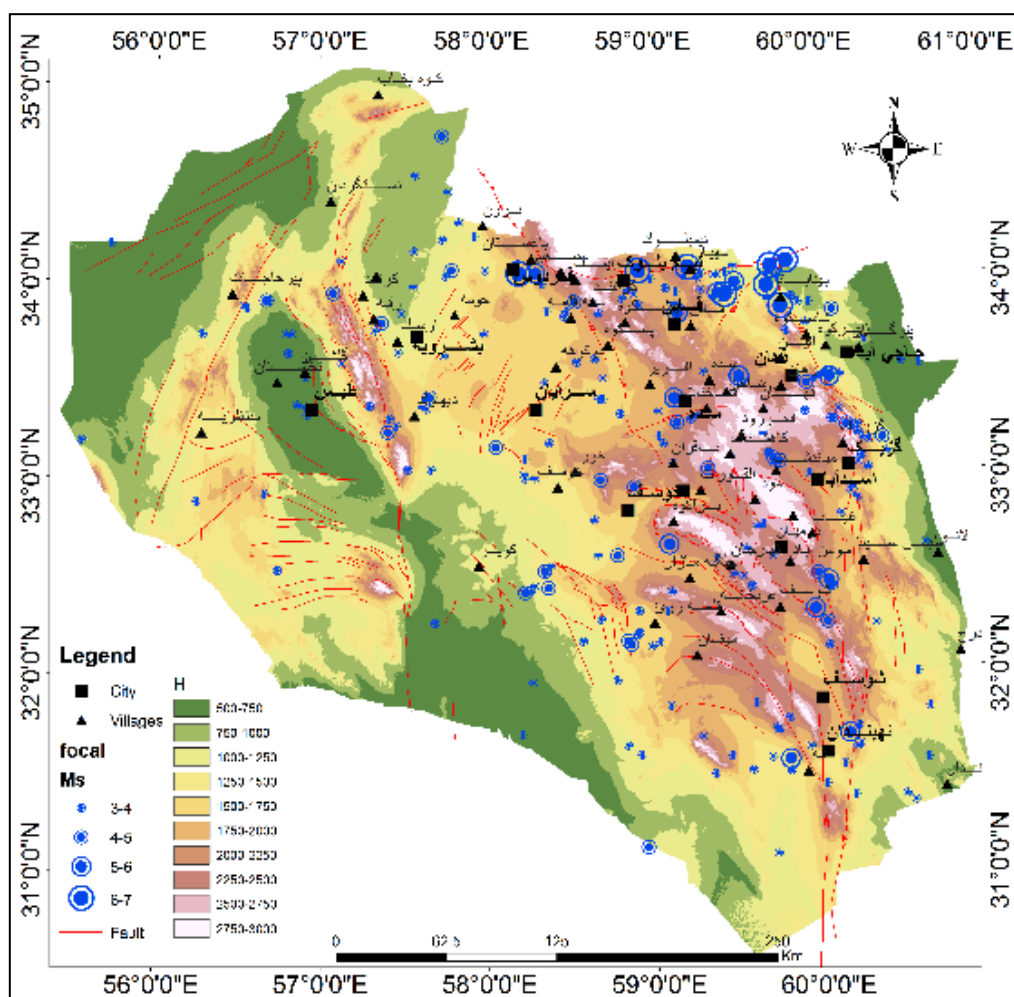
۳-۱- سئوالات تحقیق

با توجه به فرارگیری بیشتر شهرها و دهستان‌های استان خراسان جنوبی در محدوده گسل‌های فعال و با توجه به بروز زمین لرزه‌های بزرگ در دهه‌های اخیر در ارتباط با گسل‌های اصلی استان (شکل ۴) سئوالات زیر مطرح می‌گردد.

- ۱- آیا مناطق دارای پتانسیل بالای لرزه‌خیزی در ارتباط با گسل‌های اصلی منطقه هستند؟، ۲- میزان فعالیت لرزه‌ای در کدام مناطق بیشتر است؟، ۳- چند درصد منطقه در خطر ریسک بالایی قرار دارد؟، ۴- کدام شهرها در کلاس خطر بالا و خیلی بالا و در ارتباط با کدام گسل قرار دارند؟



شکل ۳: نقشه زمین‌لرزه‌های تاریخی قبل از ۱۹۰۰ (Ambraseys & Mevill, 1982).

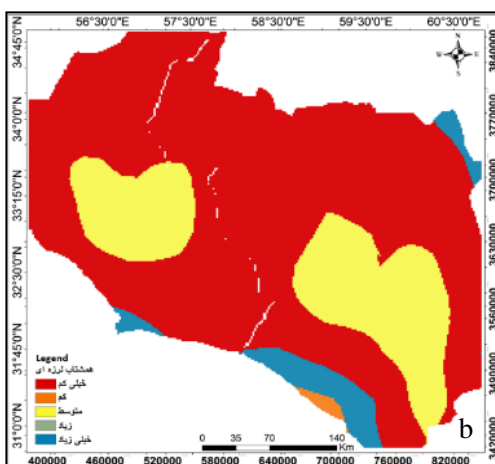
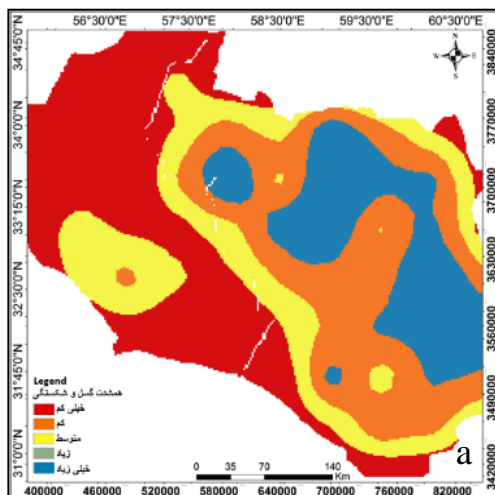


شکل ۴: موقعیت جغرافیایی شهرها، دهستان‌ها، گسل‌های اصلی و موقعیت زمین لرزه‌های استان

۲ بحث

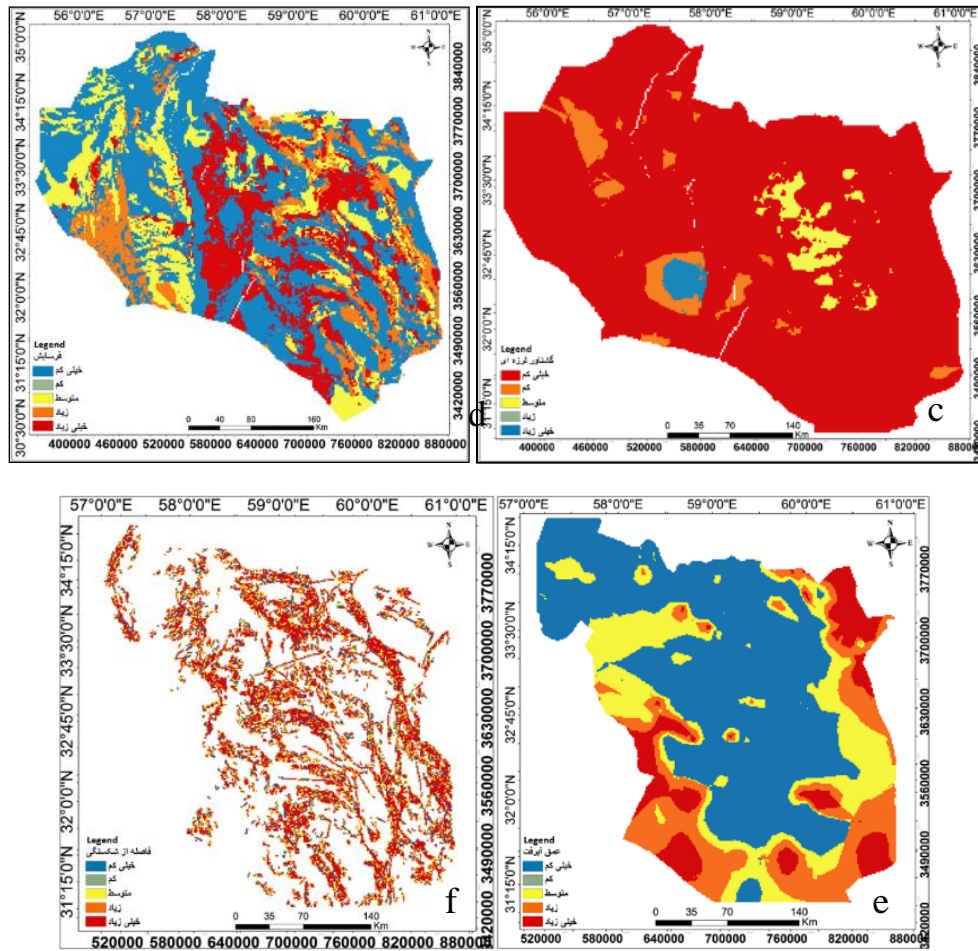
شهر تبریز و همپوشانی در GIS، نقشه پهنه‌بندی خطر را برای تبریز تهیه کرد. حیدری و همکاران (۱۳۹۴) با استفاده از روابط تجربی به تحلیل خطر زمین‌لرزه استان خراسان جنوبی و تعیین خطر شهرها و دهستان‌های آن پرداختند و در نهایت استان خراسان جنوبی را به ۵ کلاس خطر زمین‌لرزه پهنه‌بندی کردند. در این مطالعه از ۵ پارامتر گشتاور لرزه‌ای، هم‌شتاب لرزه‌ای، هم‌شدت شکستگی، فاصله از گسل، عمق آبرفت و فرسایش استفاده شد (شکل ۵). سپس پارامترهای موردنظر از روش AHP و منطق فازی مورد تحلیل قرار گرفت، و نتایج بررسی در غالب نقشه‌های خطر مورد تحلیل قرار گرفت (شکل ۶، ۸، ۹، ۱۰، ۱۱، ۱۲).

تحلیل خطر لرزه‌ای، به طوری که در آیین‌نامه‌های طراحی لرزه‌ای و دستورالعمل‌های بررسی آسیب‌پذیری و مقاوم‌سازی آمده است، ابزاری ضروری برای تعیین مناطق دارای پتانسیل لرزه‌ای در اطراف سایت موردنظر است (ریاضی‌راد و همکاران، ۱۳۸۸). واژه تحلیل خطر^۱ برآورد مقادیر جنبش زمین و برخی از پارامترهای وابسته به آن، بدون در نظر گرفتن پیامدهای آن در سایت موردنظر است (Wells & Coppersmith, 1994) و خطرپذیری^۲ علاوه بر آن به بررسی پیامدهای جنبش نیرومند زمین در سایت موردنظر نیز اشاره دارد. در مطالعه حاضر هدف از تحلیل خطر لرزه‌ای بررسی خطرپذیری در مکان موردنظر (استان خراسان جنوبی) است، در نهایت نتایج تحلیل خطر به صورت نقشه پهنه‌بندی خطر ارائه می‌گردد. مطالعات کمی در زمینه پهنه‌بندی خطر زمین‌لرزه در ایران انجام شده است از آن جمله می‌توان به: نوروزی (1972، 1971) با توجه به محل زلزله‌های تاریخی و سده گذشته، محل گسل‌ها، ارتباط لرزه‌خیزی با گسل، مطالعات نظری در مورد توزیع شتاب و اطلاعات شدت نسبی، سطح کشور را به دو حوزه‌ی شدت نسبی تقسیم کرده است، Mohajerashjaei & Norouzi (1978)، بر اساس فعالیت گسل‌ها و افت شدت نسبی زمین‌لرزه‌ها از محل رخداد، سطح کشور را به ۵ حوزه تقسیم کردند و پور کرمانی و همکاران (۱۳۷۶)، با استفاده از گسل‌ها، ارتباط بین گسل‌ها، اقدام به تهیه یک نقشه پهنه‌بندی بر اساس مناطق هم‌شتاب کرد. Mohajer et al, (1963)، با استفاده از زمین‌لرزه‌های بزرگ ایران، نقشه‌های هم‌لرزه را برای مناطق مختلف تهیه کردند، محمودزاده (۱۳۶۸)، با استفاده از لایه‌های اطلاعاتی (گسل، شیب، زمین‌شناسی و اراضی)



1- Hazard Analysis

2- Risk



شکل ۵: فاکتورهای مورد استفاده برای پهنه بندی خطر زمین لرزه (a: هم شدت شکستگی، b: هم شتاب لرزه ای، c: گشتاور لرزه ای، d: فرسایش، e: عمق آبرفت، f: فاصله از شکستگی).

۲-۱ فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی^۲

روش AHP توسط فردی به نام توماس الساعتی در دهه ۱۹۷۰ پیشنهاد شد این روش برای حل مسائل بدون ساختار درزمینه‌های مختلف مدیریت، سیاست، اقتصاد، جغرافیا و ... به کار می‌رود (مؤمنی، ۱۳۹۰). AHP از طریق تقسیم هدف در قالب چند قسمت ساده (معیار) به تجزیه و تحلیل آن می‌پردازد و پس از آن که گزینه‌ها و شاخص‌ها مشخص شد به منظور یافتن ارزش بیرونی و در گام بعد به منظور یافتن ارزش درونی هر شاخص در بین مشاهدات مقایسات زوجی انجام می‌دهد. یکی از روش‌های پرکاربرد تصمیم‌گیری چند عامله است. تجزیه (ایجاد سلسله‌مراتب)، قضاوت مقایسه‌ای (به صورت زوجی با رعایت ساختار سلسله‌مراتب) و ترکیب اولویت‌ها (مبتنی بر نسبت-مقیاس در سطوح مختلف سلسله‌مراتب) مسئله مورد تصمیم؛ اصول سه‌گانه فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی است (مالچفسکی، ۱۳۸۵). در نهایت ماتریس زوجی تشکیل می‌شود که نسبت به اهمیت عوامل از شماره ۱ تا ۹ می‌باشد (جدول ۱). روش معمولی برای تشکیل ماتریس زوجی برای هر یک از گروه‌ها که دارای n معیار می‌باشد، برقراری رابطه $n(n-1)/2$ مقایسه زوجی n است (ملکی و همکاران، ۱۳۸۸).

جدول ۱: مقایسات زوجی استفاده شده برای پارامتر

مقدار عددی	ترجیحات
۹	کاملاً مرجح
۷	ترجیح خیلی قوی
۵	ترجیح قوی
۳	کمی ترجیح
۱	ترجیح یکسان
۲، ۴، ۶ و ۸	ترجیحات بین فواصل فوق

۲-۲ تئوری منطق فازی

مفهوم منطق فازی اولین بار در سال ۱۹۶۵ ارائه گردید (تاناکا، ۱۳۸۳) (Zadeh et al., 1973; 1965). منطق فازی یک منطق چند مقداری است، یعنی پارامترها و متغیرهای آن، علاوه بر اختیار اعداد ۰ یا ۱، می‌توانند تمامی مقادیر بین این دو عدد را نیز اختیار کنند. تعلق هر عضو مجموعه مرجع به یک عضو زیرمجموعه خاص، به صورت قطعی نیست یعنی با قاطعیت نمی‌توان گفت که عضو مورد نظر متعلق به این مجموعه هست یا نه. این عدم قطعیت با نسبت دادن یک عدد بین ۰ و ۱ به این عضو انجام می‌گیرد. اگر این عدد صفر باشد می‌توان گفت که عضو مورد بحث متعلق به آن مجموعه نبوده و همچنین اگر این عدد یک باشد آنگاه عضو مورد بحث متعلق به آن مجموعه است. به این ترتیب می‌توان زیرمجموعه‌های یک مجموعه فازی را با نسبت دادن عددهای ۰ و ۱ به هر عضو مجموعه بازنمایی کرد (Champti- ray et al., 2007).

به طور کلی هدف از تئوری فازی، ایجاد روشی نوین در بیان عدم قطعیت‌ها و ابهامات روزمره است. منطق فازی که در برابر منطق کلاسیک مطرح گردید، ابزاری توانمند جهت حل مسائل مربوط به سیستم‌های پیچیده‌ای است که درک آن‌ها مشکل می‌باشد و یا حل مسائلی است که وابسته به استدلال، تصمیم‌گیری و استنباط بشری هستند. انتخاب یک روش و رویکرد مناسب برای مدل‌سازی یک سیستم، کاملاً بستگی به میزان پیچیدگی آن سیستم داشته و پیچیدگی نیز ارتباط معکوس با میزان دانش و شناخت ما از آن سیستم دارد. واضح است که انسان تمایل دارد یک سیستم را با بیشترین دقت مدل‌سازی نماید، اما چنانچه شناخت کافی نسبت به آن نداشته باشد مجبور است که دقت مورد انتظار از مدل را با میزان شناخت خود از سیستم منطبق نماید (کوره پزان دزفولی، ۱۳۸۴). برای پیش‌بینی سری‌های زمانی

۲-۴ اپراتورهای مدل منطق فازی

۲-۴-۱ اپراتور اجتماع فازی (Fuzzy OR)

این عملگر اجتماع مجموعه‌هاست. به این صورت که حداکثر درجه‌ی عضویت را استخراج می‌کند و از دقت بالایی در تعیین آسیب‌پذیری برخوردار نیست. این عملگر به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$\mu_{Combination} = MAX [\mu A, \mu B, \mu C, \dots]$$

۲-۴-۲ اشتراک فازی (Fuzzy AND)

این عملگر اشتراک مجموعه‌ها است. به این صورت که حداقل درجه‌ی عضویت را استخراج می‌کند یعنی در بین کلیه لایه‌های اطلاعاتی حداقل ارزش (وزن) هر پیکسل را استخراج کرده و در نقشه نهایی منظور می‌کند. این عملگر به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$\mu_{Combination} = MIN [\mu A, \mu B, \mu C, \dots]$$

۲-۴-۳ ضرب جبری فازی (Fuzzy Algebraic

(Product)

در این اپراتور تمامی لایه‌ها در هم ضرب می‌شوند. به علت ماهیت اعداد بین ۰ و ۱ که همان درجه عضویت اعضا در مجموعه فازی می‌باشد این اپراتور باعث می‌شود تا در نقشه خروجی اعداد کوچک‌تر شده و به سمت صفر میل کنند. در نتیجه تعداد پیکسل کمتری در کلاس خیلی بالا قرار می‌گیرد. به همین دلیل این اپراتور از حساسیت بالایی در مکان‌یابی برخوردار است (شریعت جعفری، ۱۳۸۶). این عملگر به صورت رابطه‌ی زیر تعریف می‌شود:

$$\mu_{Combination} = \prod_{i=1}^n \mu_i$$

با استفاده از منطق فازی هم، مدل‌های بسیاری در بازه زمانی ۲۰۰۵-۱۹۸۵ مطرح شده که از آن‌ها برای پهنه‌بندی و پیش‌بینی پدیده‌ها می‌توان استفاده کرد (Gooijer & Hyndman, 2006).

۲-۳ تابع عضویت فازی

تئوری فازی شامل تمام تئوری‌هایی است که از مفاهیم اساسی مجموعه‌های فازی یا توابع عضویت استفاده می‌کند. به بیان لطفی‌زاده برای مشخص شدن اعضاء یک مجموعه می‌بایست تابع عضویت تعریف شود (تاناکا، ۱۳۸۳). یکی از اساسی‌ترین مباحث در تئوری فازی بحث تابع عضویت و چگونگی تعریف آن است. اساس اختلاف روش‌های فازی با روش‌های دیگر، در تعریف تابع عضویت است. تابع عضویت را می‌توان درجه تعلق عناصر مجموعه مرجع به زیرمجموعه‌های آن دانست و به صورت $\mu(X)$ نمایش داده می‌شود. در توابع مشخصه مجموعه‌های قاطع باید در مورد تعلق یک عضو به مجموعه که یا صفر است یا یک تصمیم بگیریم. درحالی‌که توابع عضویت این امکان را به ما می‌دهد که میزان تعلق یا درجه را به صورت یک عدد حقیقی بین ۰ تا ۱ انتخاب کنیم. برای به دست آوردن تابع عضویت هیچ الگوریتم مشخصی وجود ندارد بلکه تجربه، نوآوری و حتی اعمال نظر شخصی در شکل‌گیری و تعریف تابع عضویت می‌تواند مؤثر باشد. بدیهی است چنانچه تابع عضویت سازگار و مطابق با واقعیت‌های حاکم بر سیستم تحت بررسی تعریف نشود و عوامل اصلی مؤثر را نادیده بگیرد مدل حاصل از آن فاقد توانایی‌های لازم برای انعکاس همه واقعیت‌ها خواهد بود. بنابراین دستیابی به یک تابع عضویت جامع در سرلوحه بررسی فازی است.

۳ روش کار

۱-۳ داده‌های موردنیاز

پس از بررسی منابع و یافته‌های علمی مرتبط با موضوع، با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای، نقشه‌های زمین‌شناسی با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰ و ۱:۱۰۰۰۰۰ همراه با داده‌های لرزه‌ای تهیه‌شده از سازمان ژئوفیزیک، نقشه‌های موردنیاز در منطقه تهیه شد. بر اساس سابقه تحقیق، موقعیت منطقه، مقیاس و روش‌های پهنه‌بندی مورد استفاده، مجموعاً ۶ عامل گشتاور لرزه‌ای، هم‌شتاب لرزه‌ای، هم‌شدت شکستگی، فاصله از شکستگی، عمق آبرفت و فرسایش مورد استفاده و مطالعه قرار گرفته است (شکل ۵).

۲-۳ اولویت‌بندی عوامل مؤثر بر زمین‌لرزه

در منطق‌های کلاسیک، برای وزن دهی به هر عامل، قسمت‌هایی که به‌طور تقریبی از نظر ویژگی‌های دیگر مشابه بوده و عامل مورد نظر تغییر می‌کند در نظر گرفته می‌شود و با مشاهده تغییرات این عامل و تأثیر آن بر وقوع زمین‌لرزه، با استفاده از جدول ۱ بر اساس نظر کارشناس نسبت به منطقه به‌صورت دوه‌دو باهم مقایسه می‌شوند و یکی از وزن‌ها انتخاب می‌شود (کلارستاقی، ۱۳۸۱)، وزن دهی بر اساس مدل‌های بی‌سین و نظریه دمپستر - شفر که در آن مواردی همراه با سیستم‌های خبره کاوش به کار برده می‌شوند وزن دهی بر مبنای دانش و قضاوت کارشناسی است (Chung & Fabbri, 1993; Campbell, 1983). نتایج این مقایسه‌ها به‌صورت یک ماتریس به نرم‌افزار Expert choice وارد شد و در خروجی آن وزن هر پارامتر تعیین شد (قدسی پور، ۱۳۸۴) (جدول ۳).

۲-۴-۴ جمع جبری فازی (Fuzzy Algebraic Sum)

این اپراتور مکمل حاصل ضرب جبری است. به همین دلیل در نقشه خروجی برخلاف اپراتور ضرب جبری فازی ارزش پیکسل‌ها به سمت یک میل می‌کند. در نتیجه تعداد پیکسل بیشتری در کلاس خیلی بالا قرار می‌گیرد (شریعت جعفری، ۱۳۸۶). این عملگر به‌صورت زیر تعریف می‌شود.

$$\mu \text{ Combination} = \prod_{i=1}^n (1 - \mu)$$

۲-۴-۵ گامای فازی (Fuzzy Gamma):

این عملگر برحسب حاصل ضرب جبری فازی و حاصل جمع جبری فازی است که به‌صورت زیر تعریف می‌شود:

$$\mu \text{ Combination (Fuzzy A Ig . Sum)} * (\text{Fuzzy A Ig . Pr} \\ \text{duct}) = 1 - y$$

که y پارامتر انتخاب‌شده در محدوده (۰ و ۱) است. وقتی y برابر ۱ باشد ترکیب همان جمع جبری فازی خواهد بود و وقتی $y=0$ باشد ترکیب اصلی برابر با حاصل ضرب جبری فازی است. انتخاب صحیح و آگاهانه y بین ۰ و ۱ مقادیری را در خروجی به وجود می‌آورد که نشان‌دهنده سازگاری قابل‌انعطاف میان گرایش‌های کاهشی و افزایشی دو عملگر جمع و ضرب فازی می‌باشند. نتایج به‌دست‌آمده از این عملگر نسبت به سایر عملگرها از دقت بیشتری برخوردار می‌باشد (گریم اف و کارتر، ۱۳۷۹).

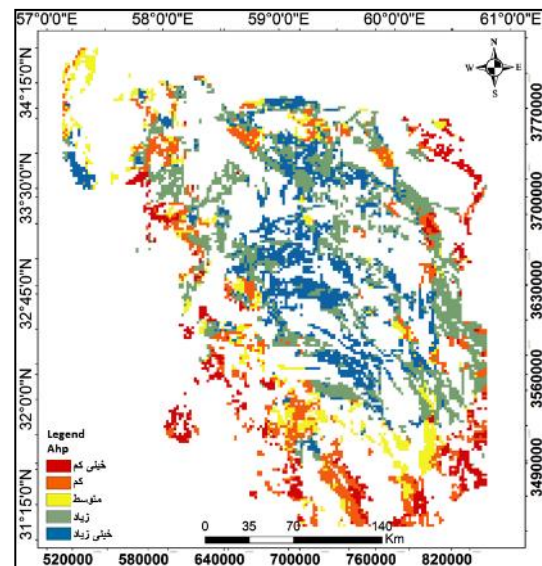
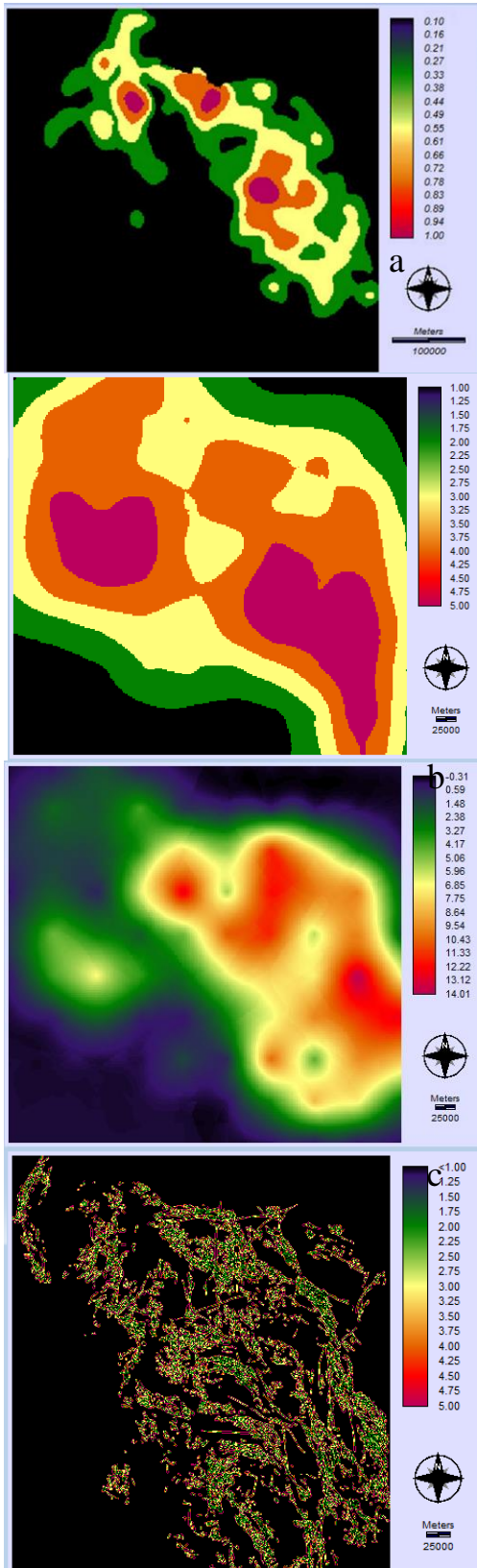
به‌طور کلی اساس منطق فازی در GIS مبتنی تبدیل نقشه‌های برداری به نقشه‌های شبکه‌ای و تولید نقشه‌های GRID می‌باشد (مالچفسکی، ۱۳۸۵).

جدول ۳: محاسبه وزن‌ها در روش AHP به منظور اضافه شدن به بانک اطلاعاتی.

پارامتر	آلترناتیو	روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP)		
		وزن پارامتر (وزن خارجی)	وزن آلترناتیو (وزن داخلی یا تراکم زیر طبقه)	وزن نرمال
گشتاور لرزه ای	۱	۰/۳۸۱	۰/۱۵	۰/۰۱۸۷
	۲		۰/۱۵۳	۰/۰۱۸۹
	۳		۰/۶۷۲	۰/۰۵۴
	۴		۰/۱۱۱	۰/۰۰۹
	۵		۰/۰۰۷	۰/۰۰۵
هم شتاب	۱	۰/۲۵۰	۰/۱۵۹	۰/۰۳۹
	۲		۰/۱۳۵	۰/۰۳۳
	۳		۰/۲۴۹	۰/۰۶۲
	۴		۰/۳۰۷	۰/۰۷۶
	۵		۰/۱۴۷	۰/۰۳۶
هم شدت شکستگی	۱	۰/۱۵۳	۰/۳۲	۰/۰۴۹
	۲		۰/۲۲	۰/۰۳۵
	۳		۰/۱۴۵	۰/۰۲۲
	۴		۰/۱۷	۰/۰۲۷
	۵		۰/۱۲۴	۰/۰۱۹
فاصله از گسل	۱	۰/۱۰۱	۰/۲۲	۰/۰۲۲
	۲		۰/۲۳	۰/۰۲۳
	۳		۰/۱۹۷	۰/۰۱۹۹
	۴		۰/۱۴۲	۰/۰۱۴۳
	۵		۰/۲۰۸	۰/۰۲۱
عمق آبرفت	۱	۰/۰۷۱	۰/۴۱	۰/۰۲۹۱
	۲		۰/۱۸	۰/۰۱۲۸
	۳		۰/۱۸۶	۰/۰۱۳۲
	۴		۰/۱۹	۰/۰۱۳۵
	۵		۰/۰۳	۰/۰۲۷
فرسایش	۱	۰/۰۴۳	۰/۴۷	۰/۰۲
	۲		۰/۱۸	۰/۰۰۸
	۳		۰/۱۴	۰/۰۰۶
	۴		۰/۱۷	۰/۰۰۷۴
	۵		۰/۰۲۱	۰/۰۰۰۹

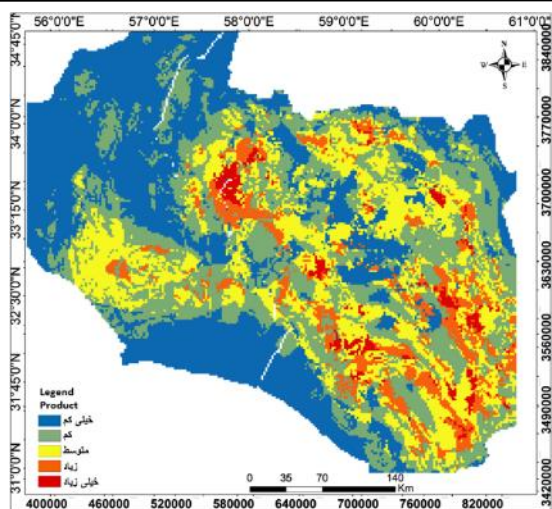
۳-۳ پهنه‌بندی خطر زمین‌لرزه

در این تحقیق، برای پهنه‌بندی از دو روش AHP و منطق فازی استفاده شده است. در روش AHP برای محاسبه وزن کلاس‌های هر یک از عوامل (آلترناتیو)، از تراکم سطح لرزه‌ها در کلاس موردنظر استفاده شد. سپس وزن هر عامل که از ماتریس وزن دهی به دست آمد در وزن کلاس‌های آن ضرب شده و وزن نرمال کلاس آن عامل به دست آمد (جدول ۴). سپس رسترهای وزن‌دار تهیه شده وارد محیط GIS گشته و باهم تلفیق می‌شوند و در نهایت خروجی به دست آمده به عنوان نقشه پهنه‌بندی معرفی می‌گردد (شادفر و همکاران، ۱۳۸۴) (شکل ۶).

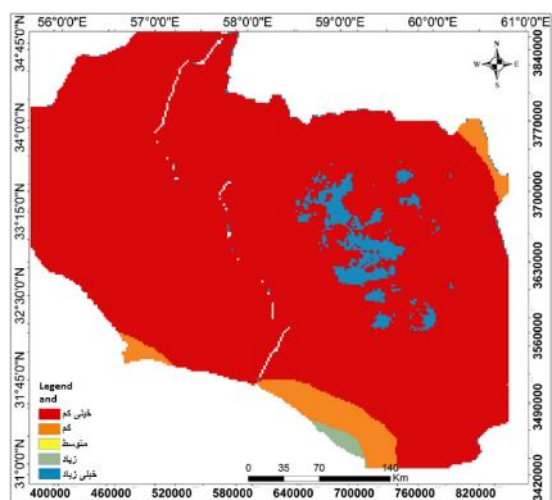


شکل ۶: نقشه نهایی پهنه‌بندی خطر زمین‌لرزه (بر اساس AHP).

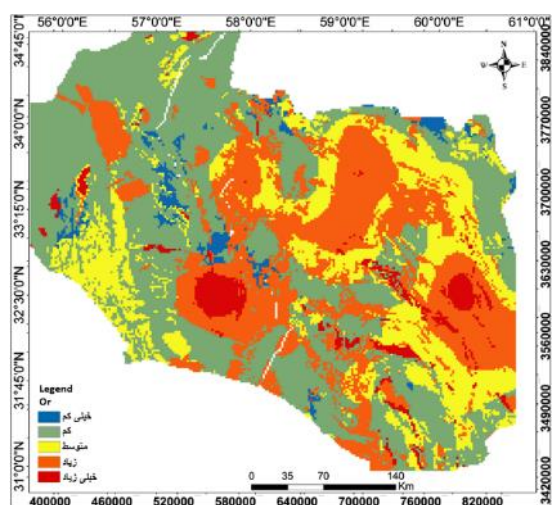
در روش فازی، نرمال‌سازی نسبت فراوانی هر یک از نقشه‌ها با استفاده از نرم‌افزار Expert choice سپس درجه عضویت فازی بر اساس نسبت فراوانی‌های نرمال‌سازی شده در محیط نرم‌افزار Idrisi تعیین شد (شکل ۷). سپس نقشه‌های تهیه شده بر اساس عملگرهای فازی در نرم‌افزار ARC GIS به هم همپوشانی داده شدند و خروجی نهایی به عنوان نقشه پهنه‌بندی تهیه گردید (شکل ۸، ۹، ۱۰، ۱۱ و ۱۲).



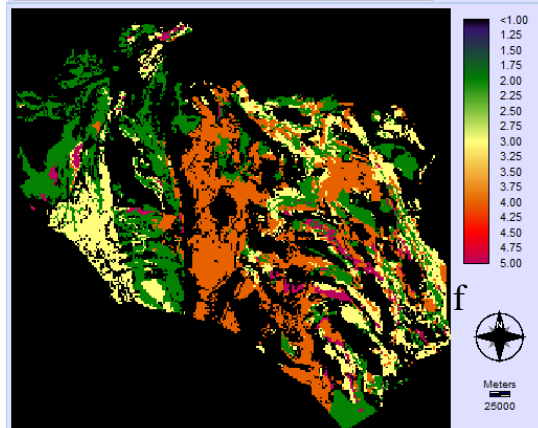
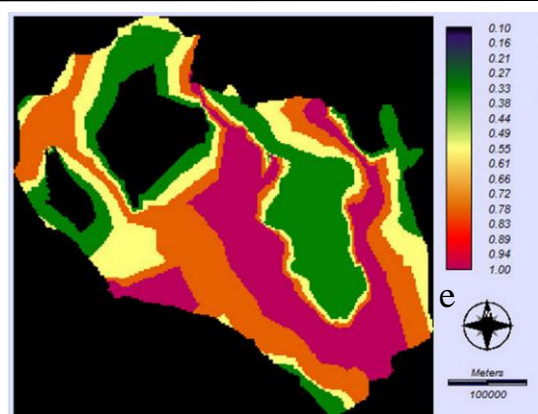
شکل ۹: نقشه پهنه‌بندی نهایی با استفاده از عملگر Product.



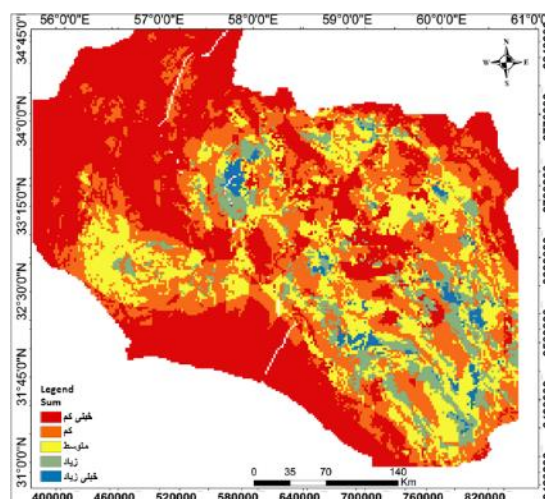
شکل ۱۰: نقشه پهنه‌بندی نهایی با استفاده از عملگر And.



شکل ۱۱: نقشه پهنه‌بندی نهایی با استفاده از عملگر Or.



شکل ۷: نقشه‌های وزن‌دار شده به روش fuzzy a) گشتاور لوزه‌ای، b) هم‌شتاب لوزه‌ای، c) هم‌شدت شکستگی، d) فاصله از شکستگی، e) عمق آبرفت، f: فرسایش/



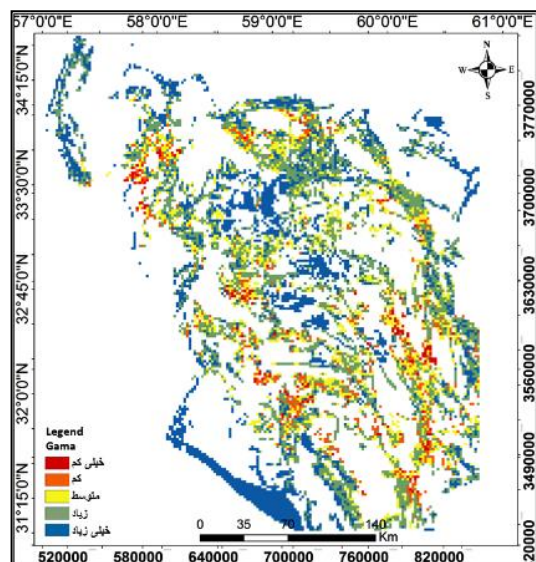
شکل ۸: نقشه پهنه‌بندی نهایی با استفاده از عملگر Sum.

اصلی استان همخوانی بهتری با واقعیت منطقه (از لحاظ میزان لرزه خیزی) دارد و مناطق دارای پتانسیل لرزه‌ای را بهتر نمایش می‌دهد

۵- به طور میانگین بر اساس نقشه‌های پهنه‌بندی، ۲۰/۷٪ منطقه در خطر خیلی زیاد و ۲۰٪ نیز در خطر زیاد قرار دارند (تقریباً نیمی از محدوده استان).

۶- شهر حاجی آباد، بیرجند، گزیک، زهان، خور، سریشه، بشرویه، طبس، سده، سرایان، نیم‌بلوک، فردوس و قائن در کلاس خطر خیلی زیاد تا زیاد قرار دارند (جدول ۷).

۷- بر اساس مطالعات صورت گرفته در مورد خطر زمین لرزه در استان بر اساس داده‌های لرزه‌ای و گسل‌های فعال و مقایسه نتایج این پژوهش با پژوهش انجام شده می‌توان مشاهده کرد که تطابق خوبی در مورد مناطق دارای خطر زمین لرزه در سطح استان وجود دارد بر این اساس می‌توان نتیجه گرفت استان خراسان جنوبی در اثر عملکرد گسل‌های فعال لرزه‌زا در معرض بروز زمین‌لرزه‌های بزرگی قرار دارد. نقشه‌های پهنه‌بندی نشان می‌دهد به‌طور کل بخش اعظم استان در کلاس خطر خیلی زیاد تا زیاد قرار دارد و محدوده شهرهای اصلی استان نیز در این مناطق خطر قرار دارند. به دلیل قرارگیری شهرهای اصلی استان از جمله مرکز استان (بیرجند) در حریم گسل فعال در اثر بروز زمین لرزه خسارات جانی و مالی زیادی صورت به وجود می‌آید لذا اقدامات لازم جهت جلوگیری از ساخت‌وساز در حریم گسل‌های فعال و رعایت نکات ایمنی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است.



شکل ۱۲: نقشه پهنه‌بندی نهایی با استفاده از عملگر Gamma.

نتیجه‌گیری

بر اساس نقشه‌های پهنه‌بندی می‌توان به نتایج زیر رسید:

۱- در نقشه پهنه‌بندی به روش AHP، بیشترین خطر زمین-لرزه در اطراف گسل‌های اصلی از جمله گسل اردکول، دشت بیاض، گیو، چاهک موسویه، گسل درونه و سپس گسل آبگرم، گسل جنوب بیرجند، نوزاد و پورنگ، فردوس، گسل اسفندیار و نایند قرار دارد.

۲- در بین ۵ عملگر فازی، عملگرهای OR (اجتماع فازی) و Product (ضرب جبری فازی) و Sum (جمع جبری فازی) فازی بیشترین تطبیق را با واقعیت داشتند که در بین آنها عملگر OR (اجتماع فازی) بهترین تطبیق را دارد.

۳- در نقشه پهنه‌بندی فازی، بیشترین خطر زمین‌لرزه در اطراف گسل اردکول، دشت بیاض، بخش شرقی درونه، گیو، سده، نایند، فردوس، اسفندیار و سپس گسل شاه‌آباد، سهل‌آباد، پورنگ، نوزاد و جنوب بیرجند قرار دارد.

۴- از مقایسه بین دو روش AHP و منطق فازی می‌توان دریافت که نقشه پهنه‌بندی تهیه‌شده به روش فازی با توجه به موقعیت قرارگیری شهرهای استان، موقعیت گسل‌های

منابع

آقاباتی، ع.، ۱۳۸۳، زمین شناسی ایران، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۵۸۶ص.

اشتوکلین، ی.، افتخار نژاد. ج.، هوشمند زاده. ع.، ۱۳۵۲، بررسی مقدماتی زمین شناسی در لوت مرکزی، شرق ایران. ترجمه توسط علی انتظام، افتخار نژاد. گزارش شماره ۲۲ سازمان زمین شناسی کشور. ص ۶۶.

بوستان، ا.، ۱۳۷۹، بررسی خصوصیات فیزیکی زلزله های مخرب ترکیه، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شمال.

تاناکا، ک.، ۱۳۸۳، مقدمه ای بر منطق فازی برای کاربردهای عملی آن، انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد، ص ۲۴۰.

پورکرمانی، م. و آرین، م.، ۱۳۷۶، لرزه خیزی ایران. دانشگاه شهید بهشتی، ص ۲۲۰.

جامی، م.، رادان کوهپایی، م.ی.، میرزینلی یزدی، ح.، کاظمی، ع.، ۱۳۹۱، هندسه فرکتالی گسل ها و لرزه خیزی در جنوب شرق ایران، اولین همایش ملی توسعه سواحل مکران و اقتدار دریایی جمهوری اسلامی، دانشگاه چابهار، ص ۷.

حیدری، م.، خطیب، م.م.، هیهات، م.، منصوری، ه.، ۱۳۹۴، پهنه بندی خطر زمین لرزه به روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP) و منطق فازی (Fuzzy logic) (منطقه مورد مطالعه: استان خراسان جنوبی)، طرح پژوهشی، دانشگاه بیرجند، ص ۱۰۳.

خطیب، م.م.، غلامی، ا.، ۱۳۸۵، قطعه بندی گسل اردکول، طرح پژوهشی دانشگاه بیرجند، جلد ۱، صفحه ۱۹ تا ۳۶.

ریاضی راد، ز.ا.، کمی نژاد، آ.، قمی اولی، ج.، ۱۳۸۸، بررسی لرزه زمین ساخت و لرزه خیزی در نوشهر و تعیین مناطق پتانسیل

خطر بالا، فصلنامه زمین، سال ۴، شماره ۴، صفحه ۷۷ تا ۸۹.

شادفر، ص.، یمانی، م.، نمکی، م.، ۱۳۸۴، پهنه بندی خطر زمین لغزش با استفاده مدل های ارزش اطلاعاتی، تراکم سطح و LNRE در حوزه چالکرو، مجله آب و آبخیز، شماره ۳، صفحه ۶۸-۶۲.

شریعت جعفری، م.، حامدپور، ر.، ۱۳۸۶، پیش بینی خطر ناپایداری شیب های طبیعی با استفاده از عملگرهای ضرب و جمع جبری فازی در البرز مرکزی، مجله منابع طبیعی ایران، شماره ۳، صفحه ۷۴۵-۷۵۷.

جدول ۴: محاسبه درصد و مساحت خطر زمین لرزه در منطقه.

خیلی زیاد	زیاد	متوسط	کم	خیلی کم	% عملگر
۱۰	۱۹	۱۳	۳۵	۲۳	AHP
۶۴	۲۸	۴	۰.۴	۳.۵	And
۴۳	۲۹	۱۹	۷.۵	۱.۵	Sum
۴	۲۸	۲۰	۴۵	۲	Or
۲	۷	۲۰	۳۹	۳۱	Gamma
۲	۹	۲۲	۳۰	۳۷	Product

خیلی زیاد	زیاد	متوسط	کم	خیلی کم	Km ² ×10 ³ عملگر
۳	۶	۴	۱۲	۷	AHP
۹۵	۴۱	۶	۰.۷	۵	And
۶۳	۴۳	۲۸	۱۱	۲	Sum
۶	۴۲	۳۰	۶۷	۳	Or
۳	۱۴	۳۰	۵۸	۴۶	Gamma
۳	۳۰	۲۶	۳۹	۲۴	Product

جدول ۶: کلاس خطر گسل های لرزه زای استان خراسان جنوبی.

ریسک	گسل
خیلی کم	-
کم	لادر، نار
متوسط	چاه خوش، کوچ، نائین، چاهک موسویه
زیاد	سده، افین، دوست آباد، فردوس، اسفندیار، پرنک، نوزاد، زولسک، کلرد، شاه آباد، گل
خیلی زیاد	اردکول، دشت بیاض، نه، نایند، درونه، گیو، کلی

جدول ۷: خطر زمین لرزه شهرهای استان خراسان جنوبی.

ریسک	شهر
خیلی کم	-
کم	-
متوسط	خوسف، خور
زیاد	سده، قائن، سرایان، زهان، شوسف، نیم بلوک، دروه، درمیان
خیلی زیاد	حاجی آباد، بیرجند، بشرویه، طبس، فردوس، گریک، سریش، نوزاد، آرین شهر، نهبندان

Data Integration, Nonrenewable Resources, V. 2(2), p. 122- 139.

Champati-ray, P.K., Dimri, S., Lakhera, R.C., and Sati, S., 2007, Fuzzy- based method for landslide hazard assessment in active seismic zone of Himalaya, Landslides, 4: p. 101-111.

Gooijer, J., Hyndman, R., 2006, 25 Years of Time Series Forecasting, International Journal of Forecasting, No. 2. p. 443- 473.

Mojarad, M., Hossein, M., Zare, M., Morshedy, A.H., Pishahang, M.H., 2014, Modeling of the seimotectonic provinces of Iran using the self-organizing map algorithm. Computers & Geosciences, V. 67. p. 150- 162.

Mohajer- Ashjai, A., Nowroozi, A.A., 1978, Observed and probable intensity zoning if Iran, Tectonophysics. 49, p. 149- 160.

Mohager, G.A., Pierce, G.R., 1963, Qazvin, Iran earthquake. Bull. Am. Assoc. Petrol. Geol., 47 (10), p. 1878- 1883.

Nowroozi, A.A., 1971, Seismotectonics of the Persian plateau, Eastern Turkey, Caucasus, and Hindukush region, Bull, Seismol, Soc.Am. 61. p. 317- 341.

Nowroozi, A.A., 1972, Focal mechanism of earthquakes in Persia, Turkey, West Pakistan and Afghanistan and plate tectonic of Middle East. Bull. Seismol. Soc. 46. p. 74- 96.

King Stephanie, A., Kiremdndgian, A., 1995, law lincho, Basoz Nersini, Earthquake Damage and loos Estimation through Gis, proceeding of Earthquake Engineering Spain, p. 325- 401.

Schwartz, D., Coopersmith, K.J., 1984, fault Behavior and Characteristic Earthquakes: Examples from the Wasatch and San Andreas Fault, J. Geophys. Res. 89, p. 5681- 5698.

Tirrule, R., Bell, L.R., Griffins, R.J., and Camp, V.E., 1983, The Sistan Suture zone of eastern Iran. G.S.A V. 94., p. 134- 150.

Turcotte, D.L., 1992, Feractals and Chaos in Geology and Geophysics (Cambridge University Press, Cambridge), p.17.

Walker, R.T., Jackson, J., 2004, Active tectonic and late Cenozoic strain distribution in central and eastern Iran. Tectonics 23, PC5010. P.1-24.

Wells, D.L. and Coppersmith, K.J., 1994, New empirical relationship among magnitude, rupture length, rupture area and surface displacement, Bull. Seism. Soc. AM., 84, p. 974- 1002.

Zadeh, L.A., 1965, Fuzzy Sets, Information and Cintrol, No, 8, p. 339.

Zadeh, L.A., 1973, Outline of Approach to Analysis of Complex System and Decision Process, IEEE Trans on System Man and Cybernetic, SMC. 1, p. 28- 44

قدسی پور، س.ح.، ۱۳۸۴، مباحثی در تصمیم‌گیری چند معیاره، فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی، انتشارات دانشگاه صنعتی امیر کبیر، چاپ چهارم، صفحه ۲۲۰.

کلارستانی، ع.، ۱۳۸۱، بررسی عوامل مؤثر بر وقوع زمین لغزش‌ها و پهنه‌بندی خطر زمین لغزش در حوزه آبخیز شیرین رود ساری، پایان نامه کارشناسی ارشد آبخیز دازی، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران، صفحه ۱۴۱.

کوره پزان دزفولی، ا.، ۱۳۸۴، اصول تئوری مجموعه‌های فازی و کاربردهای آن در مدل‌های مسائل مهندسی آب، دانشگاه امیرکبیر، جلد ۱، صفحه ۱۷۰-۱۸۱.

گریم، اف.، کارتر، ب.، ۱۳۷۹، سیستم اطلاعات جغرافیایی برای دانش پژوهان علوم زمین، ترجمه گروه GIS، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی، ص ۳۰۰.

مالچفسکی، ی.، ۱۳۸۵، سامانه اطلاعات جغرافیایی و تحلیل تصمیم چند معیاری. ترجمه؛ اکبر پرهیزکار و عطا غفاری گیلانده. تهران، انتشارات سمت، صفحه ۳۷۰-۳۶۴.

محمود زاده، ح.، ۱۳۶۸، ارزیابی و پهنه‌بندی درجه تناسب شهر تبریز با استفاده از GIS، سازمان مدیریت و برنامه ریزی استان آذربایجان شرقی، ص ۱۱.

ملکی، ا.، ۱۳۶۸، پهنه‌بندی خطر زمین‌لرزه و اولویت‌بندی بهسازی مساکن در استان کردستان، پژوهش‌های جغرافیایی، شماره ۵۹، صفحه ۶۸-۷۹.

مؤمنی، م.، شریفی سلیم، ع.، ۱۳۹۰، مدل‌ها و نرم‌افزارهای تصمیم‌گیری چند شاخصه، نشر مؤلفین. صفحه ۲-۵.

نوگل سادات، م.ع.ا.، ۱۳۷۳، نقشه تکنونیک ایران، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور

References

Ambraseys, N.N, Melill, C.P., 1982, A history of Persian earthquakes. Cambridge University press, Cambridge, UK, p.236.

Berberian, M., 1979. Earthquake faulting and bedding thrust associated with the Tabas- e- Golshan (Iran) Earthquake of September 16, 1978. Bulletin of the seismological Society of America, 69, p. 1861- 1887.

Campbell, A.N., 1982, Recognition of a Hidden Mineral \deposit by an Artificial Intelligence Program, Science, V. 217(3), p. 927- 929.

Chung, C.F., and Fabbri, A.G., 1993, the Representation of Geosciences Information for